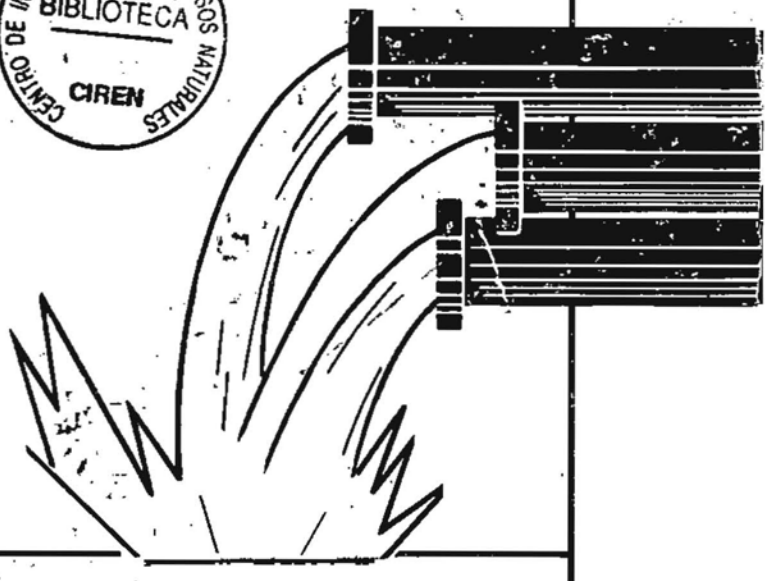
R 49

ESTUDIO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO LOA

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS NATURALES
BIBLIOTECA
CIREN



EFECTUADO POR LA U. DE CHILE EN CONVENIO CON LA CORPORACION DE FOMENTO.

MAYO, 1973.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS

c 197 e
4706
v. 1 c. 2

SECCION HIDROLOGIA Y RIEGO
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
UNIVERSIDAD DE CHILE
POR CONVENIO CON EL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRAULICOS
CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

ESTUDIO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO LOA

SANTIAGO - CHILE

MAYO 1973

ESTUDIO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

DE LA CUENCA DEL RIO LOA

Este estudio ha sido realizado por la Sección Hidrología y Riego del Departamento de Obras Civiles, Universidad de Chile, bajo su responsabilidad y con la colaboración y aporte financiero del Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO.

El Informe es de propiedad de CORFO.

En la elaboración del Informe han participado las siguientes personas:

Desarrollo y Coordinación del Estudio:

Ing. Civil Basilio Espíldora C.
Ing. Civil Jaime Ortíz A.

Estudios Especiales:

Ing. Civil Ernesto Brown F.
Ing. Civil Patricio Ferrer A.
Ing. Civil Guillermo Cabrera F.
Ing. Civil Luis Ayala R.
Ing. Civil Juan Karzulovic K

Procesamiento de Datos:

Estudiante Ing. Civil Jaime Jurgens B.
Ing. de Ejecución Rodolfo Torres R.

Publicación:

Ana María Ureta F.
Efraín Espinosa I.
Lucía Carreño A.
Rosa Farías L.

Mayo, 1973

I N D I C E

		Págs.
Capítulo 1.-	Introducción	1
Capítulo 2.-	Conclusiones y recomendaciones	3
Capítulo 3.-	Descripción General de la Zona	11
	3.1 Aspectos Físicos	11
	3.1.1 Ubicación y Superficie	11
	3.1.2 Climatología	11
	3.1.3 Hidrografía	13
	3.1.4 Geomorfología	14
	3.1.5 Geología	17
	3.1.6 Sismología	19
	3.1.7 Suelos	20
	3.2 Aspectos Sociales	21
	3.2.1 Población	21
	3.2.2 Viviendas	24
	3.2.3 Educación	24
	3.2.4 Servicios de Salubridad	25
	3.2.5 Agua Potable y Alcantarillado	26
	3.3 Aspectos de Producción	27
	3.3.1 Producción Agropecuaria	27
	3.3.2 Producción Minera	30
	3.3.3 Pesca	32
	3.3.4 Industrias	33
	3.3.5 Transportes y Comunicaciones	34
	3.3.6 Energía Eléctrica	36
	3.3.7 Turismo	37
Capítulo 4.-	Resumen de Algunos Estudios Anteriores	39
	4.1 Aguas del Río Loa	40
	4.2 Estudio Hidrológico Loa en la Isla	42
	4.2.1 Generalidades	42
	4.2.2 Estadística	43
	4.2.3 Tasas de Riego	44
	4.2.4 Regulación del Embalse	44
	4.2.5 Conclusiones	45
	4.3 Tasa de Riego para el Valle del Loa	45
	4.4 Estudio Geológico para el tranque Loa en la Isla	45
	4.5 Anteproyecto del Regadío de Calama y Chiu-Chiu	46
	4.6 Experiencia sobre lavado de suelos en Calama	49
	4.7 Habilitación de un Sector de Suelo Salino - Sodico de las Vegas de Calama	50
	4.8 Hidrología del Loa y Embalse Conchi para uso Industrial	53
	4.9 Sobrantes de Agua en el Río Loa	55
	4.10 Estudio de la Contaminación del Río Loa	57
	4.11 Anteproyecto del Embalse Conchi	60
	4.12 Embalse Conchi	64

		Págs.
Capítulo 5.-	Información Metereológica e Hidrológica	71
	5.1 Estaciones y datos Meteorológicos	71
	5.1.1 Estaciones Metereológicas Existentes Antes del Estudio	71
	5.1.2 Análisis de las Estadísticas Registradas en este Período.	85
	5.1.3 Estaciones Metereológicas Instaladas Durante el Estudio	95
	5.2 Estaciones y Datos Fluviométricos	102
	5.2.1 Generalidades	102
	5.2.2 Descripción de las Secciones y sus Estadísticas	103
	5.2.3 Complementación de las Estadísticas	118
	5.3 Calidad de las Aguas	122
	5.3.1 Análisis Químicos	122
Capítulo 6.-	Caracterización Climatológica y del Regimen Pluviométrico	127
	6.1 Características Generales del Clima de la Región	127
	6.2 Clasificación General del Clima de la Zona y su Caracterización Cuantitativa	128
	6.2.1 Zona de Clima Desértico con nublados abundantes	128
	6.2.2 Zona de Clima Desértico Normal	130
	6.2.3 Zona de Clima Desértico marginal de altura	133
	6.3 Pluviología de la región del Loa	136
Capítulo 7.-	Estudio de la Escorrentía Superficial	147
	7.1 Caracterización del Regimen de Caudales en el Río Loa y sus Afluentes y Análisis de sus Pérdidas y Recuperaciones	147
	7.1.1 Introducción	147
	7.1.2 Escorrentía Superficial en Diversos Sectores del Río Loa y sus Afluentes	147
	7.2 Análisis de Frecuencia de los Datos Fluviométricos	180
	7.2.1 Criterios y Procedimientos Generales	180
	7.2.2 Resultados Obtenidos	182
	7.3 Consideraciones Generales Sobre las Crecidas en el Río Loa	192
Capítulo 8.-	Estudio de la Evaporación y Evapotranspiración	195
	8.1 Evapotranspiración	195
	8.1.1 Introducción	195
	8.1.2 Métodos Utilizados	195
	8.1.3 Análisis de los resultados obtenidos	205
	8.2 Evaporación desde Superficies de Agua	212
Capítulo 9.-	Estudio de la Calidad de las Aguas	215
	9.1 Introducción	215
	9.2 Caracterización de la Calidad Química en diversos Sectores del Río Loa	215
	9.3 Caracterización de la Calidad Química de las Aguas en el Río San Pedro	224
	9.4 Caracterización de la Calidad Química de las Aguas el Río Salado	228
	9.5 Caracterización de la Calidad Química de las Aguas en el Río San Salvador	234

Págs.

Capítulo 10.- Balance Hidrológico 237
10.1 Introducción 237
10.2 Rendimiento de algunas Subcuencas 238
10.3 Balance Hidrológico del Sector Lasana - Chiu-Chiu 242
10.4 Balance Hidrológico del Sector de Calama 244
10.5 Balance Hidrico General de la Cuenca del Río Loa 246

Capítulo 11.- Consideraciones Generales y Posibilidades de Mejoramiento y Optimización de la Red Fluviométrica e Hidrometereológica 249
11.1 Consideraciones Generales Sobre las Redes Hidrometereológicas 249
11.2 Recomendaciones y Criterios Generales para el Mejoramiento de la Red Hidrometereológica de la Cuenca del Río Loa 253
11.2.1 Estaciones Pluviométricas 253
11.2.2 Estaciones Nivométricas 256
11.2.3 Estaciones Fluviométricas 257
11.2.4 Estaciones de Calidad de Aguas 261
11.2.6 Otras Estaciones 262

Capítulo 12.- Evaluación de las demandas de Aguas Actuales y Futuras 265
12.1 Introducción 265
12.2 Agua Potable 266
12.2.1 Generalidades 266
12.2.2 Situación Actual (1969) 266
12.2.3 Proyección de la Demanda de Agua Potable 268
12.3 Agua Industrial 273
12.3.1 Generalidades 273
12.3.2 Estimación del Consumo de Agua Industrial Actual. 273
12.3.3 Estimación de la Demanda futura de Agua Industrial 277
12.4 Uso de Agua en la Agricultura 280
12.4.1 Tipos de Cultivos 280
12.4.2 Tasas de Riego 280
12.4.3 Suelos regados actuales y habilitables 281
12.4.4 Demandas actuales y futuras de Riego 282
12.5 Minería 285
12.5.1 Generalidades 285
12.5.2 Minería del Cobre 285
12.5.3 Minería del Salitre 290
12.5.4 Resumen de los Consumos de Agua Actuales y Futuros de la Minería 292
12.6 Mercedes de Aguas 293
12.7 Resumen de los Consumos Actuales y Futuros de Agua en la Cuenca del Río Loa 293

Bibliografía 299

Anexos (en volumen aparte)

INDICE DE TABLAS

Tablas		Págs.
3.1	Distribución de Suelos Agrícolas	20
3.2	Población Total Según los Ultimos Censos	22
3.3	Viviendas Totales Según los Ultimos Censos	24
3.4	Instrucción en la Provincia de Antofagasta	25
3.5	Servicios de Salubridad a 1970	26
3.6	Siembras, Cosecha y Rendimiento de Especies Agrícolas Año 1964-1965	28
3.7	Existencia de Ganado año 1965	29
3.8	Existencia de Aves y Conejos año 1965	30
3.9	Producción Minera año 1968. Minerales No Metálicos	31
3.10	Producción Minera año 1968. Minerales Metálicos	31
3.11	Producción Pesquera	32
3.12	Producción de Mariscos	32
3.13	Industrias Manufactureras de la Provincia de Antofagasta	33
3.14	Movimientode Aeropuertos de Antofagasta	34
3.15	Movimiento Maritimo en la Provincia de Antofagasta	34
3.16	Transporte Ferroviario	35
3.17	Circulación de Vehículos	36
4.1	Resultados de Análisis Químicos	51
4.2	Capacidad de Embalse para una Seguridad de 100%	56
5.1	Gastos Promedios	109
5.2	Secciones de Aforos en la Hoya del Río Loa	113
5.3	Secciones de Aforos en la Hoya del Río San Pedro	116
5.4	Secciones de Aforos en la Hoya del Río Salado	116
5.5	Secciones de Aforos en la Hoya del Río San Salvador	118
5.6	Relación entre Caudales Medios Mensuales y Aforos realizados en la misma fecha	119
5.7	Relacion entre Caudales Medios Mensuales y Aforos realizados en la misma fecha (Trimestral).	120
5.8	Análisis Químicos en la Hoya del Río Loa	122
5.9	Análisis Químicos en la Hoya del Río San Pedro	124
5.10	Análisis Químicos en la Hoya del Río Salado	125
5.11	Análisis Químicos en la Hoya del Río San Salvador	126
6.1	Estación Iquique	129
6.2	Estación Antofagasta	129
6.3	Temperaturas Medias Mensuales	130
6.4	Temperaturas Máximas Mensuales	131
6.5	Temperaturas Mínimas Mensuales	131
6.6	Humedades Relativas Medias Mensuales	131
6.7	Radiación Solar Media Diaria. Salar de Talabre	132
6.8	Evaporación Media Diaria Mensual	132
6.9	Promedios de Evaporación Mínima Diaria Mensual	133
6.10	Promedios de Evaporación Máxima Diaria Mensual	133
6.11	Temperaturas Medias Mensuales	134
6.12	Temperaturas Máximas Mensuales	134
6.13	Temperaturas Mínimas Mensuales	134
6.14	Humedades Relativas Medias Mensuales	135
6.15	Evaporación Media Diaria	136

Tablas Págs.

6.16 Estaciones Pluviométricas 137
6.17 Estaciones Pluviométricas 138
6.18 Precipitación Media Anual 138
6.19 Probabilidades de Excedencia de Precipitación Anual 145
7.1 Curvas de Variación Estacional. Gastos Medios Mensuales-Regimen Natural.. 188
7.2 Curvas de Variación Estacional (85%) 192
8.1 Estación Calama. Valores Medios Diarios Mensuales de ET.P (1966-1967) ... 197
8.2 Evapotranspiración Potencial Calculada para Calama y medida en la zona Central 205
8.3 Evaporación E_p y Evapotranspiración ET.P para Alfalfa 208
8.4 Valores de Radiación y Evaporación 1963 209
8.5 Valores de Radiación y Evaporación 1969-1970 210
8.6 Comparación de los Valores Aceptados de ET.P para Calama con Valores Medidos de ET.P en Alfalfa 212
8.7 Coeficiente de Embalse y Evaporación Adoptada, E_s 213
10.1 Cuenca Río San Pedro (en Parshall 2) 230
10.2 Subcuenca Loa en Conchi 239
10.3 Cuenca del Río Salado (en Ayquina) 239
10.4 Subcuenca Loa en Yalquincha 240
10.5 Subcuenca Loa en Chacance (Aguas Abajo San Salvador) 240
10.6 Loa en Desembocadura 241
10.7 Resumen de Rendimiento de Subcuencas 241
10.8 Pérdidas por Evaporación desde los Cursos de Agua en la Cuenca del Río Loa 247
10.9 Cuadro Resumen Anual para los Diferentes Subsistemas de la Cuenca del Río Loa 248
12.1 Mercedes de Agua Potable (1969) 267
12.2 Distribución de las Mercedes de Agua Potable 267
12.3 Conclusiones del E P A para la Ciudad de Antofagasta 268
12.4 Proyección de Población según Diferentes Estudios 270
12.5 Cuadro Comparativo de Dotaciones Estimadas 271
12.6 Proyección de Poblaciones, Dotaciones y Consumo Provincia de Antofagasta 274
12.7 Proyección de Poblaciones, Dotaciones y Consumos Provincia de Antofagasta 275
12.8 Cuadro Comparativo Consumos Anuales de Agua Potable 276
12.9 Resultado Estudio de Cepal (1957) 277
12.10 Consumo Futuro Estimado de Agua por la Industria en la Provincia de Antofagasta 278
12.11 Porcentaje Consumo Agua Industrial Comparada con el Consumo de Agua Potable para la Provincia de Antofagasta 279
12.12 Tasa de Riego Teórica del Sector Calama - Chiu-Chiu Según la Dirección de Riego 281
12.13 Separación de Suelos Según Categorías 282
12.14 Hectáreas Regadas: Actuales y Futuras 282
12.15 Demanda Actual de Agua para Regadío en la Cuenca del Río Loa 283
12.16 Demanda Futura de Agua para Regadío en la Cuenca del Río Loa 284
12.17 Consumo de Agua en Ganadería 285
12.18 Producción de Cobre en el Año 1967 en la Provincia de Antofagasta 286
12.19 Consumo Actual de Agua por Tonelada Métrica de Mineral Sulfurado 287

Tablas Págs.

12.20 Consumo de Aguas por Tonelada Métrica de Mineral Oxidado 288
12.21 Consumo de Agua Potable 289
12.22 Consumo de Agua Potable en la Minería del Salitre 291
12.23 Consumo de Agua Industrial en la Minería del Salitre 291
12.24 Consumo Actual y Futuro de Agua en la Minería 292
12.25 Cuadro de Mercedes de Agua (No Agrícola) 295

INDICE DE FIGURAS

Figuras		Págs.
3.1	Plano de Ubicación de la Cuenca del Río Loa	12
3.2	Croquis Geológico de la Zona del Río Loa	15
3.3	Ubicación de la Cuenca del Loa en Relación a las Comunas de la Provincia de Antofagasta	23
5.1	Estación Huatacondo	73
5.2	Estación Ollagüe (O.M.C.)	73
5.3	Estación Quillagua (O.M.C.)	75
5.4	Estación Ascotán (O.M.C.)	75
5.5	Estacion San Pedro de Conchi (FFCC Antofagasta a Bolivia)	75
5.6	Estación Toconce (Chilex)	75
5.7	Estación Salado en Ayquina (Riego)	77
5.8	Estación Chuquicamata (Chilex)	77
5.9	Estacion Salar de Talabre (Chilex)	77
5.10	Estación Coya Sur (U.T.S.M.)	79
5.11	Estación Calama (O.M.C.)	79
5.12	Estación Calama (Riego)	80
5.13	Estación Finca Juan Tómic - Calama (Riego)	80
5.14	Estación Pedro de Valdivia (O.M.C.)	82
5.15	Estación Sierra Gorda (O.M.C.)	82
5.16	Estación San Pedro de Atacama	84
5.17	Estación San Pedro de Atacama (O.M.C.)	86
5.18	Estación Toconce (Riego)	86
5.19	Precipitación Acumulada Versus Tiempo Estación Ollagüe	87
5.20	Precipitación Acumulada Versus Tiempo Estación San Pedro de Conchi	88
5.21	Evaporaciones en Calama	90
5.22	Evaporaciones Diarias,Promedios Mensuales Calama Versus Salar Talabre	91
5.23	Evaporaciones Diarias, Promedios Mensuales Calama Versus San Pedro de Atacama	92
5.24	Evaporaciones Diarias, Promedios Mensuales Estación Ayquina Versus San Pedro de Atacama	92
5.25	Estación Quillagua (Corfo)	97
5.26	Estación San Pedro (Parshal 2) (Corfo)	97
5.27	Estacion Ojos San Pedro (Corfo)	99
5.28	Estación Conchi (Corfo)	99
5.29	Estación Inacaliri (Corfo)	101
5.30	Estación Calama (Corfo)	101
5.31	Loa en Conchi	105
5.32	Loa en Yalquincha	105
5.33	Loa en Escorial	106
5.34	Loa en Chintoraste	106
5.35	Correlación entre Yalquincha y Escorial de Gastos Medios Mensuales para Periodos Comunes	108
5.36	Loa en Quillagua	111
5.37	San Pedro en Parshall 1	111
5.38	San Pedro en Parshall 2	112
5.39	Salado en Ayquina	112

Figuras Págs.

6.1 Promedios Moviles de 11 años en las Estaciones de Ollagüe y San Pedro de Conchi 139
6.2 Correlogramas de las Precipitaciones Anuales 141
6.3 Variación de la Precipitación Anual con la Altura en la Cuenca del Río Loa 142
6.4 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Anuales en San Pedro de Con-Chi 143
6.5 Análisis de Frecuencia de las Precipitaciones Anuales en Ollagüe 144
6.6 Isoyetas de Precipitaciones Medias Anuales en la Cuenca del Río Loa 146
7.1 Perfil Hidrométrico del Río Loa 148
7.2 Perfil Hidrométrico del Río Loa 149
7.3 Perfil Hidrométrico del Río Loa 150
7.4 Perfil Hidrométrico del Río Loa 151
7.5 Perfil Hidrométrico del Río Loa 152
7.6 Perfil Hidrométrico del Río Loa 153
7.7 Perfil Hidrométrico del Río Loa 154
7.8 Perfil Hidrométrico del Río San Pedro 155
7.9 Perfil Hidrométrico del Río San Pedro 156
7.10 Perfil Hidrométrico del Río San Pedro 157
7.11 Perfil Hidrométrico del Río San Pedro 158
7.12 Perfil Hidrométrico del Río San Pedro 159
7.13 Perfil Hidrométrico del Río San Pedro 160
7.14 Perfil Hidrométrico del Río San Pedro 161
7.15 Gastos de Conchi Menos Gastos Loa Antes Salado 162
7.16 Loa Antes Junta Salado 162
7.17 Perfil Hidrométrico del Río Salado 163
7.18 Perfil Hidrométrico del Río Salado 164
7.19 Perfil Hidrométrico del Río Salado 165
7.20 Perfil Hidrométrico del Río Salado 166
7.21 Perfil Hidrométrico del Río Salado 167
7.22 Perfil Hidrométrico del Río Salado 168
7.23 Salado Antes Junta con Loa 173
7.24 Loa después Junta con Salado 173
7.25 Loa en Angostura 175
7.26 Gastos Medios Mensuales en Yalquincha - Escorial 177
7.27 Gastos Medios Mensuales del Loa en Chintoraste 177
7.28 Loa en Chacance 178
7.29 Esquema del Perfil Hidrométrico Medio del Río Loa 181
7.30 Curvas de Frecuencia Acumulada Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural 183
7.31 Curvas de Frecuencia Acumulada Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural 184
7.32 Curvas de Frecuencia Acumulada Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural 185
7.33 Curvas de Frecuencia Acumulada Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural 186
7.34 Curvas de Variación Estacional - Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural. Loa en Yalquincha 187
7.35 Curvas de Variación Estacional - Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural. Loa en Yalquincha 187
7.36 Curvas de Variación Estacional - Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural. Salado en Ayquina 189

Figuras Págs.

7.37 Curvas de variación Estacional 85 % Gastos Medios Mensuales. Regimen Natural 189
7.38 Curvas de Variación Estacional 85 % Gastos Medios Mensuales Referidos a 1969 190
7.39 Aportes Netos al Río Loa entre Desembocadura Río Salado y Yalquincha ... 190
7.40 Curvas de Frecuencia Acumulada Gastos Medios Anuales - Regimen Natural 191
8.1 Valores Medios Diarios, Mensuales de Evapotranspiración Potencial Calculada y Evaporación Medida 198
8.2 Valores Medios Diarios, Mensuales de Evapotranspiración Potencial Calculada y Evaporación Medida 198
8.3 Valores Medios Diarios, Mensuales de Evapotranspiración Potencial Calculada y Evaporación Medida 200
8.4 Valores Medios Diarios, Mensuales de Evapotranspiración Potencial Calculada y Evaporación Medida 200
8.5 Valores Medios Diarios, Mensuales de Evapotranspiración Potencial Calculada y Evaporación Medida 203
8.6 Valores Medios Diarios, Mensuales de Evapotranspiración Potencial Calculada y Evaporación Medida 203
8.7 Variación Anual de E_p / R 211
8.8 Comparación de la E.T.P. Adoptada con Valores Medidos en Otras Localidades de Condiciones Similares 211
8.9 Evaporación desde Embalse 213
9.1 Variación de la Conductividad en el Río Loa 216
9.2 Variación del S A R en el Río Loa 217
9.3 Hoya del Río Loa 218
9.4 Variación de la Conductividad en el Río San Pedro 225
9.5 Variación del S A R en el Río San Pedro 226
9.6 Hoya del Río San Pedro 227
9.7 Variación de la Conductividad en el Río Salado 229
9.8 Variación del S A R en el Río Salado 230
9.9 Hoya del Río Salado 231
11.1 Estaciones Metereológicas y Pluviométricas en el Río Loa 254
11.2 Estaciones Fluviométricas en el Río Loa 258
12.1 Proyección de la Población de la Ciudad de Antofagasta 269
12.2 Proyección de Dotaciones en Antofagasta 272
12.3 Esquema de Aducciones y Mercedes de Agua No Agrícola en la Cuenca del Río Loa 294

CAPITULO I

INTRODUCCION

La caracterización del régimen hidrológico y la evaluación espacial y temporal de los recursos hídricos en una cuenca es una etapa previa y fundamental para su planificación y óptimo aprovechamiento. Este hecho adquiere especial relevancia en la cuenca del río Loa, en donde la escasez de recursos hidrológicos, su deficiente calidad química y la importancia económica y social de su uso en sectores altamente competitivos (minería, agricultura y agua potable), constituye un serio impedimento al desarrollo de la extensa e importante provincia de Antofagasta.

Conciente de este hecho, el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO (DRH) ha iniciado un extenso y completo estudio de los recursos hidrológicos de esta provincia y contrató con la Sección Hidrología y Riego (SHR) del Departamento de Obras Civiles de la Universidad de Chile, este Estudio de los Recursos Hidrológicos Superficiales de la Cuenca del Río Loa.

El planteamiento, objetivos específicos, plan de trabajo y mediciones especiales, se definieron en forma conjunta por DRH y SHR a través de visitas previas al terreno que efectuaron ingenieros de ambas reparticiones.

Los objetivos principales de este estudio fueron:

1) Recopilación y análisis de estudios hidrológicos anteriores y otros informes pertinentes.

2) Recopilación, análisis, corrección y extensión de toda la estadística meteorológica e hidrológica de la zona, incluyendo la traducción de estadísticas previas disponibles.

3) Efectuar mediciones fluviométricas y de calidad de aguas, además de la instalación y operación de algunas estaciones hidrometeorológicas especiales durante el desarrollo del estudio con el objeto de allegar antecedentes más completos y adecuados.

4) Caracterización climatológica y pluviométrica general de la cuenca y evaluación de las pérdidas por evapotranspiración en las zonas de vegas.

5) Caracterización espacial, temporal y estocástica de la escorrentía del río Loa y sus afluentes principales, incluyendo el estudio de pérdidas y recuperaciones del río, y la determinación de las características de calidad química de las aguas.

6) Un balance hidrológico de algunas subcuencas cordilleranas (río San Pedro y sistema del río Salado) y de los sectores de las vegas de Chiu-Chiu y Calama, con el objeto de determinar rendimientos de las cuencas y evaluar las escorrentías subterráneas afluentes y efluentes respectivamente.

7) Estudio de las posibilidades y criterios para el mejoramiento de la red fluviométrica e hidrometeorológica.

8) Recopilación de los antecedentes sobre mercedes de agua y evaluación de las demandas de agua actuales y futuras (año 2000) en la región, y su correspondiente confrontación con los recursos superficiales disponibles.

Las instalaciones y mediciones especiales efectuadas durante el estudio (corridas de aforos, muestreos de calidad de aguas, instalación de estaciones hidrometeorológicas y obtención de la información correspondiente), fueron hechas por el DHR de CORFO para el análisis y utilización posterior en este estudio por la SHR.

Los antecedentes disponibles de los estudios anteriores se incluyen y comentan en el capítulo 4 (Resumen de algunos estudios anteriores) y 12 (Evaluación de las demandas de agua actuales y futuras). Las estadísticas hidrológicas y meteorológicas disponibles se analizan en el capítulo 5 (Información meteorológica e hidrológica) y se incluyen en los anexos I al VI de este informe.

Las mediciones especiales concernientes al estudio de pérdidas y recuperaciones de los ríos y a la calidad de sus aguas cubren hasta el 31 de Diciembre de 1969. Sin embargo, la traducción de la estadística hidrometeorológica recopilada se efectuó hasta Abril de 1970.

Durante los años 1970 y 1971 se entregaron algunos informes parciales preliminares sobre algunos aspectos específicos de este estudio. El presente informe final incluye la totalidad de los análisis, resultados y conclusiones del estudio hidrológico efectuado por la SHR, además de la totalidad de la información hidrológica (superficial) recopilada (ver anexos).

CAPITULO I

INTRODUCCION

La caracterización del régimen hidrológico y la evaluación espacial y temporal de los recursos hídricos en una cuenca es una etapa previa y fundamental para su planificación y óptimo aprovechamiento. Este hecho adquiere especial relevancia en la cuenca del río Loa, en donde la escasez de recursos hidrológicos, su deficiente calidad química y la importancia económica y social de su uso en sectores altamente competitivos (minería, agricultura y agua potable), constituye un serio impedimento al desarrollo de la extensa e importante provincia de Antofagasta.

Conciente de este hecho, el Departamento de Recursos Hidraulicos de CORFO (DRH) ha iniciado un extenso y completo estudio de los recursos hidrológicos de esta provincia y contrató con la Sección Hidrología y Riego (SHR) del Departamento de Obras Civiles de la Universidad de Chile, este Estudio de los Recursos Hidrológicos Superficiales de la Cuenca del Río Loa.

El planteamiento, objetivos específicos, plan de trabajo y mediciones especiales, se definieron en forma conjunta por DRH y SHR a través de visitas previas al terreno que efectuaron ingenieros de ambas reparticiones.

Los objetivos principales de este estudio fueron:

1) Recopilación y análisis de estudios hidrológicos anteriores y otros informes pertinentes.

2) Recopilación, análisis, corrección y extensión de toda la estadística meteorológica e hidrológica de la zona, incluyendo la traducción de estadísticas previas disponibles.

3) Efectuar mediciones fluviométricas y de calidad de aguas, además de la instalación y operación de algunas estaciones hidrometeorológicas especiales durante el desarrollo del estudio con el objeto de allegar antecedentes más completos y adecuados.

4) Caracterización climatológica y pluviométrica general de la cuenca y evaluación de las pérdidas por evapotranspiración en las zonas de vegas.

5) Caracterización espacial, temporal y estocástica de la escorrentía del río Loa y sus afluentes principales, incluyendo el estudio de pérdidas y recuperaciones del río, y la determinación de las características de calidad química de las aguas.

6) Un balance hidrológico de algunas subcuencas cordilleranas (río San Pedro y sistema del río Salado) y de los sectores de las vegas de Chiu-Chiu y Calama, con el objeto de determinar rendimientos de las cuencas y evaluar las escorrentías subterráneas afluentes y efluentes respectivamente.

7) Estudio de las posibilidades y criterios para el mejoramiento de la red fluviométrica e hidrometeorológica.

8) Recopilación de los antecedentes sobre mercedes de agua y evaluación de las demandas de agua actuales y futuras (año 2000) en la región, y su correspondiente confrontación con los recursos superficiales disponibles.

Las instalaciones y mediciones especiales efectuadas durante el estudio (corridas de aforos, muestreos de calidad de aguas, instalación de estaciones hidrometeorológicas y obtención de la información correspondiente), fueron hechas por el DHR de CORFO para el análisis y utilización posterior en este estudio por la SHR.

Los antecedentes disponibles de los estudios anteriores se incluyen y comentan en el capítulo 4 (Resumen de algunos estudios anteriores) y 12 (Evaluación de las demandas de agua actuales y futuras). Las estadísticas hidrológicas y meteorológicas disponibles se analizan en el capítulo 5 (Información meteorológica e hidrológica) y se incluyen en los anexos I al VI de este informe.

Las mediciones especiales concernientes al estudio de pérdidas y recuperaciones de los ríos y a la calidad de sus aguas cubren hasta el 31 de Diciembre de 1969. Sin embargo, la traducción de la estadística hidrometeorológica recopilada se efectuó hasta Abril de 1970.

Durante los años 1970 y 1971 se entregaron algunos informes parciales preliminares sobre algunos aspectos específicos de este estudio. El presente informe final incluye la totalidad de los análisis, resultados y conclusiones del estudio hidrológico efectuado por la SHR, además de la totalidad de la información hidrológica (superficial) recopilada (ver anexos).

C A P I T U L O 2

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los antecedentes y análisis efectuados en este estudio, pueden extraerse las conclusiones y darse las recomendaciones que se indican a continuación en relación a la hidrología de la cuenca del río Loa. Estas conclusiones se refieren por lo tanto a los aspectos tratados en los capítulos 3 al 12, ambos inclusive.

1) Las estaciones y registros meteorológicos e hidrológicos existentes con anterioridad a la fecha de iniciación de este estudio, son en general escasos en representatividad, duración y continuidad. Ha sido necesario por lo tanto la aplicación de diversas técnicas para lograr estadísticas corregidas y más completas. Sin embargo, las estadísticas definitivas incluídas en el capítulo 5 y en los anexos I al VI, deben considerarse como de calidad regular.

2) En la zona costera de clima desértico con nublados abundantes y en la zona interior de clima desértico normal, la precipitación media anual es inferior a 5 mm con una altísima dispersión interanual y con varios años consecutivos sin precipitación. Su aprovechamiento en los escurrimientos es despreciable y sólo permite mantener una vegetación marginal de jaral y tamarugos.

En la zona del desierto marginal de altura, aproximadamente sobre la cota 2.500 m (región de Calama), las precipitaciones adquieren mayor importancia, observándose un aumento medio anual con la altura a razón de 6 mm/100 m. Estas precipitaciones ocurren en verano (de Diciembre a Marzo) y reflejan un régimen orográfico - convectivo. Las precipitaciones anuales tienen una gran variabilidad interanual con un coeficiente de variación cercano a 1, y no presentan tendencia, persistencia o periodicidad. La mayor parte de la precipitación mensual está constituída por temporales relativamente intensos de 1 a 3 días de duración que rara vez sobrepasan los 50 mm en 24 horas.

La variación esquemática de la precipitación anual en la cuenca puede observarse en el mapa de isoyetas de la figura 6.6.

3) A lo largo del río Loa pueden distinguirse claramente diversos sectores de recuperaciones y pérdidas. (1)

Desde su nacimiento en Ojos del Miño hasta Conchi, el caudal medio anual del Loa aumenta de 200 l/s a 1.880 l/s respectivamente, de los cuales 400 l/s provienen del aporte del río San Pedro. Los 1.280 l/s de aportes subterráneos provienen prácticamente en su mayoría de vertientes ubicadas en la ribera oriental del río y están concentradas principalmente en el sector de Chela y desde Lequena hasta Garrimuerto (sector Chela Cruz y Taira). Estos aportes y consecuentemente los gastos del río hasta Conchi,

1) En los antecedentes que se exponen, se hace uso de las estadísticas fluviométricas referidas al año 1969, para homogeneizar la influencia de mercedes de agua.

no presentan ninguna variación estacional significativa, lo que nuevamente demuestra la enorme importancia de la regulación subterránea de la cuenca correspondiente.

En el sector Conchi - Chiu-Chiu, se produce una pérdida neta media anual de 300 l/s que alcanza un máximo de 500 l/s en Enero y prácticamente se anula en Junio y Julio. Ello concuerda con la variación estacional de la evapotranspiración de las vegas y con la recuperación del río en el sector Conchi-Lasana. De acuerdo al balance hidrológico del sector, los aportes subterráneos pueden estimarse en 175 l/s. El río Loa antes de su confluencia con el Salado tiene un gasto medio anual de 1.680 l/s con variaciones desde 2.000 l/s en Junio, Julio y Agosto a 280 l/s en Enero.

El río Salado aporta al Loa un gasto medio anual de 670 l/s con variaciones desde 450 l/s en Diciembre a 850 l/s en Junio y Julio, lo que constituye aproximadamente un 30 % del gasto del río Loa antes de la junta.

Desde la junta con el Salado hasta el sector de Yalquincha, se produce una importante recuperación del río que aumenta su caudal de 2.280 l/s a 2.950 l/s. Esta recuperación se produce debido al estrechamiento de la cuenca hacia ese sector y proviene fundamentalmente de los aportes subterráneos de la hoya del Limón Verde y del Salar de la Vega. En este sector el río presenta una fuerte variación estacional. En Yalquincha los gastos varían de 3.400 l/s en Julio y Agosto a 2.430 en Diciembre. Variaciones similares se observan en el sector de Angostura (de 3.300 l/s a 2.000 l/s, respectivamente).

En el sector de Calama se produce una pérdida neta promedio de 1.860 l/s,que es máxima y prácticamente constante de Septiembre a Abril (2.040 l/s) y mínima entre Mayo y Junio (1.490 l/s) lo que concuerda con la marcha estacional de las pérdidas por evapotranspiración y las necesidades de riego de los cultivos. De acuerdo al balance hidrológico del sector, los aportes subterráneos al tramo Yalquincha - Chintoraste totalizarían aproximadamente 920 l/s.

A lo largo del tramo Chintoraste - Chacance el caudal del río no sufre variaciones significativas. La fluctuación estacional (en Chacance de 2.400 l/s en Julio - Agosto a 400 l/s en Noviembre-Diciembre) refleja la influencia del regimen fluviométrico en Calama.

El río San Salvador aporta al Loa en Chacance un gasto de 485 l/s sin variación estacional de importancia.

Desde Chacance hasta la desembocadura se generan pérdidas reales de 500 a 700 l/s que provienen de la evapotranspiración de la caja del río (y posibles pérdidas por infiltración), extracciones de las salitreras y uso consumo agrícola en Quillagua. A pesar de la falta de antecedentes fidedignos la pérdida media anual en el sector de Quillagua puede estimarse en 250 l/s, variando de 370 a 150 l/s a lo largo del año. Con un aporte adicional de 70 l/s proveniente de la Quebrada Amarga, puede estimarse que el gasto medio anual del Loa en desembocadura es del orden de 1.000 l/s.

4) El curso superior del río San Pedro (Inacaliri - Cabana) tiene en régimen natural un caudal de aproximadamente 350 l/s (de los cuales unos 330 son captados, dejando su curso prácticamente en seco).

La operación de los drenes en el sector Ojos de San Pedro a partir de 1968 ha permitido aumentar el gasto del río; sin embargo,se ha detectado que este mayor aporte ha ido disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar prácticamente la magnitud que tenía antes de las obras de drenaje mencionadas.

Entre los lugares denominados Parshall 1 y Parshall 2 el gasto del río no sufre variaciones. A partir de este punto, luego de captaciones del orden de 150 a 200 l/s (1969) y entre el camino internacional a Bolivia y la junta con el Loa se producen pérdidas por infiltración desde el cauce, del orden de 130 a 250 l/s. Aunque estas filtraciones pueden ser captadas por el Loa propiamente tal, representan una pérdida efectiva desde el punto de vista del aprovechamiento de recursos de agua de mejor calidad.

5) El río Salado antes de su confluencia con el Caspana y después de diversas captaciones tiene un caudal medio anual de aproximadamente 75 l/s. Después de la junta con el río Caspana (que aporta 50 l/s), hasta la angostura de Ayquina se produce una notable recuperación subterránea de 430 l/s, que proviene fundamentalmente del sector baños de Turi. La variación estacional de este caudal es de 500 l/s en Julio y Agosto a 370 l/s en Noviembre y Diciembre).

Este caudal se mantiene luego casi inalterable a lo largo del curso, hasta alcanzar la zona de vegas próxima a la junta con el Loa, donde se produce una recuperación subterránea adicional que varía entre 30 y 200 l/s. El aporte medio al río Loa es de aproximadamente 670 l/s con una variación estacional análoga (850 en invierno a 450 l/s en Diciembre).

6) El río San Salvador tiene un gasto medio anual natural en sus orígenes de 660 l/s de los cuales 50 a 60 l/s son aportados por la Quebrada Quetena. La variación mensual del caudal no es significativa y por lo tanto su relación al régimen de riego en Calama es muy secundaria. De acuerdo al estudio del balance hidrológico de este sector, los aportes subterráneos al sistema Calama son suficientes (del orden de 920 l/s) para radicar en este factor el origen del río San Salvador.

Durante su recorrido, el río presenta una pérdida real de aproximadamente 100 l/s.

7) En las cuencas cordilleranas tributarias al río Loa (ríos San Pedro y Salado), el rendimiento anual alcanza a órdenes de magnitud comprendidos entre 25 y 30 °/o.

En las subcuencas de Loa en Conchi y Loa en Yalquincha, los rendimientos superficiales son de 15 y 19 °/o respectivamente.

8) La evapotranspiración real media anual en los sectores Lasana - Chiu-Chiu y Calama es de 5.1 mm/día. La evapotranspiración potencial en dichas zonas es de 7,8 mm/día con fluctuaciones de 4.1 mm/día en Junio a 11.2 mm/día en Diciembre.

La evaporacion media diaria desde embalses en sectores análogos es de 5 mm/día con variaciones desde 2.9 mm/día en Julio a 6.4 mm/día en Enero.

9) Los aportes subterráneos netos a los sectores de Lasana - Chiu-Chiu y Calama son del orden de 175 l/s y de 920 l/s,respectivamente.

10) El curso superior del río Loa, entre la localidad de Calama y las cabeceras septentrionales del sistema, representa el sector más propicio para la prospección de aguas subterráneas. Esto no solamente por las posibilidades de recarga directa a través de infiltración de precipitaciones, sino por la existencia de formaciones geológicas adecuadas, que corresponden a las denominadas Riolítica y del Loa, como asimismo a la determinada por sedimentos aluvionales cuaternarios.

11) En la región de Calama y debido a un estrechamiento notable de la depresión que allí contiene el valle del río Loa, se encuentra otra zona muy atractiva para la prospección y explotación de recursos subterráneos, los cuales, si bien de calidad regular tienen la ventaja de situarse a poca profundidad bajo la superficie.

12) Entre Calama y Chacance, principalmente por unos 40 Km al Oeste de Calama, la depresión que contiene al valle del río Loa continúa relativamente estrecha y cabe la posibilidad de detectar aguas subterráneas importantes, ubicadas más profundas y con menor calidad que en el sector de Calama.

13) Entre Chacance y la desembocadura del río Loa, los recursos subterráneos deben buscarse fundamentalmente en los lugares en que el valle es estrecho y limitado por cordones de rocas impermeables.

14) El río Loa presenta un empeoramiento progresivo de su calidad química, a lo largo de su recorrido. Este deterioro está asociado directamente a la calidad de los aportes subterráneos y superficiales y no a la naturaleza de los materiales del lecho del río.

A pesar de las concentraciones de Arsénico de 0.08 a 0.54 ppm, las aguas del sector Miño - Lequena son relativamente las de mejor calidad con una CE de 1.700 mmhos, SAR de 3.5, Boro de 5.8 a 10.9 y Arsénico de 0.1 a 3.38 ppm en Lequena.

Las primeras contaminaciones serias se producen en el sector de Chela Cruz y Taira Aunque el río San Pedro en general mejora levemente la calidad, las concentraciones de Arsénico permanecen altas. Entre la junta con este río y Conchi se producen deterioros adicionales permaneciendo luego la misma calidad hasta la junta con el río Salado. Es decir,el sector de Lasana - Chiu-Chiu no influencia significativamente la calidad del Loa.

El río Salado produce un empeoramiento adicional de la calidad, sobre todo en términos de Cloruros, Sodio, Boro y Arsénico. Sin embargo,una mayor contaminación que ésta, se produce después del Salado en el sector de Angostura en que la CE sube de 2.450 a 3.940 mmhos el SAR de 5.7 a 9.8, los Cloruros y el Sodio se duplican a 30 y 25 mg/l respectivamente, y el Boro y Arsénico alcanzan valores de 7 a 15 ppm y de 0.4 a 1.3 ppm, características éstas que corresponden a las de las aguas que recibe Calama.

En el sector de Calama se originan grandes contaminaciones que se estima provienen de los aportes subterráneos, los cuales serían del orden de 920 l/s según lo detectado en el balance hidrológico del sector. Es así como a la altura de Chintoraste y Va-

Ile Lindo las aguas tienen una CE de 5.700, SAR de 14 y las concentraciones de Cloruros, Sodio y Boro se elevan en un 50 o/o.

Estas aguas deben considerarse como inaceptables para riego a no ser que se tomen medidas extremas de lavado y manejo de suelos en cultivos resistentes. Desde el punto de vista de agua potable las aguas deben considerarse salobres con altas concentraciones de Arsénico y antieconómico su tratamiento por métodos tradicionales.

En el tramo Chintoraste - Quillagua la contaminación principal la origina el río San Salvador, sobre todo en términos de Cloruros, Sodio y Boro. La CE alcanza a 6.800.

Finalmente, en los sectores de Quillagua y Quebrada Amarga se producen nuevamente altísimas concentraciones químicas. En desembocadura, con respecto a Chintoraste, la CE, los Cloruros y el Sodio prácticamente se han duplicado y las concentraciones de Boro y Arsénico aumentan en un 50 o/o.

En los meses de Mayo a Septiembre se observan mejoramientos relativos de la calidad de las aguas en contraposición con un aumento de las concentraciones en los meses de verano. Esta variación estacional se observa más claramente después del sector de Chiu - Chiu y se intensifica hacia aguas abajo.

15) Las aguas del río San Pedro en su cabecera (ríos Inacaliri y Cabana) deben ser consideradas las de mejor calidad en la cuenca del río Loa en especial las del río Inacaliri que presentan óptimas características. Sin embargo, el río Cabana ha registrado altas concentraciones de Arsénico (0.5 ppm).

Las aguas del sector comprendido entre Ojos de San Pedro hasta junta con el Loa son algo inferiores en calidad y similares a las del sector Miño - Lequena en el río Loa, presentando problemas de dureza y Arsénico, alta peligrosidad por salinidad, pero bajas concentraciones de Sodio (clasificación C3 - S1). En el tramo comprendido entre el camino internacional a Bolivia y la junta con el Loa, se ha observado un leve deterioro de la calidad que estaría relacionada con los materiales del lecho del río en ese sector.

16) Las aguas del Río Toconce, aunque duras y con relativamente altas concentraciones de Boro y Arsénico (3 y 1 ppm aproximadamente) pueden también considerarse como una de las de mejor calidad en la cuenca y comparables a las del sector Miño - Lequena y nacientes del río San Pedro (Inacaliri y Cabana).

El río Hojalar aunque de relativa buena calidad en sus nacientes se contamina enormemente a lo largo de su curso y produce un notable deterioro de la calidad del río Toconce aguas abajo de las captaciones de la D.O.S.

El río Salado Chico, que se origina en numerosas fuentes y vertientes geotermales y de aportes del río Tatio, es el de peor calidad química en el sistema del río Salado y en general en la cuenca del Loa. En el punto de su captación para agua industrial en Chuquicamata, presenta una CE de 6.700 mmhos y concentraciones de Boro y Arsénico de 42 y 6 ppm, respectivamente.

El río Salado propiamente tal, mejora su calidad entre su confluencia con el Caspana y el Sifón de Ayquina, sector en que recupera enormemente su caudal. Luego de un leve empeoramiento de su calidad, aguas abajo de este último punto, 5 Km. aguas arriba de su confluencia con el Loa, se ha observado nuevamente un mejoramiento de los parámetros de calidad, aportando al Loa agua de CE de 5.450 mmhos, SAR de 16 y concentraciones de Boro y Arsénico de 15 y 1.3 ppm, respectivamente.

17) Las aguas de la Quebrada Quetena presentan diferentes características químicas y una calidad muy inferior a las de Ojos de Opache indicando un orígen distinto de estos aportes. Las aguas de Ojos de Opache presentan concentraciones similares a las del Loa en Chintoraste.

Las características y altas concentraciones químicas del San Salvador en su nacimiento confirmarían la existencia de significativos aportes subterráneos exógenos al sector de Calama.

En la confluencia con el Loa, el San Salvador aporta aguas de calidad muy similar a las registradas en Quillagua.

18) Las estaciones pluviométricas de Ollagüe y San Pedro de Conchi deben considerarse como estaciones primarias o básicas. Esta última debe reinstalarse.

Las siguientes estaciones pluviométricas deben seguir operándose: Inacaliri, Ojos de San Pedro, Toconce, Linzor, Salado en Represa, Calama, Chuquicamata y Lasana. La estación de San Pedro en Parshall 2 puede discontinuarse.

Se recomienda la instalación y operación continuada de la siguiente estación pluviométricas: Conchi Viejo, Carcote, Lequena y Chela (o Miño).

Los pluviómetros deben ser de acumulación con visita mensual o estacional salvo los de Ollagüe, San Pedro, Lequena y Toconce que se recomienda sean pluviógrafos.

A modo experimental se recomienda se instale una estación nivométrica en el sector Ojos de San Pedro o Cabana - Siloli del río San Pedro.

19) En relación a la red fluviométrica se plantean las siguientes recomendaciones:

Reinstalar adecuadamente una estación limnigráfica en el sector de Lequena, teniendo en cuenta el registro indirecto de grandes crecidas y la futura captación de agua potable.

Discontinuar la estación de San Pedro en Parshall 1 y mantener la nueva estación de San Pedro en Parshall 2 con un rediseño del canal de acceso.

La estación de Loa en Conchi debe considerarse como estación básica, por lo que requiere una rectificación del cauce de acceso, peralte y revestimiento del radier de la sección y control permanente de lamas y vegetación.

La escorrentía de la cuenca del río Salado puede registrarse adecuadamente con la estación de Salado en Ayquina cuya operación debe mantenerse.

Para la racional operación del sistema de riego de Calama se recomienda considerar la reubicación de la estación de Yalquincha o bien controlar limnigráficamente los canales de riego aguas arriba de la actual sección.

La estación de Loa en Chintoraste, previa una reinstalación poco aguas abajo, sólo se justificaría para un estudio específico del régimen de uso y recuperaciones del sistema de riego de Calama. En caso de no iniciarse este estudio se recomienda discontinuar esta estación.

Para caracterizar la escorrentía del río San Salvador bastaría instalar una estación fluviométrica en su parte alta, aguas abajo de la confluencia de Ojos de Opache con Quebrada Quetena. Eventualmente esta estación puede discontinuarse cuando se logren correlaciones confiables con la estación de Yalquincha o su equivalente.

La actual estación de Loa en Quillagua debe discontinuarse y reemplazarse por otra análoga en el sector tranque Santa Fe - tranque Sloman.

20) Se recomienda operar estaciones permanentes de calidad de aguas en Lequena, Embalse Conchi, Yalquincha y Quillagua. Programas regulares de muestreo deben mantenerse en los lugares de las captaciones de agua potable (Siloli, Toconce, San Pedro, etc.).

21) Deben mantenerse estaciones meteorológicas en Calama, Quillagua, Tatio, Siloli, Ollagüe y Embalse Conchi. En alguna estación de cordillera se recomienda la instalación de una estación automática de larga autonomía a modo experimental.

22) Como estudios especiales se recomienda la iniciación de mediciones para la determinación de la evapotranspiración en maíz y alfalfa en Calama y un estudio para la determinación del uso actual del agua en la cuenca, especialmente en los sectores agrícolas, industriales y mineros.

23) Las demandas actuales (1969) y futuras (referidas al año 2000) de agua en la cuenca del río Loa pueden resumirse en la siguiente tabla:

	Actual (l/s) (1969)	**Futuras (l/s)** (2000)
Regadío:		
Calama	2.000	3.311
Chiu - Chiu	375	649
Quillagua	128	128
	2.503	4.088
Agua Potable e Industrial		
Antofagasta	500	2.059
Tocopilla y Pampa	179	592
Calama	100	625
Chuquicamata	169	262
	948	3.538
Minería:		
Chuquicamata y Exótica	715	1.323
Salitreras	303	303
	1.018	1.626
TOTAL	4.469	9.252

CAPITULO 3

DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA

3.1 Aspectos Físicos.

3.1.1 Ubicación y Superficie.

La cuenca del río Loa se encuentra ubicada en el Norte Grande de Chile, provincia de Antofagasta, entre los paralelos 20° 51' y 22° 57' de latitud Sur y los meridianos 67° 48' y 70° 05' de longitud Oeste.

Limita por el Norte con las cuencas cerradas de la Pampa del Tamarugal y Coposa, y con la cuenca costanera de Camiña - Loa; por el Sur con la preandina del Salar del Carmen y la cuenca cerrada de San Pedro de Atacama; por el Oriente con las cuencas cerradas de Michincha y Salar Ascotán, y con la de Cosca - Oyahue que corresponde a una cuenca con aporte extranjero; y finalmente, por el Poniente con la cuenca costanera de Loa - Salar del Carmen.

En la figura 3.1 se muestra un plano de ubicación general de la zona en estudio.

La ciudad de Calama, principal centro urbano de la cuenca, se encuentra ubicada a 210 Km de la ciudad de Antofagasta, capital de la provincia; dichas ciudades están unidas por un camino pavimentado. A su vez Antofagasta está a 1370 Km de la ciudad de Santiago, capital de la República.

La superficie total de la cuenca del Loa, según el Mapa Hidrográfico de Chile editado por el Departamento de Recursos Hidráulicos de la Corporación de Fomento, es de 31.925 Km^2.

Respecto a sus dos principales afluentes, el San Pedro y el Salado, las superficies de sus cuencas son de 1264 Km^2 y 5.208 Km^2, respectivamente.

La superficie total de la cuenca del Loa, representa el 25,5°/o de la provincia de Antofagasta y el 4,3°/o del área del territorio nacional, sin considerar la Antártica Chilena.

3.1.2 Climatología.

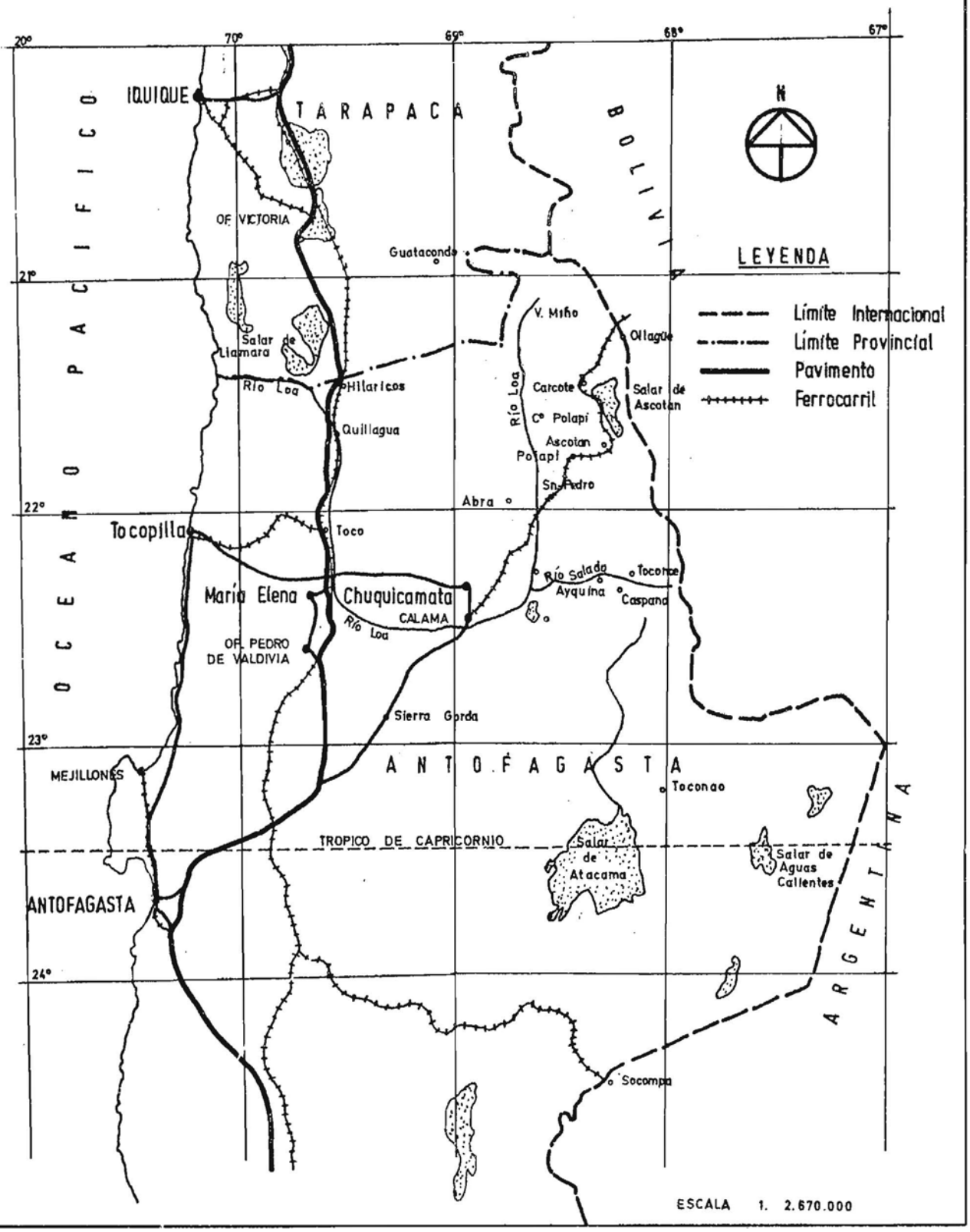
En la cuenca del Loa existen, de acuerdo a la clasificación de Koeppen, tres tipos de clima bien definidos:

a) Clima desértico con nublados abundantes.

Este tipo de clima se presenta en las zonas costeras del Norte Grande, en donde el alto poder evaporante de la atmósfera es satisfecho por el mar. Su característica principal es la presencia de numerosas nieblas y abundante nubosidad, con lo que se presenta una alta humedad relativa. Sin embargo las precipitaciones son prácticamente nulas debido al efecto bloqueador del Anticiclón del Pacífico. En relación a los vientos, la influencia del Anticiclón hace predominar vientos del Sur y del Sur Oeste.

Figura. 3-1

PLANO DE UBICACION DE LA CUENCA DEL RIO LOA



En cuanto a la temperatura, ésta es relativamente baja y con pequeñas oscilaciones tanto diarias como anuales.

La influencia de este clima se hace sentir sólo hasta unos 50 Kms. hacia el interior, vale decir, termina su influencia junto con la aparición de la Cordillera de la Costa.

b) Clima desértico normal.

Sobrepasando la Cordillera de la Costa hacia el interior, el clima desértico con nublados abundantes desaparece para dar paso al clima desértico normal. Este clima no presenta, como la mayoría de los climas desérticos, la característica de temperaturas elevadas, debido a la influencia que ejerce la altura. En efecto, la mayoría de las áreas que lo poseen, están ubicadas a una altura superior a los 1.000 m sobre el nivel del mar, lo que disminuye sensiblemente las temperaturas promedios.

Se puede esquematizar este tipo de clima mediante las siguientes características: gran limpidez de la atmósfera, baja humedad relativa, fuerte oscilación diaria de la temperatura, escasez de precipitaciones, evaporación alta, fuertes vientos desde el mediodía al atardecer.

En la cuenca del río Loa, la mayor parte de su superficie es afectada por este clima. Desde aguas arriba de Lequena, ubicada a 3.200 m. s.n.m., hasta Quillagua, a 800 m. s.n.m. las características climáticas observadas corresponden a las indicadas. Calama representa, dentro de la cuenca del Loa, el punto en que mayor cantidad de datos meteorológicos han podido obtenerse; dichos datos caracterizan adecuadamente el tipo de clima desértico normal descrito.

c) Clima de desierto marginal.

A partir de los 3.000 m. de altura sobre el nivel del mar, las precipitaciones se ven aumentadas en forma notoria junto con un descenso marcado de las temperaturas. Estas precipitaciones aumentan, por el recalentamiento estival de las montañas, produciéndose movimientos convectivos, que facilitan las precipitaciones a medida que la altura aumenta. Este efecto sólo se manifiesta en verano, por lo que las lluvias que se producen, siguen siendo escasas e insuficientes como para producir abundantes vegetación o cultivos estables.

Este tipo de clima es posible encontrarlo en las zonas netamente cordilleranas de la cuenca y coincide con el clima del Altiplano Boliviano.

3.1.3 Hidrografía.

El río Loa tiene un recorrido total de 420 Km. desde sus nacientes en el pozo del Miño, a 3.800 m. s.n.m. hasta su desembocadura en el Océano Pacífico. Su pendiente media resulta ser de 0,9 °/o. El río presenta un recorrido de orientación Norte a Sur en sus primeros 150 Km. escurriendo paralelo a la Cordillera de los Andes; en el lugar denominado Angostura cambia en forma brusca a una dirección Oriente a Poniente, que mantiene por 100 Km. aproximadamente, donde toma un curso Sur a Norte que mantiene por otros 100 Km. para finalmente y describiendo una curva suave, colocarse en dirección Oriente a Poniente antes de su desembocadura, a la altura de la latitud 21° 26'.

Existen tres afluentes de importancia que son los ríos San Pedro, Salado y San Salvador, que en ese mismo orden aportan al Loa, los dos primeros por su ribera izquierda y el San Salvador por su ribera derecha.

El río San Pedro que aporta al Loa a la altura de su Km. 100, nace en los ojos de San Pedro, y constituye el curso inferior correspondiente al denominado río Inacaliri cuyo caudal desaparece aguas arriba de los ojos de San Pedro; tiene un largo aproximado de 30 Km. desde su nacimiento hasta su confluencia con el Loa. El río Inacaliri a su vez está formado por la confluencia de los ríos Siloli y Cabana.

El segundo afluente importante del Loa, el río Salado, se une con este a la altura del Km. 140, y está constituído por la confluencia de varios cursos de agua; entre estos cabe destacar Caspana, Turicana, Curti, Salado Chico, Hojalar y Toconce; desde la junta del Hojalar con el Toconce hasta su confluencia con el Loa presenta un largo de 52 Km.

Tanto el San Pedro como el Salado tienen una orientación general oriente a poniente, y sus nacimientos se encuentran en los contrafuertes de la Cordillera de los Andes.

Finalmente, el tercer afluente de importancia es el río San Salvador, que se une con el Loa a la altura del Km. 250 en el lugar denominado Chacance; este río corre paralelo al Loa en dirección Oriente a Poniente, y tiene su nacimiento en la confluencia de las quebradas Quetena y Opache. Desde su nacimiento en los ojos de opache hasta su confluencia con el Loa, tiene una longitud aproximada de 56 Km.

Los recursos de agua del Loa y sus afluentes son muy escasos, como consecuencia de las exiguas precipitaciones en la zona, según lo visto en el punto 3.1.2. El río Loa presenta un caudal bastante constante a lo largo del año, salvo por las ocasionales crecidas de los meses de Enero, Febrero y Marzo. Los tres afluentes importantes del Loa, también presentan la característica de constancia de caudales a lo largo del tiempo. A lo largo del cauce y como consecuencia de los aportes superficiales y subterráneos, y de las extracciones para fines principalmente de regadío, el río Loa presenta variaciones importantes, en su caudal. Con el objeto de fijar órdenes de magnitud, se puede decir que el río Loa presenta, antes de su confluencia con el San Pedro, un caudal de 1,3 m^3/seg en promedio, en épocas normales, llegando, a lo largo de su cauce, a un caudal máximo promedio de 3 m^3/seg a la altura del lugar denominado Yalquincha, para finalmente evacuar al mar un caudal promedio de 1 m^3/seg.

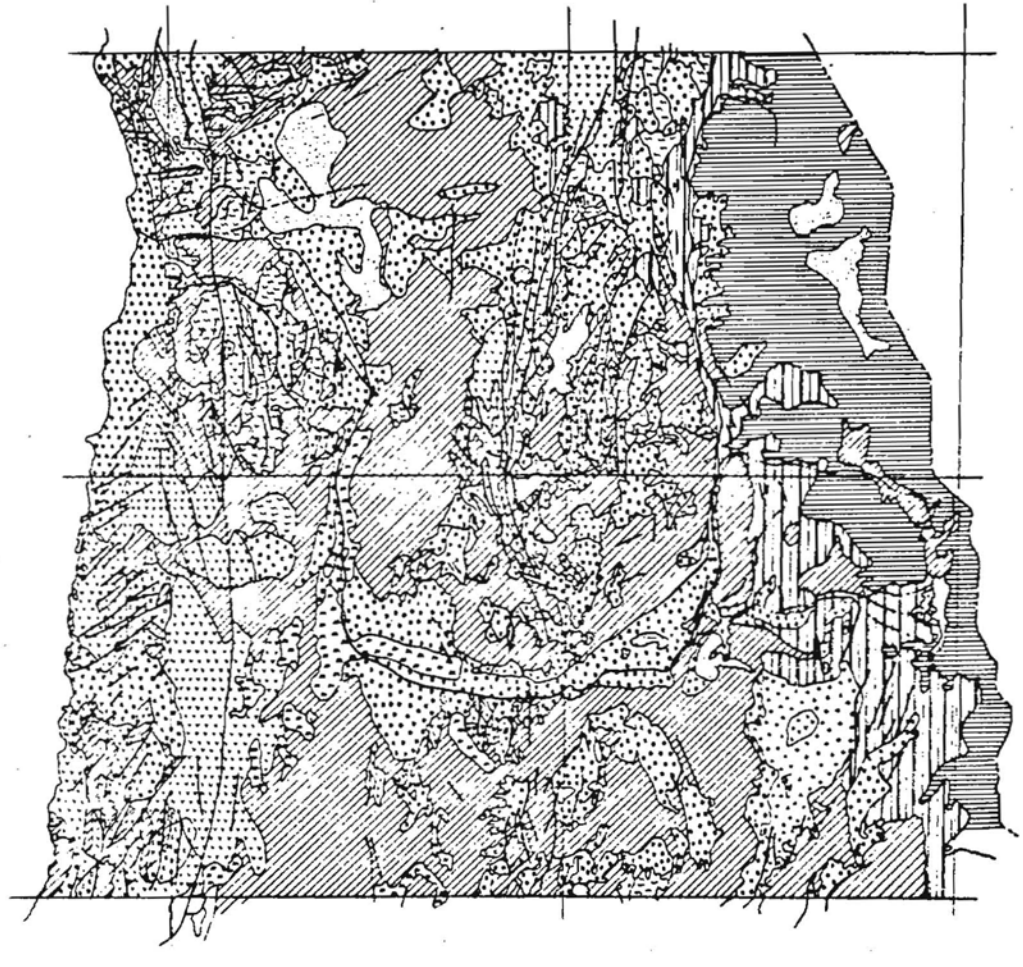
3.1.4 Geomorfología.

Uno de los rasgos más notables del paisaje de la región cubierta por el sistema hidrográfico del Loa está señalado precisamente, por la forma en U del valle del río principal, como se ve en la figura 3.2 confeccionada para ilustrar a grandes rasgos las características geomorfológicas y geológicas reseñadas a continuación.

En la zona en estudio, la Cordillera de Los Andes muestra nítidamente dos macizos montañosos de repartición regional y orientación acentuadamente Norte-Sur, entre los cuales se intercala una zona depresionaria que tiene pendiente general al Oeste y en cuyo borde occidental se localiza justamente el curso superior del valle principal del sistema del río Loa. El macizo oriental, podría denominarse aquí Cordillera Oriental y está caracterizado por contener las cumbres más elevada, frecuentemente de

FIGURA 3 - 2

CROQUIS GEOLOGICO DE LA ZONA DEL RIO LOA



CUATERNARIO Y EN PARTE TERCIARIO. Sedimentos fluviales, lacustres y glaciales, incluye sedimentos de terrazas marinas y depósitos de pié de monte de posible edad terciaria.

CUATERNARIO. Salares.

CUATERNARIO. Depósitos de nitratos

CUATERNARIO. Rocas volcánicas principalmente andesítico-basálticas en parte incluye ignimbritas riolíticas en la base.

MIOCENO PLIOCENO. Rocas volcánicas principalmente ignimbritas riolíticas a dacíticas con intercalaciones de rocas sedimentarias continentales.

MIOCENO PLIOCENO. Rocas sedimentarias continentales lacustres (calizas, dolomitas, kieselguhr).

CRETACICO SUPERIOR A TERCIARIO INFERIOR? Rocas volcánicas riolíticas a basálticas, con intercalaciones de rocas sedimentarias continentales, en parte lacustres.

CRETACICO INFERIOR Y EN PARTE TITONIANO. Rocas sedimentarias marinas del Neocomiano y en parte del Titoniano. Rocas sedimentarias clásticas continentales y abundantes rocas volcanicas predominantemente andesíticas.

JURAS INFERIOR Y/O SUPERIOR A MALM. Rocas sedimentarias marinas y rocas volcánicas andesíticas.

PALEOZOICO Y/O PRECAMBRICO. Rocas metamórficas

naturaleza netamente volcánica, tales como los volcanes San Pedro (6.159 m. s.n.m.) y San Pablo (6.118 m.s.n.m.). El macizo occidental ha sido denominado por BRUGGEN (1930), Cordillera del Medio y puede considerarse como la prolongación hacia el Sur de otras cordilleras del medio o centrales que aparecen conspicuamente en el Departamento de Arica de la provincia de Tarapacá (Cordillera de Chapiquiña); como asimismo, la prolongación hacia el Norte de la llamada Cordillera de Domeyko que sigue al Sur en el Departamento de Antofagasta de esta provincia.

En la zona del Loa, las mayores cumbres de la Cordillera del Medio se elevan hasta cerca de 4.600 m.s.n.m.

La región depresionaria existente entre la Cordillera del Medio y la Cordillera Oriental, tiende a cerrarse hacia las cabeceras septentrionales del río Loa y lo mismo poco al Sur de Calama; tiene evidentemente orientación Norte-Sur, de acuerdo con la orientación regional de los macizos montañosos que la limitan al Oriente y al Poniente, justificándose plenamente entonces, la forma que adopta el valle principal en esta parte y su dirección de escurrimiento que es netamente de Norte a Sur. Es casi seguro que la depresión de referencia estaba ya configurada hacia fines del Terciario, esencialmente por fenómenos tectónicos que habrían producido un hundimiento de los cordones montañosos existentes, probablemente entre grandes fallas ubicadas junto a la vertiente oriental de la Cordillera del Medio y vertiente occidental de la Cordillera Oriental, respectivamente. Del mismo modo, es lícito aceptar que durante todo el transcurso de su evolución cuaternaria, el curso superior del valle del río Loa, ha sido poco diferente del actual, en cuanto a su ubicación y dirección preferente de escurrimiento.

La Cordillera de la Costa se presenta en esta región como un macizo montañoso prácticamente continuo, con cumbres repetidas entre 1.500 m.s.n.m. y poco menos de 2.000 m.s.n.m., el cual configura una especie de dique de contención para los cauces procedentes del Oriente y que solamente aparece cortado, en toda su anchura, por la profunda incisión materializada por el curso inferior del valle del río Loa. Esto sin excluir los valles menores y de fuerte pendiente correspondientes a cauces desarrollados en la vertiente occidental de la misma cordillera, que alcanzan en forma independiente su desembocadura en el Océano Pacífico.

Entre la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, y el borde occidental de la Cordillera del Medio, existe otra zona depresionaria que configura la llamada Depresión Intermedia en una gran extensión del territorio nacional y que aquí corresponde al sector austral de la Pampa del Tamarugal. Esta Pampa, caracterizada por una pendiente suave y generalizada hacia el Poniente, es seguramente de origen tectónico y debe considerarse preexistente o ya definida en sus rasgos fisográficos principales al comienzo de los procesos cuaternarios que terminaron por modelar la actual red de drenaje del sistema del río Loa. La pampa tiene anchura de unos 30 Km. en promedio, pero se estrecha notablemente poco al Sur de María Elena y lo mismo en el sector de Quillagua.

Inmediatamente al Sur de la latitud determinada por las localidades de Calama y María Elena, aparecen dentro de la pampa que se describe, una serie repetida de cordones de cerros, en partes como cerros islas en el relleno aluvional de la misma pampa, los cuales pueden considerarse prolongaciones al Poniente de la Cordillera del Medio o como estribaciones al Oriente de la Cordillera de la Costa. En todo caso, tales cordones han representado un obstáculo al avance del río Loa hacia el Sur en tal forma

que, entre María Elena y Calama, el valle del río principal tiene dirección acentuada Oriente-Poniente y éste escurre, en sectores, adosado a los faldeos septentrionales de los citados cordones de cerros.

Frente a la localidad de María Elena, en el lugar denominado Chacance, el río Loa modifica la dirección de su valle y sigue con orientación francamente Sur-Norte, hasta la región de Quillagua donde empieza a desplazarse hacia el Poniente y entra a cortar la Cordillera de la Costa para definir en su curso inferior y hasta la desembocadura en el mar, un valle profundo con dirección Oriente-Poniente. Interesa destacar que poco al Sur de Quillagua el río Loa aparece encajado en rocas fundamentales de tal manera que ocupa un valle relativamente profundo, angosto, del cual solamente en creces muy excepcionales podría salir para buscar un cauce de escurrimiento hacia el Norte; es decir, resulta probable que el río Loa ha mantenido durante gran parte del Cuaternario su actual cauce entre Chacance y Quillagua y entre Quillagua y su desembocadura al mar.

3.1.5 Geología.

Las características geológicas señaladas en la Figura 3.2, están de acuerdo con la Carta Geológica de Chile, del INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS (1968).

Las rocas fundamentales abarcan desde el Paleozoico al Terciario, incluyéndose entre los materiales terciarios, sedimentos continentales poco consolidados y a menudo bastante sueltos como los que configuran la llamada Formación del Loa. Estas rocas fundamentales son predominantemente volcánicas, pero existen además, rocas sedimentarias continentales y marinas, intrusivos de naturaleza granítica y rocas metamórficas. En general, y con excepción de los materiales volcánicos y sedimentarios de las formaciones terciarias, todas las rocas fundamentales deben estimarse impermeables o muy poco favorables para contener aguas subterráneas aprovechables.

Los depósitos cuaternarios incluyen materiales volcánicos asociados a los centros emisores actuales de la Cordillera Oriental, sedimentos salinos y sedimentos aluvionales que rellenan los valles y sectores depresionarios.

El Paleozoico está indicado por intrusivos graníticos de tal edad y también por rocas metamorfoseadas que son relativamente abundantes en la Cordillera de la Costa y Cordillera del Medio.

El Mesozoico alcanza gran desarrollo en las dos cordilleras recién citadas, especialmente en lo relativo al Jurásico y en menor proporción, al Cretásico; mientras, el Triásico estaría ausente de la región de estudio. El Jurásico está representado por paquetes estratificados de rocas volcánicas que en sectores, principalmente en la Cordillera del Medio, incluyen predominantemente rocas sedimentarias marinas tales como las de Cerritos Bayos, pocos kilómetros al Sur Poniente de Calama, muy bien estudiadas por BIESE (1961); aparecen además en el Jurásico, intrusivos de naturaleza granítica. El Cretásico corresponde a intrusivos graníticos supuestos de dicha edad y a paquetes estratificados de rocas volcánicas y rocas sedimentarias continentales; dentro de la zona de estudio alcanza menor distribución que el Jurásico, pero pasa a ser predominante o más abundante más al Sur, en el Departamento de Antofagasta de esta provincia.

El Terciario es importante en la zona, tanto por su extensión como por las posibilidades que presenta para la ubicación de acuíferos y recursos de aguas subterráneas aprovechables. Contiene dos formaciones bastante bien diferenciadas y que han sido denominadas Formación Riolítica (1) y Formación del Loa. La primera es fundamentalmente volcánica y alcanza su mayor expresión en la depresión intercalada entre las cordilleras del Medio y Oriental, siendo probable por otra parte, el que tenga bastante importancia en la Cordillera Oriental por debajo de los depósitos volcánicos cuaternarios. La segunda es esencialmente sedimentaria continental y tiene su mayor desarrollo a lo largo del valle principal del sistema hidrográfico del río Loa; como asimismo hacia los bordes de la Pampa del Tamarugal dentro de la zona de estudio, y más restringida en sectores relativamente depresionarios de la Cordillera del Medio.

La Formación Riolítica tendría varios cientos de metros de espesor como potencia máxima y corresponde a un paquete de inclinación suave a muy suave hacia el Oeste. En el paquete se intercalan lavas, tobas y brechas de naturaleza riolítica o liparítica, con inclusión de estratos de conglomerados y areniscas donde prima el material riolítico. Todo el conjunto, en el cual se podrían incluir capas de lutitas arcillosas, es de permeabilidad intrísicamente baja y deficiente para la transmisión de aguas subterráneas; sin embargo, se encuentra fuertemente fracturado de tal manera que pueden esperarse acuíferos radicados en las fracturas, a semejanza de los conocidos y explotados desde tiempos muy antiguos en la Región de Pica, hacia el Norte de la zona aquí analizada.

La Formación del Loa es presumiblemente en su conjunto, mas nueva que la Formación Riolítica y probablemente se extienda hasta el Plioceno o Terciario Superior; todavía más, cabe la posibilidad de que sus horizontes superiores alcancen hasta el Pleistoceno o Cuaternario Inferior. En sus espesores máximos tendría del orden de 250 a 300 m. de potencia y queda caracterizada por capas de calizas de agua dulce, tobas calcáreas, depósitos de kieselguhr, areniscas y conglomerados muy pobremente consolidados; los materiales calcáreos y depósitos de Kieselguhr, en partes con vetillas o lentes delgados de sal común, representarían especialmente los primeros 50 m superiores de la Formación que aparecen bastante bien expuestos, con afloramientos de pocos metros de espesor visible en la región de Calama y con afloramientos mucho más potentes en los costados abarrancados del valle del río Loa en el sector de Quillagua. Los materiales de areniscas y conglomerados que se encontrarían en la parte inferior de la Formación, están pobremente consolidados y tienen entonces, permeabilidad relativamente favorable para el desarrollo de acuíferos de importancia que serían especialmente interesantes por su caudal y calidad de aguas en la región de Calama y Chiu-Chiu.

Los depósitos cuaternarios quedan representados, tal como fue indicado anteriormente, por materiales volcánicos, sedimentos salinos y depósitos aluvionales. Los materiales volcánicos están asociados a los centros emisores actuales de la Cordillera Oriental y tienen por consiguiente preponderancia, junto a los volcanes modernos de dicha cordillera. Consisten principalmente en lavas, tobas y brechas de naturaleza andesítica a basáltica que en sectores aparecen fuertemente agrietados configurando entonces, zonas propicias para la infiltración de aguas lluvias y de derretimiento de nieves.

(1) También ha sido llamada Formación Liparítica y en los últimos años comprende especialmente, los materiales de la Formación Altos de Pica, que es el nombre con el cual se ha identificado la Formación Riolítica en los trabajos del Instituto de Investigaciones Geológicas.

Los sedimentos salinos corresponden a evaporitas producidas por la evaporación y consiguiente precipitación de las sales, de aguas salobres acumuladas en cuencas depresionarias de drenaje deficiente; también corresponden a los caliches o depósitos de nitratos, cuyo origen todavía no está suficientemente claro, existentes en los Sectores de María Elena y El Toco dentro de la zona de estudio. Estos sedimentos salinos contribuyen de modo muy importante a la contaminación de los recursos de aguas existentes de la cuenca del río Loa y no cabe duda que su ubicación en la Figura 3.2, define a priori una primera estimacion de zonas poco recomendables para la prospección de aguas subterráneas de calidad química aceptable.

Los depósitos aluvionales están tipificados por arenas, gravas y escombros relativamente sueltos que han sido predominantemente acumulados por avalanchas o corrientes de barro encauzadas en los valles de las quebradas y ríos del sistema hidrográfico del Loa. Estas corrientes (1) han sido motivadas por precipitaciones anormalmente intensas en la Cordillera del Medio y Cordillera Oriental, las cuales, aunque probablemente, ampliamente espaciadas en el tiempo, han ocurrido repetidamente a lo largo de la evolución cuaternaria.

Los depósitos aluvionales han terminado por rellenar todas las zonas depresionarias de la región que se discute y ocupan ahora sectores extensos de las depresiones intercaladas entre las cordilleras del Medio y Oriental, como también entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera del Medio. Representan materiales potencialmente favorables para la ubicación de acuíferos de importancia, especialmente en la depresión intercalada entre las cordilleras del Medio y Oriental, donde cabe la posibilidad de detectar napas profundas, confinadas, con aguas de relativamente muy buena calidad.

Interesa por último, recalcar el hecho de que durante el Holoceno o Cuaternario Superior, los cauces superficiales regionales habrían experimentado una fuerte profundización, en tal forma que se originaron diversos niveles de terrazas que aparecen actualmente, a varias decenas de metros por encima de los fondos de valles de hoy en día. Del mismo modo se originaron cañones profundos y dentro de éstos, hoyas de erosión retrógrada como las representadas por las cascadas de Chintoraste en el valle del río Loa y por Ojos de Opache en el cañón del río San Salvador.

3.1.6 Sismología.

La zona del presente estudio es, después de Copiapó y Aconcagua, la que mayor actividad sísmica presenta en el país.

En efecto, de acuerdo a la estadística de Sismos Sensibles al Hombre entre 1942 y 1957, que aparece en la Historia de la Sismología de Chile de Federico Greve, en la zona del Loa se han sentido un total de 381 temblores. De ellos, sólo uno alcanzó Grado V en la escala Mercalli y la mayoría, 185, correspondieron a Grado II de la misma escala.

En relación a lo anterior, el dato más antiguo que se tiene corresponde a un terremoto que en 1877 destruyó casi por completo al pueblo de Chiu-Chiu. Los mayores estragos provocados por este sismo se produjeron en Iquique (Grado VI), en donde la ola marina que le siguió subió 5 metros sobre el nivel medio barriendo con la mitad de la población del puerto.

(1) En ocasiones las corrientes de barro han ocurrido en las quebradas de la Cordillera de la Costa y tal es el caso del famoso aluvión de Tocopilla en el año 1940.

3.1.7 Suelos.

En relación a su aptitud productiva, la mayoría de los suelos de la cuenca del Loa deberían clasificarse entre los no agrícolas, debido al carácter desértico de la zona en que se encuentran.

Como la mayoría de los suelos del Norte Grande, la productividad de los del Loa es escasa debido a la falta de lluvias y a la calidad de las aguas usadas en riego. En efecto, las pocas lluvias observadas, se producen en general, sobre los 3.000 m. sobre el nivel del mar, y los estudios realizados en relación a la calidad de las aguas de riego indican en la mayoría de las zonas, la presencia de elementos nocivos para la agricultura.

En relación a la superficie sembrada en la provincia de Antofagasta, ésta abarca 3.551 Hás, lo que es una mínima parte del total de la superficie agrícola del país (11.924.000 Hás. según la Geografía Económica de Chile de la Corporación de Fomento). Las zonas cultivadas del Loa, ubicado en medio de suelos del tipo áridos, representan más del 95 o/o de los suelos en uso en la provincia.

Para visualizar en mejor forma la importancia del río Loa dentro de la escasa agricultura que ha podido desarrollarse en la provincia, se presenta a continuación la tabla 3.1 de acuerdo a datos extraídos del Censo Agropecuario 1964 - 1965.

TABLA 3.1

Distribución de Suelos Agrícolas (Hás)

	Sup. Total	Cereales y chacras	Cult. Indust.	Hort. y Flores	Plantas Forraj.	Frutales	Viñas y Parronales
Loa	3.396	346	3	349	2.566	130	2
Provincia	3.551	348	3	502	2.566	130	2

3.1.8 Vegetación.

En relación a la vegetación, la cuenca del río Loa se encuentra incorporada a la zona xeromórfica, que es una de las tres grandes zonas vegetales en que se ha dividido el país. Dicha zona, como su nombre lo indica, comprende toda la vegetación resistente a la sequía que surge hasta el río Petorca, desde el extremo norte del país.

Dentro de las formaciones vegetales posibles de encontrar en zonas xeromórficas, la cuenca del Loa presenta seis de ellas:

a) Jaral Costero.

Esta formación, que ocupa los faldeos inferiores de la Cordillera de la Costa y las planicies litorales, presenta el aspecto de un matorral abierto formado por arbustos, asociados con hierbas de vegetación primaveral.

b) Tamarugal.

Se puede ubicar en la Pampa del Tamarugal. Se trata de una formación abierta de pobre composición florística. Es posible encontrar entre 1 y 15 ejemplares por Há. Su aparición se debe principalmente a la existencia de humedad subterránea poco profunda en las partes en que surge.

c) Jaral Desértico.

Se puede encontrar por la región preandina que comprende la parte alta de los desiertos hasta los faldeos inferiores de los Andes. Las plantas que entran en esta formación son bajas y generalmente del tipo espinoso, con un período vegetativo invernal y primaveral. Los componentes subsuperficiales son escasos y pueden permanecer varios años en estado latente (como semilla o bulbo). Cuando se presentan las lluvias ocasionales, crecen con gran rapidez hasta alcanzar su pleno desarrollo.

d) Tolar.

El tolar se puede ubicar en los faldeos andinos, altas mesetas y cordones interiores de la Cordillera. Son plantas arbustivas de hojas y ramillas resinosas, crecimiento esparrancado y generalmente de follaje oscuro, formando un matorral relativamente denso.

e) Estepa Andina.

La estepa andina también se presenta en las altas mesetas, alcanzando además, los faldeos de los cordones montañosos, los grandes planos inclinados y las cumbres marginales en los sitios protegidos por el viento, a una altura superior a 3.500 m. sobre el nivel del mar. Está constituída por especies gramíneas, formando champas perennes mezcladas con arbustos enanos, subarbustos y hierbas perennes. En la zona del río Loa, presenta una densidad pequeña.

f) Llaretales.

Sobre los 4.000 m. sobre el nivel del mar la vegetación está compuesta por plantas que crecen en cojines, a las que se agregan árboles esparrancados de queñoa. Estos son los llamados llaretales que crecen en las zonas más altas del río Loa.

3.2 Aspectos Sociales.

3.2.1 Población.

En relación a la población de la zona del río Loa, es muy difícil estimarla con exactitud. Debido a esto, se han considerado para el enfoque de este aspecto, las poblaciones de las comunas que el Loa atraviesa en su recorrido, vale decir, Calama. Sierra Gorda, Tóco y Tocopilla.

La Tabla 3.2 muestra una relación de la población de dichas comunas con respecto a la de la provincia y del país, obtenida de los últimos censos efectuados y la Figura 3.3 presenta la ubicación de la cuenca del Loa en relación a las comunas de la provincia de Antofagasta.

TABLA 3.2

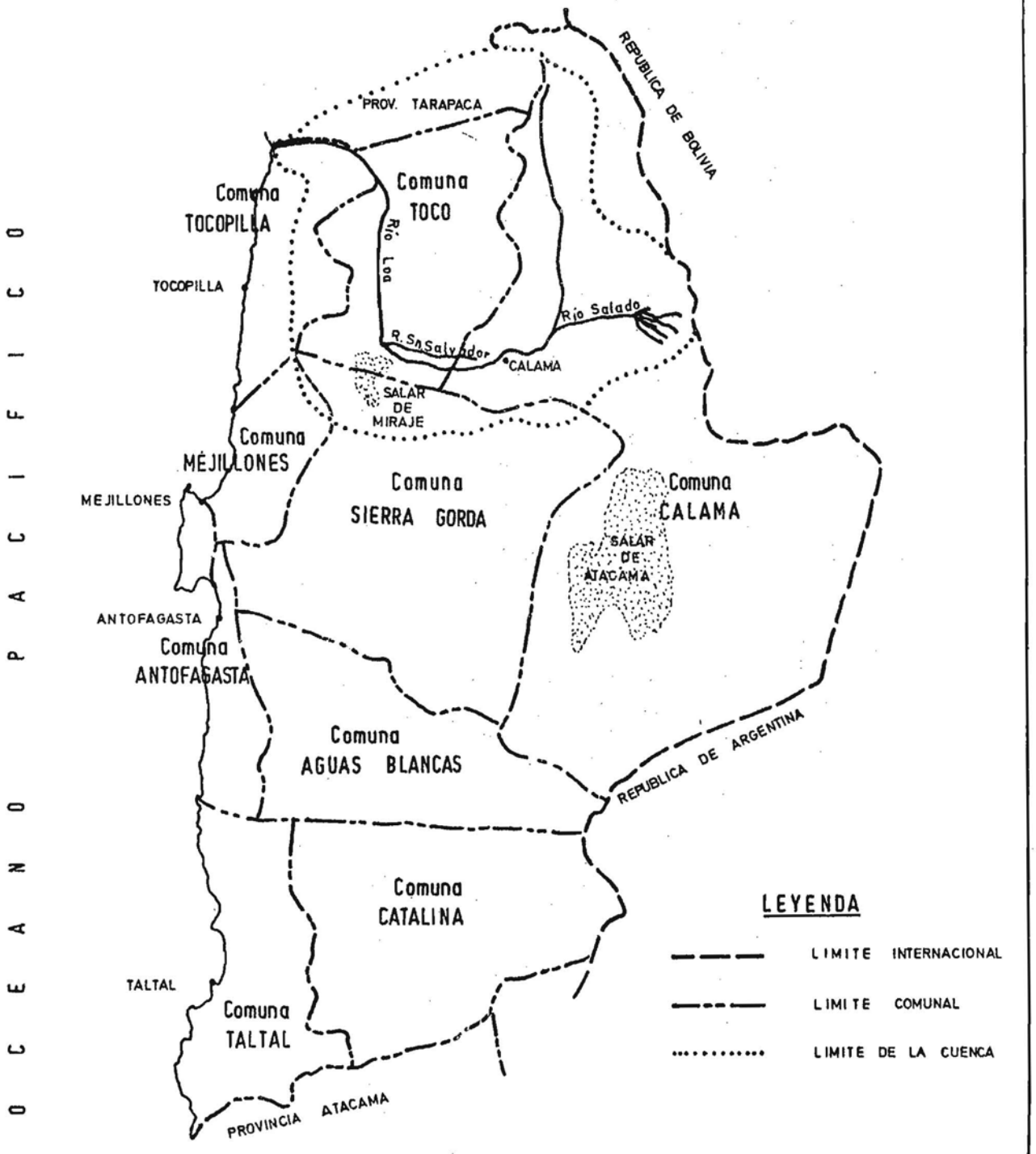
Población Total Según los Ultimos Censos (1)

	CENSO 1952			CENSO 1960			CENSO 1970		
	Habitantes	% Chile	% Antof.	Habitantes	% Chile	% Antof.	Habitantes	% Chile	% Antof.
CHILE	5.932.995	100,00	----	7.374.115	100,00	----	8.834.820	100,00	----
PROVINCIA ANTOFAGASTA	184.824	3,10	100,00	215.376	2,90	100,00	250.665	2,80	100,00
COMUNA CALAMA	44.563	0,75	24,10	57.276	0,78	26,60	71,983	0,81	28,70
COMUNA SIERRA GORDA	16.061	0,27	8,70	15.055	0,20	7,00	8.805	0,10	3,50
COMUNA TOCO	25.354	0,42	13,70	16.294	0,22	7,60	8.734	0,10	3,50
COMUNA TOCOPILLA	20.241	0,34	11,00	22.244	0,30	10,30	22.301	0,25	8,90
TOTAL COMUNAS LOA	106.219	1,79	57,50	110.869	1,50	51,50	111.823	1,27	44,60

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos

Figura 3-3

UBICACION DE LA CUENCA DEL LOA EN RELACION A LAS COMUNAS DE LA PROVINCIA DE ANTOFAGASTA



La deducción más importante que puede obtenerse de la tabla 3.2, es que las comunas que forman el Loa, manifiestan a medida que transcurre el tiempo,una creciente dismunución en la población. Las comunas que más han influído en esta disminución son Sierra Gorda y Toco.

Dentro de la provincia, la comuna de Antofagasta (que no aparece en esta Tabla) es la que compensa la disminución en las comunas del Loa. En los ultimos 18 años ha aumentado su población con respecto a la provincia en un 16,4 °/o (actualmente posee 126.252 habitantes), y con respecto al país en un 0,37 °/o.

3.2.2 Viviendas.

De la misma forma que con la población, los datos censales referentes a las viviendas se han podido computar a nivel comunal solamente. La tabla 3.3 resume dichos datos relacionándolos con los de la provincia.

TABLA 3.3

Viviendas Totales Según los Ultimos Censos (1)

LUGAR	CENSO 1960		CENSO 1970	
	Nº Viviendas	°/o Prov.	Nº Viviendas	°/o Prov.
Prov. Antofagasta	45.114	100,0	57.739	100,0
Comuna Calama	11.855	26,3	18.012	31,2
Comuna Sierra Gorda	2.692	6,0	2.399	4,2
Comuna Toco	3.109	6,9	2.416	4,2
Comuna Tocopilla	4.871	10,8	5.323	9,2
Total Comuna Loa	22.527	50,0	28.150	48,8

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos.

La tabla anterior indica una disminución en la densidad de habitantes por vivienda especialmente en la zona del Loa, lo que deja de manifiesto un despoblamiento importante en los últimos 10 años. En la actualidad la densidad media en la provincia es de 4,34 habitantes por vivienda y en las comunas del Loa, sólo de 3,97 habitantes por vivienda.

3.2.3 Educación.

Para precisar las características culturales de los habitantes de la cuenca del Loa, se puede suponer sin mayor error que éstas son semejantes a las de la provincia. Se han confrontado los censos de 1952 y 1960 a nivel provincial, para evaluar las características culturales de la población.

Debido a las grandes zonas deshabitadas existentes en la provincia y a la concentración de la población en las ciudades (población de Calama más Antofagasta es superior al 60 °/o de la provincia), el analfabetismo es pequeño en relación al país y

a provincias netamente agrícolas. En efecto, las cifras del Censo de Población de 1952 arrojaron un 13,3 °/o de analfabetismo en Antofagasta frente a un 24,5 °/o en la población del país. En el censo de 1960, este índice disminuyó llegando a un 8,8 °/o, mientras que en el país era de 17,6 °/o.

En relación al nivel de instrucción, éste se caracteriza por ser muy bajo. En 1952 el 78,1 °/o de la población había recibido enseñanza primaria solamente, el 15,1 °/o enseñanza secundaria y apenas el 1,1 °/o universitaria. Estos porcentajes variaron en 1960 a 73,8 °/o, 17,2 °/o y 1,2 °/o, respectivamente.

En la tabla 3.4 aparecen indicados, de acuerdo a los Censos de 1952 y 1960, el número de personas con instrucción en la provincia y el nivel de dicha instrucción junto con el porcentaje correspondiente.

TABLA 3.4

Instrucción en la Provincia de Antofagasta (1)

Tipo de Instrucción	CENSO 1952		CENSO 1960	
	Habitantes	Porcent.	Habitantes	Porcent.
Primaria	105.959	78,1	110.175	73,8
Secundaria	20.440	15,1	25.696	17,2
Universitaria	1.485	1,1	1.758	1,2
Especial (2)	7.687	5,7	11.721	7,8
TOTAL	135.571	100,0	149.350	100,0

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos

(2) Corresponde a Educación Comercial, Educación Industrial, Educación Técnica Femenina, Educación Agrícola y otros.

En la provincia de Antofagasta están en uso en la actualidad 198 establecimientos educacionales; de ellos, 72 corresponden a las comunas que atraviesan el Loa, siendo 39 establecimientos urbanos y 33 rurales.

3.2.4 Servicios de Salubridad.

Estos servicios son ejercidos por el Servicio Nacional de Salud y por Servicios Delegados. La zona en que se encuentra el Loa corresponde a la 1ª. Zona de Salud del país, e incluye las provincias de Tarapacá y Antofagasta.

En la provincia de Antofagasta existe un total de 8 hospitales, de los cuales 5 se ubican en la zona del río Loa; además, respecto a postas, policlínicos y consultorios, se cuenta con 13 en la provincia y 3 en la cuenca del Loa.

En relación a esto, la tabla 3.5 permite dar una idea de la forma en que los hospitales operaban hasta 1970 con respecto a número de camas, porcentaje de ocupación en el año de dichas camas y personal profesional disponible.

TABLA 3.5

Servicios de Salubridad a 1970 (1)

			PROFESIONALES		
	Camas	% Ocupado	Médicos	Dent.	Matronas
Provincia	1.289	---	129	24	44
Chuquicamata (SDH)	241	62,4	20	1	5
Calama (SNS)	78	80,4	13	3	4
María Elena (SDH)	76	50,6	5	1	3
Pedro de Valdivia (SDH)	87	57,5	5	1	3
Francisco Vergara (SDH)	34	0,9	1	1	--

(1) Fuente: Anuario del Servicio Nacional de Salud, 1970.
(SDH) Servicio Delegado a otras instituciones
(SNS) Servicio Nacional de Salud

Respecto a servicios menores, Quillagua dispone de una Posta de Socorro al igual que el campamento minero de Coya Sur, y Cochuqui dispone de un policlínico, el que posee una atención médica diaria de 6 horas.

Como conclusión sobre los servicios de salubridad en la zona del Loa, éstos se pueden estimar como relativamente aceptables; sin embargo, la crítica inmediata surge al considerar que la ciudad de Calama, con una población superior a los 50.000 habitantes, dispone de un hospital de apenas 78 camas.

3.2.5 Agua Potable y Alcantarillado.

En la cuenca del río Loa, la disponibilidad de agua potable para los centros poblados no es abundante. Dentro del sector urbano, sólo la ciudad de Calama posee servicios de esta especie, y en el sector minero, Chuquicamata, María Elena y Pedro de Valdivia también disponen de ellos.

De acuerdo al Inventario de Obras Públicas, hasta Diciembre de 1964 el total de la población de Calama era servida con un consumo máximo diario de 8.383 m^3/día y una dotación media diaria de 210 lt/Hab. La población servida con arranques representaba apenas la cuarta parte del total de la ciudad. Posteriormente en 1967, se iniciaron los trabajos destinados a mejorar la red existente; en ellos se consultaba la colocación de cerca de 10.400 metros de cañería, alimentados desde la aducción a Antofagasta.

Respecto a la gran minería del cobre, los servicios de agua potable para la población del mineral de Chuquicamata, otorgan una dotación diaria de 416 lt/Hab; hasta 1968 el consumo total del mineral era de 11.240 m^3 diarios.

En relación al salitre, todas las oficinas salitreras disponen de agua potable y los consumos diarios en m^3 son los siguientes:

María Elena	1.944 m^3
Pedro de Valdivia	2.462 m^3
Vergara	562 m^3
Coya Sur	216 m^3

Los servicios de alcantarillado de aguas servidas, tienen una distribución semejante al de los de agua potable. En efecto, de las zonas urbanas del Loa, sólo Calama posee servicios de alcantarillado para un sector parcial de su población (10°/o). A su vez, los campamentos mineros disponen de este servicio para su población; existen redes de alcantarillado de aguas servidas en Chuquicamata, Pedro de Valdivia, María Elena, Vergara y Coya Sur.

3.3 Aspectos de Producción.

3.3.1 Producción Agropecuaria.

Antecedentes agropecuarios recientes de la zona del Loa no se tienen. Debido a esto, debe recurrirse sólo al IV Censo Agropecuario del año 1964 - 1965, Tomo N° 3, correspondiente a la provincia de Antofagasta, o bien al Estudio Agrológico de la Hoya Hidrográfica del Loa del año 1965 - 1966, realizado por el Departamento de Conservación de Suelos y Aguas (DECSA) del Ministerio de Agricultura.

La escasa evolución que sufre la agricultura del Norte Grande, debido al medio poco propicio en que se desarrolla, permite suponer que las variaciones entre las cifras que a continuación se darán y las actuales, son muy pequeñas.

Considerando los datos que aparecen en la tabla 3.1, sobre distribución de la superficie sembrada o plantada en la provincia de Antofagasta y en la cuenca del Loa, se confeccionó la tabla 3.6 que presenta siembra, cosecha y rendimiento de las distintas especies de la provincia y de la cuenca del Loa.

TABLA 3.6

Siembra, Cosecha y Rendimiento de Especies Agrícolas Año 1964 - 1965 (1)

ESPECIES	PROVINCIA DE ANTOFAGASTA			COMUNAS DEL LOA		
	Superf. Sembr. (Hás)	Cosecha (qq mts)	Rendim. (qq/Há)	Superf. Sembr. (Hás)	Cosecha (qq mts)	Rendim. (qq/Há)
Trigo blanco	195,3	2.186	11,2	195,3	2.186	11,2
Trigo candeal	20,8	182	8,8	20,8	182	8,8
Cebada (grano seco)	1,4	13	9,3	1,4	13	9,3
Quinoa	2,0	11	5,5	2,0	11	5,5
Maíz (grano seco)	121,2	1.009	8,3	121,2	1.009	8,3
Frejoles (grano seco)	0,5	4	8,0	0,5	4	8,0
Papas	5,0	161	32,2	5,0	161	32,2
Remolacha azucarera	3,0	420	140,0	3,0	420	140,0
Ajo	7,6	---	---	7,6	---	---
Cebollas	10,4	---	---	8,8	---	---
Choclos	274,5	---	---	274,5	---	---
Frejoles (granados y verdes)	0,2	---	---	0,2	---	---
Habas	9,6	---	---	9,6	---	---
Lechuga	50,6	---	---	2,0	---	---
Melón	1,1	---	---	0,3	---	---
Repollo	6,0	---	---	---	---	---
Sandía	4,4	---	---	---	---	---
Tomate	10,7	---	---	0,3	---	---
Zanahoria	24,0	---	---	20,8	---	---
Hortalizas surtidas	92,7	---	---	27,2	---	---
Flores (para venta)	7,7	---	---	1,6	---	---
Alfalfa	2.553,5	48.695	19,1	2.553,5	48.695	19,1
Mezcla de pastos	7,3	3	0,4	7,3	3	0,4
Avena forrajera	5,3	---	---	5,3	---	---
Arboles frutales	130,1	---	---	130,1	---	---
Viñas y Parronales	2,2	32	14,5	2,2	32	14,5

(1) Fuente: IV Censo Nacional Agropecuario, Año Agrícola 1964 - 1965.

En relación a plantaciones forestales, en el Censo 1964 - 1965, se tuvo información en Calama de 1.039 álamos, 3 eucaliptos, 1 pino y 1.500 de otras variedades. Además, en la comuna de Toco existen 2.243 árboles de distintas variedades.

Respecto a la existencia de ganado, entre los años 1955 y 1965, ha sufrido un descenso importante; es así como los ovejunos por ejemplo, disminuyeron en más del 45 °/o y los cabríos en más del 20 °/o. La tabla 3.7 resume la existencia de ganado en la provincia de Antofagasta y en las comunas del Loa, así como también el porcentaje que la existencia en estas comunas representa del total provincial.

TABLA 3.7

Existencia de Ganado año 1965 (1)

ESPECIES		COMUNAS DEL LOA	
	Provincia	**Total**	**°/o provincia**
Vacunos	859	686	79,9
Caballares	430	430	100,0
Mulares	399	399	100,0
Asnales	2.407	2.366	98,3
Ovejunos	13.169	13.162	99,9
Cerdos	4.916	3.141	63,9
Cabríos	3.895	3.862	99,1
Alpacas y Llamas	2.896	2.896	100,0
TOTAL	28.971	26.942	

(1) Fuente: Censo Nacional Agropecuario, Año Agrícola 1964 - 1965.

De los 859 vacunos, 233 vacas se han destinado a la producción de leche, encontrándose 153 en la comuna de Calama y 80 en la comuna de Antofagasta.

Además del ganado que aparece en la tabla 3.7, existían en ese año alrededor de 1.500 animales en tránsito, de ellos, la mayoría correspondía a vacunos (1.440) y el resto a ovejunos, cabríos, porcinos y caballares. Estos animales en tránsito corresponden a los censados en estaciones de ferrocarril, ferias y mataderos.

Por último, en relación a aves y conejos, la tabla 3.8 dá una visión global de la existencia de estas especies animales, tanto en la provincia como en la cuenca del Loa.

TABLA 3.8

Existencia de Aves y Conejos año 1965 (1)

ESPECIES	Provincia	COMUNAS DEL LOA	
		Total	o/o provincia
Gallinas y pollos	52.519	14.211	27,1
Patos	757	757	100,0
Gansos	63	60	95,2
Pavos	131	122	93,1
Conejos	5.660	5.392	95,3
TOTAL	59.130	20.542	34,7

(1) Fuente: Censo Nacional Agropecuario, Año Agrícola 1964 - 1965

Dentro de la especie de las gallinas, de los 52.519 ejemplares existentes el año 1965, 22.660 eran gallinas o pollas ponedoras que diariamente producían alrededor de 10.000 huevos.

3.3.2 Producción Minera.

La provincia de Antofagasta, dentro de la gran minería, es la más importante del país. En ella se encuentran las principales minas de cobre y salitre del país, que a su vez, representan las mayores riquezas mineras explotadas por Chile en la actualidad. En la cuenca del Loa, se concentran las principales minas de la provincia; Chuquicamata en el cobre, María Elena y Pedro de Valdivia en el salitre, son un ejemplo de esto.

Además de cobre y salitre, existen minerales que dentro del país representan una parte importante de la producción total. Es así como se explota además, azufre, sulfato de sodio, yodo, plata y molibdeno.

Las tablas 3.9 y 3.10, intentan visualizar la relación entre los diferentes minerales explotados en la provincia con respecto al total del país, en términos de toneladas por año y porcentajes, referidos todos al año 1968.

TABLA 3.9

Producción Minera año 1968 (1)
Minerales No-Metálicos

Mineral	Total Provincia (Ton/año)	Total País (Ton/año)	°/o de la provincia con respecto al país
Azufre	41.540	41.540	100,0
Calizas	92.586	2.030.741	4,6
Guano	9.838	19.458	50,6
Sal común	23.773	852.731	2,8
Salitre	599.256	719.168	83,3
Sulfato de sodio	11.659	19.391	60,1
Yeso (colpa)	647	103.063	0,6
Yodo	1.992	2.156	92,4
TOTAL	781.291	3.788.248	20.6

(1) Fuente: Anuario de la Minería en Chile de 1968.

TABLA 3.10

Producción Minera año 1968 (1)
Minerales Metálicos

Mineral	Total Provincia (Ton/año)	Total País (Ton/año)	°/o de la provincia con respecto al país
Cobre	326.702	666.664	49,0
Oro	282	1.796	15,7
Plata	72.914	116.306	62,7
Molibedno	1.180	3.853	30,6
Plomo	4	990	0,4
TOTAL	401.082	789.609	50,8

(1) Fuente: Anuario de la Minería en Chile de 1968.

3.3.3 Pesca.

Las costas del Norte Grande representan dentro del país, la zona en que la pesca tiene su mayor importancia. Alrededor del 80 o/o de la producción total de pescados del país corresponde a la zona comprendida entre el límite Norte de Chile y la provincia de Atacama. No ocurre lo mismo con los mariscos, que en esta zona tienen una importancia pequeña (alrededor del 1o/o de la producción total del país).

Las tablas 3.11 y 3.12 muestran la producción de pescados y mariscos durante los años 1965, 1966 y 1967, en el país y en el Norte Grande. Esta cuantificación de la producción, se hace también para las especies principales que se producen en la zona del Norte Grande.

TABLA 3.11

Producción Pesquera (1)

Año	Total País (Ton)	NORTE GRANDE Total (Ton)	o/o del país	Anchoa (Ton)	Jurel (Ton)
1965	642.957	454.338	70,7	---	---
1966	1.309.139	1.104.627	84,4	1.066.099	8.974
1967	969.011	741.927	76,6	701.183	16.108

TABLA 3.12

Producción de Mariscos (1)

Año	Total País (Ton)	NORTE GRANDE Total (Ton)	o/o del país	Erizos	Locos	Cholgas
1965	65.782	763	1,2	---	---	---
1966	74.270	826	1,1	185	175	85
1967	83.814	1.183	1,4	244	228	391

(1) Fuente: Anuario de Agricultura y Pesca (1967)

Con respecto a las tablas anteriores, es necesario indicar que la importancia de la provincia de Antofagasta en la producción pesquera del Norte Grande es pequeña, ya que ésta se concentra fundamentalmente en los puertos de Arica e Iquique ubicados en la provincia de Tarapacá,

3.3.4 Industrias.

En la provincia de Antofagasta, existían hasta 1967,625 industrias manufactureras (2º/o del total del país). De ellas, la mayoría corresponde a la comuna de Antofagasta con un 59,2º/o y una ocupación de 5.655 personas de las cuales 3.974 son obreros. Las comunas del Loa con 229 industrias representan el 36,6º/o del total de la provincia y ocupan a 3.191 obreros de un total de 4.551 personas.

En cuanto al tamaño de estas industrias manufactureras, la mayor parte mantiene una ocupación entre 1 y 4 personas (68,5º/o del total de la provincia), mientras que el 95,2º/o mantiene un número menor de 50.

La tabla 3.13 resume el desarrollo de las industrias manufactureras en la provincia de Antofagasta en el año 1967, considerando rubros de trabajo de las industrias, números de establecimientos, número total de empleados ocupados y de obreros.

TABLA 3.13

Industrias Manufactureras de la provincia de Antofagasta (1)

Tipo de Industria	Nº establecimientos	Total Ocupac.	Obreros
Industria de Productos Alimenticios	130	1.566	1.229
Industria de Bebidas	3	361	277
Fabricación de Textiles	1	10	6
Fabricación de Calzados y Prendas de Vestir	146	443	219
Industria de la Madera y el Corcho	20	209	124
Fabricación de Muebles y Accesorios	54	339	252
Imprentas, Editoriales e Industrias Conexas	19	380	138
Industria del Cuero y Productos del Cuero y Piel	2	4	1
Fabricación de Productos de Caucho	12	47	24
Fabricación de Sustancias y Productos Químicos	13	2.512	1.917
Fabricación de Productos Minerales No-metálicos	16	113	87
Industrias Metálicas Básicas	2	1.450	1.140
Fabricación de Productos Metálicos	62	1.314	980
Construcción de Maquinarias Excepto Eléctrica	15	688	438
Construcción de Maquinarias y Artículos Eléctr.	32	580	270
Construcción de Material de Transporte	68	627	437
Industrias Manufactureras Diversas	30	53	11
TOTAL PROVINCIA	625	10.696	7.550
TOTAL PAIS	36.220	425.292	313.733

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos.

3.3.5 Transportes y Comunicaciones.

Las formas de transporte en la zona de Antofagasta, comprenden el transporte aéreo, marítimo, ferroviario y terrestre.

En relación al transporte aéreo, en la provincia existen 4 aeropuertos que mantienen un servicio constante de pasajeros, carga y correo. La tabla 3.14 resume las actividades en dichos aeropuertos en el año 1968.

TABLA 3.14

Movimiento de Aeropuertos de Antofagasta (1)

AEROPUERTOS	Nº DE PASAJEROS		MERCANCIAS (Kg)		CORREO (kg)	
	Entradas	Salidas	Entradas	Salidas	Entradas	Salidas
Barriles/Tocopilla	1.405	1.555	67.173	10.822	777	1.445
Calama/Calama	737	1.097	59.689	8.540	1.143	969
Cerro Moreno/Antofagasta	29.704	35.876	1.402.353	305.360	22.472	22.119
Las Breas/Taltal	415	404	14.335	3.290	610	483
TOTAL PAIS	380.444	398.111	11.700.506	14.800.124	185.682	200.069

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos.

En el transporte marítimo, la navegación costanera fue la que más movimiento tuvo en el año 1968 en los puertos de la provincia, aunque en el país la navegación de cabotaje fué más importante. El movimiento portuario de la provincia en relación a llegada y salida de buques y condición de carga de éstos, se muestra en la tabla 3.15, considerando los 4 puertos del litoral Antofagastino.

TABLA 3.15

Movimiento Marítimo en la Provincia de Antofagasta (1)

PUERTOS	NAVEGACION EXTERIOR				NAVEGACION DE CABOTAJE			
	Buques Entradas		Buques Salidas		Buques Entradas		Buques Salidas	
	Total	Cargados	Total	Cargados	Total	Cargados	Total	Cargados
Tocopilla	30	25	82	74	104	82	86	75
Mejillones	8	8	3	3	18	18	18	18
Antofagasta	115	104	150	148	280	277	265	262
Taltal	2	--	4	2	56	36	57	52
TOTAL PAIS	1.328	926	1.328	1.107	9.327	7.453	9.180	7.435

	NAVEGACION COSTANERA			
	Buques Total	Entradas Cargados	Buques Total	Salidas Cargados
Tocopilla	117	103	77	74
Mejillones	489	487	465	464
Antofagasta	21	21	26	26
Taltal	20	20	17	17
TOTAL PAIS	2.503	2.219	2.430	2.148

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos.

En cuanto al transporte ferroviario, en la provincia de Antofagasta existen líneas de la Empresa de Ferrocarriles del Estado y de particulares. Las primeras, corresponden a las líneas de la Red Norte y al ferrocarril Internacional de Antofagasta a Salta; las pertenecientes a particulares son varias y entre ellas podemos contar las siguientes: Tocopilla - Toco, Antofagasta - Bolivia, Taltal - Cachinal. Esta última línea transporta solamente carga, mientras que las anteriores transportan además, pasajeros.

La tabla 3.16 resume las características principales de los ferrocarriles de la provincia de Antofagasta y de todo el país hasta el año 1968. No se incluye los de la red fiscal, que en el Norte Grande tienen un largo total de vía de más de 2.000 Km.

TABLA 3.16

Transporte Ferroviario (1)

	LONGITUD DE LA VIA (Km)		Locomotoras	Coches Pasajeros	Carros carga y equipaje	Pasajeros Transportados	CARGA TRANSPORTADA	
	Principal	Desvíos					Toneladas	Tonelada - Km
Tocopilla - Toco	222	49	19	8	897	3.376	767.148	76.019.089
Antof. - Bolivia	727	148	46	80	2.767	58.222	1.218.701	334.893.457
Taltal - Cachinal	127	31	24	2	478	------	36.101	3.685.682
Total país	8.157	1.748	973	955	14.939	21.963.390	23.720.281	3.113.926.336

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos.

En relación al transporte terrestre, la tabla 3.17 muestra la circulación de vehículos durante el año 1968. Se han confrontado la comuna de Calama, la provincia y el país, a fin de dar una visión global de este aspecto.

TABLA 3.17

Circulación de Vehículos (1)

	Automóviles	Autobuses y Microbuses	Camionetas y camiones
Comuna de Calama	954	198	1.612
Provincia	3.184	451	4.846
Total País	130.225	12.614	111.721

(1) Fuente: Dirección General de Estadísticas y Censos.

De los caminos existentes en la provincia de Antofagasta, 1.290 Km son de pavimento bituminoso (32,6 °/o de los pavimentos bituminosos del país), 1.774 Km de estabilizados y ripiados (7,4 °/o del país), y 1.662 Km. de caminos de tierra (4,3 °/o del país). No se habían contabilizado hasta 1968, caminos de hormigón de cemento. El total de caminos en Antofagasta es de 4.726 Km. y en el país es de 69.177 Km.

En relación a puentes, en la provincia hay en total 10 para el tránsito vehicular, mientras que en el país hay 4.616. Estos 10 puentes tienen en conjunto 272 m de largo y los de todo el país 121.479, de ellos, 1 es de madera, 3 de hormigón y madera y 6 distribuídos entre puentes de hormigón y fierro, fierro y madera, y colgantes.

Con respecto a las telecomunicaciones, el país disponía hasta 1968 de 665 centrales y la provincia de Antofagasta de algo más de 50, las cuales estaban distribuídas en Centrales Telegráficas, Radio Telegráficas, de Prueba, Cables y Estaciones de Ferrocarril.

3.3.6 Energía Eléctrica.

La provincia de Antofagasta se encuentra ubicada en la primera región eléctrica (de Arica a Chañaral).

En esta región están situadas las grandes empresas mineras del cobre y del salitre, así como también importantes industrias pesqueras, las que tienen un alto consumo de energía eléctrica que es generada por centrales térmicas propias. Estas plantas, en algunos casos se sitúan junto a las minas (María Elena, Coya Sur, Pedro de Valdivia), y en otros, se encuentran en la costa y envían la energía hasta los centros mineros por medio de líneas de trasmisión (Tocopilla). Debido a esto, la potencia instalada y consumo anual con respecto a su población, son mayores que el de otras regiones del país.

Es así como el consumo bruto es de aproximadamente 3.270 KWH/Hab.

En la provincia de Antofagasta existen sólo tres centrales hidroeléctricas, dos de las cuales se ubican en la cuenca del Loa. La primera en el San Salvador cerca

de los Ojos de Opache y la segunda en el Loa en la zona de los tranques Sloman y Santa Fé.

3.3.7 Turismo.

Aunque el clima desértico predominante en la provincia de Antofagasta, no permite la formación de un paisaje con vegetación exuberante o cursos de agua dignos de visitar para el turista, existen sin embargo, otros aspectos de interés que sirven como atracción turística.

Sin lugar a dudas, que las grandes industrias del salitre y el cobre, las mayores del mundo, conservan un atractivo siempre latente para el turista visitante. Es necesario destacar los restos de culturas precolombinas, que dan al visitante una visión de la forma en que evolucionó la civilización con el tiempo y los rasgos característicos de dicha evolución.

La provincia de Antofagasta dispone de hoteles de turismo en Antofagasta, Calama y San Pedro de Atacama, además de museos y bibliotecas en los tres lugares indicados.

De un total de 296 hoteles de turismo existentes en el país hasta 1967, 8 correspondían a la provincia de Antofagasta con cerca de 400 habitaciones disponibles. Esto representaba el 5 °/o del total del país.

CAPITULO 4

RESUMEN DE ALGUNOS ESTUDIOS ANTERIORES

4.1 Aguas del Río Loa
Autor: Gustavo Lira - Ingeniero Civil
Fecha: 1921

4.2 Estudio Hidrológico Loa en la Isla
Autor: Pablo Kleiman - Ingeniero Civil
Fecha: Noviembre , 1948

4.3 Tasa de Riego para el Valle del Loa
Autor: Domingo Lara H. - Ingeniero Agrónomo
Fecha: 1948

4.4 Estudio Geológico para el Tranque Loa en la Isla
Autor: Ricardo Fenner - Geólogo

4.5 Anteproyecto del Regadío de Calama y Chiu-Chiu
Autores: Renato Rodríguez - Ingeniero Civil
Sergio Rivera - Ingeniero Civil
Fecha: Mayo, 1962

4.6 Experiencia Sobre Lavado de Suelos en Calama
Autor: Jorge Domínguez R.
Fecha: 1963
Memoria de Título, Facultad de Agronomía
Universidad Católica de Chile

4.7 Habilitación de un Sector de Suelo Salino - Sódico de las Vegas de Calama
Autor: Patricio Lara G.
Fecha: 1965
Memoria de Título Facultad de Agronomía
Universidad Católica de Chile

4.8 Hidrología del Loa y Embalse Conchi para Uso Industrial
Autor: Absalón Monsalve - Ingeniero Civil
Fecha: Enero, 1967

4.9 Sobrantes de Agua en el Río Loa
Autor: Juan Tolosa M. - Ingeniero Civil
Fecha: Febrero, 1967

4.10 Estudio de la Contaminación del Río Loa
Autor: Hans Niemayer F. - Ingeniero Civil
Fecha: 1967

4.11 Anteproyecto del Embalse Conchi
Autor: Absalón Monsalve - Ingeniero Civil
Fecha: 1967

4.12 Embalse Conchi
Bases Teóricas del Proyecto
Autor: Absalón Monsalve - Ingeniero Civil
Fecha: Mayo 1969

4.1 Aguas del Río Loa. (G. Lira ; 1921).

Este informe sobre el Río Loa se divide en 3 grandes capítulos.

I.- Régimen de las aguas del río Loa.

II.- Aprovechamiento actual y derechos actuales sobre las aguas del río Loa.

III.- Las necesidades futuras de agua en la región del Loa. Justificación del proyecto de reglamento.

En el primer capítulo se empieza haciendo una descripción general de la cuenca del río Loa indicando todos los afluentes. Luego se habla de la calidad de las aguas indicando que ellas son en general salobres con algunas excepciones en su nacimiento. Mediante un cuadro de la composición de las aguas en diferentes secciones del Loa y de algunos de sus afluentes el Sr. Lira demuestra que las aguas más salobres son las del río Salado y que aguas abajo de la desembocadura del Salado en el Loa la cantidad de cloro de las aguas las hace impropias para riego.

Para describir la geología de la hoya el autor cita el informe del geólogo Sr. Quillot que dice que el cañón del Loa debe su formación a la erosión del agua y no a una dislocación del terreno. Además, de acuerdo a los terrenos atravesados por el Loa, no cree que este río pierde aguas por infiltración.

Los datos topográficos de la hoya aparecen tabulados y calcula una pendiente media para el río Loa de un 1%.

Los únicos datos de lluvia que se incluyen (mensuales y máximos en 24 horas), corresponden a la estación San Pedro del Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia para los años 1917 y 1918. También presenta datos de evaporación media diaria para esos mismos años en 4 estaciones: San Pedro, Calama, Chacance y Quillagua. De estos datos concluye que el clima de toda la hoya es de desierto ya que la evaporación media diaria es superior a la máxima precipitación diaria.

Para estudiar el régimen de las aguas del Loa, la Dirección de Obras Públicas instaló estaciones de aforo a lo largo del Loa y en la desembocadura con sus principales afluentes (San Pedro, Salado y San Salvador). Con esas estaciones se obtuvieron caudales medios mensuales para los años 1917 y 1918. También se practicaron aforos esporádicos en varias quebradas, canales de riego y tributarios menores de la hoya. Con estos datos el autor hace un perfil hidrográfico del río y luego analiza detalladamente el régimen del río por tramos.

Los antecedentes principales de este análisis son los siguientes:

a) El río Loa en las zonas no alteradas artificialmente (aguas arriba de Conchi), tiene un régimen muy uniforme.

b) El río San Pedro es constante en su régimen (comprobados con aforos hechos en Marzo de 1906, Octubre de 1913, Septiembre de 1916).

c) De aforos practicados en Septiembre de 1916 y Junio de 1918 en los canales de la zona de Chiu-Chiu y en el río Loa, antes y después de la zona de Chiu-Chiu,

se desprende que el 60°/o de los gastos desviados por los canales vuelven al río en forma de desagües, derrames y filtraciones de los terrenos regados.

d) En la zona de Calama también hace un balance mediante 4 aforos y concluye que para el invierno (aforos de Julio de 1906 y Junio de 1918) el porcentaje del caudal extraído que se recupera es algo mayor que el 70°/o y que para la temporada de riego (aforos de Octubre de 1913 y Septiembre de 1916) no alcanza a 50°/o. Las menores recuperaciones de esta zona con respecto a la de Chiu-Chiu las explica diciendo que ella es más ancha y además que una parte de los derrames escurren hacia las vegas de Calama las que desaguan parcialmente a la hoya del río San Salvador.

e) El río Loa entre Chimbote y Chacance varía poco su caudal (comprobado con aforos de Octubre de 1916, Abril de 1917, Agosto de 1917 y Julio de 1918).

f) El río San Salvador se forma con las aguas de los Ojos de Opache y de la quebrada Quetena. El Sr. Lira afirma que las aguas de la quebrada Quetena y de los Ojos de Opache provienen de filtraciones de las vegas de Calama. Esto último lo asegura en base a los 3 aforos siguientes que presentan un caudal mayor para la época de riego:

Octubre de 1913	636 l/s.	época de riego
Septiembre de 1916	597 l/s.	
Julio de 1918	320 l/s.	

g) El río San Salvador no presenta crecidas lo que se explica por el orígen de sus aguas.

h) El río Loa entre Chacance y Quillagua presenta un caudal prácticamente constante y sólo es perturbado por la distribución horaria de la regulación de los embalses Santa Fe y Sloman que están destinados a energía eléctrica.

i) En Quillagua el río no es perturbado por las extracciones de 2 canales de riego.

j) Desde Quillagua hasta la desembocadura el aumento de caudal es pequeño y se debe principalmente a la recuperación desde los terrenos regados en Quillagua.

Termina el capítulo I con un resumen de los gastos mínimos normales para distintas secciones del Loa y de sus afluentes tanto para la epoca de riego como para la época de invierno. El gasto mínimo normal lo define el autor como el menor caudal medio mensual del año 1917 ya que observaciones más prolongadas de la Chile Exploration Co. y la compañía salitrera Sloman permiten afirmar "que 1917 es un año que se puede calificar de malo en cuanto a cantidad de agua".

En el capítulo II sobre aprovechamiento actual y derechos actuales sobre las aguas del río Loa, se detallan los caudales extraídos tanto del Loa como de sus tributarios para usos de agua potable, industria salitrera, beneficios de minerales, regadío y fuerza motriz. De acuerdo a las cantidades de agua captadas por los canales y a las superficies regadas, las tasas brutas de riego son:

	Sup. regada	Tasa bruta		
Chiu-Chiu	590 Há.	4.4 l/s/Há.	=	13.9 m de agua/año
Calama	1.700 Há.	3.0 l/s/Há.	=	9.5 m de agua/año

Considerando la disminución efectiva del gasto del río en las zonas de riego las tasas que resultan son:

Chiu - Chiu	1.6 l/s/Há.	=	5.0 m de agua/año
Calama	1.7 l/s/Há.	=	5.4 m de agua/año

Termina el capítulo II con una lista detallada de todas las concesiones de aguas otorgadas en los diferentes tramos del río Loa y sus afluentes.

En el capítulo III, sobre las necesidades futuras de agua en la región del Loa, calcula las demandas futuras y con ellas justifica el proyecto de reglamento del ingeniero Sr. Urbano Mena de 1913.

En la parte correspondiente a riego encuentra muy exagerada la tasa bruta de 4.4 y 3.0 l/s/Há. en Chiu-Chiu y Calama respectivamente y recomienda un caudal de reserva para riego de 2.0 l/s/Há. (6.3 mts/año). Además, justifica numéricamente las siguientes reservas:

500	l/s.	para agua potable.
400	l/s.	para elaboración de salitre.
300	l/s.	para beneficio de minerales.

4.2 Estudio Hidrológico Loa en la Isla. (P. Kleiman ; 1948)

Este estudio comprende los siguientes capítulos:

I Generalidades
II Estadísticas
III Tasa de Riego
IV Regulación del Embalse
V Conclusiones

4.2.1 Generalidades.

Se dan todos los datos con respecto a ubicación geográfica y superficies de riego a la fecha:

Chiu - Chiu	:	600 Hás.
Calama	:	1.800 Hás.
Quillagua	:	140 Hás.

En cuánto a régimen climático, de precipitaciones y características hidrográficas, cita informes del Ingeniero don Gustavo Lira.

En cuanto al régimen de cultivos y desarrollo agrícola de la zona de Calama, se remite el informe respectivo del Ingeniero Fernando Juliet, de Diciembre de 1946.

4.2.2 Estadística.

1) Loa en Conchi.

Se analizan las estadísticas existentes entre Septiembre 1912 y Junio 1931; luego de un análisis bastante completo se llega a las siguientes conclusiones:

1913 a 1915	Estadística dudosa. No se puede revisar.
1916 a 1922	Período bien controlado. Curva de descarga bien definida.
1923 a 1925	Valores sólo aproximados ya que no hay aforos en este período. Se utilizó la misma curva de descarga que en el período 1916 - 1922.
1926 a 1931	Se desecha ya que aproximadamente en el año 26 se produjo un cambio de sección y hay un solo aforo posterior a esa fecha.

2) Loa en Chiu - Chiu (aguas abajo de la zona de riego).

Se analiza en forma completa esta estadística y se concluye que:

1917 a 1922	Período bien controlado.
1923 a 1930	Valores sólo aproximados ya que se calculó en base a la curva de descarga 1917 - 1922. En este período hay un sólo aforo que difiere poco de la curva de descarga antes mencionada.

3) Loa en Yalquincha.

A la fecha del estudio se disponía de los siguientes datos en Yalquincha.

Enero 1916 a Septiembre 1919 y

Junio 1947 a Mayo 1948

Se analiza exhaustivamente la estadística año por año, y se acepta como bien controlado el período Enero 1916 a Septiembre 1919.

4) Relleno de estadística.

Se completó la estadística de Yalquincha para un período desde Enero 1913 a Diciembre 1930, sintetizando esta estadística de acuerdo con los siguientes criterios:

Enero 1913 - Diciembre 1915	Correlación Conchi - Yalquincha
Enero 1916 - Septiembre 1919	Estadística existente
Oct. 1919 - Diciembre 1925	Correlación Conchi - Yalquincha
Enero 1926 - Diciembre 1930	Estadística Chiu - Chiu + Gasto minimo en el río Salado encontrado por Gustavo Lira.

Para completar el período 1926 - 1930 se intentó una correlación Yalquincha -Chiu - Chiu pero no dio resultado. Finalmente, se desechó la estadística entre Enero 1913 y Diciembre 1915 por aparecer con valores muy disparados y por haberse sintetizado la estadística sin revisión. La estadística final adoptada va desde Enero 1916 a Diciembre 1930.

Para los efectos de regulación de embalse se considera que los caudales en La Isla son iguales a los de Yalquincha.

4.2.3 Tasas de Riego.

Las tasas de riego dadas por el Ingeniero Agrónomo Domingo Lara, se modifican considerando una pérdida de 20% por evaporación en el embalse y canales. Con esto se llega a una tasa de 30.000 m^3/Há/año.

4.2.4 Regulación del Embalse.

Se estudia la regulación del embalse para 3 condiciones de superficies regadas: 4.000 , 5.000 y 6.000 Hás.

Se determina que el riego actual, sin construir el embalse, tiene una seguridad de 80%.

Suponiendo embalse lleno al comienzo del período se determina lo siguiente:

- Una capacidad de embalse de 18 millones de m^3 para 4.000 Hás. con seguridad 100 %.
- Para 5.000 Hás. una capacidad de embalse de 100 millones de m^3 con una seguridad de 60 %.
- Para 6.000 Hás. se obtienen valores bajísimos de seguridad de riego.

4.2.5 Conclusiones.

El autor deduce las siguientes conclusiones:

a) No se dispone de una estadística que permita precisión en los resultados.

b) La utilidad del embalse es relativa debido a la constancia de los gastos del río.

c) Con un embalse de 20 millones de m^3 y una tasa de 30.000 m^3/Hás./año, se pueden regar 4.000 Hás con una seguridad cercana a 100 %.

d) Sin embalse, se pueden regar 4.000 Hás, es decir, unas 2.000 Hás nuevas con seguridad 80 %.

e) Nada se gana con un embalse de gran capacidad (100 a 200 millones de m^3), para regar una superficie mayor. No se obtiene seguridad de riego adecuada pues el río no tiene agua.

f) Si se adopta una tasa distinta a 30.000 m^3/Há , una proporción simple indica la nueva superficie regada.

El autor recomienda la construcción de un embalse de 20 a 30 millones m^3 de capacidad para el riego de 4.000 Hás.

4.3 Tasa de Riego para el Valle del Loa. (D. Lara ; 1948)

El autor fija las tasas de riego mensuales en base a datos de Copiapó, aumentando al doble dichos datos y modificándolos de acuerdo a los cultivos de la zona en estudio, aunque estos cultivos son diferentes a los de Calama. Estas tasas las modifica suponiendo una distribución más racional de los cultivos, y luego varía estos valores aplicándoles un porcentaje mensual para tener en cuenta la variación de la evaporación para los distintos meses del año. Llega finalmente a una tasa de 23.400 m^3/Há/año.

4.4 Estudio Geológico para el tranque Loa en La Isla. (R. Fenner ; 1948)

El autor comienza por un análisis geológico completo de la zona Norte, haciendo comparaciones con otras zonas, de Chile principalmente.

Luego el Sr. Fenner se refiere específicamente al lugar donde se construiría el tranque, y después de un análisis de las condiciones geológicas se pronuncia en contra de la construcción en la zona de La Isla, debido a la posibilidad de la existencia de socavones en las calizas. Compara con el caso de los Ojos de Opache que en su opinión provienen en parte del exceso de agua de riego en Calama, y en parte de filtraciones del río Loa.

En todo caso el autor declara que no se puede afirmar a ciencia cierta la existencia de estos socavones, y sería necesario efectuar sondajes según prolongación del eje del tranque elegido; además, sería necesario efectuar sondajes en el lecho del río para determinar la posición de la roca.

Luego el autor hace un análisis muy somero de las disponibilidades de agua y deduce:

a) Considerar una pérdida por filtración entre 500 y 1.000 l/s.

b) Evaporación: 3,2 m/año, según Lira y Brüggen, medidos entre 1917-1918.

c) La presa en los primeros 5 a 10 m. embalsaría agua sólo en el cauce del río, pero cada metro siguiente inundaría una área equivalente a 2 Km^2.

d) De acuerdo con esto se perderían por evaporación 200 l/s. por cada metro de agua embalsada sobre los 5 a 10 mts.

e) Tomando un Q medio para el río de 3,5 m^3/seg llega a la conclusión que se evaporaría toda el agua en un embalse muy grande. Luego recomienda una presa de no más de 20 a 25 m. de altura.

En seguida entra a analizar calidades de agua en base a los datos de don Gustavo Lira de contenido de cloro en el río Loa y en el río Salado.

Llega a la conclusión que aún eliminando las aguas del Arroyo Salado que son las de peor calidad, a causa de la evaporación en el embalse (que estima en 500 l/s), la calidad del agua obtenida no es apta para riego. Finalmente haciendo un pequeño balance y considerando pérdidas por evaporación de 500 l/s , por filtracion de 500 l/s y una altura de muro de 22,5 m concluye que se perdería más agua que el gasto medio regulado.

El autor se inclina a creer que la idea de un embalse debe desecharse, aún cuando manifiesta que esto no sería definitivo y recomienda un estudio más prolijo del gasto anual del Loa y sus crecidas.

4.5 Anteproyecto del Regadío de Calama y Chiu - Chiu. (R.Rodríguez y S.Rivera;1962)

El trabajo tiene como finalidad fundamental el estudiar la factibilidad del mejoramiento y/o incremento del riego en Calama y Chiu - Chiu. En forma global abarca los siguientes aspectos:

- Análisis de los recursos de agua disponibles
- Análisis de la calidad de los suelos
- Estudio de drenaje
- Determinación de las tasas de riego
- Anteproyecto de las obras requeridas
- Presupuesto para estas obras
- Estudio económico de los beneficios logrados

El estudio se complementa con los siguientes informes anexos:

- Informe Geológico del Riego en Calama (R. Fenner)
- Informe Geológico sobre el Salar de Inacaliri (R.Fenner)
- Recursos de Agua de la Región de Antofagasta (W.E.Rudolph).Extracto.
- El Algarrobo (O. Ossa)

- Informe Geológico de la Angostura de Ayquina (R. Fenner)
- Informe sobre Drenaje (J.S.Roger)

y los siguientes datos anexos:

- Boletines de análisis de agua para diversos puntos
- Informe sobre Sondajes en Calama y Chiu - Chiu
- Informes de suelos en Calama - Análisis de Calicatas.

En relación al análisis de los recursos de agua disponibles, el informe comienza analizando las estadísticas fluviométricas disponibles, para lo cual se basa en forma directa en el análisis hecho por Kleiman (Estudio de Embalse en La Isla). De tal modo que acepta las estadísticas definitivas de Kleiman para las estaciones Loa en Conchi y Loa en Yalquincha en el período 1916 - 1925. Mediante la estadística en Yalquincha (o los aforos cuando ésta no es confiable) en el período de 1947 en adelante y estableciendo una correlación con la estadística más corta de Conchi, logra completar una estadística para estas dos estaciones en el período 1947 - 1961. Estas estadísticas se modifican en seguida tomando en cuenta las mercedes de agua concedidas y en operación, de tal forma que al hacer el balance de aguas se respeten las mercedes concedidas.

Enseguida, para analizar la posibilidad de un embalse de regulación en el río Salado, se sintetizan una estadística de caudales en el río Salado en base a aforos existentes en Salado en Ayquina, Salado en Desembocadura y Loa en Conchi. Con este mismo fin, se hace una estimación de la crecida en Ayquina, para el diseño del vertedero.

El estudio evalúa también las siguientes fuentes de recursos de agua: recuperaciones de riego en la zona de Calama, agua artesiana proveniente de algunos "ojos" en las vegas de Calama, drenaje del Salar de Inacaliri, además de la estadística fluviométrica en Yalquincha y el gasto regulado por el embalse del Salado en Ayquina.

En cuanto a las posibilidades de aprovechamiento de aguas subterráneas para regadío, el informe las descarta de acuerdo a los resultados obtenidos por dos sondajes, uno en Chiu - Chiu y uno en Calama que se construyeron de acuerdo a las recomendaciones dadas por Brüggen (1930). Sin embargo no descarta que para otros fines haya posibilidad de aprovechar agua subterránea en otros lugares recomendados por Brüggen.

Relativo al drenaje de las zonas de riego, este se estudió y diseñó según las conclusiones obtenidas de las observaciones del nivel de la napa freática en una red de pozos de observación. Se pudo determinar que el escurrimiento general en la zona de Calama es de oriente a poniente (paralelo al río).

El informe incluye una subdivisión de los suelos en cuanto a su calidad y se hizo una clasificación en suelos aptos para cultivar, susceptibles de recuperación y no susceptibles de ser recuperados. La clasificación se hizo en la suposición de que existe una red de drenaje capaz de mantener la napa a un mínimo de 1.50 m. bajo el terreno natural.

Relativo a las tasas de riego, el estudio supone tres cultivos fundamentales que son alfalfa, trigo y maíz, con una rotación de 8 años que dé los siguientes porcentajes para cada uno: 75º/o , 12.5º/o , y 12.5º/o. En base a esta distribución de cultivos, se elaboró un calendario de riego y se determinó el número de riegos en el año. La tasa de riego se estimó en 26.000 m^3/Há al año, en base a los datos reunidos de tres distin -

tas fuentes: informaciones obtenidas de los agricultores de Calama, mediciones en terreno de las cantidades de agua ocupadas en riego y medidas de atmómetros instalados en la zona.

Según el calendario de riegos previamente elaborado, se distribuyó esta tasa anual en los distintos meses.

En base a las conclusiones con respecto a calidad de suelos y drenaje de los mismos se determinó las siguientes superficies posibles de ser regadas:

Calama	2.920	Hás.
Chiu - Chiu	645	Hás.
Area Total	3.565	Hás. (1)

En cuanto a las superficies por regar con el río más el embalse proyectado:

Area total por regar en Chiu - Chiu	=	395 Hás.
Area total por regar en Calama	=	2.540 Hás.
	Total	2.935 Hás.

Se indica que mediante un estudio de regulación que se hizo en base a 2.900 Hás, se obtuvo una seguridad de riego de 85°/o con un embalse en Ayquina de 15×10^6 m^3 (útiles). Se estimaron las pérdidas por evaporación en $0,5 \times 10^6$ m^3 y la pérdida de capacidad por depósitos de sedimentos en otros $0,5 \times 10^6$ m^3, lo que da una capacidad total de 16×10^6 m^3.

Sin embalse se regarían 2.055 Hás con 85°/o de seguridad y con la tasa teórica de 26.000 m^3/Há/año.

Las obras consideradas en este informe, y cuyo anteproyecto se incluyó son:

a) Un embalse para el que se estudiaron tres sitios: Conchi en el Loa, Quiruma en el Salado y Ayquina en el Salado, y de los cuales se eligió Ayquina después de un estudio económico del muro. Además, el geólogo Sr. Fenner recomienda el lugar de acuerdo con su informe, que se incluye en el trabajo en forma de anexo.

b) Sistemas de drenaje para Chiu - Chiu y Calama. En Chiu - Chiu en base a un dren en zanja abierta como dren de contorno que intercepte las filtraciones desde los suelos altos, y eventualmente drenes paralelos en base a tubos enterrados. En Calama un sistema de drenes perpendiculares al sentido de escurrimiento (oriente a poniente), que descargan al río.

(1) De estas, una parte corresponde a zonas ya regadas en Chiu - Chiu y otra podrá regarse en Calama con recuperaciones del riego en esta zona; por lo tanto, la superficie por regar con recursos del río en Yalquincha más el aporte regulado del embalse son las indicadas más abajo.

c) Canales en dos formas, mejorando la red existente y construyendo algunos canales nuevos revestidos. El esquema sería el siguiente:

En Lasana: se mejoran canales existentes.

En Chiu-Chiu: se mejora un canal y se construyen dos canales nuevos.

En Calama: se mejoran dos canales que riegan el actual fundo Yalquincha y se construyen 3 canales nuevos, dos de ellos con bocatoma común (N. del R. "Se encuentra construída a la fecha").

En cuanto a la puesta en riego, se considera para la alfalfa el sistema de eras de 20 x 100 m. que se regarán por acequias que limitarán las eras. Se considera el lavado de suelos con inundaciones de cada era. Con 2 o 3 lavados se estima suficiente si se dispone de un buen drenaje.

El informe incluye un presupuesto para todas las obras consideradas en el anteproyecto.

Finalmente, se hace un estudio económico comparando dos alternativas.

- Construyendo el embalse
- Sin construir el embalse

Se obtuvo como conclusión, que en el primer caso el rendimiento económico bruto (1) es 12,1% y en el segundo caso 9,7%.

4.6 Experiencia sobre lavado de suelos en Calama. (J. Domínguez ; 1963).

Las experiencias descritas en esta Memoria corresponden a experiencias realizadas por la Dirección de Riego como parte de los estudios efectuados para la habilitación de suelos y el mejor aprovechamiento de los recursos de agua disponibles. Dichas experiencias se realizaron en la finca de propiedad del Sr. Juan Tomic, en Calama; en suelos salinos, con mal drenaje natural y napa freática alta, que en su mayoría no habían sido cultivados anteriormente.

Este estudio no contiene una descripción detallada de las experiencias, pero se sabe que se realizaron en parcelas de aproximadamente 0,5 Há, algunas de las cuales se les aplicó hasta 61.000 m^3 en riegos alternados con sequías prolongadas. El muestreo para el control de la salinidad se hizo con pala - sonda en cuatro puntos diferentes de cada era y a cuatro profundidades: superficie, 0.30, 0.60 y 0.90 metros.

(1) Rendimiento económico bruto: $100 \frac{A}{C}$

en que A: aumento de producción bruta anual.
C: costo total de las obras.

Las conclusiones obtenidas de este estudio son las siguientes:

a) El lavado se vió "reducido y dificultado" por la presencia de una napa freática cercana a la superficie.

b) "Es indispensable proceder al drenaje de los suelos y al lavado de sales perjudiciales".

c) "Los aniones más abundantes son los cloruros, los que son fáciles de lavar".

d) Posterior a la desalinización se observó una tendencia a la alcalinización de los suelos.

e) Algunas anomalías que se presentaron en el análisis de las muestras de suelo se debieron a la presencia de carbonato de calcio.

4.7 Habilitación de un Sector de Suelo Salino - Sódico de Las Vegas de Calama.(P.Lara; 1965).

Esta Memoria de Título fue realizada con el auspicio de la Dirección de Riego del MOPT, ya que incide en los programas de habilitación de suelos salino-sódicos que dicha Dirección efectuó en el área de Calama.

El estudio en su parte experimental, se llevó a cabo en la propiedad del Sr. Juan Tómic, en el sector de "las vegas" en suelos salino-sódicos con mal drenaje natural y que no habían sido cultivados anteriormente. Estos suelos han sido clasificados como Misceláneo Tómic por el Departamento de Conservación de Suelos y Aguas de la Dirección de Agricultura y Pesca; y presentan las siguientes características:

a) Estrato superficial arenoso de espesor variable entre 10 y 45 cms.

b) Presentan estratos arcillosos y franco-arcillosos a diferentes profundidades y de diferente espesor.

c) El color superficial es pardo a pardo oscuro.

d) Napa freática cercana a la superficie.

La habilitación de estos suelos se realizó en tres etapas: a) la construcción de un dren tipo zanja de dos metros de profundidad, ubicado en el sentido perpendicular a la corriente de agua subterránea. b) la aplicación de tres dosis distintas de yeso como enmienda (28 , 14, y 7 Ton/Há), y c) el lavado posterior de los suelos.

Se construyeron 12 eras de 20 x 50 metros, separadas por pretiles de 70 a 80 cms. de altura. Cada tratamiento fue aplicado a tres eras, dejándose las tres restantes como testigos. El suelo de las eras fue nivelado con pala niveladora, para obtener una mejor uniformidad en la carga de agua. En cada era se construyó una calicata para el muestreo del perfil, un pozo para la observación y muestreo del agua subterránea tomándose muestras de suelo para el control de la salinidad en tres puntos diferentes y a tres profundidades, 0-40 , 40-80 y 80-120 cms. Este muestreo se realizó antes de iniciar el experimento y después de cada lavado. El lavado del suelo se efectuó con agua del río Loa y mediante sifones plásticos. Se hicieron 5 lavados de 5.000 m^3/Há cada uno, con un

total de 2.5 mts. de agua. Se determinó además la velocidad de infiltración, mediante el cilindro de Musgrave, en tres oportunidades: antes de la enmienda, después del tercer lavado y al final del estudio.

El análisis de los suelos consistió en la determinación de la conductividad eléctrica y ph del extracto de saturación, ph de la razón suelo - agua = 1:5, porcentaje de saturación, aniones y cationes del extracto saturado, capacidad total de intercambio, bases de intercambio y materia orgánica. Además, se analizaron las aguas de riego de la napa y el agua de drenaje. En la tabla 4.1 se dan valores promedio de los resultados de de los análisis químicos para estas aguas.

TABLA 4.1

Resultados de Análisis Químicos

	Riego	Drenaje	Freática
Conductividad (mmhos)	4.590	5.415	5.367
Ph	7.9	8.10	8.10
Porcentaje de sodio	74.23	75.08	72.64
SAR	16.65	18.88	18.00
Boro en p.p.m.	13.07	18.96	18.06

Los resultados obtenidos en este estudio son los siguientes:

Infiltrometría.

a) En las eras testigos, la tasa final de infiltración tiende a disminuir con los lavados. La variación de esta tasa desde la primera infiltrometría hasta la última, en las tres eras testigos es la siguiente: de 5.5 a 3.7 cm/hora, de 3.3 a 4.5 cm/hora, y de 3.7 a 2.0 cm/hora. Los valores indicados en este resumen difieren de los dados por el autor, ya que él considera la velocidad media de infiltración.

b) Para el tratamiento de 7 Ton/Há, se nota en general un aumento de la tasa de infiltración final. Este aumento esconsiderable para dos de las eras, de 7.7 a 19 y de 4.0 a 9.5 cm/hora. La restante solo acusó un leve aumento.

c) Para los tratamientos de 14 y 28 Ton/Há, se nota en general una disminución de dicha tasa.

Se puede apreciar en los gráficos de la infiltración en función del tiempo, que algunas veces la tasa de infiltración no alcanza un valor constante y que a veces tiende a aumentar con el tiempo. Esto puede deberse a la salida del aire atrapado o al efecto de capas de distinta permeabilidad y a que el régimen de trabajo alcanzado difiere apreciablemente del régimen permanente.

Conductividad.

Los análisis de varianza para la conductividad observada a profundidad de 0.0 a 0.40 metros y de 0.40 a 0.80 mts., para las seis muestras, indican que no hay diferencias significativas entre los efectos de los tratamientos. Esto indicaría, según el autor, "que no hubo efectos mejoradores de los tratamientos respecto a los del testigo en ninguno de los muestreos".

Para la profundidad de 0.80 a 1.20 m, solo existen diferencias significativas para el primer muestreo. En los muestreos restantes no existen diferencias significativas entre los tratamientos y los testigos.

Se puede concluir entonces, que ninguno de los tratamientos aumentó en forma significativa la conductividad de los estratos comprendidos entre 0.0 y 1,20 mts., después que un total de 2.50 metros de altura de agua se infiltraron. En otras palabras, la cantidad de agua utilizada para lavado fue suficiente para que todas las parcelas con tratamientos, alcanzaran la misma conductividad que los testigos.

El autor incluye gráficos que muestran la variación de la conductividad para los distintos muestreos en las tres profundidades consideradas; e indica que la conductividad baja rápidamente, especialmente en los primeros 40 cms., con el primer lavado (0.50 mts de agua) y que llega a un punto más estable después del 2º lavado, con sólo pequeñas variaciones hasta el 5º lavado. Esto indica que con un metro de carga de agua se obtienen aproximadamente los mismos resultados que con los 2.5 metros.

Sodio de intercambio.

El sodio de intercambio aumenta notablemente con los lavados, "debido al alto contenido de sodio del agua de riego y del agua freática". Esto ocurre tanto para los testigos como para los tratamientos. Para los primeros 40 cms., los tratamientos al final del estudio estaban en mejores condiciones que los testigos. Entre ellos no hay diferencias significativas. Entre los 40 y 120 cms. no hubo diferencias en los tratamientos con respecto a los testigos.

Las principales conclusiones que el autor extrae de este estudio son:

a) En las condiciones actuales, el yeso debe aplicarse sólo con el propósito de mantener o aumentar la velocidad de infiltración.

b) La dosis a usar es de 7 Ton/Há.

c) La enmienda no influyó en el sodio de intercambio del suelo.

d) El agua de riego no es apropiada y debe mejorarse si se pretende habilitar los suelos de las Vegas de Calama.

e) Debe evitarse la aplicación irracional de agua para el lavado de suelos, a fin de evitar el ascenso del nivel freático.

f) Propone la construcción de un sistema de drenaje para toda el área, única forma de bajar el nivel freático al mínimo necesario.

4.8 Hidrología del Loa y Embalse Conchi para uso Industrial. (A.Monsalve ; 1967).

El presente trabajo se refiere a la posibilidad de aprovechar mediante un embalse en Conchi, los sobrantes eventuales de agua del Río Loa y Salado, considerando estable la situación a la fecha respecto a derechos de agua existentes, ya sea para uso industrial, doméstico o agricultura y respetando estas necesidades.

El trabajo comienza por un análisis de los antecedentes contenidos en los siguientes informes:

1) Estudio Hidrológico del Embalse Loa, en La Isla. Noviembre 1948. Ing. Pablo Kleiman. Dirección de Riego.

2) Anteproyecto de Regadío de Calama y Chiu - Chiu. Mayo 1962. Ing. Sergio Rivera. Dirección de Riego.

3) Embalse Conchi. Memoria de Título. Ing. Marco Antonio Giuliucci. Septiembre 1962. Universidad de Chile.

4) Estudio de Factibilidad. Cañería Lequena Versus Represa y Cañería Ayquina. Chilex. Noviembre 1966.

En base a las opiniones y análisis hechos en los estudios 1) y 2) y considerando que a la fecha de este informe se disponía de mayores antecedentes fluviométricos, el autor aceptó o descartó partes de las estadísticas fluviométricas en Loa en Yalquincha y Loa en Conchi, que habían sido previamente aceptadas. El resumen de las estadísticas aceptadas por el autor es:

Conchi		Yalquincha	
1916 - 19	Bien controlada	1916 - 19	Buena
1958 - 61	Buena	1948	Aproximada
		1949 - 50	Buena
		1957 - 61	Buena

En cuanto a la extensión de la Estadística de estas estaciones, el autor se basa en los análisis hechos en el estudio 2), descartando sólo el período 1920 - 25 y haciendo ver los defectos del método de regresión usado para completar la estadística de Conchi entre 1947 - 57, pero aceptándolo en vista de la falta de un método mejor.

Con esto el autor llega a una estadística de 22 años en el período cronológico 1916 - 1965 para ambas estaciones. En el estudio 2) se había llegado a una estadística aceptada de 25 años en el período 1916 - 1961.

Enseguida el autor efectúa las correcciones necesarias por efecto de las mercedes, es decir, para tener un régimen homogéneo en el tiempo, se resta a la estadística fluviométrica el monto de cada merced desde la fecha de iniciación de la operación de esta, hacia atrás. El autor hace ver que con respecto a las mercedes, el estudio 2) había incurrido en algunas importantes omisiones, con lo que se encuentran algunas diferencias no despreciables en la estadística de gastos definitiva.

Se incluye un análisis de la estadística de Salado en Ayquina. El autor critica el método usado por el estudio 2) para sintetizar esta estadística, procediendo a hacer una correlación directa entre los aforos en Conchi y los de Ayquina. Luego esta relación, se usa para sintetizar la estadística de Ayquina sin corregir, en base a la de Conchi también sin corregir, y por último se hace la correlación por mercedes.

El autor compara los gastos sintetizados por esta regresión con los gastos medidos en el período 1961 a 1965 y concluye que hay una buena coincidencia, y en consecuencia es lícito extender la estadística a partir de 1950 con la regresión anterior.

Al corregir esta estadística de Salado en Ayquina, por efecto de las mercedes, el autor llega a la constatación de varios años y meses con déficit en el gasto medio mensual. En consecuencia, el autor concluye que el río Salado está "sobregirado", es decir, no puede extraerse más agua de él ya que no tiene la disponibilidad necesaria, esto considerando que además debería disponer de una reserva fiscal de 150 l/s.

Se analiza enseguida el estudio 4) efectuado por la CHILEX, el que a pesar de ser hecho con un período muy corto de la estadística, llega a la misma conclusión expuesta en el párrafo anterior.

Enseguida se entra a analizar el estudio de regulación del Embalse Conchi propiamente tal, que se concibe de modo de satisfacer una demanda industrial de 459 l/s., sin afectar la situación existente a la fecha en cuanto a seguridad y superficie regada. El estudio comienza en este aspecto con un análisis de las obras adicionales consultadas en el sistema.

a) Embalse Ayquina: el autor descarta la posibilidad que parte de la merced industrial pueda ser satisfecha por esta obra, a causa de los desfavorables resultados obtenidos al hacer el análisis de las disponibilidades de agua del río Salado.

b) Salar de Ojos de San Pedro: se estima que el drenaje de este salar rendiría 100 l/s., los que se toman en cuenta en este estudio para el análisis de regulación del embalse Conchi.

c) Mejoramiento del Sistema de Riego en Calama: para efectos de este estudio no se consideraron las recuperaciones de agua que se logren con este proyecto, ya que se estima deben reservarse para aumentar la seguridad y superficie de riego.

d) Recuperaciones del riego y drenaje de las Vegas de Calama; el autor se basa en el estudio 2) y concluye en que las recuperaciones pueden estimarse en 200 l/s., los que se utilizarán en atender demandas aguas abajo de Calama. No se consideran para efectos de la regulación del Embalse Conchi.

e) Ojos de Opache: no se ha consultado ninguna obra adicional.

En consecuencia el autor toma como aportes al embalse, los gastos de la estadística de Conchi aumentados en 100 l/s. por drenaje de los ojos de San Pedro, y como consumos el de la Merced de 459 l/s., más una pérdida estimada por evaporación de 50 l/s., más una pérdida estimada por infiltración de 30 l/s., las demandas de riego de Calama y Chiu - Chiu, calculadas en base a 1.200 Hás. (actualmente regadas) con las tasas de riego dadas en el estudio 2) y finalmente 60 l/s. que el autor introduce como margen de seguridad.

El autor hace un estudio de regulación con las bases anteriores, haciendo la salvedad que los déficit que ocurran en las demandas de riego por un gasto disponible menor en un cierto mes, no se cubren con las acumulaciones del embalse. Con esto el autor llega a una capacidad de embalse de 4.500.000 m^3 que es suficiente para cubrir el máximo déficit observado. Esta capacidad se obtiene con un muro de 44 m.de altura.

Finalmente el autor da una curva de capacidades de embalse en función de distintas demandas, para lo cual estudió en los años críticos de estadística el funcionamiento del embalse para 3 tipos de demandas aparte de la que sirvió para el estudio de regulación completo.

4.9 Sobrantes de Agua en el Río Loa. (J. Tolosa ; 1967).

Antecedentes.

A raíz de los programas de expansión del cobre, el Sr. Ministro de Obras Públicas encomendó a la Dirección de Riego un estudio de los sobrantes de agua del río Loa disponibles para enfrentar las nuevas demandas que dichos programas originarían. La Dirección de Riego contrató con el Ing. Sr. Absalón Monsalve el estudio hidrológico del río Loa quien entregó dos Informes titulados "Hidrología del Loa y Embalse Conchi para uso industrial" y "Posibilidad de Embalses en el río Loa y en su afluente el Salado". El presente informe contiene un resumen de los dos anteriormente nombrados más "las conclusiones y recomendaciones que a juicio de la Dirección de Riego, solucionarían el importantísimo problema de aprovechamiento de los escasos recursos de agua del río Loa". Solo se indicarán aquí las conclusiones y recomendaciones de este informe ya que los resúmenes de los informes del Sr. Monsalve se incluyeron previamente.

Dichas conclusiones y recomendaciones son las siguientes:

a) El río Loa y sus afluentes, río San Pedro y río Salado están totalmente agotados para nuevas concesiones contínuas, sean estas para uso doméstico, minero o agrícola.

b) Cualquiera nueva concesión que se otorgue en el río Loa y sus afluentes será en perjuicio de los actuales usuarios. Como consecuencia, "el otorgamiento de nuevas concesiones repercutirá en forma caótica en la agricultura de la zona y traerá consecuencias graves para el país entero".

c) Toda nueva concesión que no perjudique a los actuales usuarios sólo es posible mediante un embalse de regulación en la Angostura de Conchi y mediante el drenaje de los ojos de San Pedro.

d) El río Salado está totalmente agotado incluso para las concesiones actualmente otorgadas. No existe ninguna posibilidad razonable de aprovechamiento futuro ni aún con obras de regulación.

e) La solución inmediata es la construcción del embalse Conchi y el drenaje de los Ojos de San Pedro. La capacidad del embalse deberá determinarse de acuerdo a las necesidades reales, mineras y domésticas, que requieren urgente solución.

f) Determinada la capacidad del embalse Conchi para las necesidades actuales, es posible su aprovechamiento futuro para nuevas concesiones, siempre que se racionalice la actual agricultura de la zona. "El embalse Conchi podrá permitir en el futuro, en estas condiciones, un incremento superior al 85 °/o de gasto contínuo que representan esas necesidades". Esto aparentemente significaría que, racionalizando la agricultura, sólo sería necesario el 54°/o del agua que actualmente se usa, para regar el mismo número de Hás.

g) El Supremo Gobierno debería ordenar el estudio inmediato de las obras propuestas y comenzar un plan integral de racionalización del agua en la zona. Indica además, la posibilidad que las soluciones recomendadas en este informe sean insuficientes a corto plazo si se consideran el aumento de la población, de la actividad minera y del desarrollo industrial.

Considerando que en el estudio del Sr. Monsalve la regulación del embalse Conchi se hizo calculando las demandas en base a la tasa de riego teórica de 27.000 m^3/Há/año, esto significa una racionalización de la agricultura la cual requerirá un cierto tiempo para ser llevada a cabo; este trabajo realiza también un estudio de regulación del embalse, de manera de no modificar en absoluto el estado actual de la agricultura permitiendo en el futuro su aprovechamiento integral. Para ello parte de las siguientes hipótesis:

a) el período de riego se extiende desde Agosto a Abril (ambos meses inclusives).

b) sólo son aprovechables para nuevas concesiones los gastos que escurren por Conchi en los meses de Mayo, Junio, Julio.

Aceptadas estas hipótesis y la estadística de los gastos mensuales del Loa en Conchi, dada por el Ing. Sr. Monsalve, se determinó la capacidad del embalse para una seguridad 100°/o y para distintos gastos continuos. La tabla 4.2 muestra los resultados.

TABLA 4.2

Capacidad de Embalse para una Seguridad de 100°/o

Gasto disponible (l/s)	Capacidad de Embalse 10^6 m^3
350	8.3
400	9.5
450	10.7
500	12.6
550	16.7

En esta regulación no se consideró el gasto probable de los Ojos de San Pedro, ni tampoco la evaporación, las posibles filtraciones y los gastos de invierno necesarios para bebida de animales, lavado de Bodegas, etc. Se cree que la situación analizada es bastante pesimista por lo que se puede asegurar que estos mismos se compensan.

Finalmente este estudio recomienda una capacidad para el embalse Conchi de 12.600.000 m^3, la cual entregaría 460 l/s. para la gran minería y 140 l/s. para uso doméstico, además de mantener la situación actual de la agricultura en la zona. Cuando la agricultura se racionalice, este embalse entregaría además un mayor gasto contínuo de 420 l/s. que dejaría a cubierto cualquier aumento tanto en dotaciones mineras, como domésticas y agrícolas. Además establece que: "en todo caso la solución de Conchi no repercutirá en la calidad de las aguas y que, por otra parte, la incorporación del caudal de los Ojos de San Pedro, mejorará aún más la calidad del río Loa para fines agrícolas".

4.10 Estudio de la Contaminación del Río Loa. (H. Niemayer ; 1967).

Dado el incremento en la demanda de los recursos de agua del Río Loa y sus afluentes, la Dirección de Riego del MOPT decidió, a principios de 1967, encomendar al Ingeniero Sr. Hans Niemayer una investigación sobre las zonas de contaminación y sus causas en dicho río y en sus tributarios principales. Conociendo éstas, sería posible por una parte, estudiar la factibilidad de una obra sencilla de Ingeniería para suprimirlas o reducirlas, y por otra, encontrar el mejor método para utilizar los recursos disponibles de acuerdo a las diferentes exigencias y tolerancias de los diversos usos consultados.

En Mayo de 1967, se inició la investigación en terreno la que se desarrolló en dos etapas. La primera comprendía ocho corridas de muestreo de agua a lo largo del Loa (entre Lequena y Calama) y de sus afluentes, el Salado y el San Pedro, y su posterior análisis químico. La segunda etapa consistió en un minucioso recorrido a pie y en vehículo de las zonas de contaminación detectadas en la primera etapa para determinar sus posibles causas, y el levantamiento de perfiles geológicos en distintos puntos de los cañones de estos ríos.

Las secciones consideradas en la primera etapa fueron las siguientes:

Río Loa
Lequena Alto
Cabrito
Calachuz
Chela Cruz
Taira
Puente Taira
La Bajada
Santa Bárbara
La Isla
El Encuentro
Loa después de Junta con San Pedro
Alcantarilla de Conchi

Conchi
Puente Lasana
Puente Chiu Chiu
Loa antes de Junta con el río Salado
Loa después de Junta con el río Salado
Angostura
Escorial
Terraza Municipal

Río San Pedro.

Ojos de San Pedro (6)
Laguna de San Pedro
San Pedro en el Pte.
Cultivos (22 km. aguas abajo de los Ojos)
Bocatoma de la Chilex
San Pedro antes de Junta con el Loa

Río Salado.

Represa Chilex
Salado antes Toconce
Salado después de Toconce
Salado antes Caspana
Río Toconce más Hojalar antes del Río Salado
Río Caspana antes junta con Salado
Cultivos Ayquina
Sifón Ayquina
Ramadita
Puente El Diablo
El Vado
Salado antes de junta con el Loa

Las ocho corridas se realizaron durante el período comprendido entre el 12 de Mayo y el 13 de Junio de 1967.

El análisis químico se orientó a la determinación de los siguientes rubros: Ph, conductividad eléctrica, índice S.A.R., porcentaje de Sodio; los siguientes cationes: calcio, magnesio, potasio, y sodio; y los siguientes aniones: carbonato, bicarbonato, cloruro y sulfato. Además se determinaron los iones Boro y Arsénico.

En el análisis de los resultados químicos se utilizaron los siguientes indicadores: conductividad, índice S.A.R., Ph y presencia de los iones Boro y Arsénico.

Como resultado del levantamiento geológico que hizo en su recorrido a pie y en vehículo por el río Loa y sus afluentes, el autor entregó un plano geológico preliminar, en que las alturas de los estratos son estimadas por no disponer de instrumentos adecuados.

Las siguientes son las principales conclusiones obtenidas por el Sr. Niemeyer:

Para el Río Loa.

a) Las curvas de variación de la salinidad del Loa guardan paralelismo de forma con el hidrógrafo medio del río, lo que indica que el deterioro se debe a las recuperaciones que recibe el río en su recorrido. Estas recuperaciones corresponden a vertientes, casi siempre termales y/o de orígen volcánico o a filtraciones no localizadas a través de estratratos permeables al nivel del lecho actual.

b) La más intensa y peligrosa contaminación de las aguas del Loa se encuentra entre la desembocadura del Río Salado y Angostura y entre Escorial y Terraza Municipal, donde los índices estudiados alcanzan cifras extremas. Indica además, que el efecto del Río Salado no es de vital importancia en la contaminación frente a la contaminación de aguas abajo. "Esta alta contaminación en el sector inferior tendría relación directa con la intercomunicación de pequeños salares que ocupan la depresión de las Cuencas de Calama con el cauce del Río Loa y está ligada siempre a una "disolución" del característico cañón en una caja ancha, de paredes bajas cubiertas de vegas y fangos salinos".

c) El Loa, en el tramo estudiado, no presenta las llamadas "arcillas rojas" que pudieran ser la fuente de la contaminación. Lo mismo puede afirmar el autor para el río San Pedro, desde los Ojos a la desembocadura.

d) Las liparitas que en algunos sectores son contactadas por las aguas del Loa, tienen un bajo contenido de sales solubles, por lo tanto, no se las puede responsabilizar de la contaminación del Loa. Esto se justifica con el hecho de que en los sectores que ocurre el contacto no se advierten cambios importantes en la salinidad.

e) Por las razones anteriores, no es posible desviar desde el profundo cañón del Loa, aportes contaminados hacia otras hoyas. Tampoco se halla la solución a través de una o más obras de Ingeniería de encauzamiento o corrección de Cauces.

f) Peligros en el uso de las aguas del río Loa. El agua del Loa es potable hasta Chela-Cruz. Aguas abajo aparece el ión arsénico y rápidamente sobrepasa los límites de tolerancia para uso potable.

Con respecto al uso agrícola, las aguas del Loa hasta antes del río Salado son de "alto peligro de Salinidad y bajo o moderado peligro por Sodio", de acuerdo a la calificación del U.S. Salinity Lab. Después de la junta con el Salado, el peligro por salinidad aumenta a muy alto y el peligro por sodio a medio o alto y aún muy alto.

El ión Boro se presenta en forma peligrosa entre Angostura y Calama (aprox. 10 ppm).

Para el río San Pedro las principales conclusiones de este estudio son las siguientes:

a) El río San Pedro presenta casi ninguna variación en la calidad de sus aguas.

b) Se podría obtener unos 200 l/s. mediante el drenaje de los ojos de San Pedro.

c) De acuerdo a la conductividad, índice SAR y Boro las aguas son tolerables para la bebida y uso agrícola; sin embargo, el ión Arsénico podría descalificarla para ambos usos y recomienda que la D.O.S. se pronuncie al respecto.

Con respecto al río Salado, el autor llega a las siguientes conclusiones:

a) El río nace contaminado y los afluentes de aguas dulces que podrían mejorar su calidad son captados para fines de agua potable.

b) Posee también "ojos de agua" de alto grado de salinidad que contribuyen a deteriorar la calidad del agua.

c) La tendencia es a una disminución de los índices hacia aguas abajo, aunque todos son superiores a los valores admisibles para agua potable y agricultura.

d) Su influencia sobre el Loa es actualmente muy pequeña comparada con el deterioro que sufre el Loa en su propio lecho.

Las siguientes son las recomendaciones que el autor hace en su trabajo:

1.- Realizar el proyecto de drenaje propuesto para los Ojos de San Pedro.

2.- Estudiar las conveniencias económicas de construir un canal revestido de unos 40 kms. de longitud que tomara las aguas del Loa para el regadío de terrenos seleccionados de Calama, en un punto aguas arriba de la desembocadura del río Salado. Se contaría así, en bocatoma con un gasto medio de 2.000 l/s. con una conductividad específica de unos 2.100 micromhos, un índice SAR de 4.5, un contenido de Boro de 5 ppm. y un contenido de arsénico de 0.2 ppm. en vez de un gasto medio de 2.700 l/s que se registra actualmente en Escorial, con una conductividad de 4.100 micromhos, un índice SAR de 9.5, un contenido de Boro de 9 ppm y de Arsénico de 0.4 ppm.

3.- Utilizar el río Salado para uso industrial - minero, captando los sobrantes del Salado en Ayquina que, según el autor, alcanzan a unos 340 l/s. en el 40°/o de los años y a un valor fluctuante entre 340 l/s. y 600 l/s. en el 60°/o de los años.

4.11 Anteproyecto del embalse Conchi. (A. Monsalve ; 1967).

El presente estudio es una ampliación y continuación de "Hidrología del Loa y Embalse Conchi para Uso Industrial", del mismo autor. Las bases a seguir en este estudio son iguales a las del recién citado, es decir, no modificar la situación del regadío de Calama y Chiu-Chiu. El estudio se hace de dos maneras:

a) Usando el embalse sólo para almacenar los sobrantes de invierno. Esto tiene la ventaja que no podría haber quejas de los agricultores, ya que el embalse dejaría pasar todos los gastos en temporada de riego.

b) Usando el embalse para regular los gastos de todo el año; siempre manteniendo la situación de regadío de Calama y Chiu - Chiu.

En base a estas premisas, el autor estudia la estadística fluviométrica de Loa en Conchi y toma en forma casi textual las conclusiones que a este respecto extrajo él mismo en su estudio anterior. Sólo procede a rellenar algunos vacíos en la estadística y corregir uno de los gastos medios mensuales que estaba con error. Enseguida, el autor corrige estos valores para tomar en cuenta las mercedes de agua concedidas.

Basándose en un estudio de tasas de riego teóricas hecho por la Sección Agrología de la Dirección de Riego, la que contempla dos tasas distintas según se trate de suelo arenoso o suelo medio; considerando además, un exceso de 30°/o para el lavado de los suelos salinos, y estimando un 80°/o de suelos arenosos, llega a una tasa media total de 27.000 m^3/Há/año. El autor hace la salvedad que actualmente el riego se hace a una tasa muy superior a la teórica y por lo tanto, para no condicionar el riego a un mejoramiento en la eficiencia de aplicación del mismo, el autor agrega a las tasas teóricas una diferencia para compensar los errores.

El estudio considera como primer punto la regulación con los sobrantes de los meses de invierno (Mayo a Agosto), y como consumo de riego en Mayo y Agosto, toma las tasas de riego anteriormente mencionadas aumentadas según la proporción de suelos arenosos con respecto al total y agregando un porcentaje para lavado de suelos.

Aparte de los consumos de riego de Calama y Chiu-Chiu, existen los siguientes consumos aguas abajo del embalse:

523 l/s. mercedes industriales.

100 l/s. riego invierno sector Quillagua

El autor deduce que estos consumos son en exceso cubiertos con las diferencias de gasto entre Yalquincha y Conchi, más el gasto proveniente de Ojos de Opache. Aún considerando las necesidades de riego de Calama y Chiu-Chiu, existirían sobrantes de invierno sin considerar los gastos de Conchi; sin embargo, adopta como necesario, que Conchi permita pasar 250 l/s. en Mayo y en Agosto, como seguridad y con el objeto de mejorar la calidad del agua.

En consecuencia, los aportes del río Loa al embalse durante el invierno, quedan formados por los gastos de Mayo menos 250 l/s., los gastos de Junio, Julio y los de Agosto menos 250 l/s. Además, se considera un aporte de 100 l/s. del drenaje de los Ojos de San Pedro.

El autor analiza las pérdidas por filtraciones desde el embalse, con datos bastante incompletos en cuanto a la calidad del terreno de fundación y sin datos medidos de permeabilidad. En todo caso, por estimaciones de permeabilidad de acuerdo con los pocos datos que disponía, y basándose en un estudio del geólogo Sr. Ricardo Fenner, concluye que las pérdidas por filtraciones desde el embalse, deben ser muy pequeñas y en todo caso inferiores a 10 l/s. Adopta este valor como límite máximo por el lado de la seguridad.

Para estimar las pérdidas por evaporación, examina los datos dados por el Sr. Walter Knoch y publicados en los Anales del Instituto de Ingenieros; los datos medidos por la Chile Exploration Co. en el Salar de Talabre en el período Abril 1963 - Julio 1964; los datos de la Dirección de Riego, según observaciones en Calama entre Agosto 1963 y Junio 1967; y finalmente las medidas de algunos días de Junio de 1967 en Conchi obtenidas por un evaporímetro recién instalado en esa fecha por la Dirección de Riego. Haciendo un análisis de todos estos datos disponibles, el autor encuentra que las mediciones en Calama coinciden con gran aproximación, mientras que se observa una gran diferencia en los pocos días de estadística disponible, entre las medidas de Calama y Conchi, siendo mayores estas últimas. Por lo tanto, adopta como evaporación promedio de un evaporímetro a lo largo del año, el valor 10 mm diarios, en carácter muy preliminar y sujeto a ratificación a medida que dispusiera de mayores datos. Este valor lo afecta de un coeficiente de embalse 0,65 y obtiene 6,5 mm por día como evaporación promedio desde el embalse. Para adoptar este valor el autor se basa en las experiencias hechas en el extranjero con evaporímetros tipo Weather Bureau Clase A. Finalmente se presenta en el estudio la curva de pérdidas por evaporación en función del volúmen de agua embalsado. En cuanto a evaporación, el autor cita las experiencias hechas en control o reducción de ella mediante hexadecanol, sin embargo, no considera cuantitativamente esta posibilidad.

Basándose en las mediciones realizadas por la Dirección de Riego para la confección del "Anteproyecto de Regadío de Calama", el autor estima como disminución media del volumen del embalse el valor 500.000 m^3, por efecto del depósito de sedimentos. Este valor medio correspondería a una vida útil del embalse de 70 años.

Finalmente, agrega una pérdida de 20 l/s. para compensar posibles errores en la estadística.

En resumen, las pérdidas consideradas son:

- Filtraciones 10 l/s.
- Errores de cálculo 20 l/s.

Evaporación variable según capacidad embalsada. El autor teniendo en cuenta los cálculos hechos en "Sobrantes de Agua en el Río Loa" (Ing. Jefe de estudios, Juan Tolosa Moune, Febrero 1967) que llegan a una capacidad máxima posible de 17 x 10^6 m^3 y estimando en 60°/o de esto la capacidad media de funcionamiento, transforma la evaporación en una pérdida continua de 53 l/s., lo que da una pérdida total continua de 83 l/s. El autor compensa esta pérdida con los 100 l/s. estimados del drenaje de los Ojos de San Pedro, dándose un pequeño margen de seguridad.

Con estas consideraciones, hace una regulación anual considerando solo sobrantes de invierno, para distintos valores de gasto continuo suministrados por el embalse. Esto lo transforma en una curva volumen del embalse vs. gasto continuo suministrado, que presenta una discontinuidad para una capacidad de 12 x 10^6 m^3, lo que equivale a un gasto continuo de 560 l/s. Pasado este punto para lograr un pequeño incremento en el gasto se requiere un aumento sustancial de la capacidad.

El autor estima que la contribución de Conchi al consumo de riego viene dada por la razón Q Conchi/Q Yalquincha y en consecuencia, durante el período de riego se podría disponer como retención en el embalse del porcentaje del consumo correspondiente a esta razón, siempre que esta retención no fuera mayor al gasto de Yalquincha menos el consumo. Estudia la razón anterior con las estadísticas disponibles, y clasifica los años de acuerdo con el valor obtenido. Luego de hacer un análisis para los meses de máximo consumo (Noviembre a Febrero), llega a la conclusión que para estos meses el embalse debe dejar pasar todo el consumo, y en cambio, para Septiembre - Octubre y Marzo - Abril el embalse dejará pasar el porcentaje del consumo según el porcentaje Q Conchi/ Q Yalquincha del año correspondiente (1).

Con esto, el autor confecciona el cuadro de aportes al embalse:

- Entre Mayo y Agosto se mantienen los aportes indicados para la regulación de meses de invierno.

- Entre Noviembre y Febrero se resta a los gastos de Conchi el total del consumo.

- Septiembre, Octubre, Marzo, Abril, se resta a los gastos de Conchi el porcentaje correspondiente del año según se explicó.

El autor incluye un análisis de la situación aguas abajo de Calama, considerando las mercedes industriales y el consumo de riego en Quillagua, y considerando como aportes extras las recuperaciones de riego en Calama (las estima en 0,30 m^3/s) y los Ojos de Opache. Hace el análisis para el mes de consumo máximo de riego (Diciembre), y concluye que sólo habría déficit en un mes de los 17 años de estadística.

Para proceder a hacer el estudio de regulación en este caso, el autor hace similares consideraciones que en la regulación que considera sólo aportes de invierno, es decir, se acepta que el aporte de Ojos de San Pedro basta y se gasta íntegro en cubrir las pérdidas. Además, se supone que el embalse proporcionará un suministro continuo, lo que implica una seguridad 100% en el gasto suministrado.

La regulación propiamente tal, se realiza para distintos valores de gasto continuo suministrado, haciendo un balance de superávit y déficit mensuales acumulados. Para gastos pequeños, la capacidad del embalse estará dada por el mayor déficit acumulado en un año cualquiera, siempre que los superávit en todos los años sean mayores que los déficit. A medida que el gasto suministrado por el embalse crece, no será posible cubrir los déficit con los superávit del mismo año y en ese caso, habrá que proceder a una regulación interanual, tomando en cuenta los años precedentes y determinando la capacidad del embalse en forma convencional.

Como conclusión presenta una curva de gasto suministrado versus capacidad necesaria del embalse. Esta curva presenta una discontinuidad para 1.03 m^3/s y $12{,}798 \times 10^6$ m^3, al igual que para el caso de regulación con sólo aportes de invierno, en que para valores mayores que éste, se necesita un aumento sustancial de la capacidad del embalse para lograr un pequeño aumento en el gasto suministrado.

(1) El autor no diferencia entre consumos en Calama y Chiu-Chiu al hacer el análisis con los gastos de Yalquincha, lo que no es estrictamente riguroso, aún cuando lo sitúa en el lado de la seguridad.

Es opinión del autor, que económicamente convendría situarse en este punto de discontinuidad, pero por las condiciones de zona desértica de Calama, es necesario exprimir al máximo las posibilidades del recurso y se justificaría adoptar una capacidad bastante mayor. Como primera aproximación, el autor fija una capacidad de 21 x 10^6 m^3, con un gasto disponible de 1,15 m^3/ s. ; esta capacidad la fija teniendo en cuenta que por condiciones topográficas, una capacidad mayor obligaría a modificar la vía férrea existente.

Finalmente, el autor hace un análisis de la situación del regadío de Calama y Chiu - Chiu con el embalse funcionando. Determina las siguientes cifras:

Con un 85º/o de seguridad se regarían 1.200 Hás (lo actual) con tasa 37.500 m^3/Há/año, o bien, 1.660 Hás con tasa 27.000 m^3/Há/año (lo calculado).

Si se quiere mantener la superficie y se puede lograr la tasa 27.000 m^3/Há/año, se obtendría una seguridad de 97º/o.

Es decir, el autor se inclina a decir que no es falta de agua la que existe en Calama, sino que hay mala distribución de ella.

Por último, según el gasto de 1,15 m^3/s. que proporcionaría el embalse de 21 x 10^6 m^3, ocupando 0,40 m^3/s. de este gasto en el regadío de Calama, se podría aumentar la superficie de riego a 2.000 Há con una seguridad 85º/o.

4.12 Embalse Conchi. (A. Monsalve ; 1969).

Bases Teóricas del Proyecto.

El estudio se inicia exponiendo la idea general del proyecto Embalse Conchi, es decir, posibilitar a la Chilex la utilización de una merced con el objeto de ampliar las actividades mineras. La Dirección de Riego ejecuta este estudio sobre la base de mantener invariable la situación actual de los usuarios agrícolas e industriales, desde Chiu-Chiu hacia abajo, lo que se consigue embalsando en Conchi solamente las aguas de invierno. No se toma en cuenta el posible aporte de los Ojos de San Pedro en vista de su incertidumbre. Por último, el estudio incluye la regulación de los sobrantes de agua a lo largo de todo el año, ya que esto permite sacar algunas conclusiones importantes.

El estudio hidrológico, comienza con un resumen de los cálculos y conclusiones de los estudios anteriores y sigue con una crítica a las estadísticas aceptadas por éstos. Referente a este último punto, el presente estudio solo difiere del estudio anterior, "Anteproyecto del Embalse Conchi" del mismo autor, en que para la estadística calculada en Conchi entre 1958 - 1961, no acepta,por encontrar poco precisa, la correlación Conchi - Yalquincha elaborada en el estudio "Anteproyecto del Regadío de Calama y Chiu - Chiu" y que fue la que sirvió para completar este período de estadística en todos los informes posteriores a aquel.

En este informe, el autor estudia una relación entre los gastos en Yalquincha y Conchi, en el período común 1958 - 61 para gastos vírgenes; es decir, los modifica de acuerdo con las mercedes concedidas con el fin de reconstituir el régimen natural del río. Al hacer una correlación en esta forma, descubre que una curva es la que dá mejor ajuste, y no la recta trazada por el orígen, como se había empleado hasta esa fecha.

La forma de la curva la comprueba mediante el análisis de dos situaciones similares en los ríos Huasco y Elqui. Con esta curva de regresión, el autor completa la estadística de Conchi en el período 1947 - 1957, en base a los gastos observados o calculados, (estos últimos basados en aforos, tal como se procede en el "Anteproyecto del Regadío de Calama y Chiu-Chiu"), en la estación Yalquincha, los que también, previamente, habían sido transformados en gastos "vírgenes". Finalmente, el autor convierte estos gastos vírgenes a lo que hubiesen sido gastos "observados" en la estación restando los valores de las mercedes.

Las estadísticas finales en Conchi y Yalquincha, son convertidas en lo que él llama "Estadística válida para proyectos", respetando la restricción impuesta por este estudio de mantener invariable la situación actual de regadío y mercedes industriales, restando a partir de su fecha de iniciación y hacia atrás, cada una de las mercedes concedidas.

El estudio de las pérdidas en el embalse abarca cuatro partes fundamentales, a saber:

- filtraciones
- evaporación
- sedimentación
- errores de estadística, (las introduce en forma de compensación de posibles errores en la estadística "rellenada").

En cuanto a las pérdidas por filtraciones, el autor se refiere al informe "Proyecto Embalse Conchi-Geología-1967" del geólogo Sr. L. Macías T. En este estudio geológico se analiza bastante detalladamente la zona del muro y según sus conclusiones, la planta del muro en su totalidad cae dentro de la zona de roca fundamental. El estudio concluye que las filtraciones a través de la roca fundamental, de acuerdo a los antecedentes dados por éste, deben ser despreciables, sobretodo considerando que de todos modos habría que "grautear". Por el lado oriental del muro, el Sr. Macías advierte sobre ciertas posibilidades que haya vías de escape de agua por el material sedimentario que cubre la roca fundamental en esa zona. Para analizar esta posibilidad, la Dirección de Riego realizó varios sondajes, tanto en la zona de fundación como en la pampa oriental. En algunos de éstos, se hicieron además pruebas de permeabilidad (Todos estos datos son incluídos en este estudio). De acuerdo con los datos obtenidos de estos sondajes, se comprueba que las pérdidas por filtración en la zona del muro pueden considerarse nulas, mientras que las filtraciones por el lado oriental del muro , darían de acuerdo a los cálculos del autor, un gasto de 1 l/s. ó 2 l/s. Se acepta como medida de seguridad, una pérdida total de 5 l/s.

En cuanto a las pérdidas por evaporación, el autor procede en forma similar a lo expuesto en su "Anteproyecto del Embalse Conchi", es decir, examinando las medidas en evaporímetros hechas por el meteorólogo Sr. Walter Knoch, Chile Exploration Co. , Dirección de Riego en Calama y lugares próximos, y las medidas en Conchi hechas por la Dirección de Riego. El autor llega a un valor 10 mm como evaporación media diaria. Este valor, lo afecta de un coeficiente de embalse o razón "lago-evaporímetro" y estima la evaporación media diaria desde el embalse en 6,5 mm. Finalmente dá una curva de evaporación transformada en una pérdida en l/s, en función de la altura de agua embalsada.

En cuanto a sedimentación en el embalse, a partir de mediciones del gasto sólido en suspensión y de arrastre, hechas por la Dirección de Riego para una vida útil del embalse de 70 años, el autor estima en 10^6 m^3 la pérdida de volumen útil.

Finalmente, hace un análisis de los posibles errores cometidos en la interpolación de estadística en cada una de las estaciones usadas. Para esto, analiza las diferencias entre los valores máximos y mínimos con respecto a los promedios en los períodos con estadística medida. En base a este análisis sitúa su método de relleno de estadística y estima los errores posibles cometidos al usar esta estadística como estadística observada. Adopta una pérdida de agua imputable a error en la estadística calculada, de 40 l/s.

Como resumen de pérdidas entonces se tiene:

filtraciones	5	l/s.
error estadístico	40	l/s.
evaporación	65	l/s.
Total	110	l/s.

(Para las pérdidas por evaporación el autor supone el embalse en un 60°/o de su capacidad y considera esta última como 22 x 10^6 m^3. Con esta situación promedio entra a la curva previamente elaborada y obtiene un gasto continuo de 65 l/s.) .

En cuanto a la disminución de capacidad se tiene:

agua muerta	100.000	m^3
sedimentación	1.000.000	m^3
	1.100.000	m^3

El autor hace un estudio de regulación sólo considerando los aportes de invierno, para el cálculo de los cuales considera los siguientes aspectos:

a) Calcula las necesidades de riego entre Mayo y Agosto. Para esto, calcula para el mes más desfavorable (Diciembre), qué gasto proporciona el río en Yalquincha para una seguridad de riego adecuada (85°/o), obteniendo el valor de 2,10 m^3/s. Analiza las tasas teóricas de riego dadas por la Sección Agrología de la Dirección de Riego, y por CORFO y Ministerio de Agricultura, las que para Diciembre son 2,04 y 2,17 m^3/s. respectivamente. De acuerdo con informaciones proporcionadas por agricultores de la zona, el autor estima que la tasa real actual para este mes es de 2,45 m^3/s. lo que corresponde a una seguridad 65°/o. De acuerdo con las tasas teóricas, asume que este valor (2,45 m^3/s.) representa la máxima tasa posible, ya que resulta un 20°/o mayor que la teórica.

Según los valores teóricos de la tasa de riego, determina el autor que la razon entre las tasas Mayo/Diciembre y Agosto/Diciembre es 0,2 y llega a un gasto efectivo de riego para Mayo y Agosto de 0,49 m^3/s. En Junio y Julio, las necesidades de riego son nulas.

b) Las mercedes industriales aguas abajo de Calama suman 0,583 $m^3/s.$, y los aportes de Ojos de Opache el autor los estima de 0,590 $m^3/s.$ Con estos valores, el autor llega a la conclusión de que habría déficit en los meses de Mayo y Agosto solamente, de 0,5 $m^3/s.$ y que deberían cubrirse con los caudales en Yalquincha.

c) En consecuencia, los aportes al embalse se determinan de tal forma que en Junio y Julio serán el total del gasto en Conchi, y en Mayo y Agosto, si el sobrante de suplir los déficit anteriores con el gasto de Yalquincha es mayor que el gasto de Conchi, el aporte al embalse será el total del gasto de Conchi; si dicho sobrante es menor que el gasto de Conchi, el aporte al embalse será sólo este sobrante.

d) Calcula por fin los aportes efectivos al embalse, restando a los aportes anteriores el total de las pérdidas calculadas, es decir, 0,11 $m^3/s.$

Finalmente, el autor hace el cálculo de regulación con los sobrantes y déficit para el período de invierno en Conchi y para distintos valores de gasto continuo suministrado. El autor determina que el embalse podría suministrar un gasto de 0,57 $m^3/s.$ continuo, sin que existiera déficit para ningún año, siendo en este caso la capacidad del embalse de $12{,}9 \times 10^6$ m^3; asimismo se podría suministrar un gasto de 0,66 $m^3/s.$ máximo, con 100% de seguridad, y en este caso la capacidad necesaria sería de 22×10^6 m^3. No podrían suministrarse gastos continuos mayores que éste. El autor presenta sus resultados en forma de una curva.

A continuación, el estudio comprende un capítulo de regulación con aportes de todo el año. Este análisis se basa en las siguientes consideraciones:

a) El embalse suministra un gasto continuo y a la vez sirve un área de cultivo con la tasa de riego teórica en el supuesto que se ha hecho un plan de mejoramiento agrícola.

b) Se consideran diversos gastos continuos y diversas áreas de riego.

c) Se emplean las estadísticas válidas para proyectos dadas por el autor, en Conchi y Yalquincha.

Para la regulación, los gastos efectivos de Conchi, serán los de la estadística disminuídos por el gasto continuo suministrado. Los aportes al embalse se calculan según el gasto de Yalquincha disminuído en los consumos de riego más consumos industriales aguas abajo de Calama, y dependiendo si este sobrante es mayor que el gasto en Conchi, se embalsa sólo un gasto igual al sobrante. Si hay déficit en Yalquincha no se embalsa.

En cuanto a la tasa de riego teórica, el autor presenta los resultados dados por la Dirección de Riego, que dá un valor anual de 27.420 m^3/Há, y por un estudio conjunto de CORFO y el Ministerio de Agricultura, preparado por CONORTE, que dá un valor de 30.350 m^3/Há/año. Adopta este último valor por ser algo mayor, y para Quillagua calcula una necesidad de riego de acuerdo a estas mismas tasas.

En cuanto a suelos regados actualmente y suelos habilitables, el autor se refiere a un estudio hecho por DECSA cuyos resultados fueron ratificados por estudios de calidades de suelos hechos por la Sección Agrología de la Dirección de Riego. Los resultados resumidos son los siguientes para el conjunto de Calama, Chiu - Chiu, Lasana y Quillagua:

- Actualmente regado: 1.304 Hás.
- Suelos regados o habilitables (sin problemas de salinidad o drenaje): 1.980 Hás.
- Suelos habilitables con problemas de drenaje: 618 Hás.

El autor hace un balance de aportes y consumos de Calama hacia aguas abajo. Los aportes que considera son:

a) Recuperaciones del riego futuro en Calama, que lo estima como un 20º/o del futuro gasto en Yalquincha, lo que dá una recuperación media de 0,6 m^3/s. El autor se basa en algunas mediciones de las recuperaciones de riego, hechas por la Dirección de Riego.

b) Drenaje de las Vegas de Calama, estimado en 130 l/s. por la Dirección de Riego.

c) Gasto de Ojos de Opache: 0,6 m^3/s.

Los consumos serían 0,58 m^3/s. de mercedes industriales, más 0,22 m^3/s. consumo medio de riego en Quillagua.

En consecuencia, se desprende que habría un sobrante aguas abajo de Calama de 0,53 m^3/s. El autor estima que este balance medio anual se justifica por la constancia de aportes y consumos en la zona. En vista de esto, es posible independizarse de lo que ocurre aguas abajo de Calama, ya que el caudal en Yalquincha no es necesario tocarlo para satisfacer estos consumos.

En el estudio, se presentan los cuadros de regulación (aportes y déficit mensuales y sumas anuales de los mismos), calculados para 1.200, 1.600 y 2.000 Há de riego y para 0,0 , 0,5 , 0,7 y 0,8 m^3/s. de gasto suministrado por el embalse en cada caso.

El autor en base a estos cuadros, determina las capacidades de embalse versus seguridad de riego (1) para distintas superficies de riego y distintos gastos suministrados por el embalse. Se elimina solamente el caso de 2.000 Há con 0,8 m^3/s., por observarse que se trata de un caso en que es imposible cubrir los déficit acumulados que se producirían. Otro hecho que hay que hacer notar es que el autor supone que la serie estadística con que está trabajando, de gastos afluentes al embalse es repetitiva; esto lo ocupa en algunos casos en que los déficit acumulados no alcanzan a cubrirse dentro del período de la serie original. Los resultados se presentan tabulados y graficados.

Determinación de la altura del muro y capacidad del embalse.

Ante la evidente necesidad de explotar al máximo los recursos de agua de la provincia, el autor considera que no corresponde realizar el habitual estudio económico para determinar la altura del muro, y determina ésta considerando los siguientes aspectos: condiciones geológicas y topografía de la angostura, necesidad de no afectar la vía ferroviaria a Bolivia, conveniencia de que la cota de aguas máximas no obligue a construir una variante del cruce de dicho ferrocarril sobre el Loa, capacidad máxima posible 22.000.000 m^3 y las capacidades ya obtenidas al regular los aportes de todo el año.

(1) En cuanto a la forma de estimación de la seguridad de riego, el autor no dá una explicación del criterio empleado.

De esta manera determina que la cota de aguas máximas no debería sobrepasar la cota 2.987,00 m.s.n.m. , y que dada la escasez de terrenos apropiados para el relleno, los problemas de fundación que se preveen y el estudio de costos, lo más adecuado sería un embalse con muro tipo rock-fill. Calcula a continuación la crecida para un período de retorno de 1.000 años, con el objeto de determinar la cota de aguas maximas y de coronamiento del muro. La determinación de esta crecida, se hizo en base a una crecida ocurrida en Enero de 1961, de la cual sólo se registró la altura en el limnígrafo. El gasto de esta crecida se calculó en base a la fórmula de Manning usando una nivelación de las marcas dejadas por el agua en las orillas y un valor de "n" un poco superior al de régimen normal. Se estimó, así, un gasto máximo de 86 m^3/s. con una probabilidad asignada de 1.25o/o. Esta probabilidad resulta de suponer que ésta es la mayor crecida ocurrida desde 1888. A las crecidas se les supone el mismo coeficiente de variación que el que tienen las lluvias registradas en Ollagüe. Se obtiene un gasto de 140 m^3/s. para una probabilidad de 1 en 1.000 años. A continuación, supone que una carga de 0.50 mts sobre las compuertas de embalse, evacuará esta crecida y calcula la revancha necesaria que resulta ser de 1.30 m. Elije la capacidad de embalse de 22.000.000 m^3 y justifica esta elección con los resultados obtenidos en el estudio de regulación. A esta capacidad corresponde una cota de aguas máximas de 2.986,70 m.s.n.m. inferior a la cota máxima en 30 cms.

CAPITULO 5

INFORMACION METEOROLOGICA E HIDROLOGICA

Se abordaron en este estudio los siguientes aspectos relacionados con el procesamiento de los datos meteorológicos y fluviométricos de la zona:

a) La recopilación y análisis de toda la estadística meteorológica disponible registrada por la Dirección de Riego, la Oficina Meteorológica de Chile y otras instituciones hasta la iniciación del estudio.

b) La recopilación y traducción de dicha estadística en el período comprendido entre la iniciación del estudio y el 31 de Diciembre de 1969. Además, se tradujo una parte importante de la estadística mencionada en el punto a).

c) La traducción de la estadística de las estaciones meteorológicas instaladas durante el presente estudio, por la Corporación de Fomento y la Dirección de Riego a propuesta de la Sección Hidrología y Riego (SHR) de la Universidad de Chile. Esta estadística se tradujo, en general, hasta el 30 de Abril de 1970.

d) La recopilación y análisis de la estadística de las diferentes estaciones fluviométricas que la Dirección de Riego posee en la zona, hasta el inicio del estudio.

e) La traducción y análisis de dicha estadística, en el período comprendido entre el inicio de este estudio y el 31 de Diciembre de 1969, y el análisis de los aforos hechos en las corridas efectuadas por CORFO a propuesta del SHR.

f) Del análisis de la estadística fluviométrica mencionada en el punto e) surgió la necesidad de retraducir una parte importante de ella. Esta labor se realizó de común acuerdo y en conjunto con la Sección Hidrometría de la Dirección de Riego (*).

g) La interpretación de los análisis químicos de las muestras de agua tomadas por el DRH en el río Loa y sus afluentes.

A continuación se dan las características generales, tanto de estadísticas meteorológicas y fluviométricas, como de las estaciones a que ellas pertenecen.

5.1 Estaciones y Datos Meteorológicos.

5.1.1 Estaciones Meteorológicas Existentes Antes del Estudio:

1) Estación Huatacondo.

Latitud 20º 56';longitud 69º 05';altura sobre el nivel del mar: 2.450 mts.; número de Registro de estaciones pluviométricas: Zona 1, Hoya 301, Nº 001. Esta estación es controlada por un particular (Sr. Simón Namani) y consta de los siguientes instrumentos.

termómetro de máxima y mínima.
pluviómetro.

(*) La Sección Hidrometría de la Dirección de Riego forma parte actualmente del Departamento de Hidrología de la Dirección General de Aguas del M.O.P. y T.

Se dispone de registros de temperaturas máximas y mínimas desde Agosto de 1963 hasta Enero de 1969 con algunas interrupciones. En base a estos registros se han calculado las temperaturas medias diarias, promediando la temperatura máxima y la mínima del día, y las temperaturas medias mensuales. Estas últimas se dan en el Anexo I, Tabla 1.1. En las tablas 1.2 a 1.5, se incluyen las temperaturas mínimas medias diarias mensuales, las máximas medias diarias mensuales, las mínimas mensuales y las máximas mensuales.

Existen registros de precipitación desde Agosto de 1963 a Enero de 1970, los cuales aparecen en la tabla 1.6 de dicho anexo. La Figura 5.1 muestra en forma de diagrama de barras los períodos controlados de ambas estadísticas.

2) Estación Ollagüe.

Latitud 21° 13'; longitud 68° 16'; altura 3.696 m.s.n.m.; número de Registro de estaciones pluviométricas: Zona 1, Hoya 507, N° 001. Esta estación es controlada por la Oficina Meteorológica de Chile y dispone de los siguientes instrumentos:

Termómetros de máxima y mínima.
Termómetros de bulbo seco y húmedo.
Pluviómetro.

Se cuenta con registros de temperatura desde Septiembre de 1963 hasta Octubre de 1968 con frecuentes interrupciones. La Figura 5.2 muestra en forma de diagrama de barras los períodos controlados y las interrupciones de dichos registros. En el Anexo I las tablas 2.1 a 2.5 corresponden a las temperaturas medias mensuales, temperaturas máximas medias diarias mensuales, mínimas medias diarias mensuales, máximas mensuales y mínimas mensuales, respectivamente. Las temperaturas medias diarias que sirvieron de base para el cálculo de las temperaturas medias mensuales se calcularon mediante la fórmula:

$$T_m = \frac{T_{8h} + T_{19h} + T_{max} + T_{min}}{4} \qquad (5.1)$$

donde

T_m = Temperatura media diaria

T_{8h} = Temperatura a las 8:00 horas

T_{19h} = Temperatura a las 19:00 horas

T_{max} = Temperatura máxima del día

T_{min} = Temperatura mínima del día.

Los registros de temperatura del bulbo seco y húmedo abarcan el mismo período que los de máxima y mínima, aunque con menos interrupciones.

Dichos termómetros se controlaron tres veces al día, a las 8:00, 14:00 y 19:00 horas. Con la depresión del bulbo húmedo y con la temperatura del bulbo seco,

Figura 5.1

ESTACION HUATACONDO

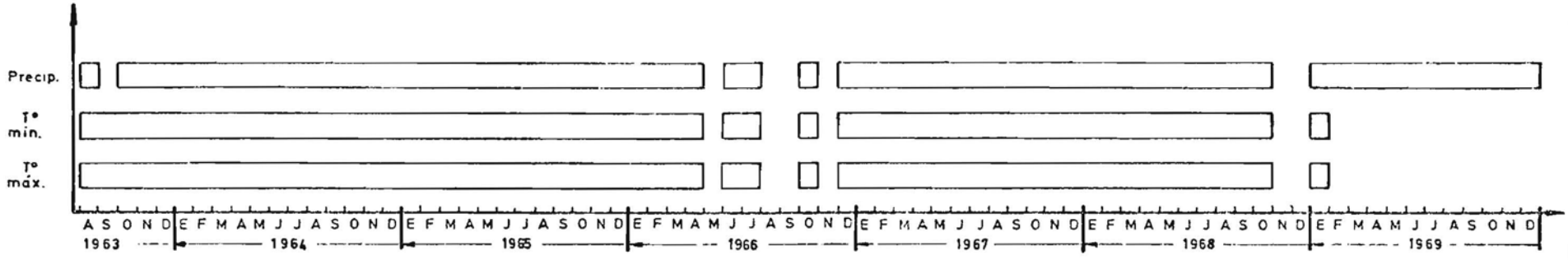
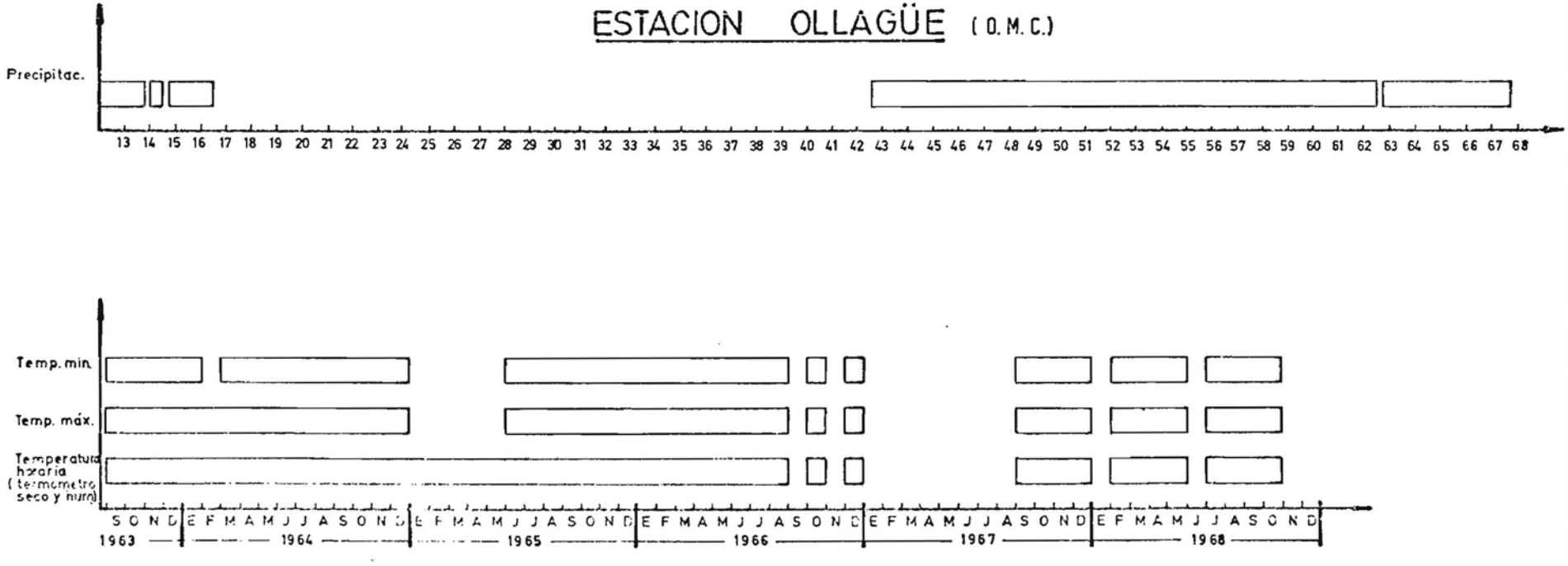


Figura 5.2

ESTACION OLLAGÜE (O.M.C.)



se calculó mediante tablas psicométricas, las humedades relativas a dichas horas. La humedad relativa diaria se computó mediante la fórmula:

$$HR_m = \frac{2HR_{8h} + HR_{14h} + HR_{19h}}{4} \qquad (5.2)$$

Las humedades relativas medias mensuales y las humedades relativas máximas y mínimas medias diarias mensuales, se incluyen en las tablas 2.6 a 2.8, respectivamente.

Se dispone de registros de precipitación desde Enero de 1913 a Mayo de 1917, y desde Mayo de 1943 a Septiembre de 1968 (Figura 5.2) teniendo una sóla interrupción en este último período. Las precipitaciones mensuales y anuales se incluyen en la tabla 2.9 del Anexo I.

3) Estación Quillagua.

Latitud 21º 38'; longitud 69º 33'; altura 802 m.s.n.m.;número de Registro de estaciones pluviométricas: Zona 1, Hoya 301, Nº 003. Controlada por la Prefectura de Carabineros para la Oficina Meteorológica de Chile. Consta de los siguientes instrumentos:

Termómetros de máxima y mínima.
Pluviómetro.

Se dispone de registros de temperaturas máximas y mínimas desde Agosto de 1963 hasta Septiembre de 1969 con breves interrupciones (Figura 5.3). Para este período se calcularon las temperaturas medias diarias promediando la máxima y la mínima del día. Con estas temperaturas medias diarias, se calcularon las temperaturas medias mensuales las cuales se incluyen en la tabla 3.1 del Anexo I.

En las tablas 3.2 a 3.5 se dan las temperaturas máximas y mínimas medias diarias mensuales, y las temperaturas máximas y mínimas instantáneas mensuales.

Se cuenta con registros de precipitación desde Junio de 1963 hasta Diciembre de 1969, con breves interrupciones (Figura 5.3).

En Mayo de 1969 se instaló otra estación meteorológica en Quillagua de acuerdo a las recomendaciones de la Universidad de Chile. La descripción de esta estación se incluye en el punto 5.1.2 de este capítulo.

4) Estación Pluviométrica de Ascotán.

Latitud 21º 40'; longitud 68º 16'; altura: 3.966 m.s.n.m.; registro de estaciones pluviométricas: Zona 1, Hoya 608, Nº 001. Esta estación es controlada por la O.M.C. y consta de sólo un pluviómetro, cuyos registros abarcan desde Enero de 1962 hasta Noviembre de 1969, con varias interrupciones (Figura 5.4).Los totales mensuales para este período se incluyen en la tabla 5.1 del Anexo I.

Figura 5.3

ESTACION QUILLAGUA (O.M.C.)

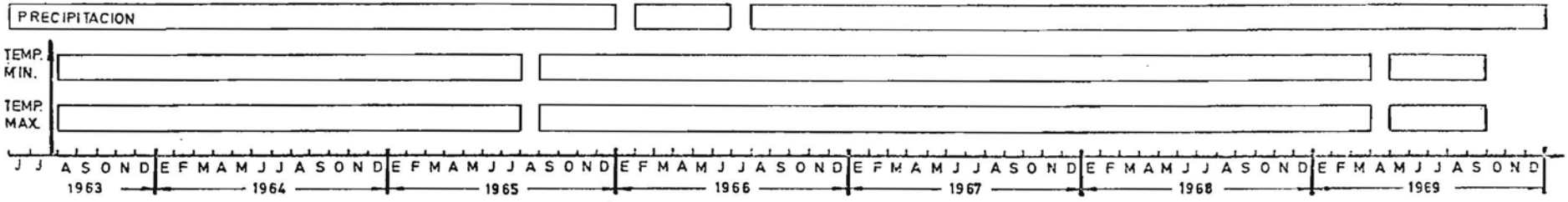


Figura 5.4

ESTACION ASCOTAN (O.M.C.)

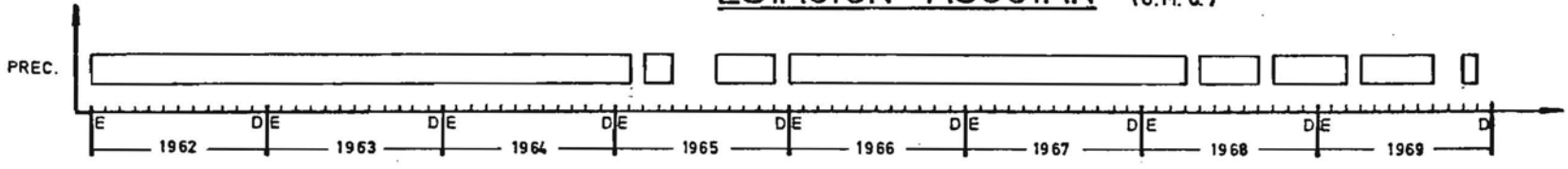


Figura 5.5

ESTACION SAN PEDRO DE CONCHI (Ferrocarril Antofagasta a Bolivia)

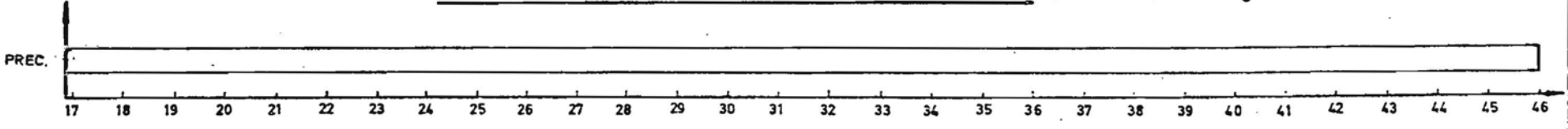
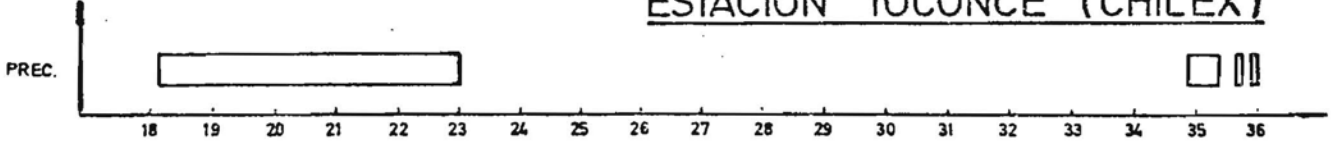


Figura 5.6

ESTACION TOCONCE (CHILEX)



5) Estación Pluviométrica de San Pedro de Conchi.

Latitud 21° 57'; longitud 68° 19'; altura: 3.200 m.s.n.m. Controlada por la Empresa del Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia, dispone sólo de un pluviómetro cuyos registros abarcan desde Enero de 1917 a Diciembre de 1946 sin interrupciones (Figura 5.5). Estos registros aparecen en la tabla 5.1 del Anexo I.

6) Estación Pluviométrica de Toconce.

Latitud 22° 16'; longitud 68° 11'; altura: 3.600 m.s.n.m. Controlada por la compañía que explotaba el mineral de cobre de Chuquicamata (Chilex), dispone sólo de un pluviómetro, cuyos registros abarcan desde Febrero de 1918 a Diciembre de 1923 y de Noviembre de 1934 a Diciembre de 1935 con interrupciones (Figura 5.6). Los valores mensuales de precipitación se incluyen en el Anexo I, tabla 6.1.

7) Estación Salado en Ayquina.

Latitud 22° 17'; longitud 68° 20'; altura: aproximada 3.000 m.s.n.m.; registro de estaciones pluviométricas: Zona 1, Hoya 301, N° 008. Controlada por la Dirección de Riego, dispone de registros de evaporación desde Abril de 1964 hasta Abril de 1966 con la excepción del mes de Julio de 1965 (Figura 5.7). Los valores medios diarios mensuales de evaporación se incluyen en la tabla 7.1 del Anexo I.

8) Estación Chuquicamata.

Latitud 22° 20'; longitud 68° 54'; altura: 2.660 m.s.n.m.; Controlada por la Chile Exploration Co., dispone de un pluviómetro cuyos registros abarcan desde Junio de 1914 hasta Mayo de 1918, sin interrupciones, y de registros de radiación incidente desde Febrero a Octubre de 1963. Los valores mensuales de precipitación se incluyen en la tabla 8.2 y los valores medios diarios mensuales de radiación se dan en la tabla 8.1 del Anexo I. Los datos de radiación fueron proporcionados por la Universidad Técnica Santa María (Figura 5.8).

9) Estación evaporimétrica del Salar de Talabre.

Latitud 22° 23'; longitud 68° 48'; altura aproximada: 2.300 m.s.n.m. Controlada por Chilex, dispone de un evaporímetro clase A del Weather Bureau cuyos registros abarcan desde Abril de 1963 a Julio de 1964 (Figura 5.9). Los valores medios diarios mensuales se dan en la tabla 9.1 del Anexo I.

10) Estación Coya Sur.

Latitud 22° 24'; longitud 69° 38'; altura sobre el nivel del mar 1.240 mts. Controlada por la Universidad Técnica Federico Santa María. Dispone sólo de un radiómetro que estuvo en funciones desde Enero de 1962 a Diciembre de 1964, sin interrupciones. Los valores medios diarios mensuales de radiación solar incidente se dan en tabla 10.1 del Anexo I. (Figura 5.10).

11) Estación Calama.

Latitud 22° 28'; longitud 68° 58'; altura: 2.266 m.s.n.m. registro de estaciones pluviométricas: Zona 1, Hoya 301, N° 004. Controlada por la O.M.C., consta de los siguientes instrumentos:

Figura 5.7

ESTACION SALADO EN AYQUINA (RIEGO)

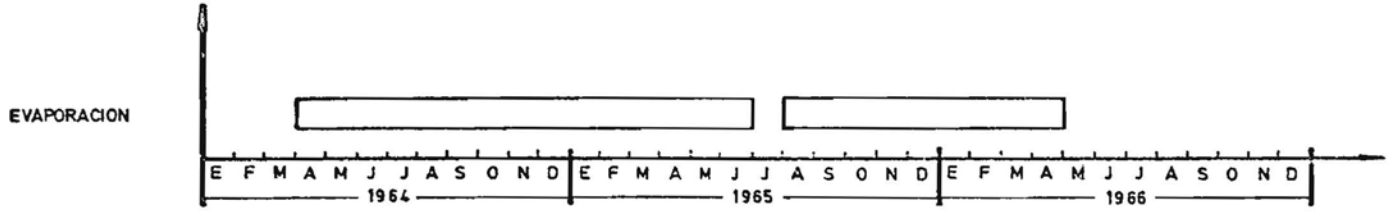


Figura 5.8

ESTACION CHUQUICAMATA (CHILEX)

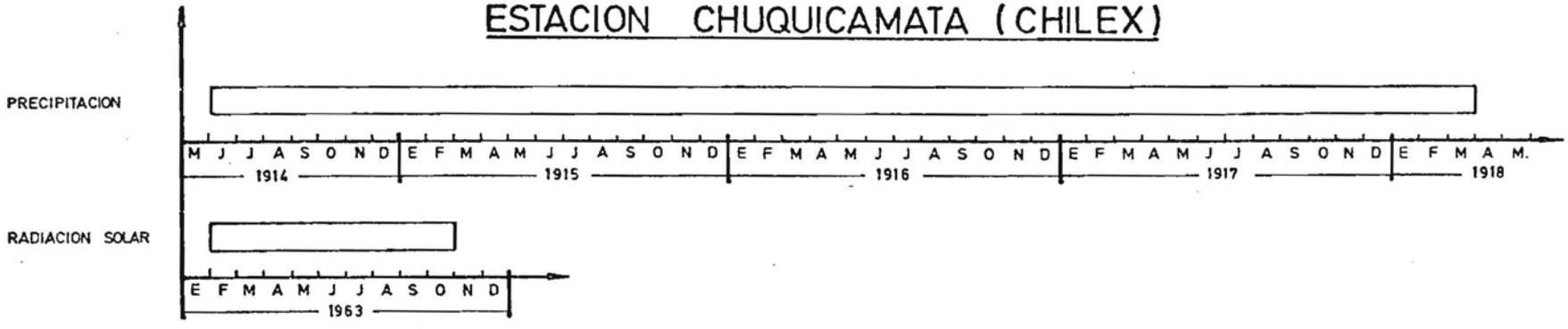
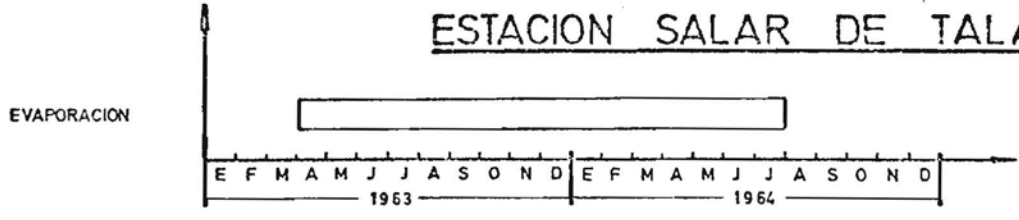


Figura 5.9

ESTACION SALAR DE TALABRE (CHILEX)



Termómetro de máxima y mínima
Termómetros de bulbo seco y húmedo
Pluviómetro
Evaporímetro
Anemómetro

Los registros de temperaturas máximas y mínimas y de bulbo seco y húmedo abarcan desde Febrero de 1965 hasta Septiembre de 1969 con varias interrupciones (Figura 5.11). Con las lecturas diarias del termómetro de bulbo seco a las 8.00 y a las 19:00 horas y con los valores de las temperaturas máximas y mínimas diarias se calcularon las temperaturas medias diarias mediante la fórmula 5.1. Los valores de temperaturas medias diarias mensuales se incluyen en el Anexo I tabla 11.1. En las tablas 11.2 a 11.5 se dan las temperaturas máximas y mínimas medias diarias mensuales, y las temperaturas máximas y mínimas mensuales, respectivamente. En base a las depresiones del bulbo húmedo y a las temperaturas del bulbo seco, se calcularon mediante tablas psicométricas, las humedades relativas a las 8, 14 y 19 horas diariamente. La humedad relativa media diaria se calculó en base a las humedades relativas a dichas horas mediante la fórmula 5.2. Las humedades relativas medias diarias mensuales y anuales se incluyen en la tabla 11.6. Las humedades relativas máximas y mínimas medias diarias para cada mes se dan en las tablas 11.7 y 11.8, respectivamente.

Existen registros de precipitación desde Febrero de 1965 hasta Noviembre de 1969 con interrupciones (Figura 5.11). Los totales mensuales y anuales para este período se encuentran en la tabla 11.9. En Septiembre de 1965, se instaló un evaporímetro Clase A, del Weather Bureau el cual estuvo en funciones hasta Mayo de 1967, no teniendo registros en los meses de Marzo a Junio de 1966. Los valores de evaporación medias diarias mensuales, se dan en la tabla 11.10 y los valores máximos y mínimos diarios, se encuentran en las tablas 11.11 y 11.12, respectivamente (1).

Además de esta estación meteorológica controlada por la O.M.C., que se encuentra ubicada en el aeropuerto de Calama, la Dirección de Riego operó desde Agosto de 1961, diversos instrumentos meteorológicos en el campamento que posee en l ciudad de Calama y en la finca de propiedad del Sr. Juan Tómic, en la zona de vegas.

Algunos de estos instrumentos estuvieron en operación hasta Diciembre de 1968. En Marzo de 1969, la Dirección de Riego y el DRH de CORFO, instalaron, por recomendación de SHR, una estación meteorológica más completa, la cual se encuentra en funciones actualmente. La descripción de esta estación se hará en la parte 5.1.3 del presente capítulo.

Los instrumentos meteorológicos que estuvieron en funciones en el período 1961 - 68, son los siguientes:

Termómetro de máxima y mínima
Anemómetro
Evaporímetro Clase A.
Atmómetros blanco y negro

Los registros de temperaturas máximas y mínimas abarcan desde mayo de 1964 hasta Junio de 1966, con largas interrupciones (Oct. - Dic. de 1964 y Mayo 1965 a Abril de 1966) según se muestra en la Figura 5.12. En la tabla 12.1 del Anexo I se incluyen las temperaturas medias diarias mensuales. Las temperaturas medias diarias que sirvieron de base para el cálculo de esta estadística, se computaron promediando la temperatura máxima y la mínima de cada día. En dicha tabla se incluyen también, las temperaturas medias diarias mensuales registradas en la nueva estación instalada en 1969. Estas últimas temperaturas fueron calculadas mediante la fórmula 5.1.

1) Se dispone también de estimaciones de la velocidad del viento y de nubosidad. Estos valores aparecen en los anuarios meteorológicos de Chile, años 1965 - 1968.

Figura 5.10

ESTACION COYA SUR (U.T.S.M.)

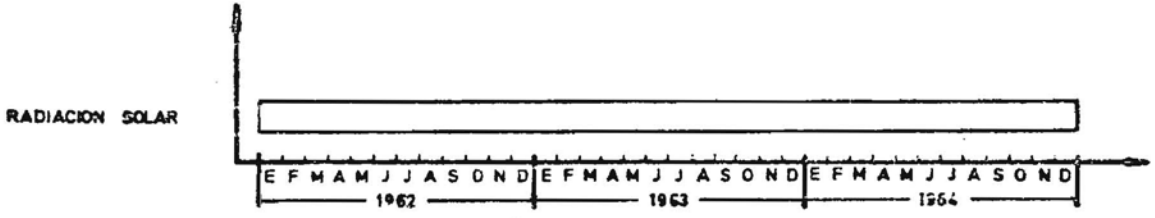


Figura 5.11

ESTACION CALAMA (D.M.C.)

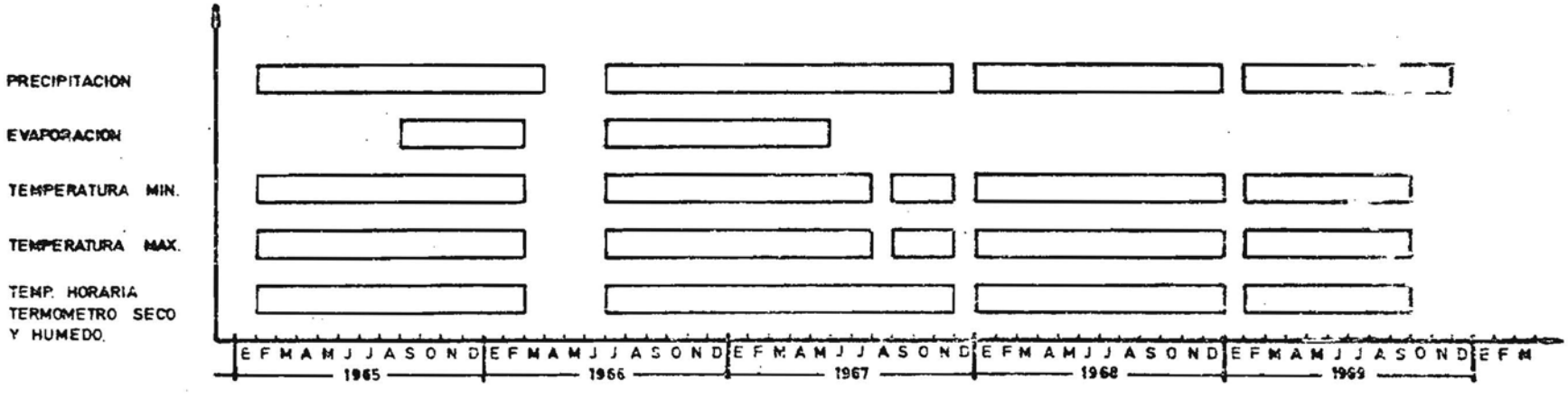


Figura 5.12

ESTACION CALAMA (Riego)

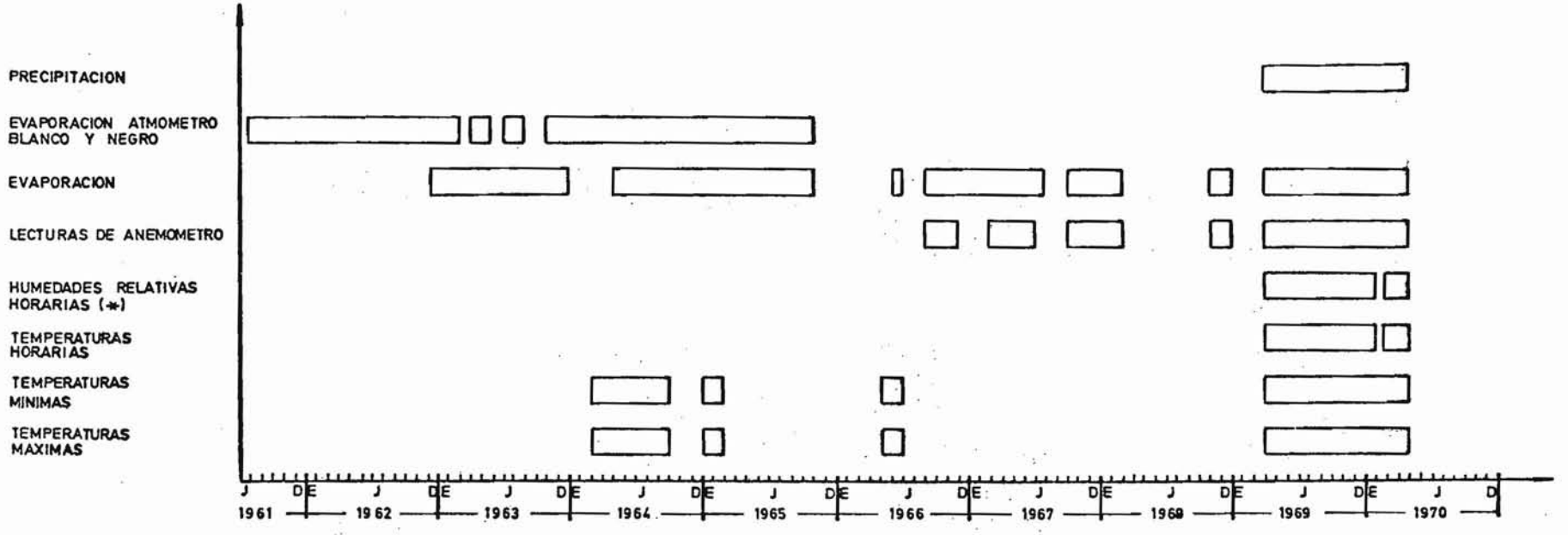
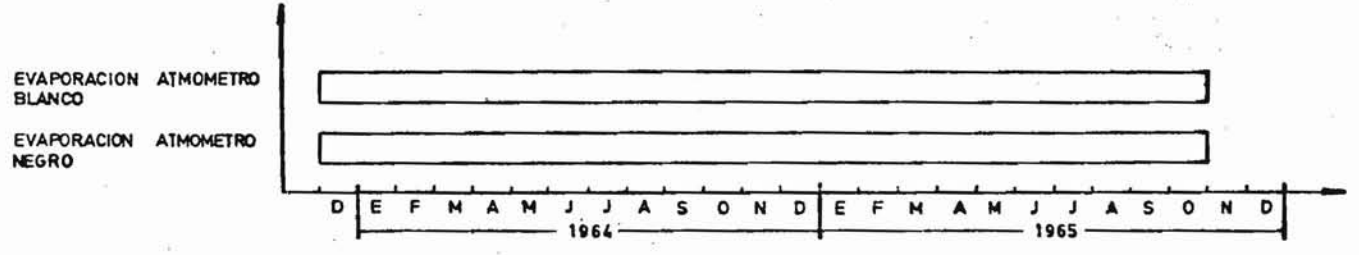


Figura 5.13

ESTACION FINCA JUAN TOMIC - CALAMA (Riego)



(*) VARIABLE METEREOLOGICA MEDIDA DESDE LA REINSTALACION DE LA ESTACION.

En las tablas 12.2 a 12.5 se incluyen las temperaturas máximas y mínimas medias diarias mensuales, y las máximas y mínimas mensuales, respectivamente.

Las estadísticas de velocidad del viento se inician en Septiembre de 1966 y presentan varias interrupciones, como puede apreciarse en la Figura 5.12 y en las tablas 12.6 y 12.7, en las que aparecen las velocidades medias mensuales y las velocidades máximas medias diarias mensuales, respectivamente.

En estas tablas también se han incluído los valores registrados en la nueva estación Calama.

Desde Diciembre de 1962, se cuenta con registros de evaporación. Desde esta fecha y hasta Julio de 1963, el evaporímetro controlado fue un paralelepípedo cuya base era de 50 x 50 cms. A partir de Agosto de 1963, los registros corresponden a un evaporímetro Clase A del Weather Bureau. Estos registros presentan numerosas interrupciones como puede apreciarse en la Figura 5.12. En las tablas 12.8 a 12.10 se incluyen las evaporaciones medias diarias mensuales, y las máximas y mínimas de cada mes, respectivamente.

En Agosto de 1961 la Dirección de Riego instaló un par de atmómetros, blanco y negro con el objeto de determinar la evapotranspiración en la zona. Estos atmómetros estuvieron en funciones hasta Octubre de 1965 con breves interrupciones. Las evaporaciones medias diarias mensuales para los atmómetros blanco y negro se dan en las tablas 12.11 y 12.12. En la tabla 12.13 se dan las diferencias medias diarias mensuales entre ambos atmómetros.

Además de los atmómetros de la estación Campamento de Calama, la Dirección de Riego instaló otro par en la finca de propiedad del Sr. Juan Tómic, en la zona de las vegas. Estos atmómetros estuvieron en funcionamiento en el período comprendido entre Diciembre de 1963 y Octubre de 1965. Las evaporaciones medias diarias mensuales del atmómetro blanco y negro y sus diferencias se incluyen en las tablas 12.14 a 12.17. Una visión gráfica de esto aparece en la Figura 5.13.

12) Estación Pedro de Valdivia.

Latitud 22º 35'; longitud 69º 40'; altura: 1.455 m.s.n.m.; Registro de estaciones pluviométricas: Zona 1, Hoya 301, Nº 005. Controlada por la O.M.C., dispone de los siguientes instrumentos:

Termómetro de máxima y mínima
Pluviómetro

Los registros de temperatura cubren el período Agosto de 1963 a Diciembre de 1967 con frecuentes interrupciones (Figura 5.14). Las temperaturas medias diarias se calcularon como promedio de la máxima y mínima de cada día y sus promedios mensuales se incluyen en la tabla 13.1 del Anexo I. En las tablas 13.2 a 13.5 se dan las temperaturas máximas y mínimas de cada mes para el período controlado, respectivamente.

El pluviómetro se controló desde Julio de 1963 a Diciembre de 1967, con interrupciones (Figura 5.14). En los 4 años de funcionamiento, no se registraron precipitaciones. En la tabla 13.6 se indican los meses controlados durante dicho período.

Figura 5.14

ESTACION PEDRO DE VALDIVIA (O.M.C.)

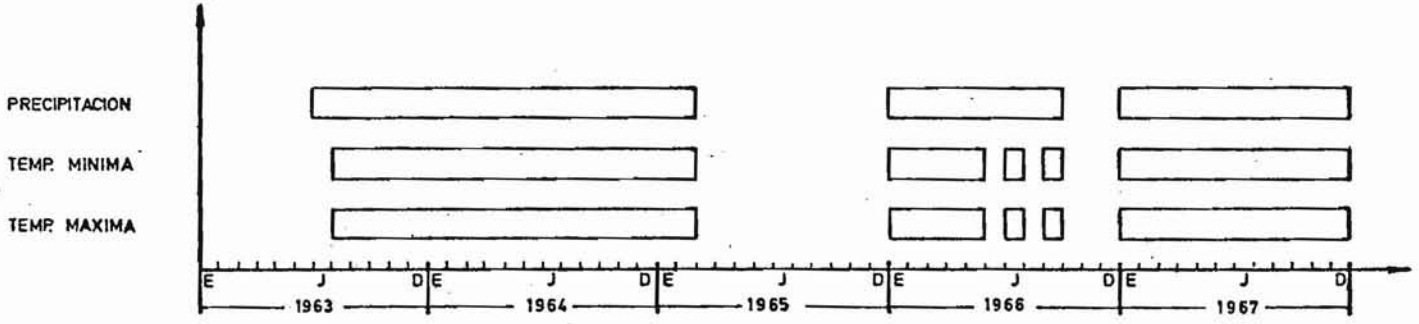
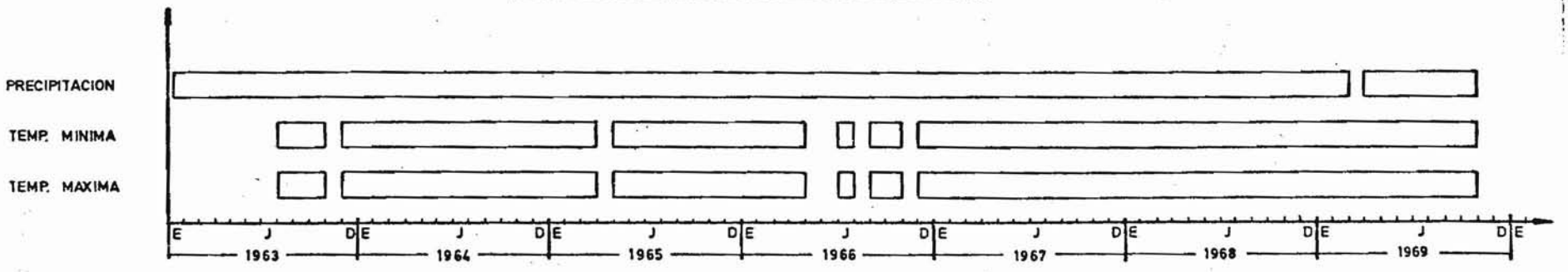


Figura 5.15

ESTACION SIERRA GORDA (O.M.C.)



13) Estación Sierra Gorda.

Latitud 22º 54'; longitud 69º 19'; altura: 1.264 m.s.n.m.; registro pluviométrico: Zona 2, Hoya 206, Nº 001. Controlada por la O.M.C., consta de los siguientes instrumentos:

Termómetro de máxima y mínima
Pluviómetro

Aunque se encuentra actualmente en funciones, sólo se dispone de registros de temperatura desde Agosto de 1963 hasta Octubre de 1969. Las temperaturas medias diarias, calculadas como promedio de la máxima y de la mínima sirvieron de base para calcular las temperaturas medias diarias mensuales, las cuales se incluyen en la tabla 14.1 del Anexo I. En las tablas 14.2 a 14.5 de dicho Anexo, se dan las temperaturas máximas y mínimas medias diarias mensuales, y las temperaturas máximas y mínimas de cada mes, respectivamente.

Los registros de precipitación abarcan desde Enero de 1963 hasta Octubre de 1969 con la sola interrupción del mes de Marzo de 1969. Los valores mensuales registrados se dan en la tabla 14.6 (Figura 5.15).

14) Estación San Pedro de Atacama.

Latitud 22º 56'; longitud 68º 13'; altura: 2.436 m.s.n.m.; registro pluviométrico: Zona 2, Hoya 612, Nº 001. Controlada por la O.M.C., consta de los siguientes instrumentos:

termómetro de máxima
termómetro de mínima
termómetro de bulbo seco y húmedo
evaporímetro Clase A
pluviómetro.

Registros de temperaturas máximas diarias existen sólo a partir de Febrero de 1968, mientras que los de temperatura mínima y de bulbo seco y húmedo se inician en Septiembre de 1967. Aunque la estación está actualmente en funciones, sólo se dispone de registros hasta Octubre de 1969. Las temperaturas medias diarias mensuales para el período Febrero de 1968 - Octubre 1969, se calcularon en base a las temperaturas medias diarias obtenidas mediante la fórmula 5.1. Para el período Septiembre 1967 - Febrero 1968, se usó una correlación gráfica usando los promedios mensuales de las temperaturas a las 8 , 14 y 20 horas, de acuerdo a la fórmula:

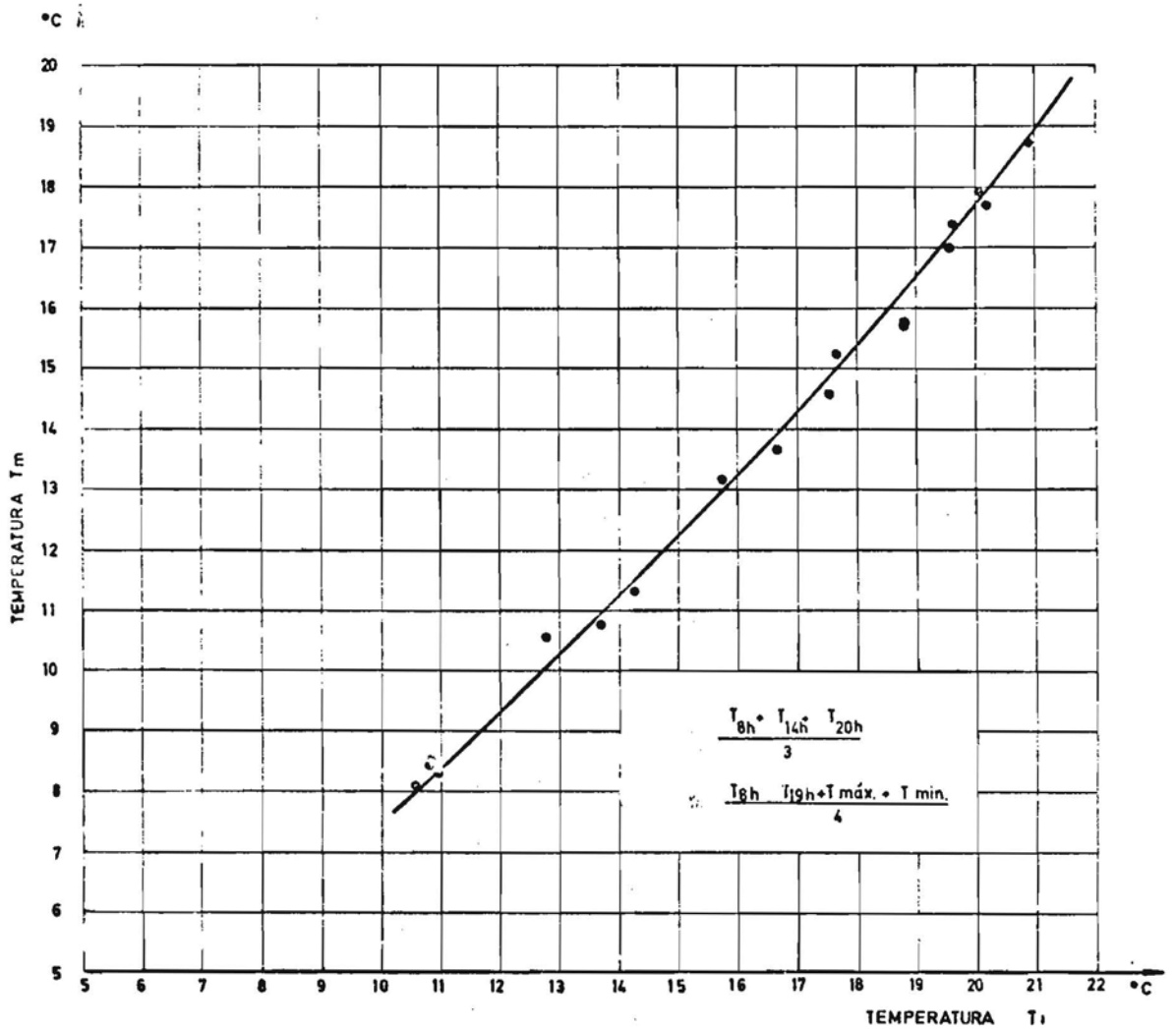
$$T_1 = \frac{T_{8h} + T_{14h} + T_{20h}}{3} \qquad (5.3)$$

y las temperaturas medias mensuales calculadas por la Fórmula 5.1. Para obtener esta correlación se usan los datos del período 68 - 69 (Figura 5.16).

En la tabla 15.1 del Anexo I se dan las temperaturas medias diarias mensuales para ambos períodos. En las tablas 15.2 a 15.5 se inlcuyen las temperaturas máximas y mínimas medias diarias mensuales, y las máximas y mínimas de cada mes, respectivamente.

Figura 5.16

ESTACION SAN PEDRO DE ATACAMA



Se calculó además, las humedades relativas a las 8, 14 y 20 horas cada día, utilizando para ello la temperatura del bulbo seco y la depresión del húmedo. La humedad relativa media diaria se obtuvo por medio de la fórmula 5.2. Los promedios diarios mensuales se incluyen en la tabla 15.9. Los valores medios diarios máximos y mínimos de cada mes se dan en las tablas 15.10 y 15.11, respectivamente.

Esta estación dispone de registros de evaporación desde Agosto de 1963 a Mayo de 1969 en forma ininterrumpida. Los promedios diarios de cada mes se incluyen en la tabla 15.6. En las tablas 15.7 y 15.8 se dan los valores diarios máximos y mínimos en cada mes del período mencionado respectivamente.

Los registros de precipitación abarcan desde Febrero de 1959 hasta Octubre de 1969. En la tabla 12.15 se dan las precipitaciones mensuales y anuales del período antes mencionado.

Todos los antecedentes respecto a estadística disponible en esta estación aparecen en la Figura 5.17.

15) Estación Pluviométrica de Toconao.

Latitud 23º 11'; longitud 68º 01'; Altura 2.480 m.s.n.m. Controlada por Riego, sólo estuvo en funciones durante 14 meses en los años 34 - 35. Los totales mensuales se incluyen en el Anexo I, tabla 16.1 y en la Figura 5.18.

5.1.2 Análisis de las Estadísticas Registradas en Este Período.

El análisis de las estadísticas registradas en las estaciones mencionadas anteriormente, ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

1.- De las 15 estaciones consideradas, 12 poseen registros de precipitación, 8 de temperaturas máximas y mínimas, 5 de evaporación, 3 de humedad relativa, 2 de radiación, 2 de evaporación de atmómetros y 1 de velocidad del viento, siendo las más completas las estaciones de Calama (O.M.C.) y Ollagüe (O.M.C.).

2.- Sólo dos estaciones tienen estadísticas pluviométricas con una longitud de 30 años, 6 tienen una duración comprendida entre 5 y 10 años y 4 poseen estadísticas inferiores a 5 años. Casi todas ellas presentan interrupciones. El período común más frecuente es el comprendido entre los años 1963 - 1969 con 7 estaciones.

Las dos estaciones que tienen 30 años de estadística (Ollagüe y San Pedro de Conchi) sólo poseen 3 años en común, por lo cual no ha sido posible realizar curvas másicas para su análisis. Sin embargo, en las Figuras 5.19 y 5.20 se muestran los valores acumulados de las precipitaciones anuales de cada estación en función del tiempo, respectivamente. Dichos gráficos indican que las estadísticas son consistentes y que no presentan quiebras de significación.

3.- Cuatro estaciones poseen estadísticas de temperaturas máximas y mínimas de 6 años de duración, 2 tienen estadísticas de 4 años y 2 inferiores a 3 años. Casi todas ellas presentan frecuentes interrupciones. Los valores de temperaturas máximas y mínimas se usaron para calcular las temperaturas medias diarias en todas las estaciones.

Figura 5.17

ESTACION SAN PEDRO DE ATACAMA (O.M.C.)

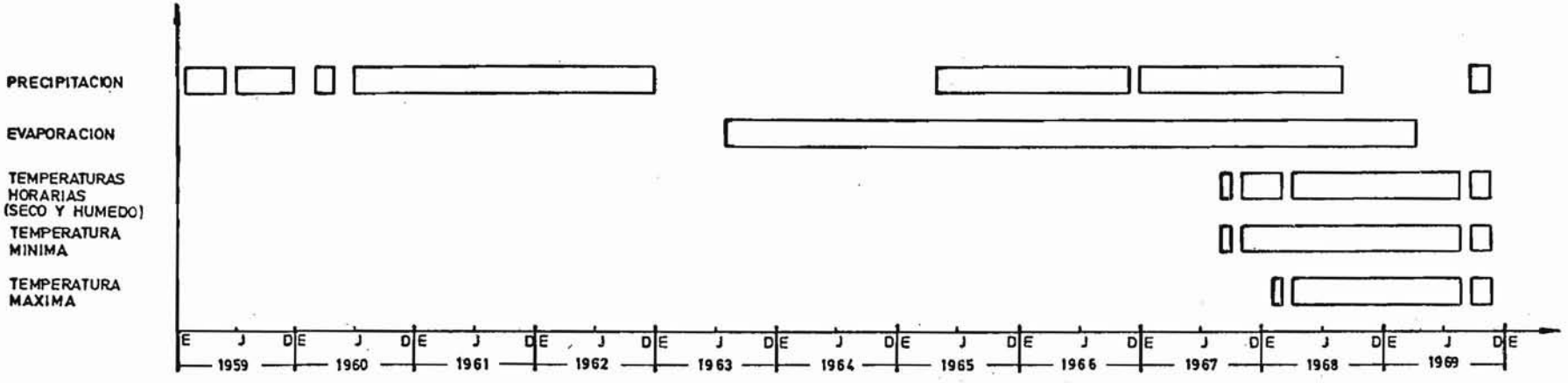


Figura 5.18

ESTACION TOCONAO (Riego)

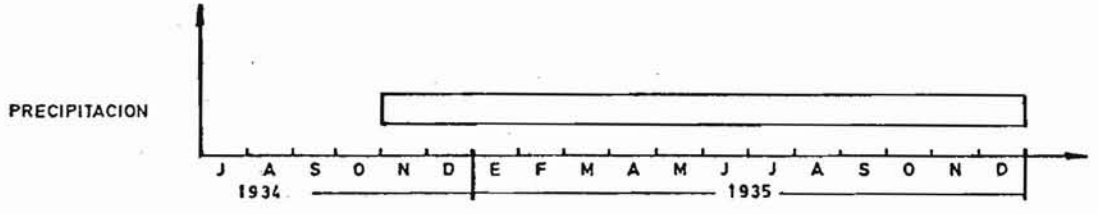


Figura 5.19

PRECIPITACION ACUMULADA VERSUS TIEMPO

ESTACION OLLAGÜE

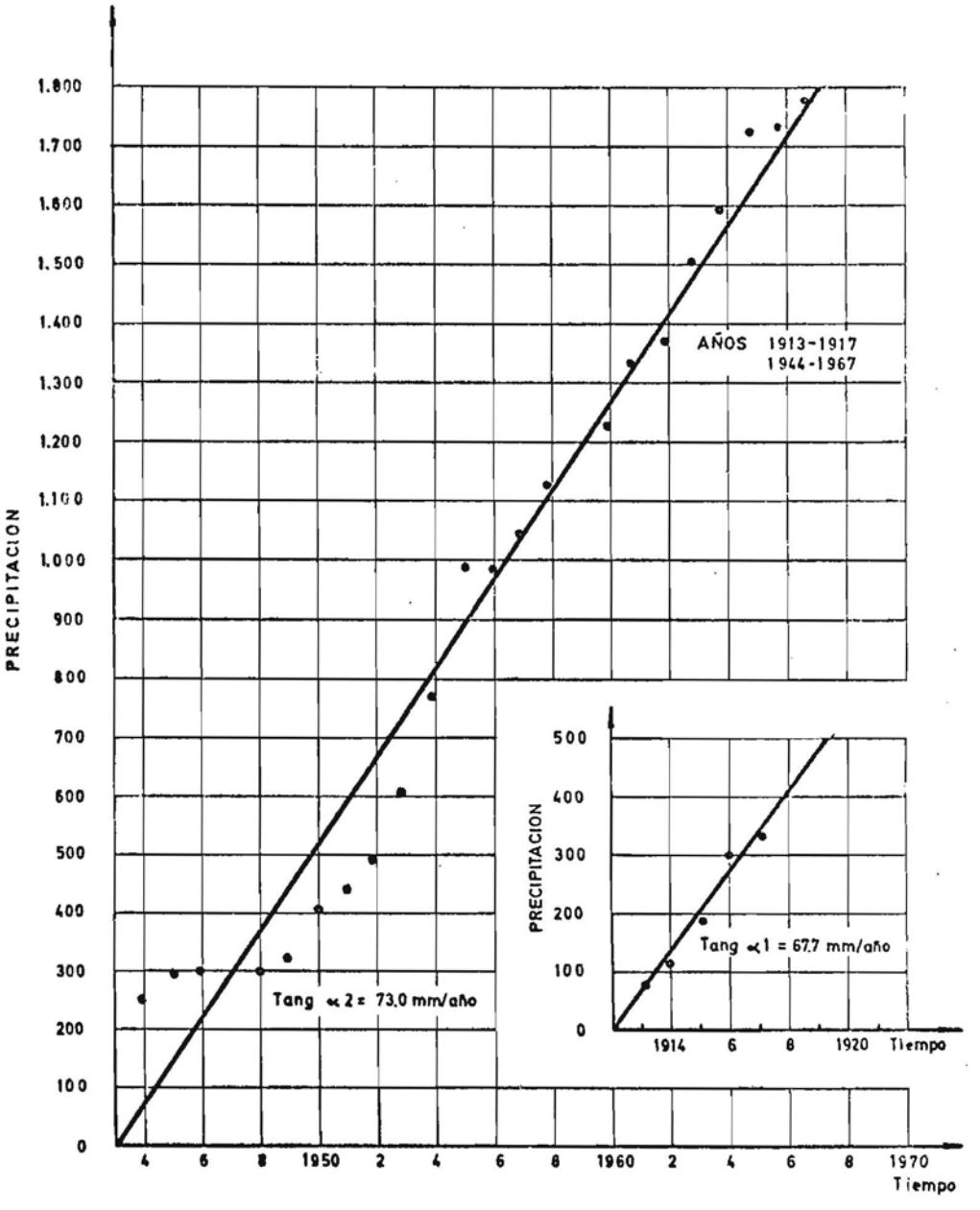
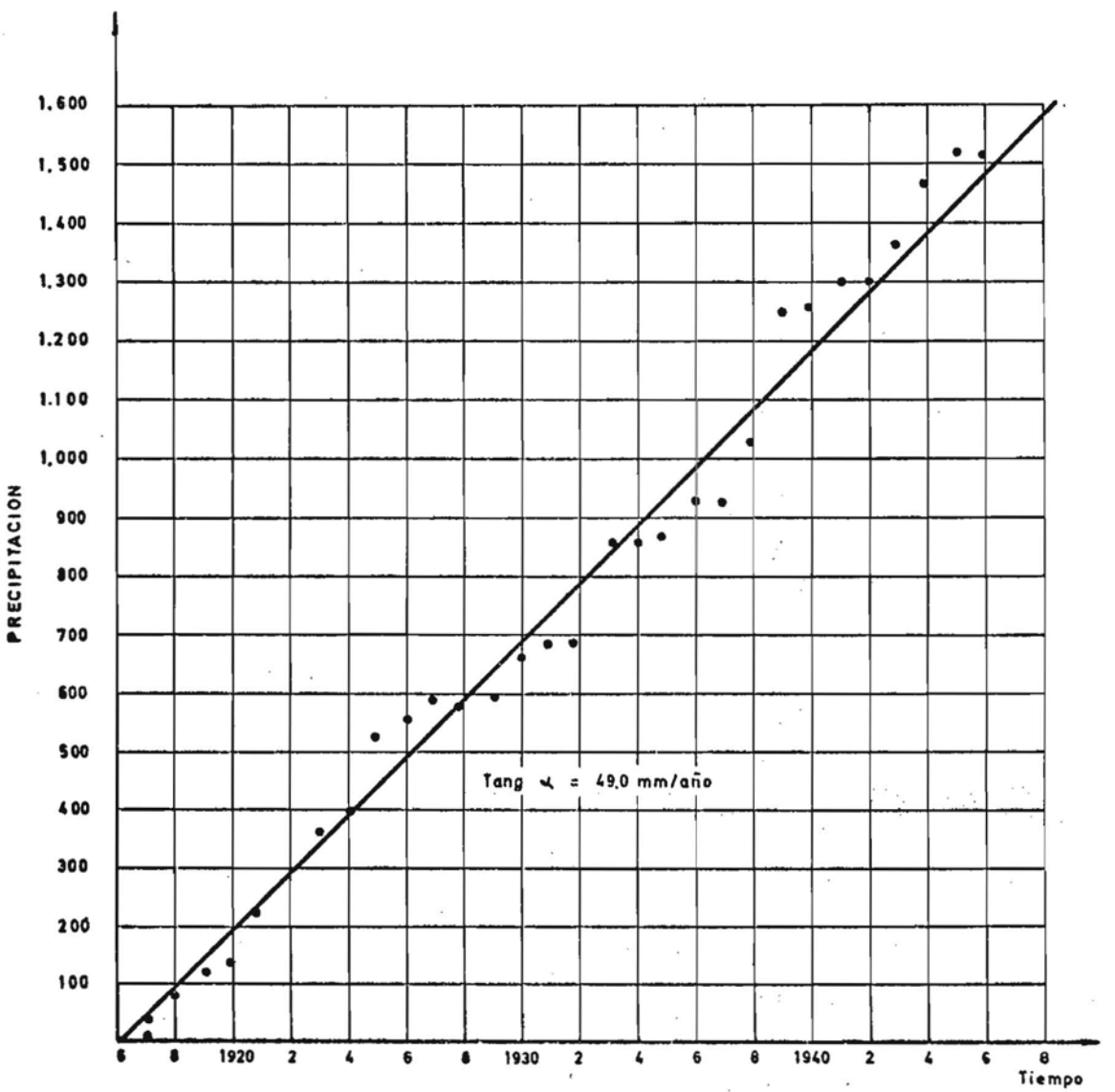


Figura 5.20

PRECIPITACION ACUMULADA VERSUS TIEMPO

ESTACION SAN PEDRO DE CONCHI

Años 1917 - 1946



En aquellas en que se disponía además de lecturas de termómetro seco a las 8:00 y 20:00 horas, la temperatura diaria se calculó mediante la fórmula 5.1. En las estaciones restantes, la temperatura media se obtuvo como simple promedio de las temperaturas máximas y mínimas. Las temperaturas medias calculadas por ambos procedimientos presentan, en algunos casos, diferencias apreciables y no fue posible encontrar una relación entre ambas variables que permitiera transformar las estadísticas a una base común con una precisión aceptable.

4.- Las estaciones que poseen registros de evaporación desde bandeja tipo A del Weather Bureau, son sólo 5. La longitud de estos registros es la siguiente: una estación posee 8 años de estadística; otra, 6 años, dos poseen 2 años y una 1 año. Tres de las 5 estaciones se encuentran ubicadas en zonas muy próximas entre sí, dos en Calama y una en el Salar de Talabre.

Los valores diarios, promedios mensuales comunes a las estadísticas de Calama, Riego y Calama O.M.C. se han llevado a un gráfico (Figura 5.21) para su comparación. De este gráfico se desprende que las evaporaciones medidas en el aeropuerto de Calama (O.M.C.) son mayores, en general, que las medidas en el Campamento de la Dirección de Riego, ubicado en la ciudad misma. En dicha figura se puede apreciar además que no existe una relación definida entre ambas variables. Esto se puede deber a diferencias apreciables en la humedad relativa media de ambos puntos, pero desgraciadamente no se dispone de registros simultáneos de ella, para ambas estaciones, que permitan hacer la comparación.

Existe una mayor correlación entre la evaporación medida en Calama (Riego) y la evaporación medida en el Salar de Talabre (Figura 5.22), lo que habría permitido completar la estadística de evaporación de Calama, si se hubiera contado con estadística en el Salar de Talabre con la longitud necesaria. Se intentó entonces una correlación lineal con los valores diarios, promedios mensuales registrados en San Pedro de Atacama. La relación encontrada con 42 puntos comunes es la siguiente (Figura 5.23):

$$E_{Cal} = 4.315 + 0.616 \; E_{SP} \qquad \text{(mm/día)} \qquad (5.4)$$

El coeficiente de correlación es de r = 0.895 y el error standard del estimado es de 0.864 mm. Como la estadística de San Pedro de Atacama abarca el período Agosto de 1963 a Mayo de 1969, esta correlación que se estima aceptable, ha permitido rellenar los meses sin registrar de la estadística de Calama Riego para ese período. Se obtuvo además para Calama, una correlación lineal entre la evaporación medida en el evaporímetro Clase A y el atmómetro blanco, ubicados ambos en el campamento de la Dirección de Riego. La relación obtenida con 19 pares de valores, es la siguiente:

$$E_{Ev} = -1.3437 + 0.4564 \; E_a \qquad (5.5)$$

$$r = 0.8031 \qquad e_s = 0.981 \text{ (mm/día)}$$

en que E_{Ev} es la evaporación medida en el evaporímetro en mm/día, y E_a es la evaporación medida en el atmómetro blanco en cc/día. Aún cuando ambos instrumentos estaban sometidos a las mismas condiciones evaporantes, el coeficiente de correlación obtenido es inferior al correspondiente a la correlación con San Pedro de Atacama y el error standard es mayor. Por estos motivos se prefirió usar la estadística de San Pedro para rellenar la estadística de Calama Riego.

Figura 5.21

EVAPORACIONES EN CALAMA

(Riego y O. M. C.)

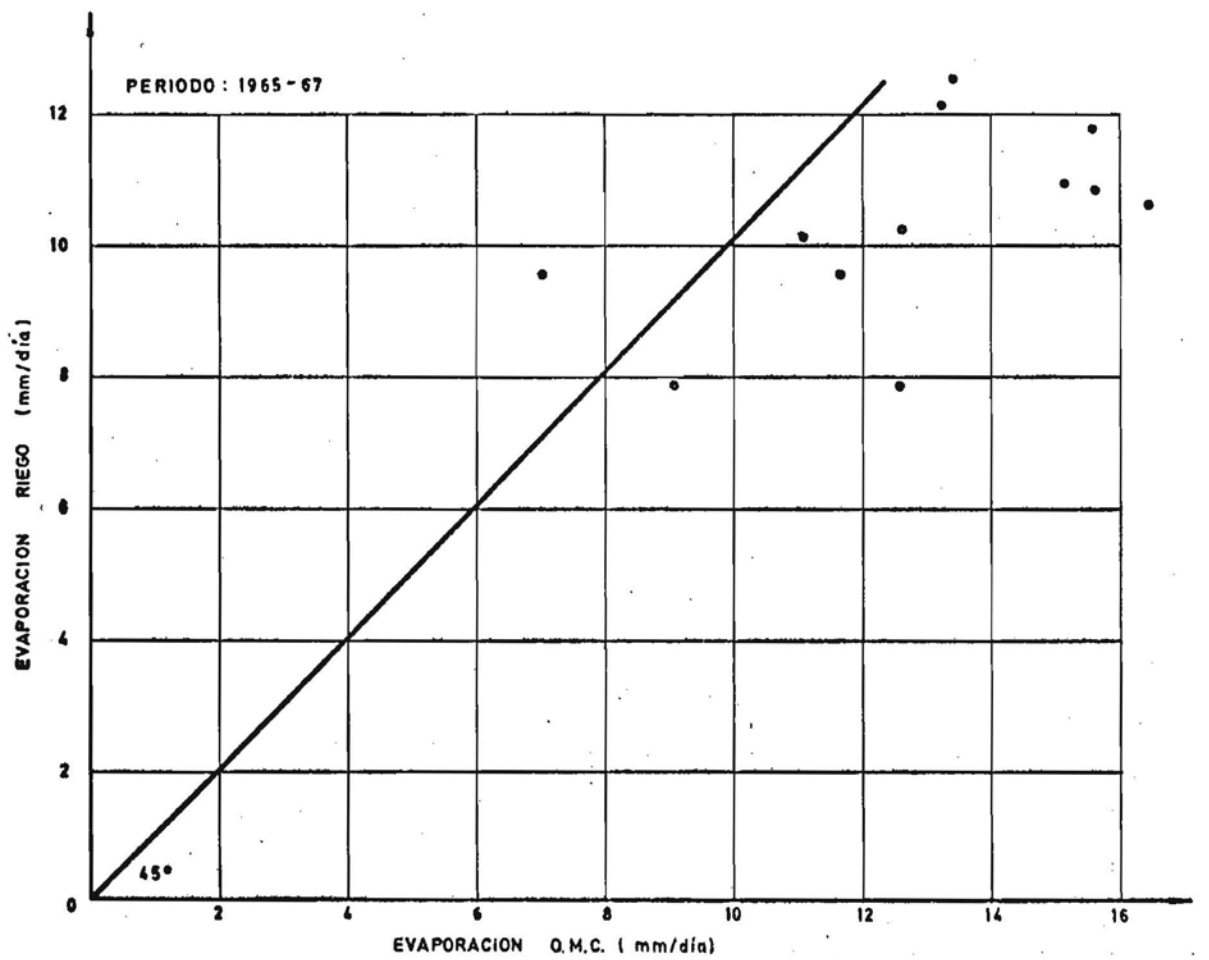


Figura 5.22

EVAPORACIONES DIARIAS, PROMEDIOS MENSUALES CALAMA (Riego) VERSUS SALAR DE TALABRE

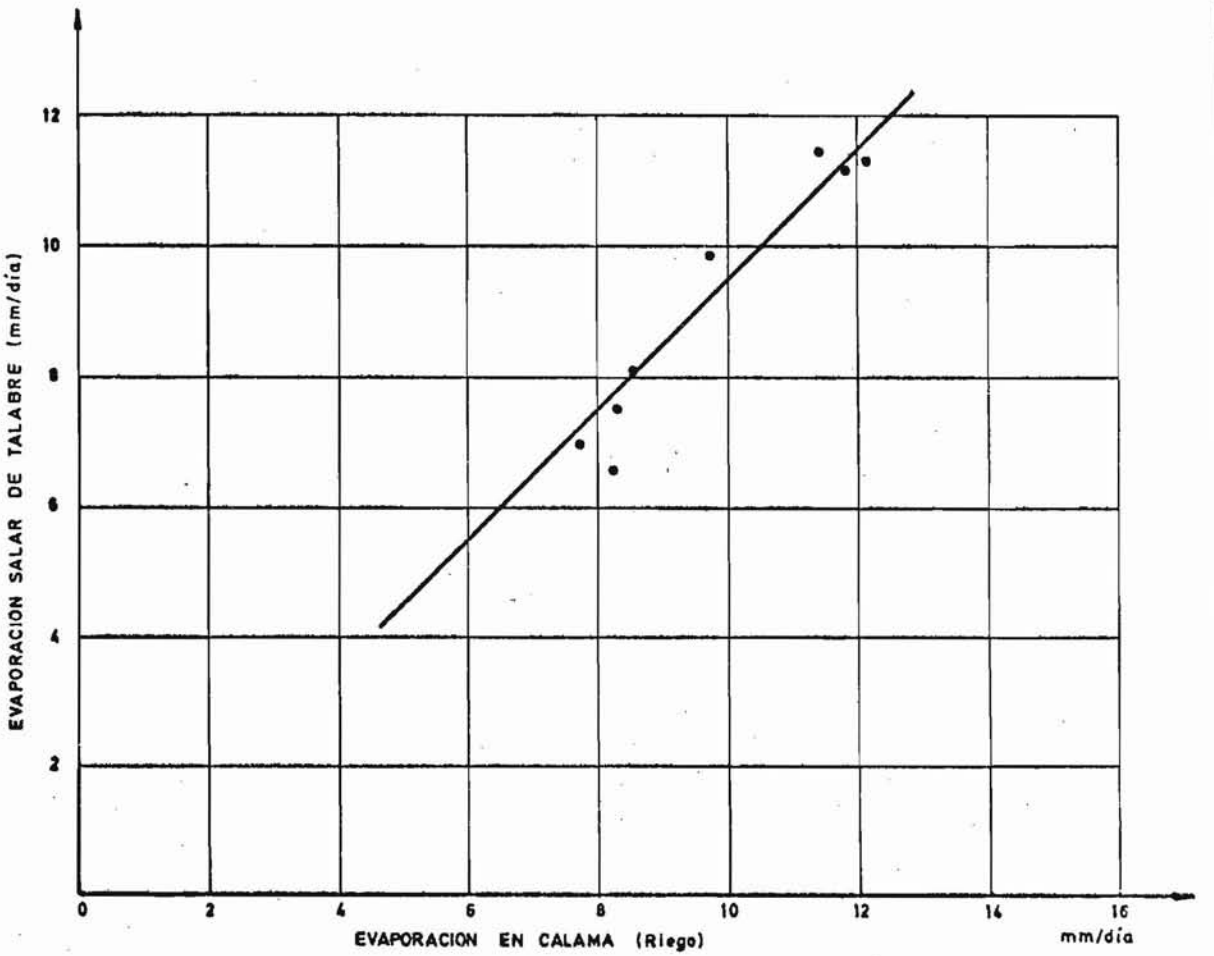
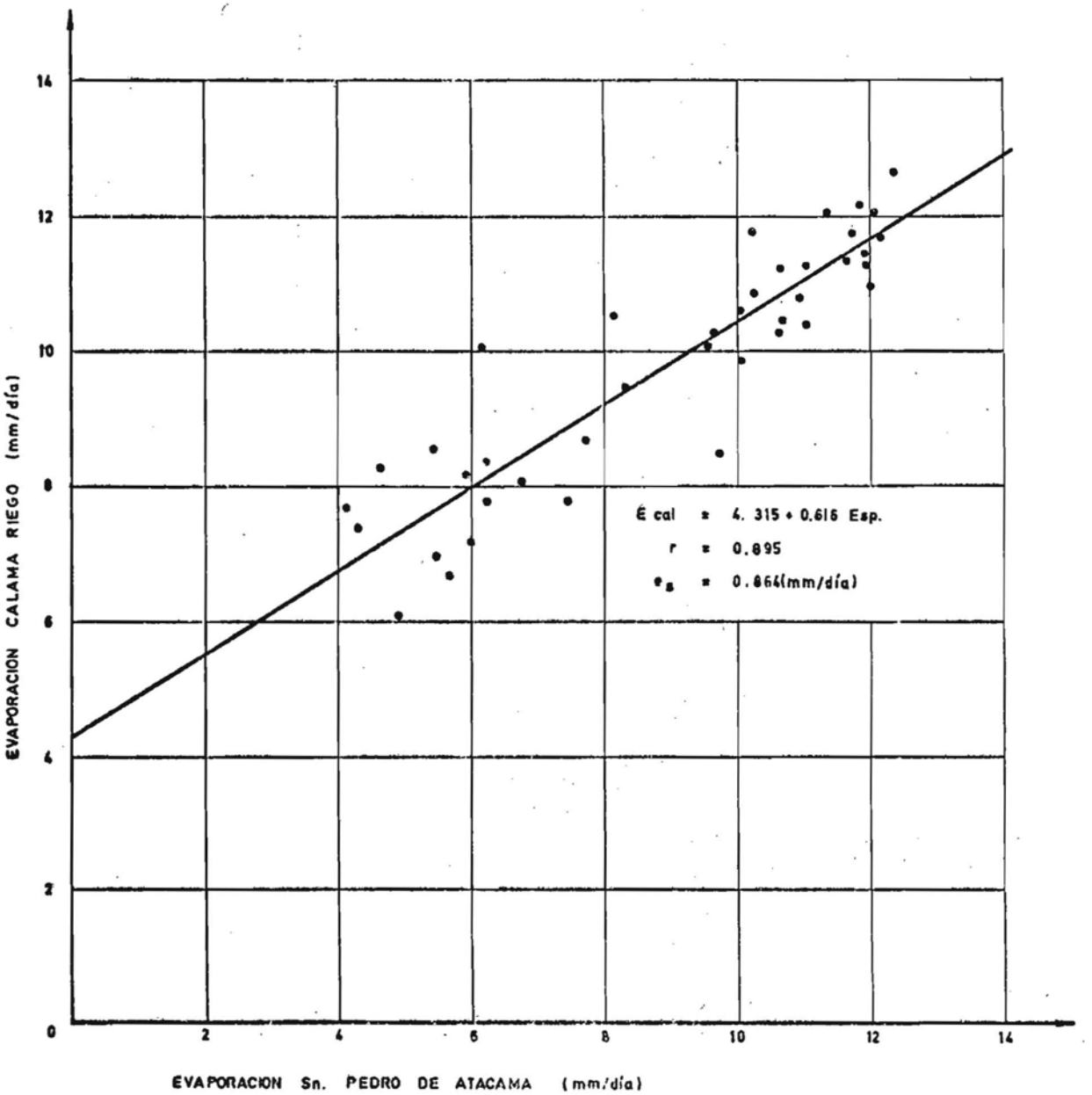


Figura 5.23

EVAPORACIONES DIARIAS, PROMEDIOS MENSUALES CALAMA (Riego) VERSUS SAN PEDRO DE ATACAMA



También se calculó una correlación lineal entre las evaporaciones medidas en la estación Salado en Ayquina y San Pedro de Atacama. La relación obtenida es la siguiente (Figura 5.24):

$$E_{SA} = 3.966 + 0.6974\ E_{SP} \qquad (5.6)$$

$r = 0.956$ $\qquad e_s = 0.583$ (mm/día)

E_{SA} = Evaporación en Ayquina expresada en mm/día

E_{SP} = Evaporación en San Pedro de Atacama en mm/día

r = coeficiente de correlación

e_s = error standard del estimado

El alto valor del coeficiente de correlación obtenido, nos ha permitido rellenar y extender la estadística de evaporaciones en Ayquina en base a la estadística de San Pedro de Atacama.

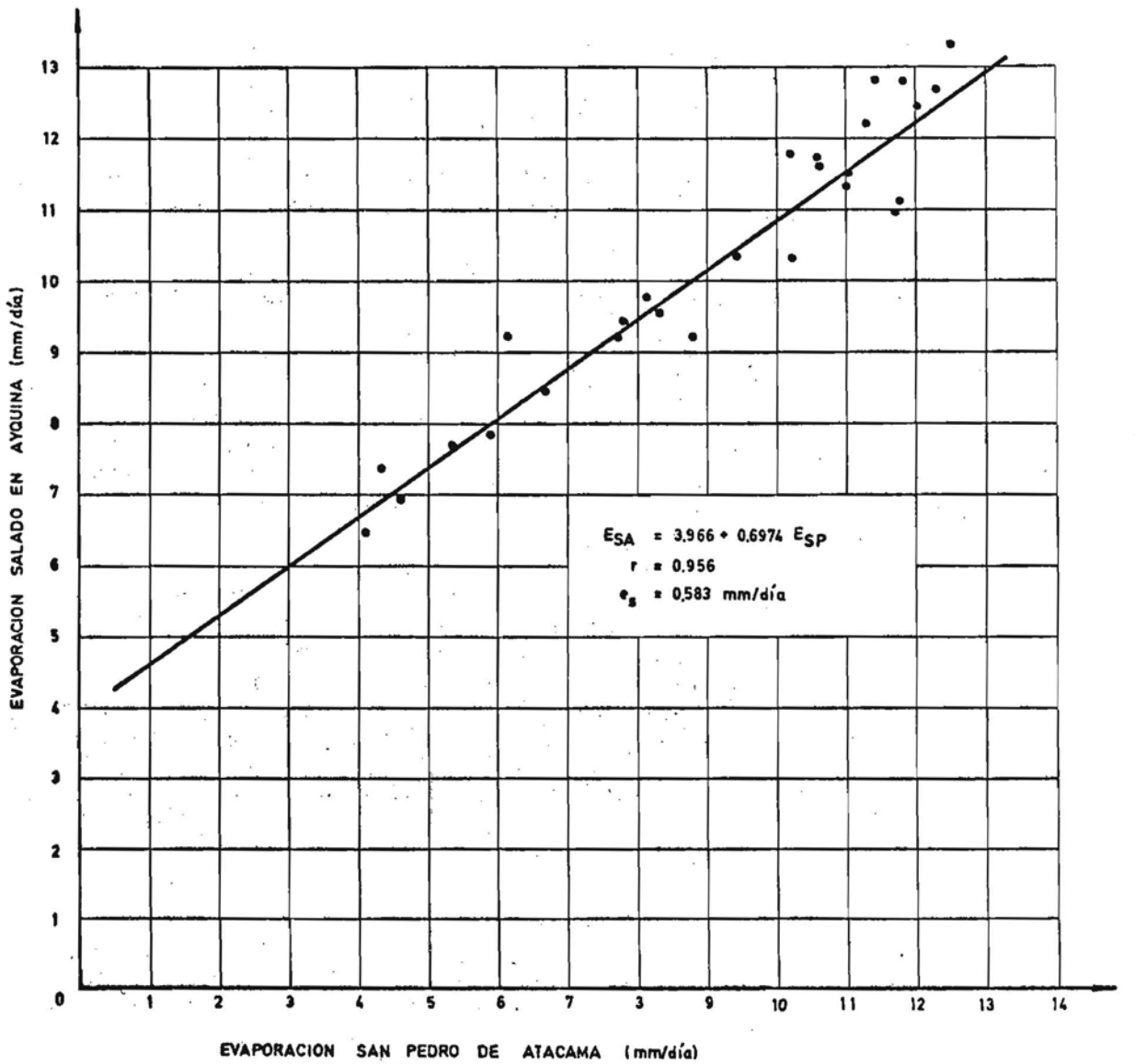
5.- Las estaciones que poseen registros de humedad relativa son las siguientes: Ollagüe con 5 años, Calama (OMC) con 4 años y San Pedro de Atacama con poco menos de 2 años. Como era de esperar, no existe correlación entre las humedades relativas medias mensuales de dichas estaciones que permitan completar y extender las estadísticas. La humedad relativa media diaria, se calculó por medio de la fórmula 5.2, que es la utilizada por la Oficina Meteorológica de Chile. Se usó este criterio con el objeto de mantener la uniformidad de las estadísticas y por motivos de comparación, aún cuando es probable que los valores así obtenidos no coincidan con los valores obtenidos por integración de los de higrógrafos.

6.- Generalmente existe una buena correlación entre los valores medios diarios de las diferencias de las evaporaciones medidas en un atmómetro negro y uno blanco y la radiación total de onda corta para un lugar determinado. También existe generalmente, una alta correlación entre la evaporación de un atmómetro blanco y un evaporímetro de estanque tipo A. Por esto, y a falta de datos mejores, se intentó correlacionar las diferencias medias mensuales entre los atmómetros negro y blanco ubicados en la estación Calama Riego con los datos de radiación medios diarios, promedios mensuales, obtenidos en Chuquicamata. Esta correlación no dió resultados positivos, lo que puede deberse a que los datos, tanto de radiación como de evaporación de atmómetros, son deficientes en calidad.

La correlación entre evaporímetro y atmómetro blanco, mencionada previamente, dió un coeficiente de correlación $r = 0.803$ el cual se considera bajo, dado que ambos instrumentos se encontraban sometidos a las mismas condiciones meteorológicas. Se intentó además, correlaciones entre los atmómetros blancos ubicados en el campamento de la Dirección de Riego y en la Finca Juan Tómic, entre las diferencias entre atmómetro negro y blanco para ambas ubicaciones y entre el atmómetro blanco de la finca Juan Tómic y el evaporímetro de estanque del campamento. Ninguna de estas correlaciones dió resultados aceptables. Todos estos hechos permitieron concluir que los datos de los atmómetros ubicados en el campamento, así como los de la finca Tómic, no son confiables y por lo tanto, no han sido considerados en este estudio.

Figura 5.24

EVAPORACIONES DIARIAS, PROMEDIOS MENSUALES ESTACION AYQUINA VERSUS SAN PEDRO DE ATACAMA



5.1.3 Estaciones Meteorologicas Instaladas Durante el Estudio.

El análisis de las estadísticas registradas en las estaciones existentes, demostró que en general no se disponía de registros de algunas variables meteorológicas, como radiación, velocidad del viento, humedad relativa, etc., con la calidad, duración y densidad necesaria para caracterizar adecuadamente la zona. Por estos motivos,S.H.R.propuso al Departamento de Recursos Hidráulicos de Corfo, la instalación de algunas estaciones meteorológicas más completas y numerosos pluviómetros aislados en diversos lugares de la cuenca. La instalación de estas estaciones se hizo en conjunto con la Dirección de Riego. Las características y ubicaciones de ellas se detallan a continuación.

1.- Estación Quillagua.

Latitud: 21° 38'; longitud: 69° 33'; altura: 802 m.s.n.m. Controlada por la Dirección de Riego; fue reinstalada en Mayo de 1969, disponiendo actualmente de los siguientes instrumentos:

Termómetro de máxima y mínima
Higrotermógrafo
Anemómetro
Evaporímetro clase A
Pluviómetro

Se dispone de higrotermogramas sólo para los períodos comprendidos entre el 29 de Mayo y el 29 de Junio de 1969, y desde el 27 de marzo al 30 de Abril de 1970. En estos períodos, las temperaturas medias diarias se calcularon mediante la fórmula 5.1, en que las temperaturas a las 8 y 19 horas se obtuvieron de los termogramas, y las máximas y mínimas del termómetro respectivo. Para los días en que no se contó con termogramas, la temperatura media diaria se calculó como promedio de la máxima y mínima. Los valores de temperaturas medias diarias aparecen en la tabla 17.1 del Anexo I. En las tablas 17.2 y 17.3 del mismo anexo se dan las temperaturas máximas y mínimas diarias.

Las humedades relativas medias diarias se calcularon usando la fórmula 5.2 en base a las humedades relativas a las 8, 14 y 19 horas obtenidas de los higrogramas respectivos. Los valores diarios aparecen en la tabla 17.4.

Respecto a la velocidad del viento, existen 3 períodos en que se dispone de estadística casi completa, ellos son: 28 de Mayo - 21 de Agosto de 1959, 19 de Octubre - 31 de Diciembre de 1969 y 28 de Marzo - 30 de Abril de 1970. Los valores medios diarios de la velocidad del viento aparecen en la tabla 17.5.

En la tabla 17.6 aparecen los datos de evaporación diaria los que abarcan los siguientes períodos con interrupciones: 28 de Mayo - 21 de Agosto de 1969, 18 de Octubre - 20 de Diciembre de 1969, y 27 de Marzo - 30 de Abril de 1970. Estos datos se obtuvieron de un evaporímetro clase A del Weather Bureau.

Los pluviómetros no han registrado precipitación hasta el 30/IV/70.

Un histograma de los datos meteorológicos en esta estación, aparece en la Figura 5.25.

2.- Estación San Pedro en Parshall 2.

Latitud: 21º 57'; longitud: 68º 32'; altura 3.200 m.s.n.m. Controlada por la Chile Exploration Company y la Dirección de Riego; fue instalada en el mes de Febrero de 1969. Actualmente dispone de los siguientes instrumentos:

Termómetro de máxima y mínima
Higrotermógrafo
Anemómetro
Evaporímetro
Actinógrafo
Pluviómetro.

Existen datos de higrotermogramas desde el 4 de Febrero de 1969 hasta el 26 de Abril de 1970 sin interrupciones. Además existen datos de temperaturas máximas y mínimas diarias desde el 4 de Febrero de 1969 hasta el 30 de Abril de 1970 también sin interrupciones. En base a ellos pudieron confeccionarse las tablas 18.1, 18.2, 18.3 y 18.4 del Anexo I las que corresponden respectivamente a: temperaturas medias diarias (calculadas según la fórmula 5.1), temperaturas máximas diarias, temperaturas mínimas diarias y humedades relativas medias diarias (calculadas con la fórmula 5.2).

La estadística de velocidad del viento comprende el período 2 de Febrero de 1969 - 29 de Abril de 1970 sin interrupciones, los valores medios diarios aparecen en la tabla 18.5.

Los datos de evaporación diaria se obtuvieron de un evaporímetro clase A del Weather Bureau y aparecen en la tabla 18.6 abarcando completamente el período Febrero de 1969 a Abril del 70 inclusive.

Para la obtención de la radiación solar incidente diaria se usaron los actinogramas integrando el area bajo la curva para todos los días. Se dispuso de ellos para dos períodos: 4 de Febrero a 28 de Septiembre de 1969 y 1º de Diciembre de 1969 a 26 de Abril de 1970 con algunas interrupciones. Los datos obtenidos están en la tabla 18.7 del Anexo I.

La tabla 18.8 muestra la estadística de precipitaciones diarias para el período Febrero del 69 a Abril del 70.

Toda la información meteorológica de esta estación, se resume en el histograma de la Figura 5.26.

3.- Estación Ojos de San Pedro.

Latitud: 21º 58'; longitud: 68º 19'; altura aproximada: 3.290 m.s.n.m. Controlada por la Chile Exploration Company y la Dirección de Riego fue instalada en Febrero de 1969. En la actualidad el instrumental de que dispone es el siguiente:

Termómetro de máxima y de mínima
Higrotermógrafo
Anemómetro
Evaporímetro
Pluviómetro

Figura 5.25

ESTACION QUILLAGUA (CORFO)

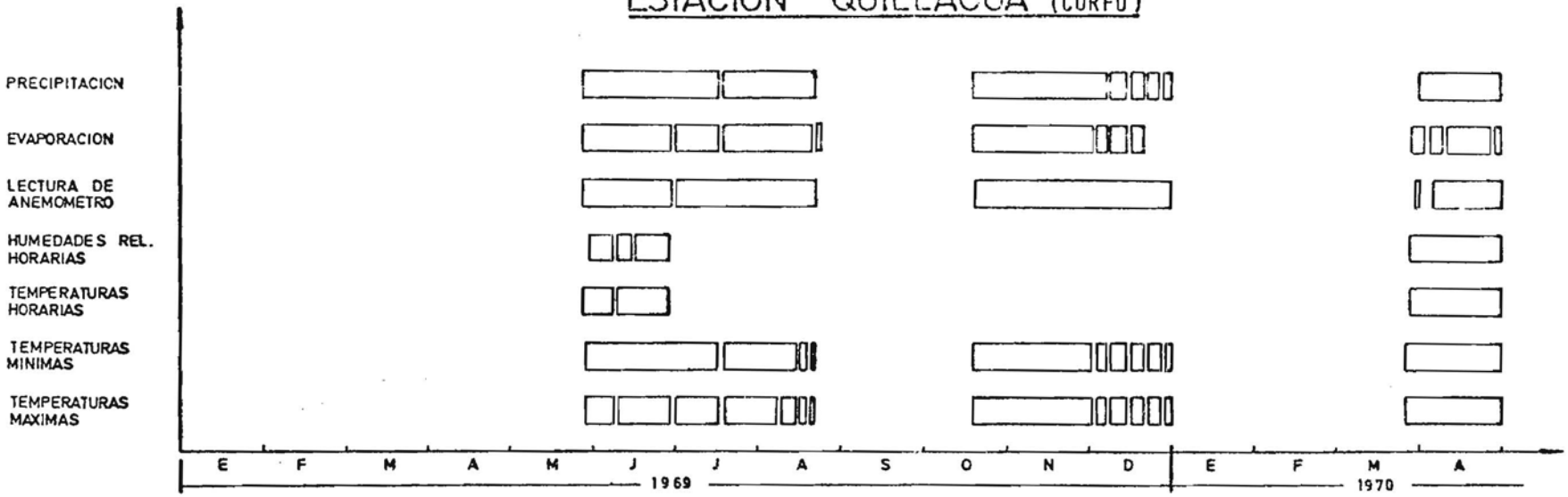
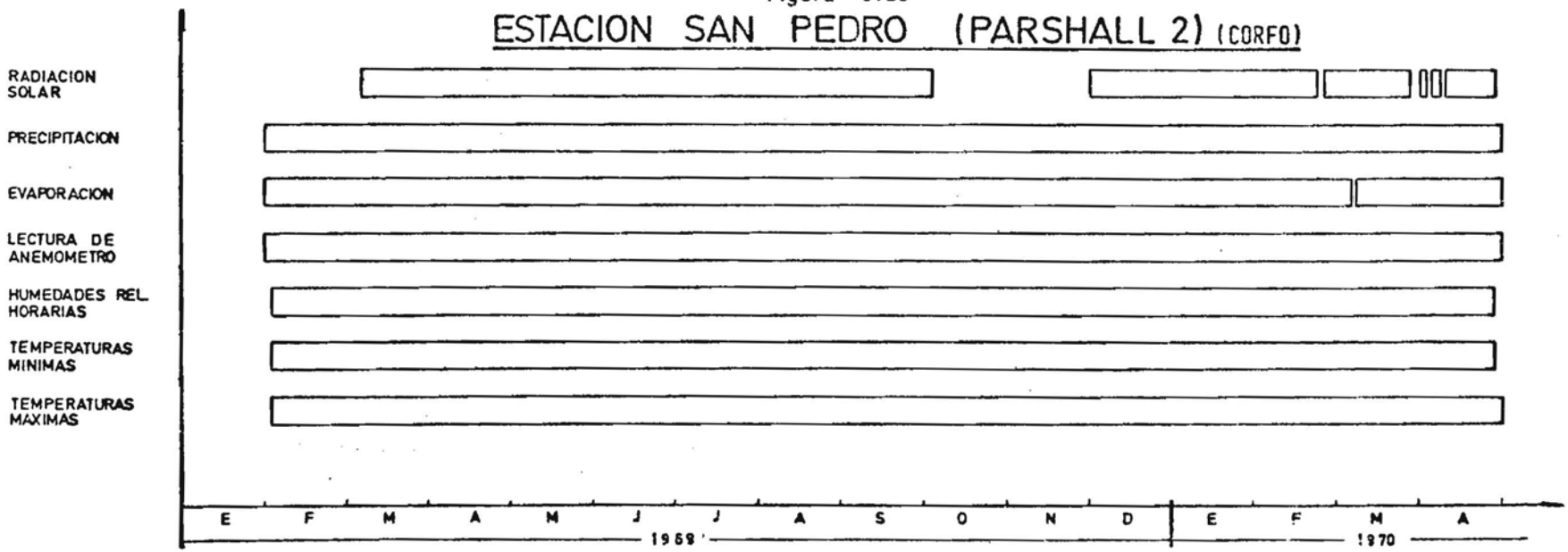


Figura 5.26

ESTACION SAN PEDRO (PARSHALL 2) (CORFO)



Se tienen datos de higrotermogramas para dos períodos con interrupciones: desde el 26 de Febrero al 30 de Junio de 1969 y desde el 3 de Febrero al 27 de Abril de 1970: datos de temperaturas máxima y mínima para los mismos períodos también con interrupciones. En el Anexo I se encuentra tabulada la estadística de esta estación: la tabla 19.1 contiene las temperaturas medias calculadas según la fórmula 5.1; las tablas 19.2 y 19.3, las temperaturas máximas y mínimas diarias; y la tabla 19.4, las humedades relativas medias diarias calculadas según la fórmula 5.2.

Las lecturas del anemómetro comprenden 2 períodos con escasas interrupciones: 1º de Abril a 30 de Junio de 1969 y 2 de Noviembre de 1969 a 28 de Abril de 1970, y aparecen tabulados en la tabla 19.5 del Anexo I.

Los registros de evaporación diaria abarcan dos períodos de mediciones: 24 de Marzo a 26 de Abril de 1969 y 1º de Noviembre a 29 de Abril de 1970; los datos obtenidos aparecen en la tabla 19.6.

Finalmente, se tienen en la tabla 19.7 los datos de precipitaciones diarias para los períodos Abril - Julio de 1969 y Noviembre - Abril de 1970 sin interrupciones.

La Figura 5.27 muestra los períodos de medición de cada variable meteorológica en esta estación.

4.- Estación Conchi.

Latitud: 21º 59'; longitud: 68º 38'; altura: 3.010 m.s.n.m. Controlada por la Dirección de Riego; fue instalada en Diciembre de 1969, actualmente posee la siguiente instrumentación:

Termómetro de máxima y mínima
Higrotermógrafo
Anemómetro
Evaporímetro
Pluviómetro

Se tienen datos de higrotermogramas para el período completo Diciembre de 1969 - Abril de 1970 con algunas interrupciones. Sin embargo no se pudo utilizar toda la estadística debido a tres razones:

a) Existen diferencias marcadas entre las temperaturas máximas y mínimas observadas en los termómetros respectivos y las registradas en los termogramas para el período 1º de Enero a 25 de Enero de 1970.

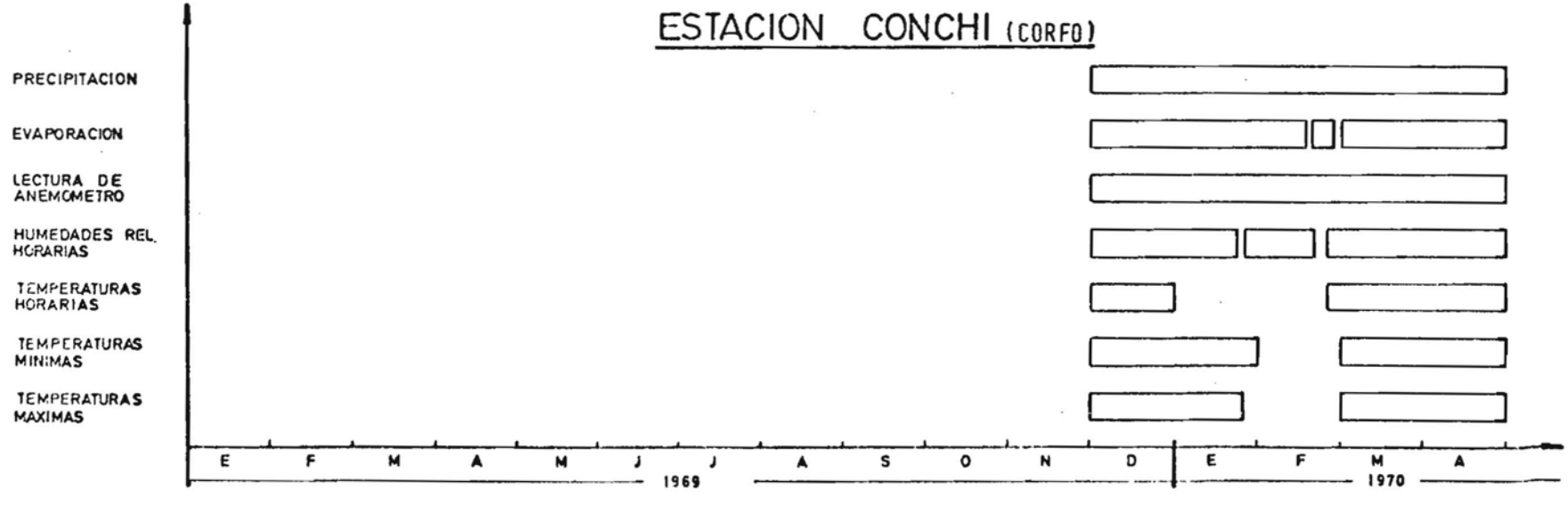
b) No se dispuso de datos de termómetros de máxima y mínima para el período 26 de Enero a 28 de Febrero.

c) Existen antecedentes suficientes para desechar los registros de termogramas de las tres primeras semanas del mes de Febrero.

De acuerdo a lo anterior se confeccionaron las tablas de temperaturas y humedades relativas, en el Anexo I, según el siguiente detalle: tabla 20.1 de temperaturas medias diarias calculadas según la fórmula 5.1 o como promedio de la máxima y mínima diaria, apareciendo en esa tabla el procedimiento seguido en cada caso particular;

Figura 5.27

Figura 5.28



tablas 20.2 y 20.3 de temperaturas máxima y mínima diaria, y tabla 20.4 de humedades relativas medias diarias calculadas según la fórmula 5.2.

La tabla 20.5 presenta la estadística de velocidad media diaria del viento para el período Diciembre de 1969 a Abril de 1970 inclusive, sin interrupciones.

Para este mismo período se poseen datos de evaporación media diaria la que se obtuvo de un evaporímetro clase A del Weather Bureau; la tabulación de ellos se presenta en la tabla 20.6.

Las precipitaciones diarias aparecen tabuladas en la tabla 20.7, y comprenden el período completo Diciembre del 69 - Abril del 70.

En la Figura 5.28 aparece en un diagrama de barras toda la información meteorológica de esta estación.

5.- Estación Inacaliri.

Latitud: 22° 01'; longitud: 68° 10'; altura aproximada: 3.900 m.s.n.m. Controlada por CORFO; fue instalada a fines de Enero de 1969. En la actualidad los instrumentos que posee son los siguientes:

Termómetro de máxima y de mínima
Higrotermógrafo
Anemómetro
Evaporímetro
Pluviómetro

Esta estación posee datos de higrotermogramas y de termómetros de maxima y de mínima para el período 28 de Enero de 1969 a 30 de Abril de 1970 con algunas interrupciones pequeñas. Las tablas 21.1 a 21.4 del Anexo I contienen la estadística traducida de: temperaturas medias diarias (calculadas según fórmula 5.1), temperaturas máximas y mínimas diarias y humedades medias diarias (calculadas según fórmula 5.2).

Existen lecturas de velocidad media diaria del viento para dos períodos: 2 de Febrero a 11 de Diciembre de 1969 y 4 de Marzo a 29 de Abril de 1970, sin interrupciones en ambos. Estos valores aparecen en la tabla 21.5.

En cuanto a las evaporaciones diarias, presentan un período sin interrupciones: 1° de Febrero de 1969 a 30 de Abril de 1970 y aparecen en la tabla 21.6. La medición se hizo en un evaporímetro clase A del Weather Bureau.

Las precipitaciones diarias abarcan el mismo período anterior y su tabulación se presenta en la tabla 21.7 del Anexo I.

Toda la estadística meteorológica de esta estación aparece esquematizada en la Figura 5.29.

Figura 5.29

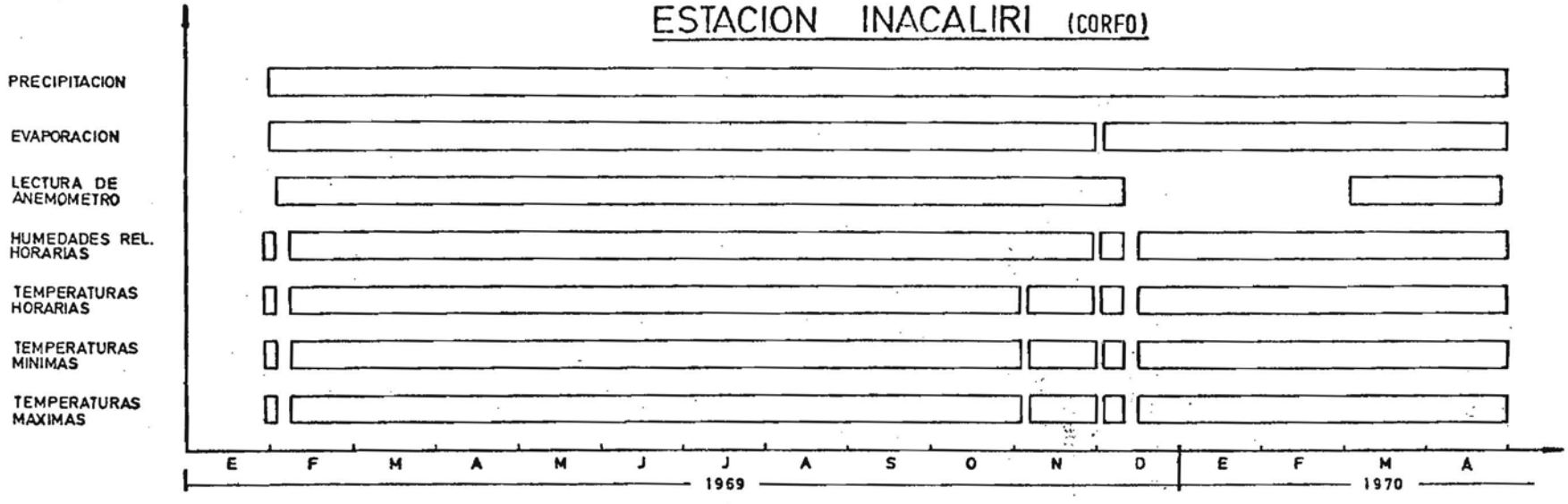
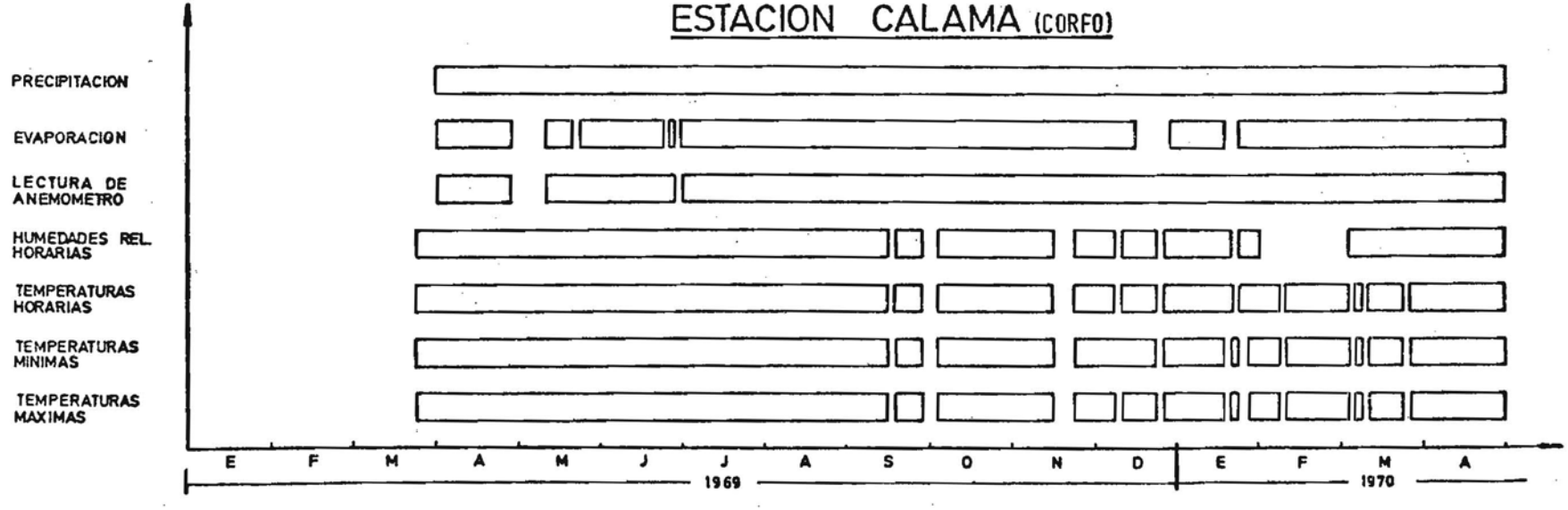


Figura 5.30



6.- Estación Calama.

Latitud: 22º 28'; longitud: 68º 58'; altura: 2.266 m.s.n.m. Controlada por la Dirección de Riego fue reinstalada a fines de Marzo de 1969. Posee los siguientes instrumentos:

Termómetro de máxima y de mínima
Higrotermógrafo
Anemómetro
Evaporímetro
Pluviómetro

Se dispuso de datos de higrotermogramas para el período 25 de Marzo de 1969 a 30 de Abril de 1970 con interrupciones importantes, como la del mes de Febrero de 1970 casi completo. En cuanto al termómetro de temperaturas máximas y mínima se obtuvieron datos para el período completo también con interrupciones. Todo esto se sintetiza en las tablas 22.1, 22.2, 22.3 y 22.4 del Anexo I en donde aparecen, respectivamente: temperaturas medias diarias, las que se calcularon según la fórmula 5.1 o en su defecto como promedio de las temperaturas máximas y mínimas diarias; temperaturas máximas diarias; temperaturas mínimas diarias y finalmente, humedades relativas medias calculadas según la fórmula 5.2.

La estadística del recorrido del viento comprende el período Abril del 69 a Abril del 70, inclusive, con interrupciones y aparece en la tabla 22.5.

La evaporación diaria se midió en un evaporímetro clase A del Weather Bureau y aparece tabulada en la tabla 22.6, abarcando el mismo período indicado anteriormente, con interrupciones.

La estadística pluviométrica que aparece en la tabla 22.7 se extiende a través del período Abril de 1969 a Abril de 1970, inclusive.

El diagrama de barras de la Figura 5.30, esquematiza la disponibilidad de datos de cada variable meteorológica medida en la estación Calama.

5.2 Estaciones y Datos Fluviométricos.

5.2.1 Generalidades.

El río Loa y sus afluentes, especialmente aquellos de su parte superior, han sido controlados desde hace más de medio siglo por la Dirección de Riego y otras instituciones. En efecto, a partir de 1913 se habilitaron varias estaciones limnimétricas, como las de Conchi, Yalquincha y San Pedro en San Pedro. Estas estaciones se mantuvieron en funciones por algunos años, siendo prácticamente abandonado su control alrededor de 1931. Posteriormente, a partir de 1958, la Dirección de Riego reinstaló algunas de estas estaciones e instaló algunas nuevas como Chintoraste, Salado en Ayquina y Quillagua.

Tanto las estaciones instaladas, como las reinstaladas en este período, fueron provistas de limnígrafos y de secciones con control artificial.

Las estadísticas correspondientes al período 1913 1931, no han sido analizadas en este estudio, ya que del informe presentado por el Ing. Sr Pablo Kleiman a la Dirección de Riego, se pueden extraer las siguientes conclusiones generales:

1.- El número de aforos realizados es escaso. En Conchi, por ejemplo, sólo se realizaron 8 aforos entre 1916 y 1922, es decir un aforo por año, a excepción del año 17 en que se realizaron 2 aforos. En Yalquincha, se tienen 2 aforos en 1916, 9 aforos en 1917 y 1 en 1919.

2.- Existen en diferentes periodos, diferencias entre las alturas de los aforos y las anotadas por el observador en viarias de las secciones controladas.

3.- Para traducir la estadística de ciertos períodos en los que no se realizaron aforos, se utilizaron curvas de descarga de períodos anteriores. Este es el caso de Conchi entre 1923 y 1925, período para el cual se utilizó la curva del período 1916 - 1922.

Además, el hecho de que este período esté seguido de un intervalo de más de veinte años en el cual no existió prácticamente control alguno, indujo a no considerar las estadísticas recolectadas en el período 1913 - 1931.

Las estadísticas correspondientes al último período (1958 adelante) fueron analizados en detalle. Este análisis se inició con una revisión acuciosa de los cálculos de los aforos, constatándose que algunos de ellos eran aforos "ficticios", es decir que en realidad no habían sido realizados. La corrección de algunos errores de cálculo en los aforos y la eliminación de los aforos falsos, así como nuevos criterios de interpretación utilizando las propiedades geométricas e hidráulicas de las secciones de aforo, condujeron al retrazado de numerosas curvas de descarga y a la retraducción de partes importantes de las estadísticas de gastos medios diarios y gastos medios mensuales.

5.2.2 Descripción de las Secciones y sus Estadísticas.

A continuación se da una descripción de las distintas secciones de control existentes en el río Loa y sus afluentes y de las estadísticas correspondientes.

a) Estaciones Limnigráficas.

Loa en Lequena.- Esta estación fue instalada a principios de 1967 y se encuentra ubicada en el Río Loa, aproximadamente 38kms. aguas arriba de su confluencia con el río San Pedro, entre Corral Quemado y Cabrito. Consiste en un Parshall metálico de 1.25 m. de garganta con control limnigráfico, instalado en la ribera derecha de la caja del río. Para asegurar el acceso de todo el caudal al aforador, se construyó un pretil de tierra en diagonal a la corriente. Este pretil ha sido roto por el río en diversas oportunidades y ha permanecido en este estado por períodos prolongados de tiempo.

Esto ha originado que los caudales medidos en el Parshall sean menores que los realmente existentes en el río. Por este motivo, la estadística registrada en esta sección no ha sido considerada en el presente estudio. Se han considerado, sin embargo, los aforos realizados un poco aguas arriba del lugar en que se encuentra ubicado el Parshall, ya que ellos midieron todo el caudal existente en el río.

Loa en Conchi.- Esta estación se encuentra ubicada muy próxima a la alcantarilla del mismo nombre, a 8 kms. aproximadamente, aguas abajo de la confluencia con el río San Pedro. Fue instalada en 1913 como estación limnimétrica por la Chile Exploration Company, siendo traspasada en 1916 a la Dirección de Riego la cual la controló hasta 1931, fecha en que fue abandonada. En Mayo de 1958 fue reinstalada por Riego, como una estación limnigráfica en una sección rectangular de albañilería de piedra con fondo natural. Por su ubicación, se considera que esta estación de Loa en Conchi mide el gasto que llega a la zona agrícola de Lasana - Chiu-Chiu. La estadística de gastos medios mensuales recolectada en el primer período de funcionamiento de esta estación, no ha sido considerada en este estudio por los motivos señalados anteriormente. La estadística del período Mayo de 1958 - Diciembre de 1969, fueron analizadas en conjunto con la Dirección de Riego y la estadística finalmente aceptada se incluye en las tablas 1.1 y 1.2 del Anexo III. Esta estadística presenta numerosas interrupciones especialmente en los meses de crecida (verano), como puede apreciarse en la tabla 1.3 y en la Figura 5.31. En esta figura se muestran, mediante diagrama de barras, los meses que poseen estadística de gastos medios mensuales. También se incluye en dicha figura, un diagrama de barras que muestra la continuidad de los aforos. Se considera que existe continuidad en los aforos si el intervalo de tiempo comprendido entre dos aforos consecutivos es menor de tres meses. El número de aforos por año realizados por la Dirección de Riego en esta sección aumenta paulatinamente con el tiempo, siendo de 3 aforos en 1958, 7 en 1959, hasta llegar a 19 aforos en 1967. A partir de 1968, Corfo realiza aforos en forma regular en esta sección, los cuales, sumados a los aforos realizados por Riego elevan el total a más de 20 aforos por año en 1968,1969 y 1970.

Una característica de la estadística de esta estación es que en ella se refleja en forma apreciable la influencia de la vegetación ribereña, la que se traduce en un contínuo desplazamiento de las curvas de descarga en los períodos de mayor desarrollo vegetativo. Esto implica que para controlar adecuadamente esta estación, es necesario hacer aforos más frecuentes en dicho período. Otra característica de la estadística de esta sección es la de no presentar crecidas registradas de cierta consideración. Esto se debe, tanto a fallas del sistema registrador de alturas, como a la carencia de aforos realizados en épocas de gastos altos, lo que ha impedido definir en forma adecuada la parte superior de las curvas de descarga.

La estadística puede considerarse como aceptable en general, a excepción de aquellos meses en que hayan ocurrido crecidas que no fueron controladas.

Loa en Yalquincha - Escorial. En 1916 la Dirección de Riego instaló un limnímetro en el río Loa, aproximadamente a 12 kms. aguas arriba de la ciudad de Calama. Esta estación fué controlada hasta 1919, fecha en que fue abandonada. En Junio de 1947 se reinicia su control pero en forma esporádica, con frecuentes y largas interrupciones, como puede apreciarse en la tabla 2.1 del Anexo III y la Figura 5.32. El 15 de Mayo de 1958 se terminó de instalar, en el mismo lugar, una sección limnigráfica rectangular con paredes de albañilería de piedra y radier natural. Esta estación limnigráfica estuvo en funciones hasta el 25 de Marzo de 1965. Debido a los continuos problemas de funcionamiento que presentaba dicha sección, especialmente en épocas de crecidas, la Dirección de Riego instaló a aproximadamente 500 mts. aguas abajo de la sección mencionada una nueva sección limnigráfica de características similares a la anterior. Esta nueva estación entró en funciones el 14 de Mayo de 1964 con el nombre de Loa en Escorial y es la única de ambas que se controla actualmente (Figura 5.33). En el período de funcionamiento común de ambas estaciones (Abril de 1964 - Marzo de

Figura 5.31

LOA EN CONCHI

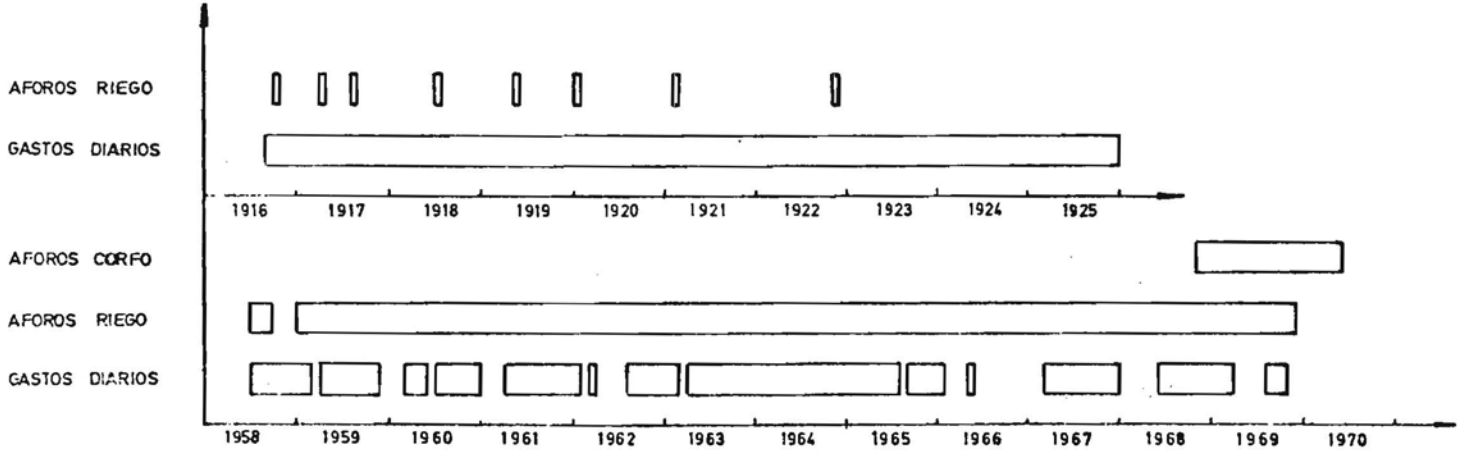


Figura 5.32

LOA EN YALQUINCHA

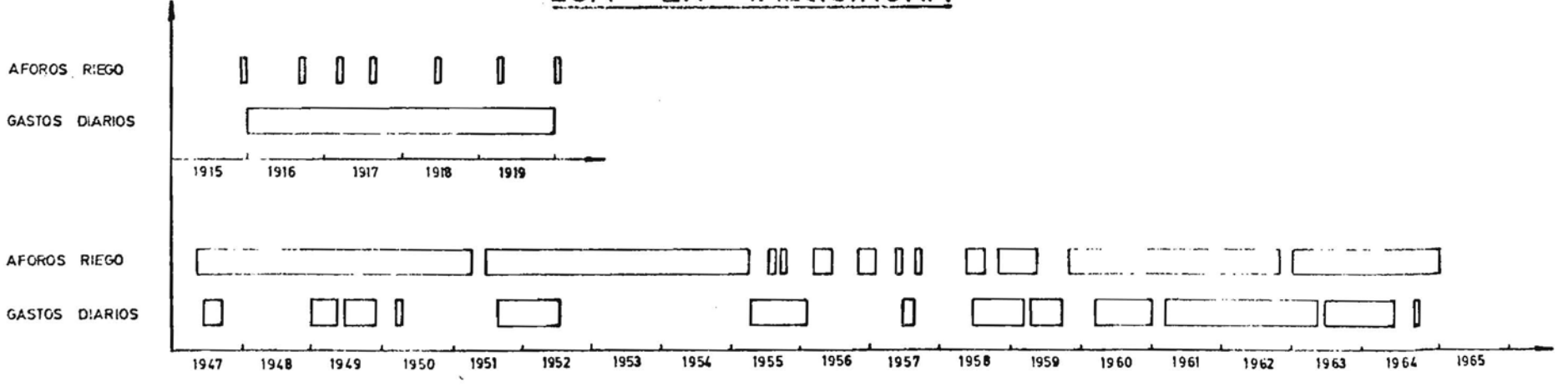


Figura 5.33

LOA EN ESCORIAL

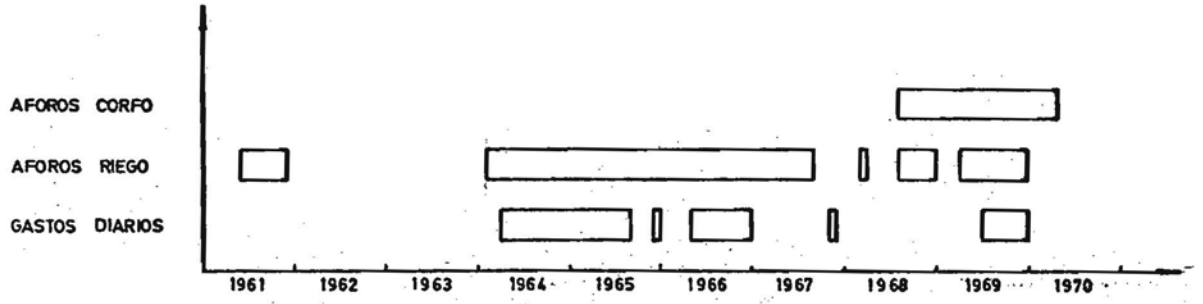
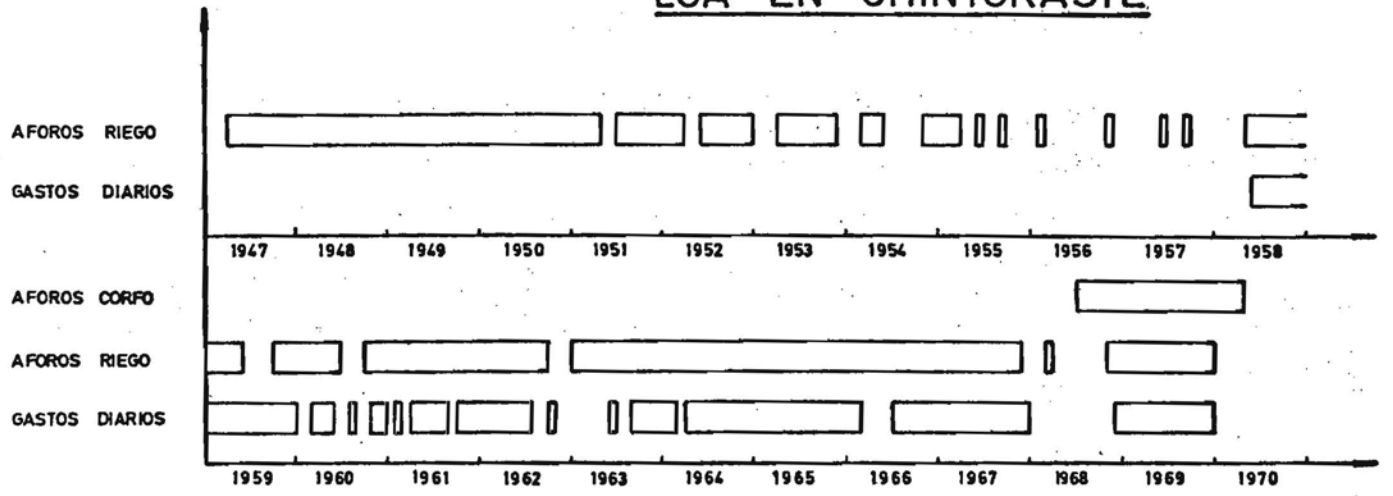


Figura 5.34

LOA EN CHINTORASTE



1965), fue posible detectar diferencias entre los gastos medios mensuales controlados en cada una de ellas.

Con el objeto de reducir ambas estadísticas a una estadística común, se realizó una correlación lineal del tipo $Q_{Yalq} = Q_{Esc} + A_o$ con los gastos medios mensuales para el período común. Estos gastos medios mensuales, se calcularon sólo en base a los gastos medios de aquellos días para los cuales existían alturas medias en ambas estaciones, es decir, no se consideraron interpolaciones. El valor del coeficiente A_o obtenido es $A_o = 0.31\ m^3/seg.$ En la Figura 5.35 se ha graficado esta relación como también la recta a 45^o que indicaría igualdad de gasto entre ambas estaciones. Se aprecia en ella claramente, que todos los puntos caen sobre la recta a 45^o, indicando que el caudal controlado en Yalquincha es mayor que el de Escorial. Esto se debe a que entre ambas estaciones existen bocatomas de canales, las cuales se utilizan para regar algunos terrenos agrícolas adyacentes. Debido a la distancia de estos canales, se ha considerado más conveniente reducir la estadística de Escorial a la de Yalquincha, ya que esta última representa mejor los caudales disponibles a la entrada de la zona agrícola de Calama (tablas 2.2 y 2.3 del Anexo III). Conviene hacer notar sin embargo, que también se realizan extracciones con fines de regadío en la zona inmediatamente aguas arriba de Yalquincha.

Analizando la estadística de Yalquincha pueden distinguirse en ella claramente 4 períodos:

a) El período 1916 - 1919, para el cual se dispone de alturas limnimétricas y un número escaso de aforos, y cuya estadística no ha sido considerada en este estudio por las razones expuestas previamente.

b) El período comprendido entre 1947 y 1955, que se caracteriza por poseer cierta continuidad en los aforos, pero no así en las alturas limnigráficas.

c) El período comprendido entre 1956 y 1958, que no posee continuidad ni en los aforos ni en las alturas limnimétricas, y

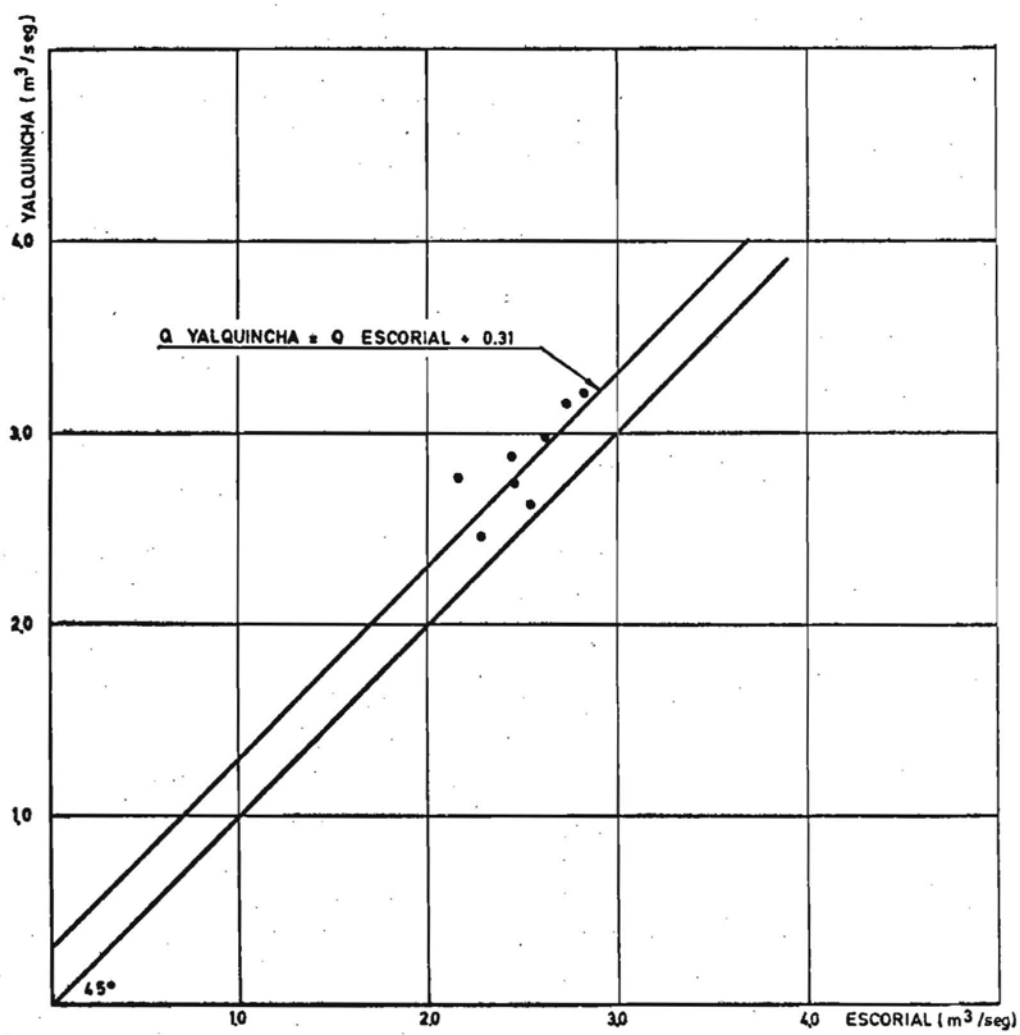
d) Desde 1959 a 1969, en que existe una relativa continuidad, tanto en aforos como en alturas, con la excepción del período comprendido entre Agosto de 1967 y Agosto de 1968.

De lo anterior se desprende que la calidad de la estadística es distinta para cada período siendo mayor para el último de ellos.

Loa en Chintoraste. Esta estación se encuentra ubicada en el río Loa, aguas abajo de la ciudad de Calama y aproximadamente a 500 mts aguas arriba de las cascadas del mismo nombre. Entre 1916 y 1919 se controló un limnímetro instalado en una sección natural. El 14 de Mayo de 1958 se instaló un limnígrafo, el que estuvo en funciones hasta el 3 de Mayo de 1964. El 22 de Mayo de 1964 empieza a funcionar una sección de fondo natural y con paredes revestidas, la cual se encuentra actualmente en funciones.

Figura 5.35

CORRELACION ENTRE YALQUINCHA Y ESCORIAL DE GASTOS MEDIOS MENSUALES PARA PERIODOS COMUNES



Dada su ubicación,se considera que la estación de Chintoraste mide los sobrantes de riego y las recuperaciones de la zona agrícola de Calama. Esto sin embargo, no es rigurosamente cierto, ya que existen recuperaciones y algunos aportes de las vegas que se incorporan al Loa aguas abajo de esta sección, según se detectó en las corridas de aforos (Ver Figuras 7.1 a 7.7 en Capítulo 7). Además, conviene señalar que no posee una capacidad suficiente que le permita controlar los gastos altos, especialmente en épocas de crecidas y en los meses de invierno.

Se dispone de alturas limnimétricas desde el mes de Mayo de 1958 hasta Diciembre de 1969 con frecuentes interrupciones especialmente en el período 1960 - 1963. No existen alturas en el año 1968. Se dispone de aforos en forma más o menos contínua en los períodos comprendidos entre Abril de 1947 y Septiembre de 1965, y desde Mayo de 1958 hasta Diciembre de 1969, con la excepción de 1968. En el período intermedio se dispone de algunos aforos aislados (Figura 5.34) . A partir de Julio de 1968 se dispone, además, de los aforos realizados por Corfo. La estadística aceptada se incluye en la tabla 3.2 del Anexo III.

Loa en Quillagua. En Junio de 1958 se instaló un limnígrafo en el río Loa dentro de la zona agrícola de Quillagua, el cual estuvo en funciones hasta el mes de Octubre de 1962. La ubicación exacta de esta estación no se pudo determinar. A partir del 26 de Octubre de 1962 empieza a funcionar la actual estación limnigráfica, la cual se encuentra situada bajo el puente de ferrocarril, aguas abajo de las bocatomas de dos de los canales más importantes de esa zona. Los gastos medios mensuales promedio de ambos períodos presentan diferencias apreciables, especialmente en los meses de invierno como puede observarse en la tabla siguiente:

TABLA 5.1

Gastos Promedios (m^3/seg)

Mes	1958 - 62	1963 - 69
Junio	2.41	1.43
Julio	2.86	1.96
Agosto	2.93	1.70

Estadísticamente, se ha determinado que existe un 80 o/o de probabilidad de que los gastos promedios mensuales de ambos períodos sean significativamente diferentes. Considerando además que, ni la estación de Chintoraste, ni la de Yalquincha, situadas ambas aguas arriba de Quillagua presentan este tipo de diferencias en los períodos mencionados, se ha estimado que estas diferencias fueron ocasionadas por el cambio de ubicación de la sección, siendo lo más probable que originalmente ésta se encontrara aguas arriba de las bocatomas de los Canales. En consecuencia, la estadística no es homogénea en toda su extensión. Esta situación no ha podido ser corregida debido a lo fragmentario de la información sobre alturas limnigráficas disponibles para el período 1958-1962, y por lo tanto, se ha considerado conveniente desestimar la información recogida en ese período.

Por otra parte, dada la ubicación de la estación actual dentro de la zona agrícola de Quillagua, la información que se ha recogido en ella es de poca utilidad, ya que se realizan extracciones importantes aguas arriba y aguas abajo de ella, por lo que su estadística no representa ni los caudales disponibles antes de la zona de Quillagua, ni los sobrantes de ella. Por este motivo, el D.R.H. de Corfo empezó a mediados de 1969 a aforar regularmente en secciones ubicadas antes y después de la zona de extracciones.

La estadística de gastos medios mensuales disponible para ambos períodos ha sido incluída de todas maneras en este estudio y se encuentra en la tabla 4.1 y 4.2 del Anexo III y se ha graficado en la Figura 5.36.

Río San Pedro en Parshall Nº 1. Esta estación se encuentra ubicada en el río San Pedro, a aproximadamente 4 kms. aguas abajo de las vertientes conocidas con el nombre de Ojos de San Pedro. Fue instalada por la Compañía que explotaba el mineral de Chuquicamata en Noviembre de 1967, y consiste en un aforador metálico tipo Parshall de 1.25 mts. de garganta con control limnigráfico. No dispone, sin embargo, de limnímetro auxiliar que permita determinar el grado de sumergencia a que puede estar trabajando en un momento determinado.

La estadística de gastos medios mensuales abarca desde Diciembre de 1967 a Diciembre de 1969 con la excepción de Abril y Mayo de 1969 (Figura 5.37). Los aforos realizados por la Dirección de Riego presentan también continuidad. Se dispone también, a partir de Enero de 1969, de los aforos realizados por el D.R.H. de Corfo. La estadística aceptada se incluye en la tabla 5.1 del Anexo III. En ella se refleja la variación de caudal debido al drenaje de la Laguna de San Pedro, iniciado el 19 de Diciembre de 1967 y terminado el 29 de Febrero de 1968. Esta estadística puede considerarse como de buena calidad, con errores menores del 10º/o.

Río San Pedro en Parshall Nº 2. Fue instalada el 1º de Noviembre de 1967 por la Compañía que explotaba el mineral de Chuquicamata y es controlada actualmente por la Dirección de Riego. Consta de un aforador Parshall, metálico, de 1.25 mts. de garganta, con control limnigráfico y sin limnímetro adicional. Está ubicada en el río San Pedro a aproximadamente 14 kms. aguas abajo del Parshall Nº 1, aguas arriba de las tomas de Chilex y aproximadamente a 2 kms. del cruce con el camino Internacional.

Desde Enero de 1967 la Chilex realizó tres lecturas diarias en un limnímetro ubicado en esta sección.

La estadística medida de gastos medios se extiende sólo hasta Enero de 1969 debido a que esta estación se movió hacia aguas arriba de las nuevas tomas de la Compañía explotadora del mineral de Chuquicamata. Los aforos tanto de la Dirección de Riego como del Departamento de Recursos Hidráulicos en esta nueva ubicación presentan una buena continuidad (Figura 5.38), especialmente en el año 1969. Con estos aforos se completó la estadística en el período Febrero a Diciembre 1969. La estadística de gastos medios mensuales de esta estación para el período Noviembre de 1967-Diciembre de 1968, puede considerarse aceptable con errores que fluctúan alrededor del 10º/o (Tabla 6.1 del Anexo III).

Río Salado en Ayquina. Esta estación está ubicada en el río Salado algunos metros aguas abajo del cruce del camino de Calama a Toconce con dicho río. Fue

Figura 5.36

LOA EN QUILLAGUA

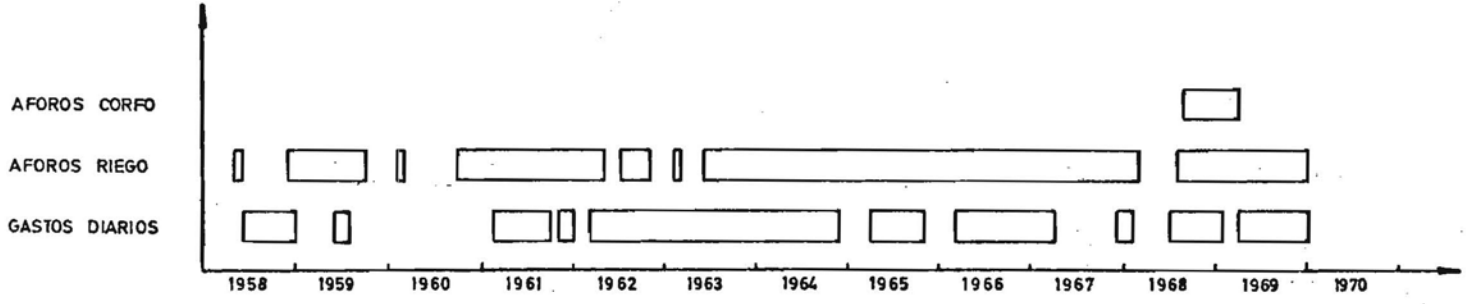


Figura 5.37

SAN PEDRO EN PARSHALL 1

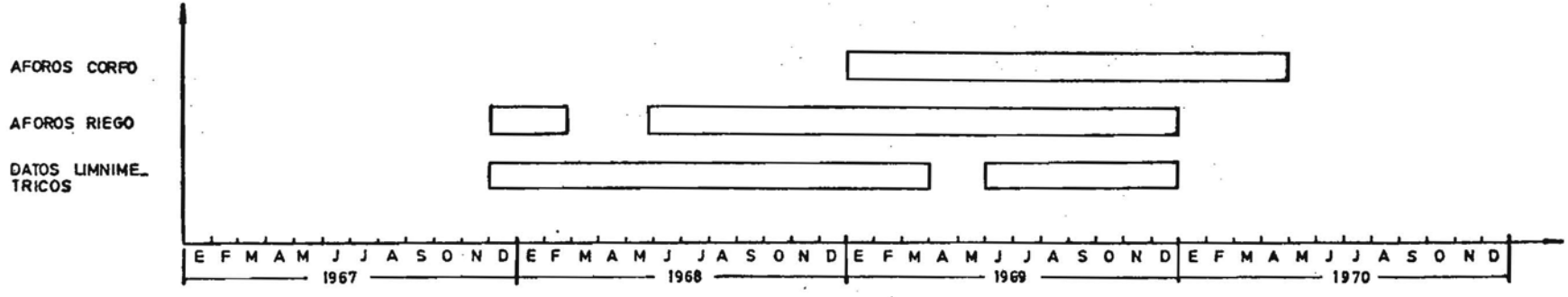


Figura 5.38

SAN PEDRO EN PARSHALL 2

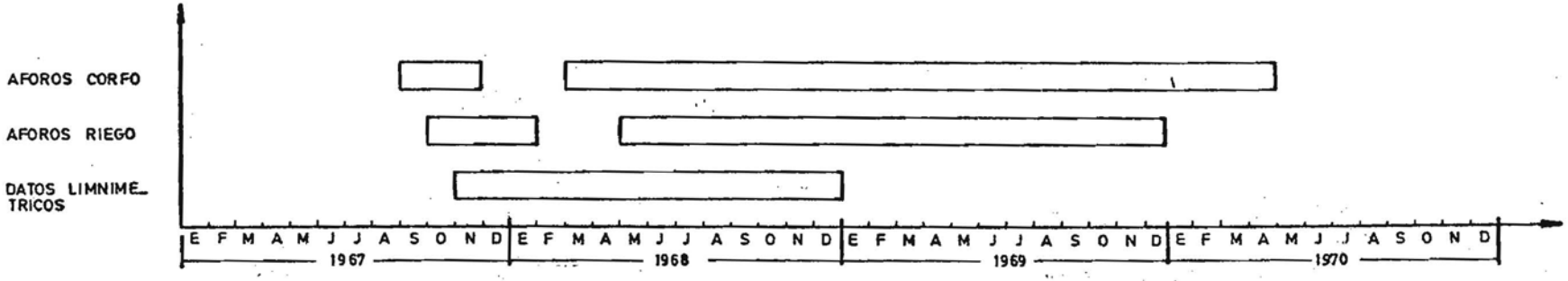
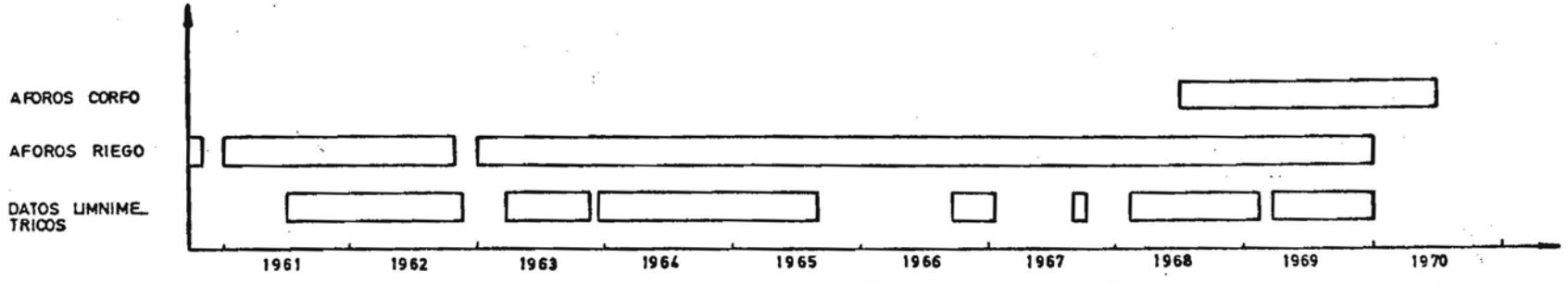


Figura 5.39

SALADO EN AYQUINA



instalada como sección limnigráfica por la Dirección de Riego el 12 de Febrero de 1961. Serios problemas en la operación de dicha sección, indujeron a que fuera reemplazada en Agosto de 1967 por un aforador Parshall de características similares a los anteriores. La estadística de gastos medios mensuales presenta interrupciones importantes, especialmente en los años 1966 - 1967 (Figura 5.39). Los aforos de la Dirección de Riego presentan sin embargo, una buena continuidad. A partir de Septiembre de 1968 se dispone además, de los aforos realizados por el D.R.H. La estadística de gastos medios mensuales se incluyen en la tablas 7.1 , 7.2 y 7.3 del Anexo III.

b) Estaciones Limnimétricas.

En el río Loa y sus afluentes han funcionado varias estaciones limnimétricas a través de los años. Ellas, en general se caracterizan por su deficiente control, especialmente en lo referente a alturas limnimétricas, donde se han detectado numerosas irregularidades, como discrepancia con las alturas de los aforos, lecturas en fechas que no existen, fuertes discrepancias en los gastos afluentes y efluentes a un punto de confluencia, etc. Además, las secciones son en general, muy afectadas por la vegetación, lo que sumado a la escasez de aforos en ciertos períodos, hace sumamente difícil el trazado de curvas de descarga adecuadas. Por este motivo, no se han considerado aquí las estadísticas limnimétricas de las siguientes estaciones: Loa antes de Salado, Salado antes del Loa, Loa después de Salado, Loa antes de San Salvador, San Salvador antes de Loa, Loa después de San Salvador.

Existen estadísticas de otras estaciones limnimétricas como San Pedro en San Pedro y Loa en Angostura que son de corta duración y sobre cuya calidad no se tienen mayores antecedentes que permitan utilizarlas con cierto grado de confiabilidad. La información referente a estaciones limnimétricas aparece en el Anexo II, junto al total de aforos esporádicos efectuados en la hoya del río Loa.

c) Secciones de Aforos.

Además de los aforos realizados en las secciones de control contínuo, se han realizado numerosos aforos en otras secciones del río Loa y sus afluentes, con el objeto de poder caracterizar mejor el régimen del río. Las secciones aforadas, su ubicación, el período que cubren los aforos y el número de éstos se incluyen en las tablas siguientes. Los valores de las alturas, gastos y fechas de los aforos se encuentran en las tablas 1.1 al 4.8 del Anexo II.

TABLA 5.2

Secciones de Aforos en la Hoya del Río Loa

Nombre	Curso	Dist.a Desemb. (Km)	Período de Control	Nº de aforos	Observaciones
Ojos del Miño	Loa	412	1916	1	
Paco - Paco	Loa	407	1916	1	
Camino a Quehuita	Loa	395	1916	1	
Arroyo Chela	Arroyo Chela	383	1916	1	

Nombre	Curso	Dist.a Desemb. (Km)	Período de Control	Nº de aforos	Observaciones
Solche	Loa	379	1916	1	
Corral Quemado	Loa	355	1969-1970	15	
Lequena Aguas Arriba Parshall	Loa	351	1967, 1969-1970	11	Aforo 1967, Lequena alto
Lequena en Parshall	Loa	350	1916, 1967-1970	50	Aforo 1916, en Lequena
Cabrito	Loa	348	1967	3	
Calachuz	Loa	346	1967	1	
Pasto Grande	Loa	342	1967	1	
Chela Cruz	Loa	337	1967, 1969-1970	12	
Cuestecillas	Loa	332	1967	2	
Taira	Loa	329	1916,1967 1969-1970	15	Aforo de 1916 en baños de Taira. Incluye aforos en brazo izquierdo y brazo derecho.
Garrimuerto	Loa	324	1967	3	
La Bajada	Loa	323	1967	1	
Santa Barbara	Loa	315	1916, 1967	3	
Antes Junta San Pedro	Loa	312	1961-1964, 1967-1970	61	
Después Junta San Pedro	Loa	312	1961-1964, 1967	32	
Conchi	Loa	304	1916	174	
Nueva Lasana	Loa	283	1969-1970	7	
Lasana	Loa	280	1969-1970	24	Incluye Loa Aguas Arriba de Lasana
Antes Junta Salado	Loa	267	1916-1927, 1947, 1956-1970	92	
Después Junta Salado	Loa	267	1916-1927, 1947, 1960-1967	44	
La Isla	Loa	262	1962-1964	15	
Después de Vegas	Loa	260	1969-1970	12	
Vertientes Angostura		256	1969-1970	7	
Angostura	Loa	255	1961-1964, 1967-1970	47	
Yalquincha	Loa	243	1915-1927, 1947-1965	145	
Puente Yalquincha	Loa	243	1969	1	
Escorial	Loa	242	1961, 1964-1970	88	

Nombre	Curso	Dist.a Desemb. (Km)	Período de Control	Nº de aforos	Observaciones
Terraza	Loa	237	1947-1964	98	
Dupont	Loa	223	1962	2	
Chintoraste	Loa	222	1916-1927 1947-1970	212	
Marmol Seco	Loa	213	1969	1	
Valle Lindo	Loa	212	1969-1970	18	
Antes Junta San Salvador	Loa	163	1916-1922, 1947, 1961-1964, 1966-1970	71	
Después Junta San Salvador	Loa	163	1915-1922, 1963-1964, 1966-1967	23	
Bombas Oficina Iberia	Loa	106	1916	1	
Tranque Santa Fé	Loa	94	1916, 1963-1964, 1967, 1969-1970	29	
Tranque Sloman	Loa	90	1958-1962, 1968-1970	15	
Quillagua	Loa	78	1916-1927 1948 1958-1959	116	
Después de Quillagua	Loa	73	1969-1970	14	
Escalate	Loa	31	1918	1	
Antes Quebrada Amarga	Loa	30	1968-1970	10	
Antes Loa	Q.Amarga	---	1968-1970	10	
Desembocadura	Loa	0	1918, 1968-1970	18	

TABLA 5.3

Secciones de Aforos en la Hoya del Río San Pedro

Nombre	Curso	Dist.a Confl. (Km)	Período de Control	Nº de aforos	Observaciones
Siloli Antes Tomas	Siloli	58	1969-1970	10	
Siloli Después Tomas	Siloli	58	1969	1	
Cabana Frente Azufrera	Cabana	58	1969-1970	12	
Aguas Arriba Represa Inacaliri		54	1969-1970	12	
Ojos de San Pedro	San Pedro	30	1962-1964, 1969	16	
Puente Caminero	San Pedro	28	1962-1964 , 1967	18	
Parshall 1	San Pedro	26	1967-1970	39	
Parshall 2	San Pedro	12	1967-1970	38	
Camino Internacional	San Pedro	10	1968-1970	32	
San Pedro	San Pedro	8	1916-1920 , 1922-1927 , 1959-1964	215	
Antes Junta Loa	San Pedro	0	1906 , 1913 1916 , 1961-1964, 1967-1970	69	

TABLA 5.4

Secciones de Aforos en la Hoya del Río Salado

Nombre	Curso	Dist.a Confl. (Km)	Período de Control	Nº de aforos	Observaciones
Después Junta Tatio	Salado	72	1917	1	
Tatio	Tatio	--	1917	1	
Represa Chilex	Salado	53	1969-1970	12	
Toconce en Nacientes	Toconce	--	1916-1918	3	
Toconce Antes Linzor	Toconce	---	1968-1969	13	
Ojos del Linzor	Toconce	---	1916-1918	3	
Toconce Después Linzor	Toconce	--	1968	1	

Nombre	Curso	Dist.a Confl. (Km)	Período de Control	Nº de aforos	Observaciones
Toconce en Toconce	Toconce	--	1917-1918	2	
Toconce Antes Represa D.O.S	Toconce	--	1968-1970	28	
Toconce Antes Hojalar	Toconce	--	1917 , 1968-1969	16	
Arroyo Piedra Grande	A.Piedra Grande	--	1917	1	
Hojalar en Nacientes	Hojalar	--	1917	1	
Hojalar Antes Toconce	Hojalar	--	1917,1969	2	
Toconce mas Hojalar Antes Salado	Toconce más Hoj.	--	1968-1970	17	
Antes Junta Toconce	Salado	52	1968-1970	11	
Después Junta Toconce	Salado	52	1917	1	
Curti Antes Salado	Curti	--	1968-1969	3	
Antes Junta Curti	Salado	48	1968	1	
Caspana en Nacimiento	Caspana	--	1917	1	
Caspana en Caspana	Caspana	--	1969	6	
Caspana Antes Junta Salado	Caspana	--	1967-1970	22	
Antes Junta Caspana	Salado	46	1967-1969	15	
Ayquina	Salado	38	1917 , 1960-1970	125	
Antes Vegas Chiu-Chiu	Salado	6	1960-1970	20	
Antes Junta Loa	Salado	0	1916-1922 1927 , 1947-1948 , 1956-1964 , 1966-1970	122	

TABLA 5.5

Secciones de Aforos en la Hoya del Río San Salvador

Nombre	Curso	Dist.a Confl. (Km)	Período de Control	Nº de aforos	Observaciones
Ojos de Opache	S.Salvador	56	1913 , 1916 , 1918 - 1920 , 1922 , 1927 , 1969	21	Incluye Ojos Por separado y Opache en Vertedero.
Antes Estanque Dupont	S.Salvador	55	1947-1954 , 1961-1964 , 1967-1969	97	
Antes Quebrada Quetena	S.Salvador	51	1970	1	
Después Quebrada Quetena	S.Salvador	51	1961, 1969-1970	17	
Quetena	Quebrada Quetena	--	1919-1920 1947-1948 1961,1969	10	
Antes San Salvador	Quebrada Quetena	--	1969-1970	16	Incluye brazo 1, y brazo 2.
Vergara	S.Salvador	--	1970	2	
Antes Junta Loa	S.Salvador	0	1915-1922 , 1927,1947 , 1956 1961-1970	74	

Además, la Corporación de Fomento realizó, a pedido de S.H.R., algunas corridas de aforos en canales de las zonas de riego de Chiu-Chiu - Lasana y Calama. Los cuales se encuentran en las tablas 1.1 a 3.2 del Anexo IV.

5.2.3 Complementación de las Estadísticas.

Las estadísticas de gastos medios mensuales aceptadas en el punto anterior, presentan numerosas interrupciones que ha sido necesario llenar. Además, algunas de ellas no son homogéneas debido a las extracciones que han sufrido el Loa y sus afluentes a lo largo del tiempo por las mercedes de agua que se han ido otorgando.

El procedimiento seguido para rellenar y homogeneizar las estadísticas disponibles ha sido el siguiente:

1.- Relleno con aforos. Basándose en las lentas variaciones que presentan los hidrogramas de algunas secciones del río Loa y sus afluentes, se ha estudiado la posibilidad de reemplazar aquellos valores de los gastos medios mensuales que faltan, por los valores que dan los aforos aislados realizados en dichos meses. Con este objeto se compararon los gastos medios mensuales disponibles con el gasto del aforo realizado en el mes correspondiente. En caso de existir más de un aforo en dicho mes, se tomó el valor promedio de los aforos existentes. Los resultados obtenidos para las distintas estaciones, se resumen en la tabla siguiente en que aparece el número de veces n, (expresado como °/o del número total N de datos) en que el valor del aforo Q_A está comprendido entre el valor del gasto medio mensual Q_m, más y menos un cierto porcentaje de variación.

TABLA 5.6

Relación entre Caudales Medios Mensuales y Aforos realizados en la misma fecha

Estación	Nº total de datos	$Q_m \pm 10$°/o	$Q_m \pm 15$ °/o	$Q_m \pm 20$ °/o
Conchi	78	84.6	89.8	93.6
Ayquina	57	59.6	86.0	93.0
Yalquincha - Esc.	89	82.8	95.4	98.8
Chintoraste	74	33.8	---	60.8
Quillagua	59	32.2	---	57.6
Parshall 1	21	100.0	100.0	100.0
Parshall 2	12	83.3	91.7	100.0

Esta tabla indica que para la estación Conchi por ejemplo, el 84,6°/o de las veces el valor del aforo difiere en menos de un 10°/o con respecto al valor del gasto medio mensual respectivo y que el 93.6°/o de las veces difiere en menos de un 20°/o.

Los resultados así obtenidos para las estaciones Conchi, Ayquina, Yalquincha, Parshall 1 y Parshall 2, han sido considerados como aceptables y fueron utilizados en el relleno de las respectivas estadísticas. Para las estaciones de Chintoraste y Quillagua, sin embargo, los resultados no son satisfactorios, ya que sus hidrogramas no cumplen la condición de presentar pequeñas variaciones con respecto al tiempo, debido principalmente a la influencia de las extracciones para riego de las zonas agrícolas respectivas.

Se estudió también para las estaciones de Conchi, Ayquina y Yalquincha, la variación estacional de los porcentajes encontrados. Para ello, se dividió el año en 4 trimestres y se repitió el proceso para cada uno de ellos. Es decir, se compararon los aforos realizados en cada trimestre con los gastos medios de los meses correspondientes. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

TABLA 5.7

Relación entre Caudales Medios Mensuales y Aforos realizados en la misma fecha (Trimestral)

Estación	En-Feb-Mar		Abril-Mayo-Jun		Jul-Agost-Sept		Oct-Nov-Dic	
	$Q_m \pm 10^o/o$	$Q_m \pm 15^o/o$	$Q_m \pm 10^o/o$	$Q_m \pm 15^o/o$	$Q_m \pm 10^o/o$	$Q_m \pm 15^o/o$	$Q_m \pm 10^o/o$	$Q_m \pm 15^o/o$
Conchi	75	75	100	100	87	96	79	88
Ayquina	67	83	58	100	56	83	60	80
Yalquincha	82	94	85	95	89	96	75	96

Para aquellas estaciones en que, para un mes determinado, el relleno podía haberse hecho también mediante correlaciones, se comparó el error standard de la correlación con el valor estacional de n/N, eligiéndose el procedimiento correspondiente al menor de ellos (Ver punto 3). No se realizó un análisis estacional para las estaciones San Pedro en Parshall Nº 1 y Nº 2, por no disponerse de la información suficiente.

2. Homogeneización de las estadísticas. Debido a las numerosas extracciones a que han estado sometidos el río Loa y sus afluentes, por las mercedes concedidas a lo largo del tiempo, ha sido necesario homogeneizar las estadísticas de algunas estaciones. Para este objeto, se ha tratado primeramente de restablecer el régimen "natural" del río, sumando a las estadísticas las mercedes otorgadas aguas arriba de la sección respectiva, a partir de las fechas en que éstas fueron otorgadas. Se ha seguido este procedimiento debido a que no se dispone de registros de los caudales extraídos en las distintas épocas. Las estadísticas así obtenidas, han sido utilizadas en el cálculo de rendimiento de hoyas y en correlaciones lineales entre estaciones. Se las ha designado con el nombre de estadísticas de régimen natural. Para la caracterización actual del régimen del río en las distintas secciones, ha sido necesario contar con los caudales actualmente disponibles y es por esto, que se han calculado nuevas estadísticas, referidas al mes de Diciembre de 1969 restando a las estadísticas originales las mercedes otorgadas, desde el momento en que fueron concedidas hacia atrás. Los valores de las mercedes y las fechas de su concesión se incluyen en el Anexo V.

3. Relleno por correlaciones lineales. Se intentaron numerosas correlaciones lineales entre las distintas estaciones para cada mes por separado, grupo de meses o generales. Los resultados obtenidos fueron en general, de baja calidad, rechazándose todos aquellos para los cuales el coeficiente de correlación no fuera significativamente distinto de cero a un nivel de significancia de 1º/o, porque al calcular el error standard de estimación, éste era bastante alto como se comprueba en las correlaciones indicadas más adelante. Las correlaciones aceptadas para rellenar las estadísticas son las siguientes:

i) Correlación Salado en Ayquina - Conchi.

Esta correlación se hizo con las estadísticas de régimen natural, ya que corresponden a ríos distintos. No se utilizó la estadística de Conchi de 1968 ya que está influenciada por el drenaje de la laguna y Ojos de San Pedro. La correlación obtenida es:

$$Q_{Ayquina} = 0.497 + 0.461\ Q_{Conchi} \qquad (5.7)$$

con un coeficiente de correlación r = 0.601

ii) Correlaciones Chintoraste - Quillagua.

Se obtuvieron dos correlaciones en base a las estadísticas de gastos medidos desde 1962 adelante. Una es para los meses de Mayo y Junio que da la siguiente expresión:

$$Q_{Chintoraste} = 0.514 + 1.095\ Q_{Quillagua}$$

con un coeficiente de correlación r = 0.995 y un error standard del estimado e_s = 0,082 m^3/seg.

Para los meses restantes la relación obtenida es

$$Q_{Chintoraste} = 0.382 + 0.541\ Q_{Quillagua}$$

con un coeficiente de correlación r = 0.886 y un erro
e_s = 0,18 m^3/seg.

iii) Correlación Ayquina más Conchi versus Yalquincha.

Debido a la baja correlación existente entre los gastos medios mensuales de Conchi y Yalquincha, se correlacionó la suma de los gastos medios mensuales de las estaciones de Conchi y de Ayquina con los gastos correspondientes de Yalquincha. La relación obtenida es:

$$Q_{Yal} = -0.059 + 1.131\ Q_{C+A}\ (m^3/seg)$$

en que

Q_{Yal} = gasto medio mensual en Yalquincha

Q_{C+A} = suma de los gastos medios mensuales correspondientes a Conchi y Ayquina.

El coeficiente de correlación obtenido es r = 0.594, el cual es significativamente diferente de cero a un nivel de 99.5%, sin embargo, el error standard del estimado es alto, e_s = 0,576 m^3/seg.

iv) Correlación Loa después de Salado - Yalquincha.

Con el objeto de prescindir de la influencia de las extracciones que se realizan en la zona de Chiu-Chiu-Lasana, se intentó una correlación entre los aforos realizados en el río Loa después de su junta con Salado y los gastos medios mensuales de Yalquincha. La relación obtenida es la siguiente:

$$Q_{Yal} = 0.914 + 0.866\ Q_{LDS}\ (m^3/seg)$$

en que

Q_{LDS} = gasto medio mensual de Loa después de Salado.

El coeficiente de correlación obtenido es r = 0.868 y el error standard del estimado e_s = 0.207 m^3/seg.

Dado que esta correlación es la que da un menor error standard, se ha usado preferentemente en el relleno de la estadística de Yalquincha.

4.- Relleno con Interpolaciones

Después de utilizar los procedimientos expuestos, en el relleno de las estadísticas de las diferentes estaciones quedaron de todas maneras algunos meses sin valores, los que fueron rellenados mediante interpolación lineal entre los gastos del mes anterior y posterior. Sin embargo, el análisis de frecuencia de la estadística aceptada (efectuado posteriormente), permitió verificar que en muchos casos en que los valores aceptados como gastos medios mensuales de un mes correspondían a interpolaciones lineales, dichos valores, no seguían la tendencia de la curva de frecuencia acumulada del resto de los puntos graficados.

Debido a esto y al hecho de que no se pudo hacer una estimación de estos valores por ningún otro procedimiento, se dejó sin completar algunos meses.

5.3 Calidad de las Aguas.

5.3.1 Análisis Químicos.

Debido al carácter salino de la mayoría de los aportes que recibe el río Loa en su recorrido, se ha estimado indispensable realizar un estudio de la variación de la calidad química de sus aguas a lo largo de él y de sus tributarios. Con este objeto el D.R.H. tomó numerosas muestras de aguas las que fueron posteriormente analizadas por el Instituto de Investigaciones Geológicas y por la Sección Ingeniería Sanitaria del Departamento de Obras Civiles de la Universidad de Chile. En las tablas siguientes se incluyen el nombre, ubicación, período de control y número total de análisis realizados en cada una de las secciones. Se han incluido además, los antecedentes obtenidos por el Ing. Sr. Hans Niemayer y por la Dirección de Riego, hasta 1967.

El Anexo VI incluye los resultados de todos los análisis químicos realizados en la hoya del río Loa hasta Mayo de 1970.

TABLA 5.8

Análisis Químicos en la Hoya del Río Loa

Nombre	Curso	Dist. a Desemb. (Km)	Período de Control	Nº de análisis	Observaciones
Ojos del Miño	Loa	412	1961	1	
Corral Quemado	Loa	355	1969-1970	12	
Lequena en Parshall	Loa	350	1967, 1969-1970	10	
Cabrito	Loa	348	1967	7	

Nombre	Curso	Dist.a Desemb. (Km)	Período de Control	Nº de análisis	Observaciones
Calachuz	Loa	346	1967	8	
Chela Cruz	Loa	337	1967 , 1969-1970	11	
Taira	Loa	329	1967 , 1969-1970	23	Incluye Ojo de Taira Nº 1 y Nº 2, Taira Aforo y Taira Puente.
La Bajada	Loa	323	1967	8	
Santa Barbara	Loa	315	1967	8	
Antes Junta S.Pedro	Loa	312	1967 , 1969-1970	18	
Después Junta San Pedro	Loa	312	1967 , 1969-1970	15	
Conchi	Loa	304	1961,1967, 1968-1970	29	Incluye Alcantarilla y Conchi Puente.
Lasana	Loa	280	1967-1969	10	
Puente Chiu-Chiu	Loa	270	1960,1967	9	
Antes Junta Salado	Loa	267	1961,1967-1970	19	
Después Junta Salado	Loa	267	1960-1961 1967 1969-1970	19	
La Isla	Loa	262	1967	8	
Después de Vegas	Loa	260	1969	1	
Vertientes Angostura	--	256	1969-1970	9	Incluye Vertientes Nº1 y Nº2.
Angostura	Loa	255	1962,1967, 1969-1970	19	
Yalquincha	Loa	243	1962, 1968-1969	2	
Escorial	Loa	242	1967	8	
Salar de Talabre			1969-1970	1	Canal de Relaves Chilex.
Terraza Municipal	Loa	237	1960,1967	10	
Dupont	Loa	223	1962	1	
Chintoraste	Loa	222	1968-1969	2	
Marmol Seco	Loa	213	1969	1	
Valle Lindo	Loa	212	1969-1970	10	

Nombre	Curso	Dist.a Desem. (Km)	Período de Control	Nº de análisis	Observaciones
Antes Junta San Salvador	Loa	163	1967-1970	15	
Después Junta San Salvador	Loa	163	1969	1	
Tranque Santa Fe	Loa	94	1969-1970	10	
Tranque Sloman	Loa	90	1970	3	
Quillagua	Loa	78	1961 , 1968-1970	12	Incluye Loa despues Quillagua
Antes Quebrada Amarga	Loa	30	1968-1970	6	
Quebrada Amarga Antes Loa	Quebrada Amarga	--	1968-1970	8	
Desembocadura	Loa	0	1968-1970	11	

TABLA 5.9

Análisis Químicos en la Hoya del Río San Pedro

Nombre	Curso	Dist.a Confl. (Km)	Período de Control	Nº de análisis	Observaciones
Inacaliri antes Llegada al Salar	Inacaliri	--	1961	1	
Siloli antes Tomas	Siloli	58	1969-1970	6	
Cabana Frente Azufr.	Cabana	58	1969-1970	6	
Aguas Arriba Represa Inacaliri	Inacaliri	54	1969-1970	4	
Laguna	S.Pedro	--	1967	7	
Ojos San Pedro	S.Pedro	30	1967	48	
1 km. Aguas Abajo Ojos San Pedro	S.Pedro	29	1961	1	
Puente Caminero	S.Pedro	28	1967	10	
Los Cultivos	S.Pedro	19	1967	8	
Bocatoma Chilex	S.Pedro	11	1967	8	
Camino Internacional	S.Pedro	10	1969-1970	13	
Antes Junta Loa	S.Pedro	0	1967 , 1969-1970	12	

TABLA 5.10

Análisis Químicos en la Hoya del Río Salado

Nombre	Curso	Dist. a Confl. (Km)	Período de Control	Nº de análisis	Observaciones
Vertientes Sector Linzor	Linzor	--	1969	2	Incluye Vertiente Ojo Mayor.
Represa Chilex	Salado	53	1967, 1969 - 1970	19	
Toconce Antes Represa D.O.S.	Toconce	--	1969 - 1970	11	
Hojalar en Tunel antes Junta Toconce	Hojalar	--	1967	3	
Toconce antes Junta Salado	Toconce	--	1967 - 1970	19	
Antes Junta Toconce	Salado	52	1967 - 1970	9	
Curti Antes Salado	Curti	--	1969 - 1970	6	
Caspana en Caspana	Caspana	--	1969 - 1970	3	
Antes Junta Salado	Caspana	--	1967, 1969 - 1970	14	
Antes Junta Caspana	Salado	46	1967	8	
Turi	--	--	1961	2	Incluye Ojos de Agua y Vegas
Ayquina	Salado	38	1961, 1967 - 1970	32	Incluye Sifón Ayquina y Cultivo Ayquina.
Ramadita	Salado	26	1967	8	
Puente el Diablo	Salado	18	1967	8	
El Vado	Salado	12	1967	8	
Ojo de agua	--	6	1967	8	
Antes Vegas Chiu - Chiu	Salado	6	1960, 1969 - 1970	11	
Antes Junta con Loa	Salado	0	1960, 1967 - 1970	22	

TABLA 5.11

Análisis Químicos en la Hoya del Río San Salvador

Nombre	Curso	Dist.a Confl. (Km)	Período de Control	Nº de análisis	Observaciones
Bocatoma Canal de Drenaje Vegas	S.Salvador	--	1961-1962	3	
Ojos de Opache	S.Salvador	56	1961	1	Ojo de Opache en Bocatoma Turbina Dupont
Antes Quebrada Quetena	S.Salvador	51	1968-1970	9	
Después Quebrada Quetena	S.Salvador	51	1969-1970	5	
Quetena	Quebrada Quetena	--	1969-1970	2	
Antes San Salvador	Quebrada Quetena	--	1969-1970	5	
Antes Junta Loa	S.Salvador	0	1968-1970	14	

CAPITULO 6

CARACTERIZACION CLIMATOLOGICA Y DEL REGIMEN PLUVIOMETRICO

6.1 Características Generales del clima de la región.

La región del Loa se encuentra en el límite de las zonas tropical y subtropical.

La zona occidental queda influenciada por las altas presiones subtropicales del Océano Pacífico, o anticiclón del Pacífico, y por los efectos de la corriente fría de Humboldt. Estos dos factores dan orígen a un régimen general de vientos del W y del SW, influenciados por brisas semi locales ocasionadas por las diferencias térmicas diurnas entre mar y tierra y entre montaña y llanos. Además, las condiciones de subsidencia del aire y de ia corriente de Humboldt producen condiciones de extrema estabilidad del aire, sobreenfriamiento del aire y eventualmente inversiones de temperatura que ocasionan finalmente, una ausencia casi absoluta de las precipitaciones.

Las zonas orientales de la región, y sobretodo la región de la cordillera de los Andes, quedan influenciadas por la existencia de bajas presiones estivales provenientes de la influencia de la zona ciclónica tropical del continente y del calentamiento estival de la cordillera.

Las perturbaciones provocadas por el Frente Polar, que en el resto del territorio, a latitudes mayores que 30°, determinan el régimen pluviométrico, prácticamente no tienen ninguna influencia en la zona en estudio.

La acción moderadora del Océano Pacífico, la corriente de Humboldt y las características de la circulación general de la atmósfera de la región, ocasionan un típico régimen de temperaturas del aire que se caracteriza por la dirección N-S de las isotermas, y por su anormal moderación en relación a lo que correspondería por la latitud. Las temperaturas medias anuales en las zonas litorales alcanzan aproximadamente los 17,5°, observándose un aumento hacia el interior hasta alcanzar la isoterma cerrada de 20° que demarca claramente el desierto propiamente tal. Hacia el oriente de esta isoterma 20°, que se ubica ligeramente al este de Calama, la temperatura vuelve a disminuir por efecto de la altitud. Las amplitudes térmicas anuales y diarias son muy extremas y marcadas en el interior o pampa propiamente tal y disminuyen en intensidad en zonas costeras y de la Cordillera.

Toda la región se caracteriza por una baja humedad relativa. Las zonas costeras presentan una nubosidad y abundancia de neblinas o camanchacas. Hacia el interior, más allá de la influencia del Océano Pacífico y de la barrera orográfica de la Cordillera de la Costa, se presenta muy escasa nubosidad, gran diafanidad de la atmósfera y altos valores de radiación solar.

En la región costera las precipitaciones anuales son despreciables (de 2 a 5 mm) debido a las condiciones de extrema estabilidad del aire. Hacia el interior, las precipitaciones son prácticamente nulas. Sólo a partir de los 2.500 m.s.n.m. se observa un aumento paulatino de las precipitaciones por efecto de la altitud y de las acciones convectivas de la cordillera. En efecto, en las zonas cordilleranas al oriente de Calama, el régimen de precipitaciones es estival, presentándose muchas veces en forma de tormentas

en la temporada de Diciembre a Mayo y con gran variabilidad interanual. Los valores medios anuales fluctúan desde 10 mm en Chuquicamata hasta 75 mm en Ollagüe y 115 mm en Toconce.

6.2 Clasificación General del Clima de la Zona y su Caracterización Cuantitativa.

De acuerdo a H. Fuenzalida P. (1), existen tres zonas climáticas bien diferenciadas en la región del río Loa: un clima desértico con nublados abundantes en la región costera, un clima desértico normal en el interior y un clima desértico marginal de altura en las zonas cordilleranas.

6.2.1 Zona de clima desértico con nublados abundantes.

Esta zona se ubica en una faja costera de aproximadamente 45 kms. de ancho y que corresponde a la zona de desarrollo de la Cordillera de la Costa. Solamente en Iquique y Antofagasta existen estaciones climatológicas que permiten caracterizar aproximadamente esta zona.

Debido a la influencia estabilizadora del anticiclón del Pacífico y de la corriente fría de Humboldt, se observa abundante nebulosidad y gran cantidad de nieblas o camanchacas que son capaces de mantener una débil vegetación. Por ejemplo, en la zona de Antofagasta , por el Sur, se observan 59,1 días en el año completamente nublados, alcanzando a 6,3 la nubosidad media para el mes más nuboso del año (Septiembre) y a 3,5 la nubosidad media anual (en escala de 0 a 10). En Antofagasta se observa, sin embargo, el mínimo de nubosidad del litoral del norte grande del país. En Iquique, por el norte, se observan 110 días en el año totalmente cubiertos y sólo 66,6 días completamente despejados. Los meses de mayor nubosidad son Julio, Agosto y Septiembre; con aproximadamente 17 a 18 días nublados y nubosidades medias de 6,3 a 7,9. (2)

La humedad relativa es elevada alcanzando un valor medio anual de aproximadamente 74°/o y presentando pequeñas fluctuaciones que la hacen variar de 70 a 80°/o, Noviembre a Abril, respectivamente.

Las precipitaciones son escasas debido a las extremas condiciones de estabilidad atmosférica ya discutidas. En efecto, la precipitación media anual varía desde 2,1 mm en Iquique a 4,9 mm en Antofagasta, concentrandose principalmente en los meses de Junio a Agosto; y observándose una extrema variabilidad interanual. La tabla siguiente extraída de datos de la Oficina Meteorológica de Chile y publicados en gran parte en "Pluviometría de Chile" (1965), permite visualizar mayores antecedentes al respecto.

(1) "Geografía Económica de Chile" CORFO 1965 Capítulo IV Clima .. H. Fuenzalida P.

(2) Estas características de nubosidad y la magnitud y presencia de las neblinas, van disminuyendo hacia el interior, para empalmar paulatinamente con las características de sequedad atmosférica y diafanidad de la atmósfera, propia de la zona de desierto normal.

TABLA 6.1

Estación Iquique

Lat.= 20° 12'S Long.= 70° 11'W

Período 1899 - 1968

	En.	Feb.	Marz.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Precip. media	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	0,7	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0

TABLA 6.2

Estación Antofagasta

Lat.= 23° 26'S Long.= 70° 28'W

Período 1930 - 1960

	En.	Feb.	Marz.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Precip. media	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,5	0,9	0,2	0,4	0,9	0,1	0,0

Es común que durante varios años consecutivos la precipitación anual sea nula. Por ejemplo, no llovió en Iquique de 1946 a 1956 y de 1959 a 1964. En Antofagasta, entre 1945 y 1958 sólo llovió 1,4 mm en Julio y Octubre de 1956. (1,2 mm y 0,2 mm, respectivamente).

Las temperaturas del aire son temperadas y presentan poca variabilidad estacional y diurna. En Iquique la temperatura media anual es cercana a los 18°, con una amplitud anual de 5,5 y una amplitud media diaria, de 8,7° en Febrero a 5,8° en Julio; el mes más cálido es Enero y los más fríos Julio y Agosto. En Antofagasta, la temperatura media anual alcanza a los 16,6°, con una amplitud anual aproximadamente de 7° y con una diaria de 8°.

Las isotermas tienen una orientación NS, observándose un aumento de la temperatura hacia el interior hasta alcanzarse un valor medio anual de 20°.

Las presiones atmosféricas alcanzan un promedio de 1.013 mb. en verano y de 1.017 mb. en invierno, observándose vientos moderados con una fuerte tendencia S, sobre los que se superponen leves vientos de mar a tierra y de tierra a mar ocasionados por los calentamientos diferenciales diurnos.

6.2.2 Zona de Clima Desértico Normal.

Esta zona se extiende aproximadamente desde la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa hasta la cota 2.500 a 2.800 m.s.n.m. No corresponde exactamente a un desierto cálido debido a que la altura contribuye a atenuar las variaciones de temperatura.

En esta zona se dispone de mayor información meteorológica en estaciones tales como las de Quillagua, Sierra Gorda, Pedro de Valdivia, Huatacondo, Chuquicamata, Calama y Conchi. La ubicación y la información disponible en estas estaciones se reseñó en el capítulo 5 y en los anexos correspondientes.

Los rasgos más notorios de esta zona son su precipitación casi inexistente, su baja humedad relativa y la diafanidad de su atmósfera.

Las precipitaciones medias anuales varían desde 0,0 mm en lugares tales como Pedro de Valdivia y Quillagua hasta 3,4 mm en Calama y 7,6 mm en Sierra Gorda.

Las temperaturas del aire son más cálidas que las observadas en las zonas costeras. Las oscilaciones diarias son muy marcadas debido al intenso enfriamiento nocturno por radiación. La oscilación media diaria, varía aproximadamente de 22° a 28° siendo éstas más extremas en los meses de Julio y Agosto. Las oscilaciones térmicas se atenúan hacia el Este de la zona por efecto de la altitud. La siguiente tabla resume la información termométrica disponible de la zona. Los datos parciales de las estaciones, se incluyen en el Anexo I de este informe.

TABLA 6.3

Temperaturas Medias Mensuales

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Quillagua	21,6	21,1	20,3	18,7	16,9	14,9	15,5	16,3	18,1	18,9	19,7	20,3
Pedro de Valdivia	19,9	18,7	17,7	15,8	14,5	14,9	12,4	14,1	15,2	17,4	18,6	18,2
Calama	14,6	15,4	14,7	13,1	11,6	8,8	9,4	10,6	12,6	12,8	14,6	14,4
Sierra Gorda	16,8	17,9	16,9	15,4	13,9	13,6	14,4	14,0	15,5	16,9	17,9	17,6

TABLA 6.4

Temperaturas Máximas Mensuales

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Quillagua	36,4	36,3	35,6	34,3	33,3	31,4	33,4	35,4	36,1	37,6	37,4	36,8
Pedro de Valdivia	36,4	35,0	36,4	31,5	29,3	25,9	26,4	27,0	30,7	32,8	34,3	35,6
Calama	26,3	27,3	25,5	26,3	24,9	24,4	24,8	25,3	26,3	27,1	26,8	26,6
Sierra Gorda	33,8	34,7	34,5	31,6	28,9	28,0	29,8	29,2	30,4	32,9	34,8	34,1

TABLA 6.5

Temperaturas Mínimas Mensuales

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Quillagua	4,1	4,4	3,7	3,0	-0,1	-1,4	-1,1	-1,5	-0,9	-1,0	1,8	2,6
Pedro de Valdivia	3,3	2,9	2,6	2,3	2,0	4,8	1,6	1,2	1,5	2,3	2,8	2,6
Calama	3,6	4,2	3,4	0,9	0,1	-4,3	-3,8	-4,7	-1,1	0,6	1,8	1,8
Sierra Gorda	2,7	2,6	2,5	1,8	1,2	1,5	1,3	1,5	1,7	2,9	2,9	2,3

Las humedades relativas en la zona son bajas alcanzándose valores promedios en el año de aproximadamente 40 %. La siguiente tabla resume la escasa información disponible para la ciudad de Calama. (En Quillagua sólo se dispone de datos aislados para un año, según se observa en la tabla 17.4 del Anexo I).

TABLA 6.6

Humedades Relativas Medias Mensuales

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Calama	37,8	41,6	43,0	40,1	41,2	44,4	46,9	39,0	32,4	31,7	27,0	33,6

Los valores medios mensuales máximos y mínimos registrados alcanzan a valores del orden de 63 y 24°/o, respectivamente.

La nubosidad es prácticamente nula con valores medios anuales menores que 1 (escala de 1 a 10 de cielos cubiertos).

Los vientos son dominantemente W, pero con influencia de las brisas diarias producidas por los calentamientos diferenciales del suelo y la oscilación diaria de la temperatura.

La radiación solar es intensa, debido a la escasa nubosidad, diafanidad de la atmósfera y a la latitud. Los siguientes datos disponibles para la estación de la Chilex en el Salar de Talabre junto a Calama, pueden considerarse representativos.

TABLA 6.7

Radiación Solar Media Diaria (cal/cm^2/día)
Salar de Talabre

Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
--	570	520	450	350	320	340	400	500	580	--	--

Dadas las condiciones de temperatura, nubosidad, radiación y humedad relativa descritas, el poder evaporante de la atmósfera es alto, el que se puede cuantificar en base a los datos de evaporación desde evaporímetros standard que se resumen en las siguientes tablas. (Ver en tablas 9.1 , 9.2 , 9.3 , 12.8 , 12.9 , 12.10 , 17.6 del Anexo I los datos parciales)

TABLA 6.8

Evaporación Media Diaria Mensual (mm/día)

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Quillagua	--	--	--	6,6	--	4,5	3,6	4,4	--	--	6,0	--
Calama	10,8	10,7	10,7	8,9	8,1	7,5	7,7	8,6	10,0	11,3	11,7	11,9
Salar de Talabre	10,8	10,7	10,9	7,6	7,3	6,0	6,4	7,5	9,8	11,1	11,2	11,4

TABLA 6.9

Promedios de Evaporación Mínima Diaria Mensual (mm/día)

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Quillagua	--	--	--	2,0	--	0,1	0,1	0,1	--	--	2,1	--
Calama	5,4	5,4	5,3	6,2	5,2	4,0	4,5	5,9	5,5	7,9	7,3	7,8
Salar de Talabre	6,0	9,0	8,0	4,5	5,5	4,0	3,0	3,0	7,0	9,0	9,0	9,0

TABLA 6.10

Promedios de Evaporación Máxima Diaria Mensual (mm/día)

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Quillagua	--	--	--	11,0	--	8,2	7,2	8,7	--	--	9,9	--
Calama	16,1	15,5	14,6	12,2	12,7	11,1	11,2	10,9	12,8	15,5	14,7	17,9
Salar de Talabre	13,0	13,0	13,0	10,3	9,0	9,0	8,0	11,0	15,0	13,0	13,0	13,0

6.2.3 Zona de Clima Desértico marginal de altura.

El clima desértico marginal de altura se observa aproximadamente a partir de la cota 2.800 m.s.n.m. y en toda la zona cordillerana. Coincide en líneas generales con la zona oriental que limita la isoterma anual 20° trazadas por Almeida y Arroyo.

Las características principales de este clima, en que la altura juega un papel modificador de importancia, en relación al clima desértico normal, son las siguientes: marcado descenso de las temperaturas, aumento de la pluviosidad, bajas humedades relativas, leve aumento de la nubosidad.

Para cuantificar algunas características meteorológicas de la zona se dispone también de escasa información sólo en los siguientes lugares: Ollagüe, Ascotan, Huatacondo, Salado en Ayquina, Inacaliri, Conchi, Ojos de San Pedro y San Pedro en Parshall 2. Estas tres últimas estaciones fueron instaladas por CORFO en 1969 por recomendaciones de la Sección Hidrología y Riego, en relación a estos estudios. Las estadísticas básicas de estas estaciones se consignan en el Anexo I.

Las temperaturas son relativamente bajas, con pequeñas amplitudes anuales en relación a las observadas en el clima desértico normal. Las diferencias entre las temperaturas máximas y mínimas son también grandes. Los meses más fríos son los de Mayo, Junio y Julio, y los más cálidos son los de Diciembre, Enero y Febrero. Las siguientes tablas resumen parte de la información termométrica disponible.

TABLA 6.11

Temperaturas Medias Mensuales (°C)

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Ollagüe	10,1	8,6	6,2	2,8	- 0,7	- 3,1	- 2,9	0,9	4,0	6,5	6,9	8,5
Conchi	11,6	--	12,2	10,1	--	--	--	--	--	--	--	10,7
Ojos San Pedro	--	--	4,8	2,7	0,6	0,8	--	--	--	--	--	--
Inacaliri	7,5	7,8	6,7	6,2	4,9	2,0	0,9	1,9	3,8	5,1	6,6	7,5
San Pedro	12,7	15,4	12,9	11,1	8,8	7,1	6,8	7,4	9,8	10,1	10,6	--

TABLA 6.12

Temperaturas Máximas Mensuales (°C)

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Ollagüe	25,3	22,4	22,7	21,1	16,9	15,8	18,8	19,0	20,0	22,6	23,3	23,6
Conchi	30,6	--	25,4	24,5	--	--	--	--	--	--	--	24,0
Ojos San Pedro	--	--	24,0	19,8	17,0	16,0	--	--	--	--	--	--
Inacaliri	19,9	19,9	19,2	19,0	19,0	17,0	14,0	17,0	20,0	10,0	19,0	20,0
San Pedro	25,2	27,8	26,6	23,8	23,0	21,0	22,0	24,0	26,0	24,0	23,0	--

TABLA 6.13

Temperaturas Mínimas Mensuales (°C)

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Ollagüe	- 10,0	- 7,0	-19,7	-20,5	-26,3	-26,3	-27,5	-26,8	-19,7	-19,1	-15,1	- 9,4
Conchi	- 5,9	--	- 4,6	- 2,2	--	--	--	--	--	--	--	- 2,0
Ojos San Pedro	--	--	-17,5	-17,2	-15,0	-18,0	--	--	--	--	--	--
Inacaliri	- 4,3	-3,4	-4,2	-4,8	-5,0	-10,0	-11,0	-10,0	-8,0	-8,0	-8,0	-5,0
San Pedro	2,2	3,6	2,6	-0,9	-1,0	-2,0	-4,0	-3,0	-2,0	-2,0	-1,0	--

Las humedades relativas son en general, más bajas que en la zona del desierto normal, y presentan poca variación mensual. Los valores medios anuales son aproximadamente de 35°/o registrándose la humedad relativa más elevada en verano con valores de 45°/o y los valores menores en invierno con cifras cercanas al 30°/o. Los datos disponibles se resumen a continuación.

TABLA 6.14

Humedades Relativas Medias Mensuales

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Ollagüe	33,6	41,1	44,3	41,6	42,2	46,9	--	50,4	45,8	37,7	43,0	28,7
Conchi	51,3	52,6	54,9	39,2	--	--	--	--	--	--	--	40,2
Ojos San Pedro	--	58,1	58,3	43,7	28,6	30,7	--	--	--	--	--	--
Inacaliri	44,7	42,2	48,2	47,6	23,5	27,6	24,8	24,0	29,8	30,4	32,2	49,4
San Pedro	54,0	50,0	46,8	29,9	21,6	28,2	19,6	19,4	19,0	22,4	27,2	--

La nubosidad sigue siendo escasa, pero con magnitud mayor a la observada en el desierto normal. En efecto, la nubosidad media anual varía de 1 a 2,5 aumentando hacia el Este.

Aunque la información sobre radiación solar es muy escasa, los pocos valores disponibles permiten concluir que ella es intensa. Las cifras que se disponen para la Estación San Pedro en Parshall 2, son las siguientes en términos de radiación solar media diaria.

Enero	527	Cal/cm^2/día	Julio	434	Cal/cm^2/día
Febrero	472	"	Agosto	518	"
Marzo	481	"	Septiembre	612	"
Abril	485	"	Octubre	--	
Mayo	455	"	Noviembre	--	
Junio	410	"	Diciembre	714	"

El poder evaporante de la atmósfera es en general, más intenso que en la zona desértica normal, debido principalmente a la mayor radiación solar y menor humedad relativa. La evaporación mayor se produce generalmente en Diciembre con valores medios de 12,4 mm/día y la menor en el mes de Junio o Julio con promedio de 6,5 mm/día. La siguiente tabla permite observar la distribución media anual en varios lugares representativos.

TABLA 6.15

Evaporación Media Diaria (mm/día)

Estación	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Conchi	11,7	11,2	9,3	9,3	--	7,5	7,4	9,3	7,3	11,0	11,5	12,9
Ojos San Pedro	9,0	9,0	7,3	6,8	4,9	5,4	--	--	--	--	9,5	10,8
Inacaliri	9,4	7,8	7,3	7,3	7,0	5,5	4,7	5,4	8,4	9,4	10,6	11,3
Salado en Ayquina	12,6	11,2	10,4	9,4	7,8	7,0	6,9	8,9	9,7	11,5	12,7	12,3
San Pedro	13,3	12,4	11,8	11,1	10,0	8,5	8,6	9,6	12,3	13,4	13,6	14,3

El régimen de precipitación de esta zona se considerará separadamente en el siguiente punto en que se analiza en mayor detalle las características pluviológicas de la región del Loa.

6.3 Pluviología de la región del Loa.

De las tres zonas en que meteorológicamente se ha dividido la región del Loa, se ha visto que en la zona costera de clima desértico con nublados abundantes y en la zona interior (hasta la cota de Calama aproximadamente) de clima desértico normal, las precipitaciones son prácticamente nulas y no presentan ninguna importancia desde el punto de vista de su contribución a los escurrimientos. En ambas zonas la precipitación media anual es ciertamente menor que 5 mm presentando una altísima dispersión interanual y varios períodos con años consecutivos sin ninguna precipitación medible con pluviómetros standard.

Sin embargo, en la zona del desierto marginal de altura, que se ha delimitado aproximadamente sobre la cota 2.800 m.s.n.m., las precipitaciones adquieren una importancia creciente con la altitud y contribuyen substancialmente a los escurrimientos superficiales y a la recarga de los acuíferos.

Por estos motivos, el estudio pluviológico se concentrará preferentemente en esta región. Los datos pluviométricos disponibles y a que se hace referencia más adelante, se incluyen en los Anexos I y VII.

La característica fundamental del régimen de precipitaciones en esta región es que ellas se producen principalmente en el verano (Diciembre - Marzo) y corresponden a lluvias de orígen convectivo con influencia orográfica. Ello se debe al calentamiento estival de la Cordillera. Este hecho se observa en todo el altiplano boliviano, pero abarca también la zona cordillerana de Chile septentrional, aunque con menor intensidad.

Debido a que las precipitaciones caen en general, concentradas en el período Diciembre - Marzo, el año hidrológico no coincide con el año civil. En base a los datos disponibles se llega a la conclusión que el año hidrológico debe corresponder al período 1º de Noviembre - 31 de Octubre, que es el período que se usará en los cálculos posteriores.

Las estaciones pluviométricas disponibles en esta zona, con su ubicación, años observados y precipitación media anual, se resumen en la siguiente tabla.

TABLA 6.16

Estaciones Pluviométricas

Estación	Altura (m)	Latitud S	Longitud W	Años de Estadística	Precip. Media Anual (mm)
Pedro de Valdivia	1.500	22º 35'	69º 40'	3	0,0
Quillagua	802	21º 38'	69º 33'	6	0,0
Calama	2.270	22º 28'	68º 55'	5	3,1
Chuquicamata	2.660	22º 20'	68º 54'	3	9,2
Sierra Gorda	1.264	22º 54'	69º 19'	7	8,8
San Pedro de Conchi	3.200	21º 57'	68º 35'	30	50,6
Toconce	3.600	22º 16'	68º 11'	5	139,2
Ollagüe	3.696	21º 13'	68º 16'	25	77,7
Ascotán	3.966	21º 40'	68º 16'	6	62,5
Huatacondo	2.450	20º 56'	69º 05'	3	21,7

Las estaciones de Ollagüe y San Pedro de Conchi son las que poseen registros más extensos y por estos motivos son las que se usarán preferentemente para la cuantificación del régimen pluviológico.

Se observa una gran variabilidad interanual de la precipitación. Esta variabilidad se puede medir en términos de la desviación standard o mejor aún en base al coeficiente de variación de las precipitaciones anuales. Para las estaciones pluviométricas de registro más largo, se obtienen así los siguientes valores.

TABLA 6.17

Estaciones Pluviométricas

Estación	Prom. Aritmético (mm)	Desv. Standard (mm)	Coef. de variación
Ollagüe	77,7	67,4	0,867
San Pedro de Conchi	50,6	55,1	1,076

Los coeficientes de variación son bastantes altos, lo que es típico de regiones desérticas o áridas. Debe tenerse en cuenta, como base de comparación, que en la región de Santiago el coeficiente de variación fluctúa entre 0,40 a 0,45.

Es posible que se registren períodos de años consecutivos, sin precipitación. Por ejemplo, en la estadística disponible de Ollagüe se han registrado 4 años consecutivos con precipitación cero. (1945 - 46 a 1948 - 49).

Las posibilidades de tendencia del régimen pluviométrico se han investigago en base a la figura 6.1 que indica la variación del promedio móvil de 11 años para las estaciones de Ollagüe y San Pedro de Conchi. De este gráfico se puede inferir que no se observa ninguna tendencia significativa en las precipitaciones anuales.

Este hecho contrasta con lo que se observa, por ejemplo, en las estaciones pluviométricas de Chañaral, Antofagasta e Iquique, que pueden considerarse representativas del régimen pluviométrico de la zona costera. En efecto, la sola inspección de la estadística de precipitaciones anuales en estos lugares, indica que aproximadamente a partir del año 1942 se observa una notable disminución de las precipitaciones, lo que se resume en la siguiente tabla.

TABLA 6.18

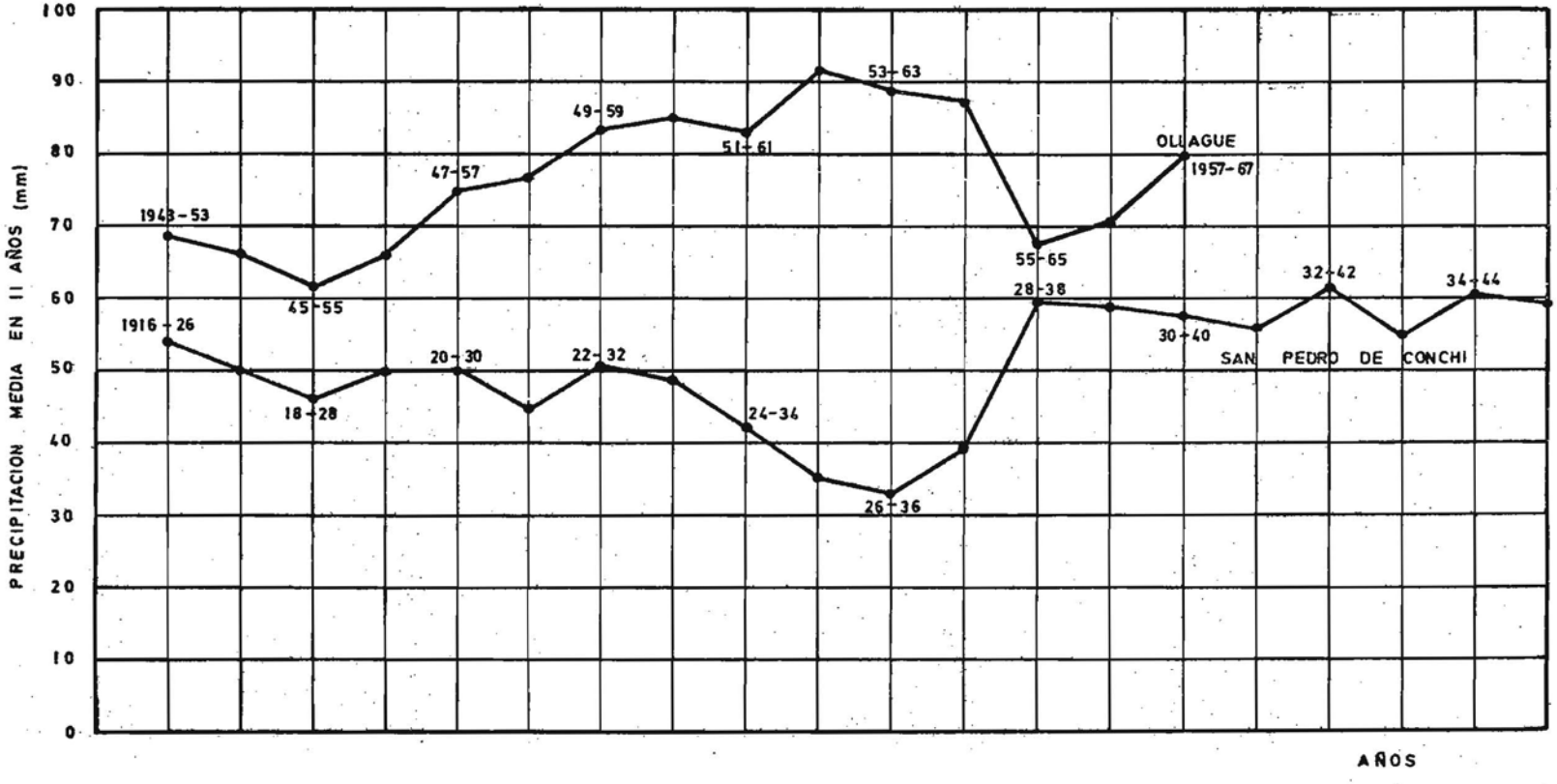
Precipitación Media Anual

Estación	1919 - 1941	1942 - 1968	1926 - 1941	1942 - 1960
Iquique	3,0	1,5	--	--
Antofagasta	10,7	0,8	--	--
Chañaral			22,8	5,6

Con el objeto de probar la aleatoreidad y posibilidades de persistencia y periodicidad de las precipitaciones anuales, se ha efectuado un análisis de autocorrelación de las series respectivas. Para ello, se han calculado los correlogramas de la precipitación anual en Ollagüe y San Pedro de Conchi de acuerdo a la siguiente fórmula.

Figura 6.1

PROMEDIOS MOVILES DE 11 AÑOS
EN LAS ESTACIONES DE OLLAGÜE Y SAN PEDRO DE CONCHI



$$R_k = \frac{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i\, X_{i+k} - \frac{1}{N^2}\left[\sum_{i=1}^{N} X_i\right]^2}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i^2 - \frac{1}{N^2}\left[\sum_{i=1}^{N} X_i\right]^2}$$

en que:

R_k = coeficiente de autocorrelación entre la serie X (t) y X (t+ k)

N = Número de años en que la serie está definida.

k = grado de desplazamiento de la serie en años.

X (t) = precipitación anual en el año t.

Los resultados se han dibujado en la Figura 6.2 en que se indica, además, los límites de confianza al nivel 90 o/o.

Se puede concluir que las precipitaciones anuales en los dos lugares señalados, no presentan persistencia y periodicidad estadísticamente significativas y que ambas series pueden considerarse aleatorias al nivel de confianza 90 o/o.

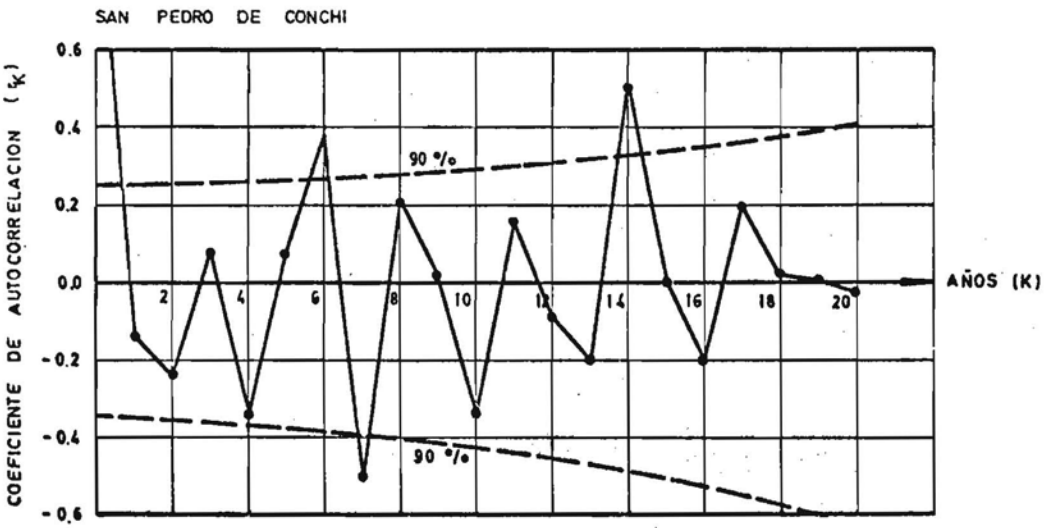
En la región del desierto marginal de altura, la magnitud de la precipitación aumenta notoriamente con la altura del lugar y queda fuertemente influenciada por la orografía. Para estudiar este efecto, se ha dibujado la Figura 6.3, que muestra la relación entre la precipitación media anual en diversas estaciones pluviométricas versus su elevación sobre el nivel del mar. Se han dibujado también, trazos parciales entre dos lugares para un período común de años observados, ya que la relación media trazada contempla puntos que representan períodos de diversa longitud y no todos ellos coincidentes. El gradiente pluviométrico medio es de 6 mm/100 m, que es menor que el propuesto por Goluvieb (10 mm/100 m) en su informe sobre las "Condiciones Hidrológicas del Escurrimiento Superficial y Subterráneo en el Norte Grande". Puede observarse del gráfico, la extrema dispersión del punto correspondiente a Toconce, lo que indica la posibilidad de este tipo de dispersiones debido a condiciones e influencias orográficas locales o semilocales.

El análisis de frecuencia de las precipitaciones anuales se ha hecho para las estaciones de Ollagüe, y San Pedro de Conchi. El método empleado para este análisis es el descrito por M.E. Jennings y M.A. Benson (1), con el objeto de tener en cuenta los años con precipitación cero. Los gráficos obtenidos se incluyen en las Figuras 6.4 y 6.5, cuyos principales valores se resumen en la tabla siguiente.

(1) Jennings M.E., Benson M.A. "Frecuency Curves for Annual Flood Series with some zero Events or Incomplete Data" Water Resources Research. Vol:5 Feb. 1969 Nº 1.

Figura 6.2

CORRELOGRAMAS DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES



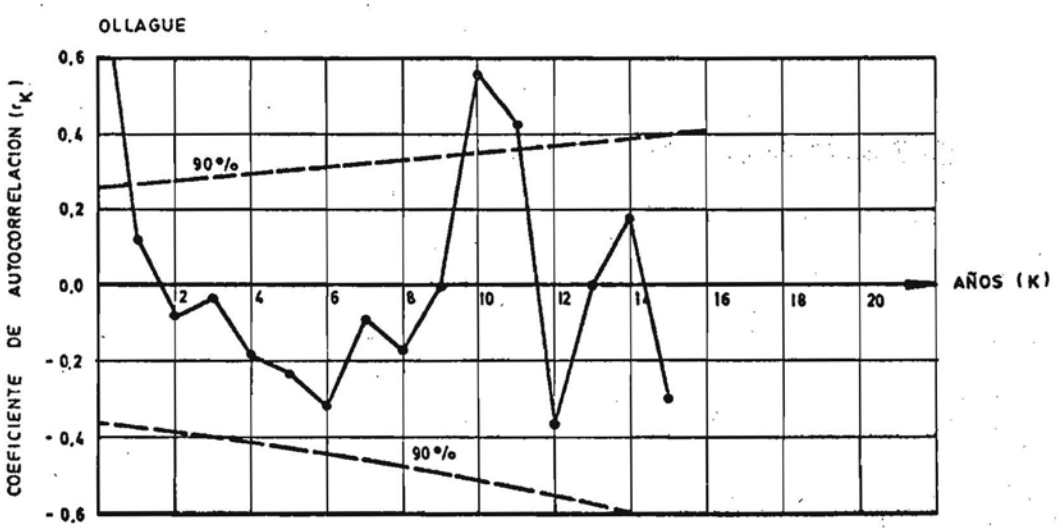


Figura 6.3

VARIACION DE LA PRECIPITACION ANUAL CON LA ALTURA EN LA CUENCA DEL RIO LOA

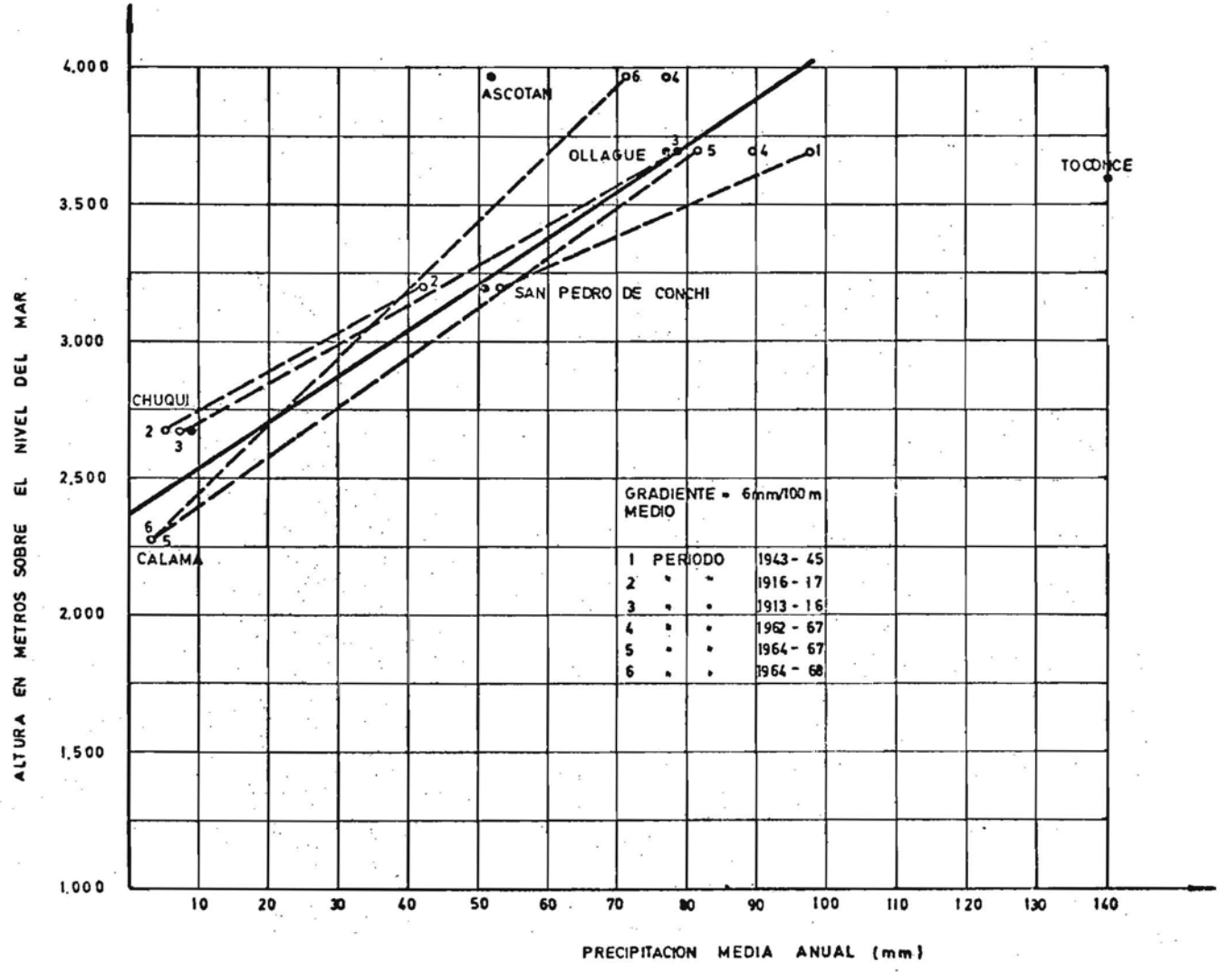


Figura 3.4

ANALISIS DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN SAN PEDRO DE CONCHI

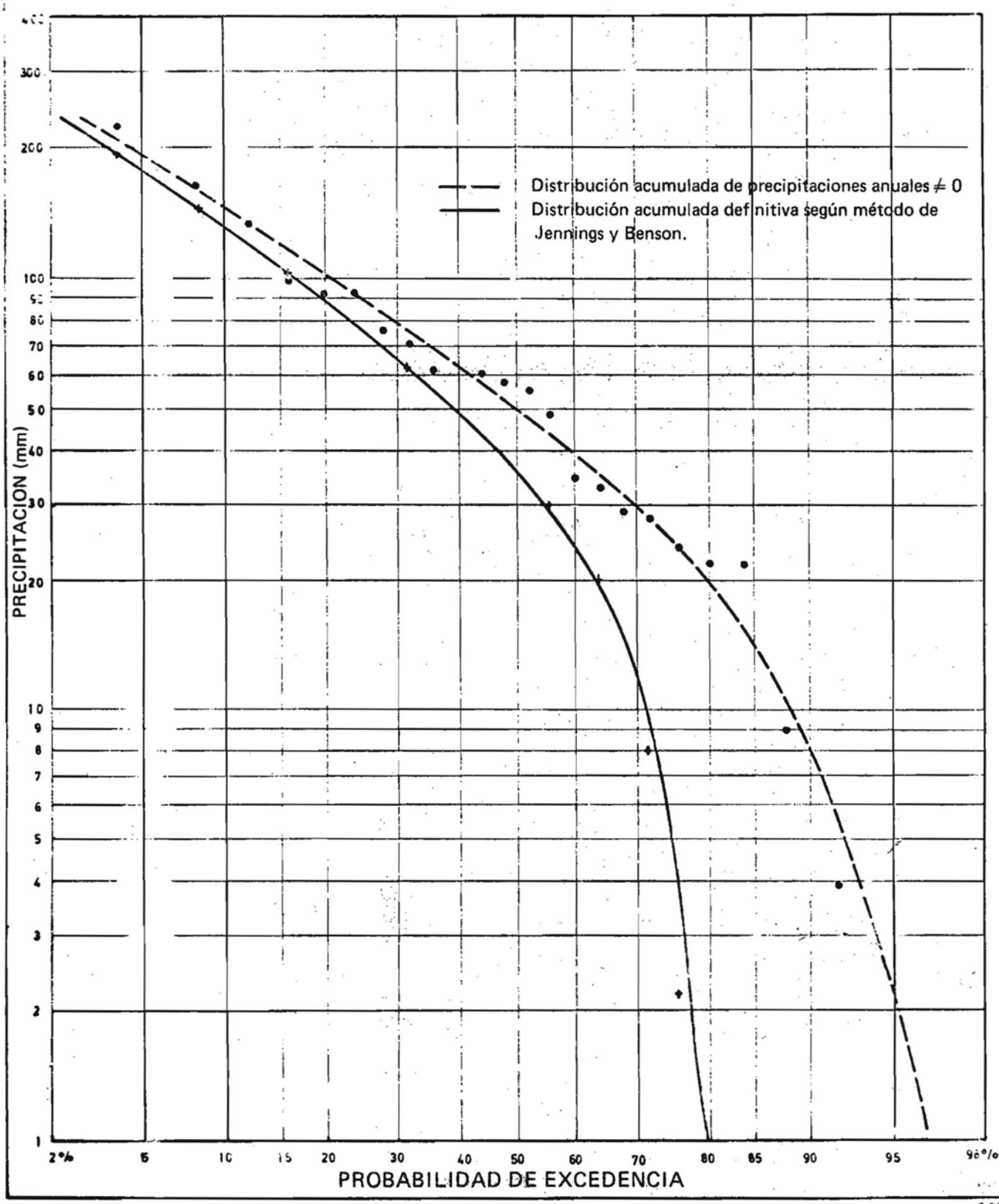


Figura 6.5

ANALISIS DE FRECUENCIA DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES EN OLLAGUE

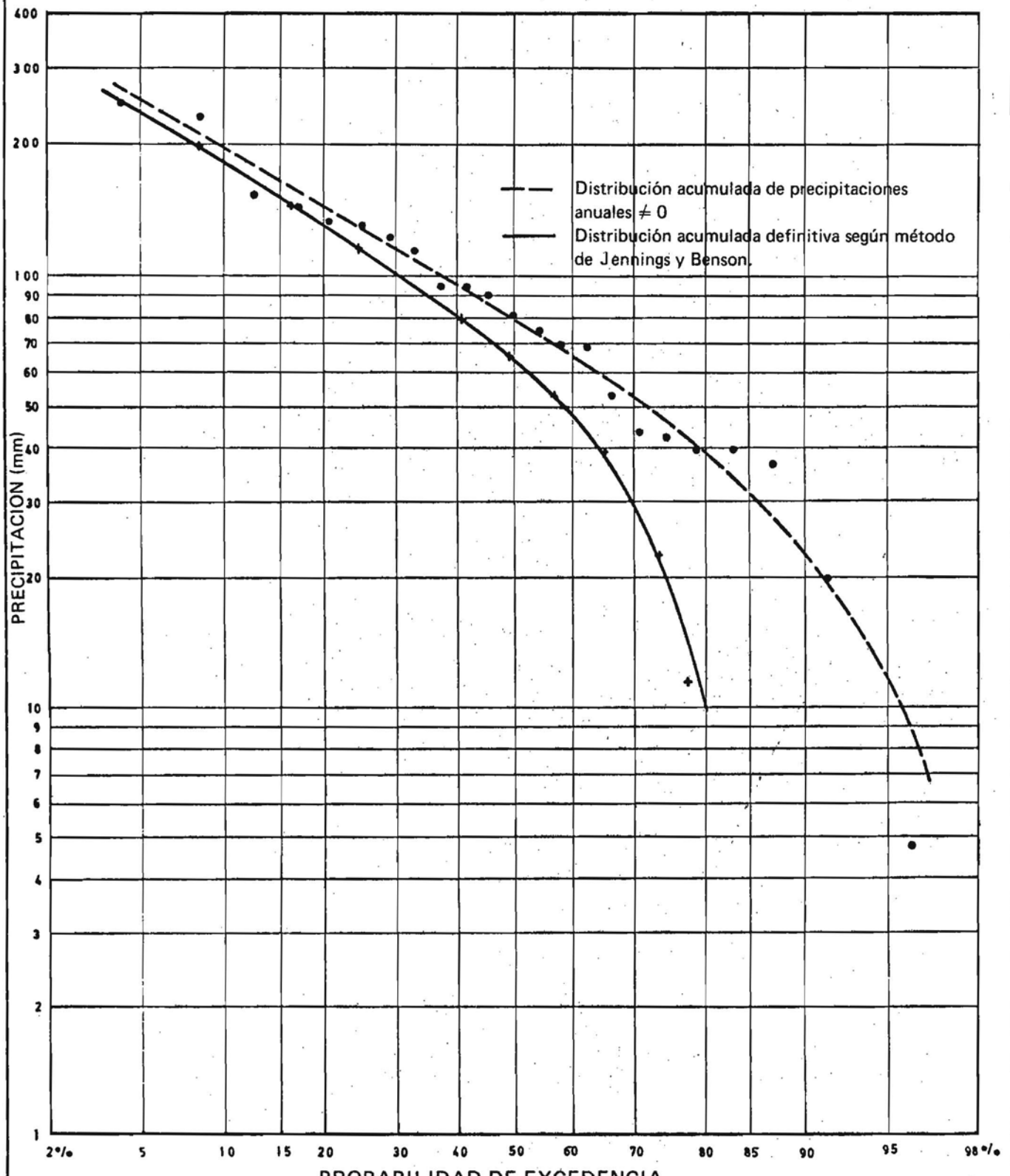


TABLA 6.19

Probabilidades de Excedencia de Precipitación Anual

Estación	Precipitación Anual con Probabilidad de Excedencia de				
	2%	5%	25%	50%	80%
Ollagüe	315	240	130	64	10
San Pedro de Conchi	240	180	74	36	1

En la Figura 6.6, se han esquematizado las isoyetas promedio anual en la cuenca del Loa. El mapa debe considerarse como de un carácter general y aproximado, que sólo permite tener una visión global de la distribución espacial de las precipitaciones anuales, por cuanto la información es escasa y dispersa. El trazado se ha basado en la relación precipitación versus altura, en la topografía, en las estaciones de apoyo y en el conocimiento general de las condiciones hidrometeorológicas y climáticas de la zona.

El régimen de temporales se caracteriza en general, por lluvias de duración relativamente corta y de alta intensidad que constituyen prácticamente la totalidad de las lluvias mensuales. Como no se dispone de pluviógrafos en la zona, nos referiremos a la estadística de lluvias máximas diarias para cuantificar este hecho. La estadística disponible, en las estaciones de más largo registro, se incluye en el Anexo VII y corresponde a la estación de Ollagüe (28 años) y de Ascotán (6 años).

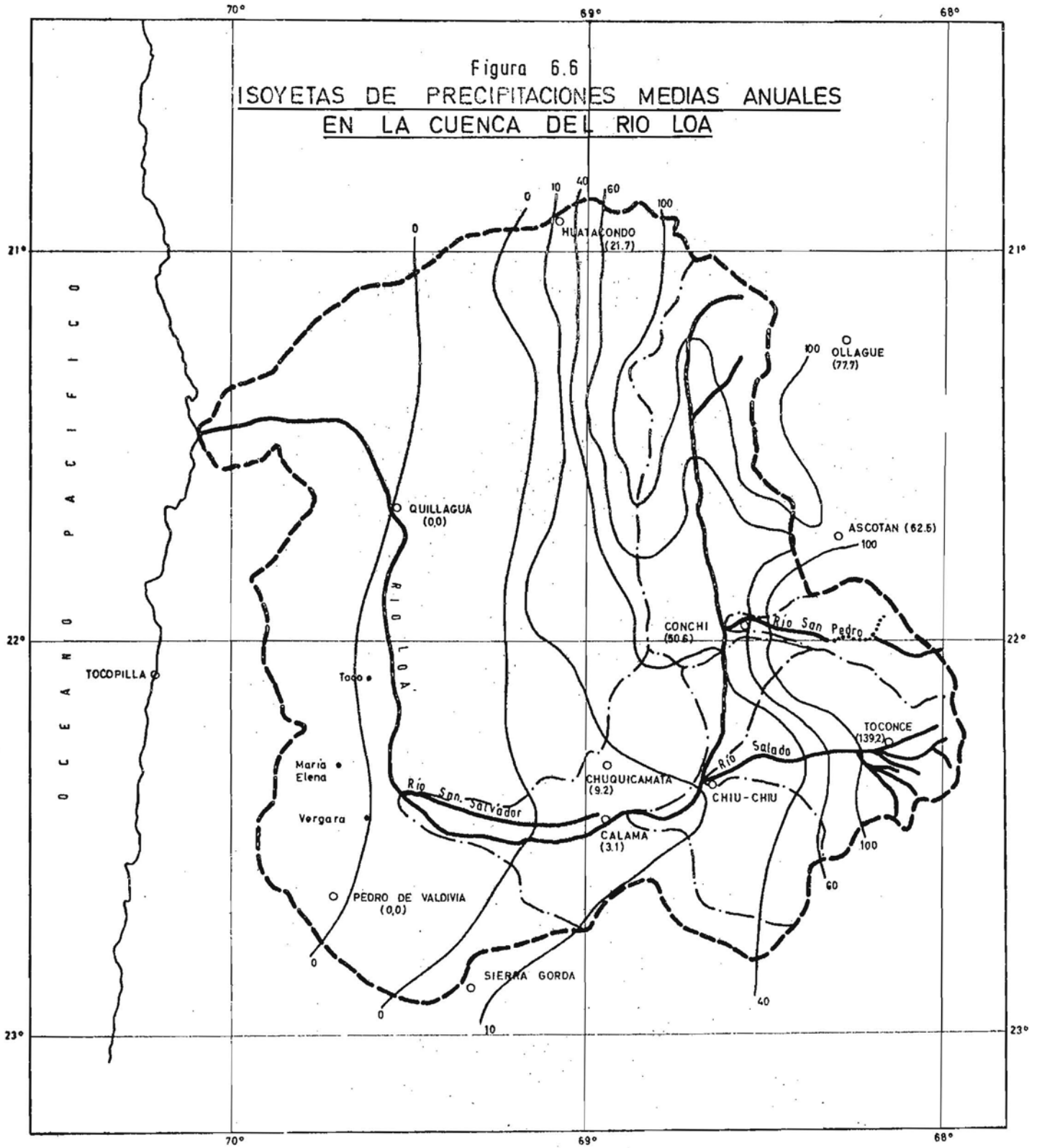
La mayor precipitación máxima anual de 24 horas registrada en Ollagüe fue de 40 mm en 1916 y de 51 mm en Ascotán (1965). En ocasiones las precipitaciones ocurren en varios días consecutivos. Por ejemplo, en Marzo de 1955, se registró en Ollagüe una precipitación que totalizó 72 mm en 5 días. Sin embargo, lo más común es que las precipitaciones ocurran en días aislados y con corta duración. Las precipitaciones máximas anuales de 24 horas rara vez igualan o exceden los 30 mm/día (aproximadamente el 10% de los años en Ollagüe).

Con motivo de la iniciación de este estudio hidrológico, CORFO instaló pluviómetros a comienzos de 1969 en los siguientes puntos de la cuenca del río Loa y sus afluentes: San Pedro en Parshall 2, Ojos de San Pedro, Conchi, Inacaliri, Linzor, Río Salado (Represa), Lasana y Toconce (Pueblo). La estadística registrada hasta el momento se incluye en el Anexo VII.

De esta información, puede observarse que a pesar de la naturaleza convectiva de las precipitaciones, éstas abarcan la extensa zona muestreada, aunque con la variabilidad propia de magnitud y duración de este tipo de lluvias. Se observa también que en varias ocasiones se han registrado dos y hasta tres días consecutivos con precipitaciones. Las intensidades medias son en general, menores o cercanas a 1 mm/hora. Las máximas intensidades medias registradas son del orden de 2,5 a 3,6 mm/hora. Estos hechos permiten concluir que la influencia convectiva es relativamente débil y que la influencia orográfica es muy importante.

Figura 6.6

ISOYETAS DE PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES EN LA CUENCA DEL RIO LOA



CAPITULO 7

ESTUDIO DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL

7.1 Caracterización del Régimen de Caudales en el Río Loa y sus Afluentes y Análisis de sus Pérdidas y Recuperaciones.

7.1.1 Introducción.

Para caracterizar la escorrentía del río Loa y sus afluentes, y analizar las pérdidas y recuperaciones de caudal que se producen, se dispone de varias corridas de aforos especialmente ejecutadas para este estudio y de algunas otras efectuadas con anterioridad por otras personas o instituciones. La información disponible se incluye en los gráficos de las Figuras 7.1 a 7.14 y 7.17 a 7.22. Además, se dispone de aforos aislados en diversos puntos del río y estadística de gastos medios mensuales en las estaciones fluviométricas.

El análisis de esta información, permite identificar diversos sectores del río y de sus afluentes, que presentan recuperación y aumentos de caudal o pérdidas y disminuciones de gasto. Estos hechos arrojan luz sobre las pérdidas por evapotranspiración en los sectores de Calama y Chiu-Chiu, sobre la interconexión del río con las aguas subterráneas, ayudan a explicar el régimen de contaminación de la calidad de las aguas y aportan criterios para el mejoramiento de la red de estaciones fluviométricas y el óptimo aprovechamiento de los recursos hidráulicos.

En base a los gráficos de las corridas de aforos (Ver Figuras 7.1 a 7.22) del río Loa y sus afluentes, se han identificado los sectores que a continuación se analizan, desde el punto de vista de pérdidas y recuperaciones y las características del régimen de escorrentía en algunas secciones del río.

En los antecedentes que se exponen, se hace uso de los aforos y estadísticas fluviométricas referidas al año 1969, para homogeneizar la influencia de las mercedes de agua.

7.1.2 Escorrentía Superficial en Diversos Sectores del Río Loa y sus Afluentes.

Sector Pozo del Miño - Lequena.

Este sector del río Loa ha sido muy poco controlado, contándose solamente con los aforos efectuados por el Ingeniero don Gustavo Lira en 1916.

El río Loa tiene su nacimiento a los pies del Volcán Miño en el lugar Pozo del Miño. El primer aporte de importancia se origina en un conjunto de Vegas denominadas Ojos del Miño, que aportan aproximadamente unos 200 l/s . Luego, en un trayecto de 30 km., se recibe el aporte contínuo de un conjunto de vegas y fuentes termales que se originan en la vertiente oriental del río y de solamente un cauce superficial permanente constituído por la Quebrada Chela, que aporta aproximadamente 75 l/s . Los aportes subterráneos en este sector (desde Ojos del Miño hasta el lugar denominado Solche), prácticamente duplican el caudal del Loa. Eventualmente, en períodos de lluvia y crecida, se recibe lógicamente el aporte superficial de numerosas pequeñas quebradas.

Figura 7.1

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO LOA

Figura 7.2

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO LOA

Figura 7.3

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO LOA

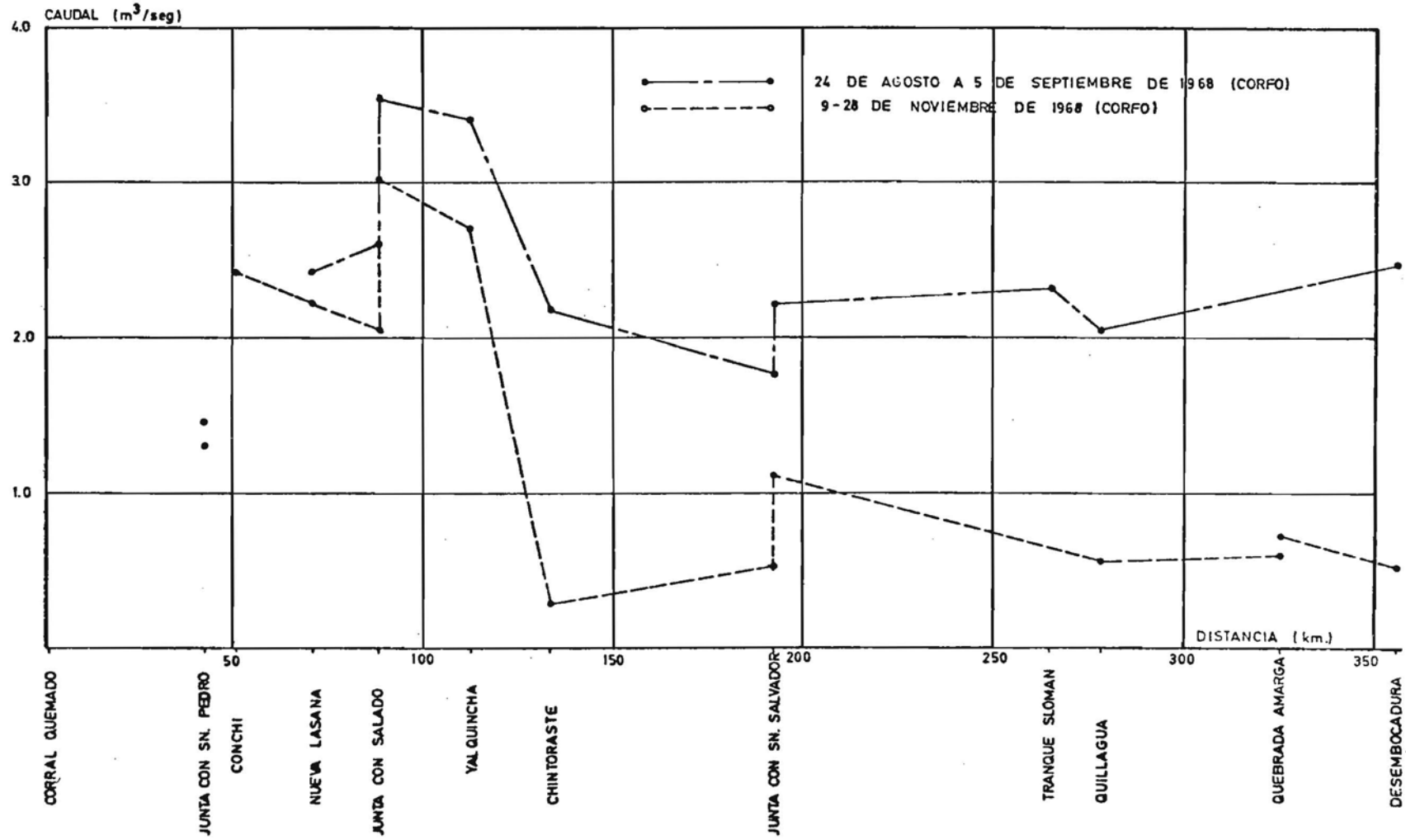


Figura 7.4

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO LOA

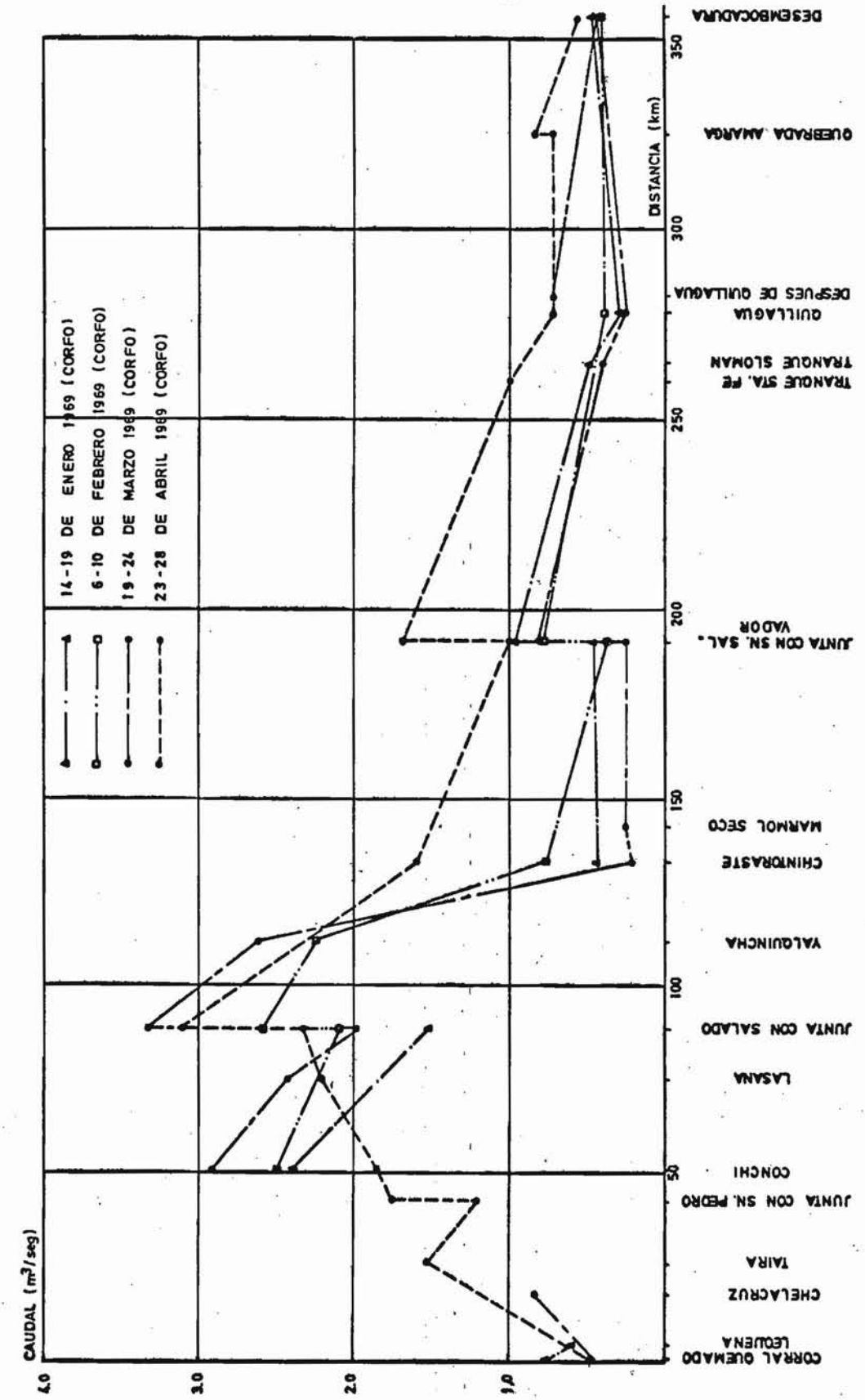


Figura 7.5

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO LOA

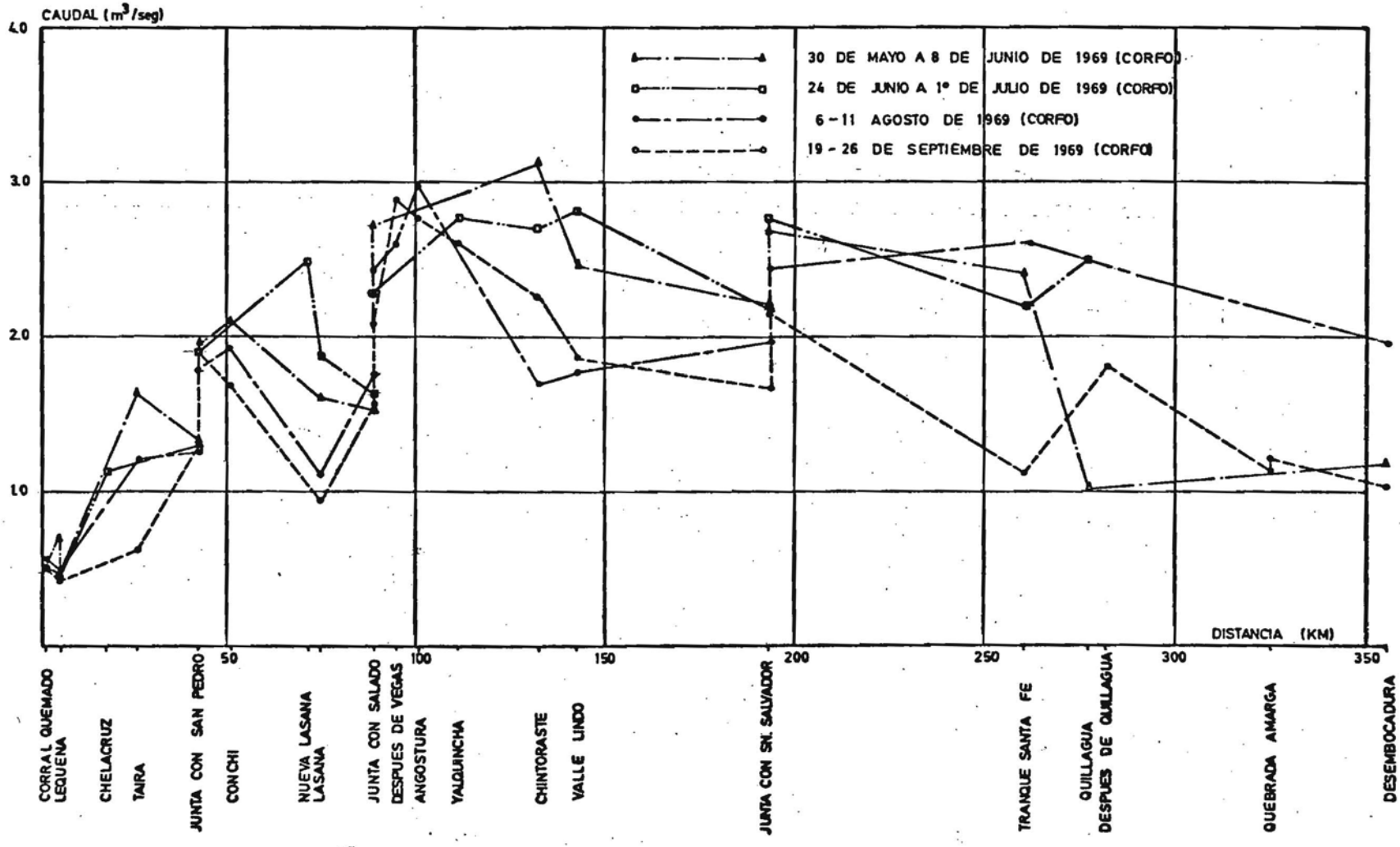


Figura 7.6

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO LOA

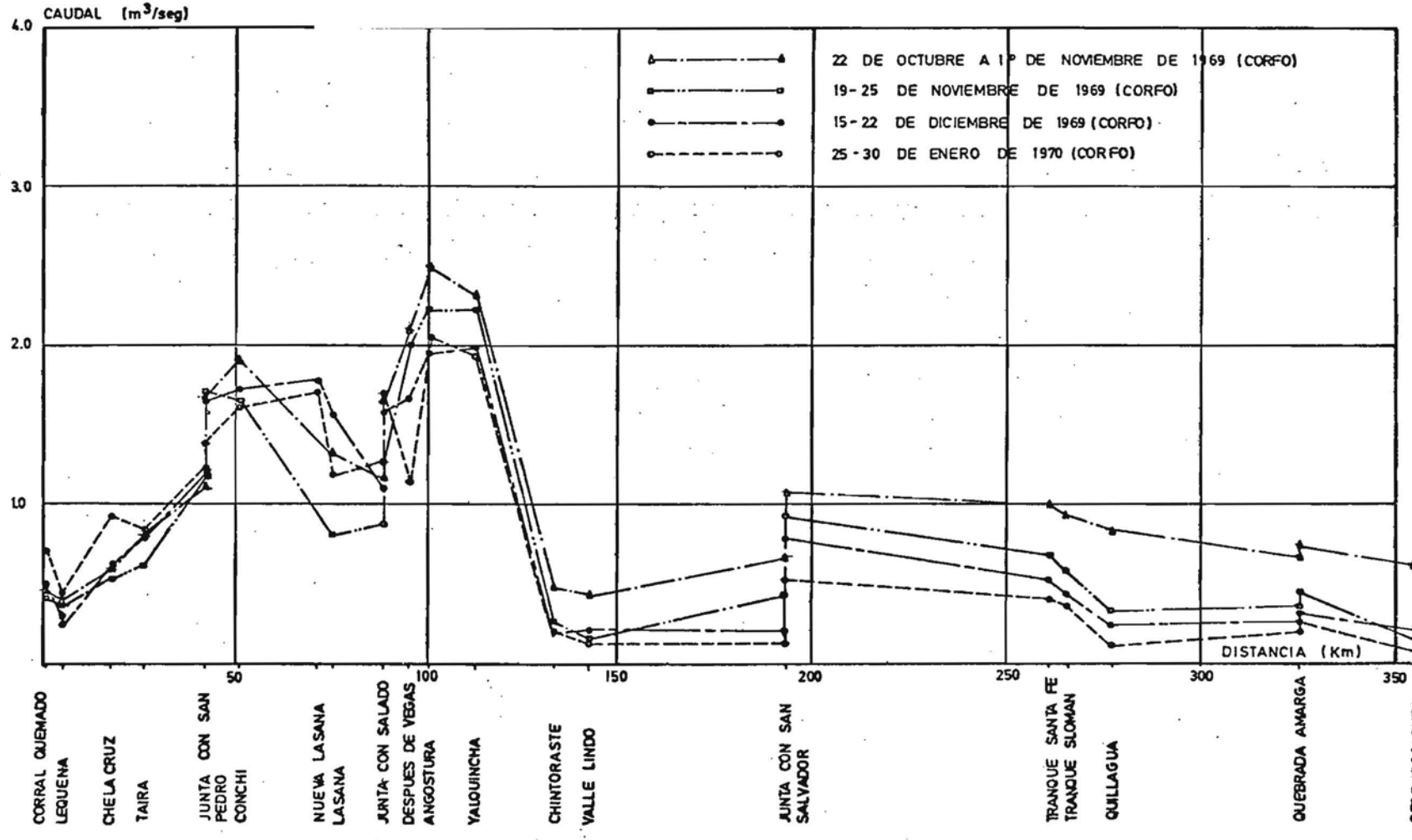


Figura 7.7

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO LOA

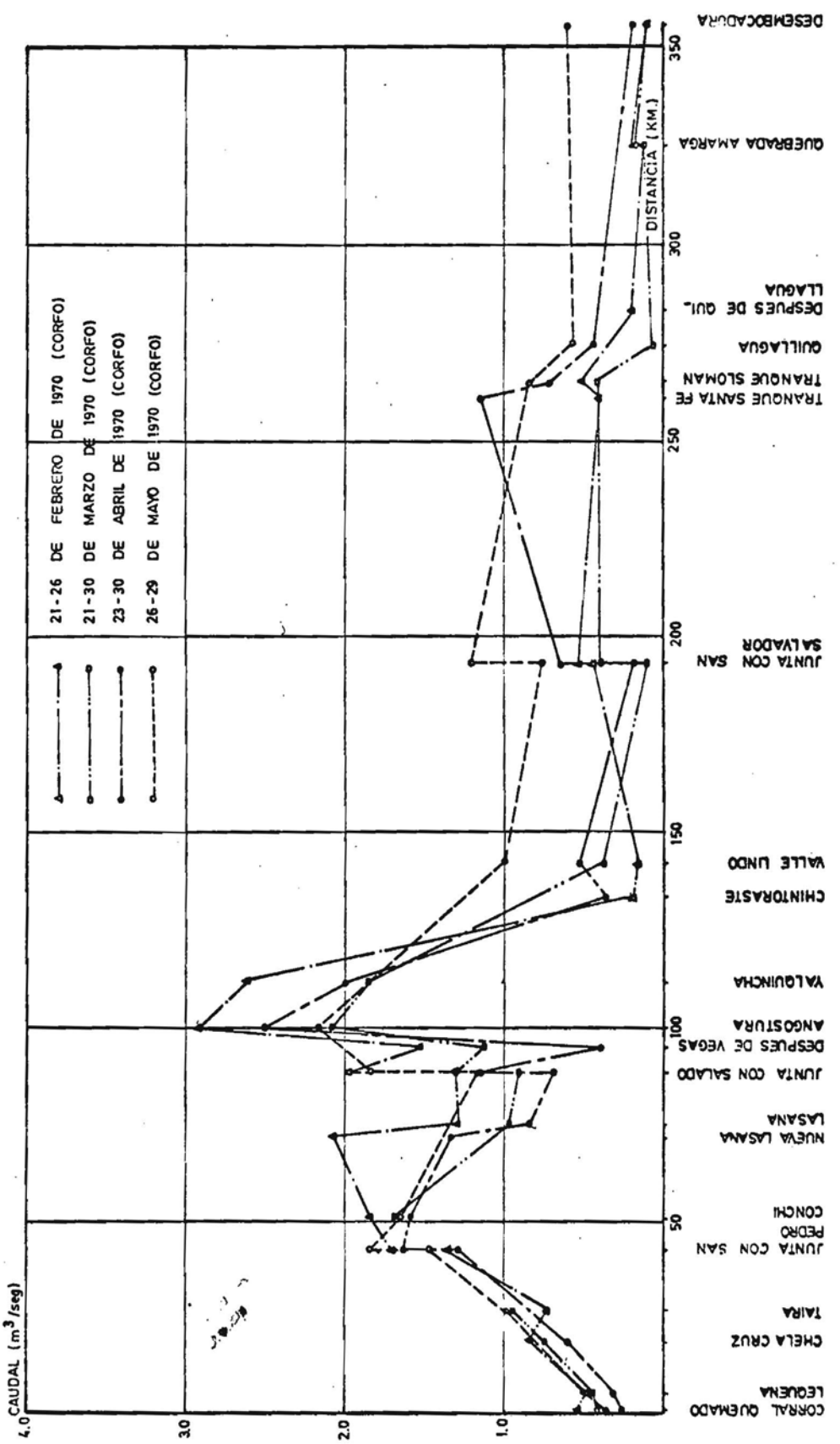


Figura 7.8

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SAN PEDRO

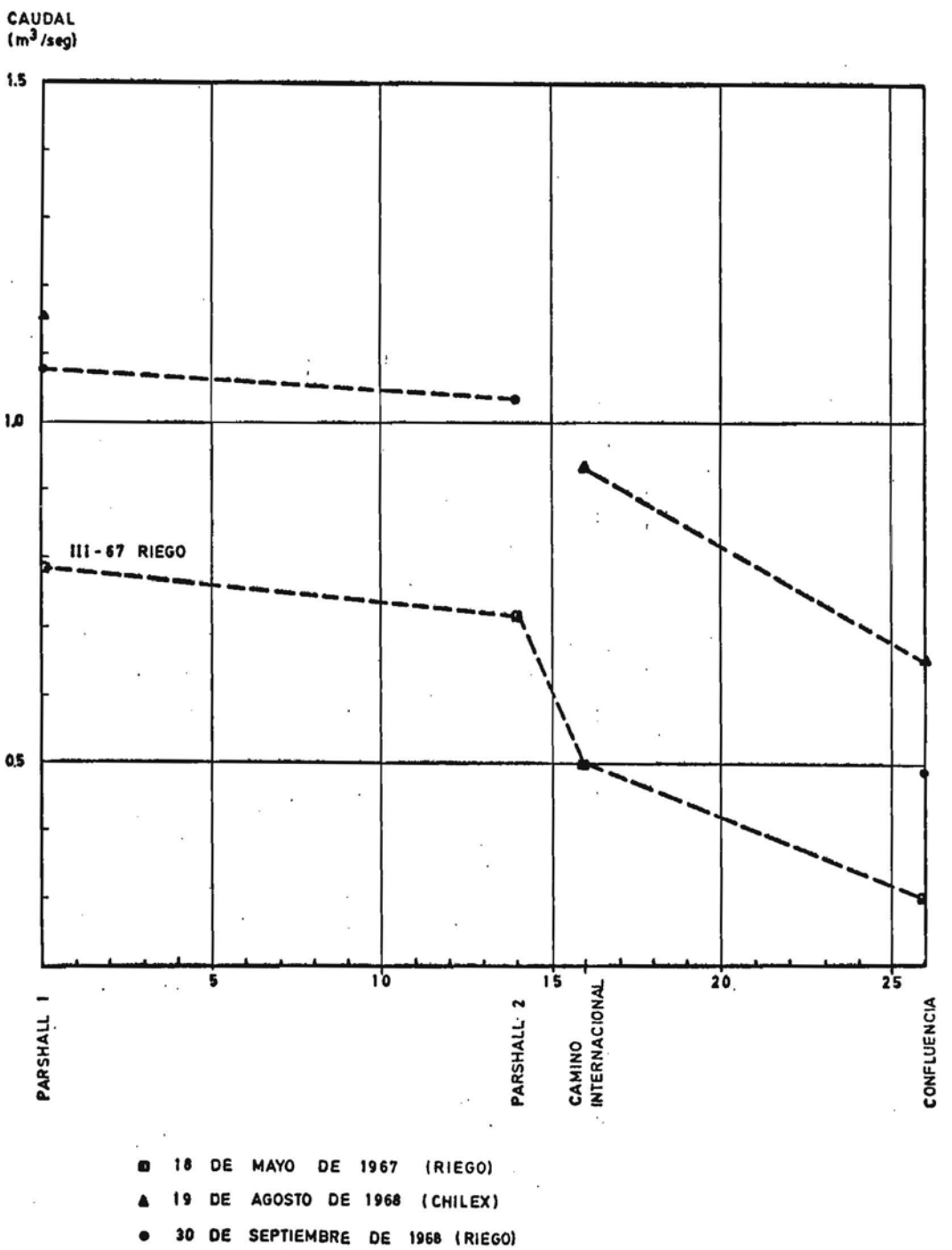


Figura 7.9

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SAN PEDRO

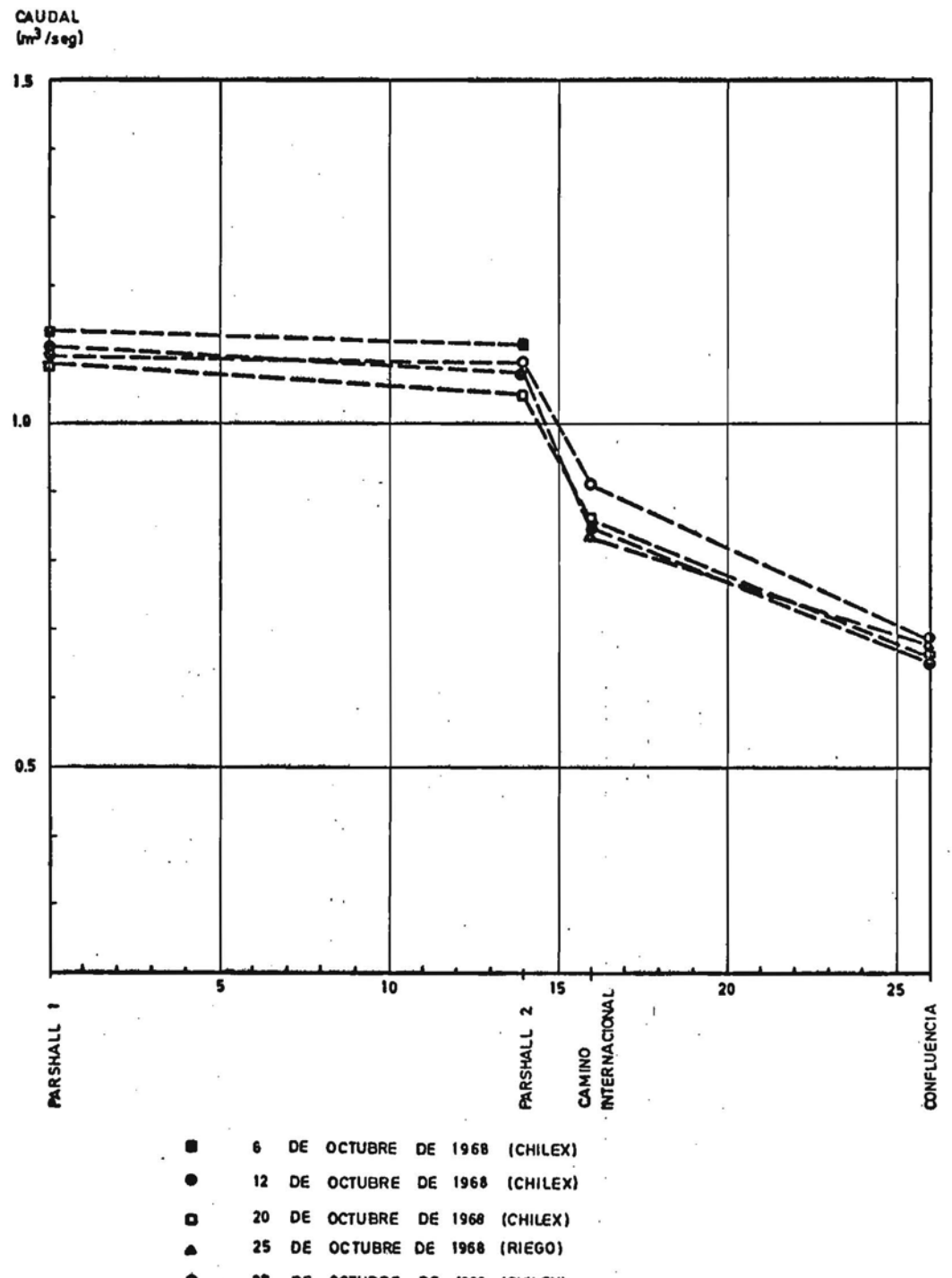


Figura 7.10

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SAN PEDRO

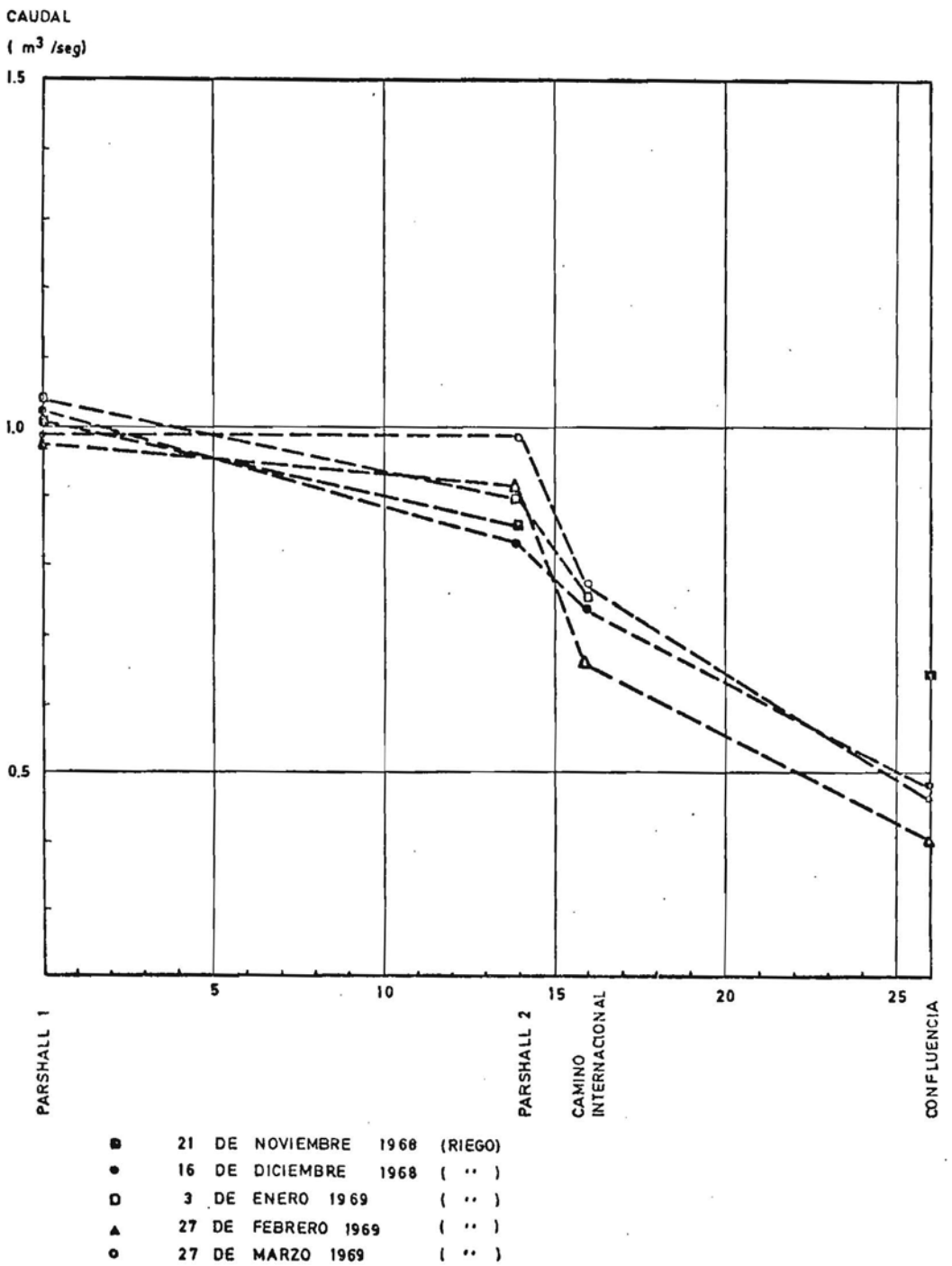


Figura 7.11

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SAN PEDRO

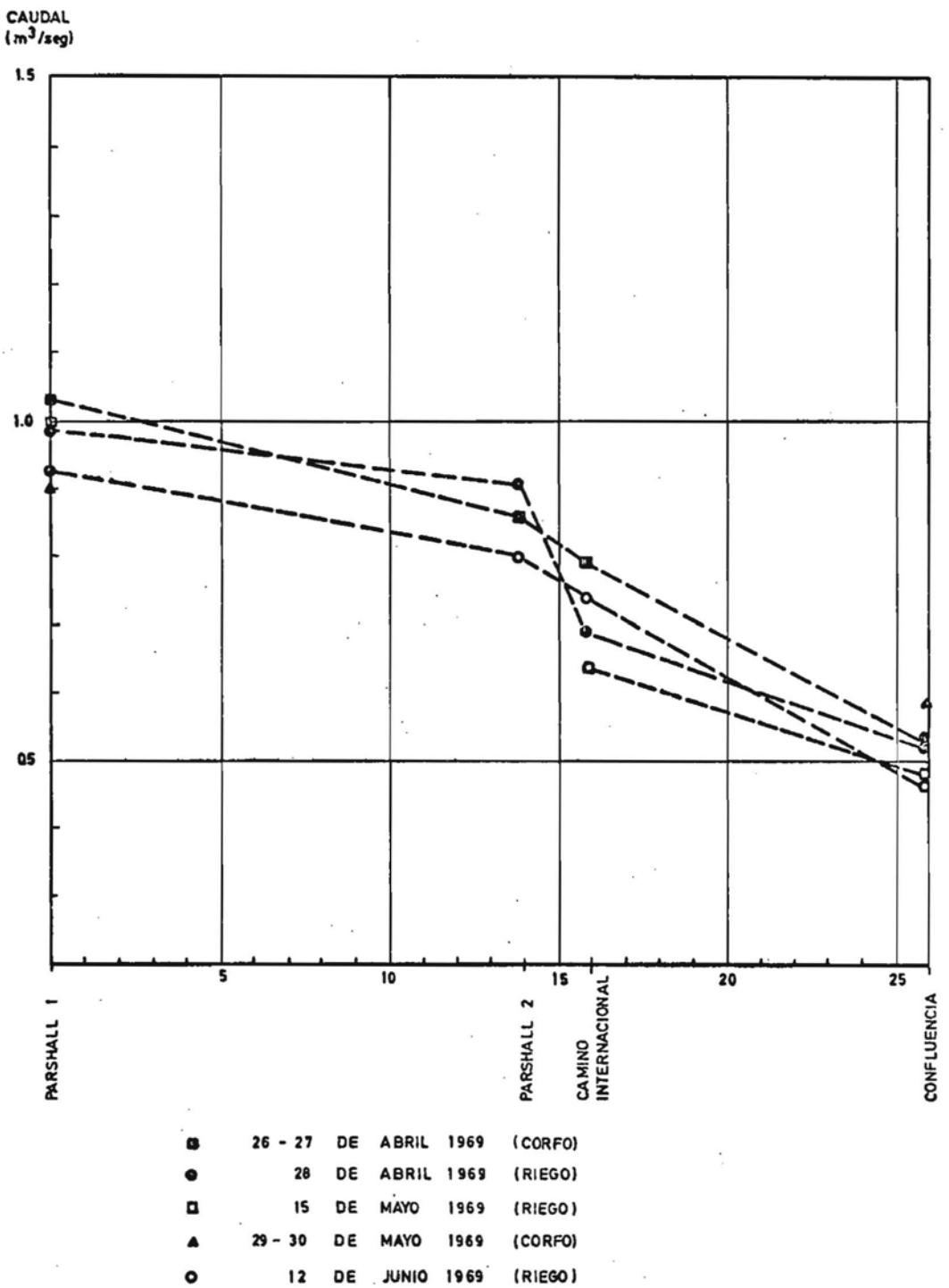


Figura 7.12

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SAN PEDRO

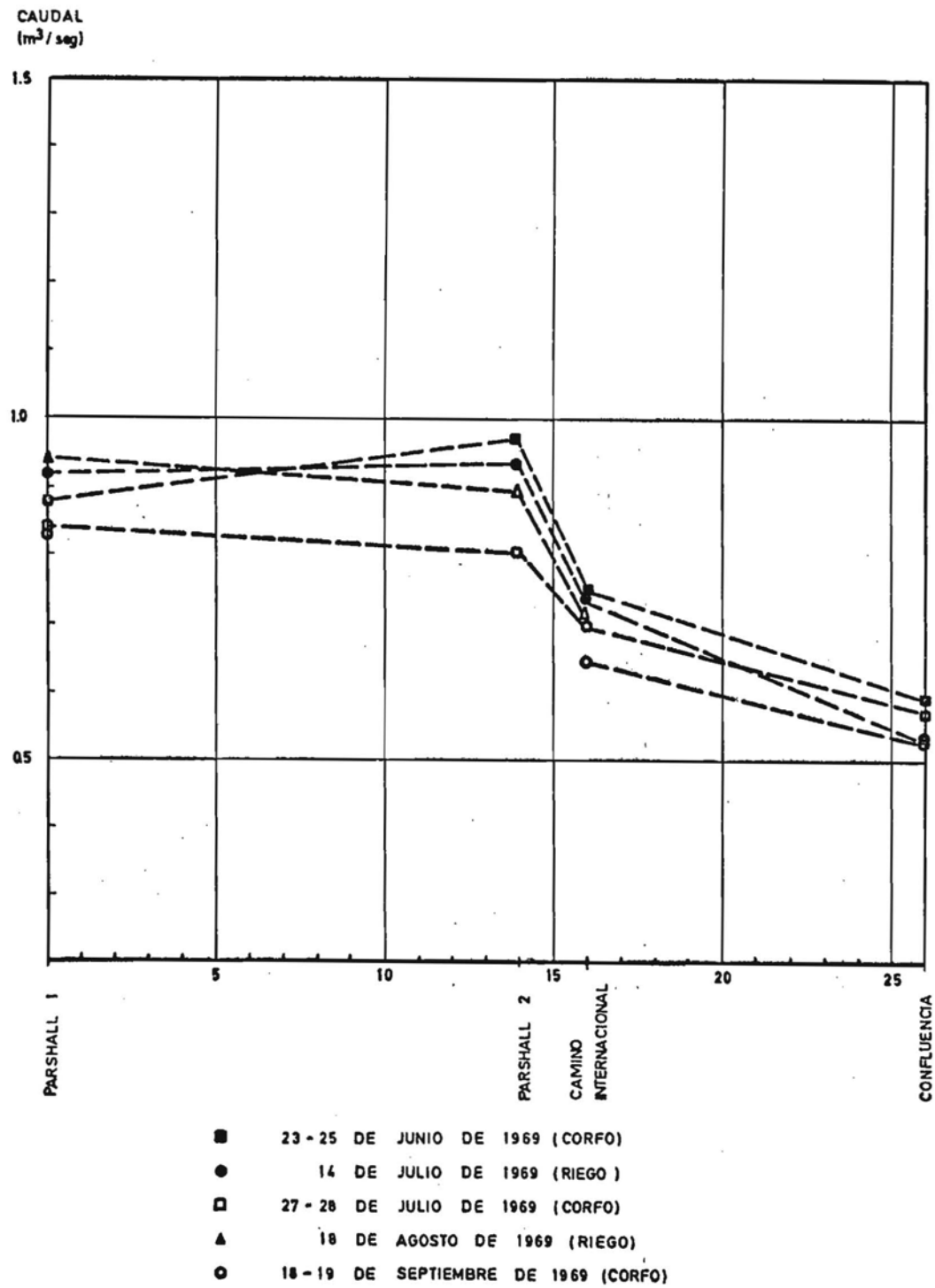


Figura 7.13

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SAN PEDRO

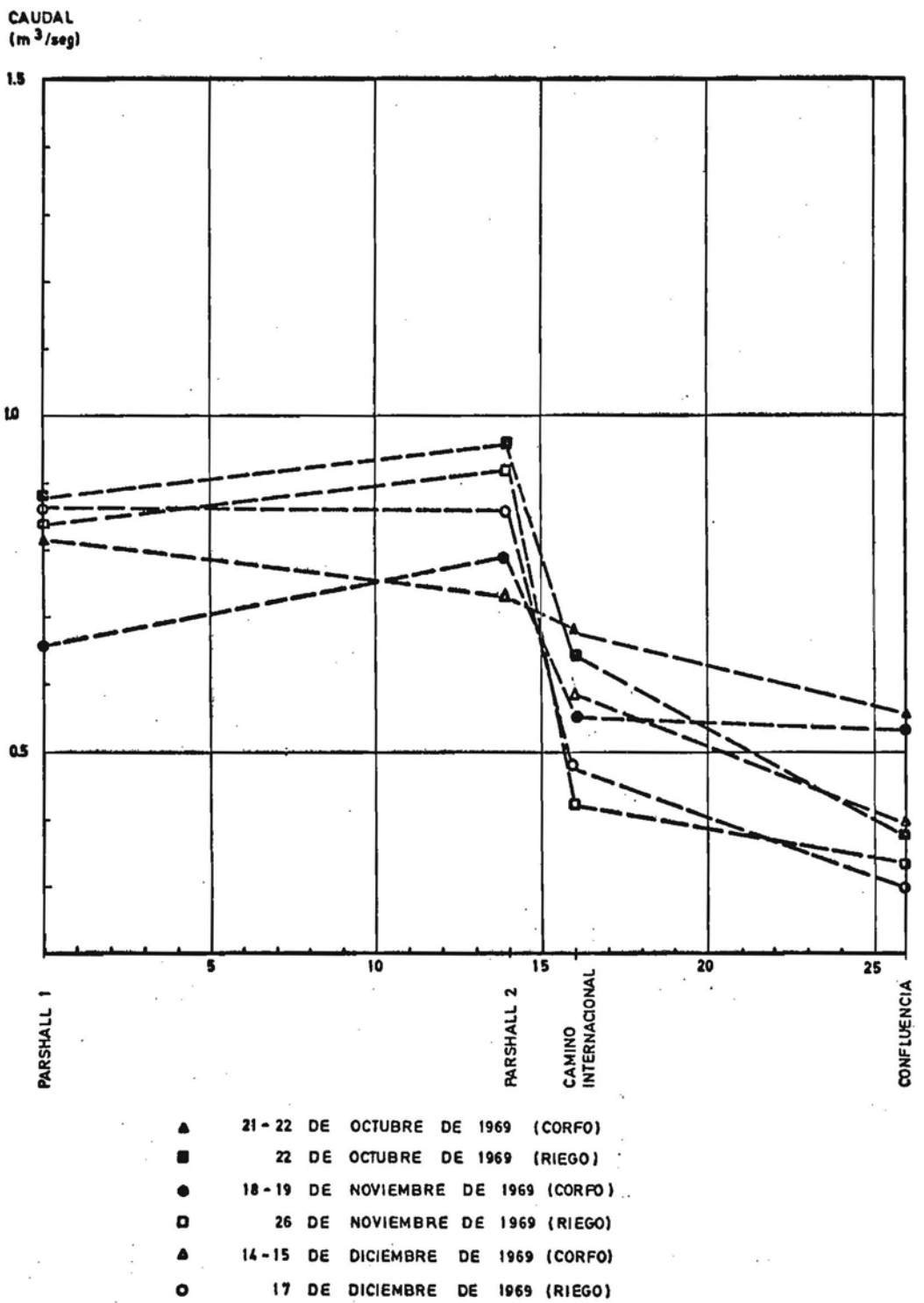


Figura 7.14

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SAN PEDRO

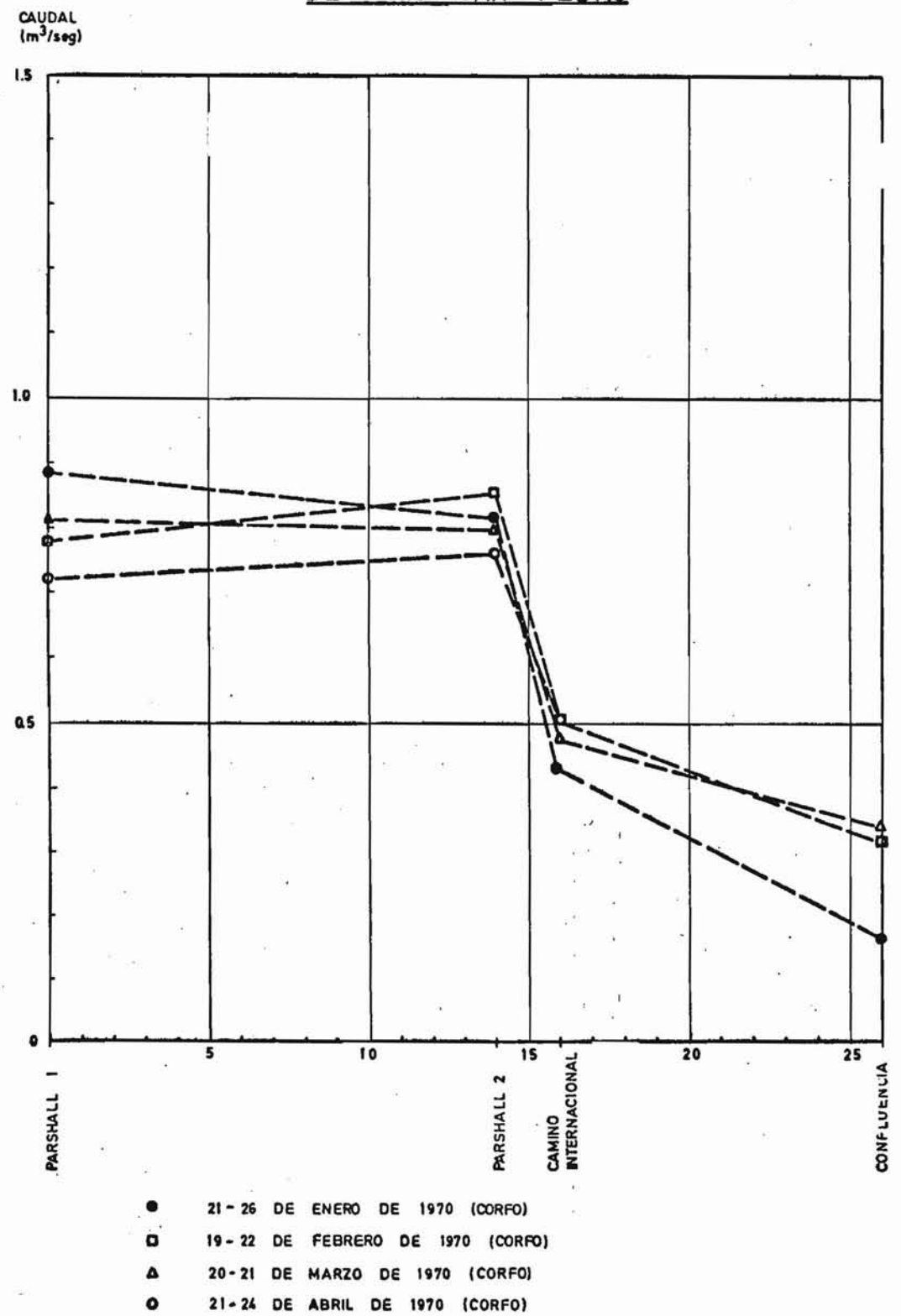


Figura 7.15

GASTOS DE CONCHI MENOS GASTOS LOA ANTES SALADO

SEGUN PROMEDIOS AFOROS AISLADOS

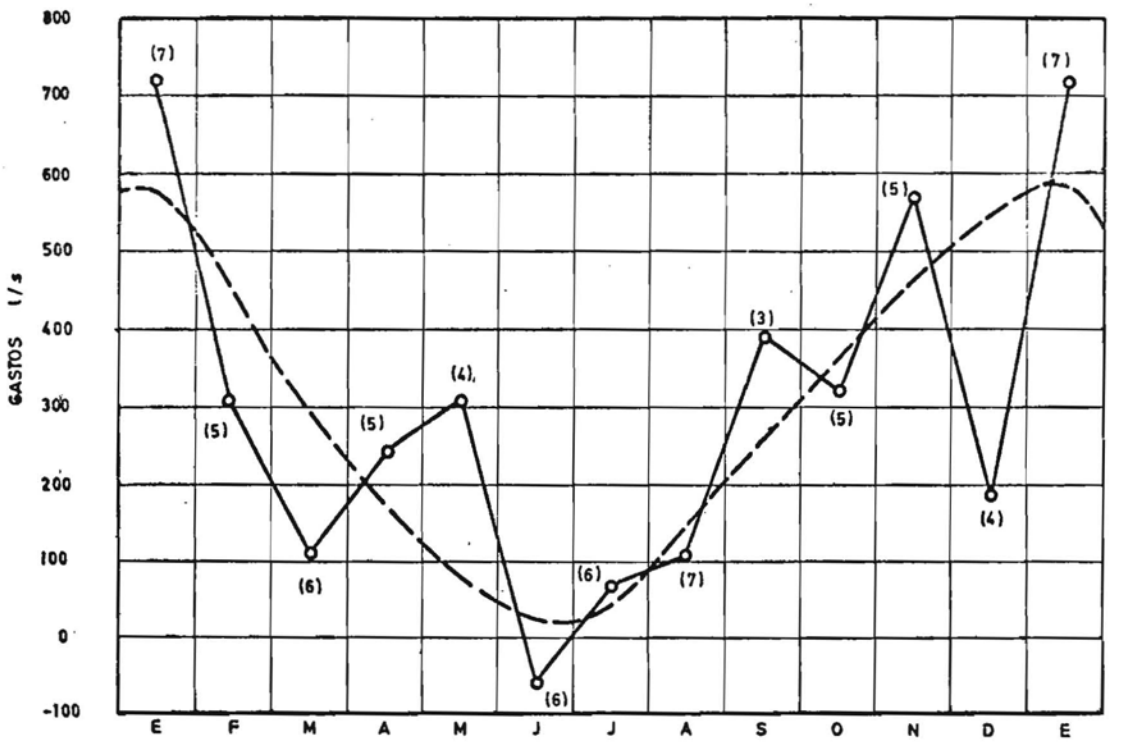
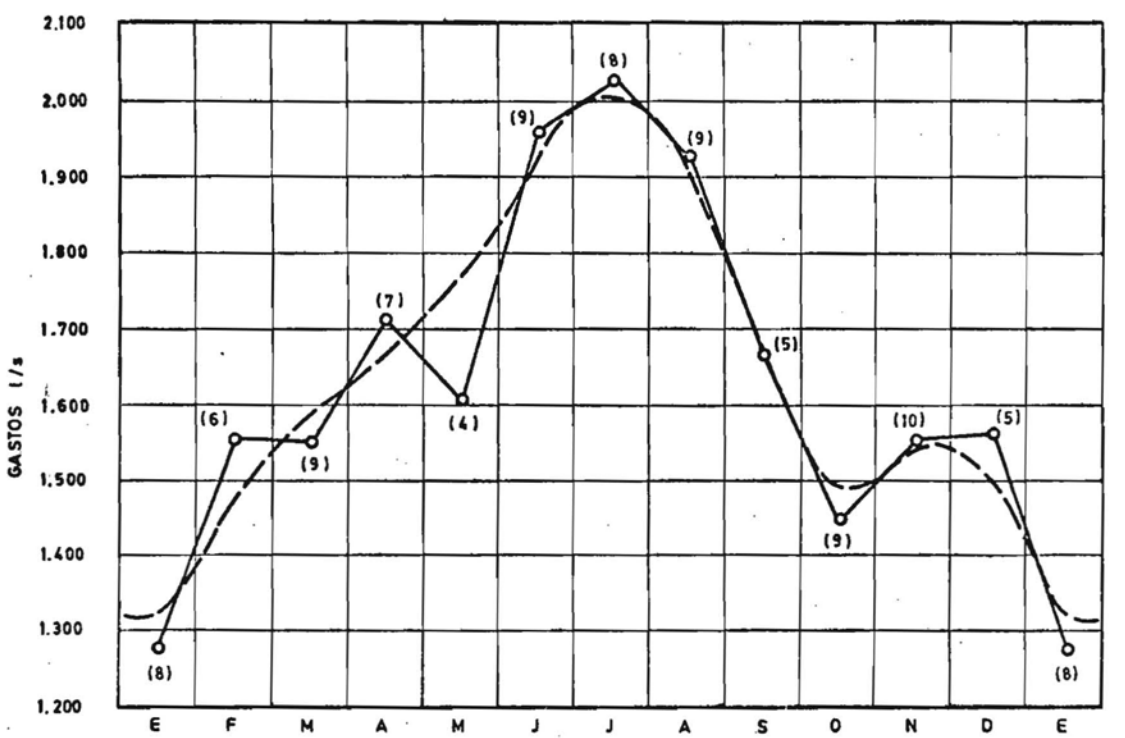


Figura 7.16

LOA ANTES JUNTA SALADO

SEGUN PROMEDIOS AFOROS AISLADOS



( ) NUMERO TOTAL DE AFOROS CONSIDERADOS PARA PROMEDIAR

Figura 7.17

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SALADO

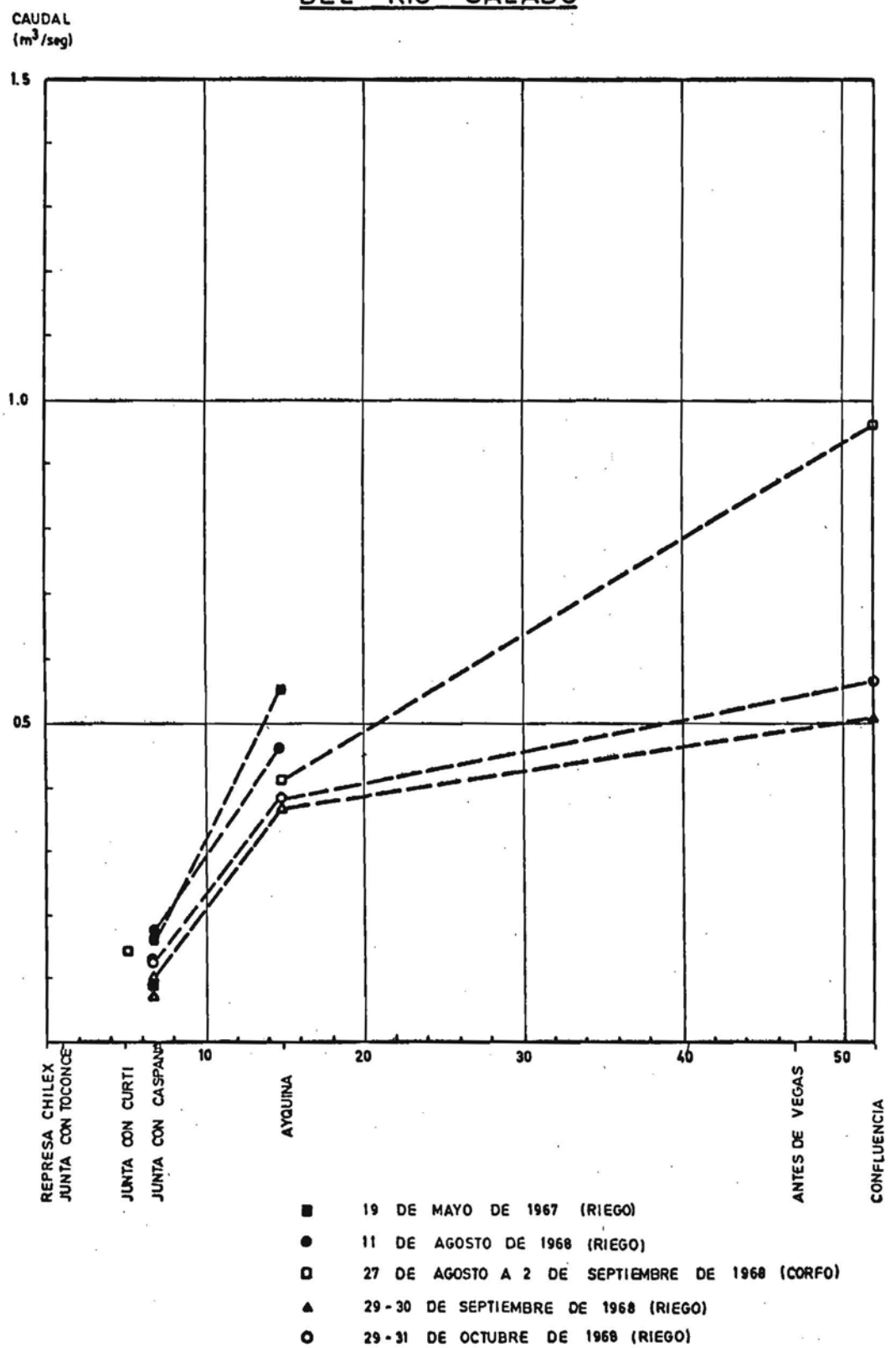


Figura 7.18

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SALADO

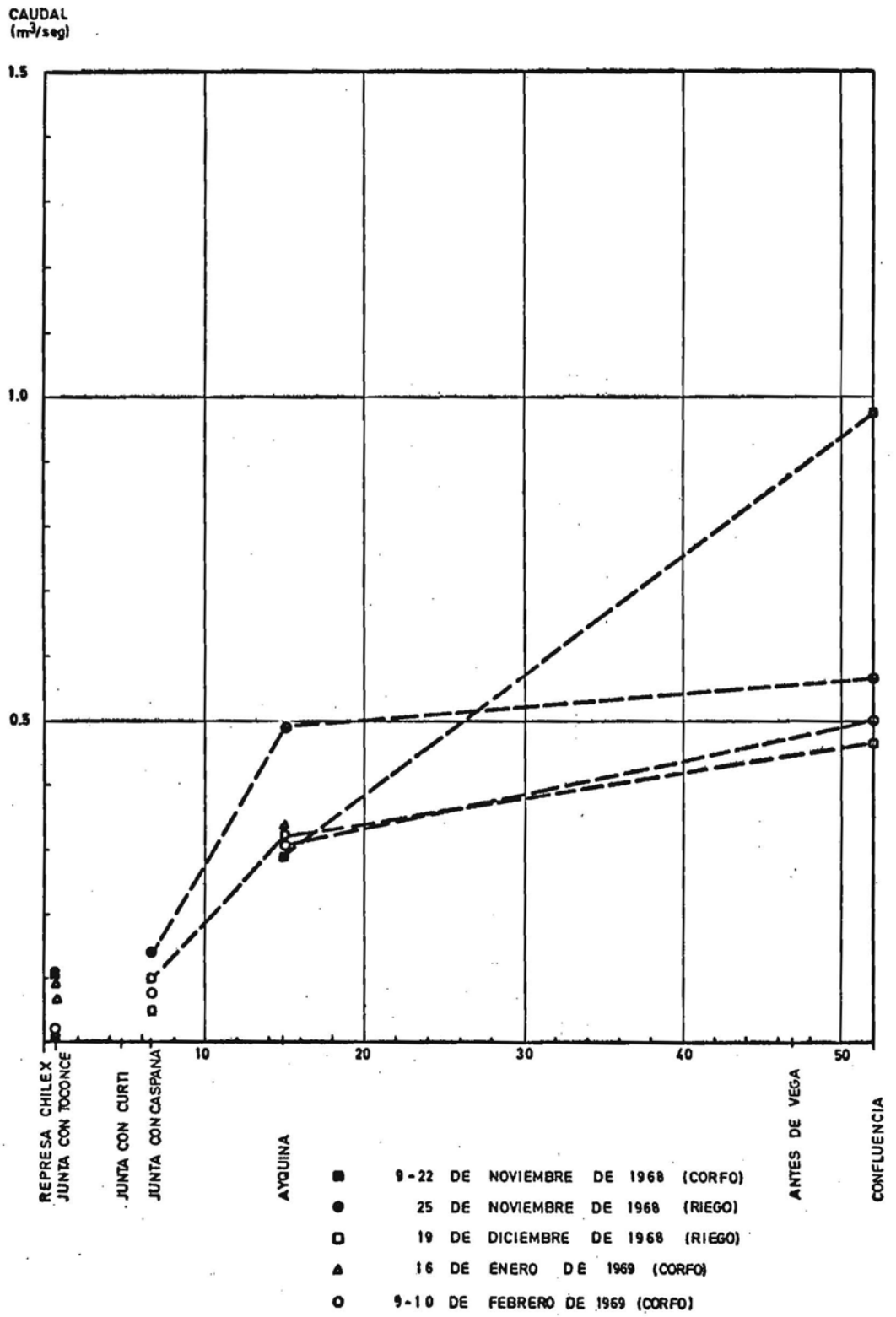


Figura 7.19

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SALADO

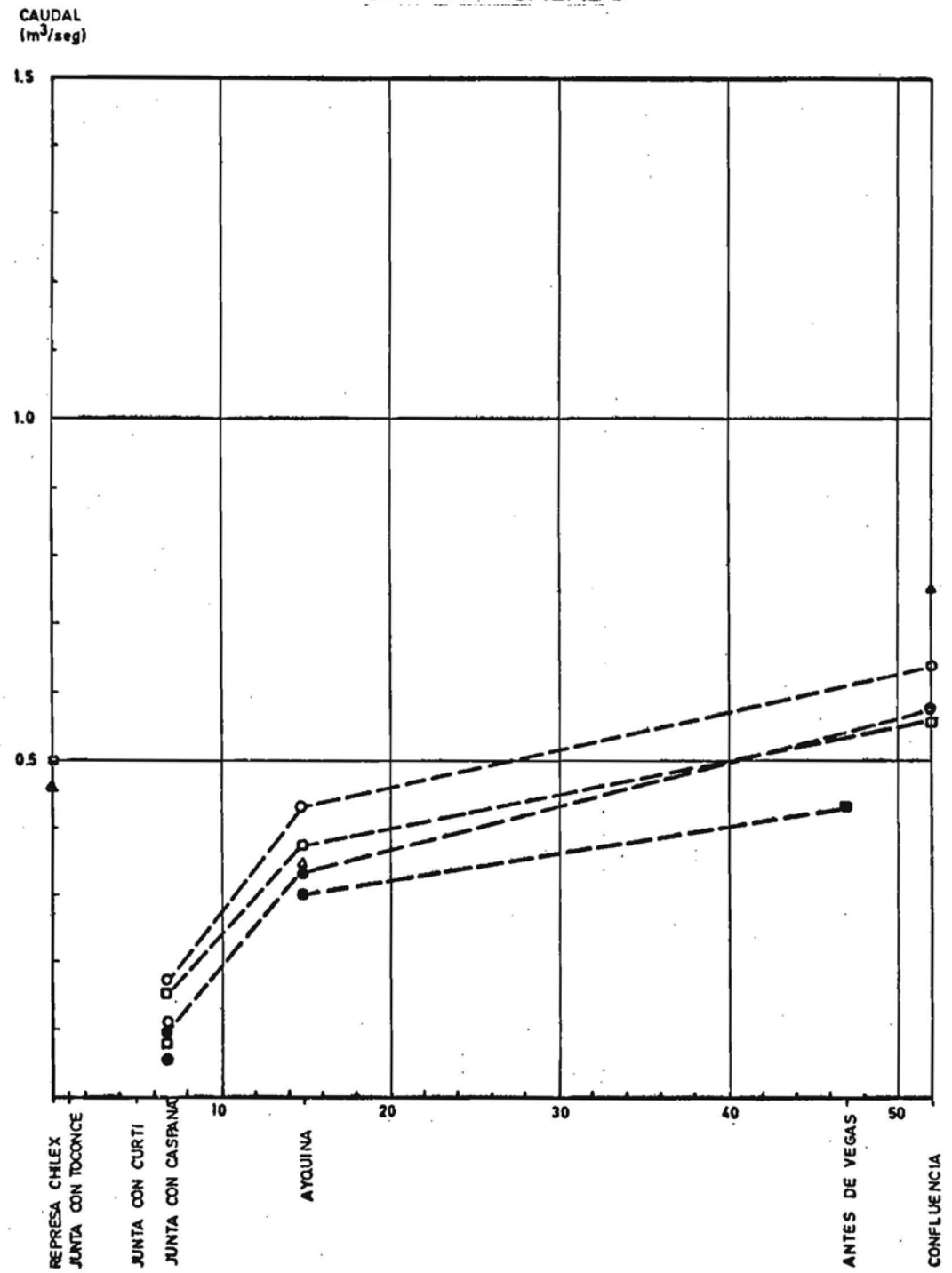


Figura 7.20

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SALADO

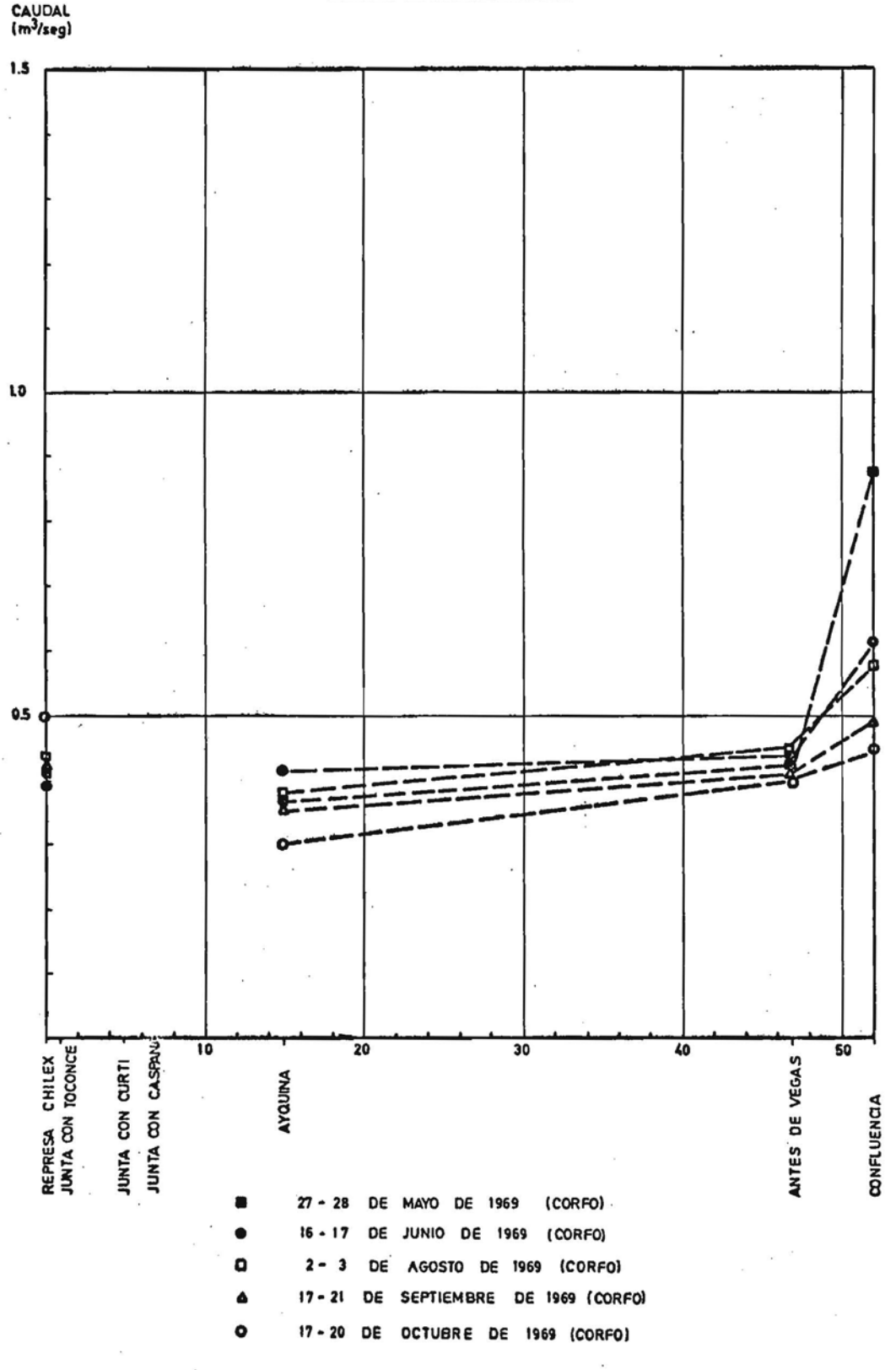


Figura 7.21

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SALADO

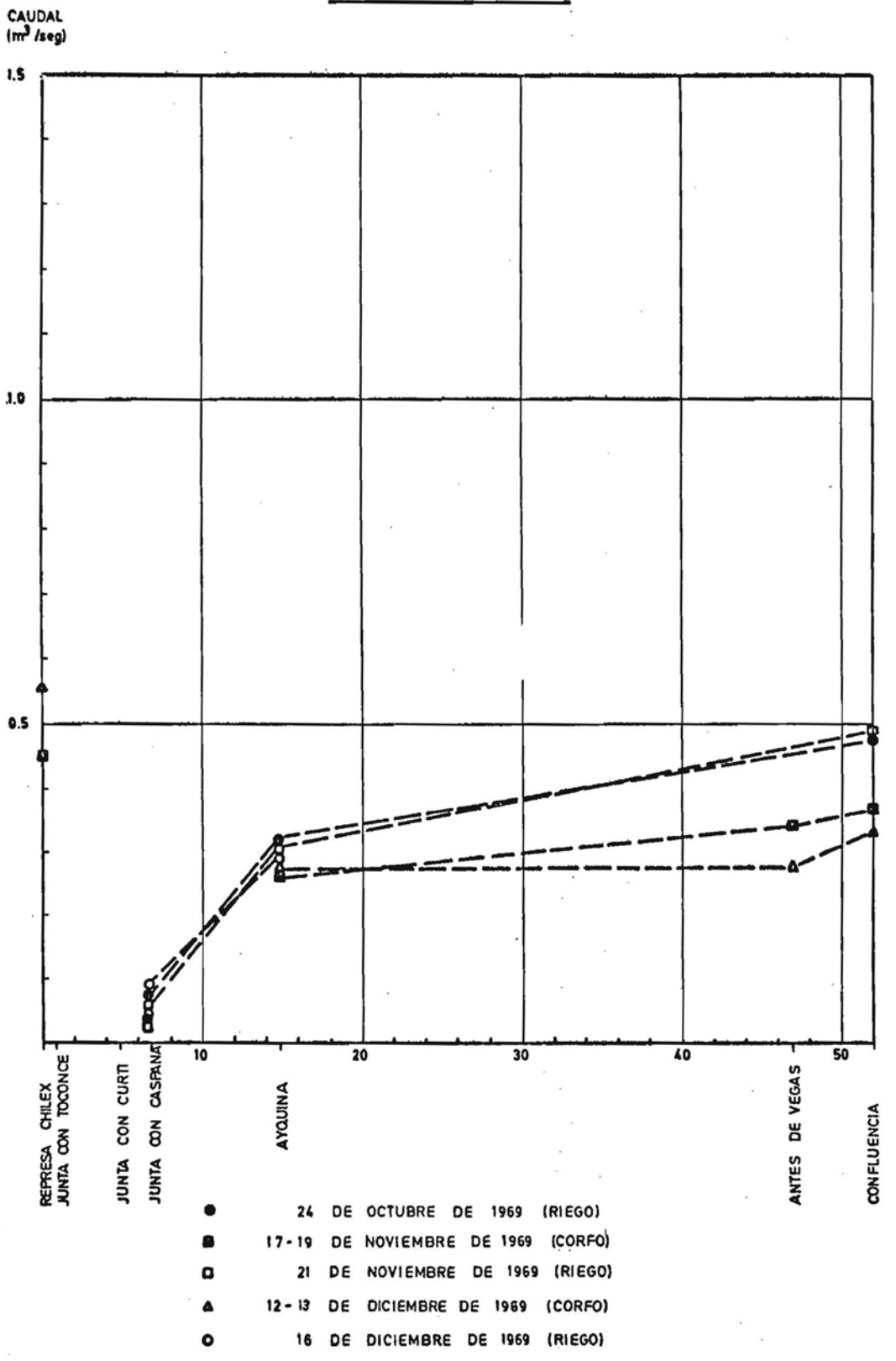
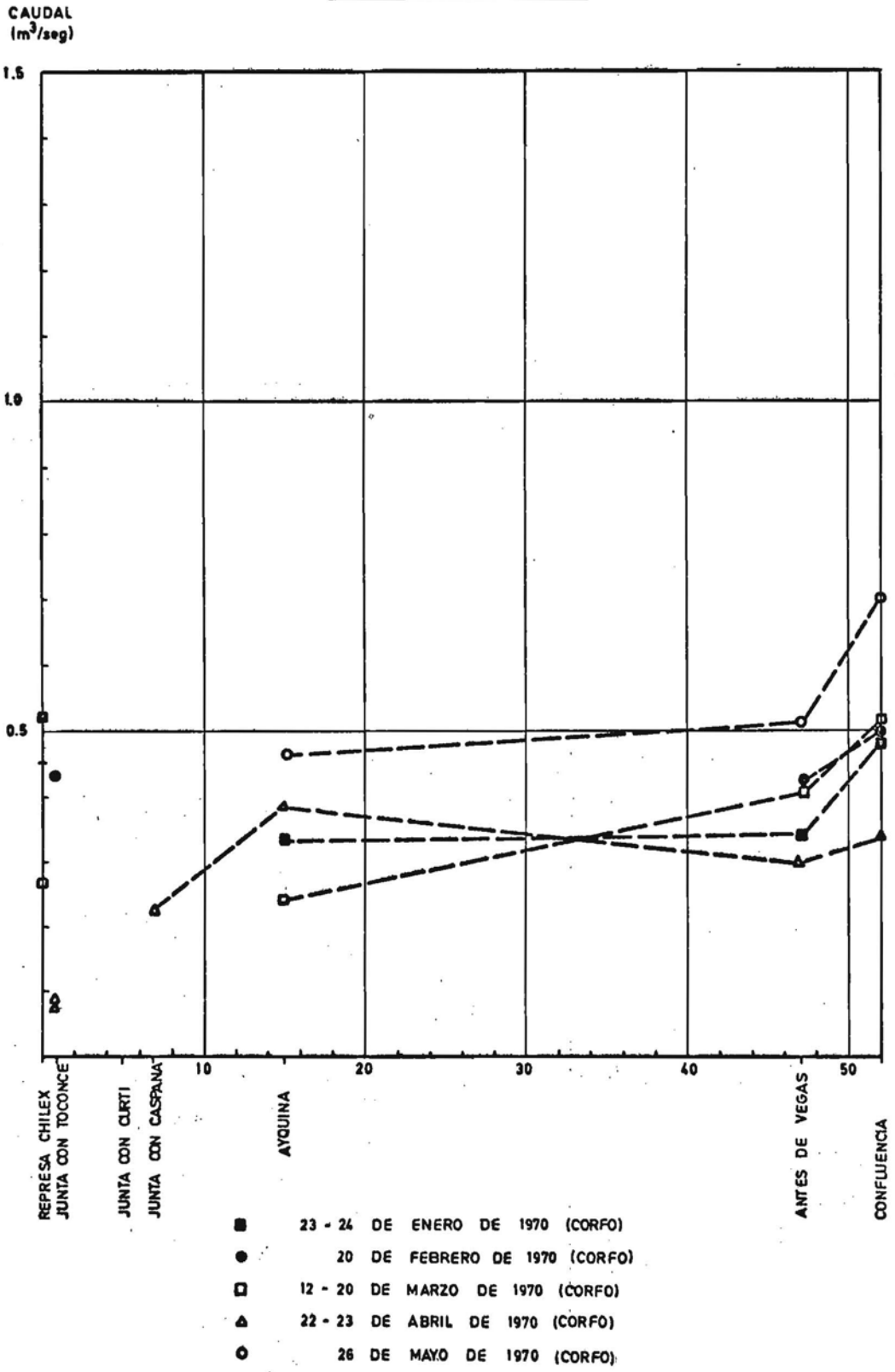


Figura 7.22

PERFIL HIDROMETRICO DEL RIO SALADO



La disposición y características orográficas en relación a la ubicación de este sector del río, permiten suponer que los aportes subterráneos mencionados provienen casi en su totalidad de la vertiente oriental del río

Desde aguas abajo de la confluencia con la quebrada Chela hasta Lequena, el río prácticamente mantiene inalterable su caudal.

En Lequena existe una estación fluviométrica con un medidor tipo Parshall. La estadística correspondiente es de mala calidad y ha sido descartada, por cuanto la sección de aforos ha tenido fugas no controladas por los pretiles de acceso.

Sin embargo, en base a los aforos disponibles se puede estimar que los gastos mensuales son bastante uniformes. El gasto medio anual es de aproximadamente 510 l/s, en el período Enero-Agosto es de 550 l/s y en el período de Septiembre a Diciembre, baja a 450 l/s .

Sector Lequena - Antes Junta con río San Pedro.

En este sector, de 40 km de longitud,el río Loa recibe aportes subterráneos de alrededor de 35 "ojos" o vertientes que hacen aumentar el caudal en unas 2,5 veces.

Este aumento es casi paulatino y uniforme hasta Garrimuerto (26 kms aguas abajo de Lequena), pero existiendo una mayor concentración de aportes en el sector denominado Chela Cruz y Taira.

Los aportes que originan este gran incremento de caudal provienen también, casi en su totalidad, de la vertiente oriental, ya que de los 35 ojos aportantes, sólo uno (el de Calachuz) está ubicado en la ribera derecha del río.

De acuerdo a los antecedentes disponibles en las corridas de aforos, estos aportes no presentan ninguna variación estacional sistemática y significativa, lo que demuestra la importancia de los procesos de infiltración y de los aportes subterráneos al sector.

Existen antecedentes, especialmente los aforos de 1967 de la Dirección de Riego, que indican que desde Garrimuerto hasta la Junta con San Pedro, el caudal tiende a permanecer constante o aún a disminuir.

De acuerdo a los promedios mensuales de los aforos aislados disponibles en Loa antes de Junta con el San Pedro, el gasto medio en el período Enero - Agosto es de aproximadamente 1370 l/s . y en el período Septiembre - Diciembre, de 1250 l/s. El gasto medio anual es de aproximadamente 1326 l/s .

Río San Pedro.

El curso superior del río San Pedro se denomina río Inacaliri, que está formado por la confluencia del río Siloli y del río Cabana.

Antes de las tomas del F.C.A.B.en Siloli este río tiene un caudal medio de aproximadamente 200 l/s, según los promedios de los aforos del D.R.H.de Corfo de Abril de 1969 a Abril de 1970 Unos 5 kms aguas abajo de esta captación se encuentran

las tomas de Inacaliri para Chuquicamata. El promedio de los aforos citados dan un gasto medio en este punto de 135 l/s.

Ambas captaciones prácticamente dejan en seco el río, y el exiguo caudal del río Cabana, de aproximadamente 20 l/s, se sume posteriormente en las vegas de Inacaliri, de manera que en la actualidad el río Inacaliri es un cauce sin escurrimiento superficial. Estas Vegas constituyen, además, un fuerte sector de pérdidas por evapotranspiración.

En el lugar denominado Ojos de San Pedro (30 kms.aguas arriba de la confluencia con el Loa), la concentración del caudal semisurgente de 6 Ojos o vertientes contínuas, formaba hasta el año 1968 una laguna de 1 km^2 en la cual desembocaba el cauce seco del río Inacaliri. El efluente de esta laguna forma el río San Pedro propiamente tal.

Posteriormente, en 1968, se construyeron drenes a tajo abierto que deprimieron totalmente la laguna e influenciaron el caudal natural del río San Pedro.

De acuerdo a los datos de corridas de aforos y a las obras existentes, se distinguen en el río San Pedro tres sectores bien diferenciados. (Ver Figuras 7.8 a 7.14).

Dentro del primer sector, comprendido entre los puntos denominados Parshall 1 y Parshall 2, el caudal del río se mantiene aproximadamente constante, observándose solamente variaciones estacionales. Es decir, en este sector las pérdidas y recuperaciones, o bien se compensan dentro del sector considerado, o son de escasa magnitud. En este tramo del río no existen obras de aprovechamiento hidráulico, y se observa que a partir del drenaje de la laguna San Pedro, el aumento de caudal logrado ha ido disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar prácticamente la magnitud que tenía antes de la entrada en operación de las obras de drenaje.

En el sector comprendido entre el Parshall 2 y el camino internacional,se localizan las captaciones del mineral de Chuquicamata, y por lo tanto el régimen natural del río queda totalmente influenciado. Las extracciones de este sector fueron del orden de los 150 a los 200 l/s hasta 1969.

Entre el cruce del camino internacional a Bolivia y la confluencia con el Loa, se ha detectado una fuerte pérdida del caudal que ha fluctuado entre 130 y 250 l/s, aunque no se observa ninguna tendencia estacional. Esta pérdida del río debe producirse en las formaciones de sedimentos fluviales y lagunares que se observan en la estratigrafía de los cauces del sector.

Sector Loa en Junta con San Pedro (El Encuentro) - Loa en Conchi.

El río San Pedro aporta aproximadamente 400 l/s al Loa, es decir, el caudal del río Loa después de la confluencia alcanza a unos 1.700 l/s.

Entre este punto y la estación fluviométrica de Loa en Conchi,7,5 kms.hacia aguas abajo, se detecta una recuperación neta del caudal del río del orden de 200

l/s (1). Este aporte puede provenir del propio río San Pedro, ya que, como se observaba en el sector anterior, este río pierde del orden de 130 a 250 l/s en el sector de El Encuentro.

El gasto medio anual en Conchi es de 1882 l/s presentando una mínima variación a lo largo del año.

Sector Conchi - Chiu-Chiu (antes Junta con Salado).

Este sector del río queda influenciado en su régimen natural por las extracciones y recuperaciones de riego en la zona agrícola de Lasana - Chiu Chiu.

Entre la estación fluviométrica de Loa en Conchi y el comienzo de la zona de riego de Lasana, se ha detectado mediante aforos esporádicos durante 1969-1970 una recuperación que ha fluctuado entre 50 l/s y 250 l/s, fundamentalmente como consecuencia de los errores de aforo debido a las dificultades de medición.

Se dispone entre 4 y 7 aforos simultáneos esporádicos en cada mes del año, en Loa en Conchi y Loa antes Junta con Salado. De acuerdo a esta información, la pérdida neta de caudal del río en este sector, es máxima en Enero alcanzando un valor medio aproximado de 500 l/s y prácticamente nula durante los meses de Junio y Julio. (Ver Figura 7.15). Esta variación indudablemente se debe a la variación estacional de la evapotranspiración en las Vegas de Chiu Chiu, influenciadas por las prácticas de riego del sector. La pérdida neta media anual es aproximadamente de 300 l/s, lo que concuerda con las tasas determinadas en el estudio de evapotranspiración y usadas en el capítulo de Balance Hidrológico (375 l/s).

Antes de su confluencia con el río Salado, la variación mensual aproximada de los gastos del Loa es la que se indica en la Figura 7.16, obtenida de promediar los aforos mensuales esporádicos que se han efectuado.

Se observa que los máximos caudales ocurren entre Junio y Agosto, siendo de aproximadamente 2.000 l/s; los valores mínimos corresponden al mes de Enero con 280 l/s, cuando las pérdidas por evapotranspiración son máximas. Obsérvese también la distorsión que se produce entre los meses de Septiembre a Enero, por la influencia de los sistemas y prácticas de riego. El gasto medio anual en Loa antes de Junta con el río Salado es de 1.680 l/s, aproximadamente.

Río Salado.

El río Salado está constituído en su parte alta por la confluencia de varios cursos de agua entre los que se distinguen el Caspana, el Turicana y el Curti, el Salado Chico, el Hojalar y el Toconce. En estos tres últimos ríos existen represas y tomas que distorsionan sensiblemente el régimen natural de la cuenca. Estos diversos tributarios han sido controlados por aforos esporádicos mensuales efectuados por el DRH de CORFO en el período Noviembre 1968 - Abril 1970. En base a esta información es posible dar una idea aproximada y preliminar de la magnitud de la escorrentía y de su posible distribución mensual.

El río Toconce, el afluente más septentrional del sistema de tributarios, tiene un gasto medio anual del orden de los 230 l/s antes de Linzor y de la represa del

(1) Existen 11 aforos que detectan una recuperación en el sector de aproximadamente 190 l/s y 5 aforos que registran una pérdida aproximada de 115 l/s.

mineral de Chuquicamata. Antes de la represa de la Dirección de Obras Sanitarias (D.O.S.) del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (M.O.P y T.), es decir aproximadamente unos 20 kms. aguas abajo del punto anterior, el caudal medio alcanza a unos 430 l/s lo que indica los importantes aportes subterráneos en el tramo considerado. Antes de su confluencia con el río Hojalar y por lo tanto, aguas abajo de la represa de la D.O.S., el caudal alcanza a unos 370 l/s. En resumen, el río Toconce presenta una fuerte recuperación a lo largo de su curso y aporta del orden de los 370 l/s al sistema del Salado, presentando una pequeña fluctuación anual.

Después de la confluencia del Toconce con el Hojalar, el tributario inmediatamente al sur, el caudal de ambos es captado y mediante un túnel es transferido al río Salado Chico, para alimentar la represa de Chuquicamata. Los aforos efectuados en este río, aguas abajo de dicho túnel, en el período Marzo 1969 - Abril 1970 (un aforo al mes), dan un caudal medio de 450 l/s aproximadamente.

Según los antecedentes disponibles ya mencionados, el caudal de Toconce más Hojalar después del túnel, y del Salado Chico después de las tomas en la represa de Chuquicamata, alcanzaría a 35 y 25 l/s, respectivamente. Después de la confluencia de estos tres tributarios en uno solo, confluyen el Curti y el Turicana, quienes aportan normalmente un caudal despreciable. El conjunto de todos estos cauces conforman el río Salado propiamente tal, que antes de su confluencia con el último tributario, el sistema del río Caspana, tiene un caudal medio del orden de los 75 l/s.

El río Caspana, junto al pueblo del mismo nombre, tiene un caudal medio que ha podido estimarse en unos 50 l/s.

Desde la confluencia del Caspana con el río Salado hasta el sifón de Ayquina, donde existe una estación fluviométrica estable y artificial (medidor Parshall), se produce una notable recuperación proveniente de aportes subterráneos. En efecto, en la estación de Salado en Ayquina el gasto medio anual es de 430 l/s y con una pequeña variación mensual (entre 370 l/s en Noviembre y Diciembre a 500 l/s en Julio y Agosto). Es decir, el río Salado prácticamente cuadruplica su caudal en el tramo comprendido entre su confluencia con el Caspana hasta el sifón de Ayquina. Esta recuperación podría provenir en gran parte de los escurrimientos subterráneos del sector de los baños de Turi, y está asociada a un mejoramiento de la calidad química de las aguas, según se indica en el capítulo 9.

El caudal del río Salado prácticamente permanece inalterable hasta poco antes de su junta con el Loa (6 km antes). Sólo en el sector de Vegas que se origina en la confluencia de ambos ríos se produce una última recuperación que ha fluctuado entre 30 y 200 l/s, según los aforos efectuados en el período de mediciones ya mencionado (Ver Figuras 7.17 a 7.22).

De acuerdo a los aforos esporádicos efectuados en el río Salado antes de su confluencia con el Loa, la distribución aproximada media mensual de los aportes al Loa, es la que se indica en la Figura 7.23.

El aporte medio anual del río Salado es de aproximadamente 670 l/s, con un máximo en los meses de Junio-Julio de 850 l/s y un mínimo en Diciembre de 450 l/s.

Figura 7.23

SALADO ANTES JUNTA CON LOA

SEGUN PROMEDIOS AFOROS AISLADOS

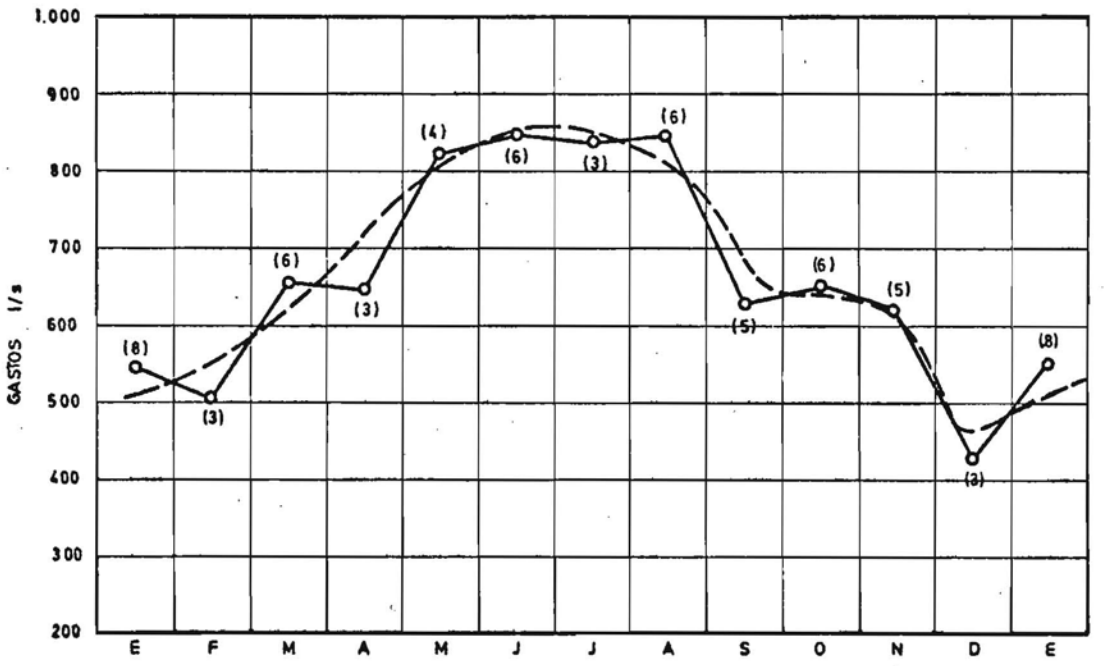
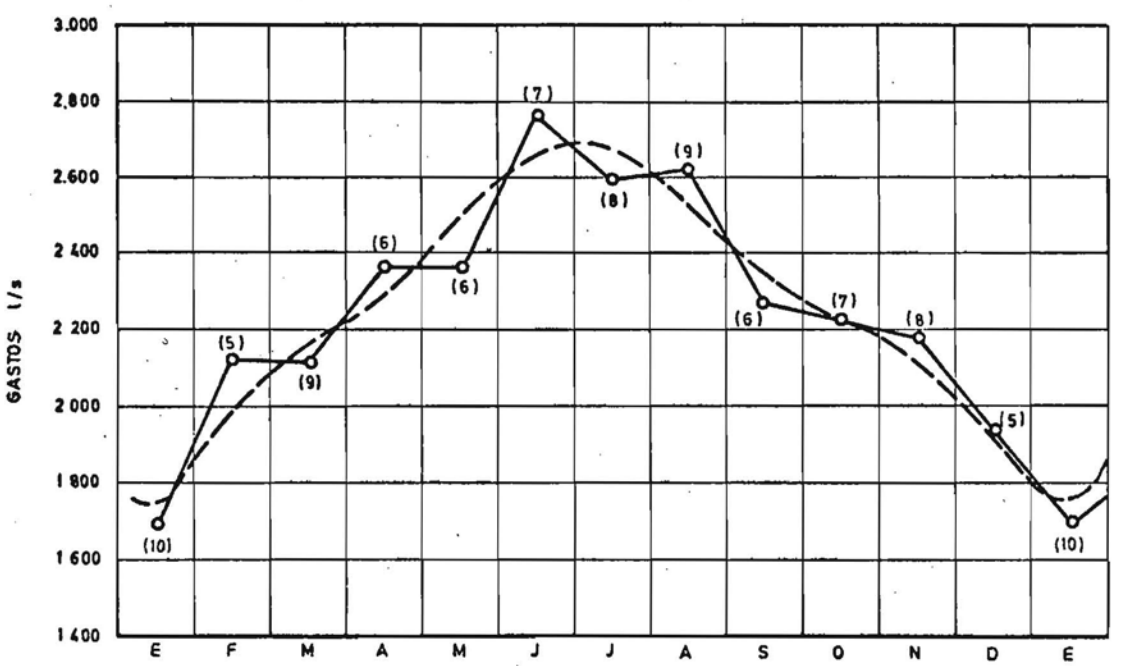


Figura 7.24

LOA DESPUES JUNTA CON SALADO

SEGUN PROMEDIOS AFOROS AISLADOS



( ) NUMERO TOTAL DE AFOROS CONSIDERADOS PARA PROMEDIAR

Sector Loa después de Junta con el Salado - Angostura.

La distribución media mensual de los gastos del río Loa después de su confluencia con el río Salado, se indican en la Figura 7.24 que resume los valores promedio de todos los aforos aislados en esa sección del río. De acuerdo a estos antecedentes el gasto medio mensual máximo ocurre en los meses de Junio y Julio con unos 2.700 l/s, y el gasto medio mensual mínimo corresponde al mes de Enero con 1.750 l/s. El caudal medio anual es de 2.280 l/s, aproximadamente.

Es interesante observar que el porcentaje de aportes del río Salado al río Loa es relativamente constante a lo largo del año, alcanzando un valor medio de 30°/o del gasto en Loa después de Junta con Salado.

Entre la confluencia del Loa con el Salado (después de Junta) y el sector denominado Angostura, unos 15 kms. aguas abajo, se produce una importante recuperación del caudal del río. En el sector de Angostura se produce un notable estrechamiento del cauce del río y afloramientos rocosos que facilitan la concentración de aportes subterráneos.

En promedio anual, esta recuperación es de aproximadamente 300 o 400 l/s, según se determine en base a las diferencias de gastos medios anuales (según aforos aislados) en las dos secciones o en base a promedios de aforos simultáneos. Debido a los escasos antecedentes disponibles en el sector de Angostura, no ha sido posible detectar una clara tendencia de la variación estacional de esta recuperación, aunque indudablemente, ésta existe.

La variación mensual aproximada de los caudales del río Loa en Angostura, de acuerdo a valores medios de los aforos esporádicos disponibles, se incluye en la Figura 7.25. De ella se observa que los máximos gastos medios alcanzan a 3.300 l/s en invierno y que los mínimos valores son de aproximadamente 2.000 l/s en el mes de Diciembre. El gasto medio anual es de unos 2.600 l/s.

Los aportes al río Loa en el sector considerado y que en promedio anual alcanzan aproximadamente a 300 l/s, es decir, del orden del 10°/o del caudal después de la confluencia con el Salado, provienen en parte desde las hoyas del Limón Verde y del Salar de la Vega, que confluyen en la margen izquierda del río. En efecto, el examen de fotografías aéreas del sector indican una clara red de drenaje hacia este sector del río y la presencia de salares y zonas vegosas. La gran existencia de aguadas en la parte alta de la hoya del Limón Verde, atestiguan también la riqueza acuífera de esta hoya de aporte. Sin embargo, inspecciones de terreno han permitido detectar varias vertientes en la margen derecha del río entre Angostura y el río Salado, lo que significa que la recuperación del río en este sector, proviene también de aportes de la parte superior del Loa desde su vertiente occidental. Sin embargo no existen antecedentes suficientes para poder asegurar el orígen de estas vertientes.

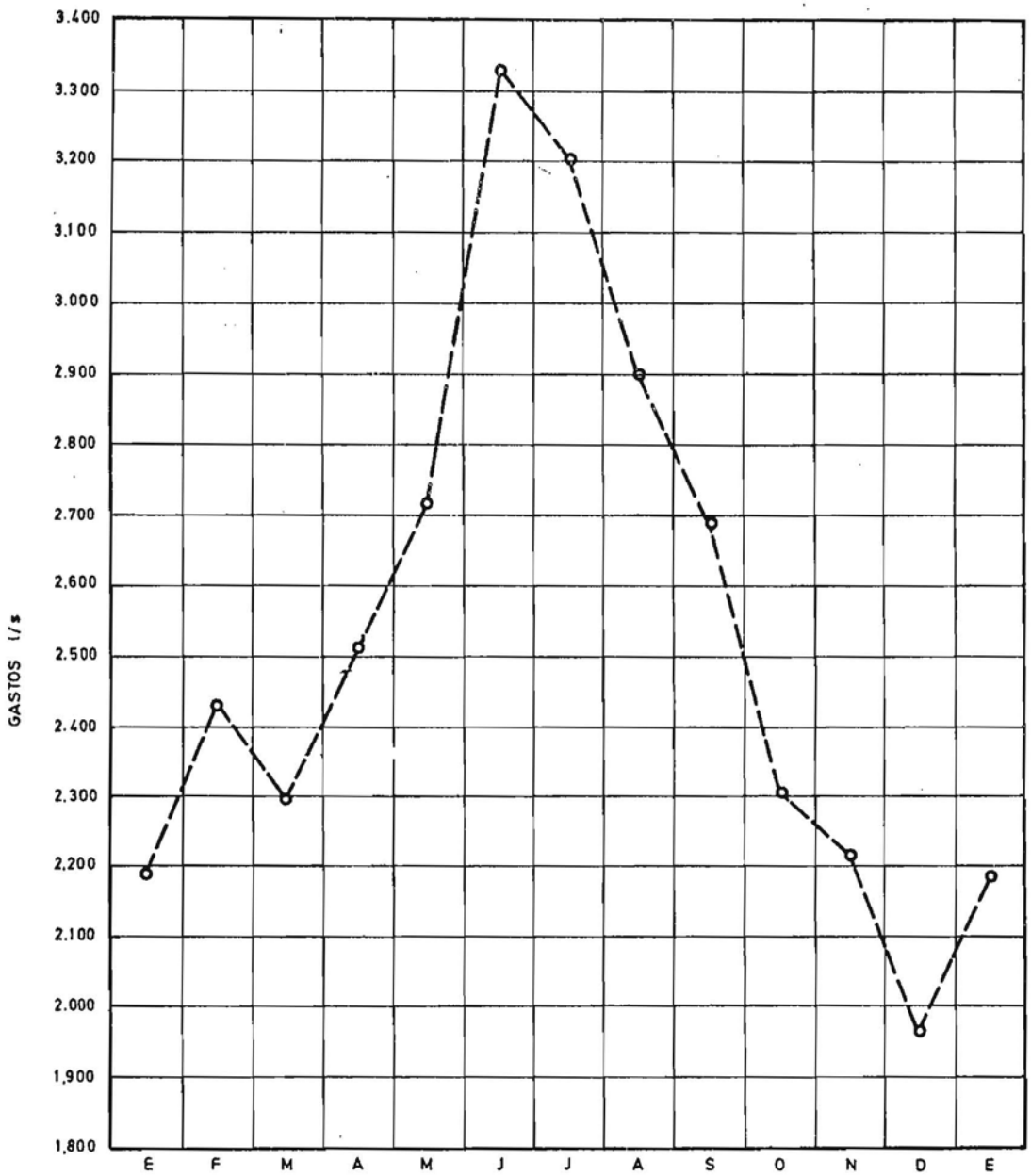
Sector Angostura - Chintoraste.

Este sector del río comprende las Vegas de Calama, que en general producen una pérdida del caudal del río y un deterioro de su calidad.

Figura 7.25

LOA EN ANGOSTURA

SEGUN PROMEDIOS AFOROS AISLADOS
(1962 - 1970)



Al comienzo de la zona de riego de Calama se encuentra la estación fluviométrica de Yalquincha - Escorial, que aunque presenta influencia de las extracciones de riego, permite concluir que entre el sector de Angostura hasta Yalquincha, se produce también una pequeña recuperación del río. En efecto, los aforos comunes aislados que existen entre ambos puntos, acusan valores mayores en Yalquincha durante los meses de Mayo a Agosto inclusives, que es el período en que por no haber extracciones importantes de riego, el sector Yalquincha - Escorial puede considerarse sin perturbación. Aunque los aforos comunes son escasos (2 o 3 en cada mes), esta recuperación podría alcanzar a un orden de 200 a 400 l/s en ese período. En los otros meses del año, la influencia de los canales de riego no permite llegar a ninguna conclusión, aunque es dable esperar que la recuperación persista.

Los gastos medios mensuales en la estación de Yalquincha - Escorial se indican en la Figura 7.26. El gasto medio anual es de 2,95 m^3/s, observándose un mínimo de 2,43 m^3/s en Diciembre y un máximo de 3,40 m^3/s entre Julio y Agosto.

Aguas abajo de Calama, en Chintoraste, de acuerdo a la estadística fluviométrica disponible, el gasto medio anual del río Loa alcanza sólo a 1,05 m^3/s con un máximo de 2,18 m^3/s en Junio y un mínimo de 0,50 m^3/s entre Diciembre - Enero. (Ver Figura 7.26).

Es decir, en el sector de Calama la pérdida del río alcanza a 1,86 m^3/s como promedio anual, siendo máxima y prácticamente constante de Septiembre a Abril (2.04 m^3/s) y mínima entre Mayo y Julio (1,49 m^3/s), lo que concuerda con la marcha estacional de las pérdidas por evapotranspiración y las necesidades de riego de los cultivos.

Sector Chintoraste - Chacance (Junta con San Salvador).

En el sector de Calama tiene su nacimiento el río San Salvador, cuyo régimen será analizado separadamente más adelante. El río San Salvador corre paralelo y a corta distancia del Loa, con el cual confluye en el lugar denominado Chacance, aproximadamente 60 kms. aguas abajo de Chintoraste.

Los aforos efectuados en Chacance no son concluyentes para determinar las pérdidas o recuperaciones naturales del río en el tramo Chintoraste-Cbacance. Hay que tener en cuenta eso sí, que en el sector de Chacance existen extracciones de agua para las oficinas salitreras, que de acuerdo a los antecedentes de concesión de mercedes de agua que se han recopilado para este estudio, alcanzan a aproximadamente 160 l/s. Desde el punto de vista del régimen natural del río, los antecedentes de terreno y los aforos disponibles permiten concluir que el gasto del río en ambas secciones es aproximadamente igual. Cualquier aporte subterráneo que pudiera existir, aparentemente queda contrarrestado por las pérdidas por evapotranspiración en la caja del río.

La Figura 7.28 muestra aproximadamente la variación mensual del río Loa en Chacance en base a los aforos aislados efectuados en el período 1963 - 1969 (régimen actual del río con extracciones por mercedes de agua). Se observa la influencia del régimen de riego de Calama. Durante el período Junio-Julio-Agosto el gasto medio mensual es casi constante y alcanza a prácticamente 2.000 l/s. Durante los meses de Noviembre a Abril, inclusives, también es aproximadamente constante llegando sólo a 400 l/s y por lo tanto, prácticamente igual al de Loa en Chintoraste. Es decir, existiría una recuperación neta del río igual a las extracciones que son del orden de los 160 l/s.

Figura 7.26

GASTOS MEDIOS MENSUALES EN YALQUINCHA-ESCORIAL

(1947-1969)

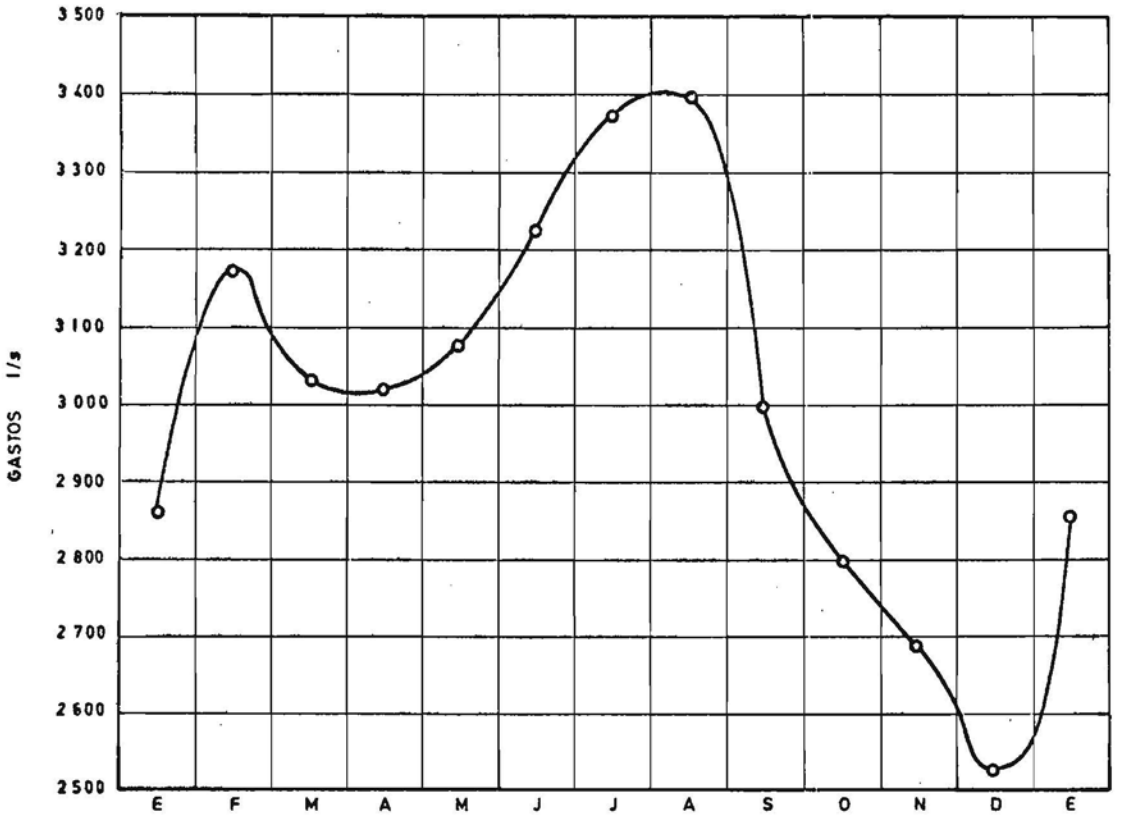


Figura 7.27

GASTOS MEDIOS MENSUALES DEL LOA EN CHINTORASTE

(1958-1969)

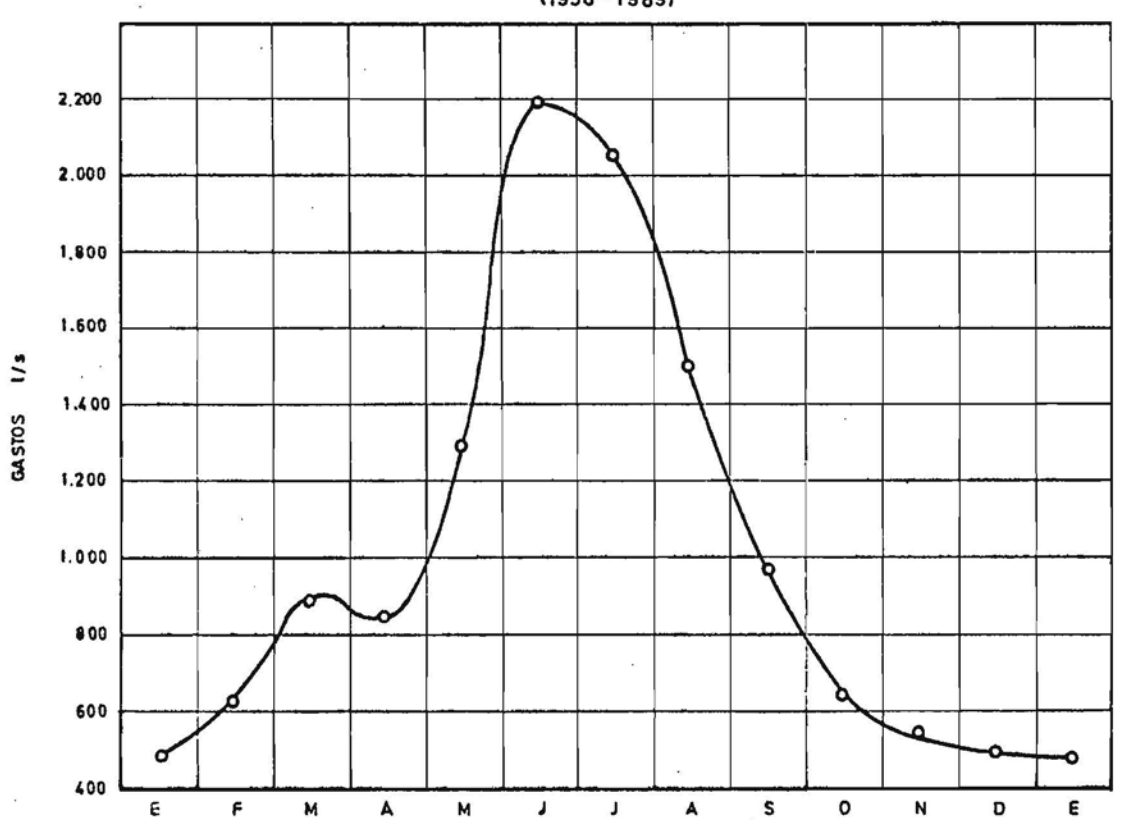
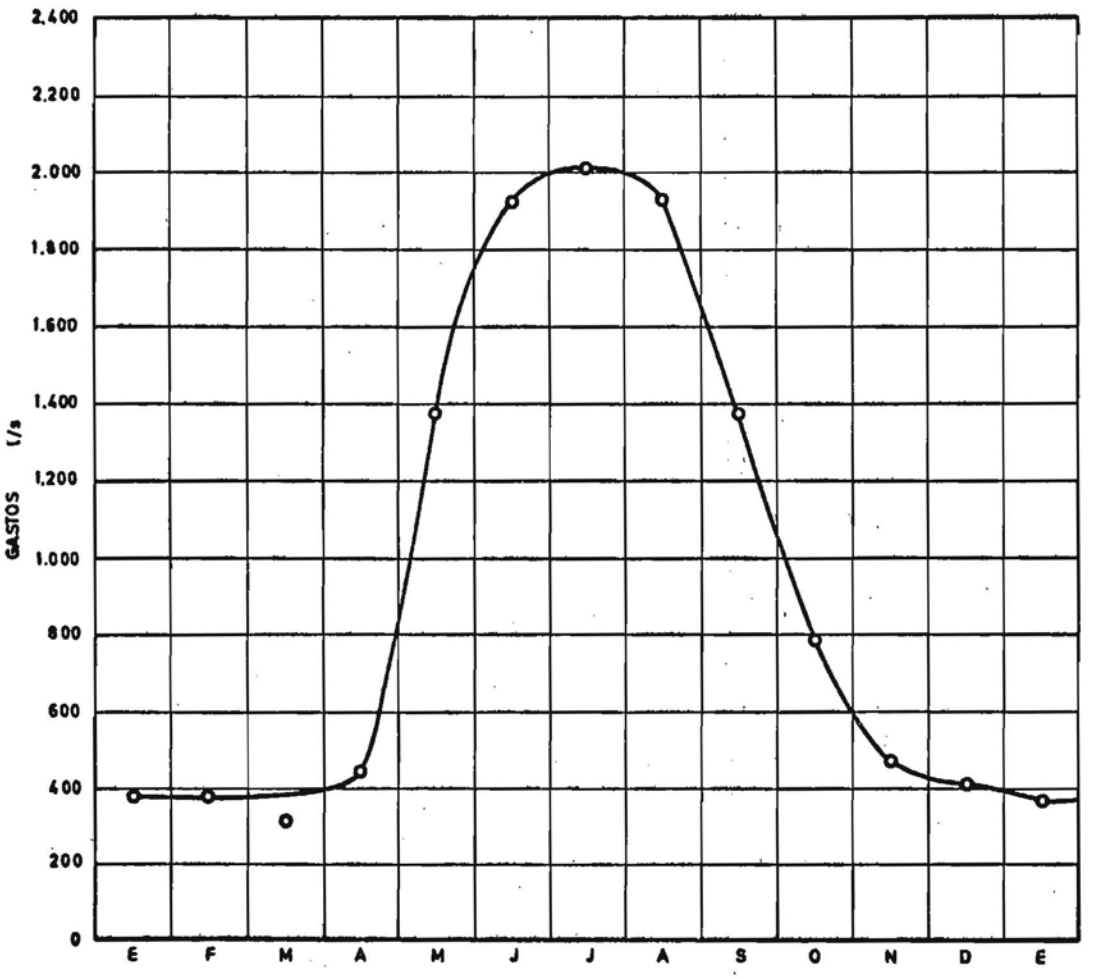


Figura 7.28

LOA EN CHACANCE

SEGUN PROMEDIOS AFOROS AISLADOS
(1963 - 1969)



El río San Salvador aporta al Loa un caudal prácticamente constante a lo largo del año y que alcanza a unos 485 l/s. Es decir, después de la confluencia con este río, el caudal medio anual del río Loa es de aproximadamente 1.485 l/s.

Río San Salvador.

El río San Salvador se origina hacia el lado norponiente de las vegas de Calama, por la confluencia de la Quebrada de Quetena y la Quebrada de Opache.

Los aforos efectuados en la Quebrada Quetena son escasos y erráticos, debido principalmente a las difíciles condiciones de medición. Sin embargo, se puede estimar que en régimen natural, la Quebrada aportaría un caudal medio del orden de los 50 a 60 l/s. Como actualmente existe desde el año 1955 una concesión por 50 l/s, el caudal actual de aporte es mucho menor, ya que el promedio de 8 aforos aislados efectuados entre Septiembre de 1969 y Mayo de 1970 arroja un valor de 12 l/s.

La Quebrada de Opache tiene su orígen en los llamados Ojos de Opache, que aportan prácticamente la totalidad del gasto del río San Salvador. De acuerdo a diversos aforos realizados, principalmente entre 1948 y 1970, el río San Salvador tiene un caudal medio aproximado de 660 l/s. Las variaciones mensuales del caudal son mínimas y la información disponible no permite detectar una influencia clara del régimen de riego de la zona de Calama.

Desde la confluencia de Quebrada Quetena con Quebrada de Opache hasta la confluencia con el Loa, el caudal del río San Salvador presenta una leve pérdida del orden de los 100 l/s. De acuerdo a los promedios de los aforos disponibles, el aporte del San Salvador al Loa es de aproximadamente 485 l/s, con una mínima variación a lo largo del año.

El posible orígen de este río y su relación con las Vegas de Calama y el río Loa se tratará más adelante en el análisis del Balance Hidrológico (Capítulo 10).

Sector Chacance - Desembocadura.

Este sector posee dos singularidades hidrológicas: la zona de riego de Quillagua y la Quebrada Amarga.

Desgraciadamente, los aforos efectuados en la estación fluviométrica de Quillagua están muy influenciados por los canales de riego, y por lo tanto no son representativos del régimen del río. Por estos motivos, en las corridas de aforos se han incluído mediciones a la altura del Tranque Santa Fé y del Tranque Sloman, que representarían los gastos afluentes al sector de Quillagua.

En el sector Loa después de San Salvador (Chacance) y Tranque Santa Fé (o Tranque Sloman) se ha detectado una pérdida neta del caudal del río, que es mayor en los meses de invierno cuando el río lleva mayor caudal y que disminuye durante los meses de estiaje. Las máximas pérdidas netas registradas han alcanzado valores comprendidos entre 500 y 700 l/s. Estas pérdidas se deben en gran parte a las extracciones de las salitreras Coya Sur, Vergara, María Elena y Pedro de Valdivia, que según los antecedentes disponibles consumirían del orden de 400 l/s. Otras pérdidas se producen por evapotranspiración y por infiltración en el cauce, aunque se estima que estas últimas son de escasa importancia.

En la zona de Quillagua, las extracciones de riego y las pérdidas por evapotranspiración, provocan una pérdida adicional del caudal del río.

Los aforos se han efectuado junto al puente del ferrocarril, y por lo tanto no permiten tener una cifra real de estas pérdidas.

De acuerdo a la información disponible, en el período considerado (1), las pérdidas promedio registradas entre Tranque Sloman y este punto han sido de 250 l/s aproximadamente, con variación desde 150 a 370 l/s.

Entre Quillagua y la Desembocadura del Loa, la Quebrada Amarga aporta un gasto prácticamente constante que en promedio es de 70 l/s, aproximadamente. Entre Quillagua y la Quebrada Amarga el gasto del Loa permanece prácticamente constante. Entre Quebrada Amarga y la desembocadura, el río manifiesta una pequeña pérdida adicional que aproximadamente fluctúa entre 100 y 150 l/s.

Desgraciadamente, los escasos antecedentes de aforos disponibles, no permiten llegar a una cifra representativa sobre el caudal medio anual del Loa en desembocadura, ni menos de la magnitud de su distribución anual. Un valor muy estimativo, logrado por extrapolación de los antecedentes fluviométricos de los sectores del río tratados más arriba, permite fijar el orden de magnitud de este caudal en unos 1.000 l/s.

Un esquema del perfil hidrométrico medio del río Loa se incluye en la Figura 7.29.

7.2 Análisis de Frecuencia de los Datos Fluviométricos.

7.2.1 Criterios y Procedimientos Generales.

El objetivo principal del análisis de frecuencia de los datos de algunas estaciones fluviométricas de la hoya del río Loa, es la determinación de las curvas de frecuencia acumulada de los gastos medios anuales y de las curvas de variación estacional de los caudales medios mensuales. Para ello, se usaron las estaciones de Loa en Yalquincha, Loa en Conchi y Salado en Ayquina. Para hacer el análisis se trató de reconstituir el régimen natural del río y para ello se le agregó a los caudales medidos las mercedes de agua concedidas. Dichas mercedes son, principalmente, para uso industrial solamente, ya que no se tienen antecedentes sobre mercedes agrícolas concedidas. Las mercedes que se agregaron a los caudales medidos aparecen tabuladas en el Capítulo 12 sobre demandas de agua.

Las extracciones para riego aguas arriba de Salado en Ayquina y Loa en Conchi son despreciables. Entre Conchi y Yalquincha, dichas extracciones son importantes y afectan el régimen natural del río. Sin embargo, se incluye esta última estación por la importancia que tiene la determinación de la curva estacional 85 % en Yalquincha, por ser el área de riego aguas abajo de esta estación, la más importante de la zona.

La estadística de Loa en Yalquincha y Loa en Escorial, se consideró como una sola de acuerdo con las modificaciones hechas en el capítulo 5.

(1) Aforos mensuales efectuados por el D.R.H. de CORFO durante el período Enero 1969 - Mayo 1970.

Figura 7.29

ESQUEMA DEL PERFIL HIDROMETRICO MEDIO DEL RIO LOA

(CAUDALES REFERIDOS A 1969)

Los gastos medios mensuales de las estaciones utilizadas vienen tabulados en el Anexo II.

Para determinar las curvas de variación estacional es necesario conocer las curvas de frecuencia acumulada para cada uno de los meses y cada una de las estaciones. Para ello se ordenaron de mayor a menor cada una de las series de datos y se les calculó la probabilidad de excedencia mediante la fórmula

$$P = \frac{m}{N + 1} \qquad (7.1)$$

donde

m es el número de orden
N es el número total de datos de la serie.

Cada uno de los valores de la serie con su correspondiente probabilidad de excedencia se graficaron en un papel logarítmico probabilidades, por estimarse que los caudales medios mensuales podían tener una distribución de probabilidades logarítmica normal. Esta suposición quedó en general demostrada posteriormente, al comprobarse que los puntos graficados siguen la forma de una línea recta en la gran mayoría de los casos.

En la estación de Yalquincha, para los meses de Enero, Febrero y Marzo principalmente, se observa que los puntos graficados para probabilidades de excedencia bajas tienden a separarse de la tendencia recta observada para la gran mayoría de los puntos. Este hecho se puede explicar recordando que en estos meses se producen las crecidas principales del río, las cuales afectan sensiblemente los gastos medios mensuales y hacen que ellos no tengan en estricto rigor una distribución logarítmica normal.

El mismo hecho se observa en la estación de Conchi para los mismos meses. En este caso, la curvatura de los puntos para las probabilidades de excedencia bajas, es algo menor que en Yalquincha.

El trazado de las curvas de frecuencia acumulada se hizo considerando estas tendencias.

7.2.2 Resultados Obtenidos.

Las curvas de frecuencia acumulada aparecen en los gráficos siguientes (Figuras 7.30 a 7.33) para las 3 estaciones en estudio y para cada uno de los meses del año.

Las curvas de variación estacional se obtuvieron a partir de las curvas de frecuencia acumulada para probabilidades de 5 °/o, 50 °/o y 95 °/o. Ellas aparecen dibujadas y tabuladas en las páginas siguientes (Ver Figuras 7.34 a 7.36). Se incluye también la tabla para la probabilidad 85°/o usada frecuentemente para riego.

De estas figuras se puede apreciar, que tanto para Salado en Ayquina como para Loa en Conchi, los caudales son prácticamente constantes a lo largo del año.

Figura 7.30

CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA
GASTOS MEDIOS MENSUALES - REGIMEN NATURAL

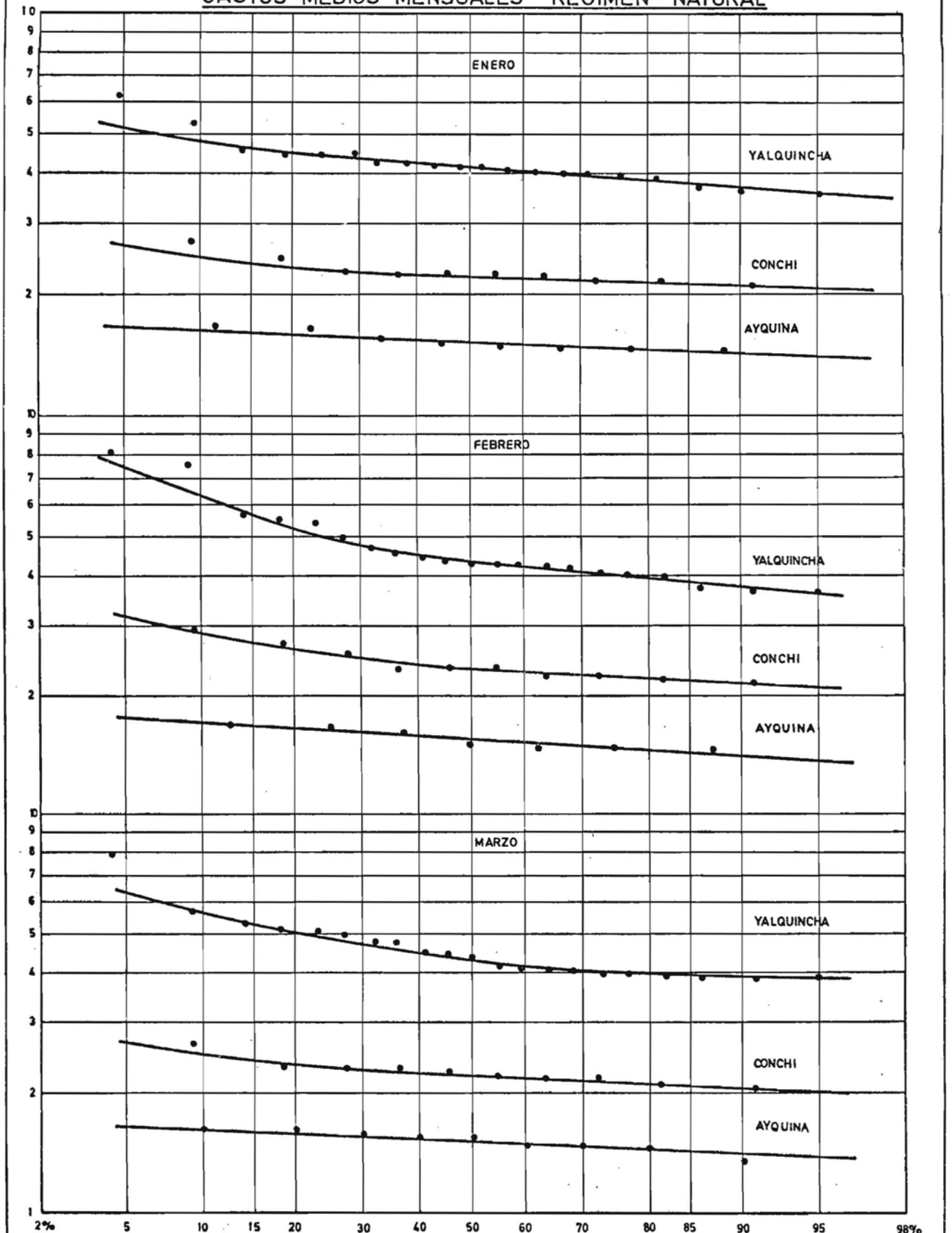


Figura 7.31

CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA

GASTOS MEDIOS MENSUALES - REGIMEN NATURAL

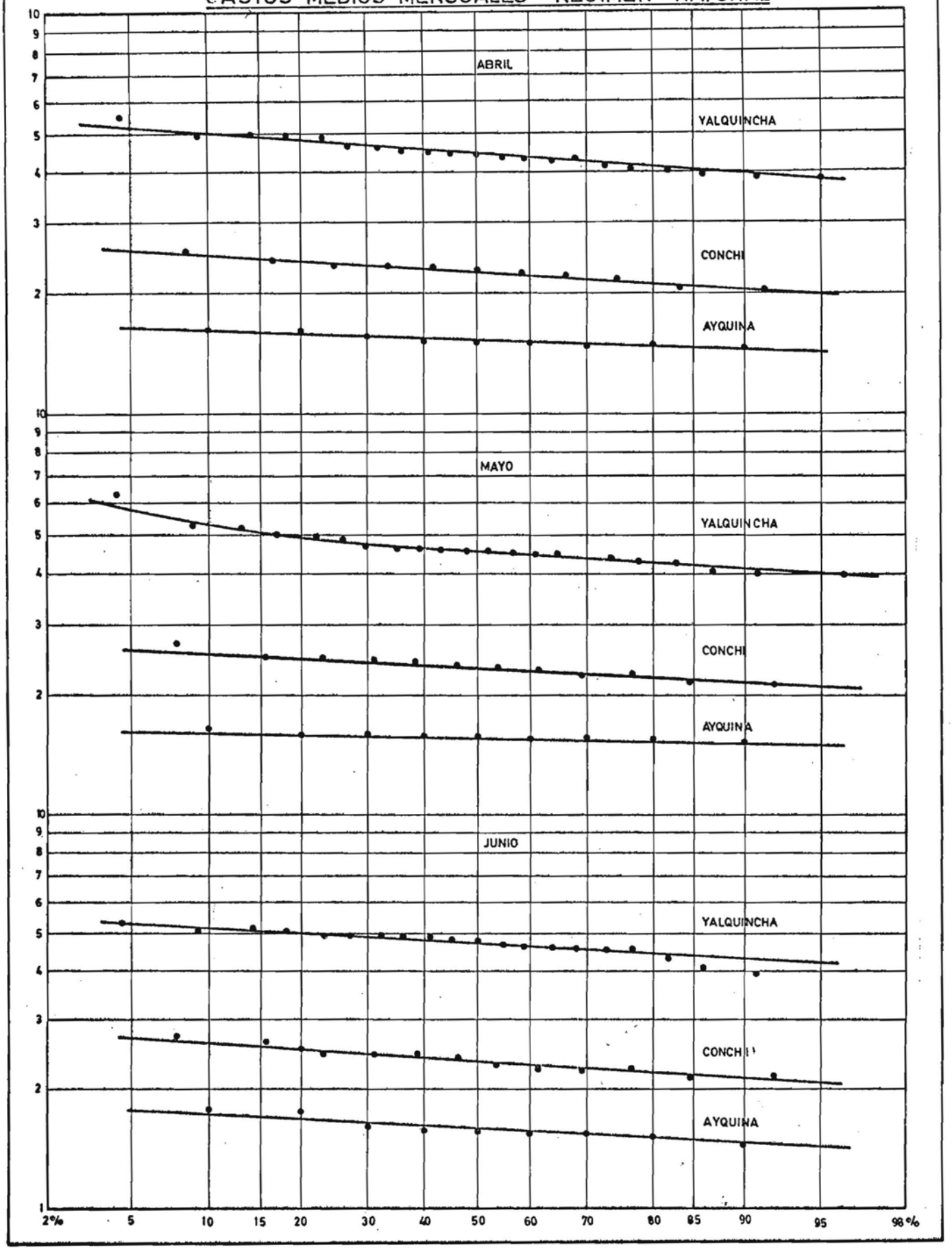


Figura 7.32

CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA
GASTOS MEDIOS MENSUALES - REGIMEN NATURAL

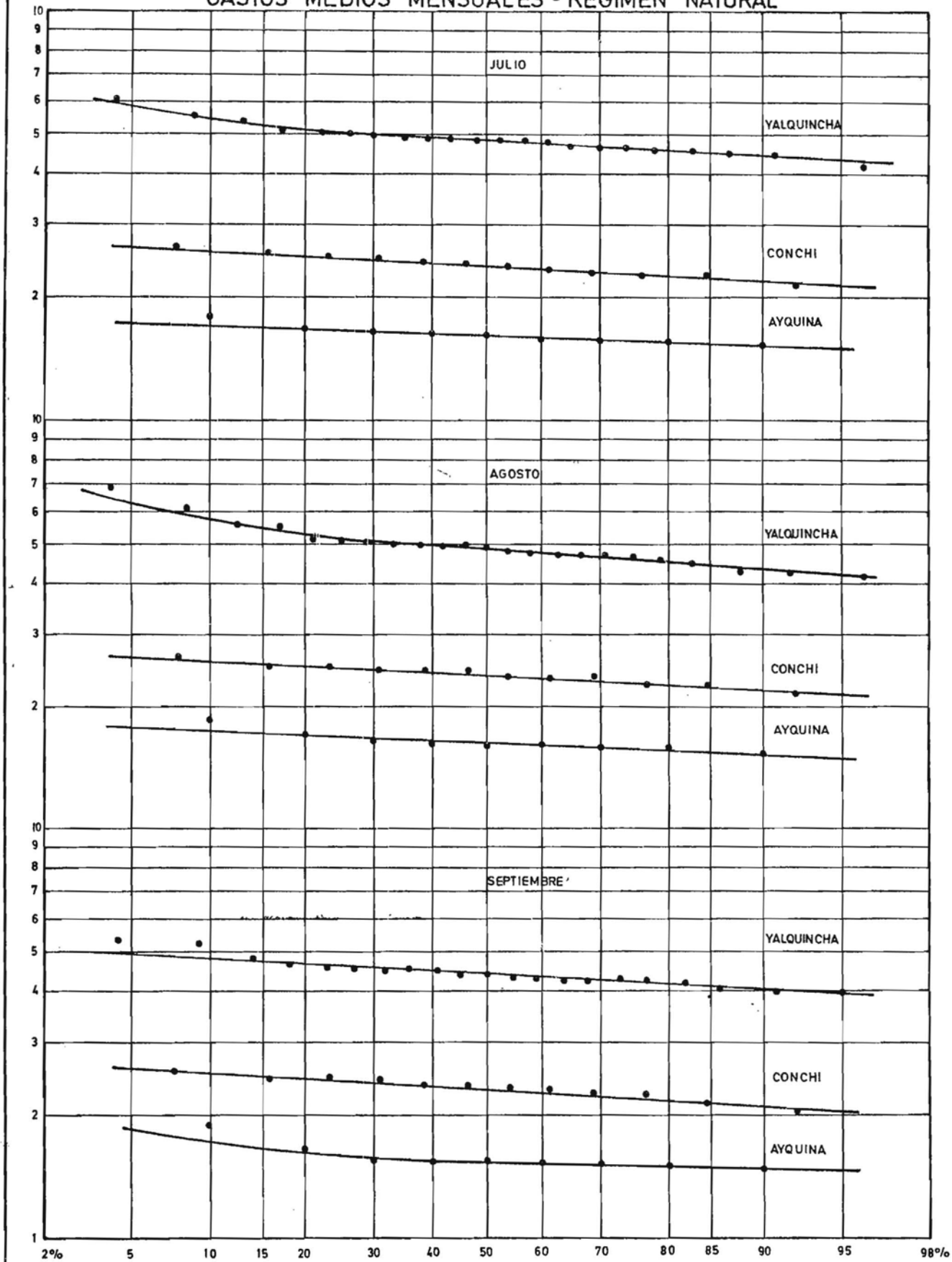
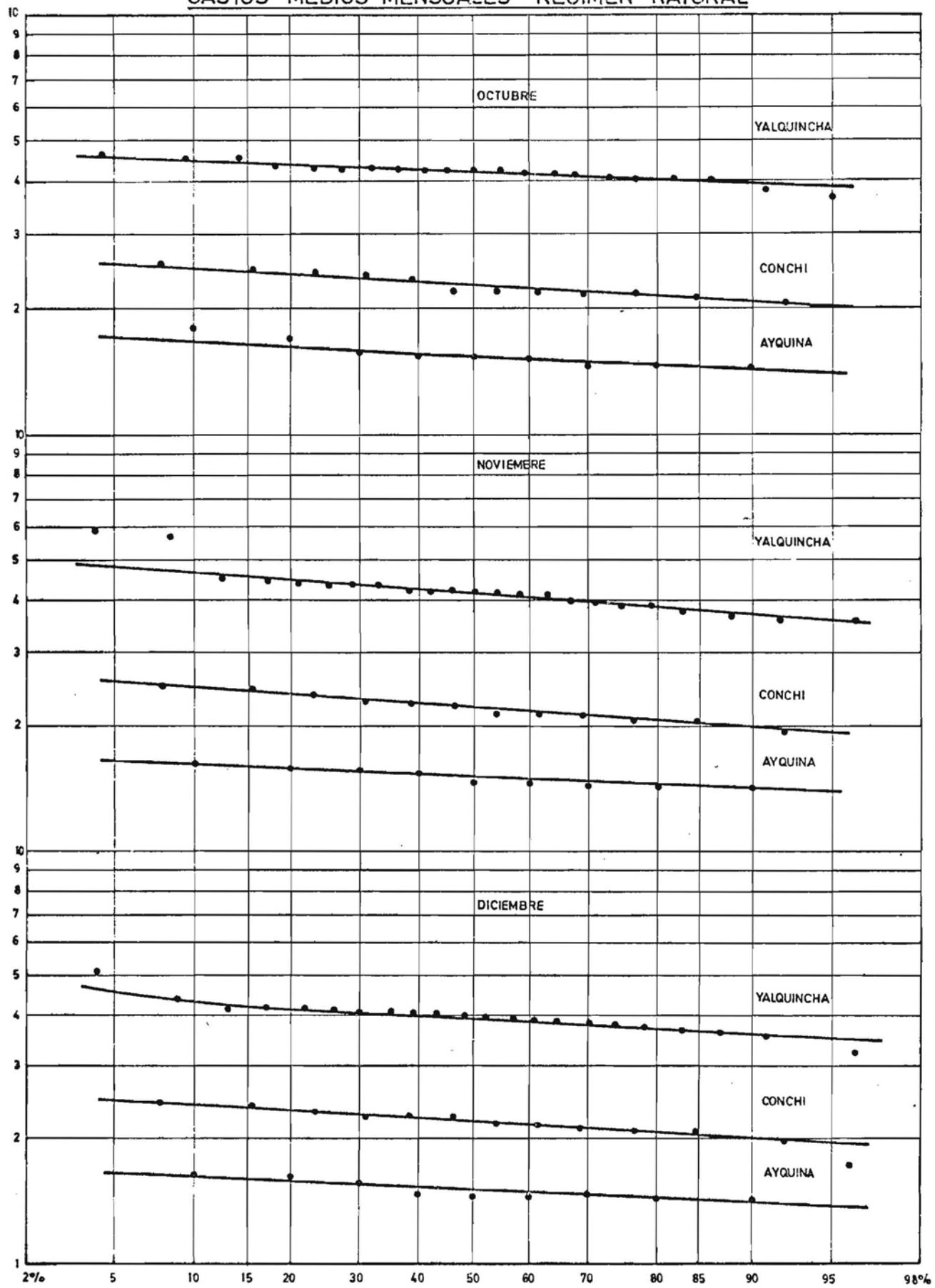


Figura 7.33

CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA
GASTOS MEDIOS MENSUALES - REGIMEN NATURAL



CURVAS DE VARIACION ESTACIONAL - GASTOS MEDIOS MENSUALES
REGIMEN NATURAL

Figura 7.34

LOA EN YALQUINCHA

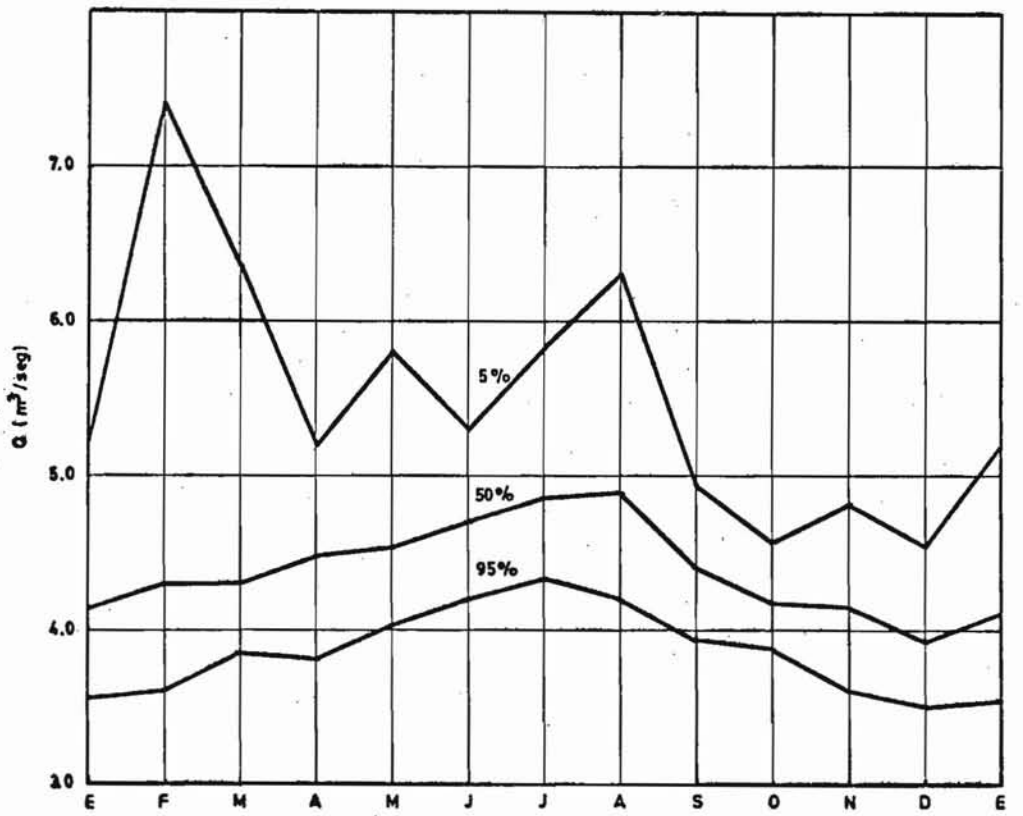
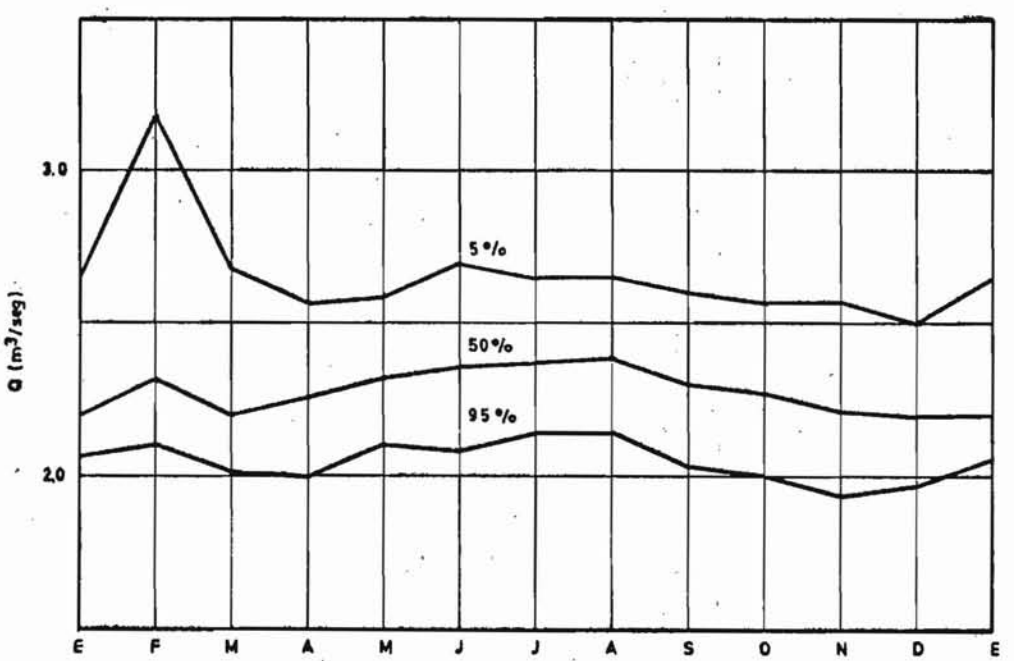


Figura 7.35

LOA EN CONCHI



Una excepción a esto, lo constituye la curva 5 °/o que presenta un máximo para los meses de verano. Esto se explica por la curvatura de la curva de frecuencia acumulada. Sin embargo, en Loa en Yalquincha se observa un aumento de caudal en los meses de invierno. También constituye una excepción la curva 5 °/o que presenta un máximo para los meses de verano. Los máximos de invierno se explican por las mínimas extracciones para riego durante esa época del año.

En las páginas siguientes se incluyen dos gráficos (Figuras 7.37 y 7.38) para las curvas estacionales 85 °/o en las 3 estaciones en estudio. Ellos se presentan tanto para los gastos medios mensuales para régimen natural, como para los caudales que realmente están pasando actualmente por las secciones de aforos, vale decir, los gastos medios mensuales para régimen natural menos las mercedes concedidas hasta el año 1969 (1). Finalmente se incluye la figura 7.39 que muestra la variación en el tiempo de los gastos en Yalquincha menos los caudales en Conchi y en Ayquina para una probabilidad de 85 °/o. En esta figura se ve que en la zona comprendida entre las estaciones mencionadas, el balance es positivo, es decir el aporte de caudales es en todo tiempo mayor que las extracciones para riego. Esta figura presenta un máximo en invierno por el hecho de las mínimas extracciones para riego y menor evapotranspiración durante este período.

Finalmente, se incluyen las curvas de frecuencia acumulada de los gastos medios anuales para las 3 estaciones en estudio (Figura 7.40).

TABLA 7.1

Curvas de Variación Estacional

Gastos Medios Mensuales - Regimen Natural

Estación	Yalquincha			Conchi			Ayquina		
Prob. de Excedencia	5°/o	50°/o	95°/o	5°/o	50°/o	95°/o	5°/o	50°/o	95°/o
Enero	5.20	4.12	3.56	2.65	2.20	2.06	1.66	1.51	1.40
Febrero	7.40	4.30	3.60	3.18	2.32	2.10	1.76	1.55	1.37
Marzo	6.35	4.30	3.87	2.68	2.20	2.01	1.65	1.51	1.39
Abril	5.20	4.47	3.81	2.57	2.26	1.99	1.65	1.53	1.42
Mayo	5.80	4.52	4.01	2.58	2.32	2.10	1.60	1.55	1.50
Junio	5.30	4.70	4.20	2.70	2.36	2.08	1.77	1.60	1.43
Julio	5.83	4.85	4.33	2.65	2.37	2.13	1.73	1.61	1.50
Agosto	6.30	4.90	4.20	2.65	2.38	2.13	1.79	1.63	1.48
Septiembre	4.93	4.40	3.94	2.60	2.30	2.03	1.85	1.53	1.47
Octubre	4.57	4.20	3.87	2.56	2.27	2.01	1.72	1.54	1.40
Noviembre	4.80	4.17	3.59	2.57	2.22	1.93	1.65	1.51	1.39
Diciembre	4.55	3.91	3.51	2.49	2.20	1.97	1.65	1.50	1.38

(1) De acuerdo con el capítulo 12 las mercedes de agua otorgadas aguas arriba de las 3 estaciones en estudios son las siguientes:

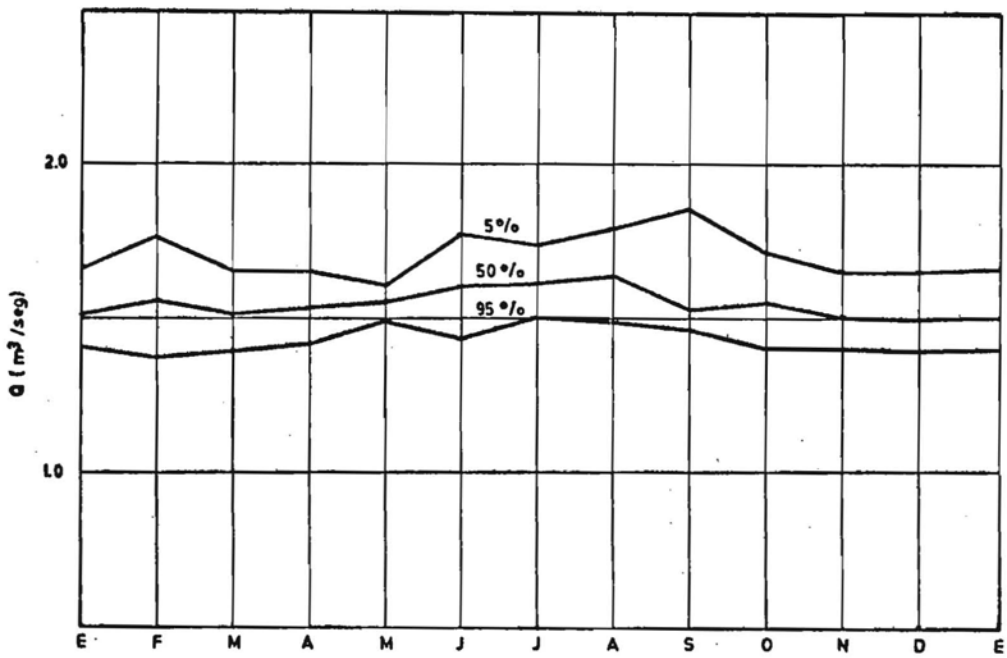
Loa en Yalquincha	:	1,553 m^3/seg.
Loa en Conchi	:	0,428 m^3/seg.
Salado en Ayquina	:	1,125 m^3/seg.

CURVAS DE VARIACION ESTACIONAL - GASTOS MEDIOS MENSUALES

REGIMEN NATURAL

Figura 7.36

SALADO EN AYQUINA



CURVAS DE VARIACION ESTACIONAL 85% GASTOS MEDIOS MENSUALES.

REGIMEN NATURAL

Figura 7.37

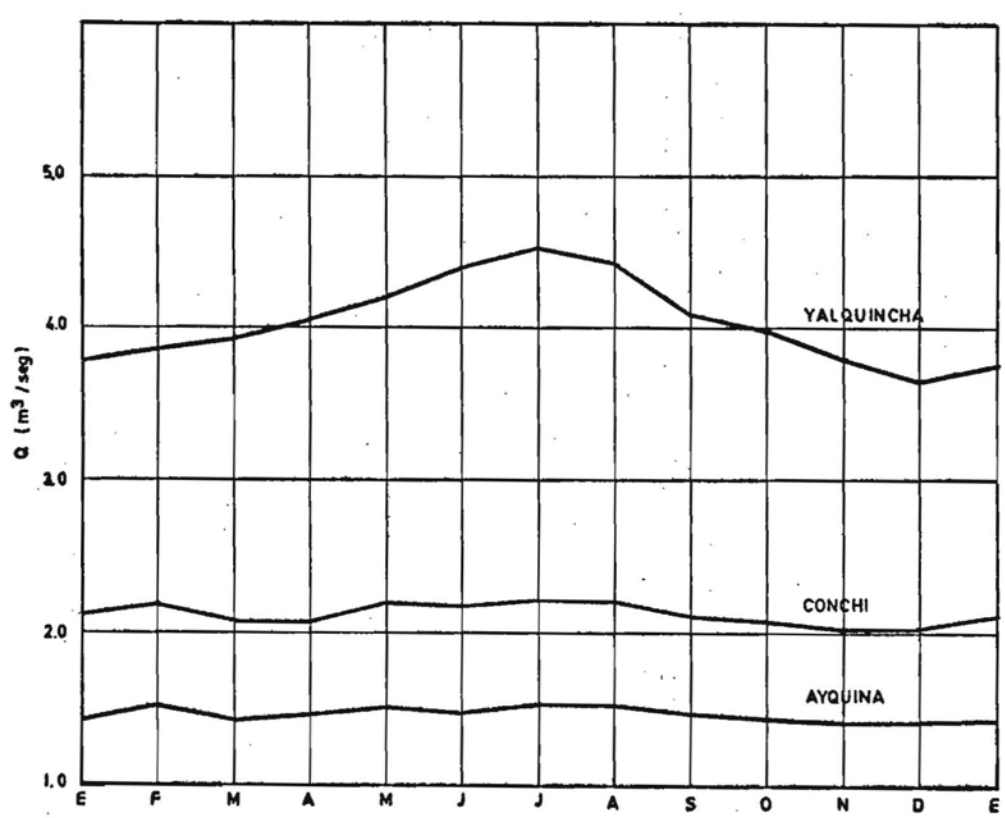


Figura 7.38

CURVAS DE VARIACION ESTACIONAL 85%

GASTOS MEDIOS MENSUALES REFERIDOS A 1969

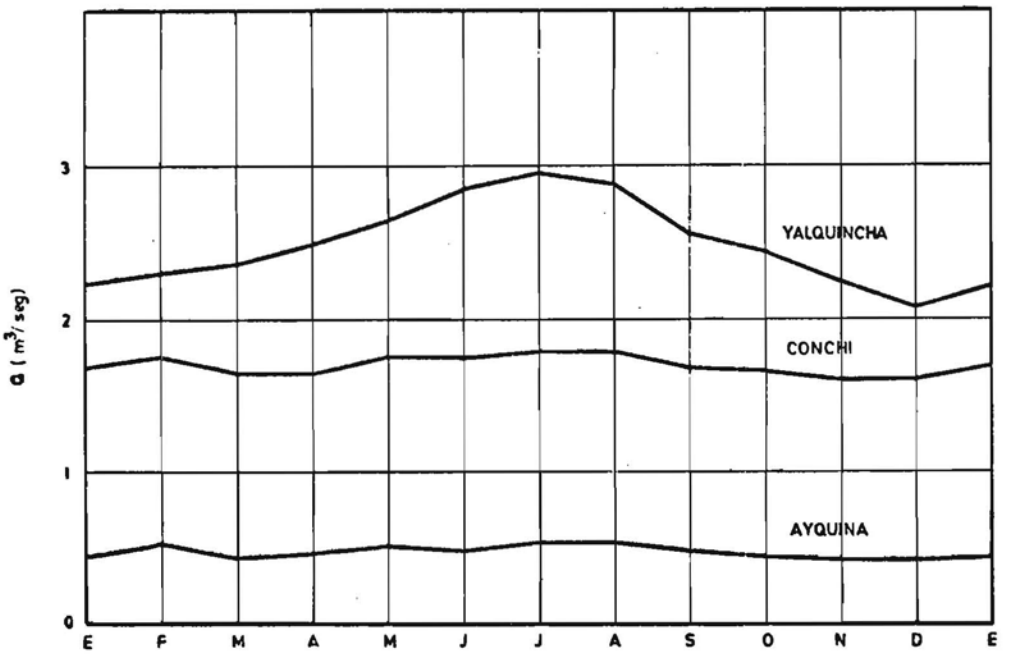


Figura 7.39

APORTES NETOS AL RIO LOA ENTRE DESEMBOCADURA RIO SALADO Y YALQUINCHA

(LOA EN YALQUINCHA - MENOS LOA EN CONCHI - MENOS SALADO EN AYQUINA)

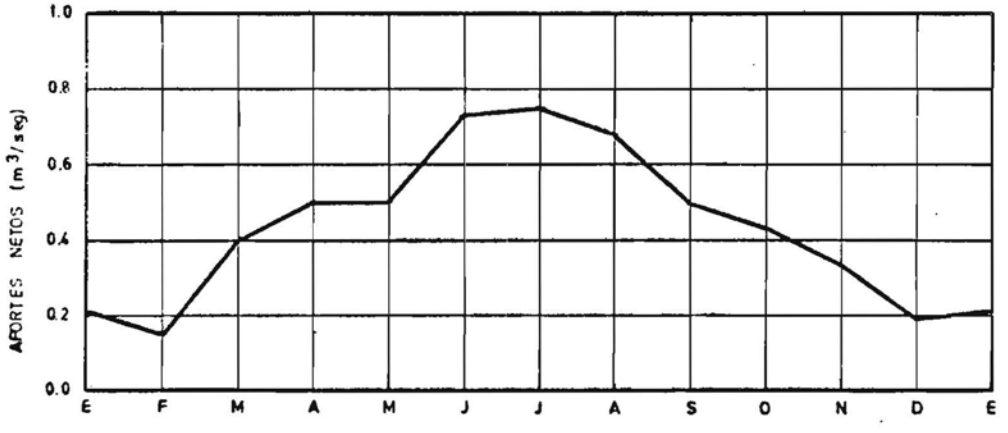
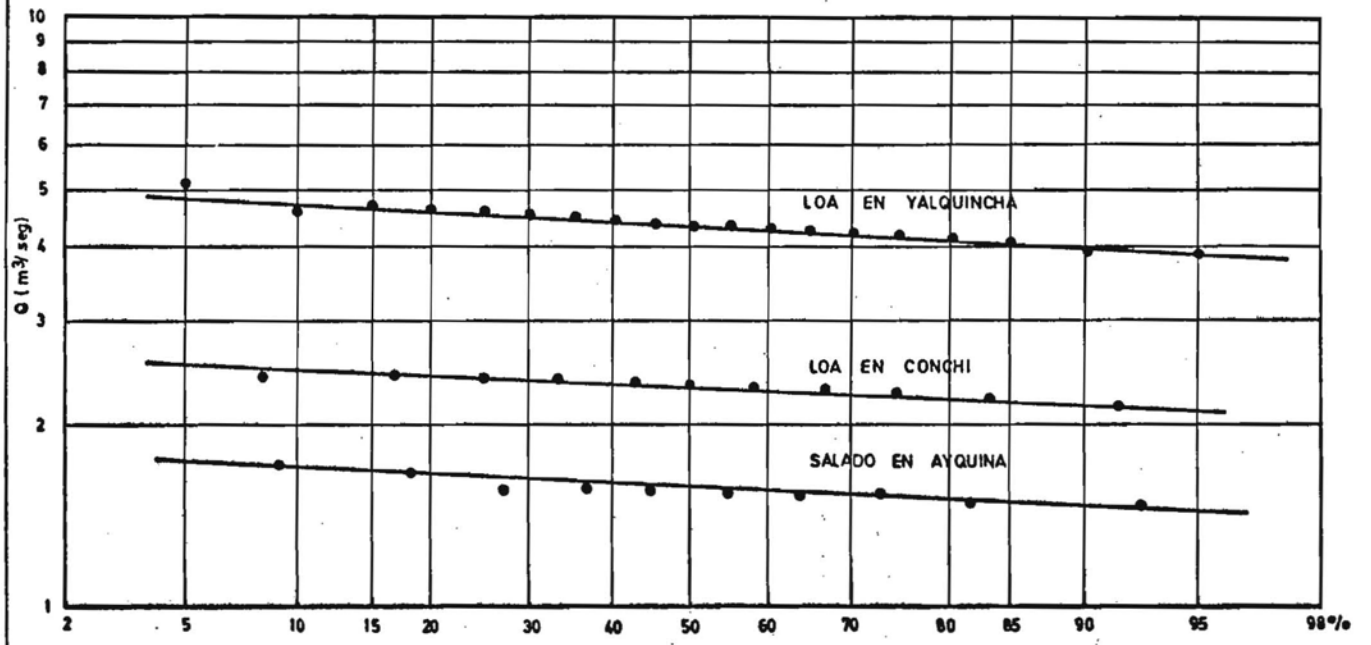


Figura 7.40

CURVAS DE FRECUENCIA ACUMULADA
GASTOS MEDIOS ANUALES - REGIMEN NATURAL



T A B L A 7.2

Curvas de Variación Estacional (85%)

	Yalquincha		Conchi		Ayquina		
	Régimen natural	Ref. a 1969	Régimen natural	Ref. a 1969	Régimen natural	Ref. a 1969	Aporte Neto
Enero	3.76	2.21	2.11	1.68	1.44	0.32	0.21
Febrero	3.85	2.30	2.18	1.75	1.52	0.40	0.15
Marzo	3.91	2.36	2.08	1.65	1.43	0.31	0.40
Abril	4.04	2.49	2.08	1.65	1.46	0.34	0.50
Mayo	4.20	2.65	2.19	1.76	1.51	0.39	0.50
Junio	4.39	2.84	2.17	1.74	1.49	0.37	0.73
Julio	4.51	2.96	2.22	1.79	1.54	0.42	0.75
Agosto	4.42	2.87	2.21	1.78	1.53	0.41	0.68
Septiembre	4.10	2.55	2.12	1.69	1.49	0.37	0.49
Octubre	3.98	2.43	2.10	1.67	1.45	0.33	0.43
Noviembre	3.79	2.24	2.03	1.60	1.43	0.31	0.33
Diciembre	3.65	2.10	2.04	1.61	1.42	0.30	0.19

7.3 Consideraciones Generales Sobre las Crecidas en el Río Loa.

En la cuenca del río Loa, prácticamente no existen antecedentes adecuadamente registrados como para caracterizar y estudiar el régimen de crecidas del río y sus afluentes principales. Ello se debe a la escasa duración de las estadísticas fluviométricas, lo poco apropiadas que son las secciones de control respectivos para medir caudales de crecida y la poca amplitud de las curvas de descarga que se disponen.

Conjuntamente con estos hechos, las características hidrometeorológicas e hidrológicas de la cuenca, no permiten con la poca información disponible, aplicar algunos métodos tradicionales tales como el método del hidrograma unitario o de los hidrogramas sintéticos.

Sin embargo, en base a una análisis general de la poca información fluviométrica disponible y de referencias bibliográficas de ciertos estudios anteriores, es posible extraer algunas características generales de este fenómeno en la cuenca, llegar a algunas conclusiones sobre sus propiedades fundamentales y plantear algunas recomendaciones para un mejor conocimiento de estos procesos en el futuro.

Es un hecho ya conocido, y el análisis de las estadísticas fluviométricas lo confirma, que las crecidas se producen casi exclusivamente en los meses de Enero, Febrero y Marzo, que es la temporada de lluvias en la precordillera y alta cordillera. Con mayor frecuencia ocurren en los meses de Febrero y a principios de Marzo, lo que se manifiesta con un ascenso de los hidrogramas medios mensuales de estaciones tales como las de Conchi, Salado en Ayquina y Yalquincha-Escorial. Puede decirse, que en general las crecidas de Febrero son prácticamente las únicas que influyen significativamente en los gastos medios mensuales.

Otra característica general del régimen de crecidas, es que ellas se producen con una baja recurrencia, es decir las que presentan cierta importancia e influencia son muy esporádicas. Por ejemplo, en la estadística fluviométrica disponible entre 1948 y 1968 se han detectado 11 crecidas de las cuales sólo 4 son de cierta importancia con gastos superiores a los 10 m^3/seg. e inferiores a 90 m^3/seg.

Las crecidas en general, presentan un pequeño tiempo al "peak", del orden de una hora, y recesiones que duran entre 10 y 24 horas.

La única crecida reciente de importancia que ha podido ser registrada aunque muy aproximadamente, es la de Enero de 1961. Este fue en realidad, un período entre el 20 y el 31 de Enero en que ocurrieron varias crecidas, siendo la mayor la del día 29. Esta crecida ha podido ser calculada por la Dirección de Riego del MOPT en base a mediciones "a posteriori" del nivel de aguas máximas alcanzado en Conchi, y a estimaciones de los otros parámetros geométricos e hidráulicos de un tramo de río del sector (1). Estos cálculos fueron reevaluados para este informe, no difiriendo significativamente de los resultados obtenidos por la Dirección de Riego. De esta manera, puede decirse que en dicha localidad y ocasión, el gasto máximo de la crecida mencionada alcanzó entre 80 a 90 m^3/seg. Históricamente se ha estimado que ésta ha sido la mayor crecida ocurrida desde 1888, la cual fué aún mayor. Este antecedente y un análisis de frecuencia muy preliminar efectuado en el informe mencionado, permiten asignarle un período de retorno de aproximadamente 100 años a la crecida en cuestión. En Yalquincha, esta crecida habría tenido un gasto máximo del orden de 90 m^3/seg., según mediciones aproximadas con flotador de la velocidad del escurrimiento y una medición del eje hidráulico.

Finalmente, otro hecho interesante de anotar en relación a las crecidas del Loa, es que ellas provocan "golpes de sal" según los antecedentes recogidos entre los habitantes de la región, es decir, se producen aumentos relativamente bruscos y de cierta magnitud con respecto a los valores usuales del contenido de sales en solución de las aguas.

Aguas abajo de la confluencia del río Loa con el río Salado, el aporte nuevo a la magnitud de las crecidas es prácticamente nulo, y los efectos de propagación de la onda de la crecida por el cauce del río ocasiona el correspondiente efecto de amortiguación o regulación del "peak". Es así, como hacia aguas abajo del sector de Calama, las crecidas del río pierden, en forma relativa a lo que ocurre en el curso superior del río, gran parte de su importancia y peligrosidad.

El río San Salvador, por su ubicación y por la naturaleza de su orígen, no presenta crecidas, salvo las usuales variaciones estacionales de menor importancia ocasionadas por el efecto de las vegas de Calama.

Con el objeto de allegar antecedentes más fidedignos, completos y concluyentes sobre el régimen de crecidas en la cuenca, es indudable que corresponde llevar a cabo una adaptación o rediseño de algunas secciones fluviométricas, que permitan definir apropiadamente la curva de descarga para valores altos. Asimismo se hace necesario disponer de una adecuada red pluviométrica (ver capítulo 11) y de tener organizado un sistema oportuno de medición "a posteriori" que permita al menos efectuar un cálculo relativamente aproximado de los gastos máximos de crecidas.

(1) Ing. Absalón Monsalve. "Embalse Conchi". Tomo I, Dirección de Riego, M.O.P., Mayo de 1969.

CAPITULO 8

ESTUDIO DE LA EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION

8.1 Evapotranspiración.

8.1.1 Introducción.

Para hacer una estimación racional de los recursos de agua necesarios para regar una zona agrícola, es imprescindible medir o estimar la evapotranspiración. Para hacer mediciones en el terreno, es necesario disponer de instrumentos y equipos que permitan determinar las entradas y salidas de agua, y las variaciones de humedad del suelo de una zona cultivada. Estas mediciones están claramente fuera de los alcances de este estudio, por lo cual, nos limitaremos a estimar la evapotranspiración por algunos de los métodos más comunes. Estos métodos son empíricos o empírico-teóricos y predicen la evapotranspiración en base a ciertos parámetros meteorológicos y de cultivo, generalmente disponibles en las estaciones meteorológicas corrientes. Sin embargo, la escasa disponibilidad de estos antecedentes ha sido un factor limitante para la aplicación de estos métodos en la cuenca del Loa, habiéndose sólo podido aplicarlos para Calama en las temporadas de riego 1966-67 y 1969-70. A continuación se explican en forma resumida los métodos utilizados.

8.1.2 Métodos utilizados.

Método de Thornthwaite.

Thornthwaite estima la evapotranspiración potencial de cada mes en base a la temperatura media mensual mediante la expresión:

$$ETP = 1{,}6 \times \left[\frac{10\,t}{IE}\right]^{a} \qquad (\text{cm/mes}) \qquad (8.1)$$

en que IE es un "índice de calor" anual, suma de los índices de calor mensuales "ie", que son también función de la temperatura media mensual "t", ya que:

$$ie = \left(\frac{t}{5}\right)^{1{,}514} \qquad (8.2)$$

El exponente "a" está relacionado con el índice de calor anual mediante la expresión:

$$a = 6{,}75 \times 10^{-7} (IE)^3 - 7{,}71 \times 10^{-5} (IE)^2 + 1{,}79 \times 10^{-2}\, IE + 0{,}492 \qquad (8.3)$$

El valor de la evapotranspiración potencial así calculada, está basado en meses de 30 días y días con 12 horas de sol. Puede corregirse multiplicándolo por un factor que depende del mes considerado y de la latitud del lugar.

Para la aplicación de este método, se utilizaron los datos de temperaturas medias diarias mensuales de la estación Calama OMC que aparecen en la tabla 11.1 del Anexo I y los datos de Corfo, para Calama también, que aparecen en la tabla 22.1

del mismo Anexo; los resultados obtenidos se muestran en las Figuras 8.1 y 8.2. Estos resultados difieren apreciablemente de los valores de evaporación medios diarios mensuales registrados, estimándose que estas diferencias podían ser atribuídas a imperfecciones de este método, ya que sólo considera un parámetro meteorológico (la temperatura) en la determinación de la evapotranspiración. Se han aplicado también otros métodos más elaborados, los que se detallan a continuación.

Método de Blaney y Criddle.

La evapotranspiración potencial se considera función del tipo de cultivo y de la zona climática, a través de un coeficiente de cultivo "k"; del porcentaje de horas de sol en el mes con respecto al total anual "p" y de la temperatura media mensual "t". La relación que da la evapotranspiración potencial es la siguiente:

$$ET.P = k\,p\,(0{,}457\,t + 8{,}13) \quad mm/mes \qquad (8.4)$$

Mediante este método se ha calculado la ET.P para los períodos 1966-67 y 1969-70. El cultivo considerado ha sido la alfalfa, ya que es el más representativo de los cultivos de la zona (más del 70°/o del área cultivada corresponde a la alfalfa). El cálculo se ha hecho mes a mes utilizando los valores de "p" apropiados, los cuales se obtuvieron de tablas en función de la latitud del lugar. Los resultados obtenidos en la aplicación de este método se incluyen en la tabla 8.1 y se han graficado en las Figuras 8.1 y 8.2.

Método de Turc.

El método de Turc aplicado aquí, corresponde a la última versión presentada por dicho autor (1961) para zonas en que la humedad relativa media mensual es inferior al 50°/o. La fórmula propuesta es:

$$ET.P = 0{,}40\,\frac{Ta}{Ta + 15}\,(Ri + 50)\,\left(1 + \frac{50 - HR}{70}\right)\ mm/mes \qquad (8.5)$$

en que Ta es la temperatura media mensual, en grados Celcius; Ri es la radiación solar incidente, en cal/cm^2/día y HR es la humedad relativa media diaria mensual expresada en porcentaje. Si no se dispone de medidas directas de radiación solar incidente, se pueden estimar a partir de las horas de sol, mediante la expresión:

$$Ri = Ria\,(0{,}18 + 0{,}62\,h/H) \qquad (8.6)$$

en que Ria es la radiación máxima posible según el mes y la latitud, H es la duración astronómica del día, y h las horas reales de sol. Como es frecuente que no se disponga de datos de horas reales de sol, sino solamente de datos relativos al porcentaje de cielo cubierto por nubes; Christiansen et al., estudiaron los datos registrados en 32 estaciones meteorológicas de los Estados Unidos, llegando a la siguiente relación entre ambas variables:

$$s = 1{,}00 - 0{,}016\,sc - 0{,}0084\,sc^2 \qquad (8.7)$$

En que s es el porcentaje de horas reales de sol con respecto a las teoricas y sc es la nubosidad media, medida en una escala de 0 a 10.

TABLA 8.1

Estación Calama

Valores medios diarios mensuales de ET.P. (mm/día) (1966 - 67)

	THORNTH-WAITE	BLANEY Y CRIDDLE	TURC	OLIVIER	PENMAN	HARGREA-VES II	HARGREA-VES I	GRASSI	EVAP. MEDIDA
AGO.	0.97	2.69	3.65	4.08	2.87	2.15	5.10	10.88	8.5
SEPT.	1.76	3.19	5.72	6.68	4.89	4.05	6.72	11.72	9.6
OCT.	2.06	3.56	6.40	7.88	5.85	5.47	8.72	12.72	10.9
NOV.	2.44	3.77	7.17	8.89	6.24	6.52	9.72	12.59	10.8
DIC.	2.23	3.79	6.58	7.52	6.36	6.70	10.45	12.87	11.0
ENERO	2.36	3.83	6.02	6.90	5.95	6.35	11.21	13.63	11.8
FEBRERO	2.69	3.76	5.22	4.79	5.15	5.80	9.60	11.67	10.1
MARZO	2.10	3.50	4.62	4.90	5.04	5.45	9.27	11.98	10.3
ABRIL	1.95	3.24	4.33	4.33	3.84	4.40	6.24	9.23	7.8
MAYO	1.54	2.95	3.39	3.18	2.87	3.02	5.07	9.45	7.8
TOTALES	609,2	1011,2	1613,2	1799,4	1490,4	1514,8	2493,6	3550,4	2998,1
PROMEDIO	2,00	3,33	5,31	5,92	4,90	4,98	8,20	11,68	9,86

Valores medios diarios mensuales de ET.P. (mm/día) (1969 - 70)

	THORNTH-WAITE	BLANEY Y CRIDDLE	TURC	OLIVIER	PENMAN	HARGREA-VES II	HARGREA-VES I	GRASSI	EVAP. MEDIDA
AGO.	1.19	2.88	4.35	4.29	2.79	2.65	4.80	9.97	8.0
SEPT.	1.99	3.35	5.81	5.76	4.35	4.24	7.14	12.04	10.2
OCT.	2.00	3.54	5.89	6.23	5.30	5.18	8.88	13.08	11.1
NOV.	2.47	3.82	6.42	6.71	5.81	6.26	10.80	13.85	12.0
DIC.	1.95	3.66	5.49	5.19	5.64	5.79	11.50	14.47	12.1
ENERO	2.42	3.89	4.78	4.11	5.45	5.61	10.07	12.24	10.6
FEB.	2.81	3.83	5.76	5.22	5.21	6.11	10.93	13.04	11.5
MARZO	1.98	3.46	4.23	3.41	4.27	4.56	8.82	11.45	9.8
ABRIL	2.01	3.30	4.67	4.39	4.10	4.57	7.12	10.41	8.9
TOTALES	568,7	962,2	1435,5	1372,1	1299,6	1360,7	2424,0	3351,6	2854,6
PROMEDIO	2,08	3,52	5,26	5,03	4,76	4,98	8,88	12,28	10,46

VALORES MEDIOS DIARIOS, MENSUALES DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL CALCULADA Y EVAPORACION MEDIDA

Figura 8.1

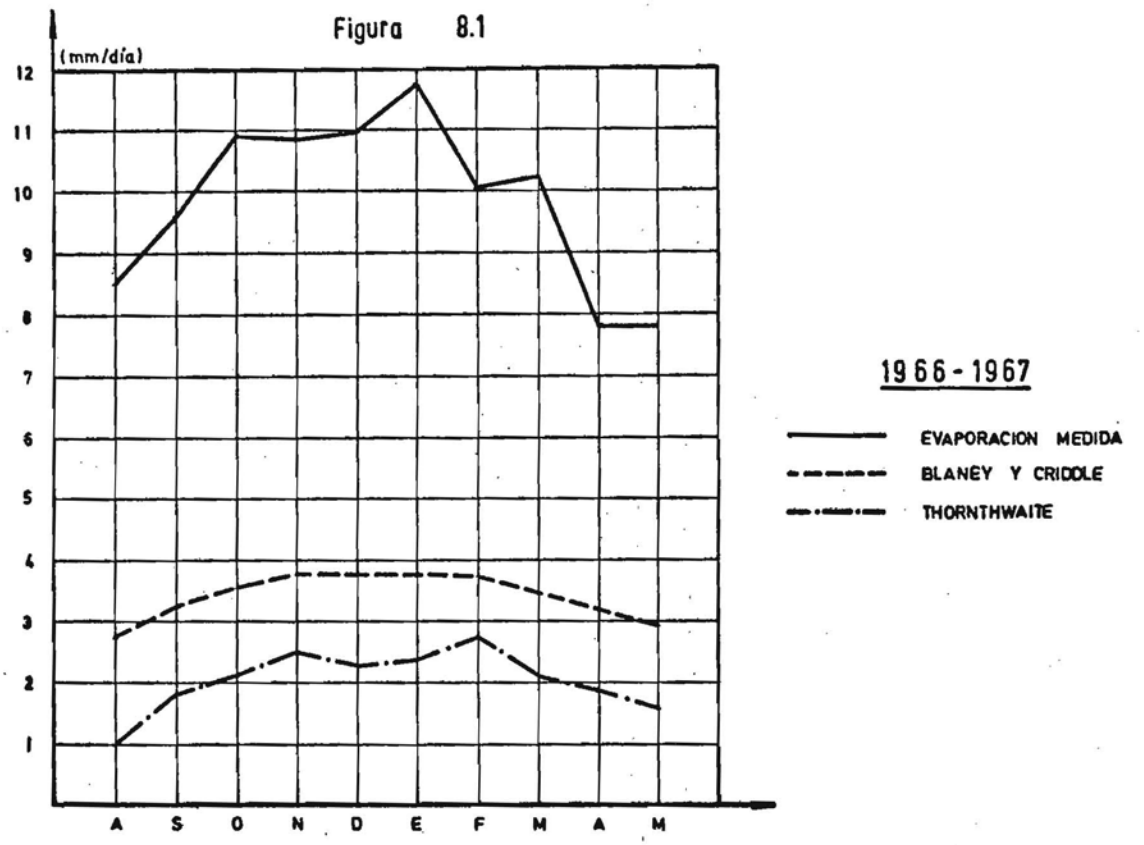
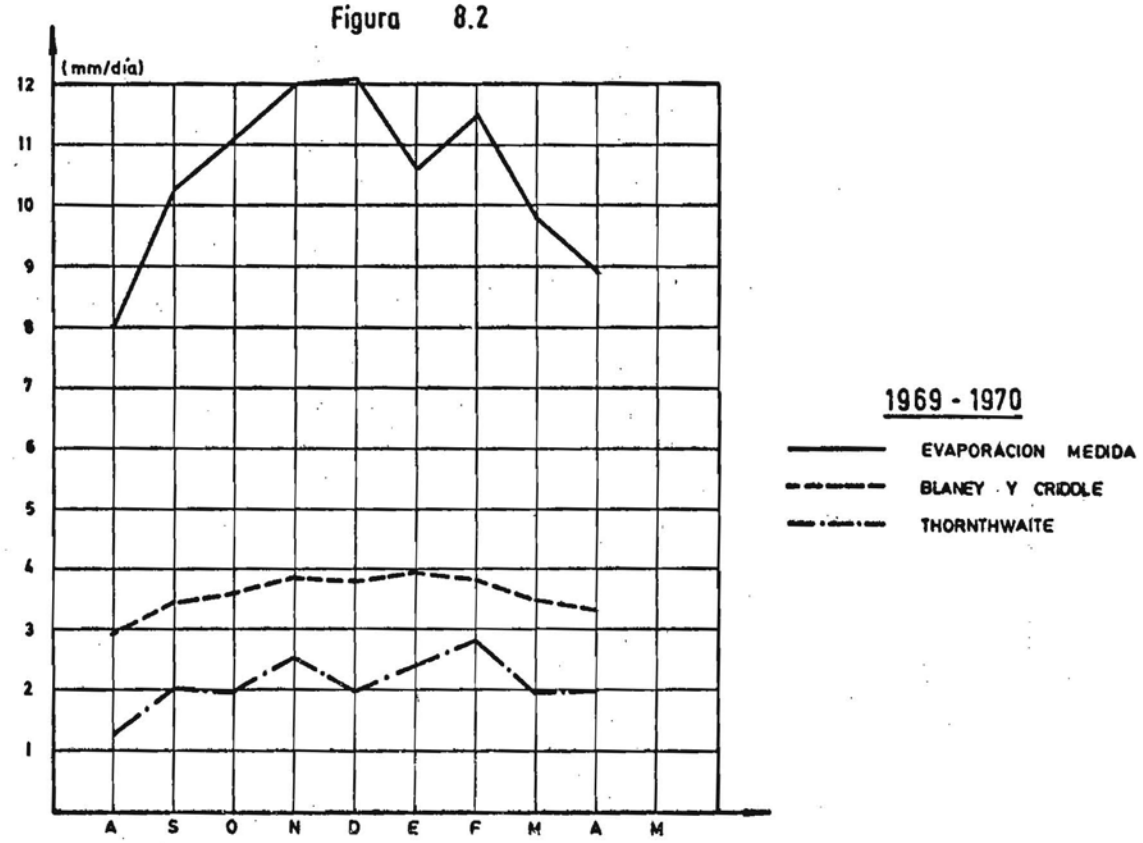


Figura 8.2



En la aplicación de este método se han utilizado los datos de nubosidad media registrados por la OMC en Calama. Estos datos corresponden a los años 1965-67 y 68, no disponiéndose de información para los años 1966, 1969 y 1970. Por esto, se ha calculado la nubosidad promedio para cada mes en base a los datos disponibles y se han aplicado estos valores para los períodos 1966-67 y 1969-70. Los resultados obtenidos para dichos períodos en la estimación de ET.P., se incluyen en la tabla 8.1 y se han dibujado en las Figuras 8.3 y 8.4.

Método de Olivier.

En 1961, Henry Olivier presentó una fórmula empírica para estimar la evapotranspiración potencial, derivada para zonas en que se cumplían 2 condiciones básicas: a) la nubosidad es muy baja y b) el viento no constituye un factor limitante para la evaporación ni la evapotranspiración. Dado que estas condiciones se cumplen bastante bien en la zona de Calama, se ha considerado de interés incluir este método en el presente estudio.

Según este autor, la evapotranspiración potencial, está dada por la siguiente expresión:

$$ET.P. = c \frac{LO}{L^2} \quad mm/día \qquad (8.8)$$

en que "c" es la depresión media diaria del bulbo húmedo en °C, para el mes considerado, L es la razón entre la radiación incidente y su proyección vertical para ese mes, y LO es el valor promedio de L para todo el año. Los valores de L se encuentran tabulados en función del mes respectivo y de la latitud del lugar. Los valores de c usados en la aplicación de este método, a este caso particular para el período 1966-67, son los valores registrados por la OMC en su estación de Calama. Para el período 1969-70, se utilizaron las depresiones calculadas mediante las tablas sicrométricas, en base a las humedades y temperaturas de los higrotermogramas de la estación Calama de la Dirección de Riego. Los valores obtenidos de ET.P. se incluyen en la tabla 8.1 y se han dibujado en las Figuras 8.3 y 8.4.

Método de Penman.

Este método es uno de los que posee mayor base teórica, puesto que consiste en una combinación simplificada del método de balance de energía con el método aerodinámico, utilizando ciertos coeficientes empíricos en la determinación de la influencia que posee la velocidad del viento en la transferencia de calor y vapor de agua. De acuerdo a este autor, la evaporación desde una superficie de agua es:

$$E = \frac{\alpha\ Rn + \gamma\ Ea}{\alpha + \gamma} \quad mm/día \qquad (8.9)$$

α es la pendiente de la curva tensión de vapor vs. temperatura; Rn es la radiación neta en mm/día; Ea es el "poder evaporante de la atmósfera" obtenido mediante la ecuación aerodinámica:

$$Ea = 0.622 \frac{\rho\ D}{p} (e_{sa} - e) \quad (cm/seg) \qquad (8.10)$$

VALORES MEDIOS DIARIOS, MENSUALES DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL CALCULADA Y EVAPORACION MEDIDA

Figura 8.3

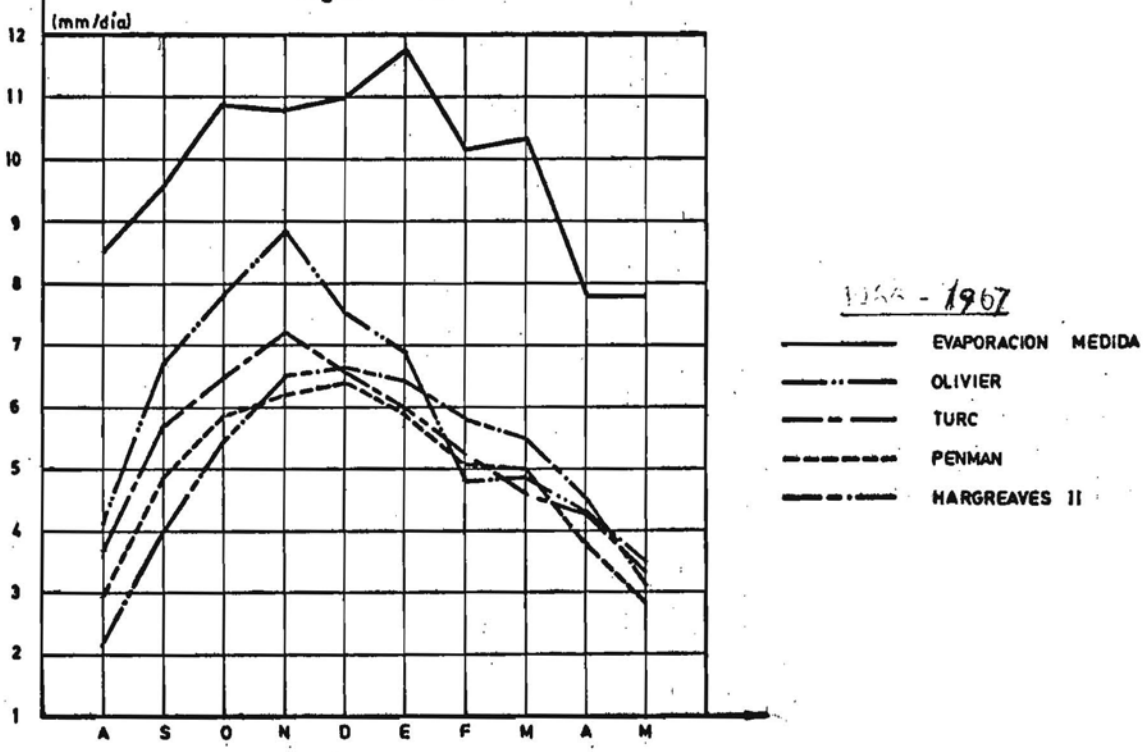
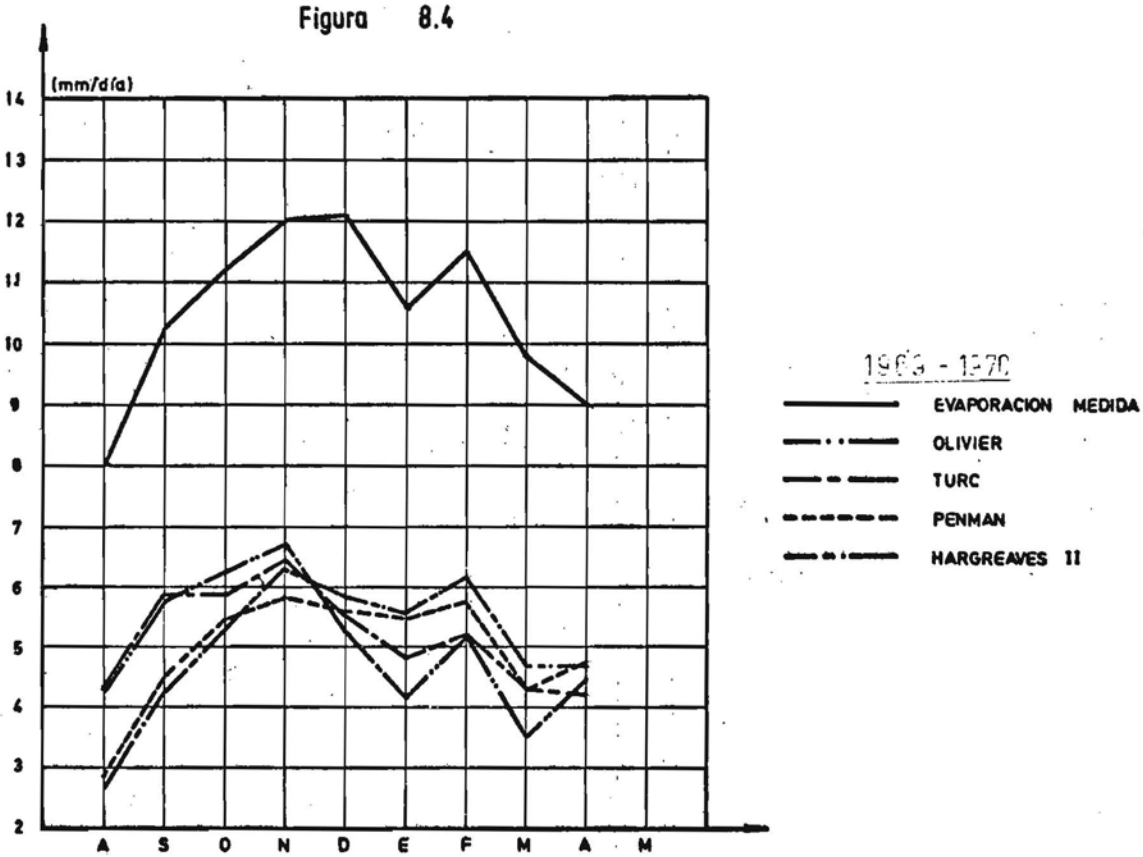


Figura 8.4



siendo ρ la densidad del aire; e_{sa} la presión de vapor de saturación a la temperatura del aire; e la presión de vapor de aire; p es la presión atmosférica y D el coeficiente de transferencia de vapor, el cual es una función lineal de la velocidad del viento "u", expresada en m/seg, y medida a 2 m. de altura:

$$D = a + bu \qquad \text{(cm/seg)} \qquad (8.11)$$

donde a y b son coeficientes empíricos. El coeficiente b es aproximadamente el mismo para cualquier superficie de agua, desde estanques hasta grandes océanos; el coeficiente a, sin embargo, es extremadamente variable y su valor disminuye a medida que aumenta el tamaño de la superficie evaporante, siendo de alrededor de 0.45 para un evaporímetro clase A; 0.25 para un evaporímetro enterrado y 0.07 para lagos de gran tamaño. Penman (1956) propuso los valores a = 0.175 y b = 0.19 para ser usados con su fórmula, en base a estudios realizados en el lago Hefner. Estos valores difieren a los presentados por el mismo autor en su primer estudio en 1948.

En la fórmula 8.9, γ representa la constante psicrométrica que tiene por expresión la siguiente:

$$\gamma = \frac{C_p \times p}{0{,}622\ L} \qquad \text{(mm.Hg/C)} \qquad (8.12)$$

en que C_p es el calor específico del aire a presión constante, p es la presión atmosférica y L el calor latente de vaporización.

La radiación neta Rn, es la diferencia entre la radiación recibida y la emitida. Para calcular la radiación recibida, en el caso que no se disponga de registros, Penman propone la siguiente relación entre la radiación recibida y la teórica en el tope de la atmósfera, en función del porcentaje de horas de sol:

$$Ri = Ria\ (0{,}18 + 0{,}55\ h/H)\ (1 - i) \qquad (8.13)$$

en que i es el albedo de la superficie evaporante.

La radiación emitida Re, puede estimarse mediante la siguiente relación:

$$Re = \sigma\ T^4\ (0{,}56 - 0{,}092\ e^{1/2})\ (0{,}10 + 0{,}90\ h/H) \qquad (8.14)$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzman
T es la temperatura del aire en grados Kelvin y
e es la presión de vapor del aire en mm de Hg.

Para pasar de evaporación de una superficie libre de agua a evapotranspiración potencial, Penman utiliza un factor reductor "f", cuyos valores oscilan desde 0,6 en invierno a 0,8 en los meses de verano. Se tiene entonces:

$$ET.P. = f \times E \qquad \text{mm/día} \qquad (8.15)$$

En resumen, podemos decir que para aplicar la fórmula de Penman, es necesario conocer la velocidad del viento a dos metros de altura, la temperatura del aire, el porcentaje de horas reales de sol con respecto a las teóricas y la presión de vapor del aire.

Los datos de velocidad del viento disponibles, correspondían a valores registrados a aproximadamente 40 cms. de altura. En base a estos valores se calcularon las velocidades a 2 mts., mediante una relación de tipo logarítmico. Los datos de insolación, de temperatura y de presión de vapor, son los mismos que se usaron en los otros métodos. El valor de albedo escogido fue de 0.05, que es el valor recomendado para superficies de agua. El valor de la presión atmosférica usado para el cálculo de la constante psicrométrica fue de 578 mm de Hg. El valor del calor de vaporización del agua se calculó para la temperatura media anual. Los resultados obtenidos se incluyen en la tabla 8.1 y se han dibujado en las Figuras 8.3 y 8.4.

Por último, se aplican algunos métodos que estiman la evapotranspiración potencial en base a las evaporaciones medidas en un evaporímetro sometido a las mismas condiciones meteorológicas que el cultivo.

Método de Hargreaves.

En 1948, Hargreaves propuso la siguiente relación para estimar la evapotranspiración potencial de un cultivo:

$$ET.P. = k\,E_p \qquad mm/mes \qquad (8.16)$$

donde k es un factor que depende del tipo de cultivo y de su estado de desarrollo y cuyos valores para la alfalfa varían entre 0,65 en la primera etapa de su desarrollo, hasta 0,95 para la etapa de pleno desarrollo; y E_p es la evaporación medida en un evaporímetro clase A del U.S.W.B. en mm/mes.

Utilizando los valores registrados en el evaporímetro de la estación Calama (Riego) para los períodos 1966-67 y 1969-70, se calculó la ET.P. para la alfalfa. Los resultados obtenidos se incluyen en la tabla 8.1 bajo el título Hargreaves I, y se han dibujado en las Figuras 8.5 y 8.6.

Dado que no siempre es posible contar con datos de evaporímetros y debido a las "variaciones de la evaporación medida con la exposición del evaporímetro", Hargreaves recientemente propuso reemplazar el valor de la evaporación dada por el evaporímetro por un "índice de evaporación" calculado en base a datos meteorológicos, mediante la siguiente expresión:

$$E_p = 17{,}4\; d\; T\; F_H\; F_W\; F_S\; F_E \qquad mm/mes \qquad (8.17)$$

En que d es el coeficiente medio mensual de horas de sol, que puede obtenerse de tablas. T es la temperatura media mensual en ^oC. F_H es un factor que toma en cuenta la influencia de la humedad relativa y cuya expresión es:

$$F_H = 0.59 - 0.55\; H_n^2 \qquad (8.18)$$

siendo H_n la humedad relativa media mensual a mediodía, expresada en tanto por uno. F_W considera la influencia del viento a través de la expresión:

$$F_W = 0{,}75 + 0.125\; W^{1/2} \qquad (8.19)$$

donde W es la velocidad media del viento expresada en Km/hr, medida a una altura de 2 metros.

VALORES MEDIOS DIARIOS, MENSUALES DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL CALCULADA Y EVAPORACION MEDIDA

Figura 8.5

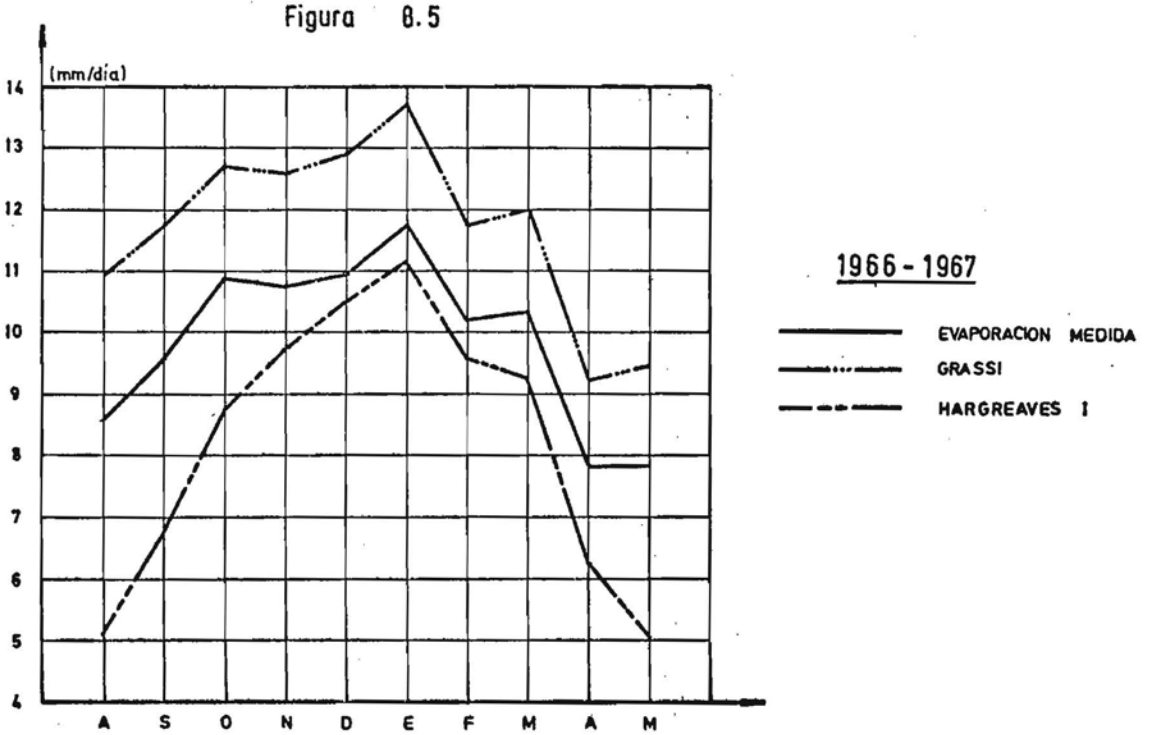
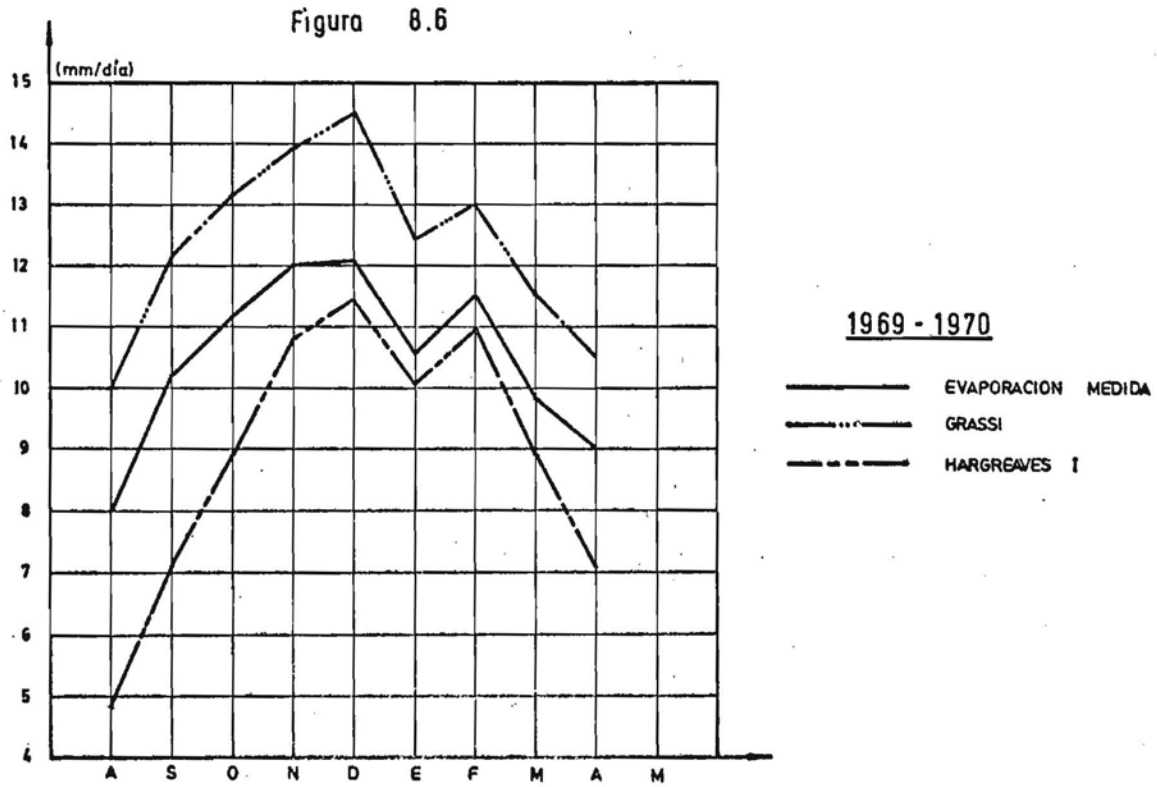


Figura 8.6



Los otros términos consideran los efectos de la insolación y la altura:

$$F_S = 0.478 + 0.58\ S \qquad (8.20)$$

$$F_E = 0.950 + 0.0001\ E \qquad (8.21)$$

donde E es la elevación del lugar expresada en metros sobre el nivel del mar y S es el porcentaje de horas de luz en el mes con respecto al número total de horas del mes, expresado en tanto por uno; este último valor puede obtenerse de tablas.

La humedad relativa a mediodía puede calcularse a partir de la humedad relativa media diaria mediante:

$$H_n = 0.36\ H_m + 0.64\ H_m^2 \qquad (8.22)$$

En que H_m está dado en tanto por uno.

Los resultados obtenidos por este método, se encuentran también en la tabla 8.1 bajo el título Hargreaves II y en las Figuras 8.5 y 8.6.

Método de Grassi-Christiansen.

Utiliza la siguiente expresión:

$$ET.P. = 0.968\ C_T\ C_C\ F\ E_p \quad mm/mes \qquad (8.23)$$

en que C_T es un coeficiente, función de la temperatura (T) en grados centígrados.

$$C_T = 1.40 - 0.020\ T \qquad (8.24)$$

C_C es un coeficiente función del tiempo entre el instante de siembra y el instante en que el cultivo cubre totalmente el campo, expresado como porcentaje del tiempo de cultivo total. Para la alfalfa, este factor puede considerarse como la unidad, excepto para tiempos cortos después de cada corte.

F es un factor de cultivo, que para la alfalfa vale 1.09 según los autores.

E_p es la evaporación medida en un evaporímetro clase A del U.S.W.B. expresada en mm/mes.

Los valores obtenidos para la ET.P. según esta fórmula, se incluyen también en la tabla 8.1 y en las Figuras 8.5 y 8.6.

8.1.3 Análisis de los resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos al aplicar los diversos métodos ya señalados varían ampliamente, desde alrededor de 600 mm para el método de Thornthwaite, hasta 3.500 mm para el método de Grassi-Christiansen, en los períodos de 10 meses considerados. Sin embargo de acuerdo a los resultados obtenidos, se pueden distinguir claramente tres grupos de métodos:

Un primer grupo, cuyas estimaciones para la evapotranspiración fluctúan entre 2.0 y 3.5 mm/día de promedio aproximadamente. Estos métodos corresponden a los de Thornthwaite y Blaney y Criddle; el primero da resultados inferiores a todos los otros métodos, 2,00 y 2,08 mm/día de promedio, diario para 1966 - 67 y 1969 - 70 respectivamente. Los valores medios diarios obtenidos por el método de Blaney y Criddle, son de 3.33 y 3.52 mm/día.

Los resultados dados por estos métodos son inferiores a valores de E.T. medidos en la zona de Pirque por Breinbauer como puede apreciarse en la tabla 8.2.

TABLA 8.2

Evapotranspiración potencial calculada para Calama y medida en la zona central

	Thornth. mm/día	Blaney - C mm/día	Medida (Pirque) mm/día
Enero	2.36	3.83	5.1
Febrero	2.69	3.76	3.9
Marzo	2.10	3.50	3.2
Abril	1.95	3.24	2.0

Los valores medidos corresponden a las experiencias realizadas por Breinbauer en trébol rosado, en 1968. Los valores calculados corresponden a ET. Potencial en Calama para el año 1967. El cultivo considerado en el método de Blaney y Criddle es alfalfa. Dado que las condiciones meteorológicas para la evotranspiración son más favorables en Calama que posee un clima árido, que en Pirque con un clima semiárido, debemos deducir que estos métodos dan estimaciones de ET.P. muy bajas para esta zona y por lo tanto sus resultados deben descartarse. Debe aclararse que aunque estas comparaciones corresponden a años distintos, las condiciones meteorológicas que fijan el poder evaporante en la zona de Calama fueron mayores que las observadas en 1968 en la zona de Pirque.

Estos valores tan bajos se explican, si se considera que ambos métodos basan su estimación de ET.P. principalmente en la temperatura media del aire, sin contemplar otros parámetros meteorológicos tan importantes como la radiación solar, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Un segundo grupo de métodos da estimaciones de evapotranspiración potencial cuyos promedios diarios, para los períodos considerados, oscilan entre 5 y 6 mm/día. Estos métodos son los de Penmam, Hargreaves II, Olivier y Turc. Todos ellos reconocen la influencia de la radiación, humedad relativa y velocidad del viento en el proceso de evapotranspiración. El método de Olivier, aunque no considera en forma cuantitativa la influencia de la velocidad del viento, por medio de una ecuación; la reconoce en forma cualitativa al señalar en sus hipótesis básicas que su método debe aplicarse cuando el viento no constituya un factor limitante de la evapotranspiración.

Olivier da un promedio diario superior para el período 66-67 que para el período 69-70 (5.92 y 5.03 mm/día respectivamente). Esta diferencia se debe a que para los cálculos del período 66-67 se utilizaron los datos de depresiones del bulbo húmedo, medidas en el aeropuerto de Calama por la O.M.C., mientras que para el período 69-70 se utilizaron los datos del higrotermógrafo de la Dirección de Riego, ubicado en la ciudad y más cercano a las zonas de cultivo, donde la humedad relativa es mayor.

Además, este método es más sensible a esta variación que los restantes, ya que la evapotranspiración se obtiene multiplicando la depresión del bulbo húmedo por un factor que depende de la latitud del lugar y del mes considerado, y es constante por lo tanto, para meses iguales en años distintos.

En el método de Penman se ha considerado un factor de cultivo igual a 1.0, ya que existen numerosas referencias en la literatura, posteriores al trabajo de Penman, que indican la variabilidad de este factor con el tipo de cultivo, siendo 1.0 el valor recomendado para la alfalfa.

Este grupo reune métodos con una buena base teórica, como el método de Penman, y métodos netamente empíricos como los de Turc y Olivier. Sin embargo todos ellos dan resultados bastante concordantes.

Cabe destacar, sin embargo, que todos ellos hacen uso de coeficientes empíricos, determinados para otras condiciones meteorológicas, de altitud y de latitud, y que no necesariamente esos coeficientes deben ser aplicables a Calama. Además es necesario establecer que ninguno de ellos considera la energía extra aportada por advección.

El tercer grupo está compuesto por métodos cuyas estimaciones de la evapotranspiración potencial media diaria, están comprendidas entre 8 y 12 mm/día, aproximadamente. Integran este grupo los métodos de Hargreaves I y Grassi-Christiansen. Presentan además la característica común de estar basados en mediciones directas de la evaporación desde bandeja. El método de Hargreaves I estima en 8.20 y 8.88 mm/día la evapotranspiración potencial media diaria para los períodos 66-67 y 69-70 respectivamente, mientras que Grassi da 11.68 y 12.28 mm/día para estos mismos períodos. La evaporación medida en el Campamento de Calama fue de 9.86 y 10.46 mm/día, respectivamente.

Las importantes diferencias encontradas entre los resultados proporcionados por los métodos del segundo y tercer grupo, pueden deberse a los siguientes motivos:

a) Diferencias de ubicación entre el evaporímetro y los otros instrumentos cuyos registros se utilizaron en la aplicación de los métodos del segundo grupo. Esto indicaría que ambos grupos estarían prediciendo la evapotranspiración potencial para diferentes condiciones atmosféricas.

b) Los coeficientes empíricos utilizados en cada método no son apropiados para la región de Calama. Esto implicaría dada la concordancia de los resultados obtenidos por todos los métodos del segundo grupo, que la relación ET.P./E es menor que la supuesta en cada uno de los métodos del grupo 3.

c) Existen condiciones que favorecen la evaporación y la evapotranspiración en esta zona, que no son consideradas por los métodos del grupo 2 y que son registradas por el evaporímetro.

A continuación se analiza cada una de estas posibilidades:

a) Los datos de evaporación utilizados corresponden a los registrados en la estación de la Dirección de Riego, la que se encuentra más próxima a las zonas de cultivo que la estación de la O.M.C.. Para el período 1969-70 los datos de humedad relativa, temperatura y velocidad del viento utilizados, corresponden también a la misma estación. Para el período 1966-67 algunos de los datos utilizados correspondían a la estación O.M.C. Sin embargo, dado que esta estación se encuentra ubicada en condiciones más áridas, se habría obtenido con estos datos, una sobreestimación de la evapotranspiración potencial calculada por los métodos del grupo 2 con respecto a la real y a la calculada en base del evaporímetro. Además, a excepción del método de Olivier, los otros métodos del mismo grupo no presentan diferencias apreciables para los dos períodos mencionados. Se debe concluir, por lo tanto, que no es esta la razón principal de las discrepancias.

b) Al comparar los valores de E_p medidos con los resultados obtenidos por los métodos del grupo 2, se deduce que, si estos métodos representan adecuadamente la evapotranspiración potencial real de la zona, entonces la razón $ET.P./E_p$ debería ser aproximadamente igual a 0.5. Sin embargo, se ha encontrado experimentalmente que esta razón en el caso de los climas áridos alcanza valores cercanos a la unidad, pudiendo en algunos meses ser incluso mayor. A manera de ejemplo se incluyen en la tabla 8.3 los valores de ET.P. obtenidos por Jackson en Alice Spring, en el desierto de Australia, en condiciones similares a las de Calama, aunque a menor altura.

Se han incluido también en la tabla 8.3 los valores mensuales de $ET.P./E_p$. Estos valores parecen confirmar lo sostenido por varios autores, entre ellos Grassi, referente a la variación de la razón $ET.P./E_p$ con ciertos parámetros meteorológicos, además de las variaciones debidas al tipo de cultivo y a su etapa de desarrollo. Grassi, por ejemplo utiliza la temperatura como parámetro, a través del coeficiente C_T cuya expresión en grados Celcius es la (8.24).

De esta expresión se desprende que, a constancia de los otros factores que intervienen en la fórmula,

$$ET.P./E_p = 0.968\ C_c\ F\ C_t \qquad (8.25)$$

la razón $ET.P/E_p$ disminuye a medida que aumenta la temperatura.

TABLA 8.3

Evaporación E_p, y evapotranspiración ET.P para alfalfa

Alice Spring, Australia Lat: 23º 48'

Mes	E_p(mm/día)	ET.P (mm/día)	ET.P./E_p
Enero	10,08	8,36	0,83
Febrero	9,71	8,53	0,88
Marzo	8,19	7,13	0,87
Abril	6,10	6,10	1,00
Mayo	4,10	4,59	1,12
Junio	2,96	3,81	1,29
Julio	3,10	3,77	1,21
Agosto	4,10	4,59	1,12
Septiembre	6,18	6,10	0,99
Octubre	7,87	6,88	0,87
Noviembre	9,06	7,96	0,88
Diciembre	9,83	8,10	0,82

Esta misma variación se observa en los valores medidos de ET.P./E_p, ya que los valores de invierno exceden casi en un 50%o a los valores de verano (Dic. - Marzo).

Se puede concluir entonces, que dadas las condiciones de aridez y las temperaturas relativamente bajas existentes en Calama, es probable que los valores reales de ET.P./E_p sean más cercanos a la unidad que al valor 0,5 que indicarían los métodos del segundo grupo.

c) Un fenómeno que favorece la evaporación y la evapotranspiración, y que no es considerado por los métodos del grupo dos, es el fenómeno de la advección. Se define como advección la transferencia horizontal de calor o humedad que existe en las capas bajas de la atmósfera. Esta transferencia puede ser positiva o negativa, según sea hacia o desde la zona considerada. La transferencia de calor hace variar la cantidad de energía disponible para los procesos de evaporación y evapotranspiración; aumentando esta energía si ella es positiva o disminuyéndola si es negativa. La transferencia de humedad hace variar el poder evaporante de la atmósfera en sus capas inferiores, y tiene sobre la evaporación un efecto contrario al indicado para la transferencia de calor, es decir la evaporación aumenta si la transferencia de humedad es negativa, y viceversa. Existen situaciones en que tanto la transferencia de calor como la de humedad actúan en el mismo sentido, aumentando la evaporación y la evapotranspiración. En un oasis por ejemplo la transferencia de calor es positiva, ya que debido a la carencia de vegetación en el desierto circundante, la energía solar recibida por este se gasta en calentar el suelo y el aire, y este aire más caliente y con poca humedad se desplaza hacia el oasis. El aire más frío y húmedo del oasis es desplazado a su vez, creándose una transferencia de humedad negativa.

La cantidad de energía ganada o pérdida por advección puede ser importante, como lo demuestra el estudio realizado por Morgan y Pruitt en Davis, California (1970). Estos autores midieron la radiación neta R_n recibida por un lisímetro sembrado con festuca alta instalado en un campo sembrado del mismo pasto, el calor neto cedido por el suelo G, y la energía utilizada en la evapotranspiración LE, pudiendo

calcular por diferencia la energía recibida por advección H, para períodos de media hora en un día de fuerte advección. Los resultados obtenidos por estos autores, para un período de 24 horas (de 8 A.M. a 8 A.M.), son los siguientes:

R_n = 1,774 mm/día

G = 0,318 mm/día

LE = 5,920 mm/día

H = LE - (Rn + G) = 3,828 mm/día

Es decir, un 64,7°/o de la energía gastada en la evapotranspiración provino de la advección, un 30°/o provino de la radiación neta recibida y solo un 5,3°/o provino del calor cedido por el suelo. La evaporación medida en evaporímetros de pequeño diámetro (30,5 cms.) y de poca profundidad (5 mms.) fue, de 8,14 mm. para el mismo período y para la misma ubicación que el lisímetro.

La razón ETP./E_p fue de 0,73. Desgraciadamente no se dispone de datos de esta razón para este tipo de evaporímetro en condiciones normales, es decir sin advección. Es evidente sin embargo, dado el alto valor de la evaporación comparado con el de la radiación neta, que el evaporímetro también reaccionó a la energía extra proporcionada por advección.

Dadas las condiciones de oasis que presenta Calama, se puede esperar que exista advección y que ésta sea de cierta importancia.

Los escasos datos disponibles parecen confirmar esta hipótesis, como puede apreciarse en la tabla 8.4 en la que se incluyen los valores medios diarios de radiación incidente y de evaporación, para tres meses de 1963. Los datos de radiación corresponden a Chuquicamata y los de evaporación a Calama.

TABLA 8.4

Valores de Radiación y Evaporación

1963

Mes	Radiación R (mm/día)	Evaporación E_p (mm/día)	E_p/R
Agosto	6.79	8.4	1.24
Septiembre	8.50	9.7	1.14
Octubre	9.86	11.8	1.20

Conviene hacer notar que los valores de radiación corresponden a radiación incidente y no radiación neta, por lo tanto el hecho que la evaporación sea mayor que la radiación incidente, implica que se ha recibido energía extra para compensar la radiación neta de onda larga perdida por el evaporímetro. Una estimación grosera de esta radiación de onda larga, permite fijar su valor para esa zona entre 3 a 5 mm/día.

Ante la conveniencia de estimar la variación de E_p/R a lo largo del año, se ha calculado esta razón para el período Abril de 1969 - Abril de 1970, utilizando los datos de radiación de la estación San Pedro en Parshall 2 y los datos de evaporación de Calama. Estos valores se incluyen en la tabla 8.5 y han sido dibujados en la Figura 8.7. También se han incluido en esa figura los valores de E_p/R obtenidos con los datos de E_p de la estación San Pedro en Parshall 2.

TABLA 8.5

Valores de Radiación y Evaporación
1969 - 70

Mes	Radiación R (mm/día)	Evaporación Ep (mm/día)	E_p/R
Abril	8.98	9.4	1.05
Mayo	7.77	8.0	1.03
Junio	7.00	6.6	0.94
Julio	7.42	7.6	1.02
Agosto	8.85	8.0	0.90
Septiembre	10.46	10.2	0.98
Diciembre	12.21	12.1	0.99
Enero (1970)	9.00	10.6	1.18
Febrero	8.07	11.5	1.43
Marzo	7.55	9.8	1.30
Abril	7.60	8.9	1.17

Suponiendo que la radiación de la estación San Pedro en Parshall 2 sea representativa de la radiación en Calama, puede deducirse que la advección es mayor en verano que en invierno. En la Figura 8.7 puede apreciarse que el fenómeno de advección es más importante para la estación San Pedro en Parshall 2 que para Calama. Sin embargo los valores de 1963 de Calama coinciden mejor con la curva de la estación Parshall 2, que con la de Calama para el período 1969 - 70.

Todos estos antecedentes indican que existe advección en Calama y que esta es de consideración, especialmente en los meses de verano. En estas condiciones se justifica suponer que los métodos del grupo 3, (Grassi-Christiansen y Hargreaves I) basados en mediciones directas de E_p, den una mejor aproximación a la evatranspiración potencial real de la zona, que los métodos del grupo 2 que no consideran esta energía extra disponible tanto para la evaporación, como para la evapotranspiración de las plantas.

Los métodos del tercer grupo presentan entre sí diferencias significativas. El método de Grassi - Christiansen da valores mayores en un 40°/o que los obtenidos por el método de Hargreaves I, y un 20°/o mayores que los valores medidos de evaporación. Para este estudio se han adoptado los valores obtenidos al aplicar el método de Hargreaves I a los valores de evaporación diarios mensuales, promedio de los siete años de estadística disponibles en Calama. Se ha adoptado este método dada la concordancia de sus resultados con valores medidos de ET.P. para alfalfa en lugares con similares condiciones de aridez a las existentes en Calama. En la tabla 8.6 y Figura 8.8 se in-

Figura 8.7

VARIACION ANUAL DE Ep / R

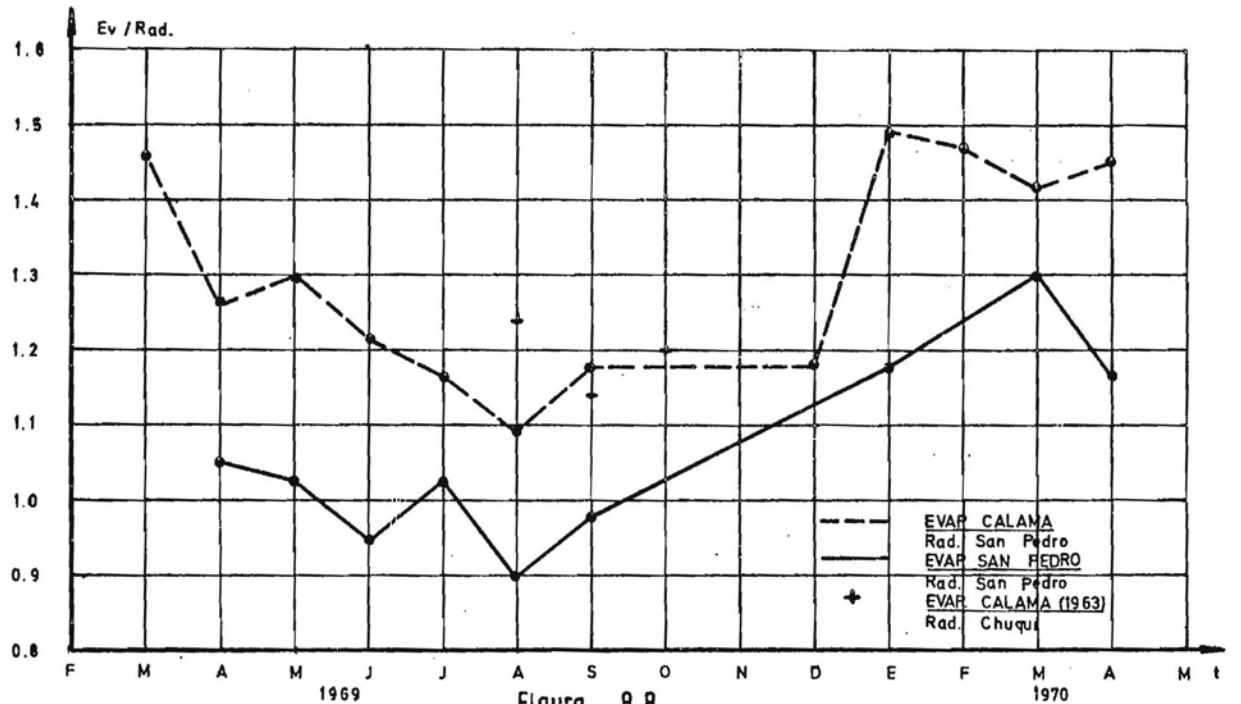
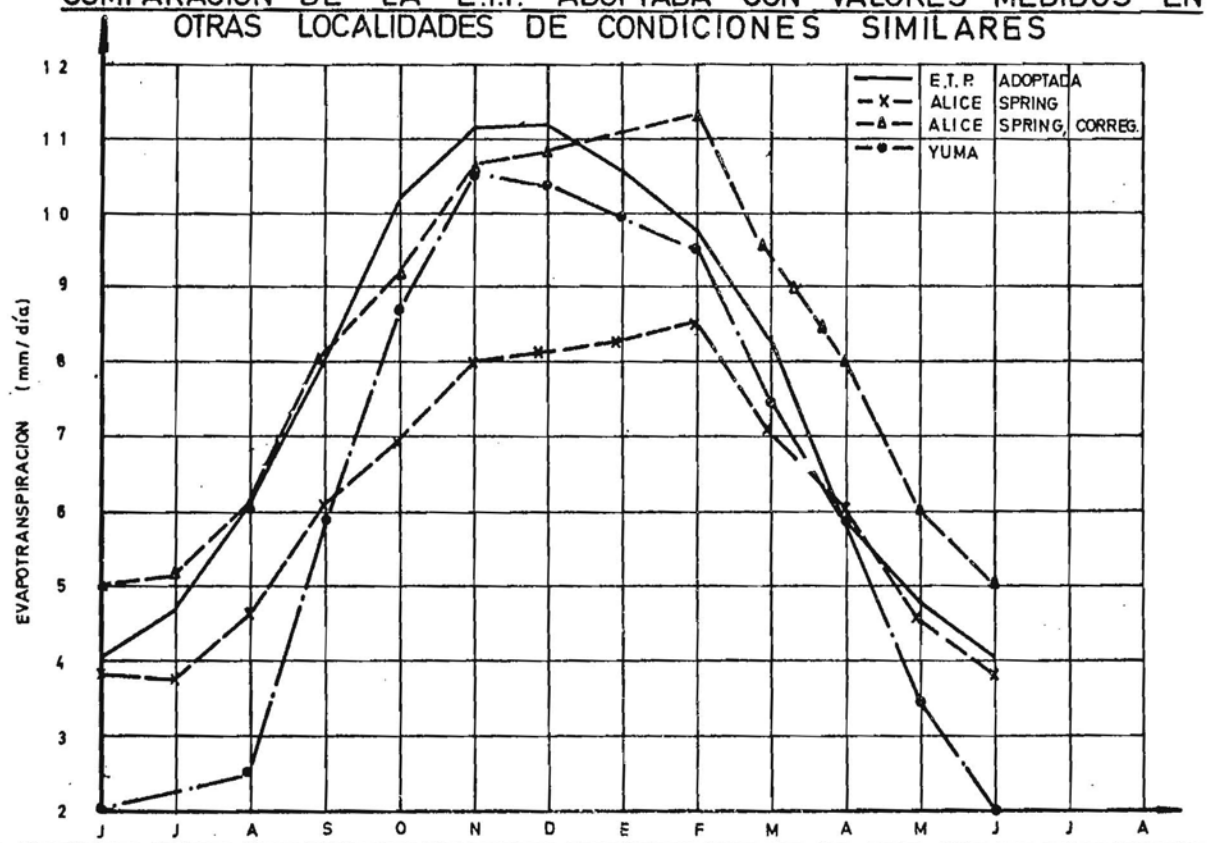


Figura 8.8

COMPARACION DE LA E.T.P. ADOPTADA CON VALORES MEDIDOS EN OTRAS LOCALIDADES DE CONDICIONES SIMILARES



cluyen los valores adoptados de ET.P., los valores medidos en Alice Spring, Australia y los valores obtenidos por Stranberry et al en Yuma, Arizona (Lat 32º 40'N). Estos últimos valores han sido desplazados en seis meses para una mejor comparación, ya que corresponden al hemisferio norte.

TABLA 8.6

Comparación de los valores aceptados de ET.P. para Calama con valores medidos de ET.P. en Alfalfa

Mes	Calama	Australia		Arizona
	ET.P.	ET.P.	ET.P. Correg.	ET.P.
Enero	10.6	8.36	11.08	9.83
Febrero	9.8	8.53	11.30	9.52
Marzo	8.2	7.13	9.45	7.37
Abril	5.9	6.10	8.08	5.84
Mayo	4.8	4.59	6.08	3.44
Junio	4.1	3.81	5.05	2.03
Julio	4.6	3.77	5.00	6.82
Agosto	6.0	4.59	6.08	2.46
Septiembre	7.9	6.10	8.08	5.84
Octubre	10.1	6.88	9.12	8.60
Noviembre	11.0	7.96	10.54	10.41
Diciembre	11.2	8.10	10.73	10.32

Se han incluido en la tabla 8.6 los valores de ET.P. de Australia corregidos por un factor igual a la razón de las evaporaciones medidas en Calama y en Australia. La columna ET.P. corregida, daría un índice de la evapotranspiración que se habría medido en Alice Spring si la evaporación hubiera sido igual a la de Calama.

Los valores adoptados de ET.P. sólo pretenden dar una estimación de la evapotranspiración real de Calama. La bondad de esta estimación sólo puede determinarse mediante mediciones directas de la evapotranspiración. Se considera sin embargo, que ella no constituye una aproximación por exceso y que los valores reales pueden ser superiores, especialmente en los meses de invierno, debido al efecto de la temperatura sobre la razón $ET.P./E_p$.

8.2 Evaporación desde Superficies de Agua.

De acuerdo a las consideraciones hechas sobre advección en el estudio de evapotranspiración, se ha preferido utilizar los datos proporcionados por el evaporímetro para estimar la evaporación desde superficies de agua. El procedimiento seguido ha sido multiplicar E_p por un coeficiente de embalse, menor que la unidad, para obtener la evaporación desde un lago, E_1. Este coeficiente de embalse depende de la profundidad del lago y de la zona en que se encuentre ubicado. Para zonas húmedas varía entre 0.7 y 0.8, mientras que para zonas áridas fluctúa entre 0.5 y 0.7.

Para este estudio se han adoptado los valores mensuales del coeficiente de embalse obtenidos en el Salton Sea, California; ya que de todos los lagos para los cuales se disponía de antecedentes, es éste el que se encuentra en condiciones más similares a las existentes en Calama, puesto que ambas zonas son desérticas y las evaporaciones

desde evaporímetros son prácticamente iguales para cada una de ellas. Existen sin embargo, diferencias importantes entre ambos lugares: la temperatura media diaria anual en Salton Sea, es de 21,5°C, su latitud es 33°05' Norte y se encuentra bajo el nivel del mar; mientras que en Calama la temperatura media diaria es de 13°C aproximadamente su latitud es 22° 28' y está ubicada a 2.300 m. de altura.

En la tabla 8.7 se incluyen los valores mensuales de E_p, del coeficiente de embalse y de la evaporación desde superficie de agua adoptada, E_1. Los valores mensuales de E_1 se han dibujado en la Figura 8.9 junto con los valores promedios obtenidos por el método de Penman, para los períodos 1966-67 y 1969-70.

TABLA 8.7

Coeficiente de embalse y evaporación adoptada, E_1

Mes	E_p (mm/día)	C. de Emb.	E_1 (mm/día)
Enero	11,15	0,57	6,4
Febrero	10,91	0,59	6,4
Marzo	10,23	0,61	6,2
Abril	9,03	0,58	5,2
Mayo	8,01	0,52	4,2
Junio	7,41	0,43	3,1
Julio	7,73	0,37	2,9
Agosto	8,57	0,37	3,2
Septiembre	9,89	0,42	4,2
Octubre	11,27	0,47	5,3
Noviembre	11,67	0,51	6,0
Diciembre	11,74	0,54	6,3

En la Figura 8.9 se puede apreciar, que los valores adoptados concuerdan, en general, con los obtenidos por el método de Penman, excepto en los meses de Febrero, Marzo y Abril.

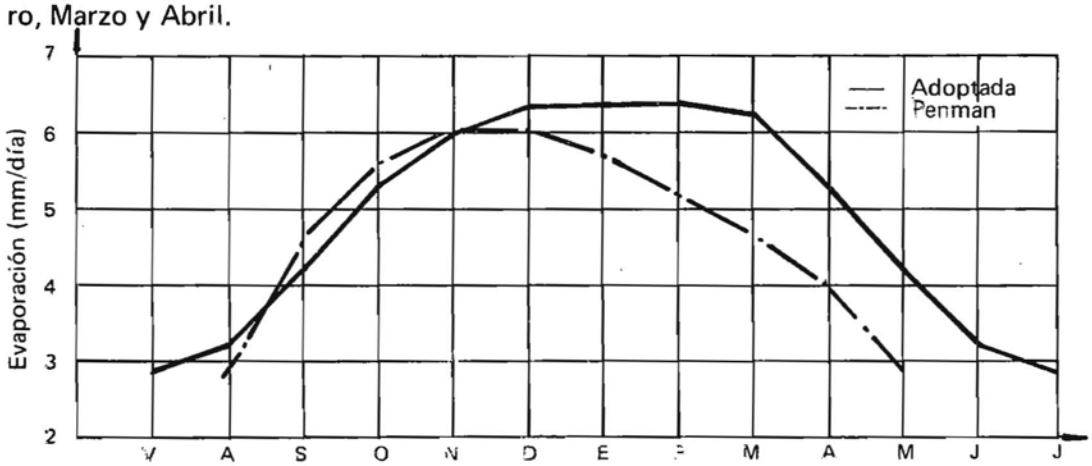


Figura 8.9

CAPITULO 9

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

9.1 Introducción.

El estudio de la calidad química de las aguas del río Loa y sus afluentes, se efectuará tomando como base los parámetros de conductividad y razón de adsorción de Sodio (SAR), para distinguir diferentes sectores del río que presenten tendencias y características comunes en cuanto a propiedades de calidad química. En cada uno de los sectores del río así diferenciados se complementarán los antecedentes de calidad, en base a otros parámetros de importancia como son el contenido de Boro, Arsénico, concentraciones de Sodio y Cloruros, dureza total y pH. Asimismo, se tendrán en cuenta las posibles variaciones mensuales y estacionales de los parámetros químicos más importantes.

Finalmente, se hace referencia a los problemas que puedan derivarse del uso del agua de diversos sectores del río, en riego y agua potable.

La información disponible para efectuar el estudio de calidad química proviene del análisis químico de muestras recogidas por la Dirección de Riego (incluyendo el estudio al respecto del Ingeniero Sr. Hans Niemayer) y muestreos químicos especiales efectuados por el DRH de CORFO para este estudio.

9.2 Caracterización de la Calidad Química en Diversos sectores del Río Loa. (Figs. 9.1 a 9.3).

Sector Ojos del Miño - Lequena.

Las vertientes que constituyen los "Ojos del Miño" y que dan orígen al río Loa, poseen una conductividad eléctrica (CE) de 900 micromhos (mmhos) y un porcentaje de adsorción de Sodio (SAR) de 3,0. Hasta Lequena, estos parámetros se incrementan levemente a 1.050 (mmhos) y a 4,0 respectivamente.

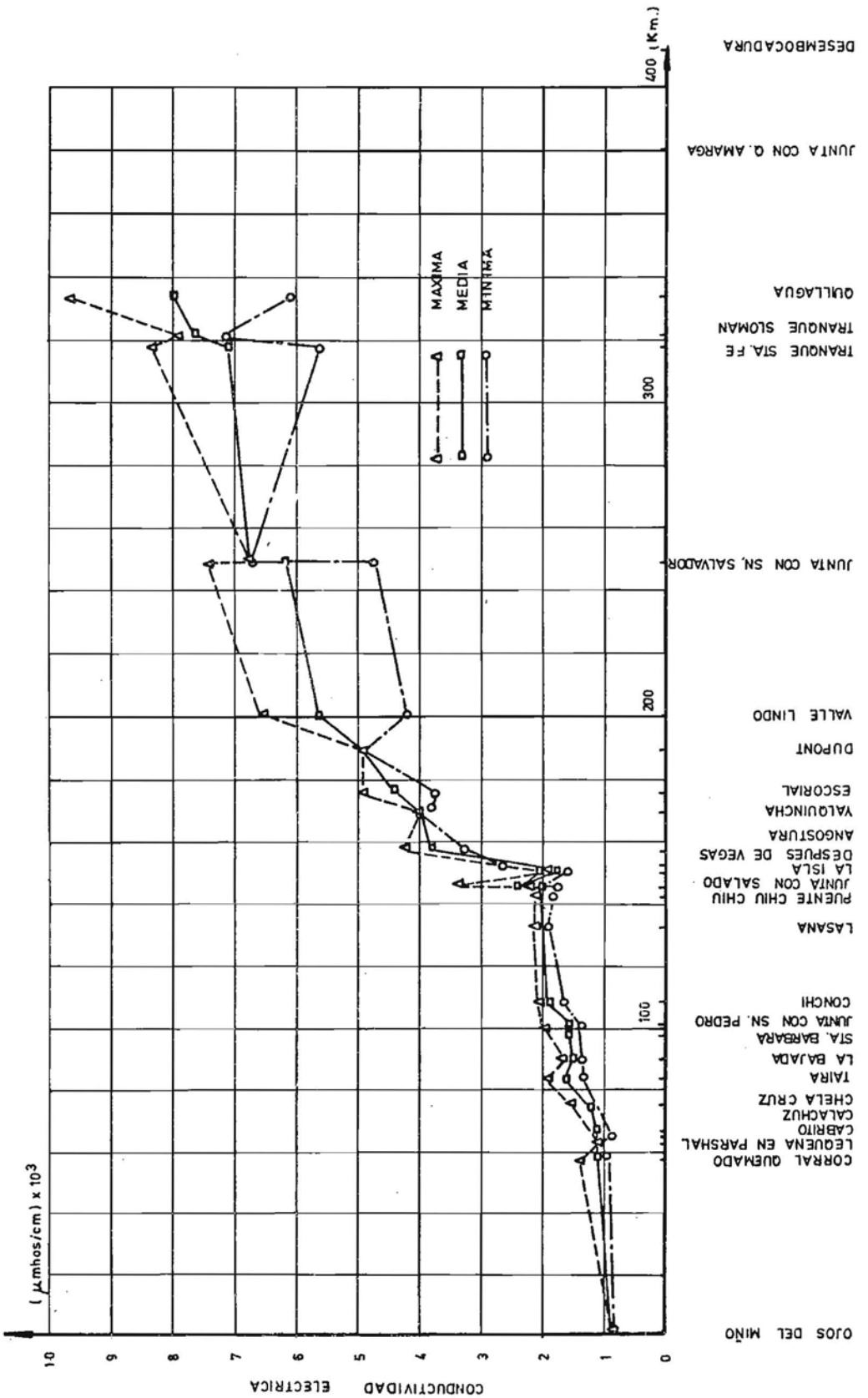
En el sector, el pH alcanza a valores medios cercanos a 8, las concentraciones de Sodio y Cloruros son aproximadamente de 4,5 y 4,3 meq/l y el Boro alcanza valores medios entre 3 y 4 ppm.

Durante los muestreos efectuados en 1969, en Corral Quemado y Lequena, el Boro alcanzó valores de 6,0 y 7,5 ppm y el Arsénico fluctuó entre 0,08 y 0,54. De acuerdo a las normas tradicionales, esta concentración de Arsénico es inadmisible desde el punto de vista de agua potable. Incluso el valor de concentración de Boro, es señalado como peligroso según la bibliografía extranjera.

Sin embargo, como se verá a continuación, al tratar los siguientes sectores del río Loa, las aguas de este sector son las que en forma relativa presentan mejores condiciones de calidad y desde este punto de vista pueden considerarse relativamente de buena calidad.

Figura 9.1

VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL RIO LOA



VARIACION DEL SAR EN EL RIO LOA

Figura 9.2

Figura 9.3

HOYA DEL RIO LOA

Sector Lequena - Junta con el San Pedro.

En este sector, se producen deterioros significativos de los principales parámetros de calidad química, debido fundamentalmente a los aportes de las vertientes y ojos del sector de Chela Cruz y de los Ojos de Taira.

En efecto, a la altura de Chela Cruz el Loa tiene una CE media de 1.250 mmhos y un SAR de 3,3. En Taira, ambos parámetros alcanzan respectivamente valores medios de 1.600 mmhos y de 3,3 , los que se incrementan levemente hasta la junta con el San Pedro. Las aguas de los Ojos de Taira son extraordinariamente contaminantes, ya que en promedio tienen una conductividad de 2.700 mmhos, 19,4 meq/l de Cloruros, 9,2 meq/l de Sodio, y 20 ppm de Boro, según los antecedentes de la Dirección de Riego. Sin embargo, de acuerdo a los análisis de las muestras tomadas por el DHR de CORFO durante 1969 - 70, estos valores serían algo menores a los mencionados: 5,9 a 11 ppm de Boro, 7,6 a 9,3 meq/l de Cloruros y 6,2 a 8,4 meq/l de Sodio.

Antes de la junta con el San Pedro, el Loa presenta los siguientes valores medios aproximados de calidad:

CE	=	1.700 mmhos
SAR	=	3,5
Boro	=	5,8 a 10,8 ppm
Arsénico	=	0,1 a 0,38 ppm
pH	=	8
Dureza total	=	500
Cloruros	=	9 a 10 meq/l
Sodio	=	8 a 9 meq/l

Desde el punto de vista de agua potable estas aguas requieren un tratamiento principalmente por dureza (aguas muy duras según Inditecnor), y por Arsénico, que alcanza valores totalmente inadmisibles. El total de sólidos disueltos es superior a 500 ppm, alcanzando valores promedio del orden de 1.200 ppm, lo que es excesivo. Desde Taira hacia aguas abajo los Cloruros son mayores que 250 ppm lo que también limita su uso en condiciones naturales. Según la clasificación para aguas de riego del "Salinity Laboratory" del U.S. Department of Agriculture, estas aguas presentarían una alta peligrosidad de salinidad y un bajo peligro de Sodio, es decir, deben usarse en suelos con buen drenaje, con prácticas especiales de control de salinidad (lavado de suelos) y para plantas con buena tolerancia salina; no presentarían, sin embargo, mayores problemas con el Sodio intercambiable del suelo. Corresponden a la clasificación C3-S1.

Sector Junta con San Pedro - Junta con Salado.

El río San Pedro aporta al Loa aguas de menor CE (1.300 mmhos) y con un SAR muy similar al de éste. Ello ocasiona al Loa, inmediatamente después de la junta, una mejoría leve de su calidad en relación a los parámetros considerados. Sin embargo, las concentraciones de Arsénico se mantienen con el mismo grado de peligrosidad.

La única contaminación que se produce en este sector, ocurre entre la junta con el San Pedro y Conchi. Necesariamente, ello debe estar ligado a la recuperación que se detectó en este tramo en las corridas de aforo efectuadas y que se consignaron en el estudio de pérdidas y recuperaciones del capítulo 7.

Es así como en Conchi la CE alcanza a 2.000 mmhos y el SAR a 4,3. El Boro decrece levemente (5,7 a 10 ppm) pues las vertientes de Conchi y Cebollar, causantes de esta recuperación del río, prácticamente no contienen Boro. Sin embargo, los Cloruros y el Sodio aumentan a prácticamente 11 y 10 meq/l, respectivamente. El Arsénico mantiene sus valores altos, habiéndose observado variaciones comprendidas entre 0,12 y 0,43 ppm.

Desde Conchi hasta antes de la junta con el Salado, las aguas mantienen prácticamente los mismos valores de CE y SAR, es decir, el sistema de riego del sector agrícola de Lasana y Chiu - Chiu no ocasiona deterioros de estos parámetros. Sin embargo, las concentraciones de Cloruros y Sodio se incrementan en aproximadamente un 10 %.

Al término de la zona agrícola de Chiu - Chiu, el Loa recibe aguas de inferior calidad provenientes del río Salado. Las aguas del Salado tienen en la confluencia una CE media de 5.300 mmhos y un SAR de 15. Estas aguas poseen altas concentraciones de Cloruros y Sodio, alcanzándose valores medios de 55 meq/l y 45 meq/l respectivamente. Las concentraciones de Boro y Arsénico, según antecedentes de la Dirección de Riego, tendrían valores medios de 9 y 0,7 ppm, respectivamente. Sin embargo, las corridas de calidad química efectuadas para este estudio durante el período Noviembre 1968 - Junio 1970, han arrojado fluctuaciones de 7 a 26 ppm de Boro y de 0,28 a 2,5 ppm de Arsénico.

Debido a que los aportes del Salado al Loa constituyen sólo un 30% del gasto de este río, la constitución química de las aguas del Loa después del Salado no es tan crítica en términos relativos. En efecto, los valores medios aproximados de los principales parámetros de calidad química en este punto son los siguientes:

CE	=	2.450 mmhos
SAR	=	5,7
Cloruros	=	16 meq/l
Sodio	=	13 meq/l
Boro	=	6 - 7 ppm
Arsénico	=	0,06 - 0,47 ppm
Dureza	=	500 - 600 (mg/l Ca CO_3)

Estas características hacen cambiar notoriamente su clasificación como agua de riego, según los criterios del U.S.D.A. Salinity Laboratory, ya que corresponde a la categoría C4-S2. Es decir, se pueden describir como aguas con una alta peligrosidad de salinidad que requieren suelos gruesos muy permeables, con buen drenaje, altas tasas de lavado, cultivos muy resistentes a la salinidad y que presentarían problemas de Sodio en suelos más finos.

Con respecto a su uso como agua potable sus características son semejantes a las descritas para el sector de Lequena - Junta con San Pedro, aunque más intensificadas con respecto al Arsénico, dureza y sabor. No presentan tampoco, como en ninguno de los otros puntos de medición, vestigios de Cobre, Fierro y Manganeso. Sin embargo, el total de sólidos disueltos se incrementa a valores comprendidos entre 1.400 y 1.860 ppm lo que está más allá de cualquier máximo permisible (1.500 ppm).

Sector Junta con Salado - Yalquincha.

En este sector se produce una fuerte contaminación y deterioro de la calidad del agua. Ello ocurre fundamentalmente en el tramo después de junta con Salado - Angostura, lo que concuerda plenamente con la alta recuperación del caudal del río que ha sido registrada allí.

En Angostura, la CE y el SAR alcanzan a valores medios de 3.940 mmhos y de 9,78 respectivamente, mientras las concentraciones de Cloruros y Sodio prácticamente se duplican llegando a aproximadamente 30 y 25 meq/l. El Boro ha fluctuado en el año 1969 - 70 entre 7 y 15 ppm y el arsénico entre 0,42 y 1,3 ppm. La dureza se incrementa a valores comprendidos entre 680 y 800 mg/l Ca CO_3.

Este gran deterioro de calidad en tan corto trecho (12 km. aproximadamente) se debe,como se hizo mención, a la presencia de aportes subterráneos al río en ese sector.

En efecto, se han detectado en el Sector de Angostura vertientes de dos tipos de calidad química. El primer tipo tiene una CE del orden de 6.000 mmhos y concentraciones de Cloruros, Sodio y Boro de 55 y 45 meq/l, y 10 a 15 ppm, respectivamente; el arsénico ha registrado valores comprendidos entre 0,6 y 3,6 ppm. El segundo tipo de vertientes tienen una CE de 2.200 mmhos, concentraciones de Cloruros y Sodio de 14 y 11,8 meq/l; el Boro y el Arsénico tienen concentraciones de 6 y 0,2 ppm, respectivamente.

Desde Angostura a Yalquincha - Escorial se mantiene la tendencia al deterioro de la calidad, aunque a una tasa menor, lo que está de acuerdo con lo citado en el estudio de pérdidas y recuperaciones del río. De esta manera, las aguas del Loa a la entrada de Calama tienen las siguientes propiedades según determinaciones de la Dirección de Riego:

CE	=	4.000 mmhos
SAR	=	9,76
Cloruros	=	32,9 meq/l
Sodio	=	25,2 meq/l
pH	=	8,0
Boro	=	7 ppm
Arsénico	=	0,4 ppm

De acuerdo al gráfico de clasificación de aguas de riego del U.S.D.A. Salinity Laboratory, estas aguas son del tipo C4 S3, es decir con alta peligrosidad de Sodio y muy alta por salinidad; pueden ser usadas ocasionalmente bajo condiciones muy especiales de lavado, suelos bien drenados y cultivos muy resistentes, pudiendo producir niveles perniciosos de Sodio intercambiable en los suelos.

Sector Yalquincha - Chintoraste

En este sector se produce una fuente de contaminación adicional. En efecto, aguas abajo de Calama, a la altura de Chintoraste y Valle Lindo, la conductividad sube a 5.700 mmhos y el SAR a aproximadamente 14. Las concentraciones de Cloruros, Sodio y Boro se incrementan en aproximadamente un 50% con respecto a las existentes en Yalquincha - Escorial según se consignó en el sector anterior. Según los análisis de las muestras tomadas en Valle Lindo por el DRH de Corfo durante 1969 - 70, el Boro ha alcanzado concentraciones que fluctúan entre 9,7 y 20 ppm y el Arsénico entre 1,3 y 4,7 ppm. Se estima que esta alta contaminación que se produce en Calama no puede provenir solamente de los efectos de los derrames y retornos de riego del sector agrícola y vegas adyacentes, sino que es una confirmación adicional de que en este sector afloran y se incorporan al cauce aportes subterráneos provenientes de la alta cordillera. Este hecho será considerado y analizado en el capítulo de Balance Hidrológico.

Con estas características, las aguas del Loa prácticamente caen fuera de la mayoría de los gráficos de clasificación de aguas para riego y de las normas máximas aceptables que al respecto se consignan en la bibliografía. Desde el punto de vista del SAR corresponden a aguas con una alta peligrosidad de álcali (S4), que la hacen inaceptable a no ser que se tomen medidas extremas de lavado en suelos gruesos de buen drenaje al que se le agreguen altas dosis de yeso como elemento intercambiador del Sodio.

Desde el punto de vista de su uso como agua potable, corresponden prácticamente a aguas salobres con un altísimo contenido de Arsénico, lo que haría antieconómico y poco aconsejable su tratamiento por los métodos tradicionales.

Sector Chintoraste - Chacance.

Este sector acusa también un aumento paulatino de los índices o parámetros de calidad química, además del brusco deterioro ocasionado por los aportes de las aguas del San Salvador en el sector de Chacance.

Antes de la confluencia de ambos ríos, la CE y el SAR han aumentado a 6.200 mmhos y a 15, respectivamente, con aumentos del orden del 20% de las concentraciones de Cloruros y Sodio. El Boro y el Arsénico, sin embargo, no experimentan aumentos significativos.

Después de la confluencia con el San Salvador, el Loa presenta una CE de 6.800 mmhos, elevándose el SAR a 17,4. Los Cloruros y Sodio se elevan en un 10 % adicional y los aportes de Boro son considerables, pues durante el período muestreado de 1969 - 70, este anión alcanzó variaciones de 11 a 24 ppm. El Arsénico no presenta variaciones significativas, ya que ha fluctuado dentro de los mismos rangos observados en el sector anterior. La dureza del agua, sin embargo, acusa valores bastante altos, muchos de ellos de alrededor de 1.000 mg/l de $CaCO_3$.

Sector Chacance - Quillagua.

Desde Chacance hasta antes del sector agrícola de Quillagua a la altura del tranque Santa Fé, se producen aumentos relativos, poco importantes de las concentraciones. En efecto, la CE alcanza a 7.100 mmhos y el SAR disminuye a 16,2. Las mayores oportunidades de evaporación en los Tranques Santa Fé y Sloman, y sobretodo la influencia del sector agrícola de Quillagua, ocasionan un fuerte deterioro adicional en la calidad química de las aguas.

Es así como en Quillagua la CE llega a 8.000 mmhos y el SAR a 18,4. Las concentraciones de Cloruros y Sodio son prácticamente el doble de las observadas en Calama, alcanzando valores del orden de 75 y 60 meq/l, respectivamente. El Boro y el Arsénico también aumentan su concentración considerablemente acusando variaciones de 16 a 38 ppm y de 2,3 a 4,7 ppm, respectivamente, en el período de 1969-70.

Sector Quillagua - Desembocadura.

En este sector el principal elemento contaminante lo constituye el aporte de la Quebrada Amarga que drena el Salar de Llamará.

Las aguas de esta quebrada, con un caudal de aproximadamente 70 l/s, es decir, un 6°/o del caudal del Loa en ese punto, tienen una CE que ha fluctuado entre 10.500 y 14.000 mmhos y un SAR medio de 24,7. Aún cuando su contenido de Boro es comparable al que tiene el Loa a la altura de Calama y el Arsénico ha fluctuado entre 0,7 y 2,8 ppm, las concentraciones de Cloruros y Sodio son enormes y semejantes entre sí, acusando valores de aproximadamente 140 meq/l (entre 100 y 185 meq/l para ambos).

En la desembocadura,el Loa presenta las siguientes propiedades químicas medias durante 1969 - 70.

CE	=	9.950 mmhos.
SAR	=	18,9
Cloruros	=	87,6 meq/l
Sodio	=	75,2 meq/l
Boro	=	26,8 ppm
Arsénico	=	2,8 ppm
Dureza Total	=	1.535 (mg/l Ca CO_3)
pH	=	7,8

En relación a las variaciones estacionales de la calidad química de las aguas del río Loa, los antecedentes disponibles permiten detectar que en los meses de Mayo a Septiembre se produce un mejoramiento relativo de la calidad, en contraposición con un aumento de las concentraciones en los meses de verano, fundamentalmente. Esta variación estacional se observa más claramente después de los sectores agrícolas de Chiu - Chiu, Calama y Quillagua, y se intensifica hacia aguas abajo en este mismo orden. Por ejemplo, en Quillagua la variación mensual extrema de CE es del orden de 1.000 mmhos, mientras que en Calama es de 500 mmhos.

Otra variación que se ha observado en los análisis es el efecto de las crecidas, principalmente las de Febrero, que hacen aumentar considerablemente las concentraciones durante este mes. Este efecto es especialmente notorio en la cuenca del río Salado.

9.3 Caracterización de la Calidad Química de las Aguas en el Río San Pedro. (Figs. 9.4 a 9.6).

Las aguas de los ríos Cabana e Inacaliri que forman el curso superior del San Pedro, son de excelente calidad.

El río Cabana presenta frente a la azufrera una CE de 500 mmhos y un SAR de 2,5. Sus concentraciones de Cloruros, Sodio y Boro, son muy pequeñas y del orden de 1,3 y 2 meq/l y de 2,0 ppm, respectivamente. Sin embargo, el Arsénico se presenta en concentraciones peligrosas del orden de 0,5 ppm. El agua puede considerarse además, como blanda a moderadamente dura, con valores de aproximadamente 100 mg/l de Ca CO_3.

En la rama del río Inacaliri, se han efectuado muestreos en el sector de las tomas de Siloli y de las tomas de la Chilex en Inacaliri propiamente tal. En general, las aguas de este sector presentan una CE entre 200 y 250 mmhos y un SAR comprendido entre 1 y 1,3. Las concentraciones de Cloruros, Sodio y Boro son despreciables, siendo del orden de 0,20 y 0,9 meq/l y de 0,4 ppm, respectivamente. El Arsénico no ha acusado valores superiores a 0,14 ppm., siendo en general menor a 0,1 ppm. Las aguas son blandas, con un pH del orden de 7,6.

En resumen, las aguas de este sector son excelentes y deben ser consideradas como las de mejor calidad en la cuenca del río Loa.

Otro afluente en el sector alto de la hoya del San Pedro es la Quebrada Colana, que tiene su origen en diversos ojos de agua con CE que fluctúan entre 370 y 1.000 mmhos.

Tanto el río Inacaliri como la Q. Colana se sumen en las llamadas Vegas de Inacaliri, donde el alto poder evaporante de la atmósfera debe ocasionar una fuerte disminución de estos recursos y una mayor concentración de sales.

El otro sector del río San Pedro, es decir, desde la antigua laguna de San Pedro (actualmente drenada) hasta la confluencia con el Loa, las aguas son de inferior calidad a las indicadas para el sector alto, aunque todavía deben ser consideradas de buena calidad y similares a las del sector Miño - Lequena en el curso del río Loa.

El curso del río San Pedro en este sector tiene su origen, fundamentalmente, en una serie de ojos que se reúnen en un cauce común con otros aportes subterráneos en el lugar denominado El Puente. Estos ojos o vertientes presentan calidades de dos tipos, lo que manifiesta su distinto origen. La mayor de ellas, que aporta del orden de 200 l/s, es más salina que el resto, con CE medias de 1.400 mmhos, concentraciones de Cloruros y Sodio de 7,2 y 6,7 meq/l, respectivamente. El Boro y el Arsénico se presentan en concentraciones medias de 3 y 0,38 ppm. El otro conjunto de vertientes es similar en calidad con CE de 830 mmhos; las concentraciones de Cloruros y Sodio son aproximadamente la mitad que la del ojo mayor. El Boro y el Arsénico también acusan valores menores de 2 y 0,26 ppm, respectivamente.

Figura 9.4

VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL RIO SAN PEDRO

VARIACION DEL SAR EN EL RIO SAN PEDRO

Figura 9.5

HOYA RIO SAN PEDRO

Figura 9.6

Desde El Puente hasta la confluencia con el Loa, el río San Pedro mantiene características de calidad prácticamente constantes, a excepción del último tramo comprendido entre el cruce del camino internacional y la confluencia, en que se observa una leve tasa de deterioro que podría estar relacionada con los materiales del lecho y no con aportes contaminantes, pues es precisamente en ese sector del río donde se ha detectado una pérdida de caudal por infiltración.

En este sector del río, las aguas presentan los siguientes rangos de variación de los parámetros químicos más importantes.

CE	=	1.200 a 1.250 mmhos
SAR	=	2,4 a 3,3
Cloruros	=	5,7 a 5,9 meq/l
Sodio	=	4,9 a 5,4 meq/l
Boro	=	2,0 a 6,0 ppm
Arsénico	=	0,20 a 0,80 ppm
Dureza total	=	370 (mg/l Ca CO_3)
pH	=	8,0

Estas aguas desde el punto de vista del riego deben considerarse como de alta peligrosidad por salinidad y baja peligrosidad por Sodio (clasificación C3-S1). Desde el punto de vista del agua potable sólo presentan problemas de dureza (aguas muy duras) y de Arsénico.

9.4 Caracterización de la Calidad Química de las Aguas del Río Salado. (Figs.9.7 a 9.9)

La descripción de la calidad química de las aguas en la cuenca del río Salado, es compleja por la gran cantidad de afluentes e innumerables ojos o vertientes que existen en su parte alta. Para ello, se efectuará primeramente una descripción de la constitución química de sus afluentes principales, mencionando lo relativo a aquellas vertientes y aguadas más características. Luego se describirá la calidad química a lo largo del cauce principal del río Salado propiamente tal.

Río Toconce.

Las nacientes de este río están constituídas principalmente por las vertientes de Linzor, las vertientes tibias del Volcán Toconce y por la Q. La Puna. Estas diferentes fuentes tienen distintas calidades químicas, deteriorándose su calidad en el mismo sentido en que se han nombrado. En general, sus CE varían entre 390 a 840 mmhos, con concentraciones de Cloruros y de Sodio del orden de 4 y 5 meq/l respectivamente, a excepción de las vertientes de Linzor que arrojan valores de 1,9 y 2,4 meq/l. El Boro y el Arsénico presentan valores de 1 a 3 ppm y de 0,3 a 1,3 ppm, respectivamente.

A lo largo de su curso, hasta la toma de la D.O.S., su constitución química es muy pareja con muy pequeñas variaciones estacionales y presentando una leve tendencia al mejoramiento de su calidad. Los valores medios recogidos de estudios anteriores y confirmados por las mediciones del DHR de CORFO, acusan una CE de 840 a 740

Figura 9.7

VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL RIO SALADO

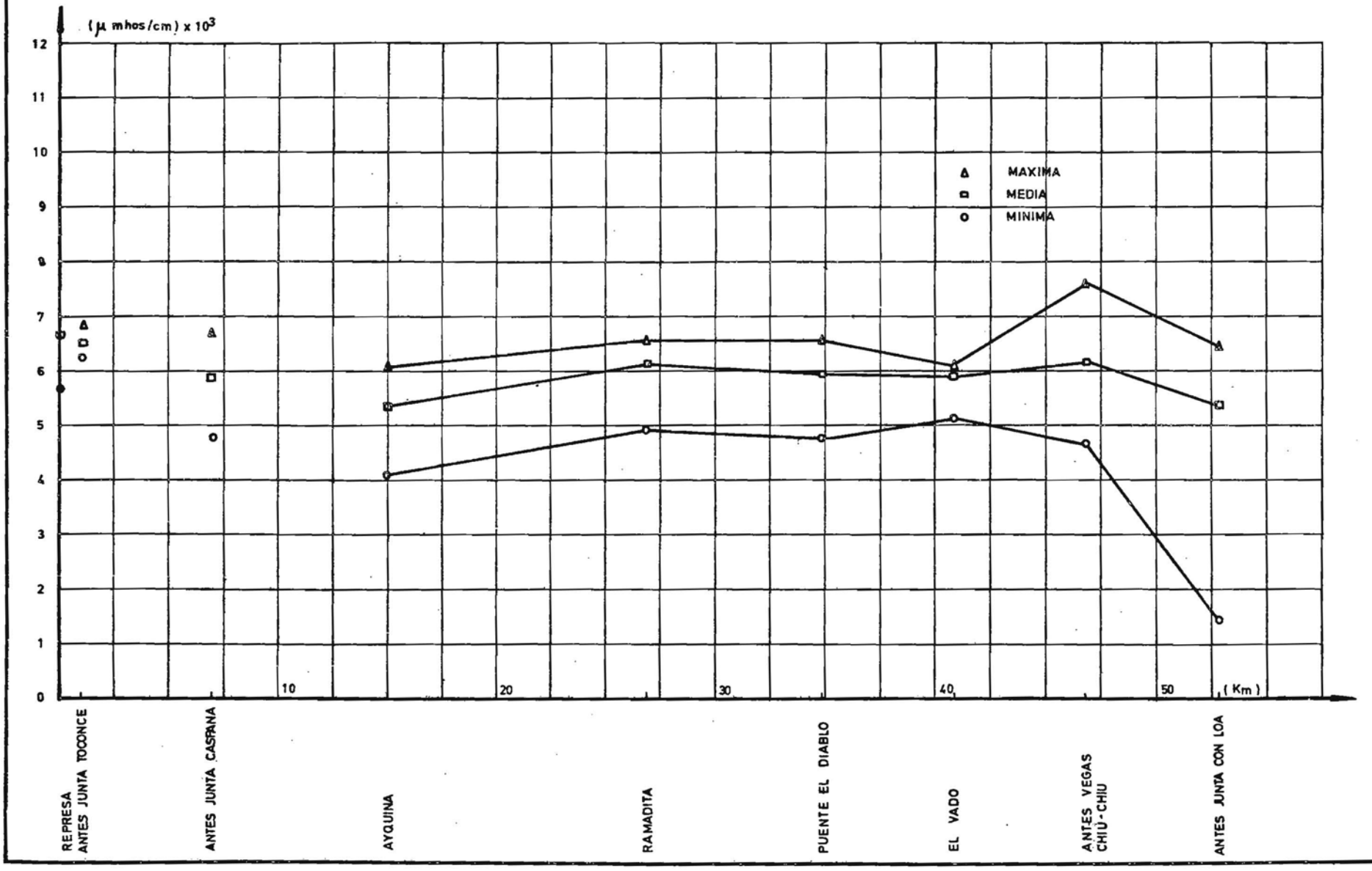


Figura 9.8

VARIACION DEL SAR EN EL RIO SALADO

$$SAR: \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

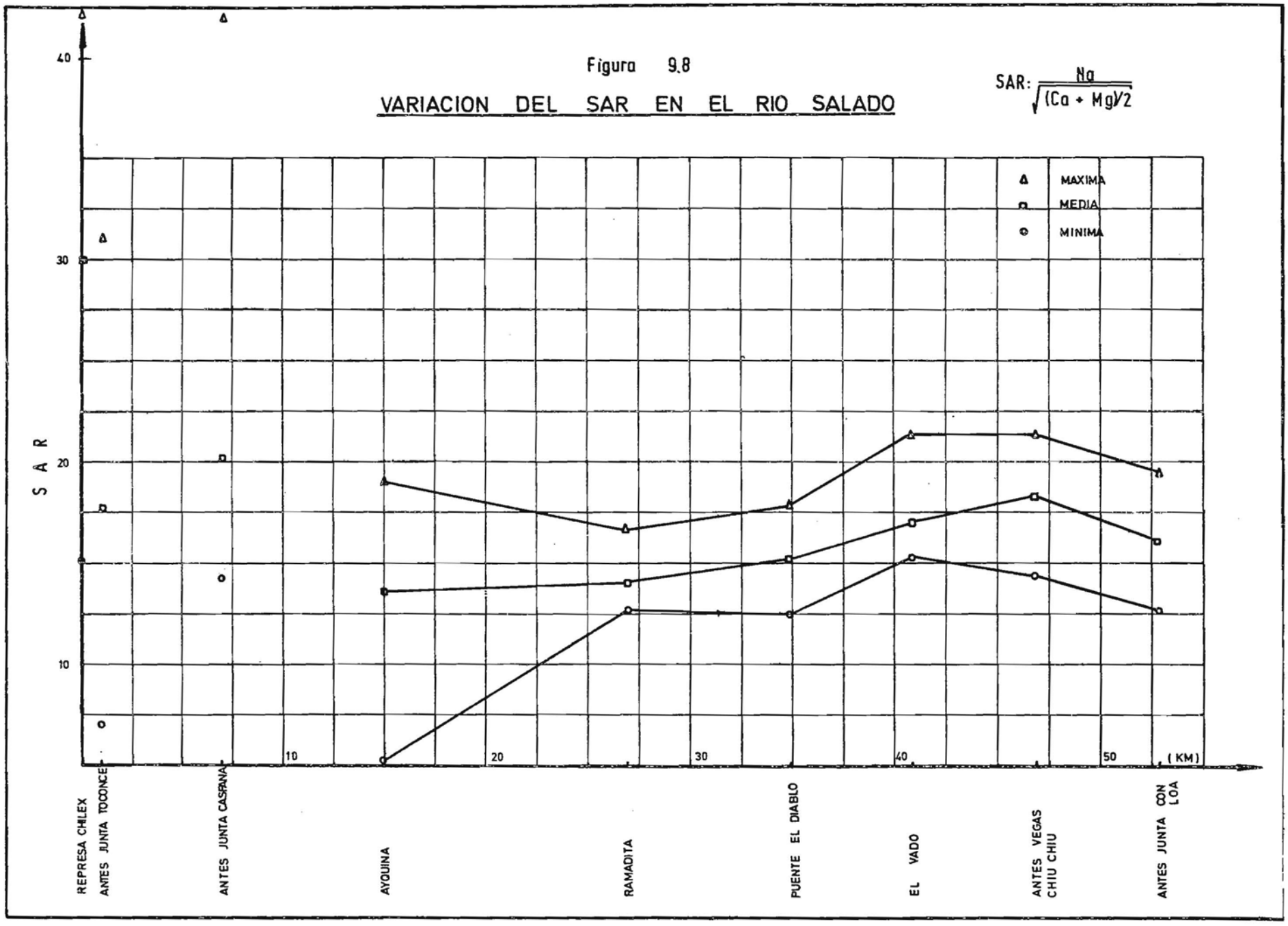
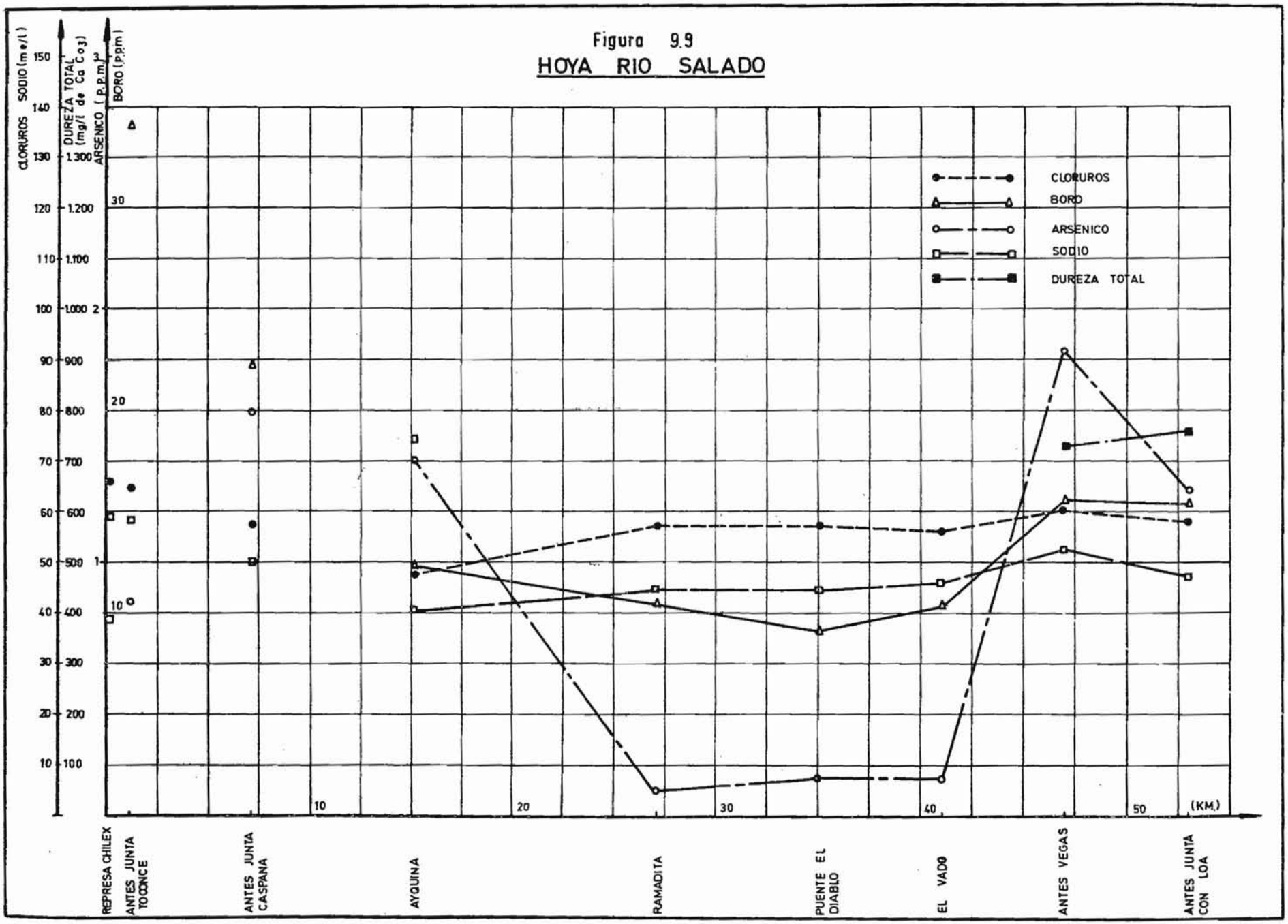


Figura 9.9

HOYA RIO SALADO



mmhos, Cloruros y Sodio de 4,5 meq/l aproximadamente, y concentraciones de Boro y Arsénico de 3 y 1,3 a 0,6 ppm, respectivamente. Las aguas pueden considerarse además como muy duras. A excepción del problema de la dureza y de la alta concentración de Boro, estas aguas son de las mejores junto con las del sector Siloli, Inacaliri y Cabana, desde el punto de vista de agua potable.

Hacia la confluencia del Toconce con el río Salado Chico, confluyen las aguas del río Hojalar, que producen una alta contaminación pues en dicho punto la CE se eleva a 2.500 mmhos, y a excepción del Arsénico que se incrementa a 0,84 ppm, el resto de los constituyentes químicos prácticamente cuadruplican su concentración.

Río Hojalar.

Se dispone de muy poca información sobre la calidad de estas aguas. Las vertientes que dan origen a este río serían de buena calidad desde el punto de vista de la CE que ha presentado valores del orden de los 600 mmhos. El Boro, además, tiene concentraciones de 2 ppm. Sin embargo, el Arsénico ha acusado valores medios en 5 muestras de 0,8 ppm.

Entre estas vertientes y la confluencia con el Toconce, se producen fuertes contaminaciones, ya que según los muestreos de Mayo y Junio de 1967 (1) la CE es mayor que 2.800 mmhos, elevándose el Boro y el Arsenico a 11 y 2 ppm, respectivamente.

Río Salado Chico.

Las nacientes de este río se ubican en el lugar denominado Hoyada Mala donde se encuentran los geiseres del Tatio. Las diferentes fuentes o vertientes que dan origen al curso del río presentan, como es común, diferentes calidades químicas en que la temperatura del agua juega un papel importante. Los antecedentes disponibles sobre estos geiseres arrojan una CE entre 15.000 y 20.000 mmhos, con concentraciones de Cloruros y Sodio del orden de 160 meq/l, y de Boro y Arsénico de 40 a 15 ppm, respectivamente. Las vertientes frías que aportan son de mejor calidad con una CE de 3.500 mmhos. Después de estos aportes el río lleva una CE de 11.500 mmhos con concentración de Arsénico de 10 ppm.

El Salado Chico también recibe aportes del río Tatio que presenta una alta contaminación después de recibir las aguas de diversas vertientes calientes. Su CE es de aproximadamente 4.460 mmhos, con concentraciones de Boro y Arsénico de 20 y 4,9 ppm. respectivamente.

El río Salado Chico continúa recibiendo aportes de diversas fuentes geotermales, y luego de recibir las aguas del río Hojalar por medio de un túnel, es represado con el objeto de captar prácticamente todo su caudal para agua industrial en Chuquicamata. En este punto las aguas acusan las siguientes características:

CE	=	6.700 mmhos
Cloruros	=	66 meq/l
Sodio	=	60 meq/l

(1) Estos muestreos se efectuaron en el túnel que lleva las aguas del Hojalar al Toconce.

Boro	=	42 ppm
Arsénico	=	6 ppm
Dureza	=	389 (mg/l Ca CO_3)
pH	=	8,0

Río Caspana y Turicana.

Las vertientes que dan origen a este río (Aguada de Cablor) tienen altas concentraciones de sales acusando una CE de 14.700 mmhos.

Aguas abajo del pueblo de Caspana, el río Caspana recibe pequeños aportes del río Turicana y del estero Chilcal. En su confluencia con el Salado, su CE alcanza a 3.418 mmhos, con concentraciones de Boro y Arsénico de 4,1 y 0,39 ppm, respectivamente.

Entre el río Salado Chico y el río Caspana, tributa el pequeño río Curti, que presenta una CE de 2.480 mmhos. Sus concentraciones de Boro y Arsénico son de 6,2 y 0,84 ppm, respectivamente, y los meq/l de Cloruros y Sodio alcanzan valores de 19 y 17.

Río Salado.

Desde poco antes de la junta con Caspana, hasta el sifón de Ayquina, se produce un mejoramiento de la calidad de las aguas.

En efecto, en Ayquina el río Salado presenta las siguientes características de calidad.

CE	=	5.300 mmhos
SAR	=	13,5
Cloruros	=	48 meq/l
Sodio	=	40,4 meq/l
Boro	=	12 ppm
Arsénico	=	1,4 ppm
Dureza Total	=	746 (mg/l Ca CO_3)
pH	=	7,7

Desde el punto de vista del riego, estas aguas presentan una muy alta peligrosidad por salinidad y Sodio (clasificación C4-S4 del U.S.D.A. Salinity Laboratory). Además, son totalmente inaceptables como agua potable, especialmente por su alto contenido de Arsénico.

Desde Ayquina hasta unos 5 km. aguas arriba de la confluencia con el Loa, se ha observado una leve tendencia al empeoramiento de la calidad. Ello es más notorio con el índice SAR (debido principalmente a la disminución del catión Calcio), que alcanza valores de 18,6.

Desde este punto hasta la confluencia se observa un mejoramiento de los parámetros de calidad, al parecer debido a los aportes que recibe este último sector, según quedó detectado en el estudio de recuperaciones y pérdidas.

De esta manera, el Salado antes de su junta con el Loa, presenta las siguientes características de calidad química:

CE	=	5.450 mmhos
SAR	=	16,2
Cloruros	=	56 meq/l
Sodio	=	44 meq/l
Boro	=	15 ppm
Arsénico	=	1,3 ppm
Dureza Total	=	761 (mg/l Ca CO_3)
pH	=	7,9

9.5 Caracterización de la Calidad Química de las Aguas en el Río San Salvador.

En su nacimiento recibe los aportes de los Ojos de Opache y de la Q. Quetena.

Las aguas de la Quebrada Quetena son de inferior calidad, presentando una CE del orden de 7.000 mmhos, alta dureza total (1.600 mg/l de Ca CO_3), y alta concentración de Cloruros, Sodio y Boro (64 meq/l, 54 meq/l y 24,8 ppm, respectivamente). Su caudal sin embargo, es muy pequeño.

Los Ojos de Opache tienen una calidad química muy semejante en concentraciones de iones y cationes a las del Loa en Chintoraste, con CE de 5.600 mmhos, pero de mayor dureza que éstas.

Las aguas del San Salvador antes de su confluencia con el Loa, tienen una constitución similar a la de las aguas de Quebrada Quetena; presentando las siguientes características:

CE	=	7.073 mmhos
Cloruros	=	64,5 meq/l
Sodio	=	56,5 meq/l
Boro	=	21,8 ppm

Arsénico	=	3 ppm
Dureza Total	=	1.080 (mg/l Ca CO_3)
pH	=	7,9

Estas aguas sólo podrían tener un uso industrial dadas sus altas concentraciones de elementos nocivos tanto para riego como agua potable.

CAPITULO 10

BALANCE HIDROLOGICO

10.1 Introducción.

En este capítulo se procede a establecer el balance hidrológico de algunos sectores y subcuencas del sistema del río Loa y poder así aportar un antecedente global más sobre la interrelación precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial y escorrentía subterránea.

Dicho balance hidrológico se considera en términos de valores promedios anuales característicos y por lo tanto, puede establecerse la siguiente ecuación simplificada que desprecia las variaciones de almacenamiento:

$$P = Q_S + Q_Z + ET \qquad (10.1)$$

en que:
- P = precipitación media anual
- Q_S = escorrentía superficial media anual
- Q_Z = escorrentía subterránea media anual
- ET = evapotranspiración media anual

Esta ecuación, como es usual, permite evaluar cualquier término en función de los otros. Generalmente es posible estimar, por ejemplo, la escorrentía subterránea mediante mediciones pluviométricas, fluviométricas y estimaciones hidrometeorológicas de la evapotranspiración. En caso que el punto de control asegure que Q_Z es despreciable o nulo, será posible estimar la magnitud de las pérdidas por evapotranspiración.

Una variación o complemento, del concepto de Balance Hidrológico, lo constituye el cálculo de los rendimientos medios de diversas subcuencas, determinándose este rendimiento como:

$$R = \frac{Q_S + Q_Z}{P} \qquad (10.2)$$

es decir, estableciendo directamente el porcentaje de la precipitación que se transforma en escorrentía.

Evidentemente, el cálculo del rendimiento de las cuencas es equivalente a establecer su balance hidrológico simplificado, ya que (1 – R) debe ser igual al porcentaje de la precipitación que se pierde por evapotranspiración, si es que se desprecian las variaciones de almacenamiento de la cuenca.

Primeramente, se establece a continuación el rendimiento de algunas subcuencas del sistema del Loa, y posteriormente se analiza el balance hidrológico propiamente tal en los sectores de Chiu-Chiu y Calama y además en la cuenta total.

10.2 Rendimiento de algunas subcuencas.

El cálculo de rendimientos se efectuará sin la escorrentía de régimen natural de la cuenca, es decir, agregando a la escorrentía medida las mercedes de agua concedidas y en uso.

Las subcuencas elegidas corresponden a las del río San Pedro, Loa en Conchi, río Salado, Loa en Yalquincha , Loa en Chacance (aguas abajo río San Salvador), y Loa en Desembocadura, cuyas características hipsométricas se indican en las tablas siguientes.

Para el cálculo de la precipitación media anual sobre cada una de las subcuencas mencionadas, se recurre al estudio de precipitaciones incluídas en el capítulo 6. En dicho capítulo, se estableció una relación precipitación - altura, que permite calcular el aporte pluviométrico medio. Los cálculos correspondientes se incluyen en las siguientes tablas.

TABLA 10.1

Cuenca Río San Pedro (en Parshall 2)

Rango de altura (msnm)	Superficie (Km^2)	Precipitación (mm)	Vol. de precip. (10^6 m^3)
Menos de 2.400	---	---	---
2.401 a 3.000	---	---	---
3.001 a 3.600	66	58,5	3,86
3.601 a 4.200	405	95,0	38,48
4.201 a 4.800	603	131,5	79,29
Sobre 4.801	190	150,0	28,50
TOTAL	1.264		150,13

TABLA 10.2

Subcuenca Loa en Conchi

Rango de altura (msnm)	Superficie (Km^2)	Precipitación (mm)	Vol. de Precip. (10^6 m^3)
Menos de 2.400	---	---	---
2.401 a 3.000	135	21,8	2,94
3.001 a 3.600	1.411	58,5	82,54
3.601 a 4.200	2.058	95,0	195,51
4.201 a 4.800	1.202	131,5	158,06
Sobre 4.801	402	150,0	60,30
TOTAL	5.208		499,35

TABLA 10.3

Cuenca del Río Salado (en Ayquina)

Rango de altura (msnm)	Superficie (Km^2)	Precipitación (mm)	Vol. de Precip. (10^6 m^3)
Menos de 2.400	---	---	---
2.401 a 3.000	594	21,8	12,95
3.001 a 3.600	831	58,5	48,61
3.601 a 4.200	506	95,0	48,07
4.201 a 4.800	361	131,5	47,47
Sobre 4.801	107	150,0	16,05
TOTAL	2.399		173,15

TABLA 10.4

Subcuenca Loa en Yalquincha

Rango de altura (msnm)	Superficie (Km^2)	Precipitación (mm)	Vol. de Precip. (10^6 m^3)
Menos de 2.400	375	1,8	0,68
2.401 a 3.000	3.411	21,8	74,36
3.001 a 3.600	2.929	58,5	171,35
3.601 a 4.200	2.641	95,0	250,90
4.201 a 4.800	1.576	131,5	207,24
Sobre 4.801	509	150,0	76,35
TOTAL	11.441		780,88

TABLA 10.5

Subcuenca Loa en Chacance (aguas abajo San Salvador)

Rango de altura (msnm)	Superficie (Km^2)	Precipitación (mm)	Vol. de Precip. (10^6 m^3)
Menos de 2.400	2.174	1,8	3,91
2.401 a 3.000	3.720	21,8	81,10
3.001 a 3.600	2.950	58,5	172,58
3.601 a 4.200	2.641	95,0	250,89
4.201 a 4.800	1.576	131,5	207,24
Sobre 4.801	509	150,0	76,35
TOTAL	13.570		792,07

TABLA 10.6

Loa en Desembocadura

Rango de altura (msnm)	Superficie (Km^2)	Precipitación (mm)	Vol. de Precip. (10^6 m^3)
Menos de 2.400	15.932	1,8	28,68
2.401 a 3.000	5.436	21,8	118,50
3.001 a 3.600	4.400	58,5	257,40
3.601 a 4.200	3.792	95,0	360,24
4.201 a 4.800	1.847	131,5	242,88
Sobre 4.801	518	150,0	77,70
TOTAL	31.925		1.085,40

La escorrentía media anual en las secciones de salida de las subcuencas mencionadas, fueron obtenidas en el capítulo 7. En base a la información disponible sobre mercedes de agua (ver capítulo 12), ha sido posible determinar la escorrentía en régimen natural de las cuencas, que es la que se utiliza para determinar sus respectivos rendimientos. La tabla siguiente resume la información disponible y los resultados finales al respecto.

TABLA 10.7

Resumen de Rendimiento de Subcuencas

Cuenca	Superficie (Km^2)	Vol. Prec. (10^6 m^3)	Prec. Media (mm)	Esc. sup. natural (10^6 m^3)	Rendim. %
Río San Pedro	1.264	158,13	125.1	26.11	16.5
Loa en Conchi	5.208	499,35	95.9	72.84	14.6
Río Salado	2.399	173,15	72.2	56.60	32.7
Loa en Yalquincha	11.441	780,88	68.3	142.00	18.2
Loa en Chacance (después de junta con San Salvador)	13.570	792,07	58.4	104.11	13.2
Loa en Desembocadura	31.925	1.085,40	34.0	90.05	8.3

10.3 Balance Hidrológico del sector Lasana - Chiu-Chiu.

El sector de Lasana - Chiu-Chiu, comprende 180 Hás de terrenos agrícolas bajo cultivo y 450 Hás de vegas, lo que totaliza 630 Hás de superficie de alto poder evapotranspirante.

La evapotranspiración potencial en el sector, se supone que es igual a la determinada para la zona de Calama (Ver Capítulo 8), es decir, ésta alcanza a 0,907 l/s/Há o a 7,8 mm/día como promedio anual.

Se supone además, según lo indicado en el Capítulo 6, que los gastos de entrada al sector corresponden a los determinados en la estación fluviométrica de Loa en Conchi y que en promedio anual son de 1.880 l/s.

Los gastos de salida del sector son 1.680 l/s de acuerdo al promedio de aforos disponible en la sección Loa antes de Salado. Ambas cifras corresponden a la estadística referida al año 1969.

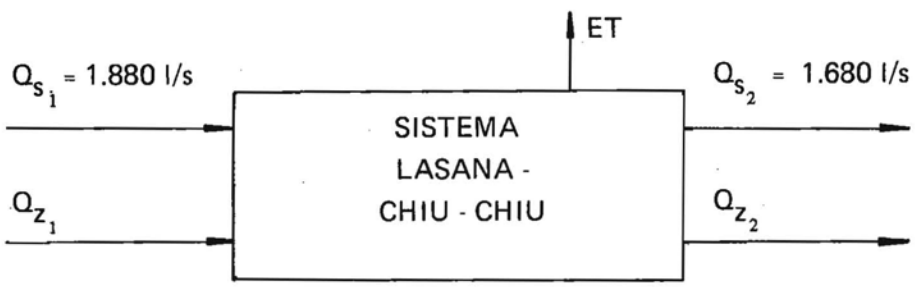
Admitiendo que la precipitación media anual en el sector es despreciable (aproximadamente 10 mm/año), la ecuación del balance hidrológico simplificado es

$$Q_{s_1} + Q_{z_1} = Q_{s_2} + Q_{z_2} + ET \qquad (10.3)$$

o bien

$$Q_{s_1} + Q_z = Q_{s_2} + ET \qquad (10.4)$$

que corresponde al siguiente esquema:

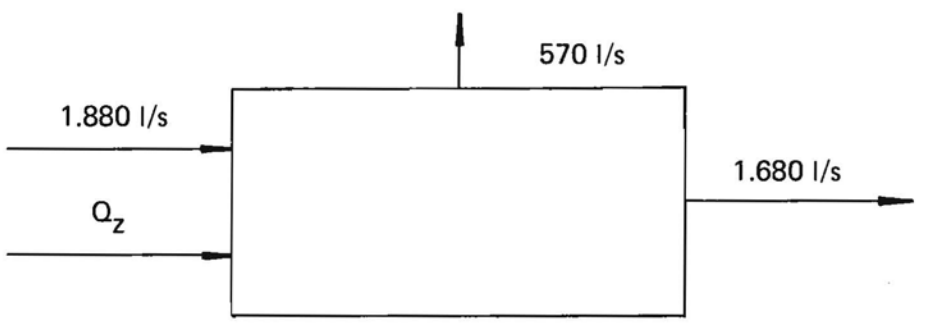


Donde Q_z corresponde al aporte subterráneo neto al sector.

Con esta información, se analizan a continuación tres alternativas posibles con respecto a la magnitud de la evapotranspiración real y a los aportes subterráneos al sector. De acuerdo a lo que implique hidrológicamente cada una de ellas, se podrá llegar a valores aproximados razonables y posibles de estas componentes.

Alternativa 1.

En esta alternativa se supone que la evapotranspiración (ET) real del sector es igual a la ET potencial máxima, es decir, de 0,907 l/s/Há, según lo determinado en el capítulo 8. Luego la ET alcanzaría a 570 l/s lo que implica que de acuerdo al siguiente esquema el gasto subterráneo neto que ingresaría al sector debería ser de 370 l/s.



Se estima que de acuerdo a la información de las corridas de aforos en el sector, y al régimen de pérdidas y recuperaciones en el río, (ver Capítulo 7), este valor de aportes subterráneos netos es excesivo y por lo tanto, la magnitud de la evapotranspiración debe ser menor que la potencial.

Esta alternativa constituye por lo tanto, un caso extremo desde el punto de vista de la máxima evapotranspiración y del máximo aporte subterráneo neto.

Alternativa 2.

Si se supone que el aporte subterráneo neto es nulo, el gasto de evapotranspiración equivaldría simplemente a la diferencia entre la escorrentía afluente y efluente al sector. Es decir, la ET real sería de 0,311 l/s/Há o de 2,74 mm/día. Este valor de ET real se considera bajo de acuerdo a la experiencia que se posee en otras regiones del país, en que el poder evaporante de la atmósfera es mucho menor y la ET real es mayor que el valor mencionado.

Luego, esta segunda alternativa constituye otra posibilidad extrema desde el punto de vista del valor mínimo de la ET real y permite concluir, por lo tanto, que debe existir cierto aporte subterráneo neto al sector.

Alternativa 3.

Según los antecedentes bibliográficos, la ET real puede estimarse como un porcentaje de la ET potencial. Este porcentaje varía según el tipo de cultivo, la

época del año y las facilidades de la planta para absorber agua de acuerdo a la disponibilidad de ésta en el suelo.

Suponiendo que este porcentaje es de 80º/o en la superficie de cultivos y de 60º/o en la superficie de Vegas, la ET real alcanzaría a 0,6 l/s/Há (5,1 mm/día) aproximadamente, es decir, el gasto evapotranspirativo del sector sería de 375 l/s.

Esta magnitud, más el gasto de salida del sector, 1.680 l/s, implica que debe existir un aporte subterráneo neto de 175 l/s, para que agregado al aporte superficial medido de 1.880 l/s, se establezca el balance del sistema.

Se estima que este aporte subterráneo neto de 175 l/s es razonable, ya que cabe recordar que en los cálculos previos se está considerando como gasto afluente al sector a los medidos en Conchi, y de acuerdo a la información sobre corridas de aforo entre este punto y el inicio del sector agrícola de Lasana, se ha detectado una recuperación media del río de 150 l/s.

En resumen, en el sector de Lasana - Chiu-Chiu, la ET real media anual es de aproximadamente 0,6 l/s/Há (5,1 mm/día) y el aporte subterráneo neto al sector sería de 175 l/s aproximadamente.

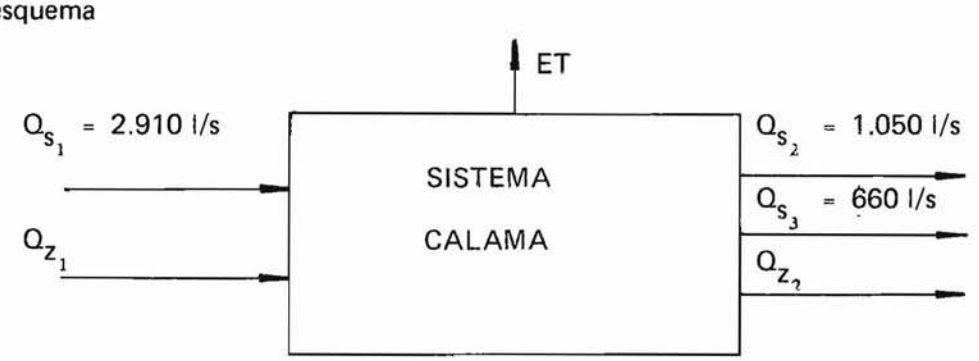
10.4 Balance Hidrológico del Sector de Calama.

El sector de Calama se compone de una superficie de cultivos agrícolas de 1.000 Hás y de una zona de vegas de aproximadamente 2.540 Hás. De acuerdo a los cálculos del capítulo 8, la ET potencial media anual en el sector es de 0,907 l/s/Há o de 7,8 mm/día.

La precipitación media anual es despreciable (aproximadamente 3 mm/año) y el aporte superficial al sector, medido en Loa en Yalquincha, es de 2.910 l/s (estadística medida) en términos de valor medio anual.

La escorrentía superficial efluente del sector lo constituye el propio río Loa, que en Chintoraste representa 1.050 l/s de promedio anual, y el río San Salvador que nace en el sector y que atrae 660 l/s según los aforos disponibles.

El sistema de Calama queda, por lo tanto, representado por el siguiente esquema



al que le corresponde las siguientes ecuaciones simplificadas de balance hidrológico.

$$Q_{S_1} + Q_{Z_1} = Q_{S_2} + Q_{S_3} + Q_{Z_3} + ET \qquad (10.5)$$

o bien

$$Q_{S_1} + Q_Z = Q_{S_2} + Q_{S_3} + ET \qquad (10.6)$$

en que $Q_Z = Q_{Z_1} - Q_{Z_2}$, representa el aporte subterráneo neto al sistema.

Análogamente al caso del sistema Lasana - Chiu-Chiu, se analizarán varias alternativas posibles de balance, para establecer sus implicancias hidrológicas en términos de valores posibles de ET real y de aportes subterráneos netos.

Alternativa 1.

Se supone que la ET potencial previamente calculada es igual a la ET real. Es decir, la ET real alcanza a 3.211 l/s.

De esta manera la ecuación del balance hidrológico queda:

$$2.910 + Q_Z = 1.050 + 660 + 3.211$$

Luego, el aporte subterráneo neto alcanzaría a 2.011 l/s.

Esta cifra parece excesiva, teniendo en cuenta que el aporte superficial al sistema sería del mismo orden de magnitud (2.910 l/s).

Análogamente al caso de Chiu-Chiu, esta alternativa representa un caso extremo por cuanto la ET real es generalmente menor que la ET potencial.

Alternativa 2.

Otra posibilidad extrema, es suponer que los aportes subterráneos netos son nulos y por lo tanto, que la ET real puede despejarse directamente de la ecuación de balance.

De esta manera se llega a un gasto evapotranspirativo de 1.200 l/s que corresponde a una tasa de 0,34 l/s/Há o de 2,9 mm/día.

En base a comparaciones con otros lugares con menor poder evaporante de la atmósfera y mayores cifras de ET real, se estima que el valor así calculado está subestimado.

De los resultados obtenidos en las dos alternativas analizadas, puede concluirse que la ET real del sector debe ser menor que la ET potencial previamente calculada, y que existen aportes subterráneos de cierta consideración. En base a estas conclusiones se analizan dos alternativas más para poder precisar mejor las dos componentes mencionadas.

Alternativa 3.

Si se supone que los aportes subterráneos netos al sistema son iguales al caudal del río San Salvador (660 l/s), la ET real sería simplemente la diferencia de gastos de entrada y salida de Calama del río Loa (2.910 y 1.050l/s, respectivamente).

De esta manera, el gasto evapotranspirativo alcanzaría a 1.860 l/s, es decir, una tasa de 0,53 l/s/Há o de 4,5 mm/día.

Este valor se estima como razonable, pero algo subestimado, por cuanto el cuociente entre ET real y ET potencial sería de 0,58, que de acuerdo a antecedentes bibliográficos es baja para las condiciones meteorológicas y de cultivo de la zona.

Alternativa 4.

Siguiendo un procedimiento analogo al de la alternativa 3 del sistema Lasana - Chiu-Chiu, se ha calculado la ET real posible en base a los coeficientes ET real/ET potencial para la zona de riego (0,8) y la zona de vegas (0,6).

De esta manera la ET real alcanzaría a 0,6 l/s/Há, es decir, representa un gasto evapotranspirativo de 2.120 l/s.

Estableciendo la ecuación del balance con esta cifra, se llega a que el aporte subterráneo neto al sistema de Calama sería de 920 l/s.

De acuerdo con las 4 alternativas analizadas se puede concluir que existe un aporte subterráneo importante al sistema. Teniendo en cuenta que para el sector Lasana Chiu-Chiu los coeficientes ET real/ET potencial de 0.8 para la zona de riego y 0.6 para la zona de vegas dieron resultados que se pudieron verificar en forma aproximada, se puede suponer que la cifra más razonable para estimar el aporte subterráneo a la zona de riego de Calama es la calculada en la alternativa 4, es decir, 920 l/s. Esto indicaría que la ET real alcanzaría a 0.6 l/s/Há (2.120 l/s).

10.5 Balance Hídrico General de la Cuenca del río Loa.

En este punto se presentará un cuadro resumen con las principales componentes de un balance hídrico anual, para cada uno de los subsistemas enumerados en 10.2 y para el sistema global.

A este cuadro resumen, se han incorporado los volúmenes promedio anuales de precipitación (según 10.2), volúmenes de escorrentía anuales en régimen natural (según capítulo 7), captaciones de agua para uso industrial y doméstico (según capítulo 12), exportaciones de agua de cada subsistema y uso interno del recurso, en cada subsistema. Además, se han incorporado las pérdidas por evapotranspiración de los sectores agrícolas y las pérdidas por evaporación desde el cauce, para cada uno de los subsistemas. Las primeras, han sido calculadas ya para los sectores de Lasana - Chiu-Chiu y Calama, en los puntos 10.3 y 10.4, habiéndose completado con el gasto evapotranspirativo de la zona de Quillagua, tomando como base la evapotranspiración potencial estimada para Calama, (capítulo 8), y considerando que en Quillagua existe una superficie evapotranspirante de 430 Hás, de las cuales 122 Hás corresponden a cultivos y 308 Hás a vegas; en base a coeficientes ET real/ET potencial de 0,8 para la zona de riego y 0,6 para la zona de vegas, se ha llegado a un gasto evapotranspirativo promedio anual para la zona de Quillagua de 257 l/s. Las pérdidas por evaporación directa desde los cauces superficiales, se ha determinado adoptando los valores de evaporación desde superficies de agua (E_1) calculados en el capítulo 8, tabla 8.7. En la tabla 10.8, se presenta el cálculo de estas pérdidas, para cada uno de los subsistemas.

TABLA 10.8

Pérdidas por evaporación desde los cursos de agua en la Cuenca del Río Loa

Subcuenca	Superficie Evaporante (Km^2)	Evaporación ($m^3 \times 10^6$/año)
Río San Pedro	0,30	0,54
Loa en Conchi	3,10	5,61
Río Salado	0,72	1,30
Loa en Yalquincha	6,70	12,13
Loa en Chacance (Después de Junta con San Salvador)	11,50	20,82
Loa en Desembocadura	18,20	32,94

De acuerdo a lo anterior, se ha podido confeccionar el cuadro resumen anual que se presenta en la tabla 10.9.

TABLA 10.9

Cuadro Resumen Anual Para los Diferentes Subsistemas de la Cuenca del Río Loa

SUBSISTEMA	Superficie (Km^2)	Volumen precipitación (10^6m^3)	Volumen Escorrentía (10^6m^3)		Pérdidas por evaporación desde cursos de agua (10^6m^3)	Evapotranspiración sectores agrícolas (10^6m^3)	Captaciones para Agua (10^6m^3)		Exportaciones de Agua (10^6m^3)		Usos dentro del Sistema (10^6m^3)	
			Natural	Referida a 1969			Potable	Industrial	Potable	Industrial	Potable	Industrial
RIO SAN PEDRO	1.264	150,13	26,11	12,61	0,54	---	7,66 (*)	5,83	7,66	5,52	---	0,31
LOA EN CONCHI	5.208	499,35	72,84	59,29	5,61	---	7,66	5,83	7,66	5,52	---	0,31
RIO SALADO	2.399	173,15	56,60	21,13	1,30	---	19,71	15,76	19,71	15,45	---	0,31
LOA EN YALQUINCHA	11.441	780,88	176,53 (⁂)	93,03	2,13	11,85	27,37	21,60	27,37	21,29	---	0,31
LOA EN CHACANCE (Despúes Junta San Salvador)	13.570	792,07	138,64 (⁂)	46,83	20,82	78,36	27,37	29,91	19,39	7,77	7,98	22,14
LOA EN DESEMBOCADURA	31.925	1.085,40	124,58 (⁂)	31,54	32,94	86,46	27,37	31,14	16,96	---	10,41	31,14

NOTA:

(*) No se incluyen 16 lt/seg. procedentes de Polapi, ya que no es tributario del Loa.

(⁂) Incluye aportes subterráneos a la zona de Chiu-Chiu (175 lt/seg) y Calama (920 lt/seg).

CAPITULO 11

CONSIDERACIONES GENERALES Y POSIBILIDADES DE MEJORAMIENTO Y OPTIMIZACION DE LA RED FLUVIOMETRICA E HIDROMETEOROLOGICA

11.1 Consideraciones Generales Sobre las Redes Hidrometeorológicas.

Se discuten a continuación, algunos aspectos y criterios generales sobre redes hidrometeorológicas que es necesario considerar en la planificación, diseño y operación de estas redes en general y en el caso de la cuenca del río Loa en particular.

La definición exacta de lo que se entiende por red hidrometeorológica, es todavía controversial. Sin embargo, se puede aceptar que una red hidrometeorológica, "es un sistema organizado e interrelacionado de estaciones hidrológicas y meteorológicas, para la recolección de la información respectiva, en una región, de manera que las variables observadas en cada estación, punto o subregión, permita una interpolación y extrapolación relativamente precisa tanto en el tiempo como en el espacio".

Esta definición sugiere, que aún cuando no existan procedimientos definidos y universalmente aceptados para la planificación y diseño de una red hidrometeorológica (RHM), los criterios fundamentales que son imprescindibles de considerar son los siguientes: a) Objetivos de la RHM, b) Características de la zona o región y c) Aspectos económicos. Ellos a su vez, permiten definir con mayor propiedad la densidad, distribución, duración y continuidad de la RHM que se planifica, diseña o mejora.

a) Objetivo de la RHM.

El diseño de una RHM se facilita enormemente con una formulación clara, precisa y cuantificable de los objetivos y metas que debe cumplir la red y la información recolectada, tanto en términos de costo como operacionales, de calidad y tipo de datos.

Los objetivos que debe cumplir una RHM pueden ser fundamentalmente de tres tipos: para la planificación y desarrollo de los recursos hidráulicos de la región; para la explotación u operación de los sistemas hidráulicos de aprovechamiento y control; y con fines de investigación del origen y comportamiento de los diversos fenómenos hidrológicos que ocurren en la zona.

En la cuenca del río Loa, es indudable que el mejoramiento y optimización de la RHM existente, debe cumplir con estos tres objetivos simultáneamente, aún cuando en distintos grados de intensidad según se consideren diferentes sectores de la cuenca y un programa jerarquizado de desarrollo de la red.

En efecto, debe considerarse una red básica general que apoyada en la existente, permita disponer de la información necesaria para tomar decisiones en relación a la planificación y desarrollo regional de los recursos hidráulicos. Se estima que en general, la red existente, salvo mejoramientos técnicos y operacionales, está cumpliendo este objetivo en mayor proporción que los otros dos ya mencionados.

Desde el punto de vista de la explotación y operación de los sistemas hidráulicos existentes y en proyecto, se requiere cumplir condiciones especiales con respecto a la ubicación, tipo y operación de las estaciones, que tengan en cuenta la naturaleza del sistema hidráulico y su interrelación con el régimen hidrológico natural existente. La consideración de estos aspectos en general son tenidos en cuenta con la actual RHM de la cuenca del río Loa, pero sus posibilidades de mejoramiento y optimización son mucho mayores que con respecto al objetivo anterior. En este sentido, es conveniente señalar la debida importancia que debe dársele al problema de las variaciones estacionales de la calidad de las aguas y a la interrelación entre el régimen del río y la red de canales de riego.

El problema de utilizar una RHM con fines de investigación de fenómenos hidrológicos, debe entenderse como que ciertos componentes de la red, no su totalidad, se destinan a este objetivo en forma especial y única, o bien en forma complementaria o adicional a los otros fines. En todo caso, este objetivo debe hacerse explícitamente aparente, tanto en el diseño y operación de las instalaciones como en la calidad de los datos. En la cuenca del río Loa, se estima que este objetivo no se ha tenido explícitamente en cuenta en la RHM existente, ya que generalmente en la práctica este tipo de necesidades surgen después de algunos años de operar una red mínima y de interpretar y analizar la información a través de un estudio general como el que se presenta en este informe.

b) Características de la región.

Las características de la cuenca del río Loa imparten condiciones muy especiales y determinantes, a veces contrapuestas, para el mejoramiento y la optimización de la RHM existente. Estas características se refieren tanto a factores de tipo físico tales como topográficos, hidrológicos, morfológicos, geológicos, de vegetación, edáficos y meteorológicos, como a factores que dicen relación con la distribución y tipo de recursos humanos y económicos disponibles, y el uso del agua en la región.

Por ejemplo, la gran extensión de la cuenca, la marcada influencia orográfica en la zona cordillerana y el régimen de tipo convectivo de las precipitaciones, requieren una relativa gran densidad de pluviómetros. Asimismo, la naturaleza del régimen hidrogeológico de contaminaciones y recarga, requieren de una mayor densidad de estaciones monitoras de calidad de agua y fluviométricas para estudios e investigaciones especiales. Sin embargo, la escasísima densidad demográfica, su estado cultural y las dificultades de acceso y transporte, dificultan y encarecen la instalación de estaciones y sus posibilidades de operación continua y confiable.

Este tipo de problemas es por lo tanto, necesario compatibilizarlos con los aspectos económicos que se consideran a continuación, de acuerdo a los objetivos planteados y a un plan jerarquizado de desarrollo futuro de la RHM.

c) Aspectos económicos.

En la planificación, diseño, instalación y operación de una RHM, no sólo es imprescindible considerar el costo de las inversiones y de operación del sistema, sino que es necesario tener en cuenta el riesgo y perjuicio de no contar con la información respectiva. En este sentido, adquieren especial importancia, hoy en día, sobretodo en nuestro país y en la cuenca del Loa, preguntas tales como ¿cuál es el valor o el beneficio que

implica un año adicional de información hidrológica en una nueva estación? , ¿cómo debe planificarse y diseñarse una RHM para obtener el máximo beneficio de la información con un mínimo de costo y una máxima calidad y eficiencia? . Los procedimientos para tratar y contestar estas materias están recién en desarrollo y mientras no se les puedan contestar en forma objetiva y simple, no se dispondrán de criterios enteramente científicos para el diseño de una RHM.

El diseño y operación de una RHM debe contemplar el hecho que a partir de un cierto momento, el margen de incertidumbre hidrológica de la información disminuye, junto con el valor o el beneficio adicional o marginal de la nueva información, y el costo adicional o marginal tiende a aumentar. Este hecho es importante, e implica que en los primeros años de operación, la RHM debiera ser más sofisticada, compleja y densa y que con el transcurso del tiempo se tienda a una mayor simplificación.

Finalmente, al considerar los beneficios que aportan los datos hidrológicos en las etapas de planificación, diseño y explotación de sistemas de recursos hidráulicos, debe tenerse en cuenta que esta información es, aunque muy importante, sólo parte de los diferentes tipos de información adicional que se requiere (económica, geológica, etc.) y por lo tanto, debe dársele la ponderación que corresponda, y en esos términos efectuar la evaluación y comparación de los beneficios y costos de la red.

En la planificación, diseño y operación de una RHM, además de considerar los aspectos de objetivos, características de la región y los factores económicos, es conveniente tener en cuenta los criterios posibles de clasificación de redes hidrometeorológicas.

La clasificación de las RHM, puede efectuarse desde los puntos de vista que se resumen a continuación:

1. Objetivos o propósitos de la RHM.

1.1 Reconocimiento general de recursos hidrológicos
1.2 Planificación de proyectos de recursos hidráulicos
1.3 Operación de proyectos de recursos hidráulicos
1.4 Predicción, advertencia y control
1.5 Investigación

2. Proceso o fenómeno observado.

2.1 Precipitación
2.2 Acumulación de nieve
2.3 Nivel y caudal de corrientes superficiales
2.4 Cambios de almacenamiento superficial
2.5 Niveles de aguas subterráneas
2.6 Evaporación y evapotranspiración
2.7 Temperatura y humedad del aire, viento, radiación, insolación.
2.8 Erosión y transporte de sedimentos
2.9 Humedad de suelos

2.10 Calidad de aguas y contaminación

2.11 Uso del agua

3. Tipo y frecuencia de las observaciones.

3.1 Continuas

3.2 Periódicas

3.3 Intermitentes o esporádicas

4. Tipo de instrumentación o registro de terreno.

4.1 Auto inscriptor (gráfico o digital)

4.2 Telemétrico (analógico o digital)

4.3 Manual o visual

4.4 Muestreo (agua o suelo)

4.5 Cuestionario o censo

Un factor común a cualquiera de estas formas o criterios de clasificación es el estado de desarrollo de la RHM, que constituye un factor fundamental en su diseño. En este sentido, es conveniente distinguir primeramente entre una red mínima y una red óptima.

La red mínima se considera como la primera etapa o punto de partida de implantación de la red óptima futura a la cual debe tenderse. Esta red mínima debe,por lo tanto, contemplar los requisitos que deberá cumplir la red futura, ya que a través de sucesivos mejoramientos, transiciones y ampliaciones deberá en el futuro convertirse en red óptima, de acuerdo a los objetivos planteados, a la característica de la zona y a los factores económicos pertinentes.

La red mínima tendrá en general una densidad pequeña de estaciones y por lo tanto, el requisito de calidad de la información es fundamental y mucho más importante que en el caso de una red de densidad y representatividad óptima. Las estaciones de esta red mínima y sus sucesivas etapas de transición estarán en general, sujetas a diversas modificaciones y aún a cambios de ubicación de las estaciones.

Estos cambios de ubicación surgen como conclusión del análisis de la información que se recopila en esta etapa inicial, pero no deberán efectuarse sin antes haber intentado una correlación con las nuevas estaciones que se instalen, a no ser que se demuestre que estas estaciones iniciales de la red mínima, no son representativas en absoluto. (En algunos casos, es necesario incluso volver a operar estaciones discontinuadas).

La red óptima debe constituir la etapa final de desarrollo de la red a la que debe tenderse, ya que es la que debe permitir una interpolación y extrapolación suficientemente exacta, en cualquier punto de la cuenca o región, para poder definir adecuadamente la distribución estadística de las variables hidrológicas en estudio.

En las etapas cercanas a la red óptima es necesario distinguir que las estaciones que componen la red, pueden ser a su vez, de tres categorías: principales o básicas, secundarias y especiales.

Las estaciones principales o básicas constituyen los puntos de apoyo fundamentales de la red, sobre las cuales, a través de métodos hidrológicos especiales (análisis de correlaciones y regresiones, métodos estadísticos, etc.), puede inferirse información general representativa. Principalmente, permiten disponer de un muestreo en el tiempo de la variabilidad hidrológica de la cuenca o región.

Las estaciones secundarias, suelen tener una duración definida, durante el tiempo que se requiere para obtener una correlación aceptable con una o más estaciones primarias. Una vez obtenida esta correlación, la estación podrá discontinuarse ubicándola en otro punto. De esta manera, lo que se pretende con este tipo de estación es lograr un muestreo especial del régimen hidrológico. Estos desplazamientos deben contemplar las posibilidades y magnitudes de los cambios del régimen hidrológico natural que se producen por la influencia de obras hidráulicas y de la influencia de las actividades del hombre, en general.

Las estaciones especiales se justifican, como su nombre lo indica, para estudios o investigaciones particulares, por lo tanto su grado de continuidad y permanencia dependerán de los objetivos y naturaleza de estos estudios.

En el caso de la cuenca del río Loa, para efectuar una clasificación del estado actual de la RHM existente, con el objeto de lograr una planificación y mejoramiento de ella, se tendrá naturalmente que proceder de acuerdo al tipo de estación, según el proceso o fenómeno hidrológico que se está registrando.

Por ejemplo, la red pluviométrica existente puede considerarse como en la etapa primaria, pudiendo distinguirse eso sí, algunas estaciones como las de Calama y Ollagüe que pueden pasar a constituir estaciones primarias en las transiciones futuras a la etapa de red óptima. La red fluviométrica existente está en una etapa de transición hacia la red óptima, pudiéndose reconocer algunas estaciones primarias como la de Loa en Conchi. Se volverá sobre estos aspectos cuando se trate específicamente el punto de criterios y posibilidades de mejoramientos de la red hidrometeorológica existente.

11.2 Recomendaciones y Criterios Generales para el Mejoramiento de la Red Hidrometeorológica de la Cuenca del Río Loa.

En base a los antecedentes incluídos en el punto anterior, al conocimiento que se tiene de la cuenca del río Loa y a los análisis y conclusiones obtenidas de este estudio, especialmente lo relacionado con los capítulos 5 , 6 , 7 , 8 , 9 y 10 se indican a continuación algunas recomendaciones y criterios generales para el mejoramiento de R.H.M. según los diversos fenómenos y procesos hidrológicos que se desea registrar.

11.2.1 Estaciones Pluviométricas.

Según las normas y recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.), la densidad recomendada para una red pluviométrica en zonas desérticas debe estar comprendida entre 1 pluviómetro por cada 1.500 a 10.000 km^2, de la cual entre un 5 a un 10^o/o deben ser pluviógrafos. En zonas montañosas esta densidad debe ser mucho mayor. Otro criterio es que deben instalarse 2 pluviómetros por cada estación fluviométrica.

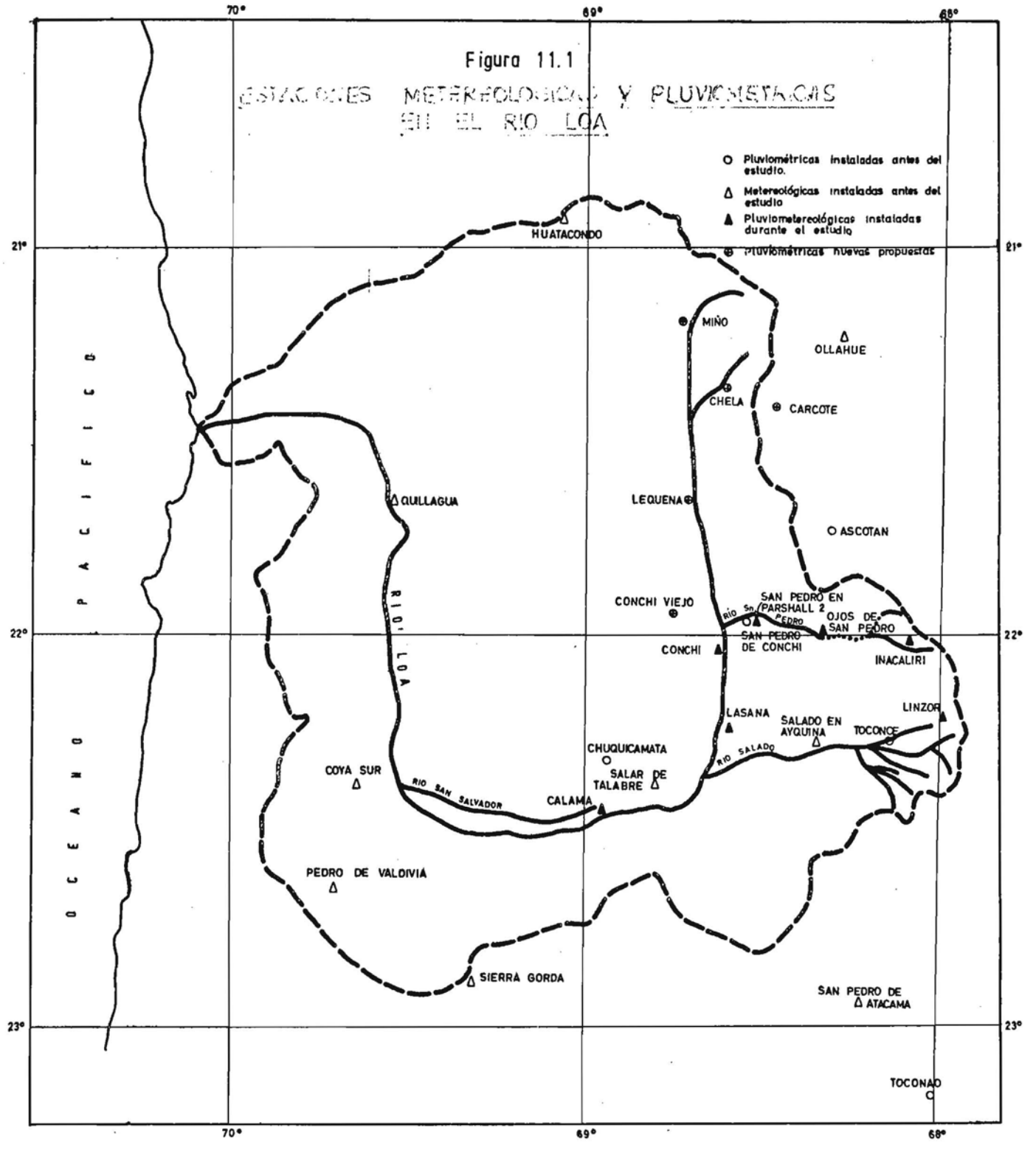


Figura 11.1
ESTACIONES METEREOLOGICAS Y PLUVIOMETRICAS
EN EL RIO LOA
Pluviométricas instaladas antes del estudio.
Metereológicas instaladas antes del estudio
Pluviometereológicas instaladas durante el estudio
Pluviométricas nuevas propuestas
70°
69°
68°
21°
22°
23°
OCEANO PACIFICO
HUATACONDO
MIÑO
OLLAHUE
CHELA
CARCOTE
QUILLAGUA
LEQUENA
ASCOTAN
RIO LOA
CONCHI VIEJO
SAN PEDRO EN PARSHALL 2
RIO SN PEDRO
OJOS DE SAN PEDRO
SAN PEDRO DE CONCHI
CONCHI
INACALIRI
LINZOR
LASANA
SALADO EN AYQUINA
TOCONCE
RIO SALADO
CHUQUICAMATA
SALAR DE TALABRE
COYA SUR
RIO SAN SALVADOR
CALAMA
PEDRO DE VALDIVIA
SIERRA GORDA
SAN PEDRO DE ATACAMA
TOCONAO

Dadas las características fisiográficas e hidrometeorológicas de la cuenca, el principal objetivo que debe cumplir la red pluviométrica, debe ser dilucidar y registrar el régimen de recarga de la cuenca alta del río Loa.

Basándose en la red existente y en el esquema de isoyetas incluido en el capítulo 6 (ver Figura 6.6), las estaciones de Ollagüe y San Pedro de Conchi deben considerarse como estaciones primarias o básicas, dada su ubicación y la longitud de su período de observación. Esto implica reinstalar la estación de San Pedro de Conchi que estuvo en operaciones hasta el año 1946.

El resto de las estaciones pluviométricas, existentes o cuya instalación se propone, deben considerarse por el momento como secundarias, dado su corto período de observación.

Se recomienda seguir operando las siguientes estaciones ya instaladas:

Cuenca del río San Pedro.

1.- Inacaliri
2.- Ojos de San Pedro

Cuenca del río Salado.

3.- Toconce
4.- Linzor
5.- Salado en Ayquina

Río Loa.

6.- Calama
7.- Chuquicamata
8.- Lasana

Se estima que las estaciones con números 1 , 2 , 3 , 4 , 6 y 8 deben tener alta prioridad. Las estaciones con los números 5 y 7 tienen segunda prioridad y podrían eventualmente discontinuarse si consideraciones prácticas así lo requieren. Sin embargo desde el punto de vista de una red óptima, todas estas estaciones debieran considerarse como parte de ella.

La estación Parshall 2 puede discontinuarse y eliminarse ya que es más conveniente reinstalar la de San Pedro de Conchi, como se indicó anteriormente y que se ubica a escasa distancia.

La estación de San Pedro en Parshall 2 debe reubicarse junto a la de San Pedro de Conchi, ya que es más conveniente reinstalar esta última como se indicó más arriba, y la escasa distancia entre ellas no justifica mantener ambas. Cuando se propuso la instalación de San Pedro en Parshall 2 no se conocía la existencia de San Pedro de Conchi hasta el año 1946.

La estación de Conchi podría eliminarse desde el punto de vista de los estudios hidrológicos, sin embargo la próxima puesta en operación del embalse Conchi justifican su permanencia.

La red pluviométrica de la cuenca del río Loa, dada su corto período de observación en relación a lo que se necesita en una zona desértica para definir parámetros pluvio-estadísticos relativamente estables, requiere durante algunos años más, la instalación de nuevas estaciones en zonas no controladas, antes de disponer de un mejor conocimiento de la pluviometría que permita simplificar la red y eliminar duplicaciones y falta de representatividad. En este sentido, dado el desconocimiento que se tiene de la pluviometría en la Cordillera del Medio y en el Loa alto, se recomienda la instalación y operación continuada de las siguientes estaciones en las localidades que se mencionan:

Conchi Viejo
Carcote
Lequena
Chela (o Miño)

En relación al tipo de pluviómetro, dada las distancias, dificultades de acceso y confiabilidad en la operación, se recomienda que ellos sean del tipo de acumulación con visita mensual o estacional. Por consiguiente deberán proveerse con su correspondiente carga de antievaporante y para aquellos propiamente de cordillera, con una carga adicional de anticongelante.

Se recomienda también que las estaciones de San Pedro de Conchi, Ollagüe, Lequena y Toconce dispongan de un pluviógrafo acumulador del tipo de pesada.

11.2.2 Estaciones Nivométricas.

Dada la importancia que tiene la precipitación nival en el régimen de recarga de la cuenca, la red hidrológica debe contemplar este tipo de estaciones.

No existe experiencia en la zona sobre este tipo de mediciones, además que las dificultades prácticas y las características fisiográficas e hidrometeorológicas dificultan enormemente la medición de acumulación de nieves.

Dadas las características fisiográficas de la cuenca del río San Pedro y su influencia en el Embalse Conchi y en el sistema de abastecimiento a Chuquicamata, se recomienda que a modo experimental se instale una ruta nivométrica en esta cuenca, posiblemente en un sector tal como Ojos de San Pedro o en la zona de Cabana-Siloli.

Las mediciones que se efectúen en esta ruta, en conjunto con las medidas en pluviómetros de acumulación, permitirían tener un antecedente más completo y fidedigno del régimen de precipitaciones, además de posibilitar un mejor pronóstico estacional de los escurrimientos superficiales para la operación de los sistemas de aprovechamiento.

En relación a la posibilidad de instalar rutas de nieve en el sector de Ollagüe y en la cuenca alta del Loa, se recomienda diferir esta decisión hasta no tener mayores antecedentes sobre la eficacia de la operación de la ruta de nieve en la cuenca del río San Pedro.

11.2.3 Estaciones Fluviométricas.

Las correlaciones entre las estaciones fluviométricas existentes que se efectuaron en relación al estudio de corrección y ampliación de estadísticas, hacen llegar a la conclusión de que no es posible encontrar correlaciones fidedignas y permanentes que permitan diferenciar entre estaciones primarias y secundarias,o asegurar que ciertas estaciones sean susceptibles de reubicarse o discontinuarse por cuanto la escorrentía en dichos lugares se pueda determinar en base a correlaciones previamente establecidas con estaciones fluviométricas básicas. Este hecho se debe en parte a las características de inestabilidad de las secciones fluviométricas y a las perturbaciones que ocasionan en el régimen natural del río las diversas extracciones, especialmente las de riego.

Sin embargo el análisis de los perfiles fluviométricos del río Loa y sus tributarios, obtenidos en base a corridas de aforos (del capítulo 7 punto 7.1.2), son extraordinariamente útiles para determinar algunos criterios de modificación de la red de estaciones fluviométricas.

En efecto, en base a la red existente, al régimen de pérdidas y recuperaciones en el río y suponiendo por el momento que la red fluviométrica sólo debe estar orientada a obtener información para el reconocimiento y planificación de los recursos hidráulicos, se pueden recomendar las siguientes modificaciones en la red fluviométrica actual:

a) Reinstalar adecuadamente una estación limnigráfica en Loa en Lequena con el objeto de registrar el comportamiento del Loa alto. Actualmente existe un aforador tipo Parshall en esta localidad, sin embargo sus condiciones de instalación, capacidad y mantención no permiten una medición razonablemente precisa del gasto.

Las mediciones en esta estación deben combinarse con mediciones correspondientes en la futura aducción de Lequena que extraerá agua para uso urbano e industrial en este punto.

Su instalación debe asegurar mediante pretiles estables, la conducción de todo el caudal normal hacia el tramo o estructura de medición propiamente tal y la estimación mediante métodos hidráulicos indirectos, de los caudales mayores que sobrepasen la capacidad normal del tramo de medición.

Ello puede requerir estructuras de concreto o similares de un costo relativamente alto, pero el comportamiento del río así lo requiere, por lo que esta posibilidad debiera ser considerada en todas las estaciones fluviométricas que se instalen o mejoren.

b) El régimen hidrológico del río San Pedro registrado mediante las estadísticas fluviométricas disponibles y sobretodo en base a las corridas de aforos justifican solo una estación fluviométrica que debe mantenerse y seguirse operando. Ella es la estación denominada San Pedro en Parshall 2, aguas arriba de la nueva captación de la Compañía Explotadora del mineral de Chuquicamata. Por lo tanto se recomienda discontinuar la estación de San Pedro en Parshall 1.

Sin embargo en la estación de Parshall 2, debe rediseñarse el canal revestido de acceso, por cuanto la gran pendiente que tiene provoca un régimen de torrente que prácticamente en la sección entrada del Parshall provoca un resalto semiahogado que resta precisión a las mediciones de velocidad.

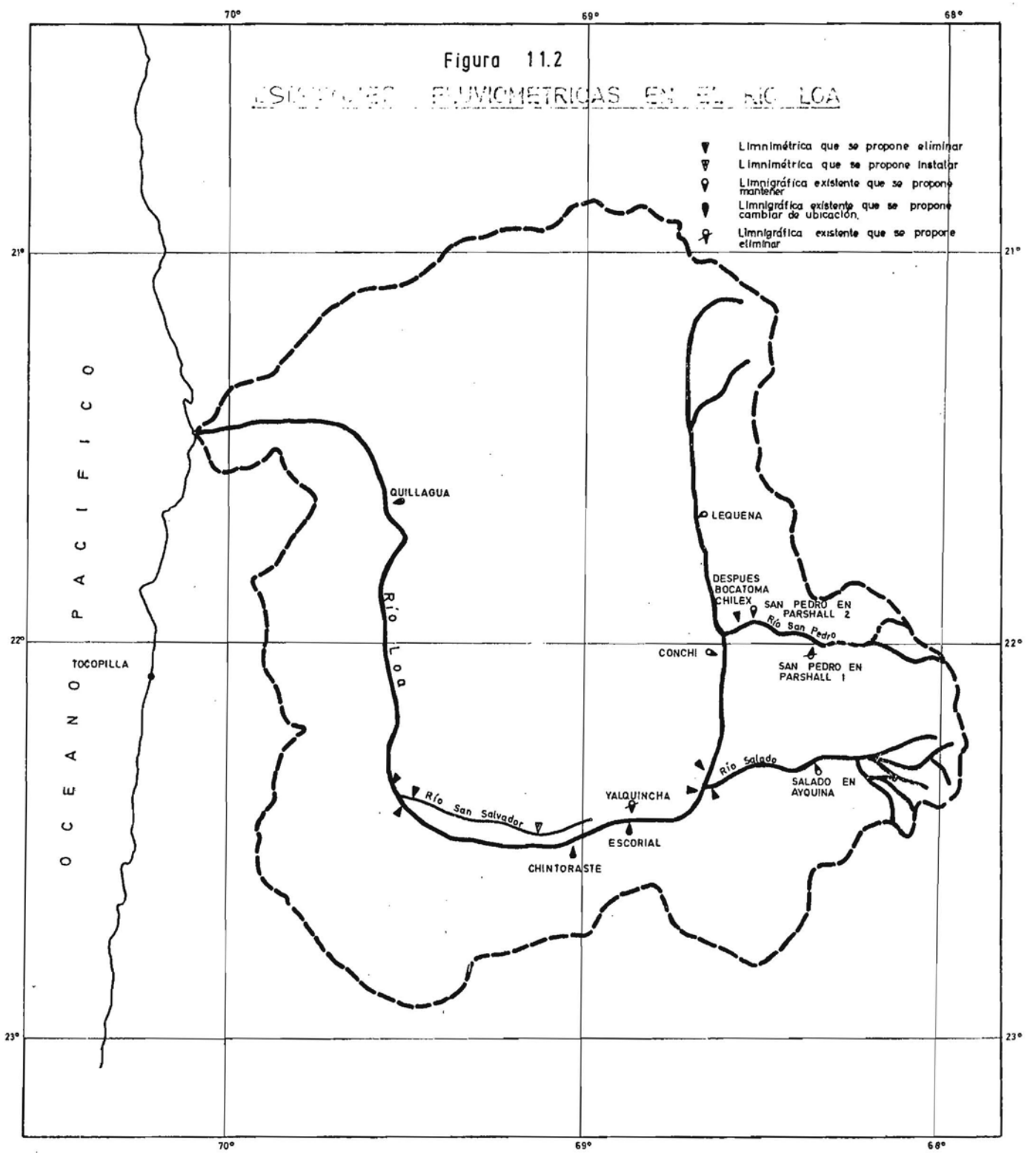


Figura 11.2

ESTACIONES FLUVIOMETRICAS EN EL RIO LOA

c) La estación de Loa en Conchi, por su ubicación, su antiguedad y su importancia para la operación del embalse Conchi, debe ser considerada una estación primaria o básica en la cual debe dársele una importancia muy especial a la calidad de las mediciones.

Para ello se recomienda una rectificación del cauce en el tramo de acceso a la actual sección de aforos y un peralte del radier del canal revestido del tramo de aforos para lograr una efectiva sección de control que lo independice de las variaciones estacionales de la vegetación de aguas abajo. Ambas medidas en conjunto conducirán a una mayor estabilidad y permanencia de la curva de descarga. Asimismo debe asegurarse la erradicación de lamas que tienden a crecer en el canal revestido, para lo cual puede bastar la mayor velocidad del agua que provocará el peralte del radier, o bien intentar aplicar una solución semicontinua de sulfato de cobre.

d) El gasto registrado en Salado en Ayquina se mantiene igual practicamente hasta la confluencia con el río Loa, pero aproximadamente a 6 Km. de este, el río Salado presenta una recuperación, que en algunas épocas del año es relativamente significativa. Esta recuperación, de acuerdo al estudio de pérdidas y recuperaciones del río, (Capítulo 7) no proviene de la cuenca de recarga cordillerana y por lo tanto registrar el río Salado justo antes de la confluencia con el Loa no sería totalmente representativo del régimen hidrológico de casi la totalidad de la cuenca.

Cualquier aprovechamiento para agua industrial en la cuenca del Salado debe provenir fundamentalmente del sector aguas arriba de donde se produce esta recuperación.

Por lo tanto para registrar el comportamiento hidrológico de prácticamente la totalidad de la cuenca del río Salado y para disponer de información para el aprovechamiento de sus aguas, basta con mantener la actual estación de Salado en Ayquina.

Con respecto a los aportes directos del Salado al Loa, que incluirían los gastos de Salado en Ayquina más la recuperación final, se estima que desde un punto de vista económico y práctico basta que estos queden incluídos en los registros de la estación de Loa en Escorial.

e) Entre la confluencia del río Loa con el río Salado hasta la zona de Calama, se produce una importante recuperación del río que proviene de aportes subterráneos que son interceptados por el cauce del Loa en este tramo. Por este motivo, se justifica instalar en forma permanente y en carácter de estación primaria una estación limnigráfica inmediatamente aguas arriba de la zona de riego de Calama. Esta estación serviría además para la racional operación del sistema de riego de Calama.

Las recuperaciones del río en el sector Junta con Salado-Yalquincha, han sido ya analizados en este estudio (ver capítulo 7). Por lo tanto, en forma similar al caso del río Salado, se estima que desde el punto de vista de obtener información hidrológica para la operación del sistema de riego de Calama y para los otros usos hacia aguas abajo, basta económica y prácticamente una estación limnigráfica inmediatamente aguas arriba de Calama.

Actualmente se opera la estación de Escorial. Sin embargo, el estudio de las estadísticas correspondientes confirman que dada su ubicación, esta estación está influenciada por el régimen de riego ya que existen tomas de canales aguas arriba de ella.

Por este motivo se recomienda estudiar una nueva ubicación, aguas arriba de esta estación, o bien considerar el control limnigráfico de los canales que la afectan. La importancia hidrológica y operacional de esta ubicación, así lo justifica.

En caso de decidirse reubicar una nueva estación, la actual no deberá discontinuarse hasta no haber logrado una adecuada correlación entre ambas.

f) Una estación fluviométrica, inmediatamente aguas abajo de Calama, sólo se justifica como estación para estudios especiales relacionados con el régimen de uso y recuperaciones de agua en las Vegas de Calama. Por lo tanto, este tipo de estación sólo debe mantenerse por un tiempo limitado, hasta el término de dicho estudio.

La actual estación allí existente, Loa en Chintoraste, por su ubicación, no capta la totalidad de los derrames de riego de la zona de Calama, lo que ha podido verificarse por medio de fotografías aéreas de inspecciones de terrenos y corridas de aforos; por este motivo, se considera que esta estación no es representativa y en caso de iniciarse un estudio más detallado del régimen de uso y recuperaciones en las Vegas de Calama, se recomienda su reubicación hacia aguas abajo, cercano al sector denominado Valle Lindo. En caso de no iniciarse este estudio se recomienda discontinuar esta estación.

g) De acuerdo a los antecedentes disponibles, para caracterizar el régimen hidrológico del río San Salvador bastaría instalar una estación fluviométrica en su parte alta, aguas abajo de la confluencia de Ojos de Opache con Quebrada Quetena.

Este río se caracteriza por no estar afectado de crecidas y por estar influenciado por el régimen de riego de las vegas de Calama. Por estos motivos, es posible que esta estación pueda ser considerada como transitoria, ya que con el transcurso del tiempo podría obtenerse una correlación confiable con la estación de Escorial.

h) La última estación fluviométrica que se justifica operar en el río Loa debiera estar ubicada aguas arriba del pequeño sector agrícola de Quillagua, con el objeto de caracterizar hidrológicamente la parte baja, francamente desértica del río Loa. Actualmente existe en este sector una estación fluviométrica, denominada Loa en Quillagua. Sin embargo, su ubicación, prácticamente en medio de la zona de riego de Quillagua, la descalifica como estación representativa del régimen propio del río. Este hecho ha quedado confirmado por el análisis de las estadísticas de la estación y por diversas inspecciones de terreno.

Por estos motivos se recomienda discontinuar esta estación y reemplazarla por una nueva ubicada entre el tranque Santa Fé y el tranque Sloman, donde las condiciones del río facilitan la instalación de una estación más estable y representativa. Es necesario notar que el tranque Santa Fé está totalmente embancado y sin operar, y por lo tanto no afectaría la estación.

Finalmente, se recomienda que los antiguos limnímetros todavía existentes en el sector de la confluencia del Loa con el San Salvador, se eliminen ya que hidrológicamente no se justifican, además que las condiciones del río dificultan una instalación confiable y económica.

11.2.4 Estaciones de Calidad de Aguas.

Se estima, que los antecedentes anteriormente disponibles y el análisis efectuado en el capítulo 9 de este estudio, permiten poseer antecedentes suficientes para una adecuada caracterización y muestreo especial del régimen de calidades del agua en el río Loa y sus afluentes más importantes.

Sin embargo, deben contemplarse algunas estaciones **permanentes** de calidad de agua para efectuar un muestreo de las variaciones temporales de la calidad del agua en algunos puntos representativos que estén directamente relacionados con las obras de aprovechamiento (embalse, aducción), y los sistemas de uso de las aguas (zonas de riego).

En base a estos antecedentes y con este criterio, se recomienda operar estaciones permanentes de muestreo en los siguientes lugares.

Lequena

Aguas arriba Embalse Conchi

Yalquincha (o equivalente)

Quillagua (Aguas arriba zona riego)

Una de estas estaciones podría ser una estación monitora automática, para la inscripción de los parámetros más importantes que caracterizan la calidad del agua. Esta estación podría ser la de Yalquincha.

En caso que se estime conveniente que en la regla de operación del Embalse de Conchi se contemple la regulación de la calidad del agua en las zonas de riego servidas, sería necesario mantener mediciones de calidad en el efluente del embalse.

Se recomienda además que en los lugares de las captaciones de agua potable (Siloli, Toconce, San Pedro, etc.) se mantenga un programa regular de muestreo para detectar variaciones peligrosas de la calidad del agua, provenientes fundamentalmente del régimen de crecidas de la cuenca.

Como parte de las estaciones de calidad de agua, se cree necesario contemplar mediciones de arrastre de sedimentos. Dada la naturaleza del río y las limitantes de orden práctico y económico, se recomienda que exista una sóla estación para estos efectos y que quede situada inmediatamente aguas arriba del Embalse Conchi.

11.2.5 Estaciones Meteorológicas.

Las estaciones meteorológicas termopluviométricas y pluviométricas existentes presentan en general falta de continuidad de registros y algunas de ellas han sido discontinuadas.

Sus características, y comentarios sobre sus registros, han sido incluídos en el punto 5.1 del capítulo 5.

Para una conveniente caracterización del régimen meteorológico de la cuenca y como un apoyo indispensable de futuros estudios hidrológicos en la región, se recomienda la instalación y operación continuada de seis estaciones meteorológicas.

Estas estaciones deberán contar con los siguientes instrumentos, como mínimo:

Pluviómetro (o nivómetro).
Evaporímetro (con termómetro de agua y anemómetro)
Termómetro de máxima y mínima
Termohigrógrafo
Psicrómetro
Heliógrafo
Actinógrafo
Anemógrafo
Veleta

Dos de estas estaciones deberán estar instaladas en zonas de riego. Se recomienda que los lugares sean Calama y Quillagua.

Tres estaciones deberán registrar las condiciones meteorológicas cordilleranas. Los lugares podrán ser: El Tatio (actualmente existente), Siloli y Ollagüe.

La última estación deberá estar adyacente al Embalse Conchi, con el objeto de disponer de información útil para su operación.

Todos estos lugares quedan ubicados en centros poblados, lo que es muy importante para una adecuada operación y mantención.

En alguna estación de Cordillera, puede instalarse una estación automática larga, a modo de estación experimental, con el objeto de evaluar su real dependencia, confiabilidad y costo total, en relación a las estaciones tradicionales. Este antecedente sería una experiencia muy valiosa en nuestro país, dada la aparente justificación que tendrían en las cuencas cordilleranas de la región y del país en general.

11.2.6 Otras Estaciones.

Como complemento de la red hidrometeorológica propuesta, se recomienda contemplar algunas estaciones adicionales de duración determinada o para estudios especiales.

Las conclusiones del capítulo sobre evapotranspiración, permiten recomendar la instalación de una estación agrológica adjunta a la estación meteorológica de Calama, con el objeto de medir la evapotranspiración de algunos cultivos típicos (alfalfa, maíz).

En segundo lugar se recomienda operar en la zona de Calama una red mínima de pozos de observación para registrar las variaciones de los niveles de agua subterránea.

Durante este estudio se inició un control de estos niveles mediante una red de pozos de observación, con separaciones entre ellos de 400 m. aproximadamente.

Finalmente, se recomienda iniciar una campaña intensiva de mediciones continuadas por un año, que permita determinar efectivamente cual es el uso actual de agua en la cuenca, especialmente en los sectores de riego y de uso industrial. Para ello, se recomienda instalar estaciones de aforo permanentes (tipo Parshall), con control limnigráfico en los principales canales de riego de los sectores agrícolas, y la instalación de venturis o dispositivos similares en las aducciones para agua potable y uso industrial.

CAPITULO 12

EVALUACION DE LAS DEMANDAS DE AGUA ACTUALES Y FUTURAS

12.1 Introducción.

Este capítulo se ha dividido en cuatro partes que son: agua potable, agua industrial, agua para la agricultura y agua para la minería. Además, se incluye un punto especial sobre las mercedes de agua en la cuenca.

En el estudio de agua potable se ha considerado la demanda de los principales centros poblados como son Antofagasta, Calama y Tocopilla. Se hizo la previsión de población y de dotación futura con el fin de determinar el consumo para las diversas regiones.

En el punto dedicado al agua industrial se hace una estimación de sus necesidades proyectadas al año 2000, considerando para la ciudad de Antofagasta el Barrio Industrial y la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en construcción. Se debe recordar que en la actualidad el agua industrial que se usa proviene de las aducciones de agua potable. Por ello, es necesario considerar un porcentaje de agua potable destinado a la industria.

En el punto dedicado a la agricultura, se consideran los tres núcleos agrícolas de la cuenca: Lasana/Chiu-Chiu, Calama y Quillagua.

En cuanto a la minería, se hace un estudio por separado para la minería del cobre y la del salitre. La minería del cobre se considera a su vez, subdividida en pequeña, mediana y gran minería. La gran minería comprende Chuquicamata y el nuevo yacimiento vecino a éste, llamado La Exótica. En cuanto a la mediana minería se considera sólo a la Empresa Minera Mantos Blancos S.A. El resto de la mediana minería y la pequeña minería en la provincia son inferiores en producción a un 5o/o de la producción total.

En la minería no-metálica del salitre, se han estudiado las demandas de agua en las oficinas de María Elena y Pedro de Valdivia, que constituyen el mayor núcleo salitrero de la región.

En este núcleo no se han considerado las comunas de Tal-Tal y Catalina, porque ellas constituyen un núcleo que tiene fuentes propias de agua y está totalmente desvinculada de la región del Loa.

Como información adicional se acompaña un punto especial sobre las mercedes de agua y un cuadro resumen de población de la provincia de Antofagasta, dividido en Departamentos y Comunas. También se incluye la población de los principales centros mineros.

12.2 Agua Potable.

12.2.1 Generalidades.

El término "agua potable" es muy general, puesto que en él se incluye una gran cantidad de consumos. Incluye en general, todos aquellos usos que se abastecen de los servicios públicos y comprende principalmente los consumos domésticos, comerciales y públicos; también incluye el consumo de algunas industrias urbanas, generalmente las pequeñas, que no son posibles de separar de los anteriores.

El consumo público comprende a su vez, los usos municipales como son lavado de calles, riego de jardines, fuentes de agua, etc. y además, las pérdidas en las aducciones y en las redes de distribución, que en algunos casos suelen ser importantes.

En Chile, la distribución del consumo total entre estos diversos usos se puede aproximar a los siguientes porcentajes: consumo doméstico 38,1 °/o, consumo industrial 6,3 °/o, consumo municipal 9,5 °/o, gratuíto 9,7 °/o, y las pérdidas y consumos no controlados se estiman en un 36,4 °/o. Ante la falta de datos precisos de esta distribución, se acostumbra referirse a todos estos consumos en conjunto, designándolos como agua potable, sin tener en cuenta el uso específico de ella.

En este informe se supone que solamente aumenta el consumo doméstico, puesto que un aumento en el consumo municipal se puede compensar por la reducción de las pérdidas en la aducción y redes de distribución. El consumo de industrias urbanas a partir de los servicios públicos, se mantendría igual e incluso podría disminuir por la obtención de agua industrial de plantas de tratamiento de aguas servidas y por plantas desalinizadoras de agua de mar.

12.2.2 Situación Actual (1969).

En la región del Loa existen dos empresas distribuidoras de agua potable: La Empresa del Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia (FCAB), y la Dirección de Obras Sanitarias del MOP (DOS). La Empresa del FCAB construyó y operó las primeras aducciones y controla en la actualidad 12.600 medidores, número que se mantiene constante. La DOS controlaba en Mayo de 1967, 4.000 medidores e instalaba mensualmente un promedio de 200 unidades.

El consumo de agua potable se hace casi íntegramente en los centros urbanos de Antofagasta, Tocopilla y Calama, además de las oficinas salitreras de Pedro de Valdivia y María Elena y en el Mineral de Chuquicamata y Mantos Blancos. El consumo doméstico de Chuquicamata, por corresponder a un sistema separado de distribución, se considerará cuando se trate el uso y demanda de agua del sector minería.

La demanda estacional de agua está representada por una curva semejante a la variación estacional de temperatura, con un máximo estival hacia Diciembre-Enero y un mínimo invernal entre Julio y Agosto.

Las actuales mercedes de agua potable (1969) para zonas urbanas aparecen indicadas en la Tabla 12.1.

TABLA 12.1

Mercedes de Agua Potable (1969)

Empresa	Gasto	Fuente
D.O.S.	115 (l/s)	Linzor
	460 "	Toconce
FCAB	140 "	Siloli; Polapi
TOTAL	715 (l/s)	

Estos 715 l/s se distribuyen en la forma indicada en la Tabla 12.2.

TABLA 12.2

Distribución de las Mercedes de Agua Potable

Antofagasta			
- proveniente de Toconce		410 l/s	
- proveniente de FCAB		27 l/s	
- estación F.C. Antofagasta		14 l/s	
- pérdidas en la red y no controlados		35 l/s	486 l/s
Tocopilla y Pampa			
- Of. Pedro de Valdivia	28,5 l/s		
- Vergara	6,5 l/s		
Coya Sur	2,5 l/s	37,5 l/s	
- Of. María Elena	22,5 l/s		
Toco y F.C.	2,0 l/s	24,5 l/s	
- Tocopilla		38,0 l/s	
- pérdidas en la red y no controlados		15,0 l/s	115 l/s
Calama			100 l/s
Mantos Blancos			14 l/s
TOTAL			715 l/s

12.2.3 Proyección de la Demanda de Agua Potable.

Proyección de la Población Futura.

Se consideraron dos estudios ya hechos sobre este tema. Uno de ellos fue hecho por la Dirección de Obras Sanitarias (D.O.S.), Departamento Estudios y el otro por la Dirección General de Planificación y Presupuesto del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo ("Estudio Preinversional de Antofagasta" o EPA).

El estudio de la DOS fue hecho a comienzos del año 1969 y entrega los datos de población que se incluyen más adelante.

Este estudio está hecho sin hacer consideraciones de tipo socio-económico que se pueden suscitar a través del tiempo. Toma en cuenta solamente la evolución histórica desde el año 1940 hasta nuestros días y extrapola en lo sucesivo siguiendo la tendencia.

En el Estudio Preinversional de Antofagasta (EPA), se plantean dos posiciones extremas de desarrollo entre las cuales se puede obtener una alternativa razonable.

Una visión optimista contempla condiciones adecuadas de mercado internacional para el cobre, continuación del actual ritmo ascendente de la producción, desalinización del agua a costo razonable, desarrollo de flujos comerciales a través de Antofagasta entre las regiones del interior del continente y los mercados del Pacífico, y eventual desarrollo de la industria química.

La visión pesimista, por el contrario, se basa en que el cobre es desplazado del mercado mundial por sus sustitutos. En esta alternativa, la población de la provincia subsistiría a base de los recursos de la minería no cuprera, los recursos marinos y otros calificados previamente como de importancia secundaria.

Las posibilidades del desarrollo zonal oscilan entre las alternativas extremas opuestas, a través de diversas combinaciones de los factores básicos, secundarios y derivados.

Las conclusiones que entrega el estudio EPA para la ciudad de Antofagasta aparecen en la tabla 12.3.

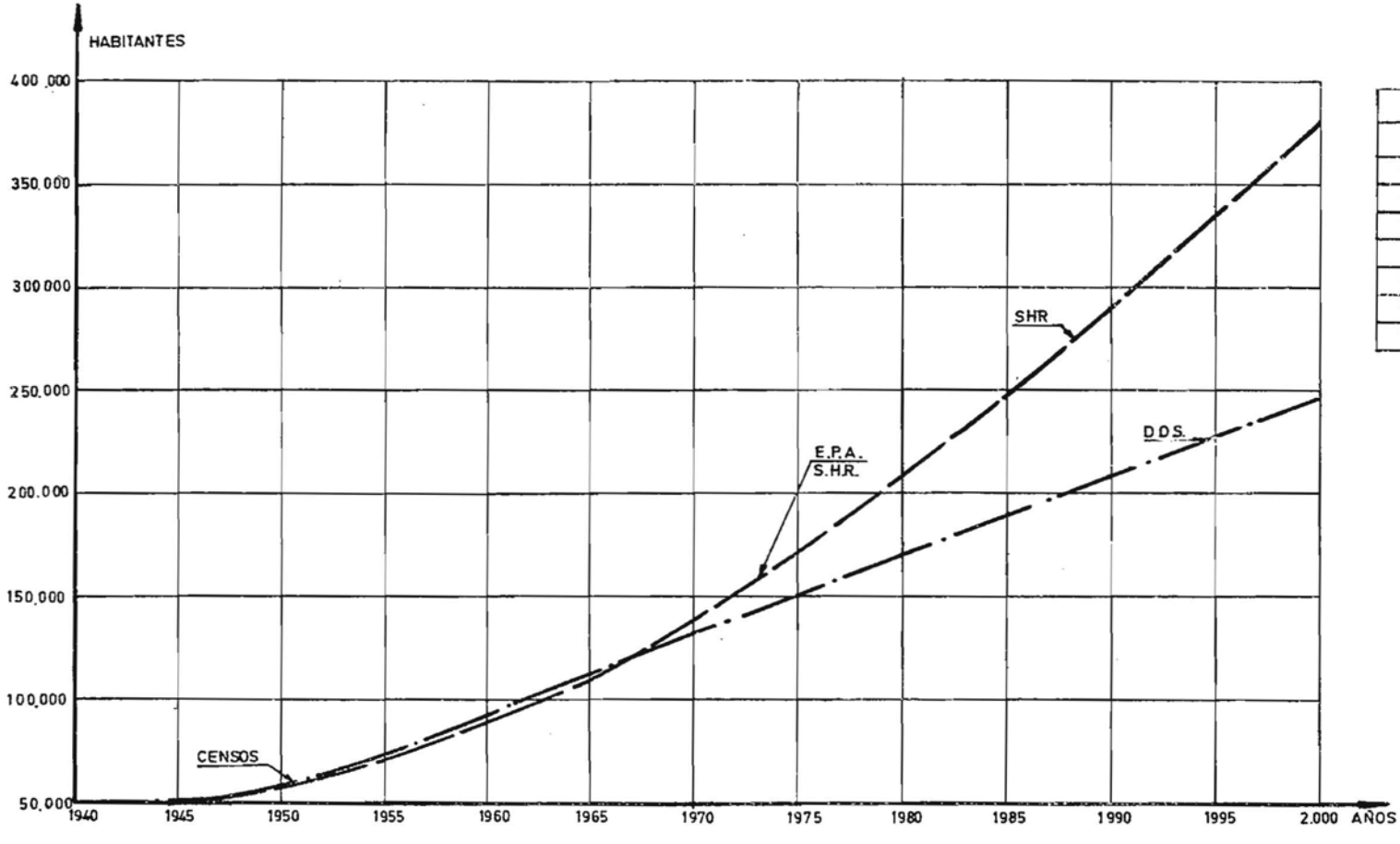
TABLA 12.3

Conclusiones del EPA para la Ciudad de Antofagasta

Años	Población	Tasa (%)	Período
1967	121.200	5,12	1960-67
1972	150.000	4,37	1967-72
1980	207.500	4,14	1972-80
2.000	380.000		1980-2000

Figura 12.1

PROYECCION DE POBLACION DE LA CIUDAD DE ANTOFAGASTA



CENSOS	
1885	7.588
1895	13.530
1907	32.496
1920	51.531
1930	53.591
1940	50244
1952	62.123
1960	88.811

El EPA solo hace la previsión de población hasta el año 1980; la previsión para el año 2000 se hizo para este informe usando la curva EPA para los años 1960-67-72-80.

La tasa de crecimiento promedio para los 20 años es de 3,07 °/o y es lógicamente decreciente debido al aumento acumulado de la población.

TABLA 12.4

Proyección de Población según diferentes Estudios

	D. O. S.			EPA/SHR		SHR
Año	Antof.	Tocopilla	Calama	Antof.	Tocopilla	Calama
1940	50.000	15.800	5.000	---	---	---
1945	51.000	16.800	8.000	---	---	---
1950	60.000	18.000	12.500	---	---	---
1955	74.000	19.200	18.000	---	---	---
1960	92.000	21.000	24.100	90.000	20.500 (*)	23.500 (*)
1965	111.000	22.800	31.500	110.000	22.500 (*)	31.200 (*)
1970	131.000	25.000	39.000	138.000	26.500 (*)	39.500 (*)
1975	150.000	27.000	47.000	170.000	30.500 (*)	53.000 (*)
1980	169.000	31.000	55.000	208.000	38.000 (*)	67.000 (*)
1985	188.000	34.000	63.000	248.000 (*)	45.000 (*)	83.000 (*)
1990	207.000	37.000	71.000	290.000 (*)	52.000 (*)	100.000 (*)
1995	225.000	41.000	79.000	335.000 (*)	61.000 (*)	118.000 (*)
2000	245.000	43.000	87.000	380.000 (*)	67.000 (*)	135.000 (*)

(*) Estimaciones hechas en este informe por la sección Hidrología y Riego (SHR).

La proyección de población para la ciudad de Antofagasta hecha por SHR, corresponde a la extrapolación de la curva obtenida por EPA de los años 1960 a 1980. (Fig. 12.1).

Para hacer las estimaciones de población de las ciudades de Tocopilla y Calama, se ha supuesto que éstas aumentan con respecto a la de Antofagasta, en la misma proporción que el incremento porcentual obtenido por la DOS para ellas, con respecto también a Antofagasta. Se ha adoptado este criterio, porque las tres ciudades forman un triángulo que es y será el pilar del desarrollo provincial. Por este hecho, sus desarrollos futuros estarán íntimamente relacionados y es de esperar que tengan un crecimiento paralelo. Dadas las condiciones extratégicas de su ubicación se estima que ninguna de ellas se estancará en su crecimiento relativo.

Como puede apreciarse, ambos estudios tienen conclusiones bastante distintas. La DOS estima que la ciudad de Antofagasta para el año 2000, tendrá una población igual al 65 °/o de la estimada por EPA/SHR. Esto se debe a las diferentes consideraciones ya anotadas.

Estimación de la Dotación Futura.

Con respecto a la estimación de la dotación futura de las diversas ciudades, la DOS, tiene estimaciones para todas ellas, en cambio, el estudio del EPA, tiene sólo para la ciudad de Antofagasta. Ambas estimaciones, al igual que las de población, son notoriamente diferentes.

La DOS tiene una dotación estimada de 230 lt/hab/día para el año 1970 en la ciudad de Antofagasta, y para el año 2000 esta estimación llega a una dotación de 330 lt/hab/día, lo que dá un promedio de crecimiento de ella de 3,3 lt/hab/día por año.

Las dotaciones consideradas por el EPA se han deducido de las ventas de agua con medidor y por ello representan dotaciones efectivas; no se consideran incluídas en ellas las pérdidas de la red ni consumos que se definen como marginales, como las áreas verdes de la Chimba y otras quintas. Al gasto que llega a Antofagasta por la aducción le restan un 10 % para tener en cuenta las pérdidas que ocurran en la red.

Según información del EPA, entre los años 1962 y 1966 la dotación aumentó de 147 a 225 lt/hab/día, lo que es equivalente a una tasa anual de 20 lt/hab/día. Esta tasa explosiva de expansión del consumo de agua potable se explica por la incorporación al consumo en condiciones normales de grandes sectores de la población que antes carecían de agua potable y alcantarillado y que en el período mencionado fueron dotados de estos servicios.

El EPA acepta como hipótesis de trabajo que la dotación se incrementará en 10 lt/hab/día al año; esta disminución se debe a que la mayor parte de la población se encuentra servida. Con este criterio, el EPA obtiene para el año 2000 una dotación de 565 lt/hab/día.

Se estima que esta dotación es bastante exagerada para las condiciones del país y específicamente de la provincia de Antofagasta. Por ello, como hipótesis de trabajo de este informe, se ha supuesto en definitiva que la dotación se incrementa en 10 lt/hab/día hasta el año 1980 y de aquí en adelante el incremento medio anual se reduce a 5 lt/hab/día obteniéndose para el año 2000 una dotación de 465 lt/hab/día.

A continuación se incluye la tabla 12.5 de proyección de dotaciones según los criterios señalados. (figura 12.2).

TABLA 12.5

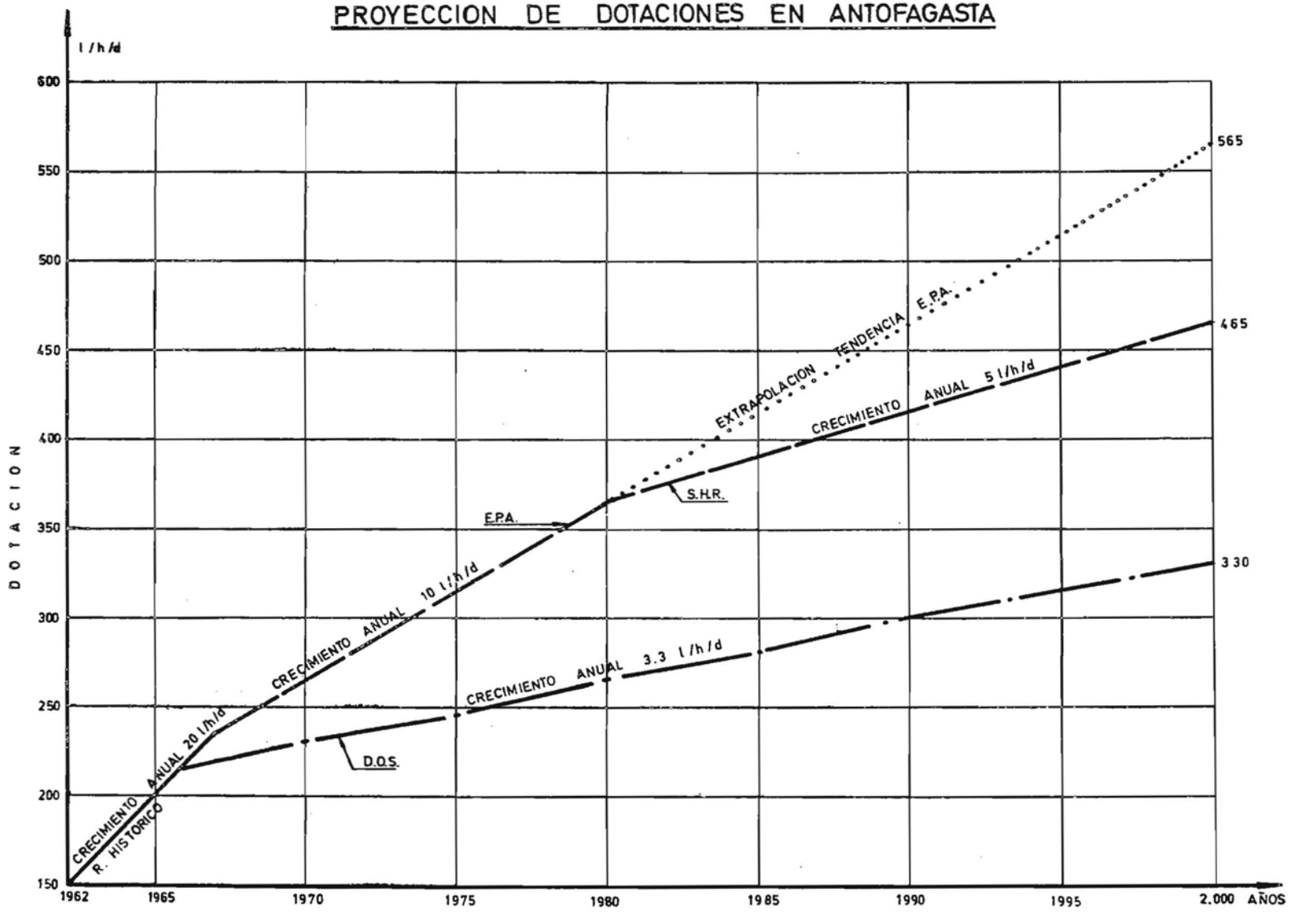
Cuadro Comparativo de Dotaciones Estimadas (lt/hab/día)

Año	D.O.S.	S.H.R. (*)	E.P.A.
1966	216	225	225
1967	220	235	235
1968	223	245	245
1969	227	255	255

(*) Estimadas por la Sección Hidrología y Riego, siguiendo criterios expuestos.

Figura 12.2

PROYECCION DE DOTACIONES EN ANTOFAGASTA



Año	D.O.S.	S.H.R.(*)	E.P.A.
1970	230	265	265
1971	233	275	275
1972	237	285	285
1975	245	315	--
1980	265	365	--
1985	280	390	--
1990	300	415	--
1995	315	440	--
2000	330	465	--

Proyección de Consumos de Agua Potable.

Con los antecedentes expuestos sobre criterios y cifras de proyección de población y dotación, se han calculado las proyecciones de consumos medios diarios de agua potable que se incluyen en las siguientes tablas. Se ha incluido, además, una proyección del gasto máximo diario, considerando un factor de consumo máximo/consumo medio de 1,3.

12.3 Agua Industrial.

12.3.1 Generalidades.

Es necesario destacar que el consumo de agua industrial que se considera en este punto, está ya incluído dentro del rubro de consumo de agua potable tratado en el punto anterior. En la actualidad, las industrias de Antofagasta, Tocopilla y Calama se abastecen fundamentalmente de la red de agua potable y es muy difícil efectuar una diferenciación exacta entre estos consumos. Se prevé que esta situación tenderá a mantenerse en el futuro, aunque la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Antofagasta irá progresivamente abasteciendo al sector industrial.

12.3.2 Estimación del consumo de agua industrial actual.

En Chile no existen estadísticas oficiales que indiquen la cantidad de agua usada por la industria. Los antecedentes más completos que se tienen sobre estos consumos corresponden a investigaciones realizadas por la Cepal en el año 1957. En esta ocasión, la Cepal investigó directamente los abastecimientos de las mayores y principales industrias existentes, consumidoras de agua. Para las industrias restantes se hicieron estimaciones basadas en la experiencia con que contaban otros países en actividades similares; es sí, necesario destacar que estas estimaciones se hicieron sólo para el 40o/o de los consumos.

Los resultados del estudio de la Cepal, para la provincia de Antofagasta son presentados en la Tabla 12.9.

TABLA 12.6

PROYECCION DE POBLACIONES, DOTACIONES Y CONSUMOS

Provincia de Antofagasta

Fuente: D.O.S.
Depto. de Estudios

AÑO	1970					1975					1980				
			cons. medio					cons. medio					cons. medio		
CIUDAD	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	máx. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	máx. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	máx. diario l/s
ANTOFAGASTA	121.000	200	30.130	349	450	150.000	245	36.750	426	550	169.000	265	44.785	519	675
CALAMA	39.000	200	7.800	90	120	47.000	200	9.400	109	140	55.000	220	12.083	140	185
TOCOPILLA	25.000	200	5.000	58	75	27.000	200	5.400	63	80	31.000	220	6.819	79	105
PAMPA DE TOCOPILLA	25.000	170	4.300	50	64	25.800	200	5.160	60	78	26.600	220	5.852	68	88

1985					1990				1995				2000			
		cons. medio				cons. medio				cons. medio				cons. medio		
Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	l/s	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s
188.000	280	52.640	610	790	207.000	300	62.100	719	935	225.000	315	70.875	820	1.070	245.000	330	80.833	936	1.220
63.000	230	14.490	168	220	71.000	250	17.750	205	270	79.000	270	21.333	247	320	87.000	290	25.230	292	380
34.000	230	7.820	91	120	37.000	250	9.250	107	140	41.000	270	11.088	128	170	43.000	290	12.470	144	190
27.400	230	6.302	73	95	28.200	250	7.050	82	106	29.000	270	7.830	91	118	30.000	290	8.700	100	130

Nota: El coeficiente de gasto máximo es 1,3.

TABLA 12.7

PROYECCION DE POBLACIONES, DOTACIONES Y CONSUMOS

Provincia de Antofagasta

Fuente : E.P.A.
Elaboración : Sección Hidrología y Riego (SHR)
Universidad de Chile

CIUDAD	1970					1975					1980				
			cons. medio					cons. medio					cons. medio		
	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s
ANTOFAGASTA	138.000	265	36.570	423	550	170.000	315	53.550	620	806	208.000	365	75.920	879	1.142
CALAMA	39.500	200	7.900	91	119	53.000	250	13.250	153	199	67.000	300	20.100	233	303
TOCOPILLA	26.500	200	5.300	62	80	30.500	250	7.625	88	115	38.000	300	11.400	132	172
PAMPA DE TOCOPILLA	26.500	200	5.300	62	80	30.000	250	7.500	87	113	33.500	300	10.050	116	151

1985					1990					1995					2000				
		cons. medio					cons. medio					cons. medio					cons. medio		
Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s	Hab.	Dot.	m^3/día	l/s	max. diario l/s
248.000	390	96.720	1.128	1.455	290.000	415	120.350	1.393	1.811	335.000	440	147.400	1.706	2.217	380.000	465	176.700	2.045	2.658
83.000	325	26.975	312	406	100.000	350	35.000	405	527	118.000	375	44.250	512	666	135.000	400	54.000	625	813
45.000	325	14.625	170	220	52.000	350	18.200	211	274	61.000	375	22.875	265	344	67.000	400	26.800	310	403
37.000	325	12.025	140	181	40.500	350	14.175	164	213	44.000	375	16.500	191	248	47.000	400	18.800	218	283

Nota: El coeficiente de gasto máximo es 1,3

TABLA 12.8

CUADRO COMPARATIVO CONSUMOS ANUALES DE AGUA POTABLE

Provincia de Antofagasta

Valores en miles m^3

Elaboración: SHR

ESTUDIO D. O. S.						ESTUDIO EPA / SHR				
Año	Antofagasta	Calama	Tocopilla	Pampa	Total	Antofagasta	Calama	Tocopilla	Pampa	Total
1970	10.997	2.847	1.825	1.570	17.239	13.348	2.884	1.935	1.935	20.102
1975	13.414	3.431	1.971	1.883	20.699	19.546	4.836	2.783	2.738	29.903
1980	16.347	4.410	2.489	2.136	25.382	27.711	7.337	4.161	3.668	42.877
1985	19.214	5.289	2.853	2.300	29.656	35.303	9.846	5.338	4.389	54.876
1990	22.667	6.479	3.376	2.573	35.095	43.928	12.775	6.643	5.174	68.520
1995	25.869	7.787	4.047	2.858	40.561	53.801	16.151	8.349	6.023	84.324
2000	29.504	9.209	4.551	3.176	46.440	64.496	19.710	9.782	6.862	100.850

TABLA 12.9

Resultados Estudio de Cepal (1957)

Tipo de Industria	Consumo Anual (m^3)
Alimentos	20.000
Bebidas	91.500
Calzados y Confecciones	3.100
Maderas y Muebles	2.200
Imprenta	4.000
Prod. químicos	159.400
Cemento, vidrios	42.900
Prod. mecánicos	11.500
TOTAL	1.769.200 m^3

12.3.3 Estimación de la demanda futura de Agua Industrial.

Hacer un estudio de la demanda futura de agua para uso en la industria es muy arbitrario. Ello implicaría trazar un plan de aumento de capacidad productiva y de creación de nuevas industrias a corto, mediano y largo plazo. Como es sabido, el crecimiento industrial regional depende de muchísimos factores, la mayoría de ellos no cuantificables ni predecibles como las políticas de desarrollo de los diferentes gobiernos, comercio exterior, etc.

Para analizar el crecimiento histórico de la producción industrial, se recurre generalmente a ciertos indicadores auxiliares, como consumo de energía eléctrica, población, etc.

Otro índice utilizable para ello, es comparar producciones expresadas en moneda de diferentes años, que habría que corregir mediante coeficientes debido al incremento del costo de la vida, el que seguramente es diferente para las diversas industrias.

Hacer un estudio de aumento de la producción queda fuera de los alcances y objetivos de este estudio. Además, el aumentar la producción industrial, no significa que aumente en forma directa el consumo de agua, porque hay industrias que son grandes consumidoras de agua y otras que prácticamente no la consumen.

Por último, nuestro plazo de previsión de 30 años, dadas las condiciones actuales de transformación en forma acelerada de la tecnología, es muy largo para hacer estimaciones con cierta certeza.

Por estos motivos, la proyección de agua industrial se hará en base a suponer un crecimiento en las demandas de agua en la industria igual al aumento porcentual de la población para la región.

Esta estimación, seguramente, es un poco pesimista en lo que se refiere al desarrollo de Antofagasta, ya que ODEPLAN estima que Antofagasta en un futuro cercano será un "polo de desarrollo multirregional de importancia nacional". En efecto, la ciudad está centrada respecto al norte del país, se relaciona con los principales centros mineros del cobre, tiene disponibilidad de medios de transporte de todo tipo y conexiones internacionales. Todo ello, significa ventajas para orientar nuevas industrias y servicios vinculados a su actividad minera predominante, así como la diversificación y especialización de otros servicios orientados a la influencia multirregional que deberá ejercer. También se debe agregar las consecuencias favorables que tendrá para Antofagasta la vigencia del Mercado Subregional Andino y de ALALC.

En base a las consideraciones hechas para determinar el incremento en el uso del agua para la industria, se ha confeccionado la tabla 12.10 "Consumo futuro estimado de agua por la industria en la provincia de Antofagasta".

Para ello se ha tabulado la población estimada al futuro según estudio EPA, ampliado por SHR, y se ha calculado la tasa de crecimiento año a año. Empleando esa misma tasa de crecimiento se ha calculado el aumento en la demanda de agua por la industria, a partir del consumo determinado por la CEPAL para el año 1957, en el estudio ya mencionado.

TABLA 12.10

Consumo Futuro Estimado de Agua por la Industria en la Provincia de Antofagasta (*)

Año	Población Ciudad de Antofagasta	Consumo de Agua (m^3/año)	(l/s)
1957	77.000	1.769.200	56,10
1960	87.000	1.999.200	63,39
1965	111.000	2.550.200	80,86
1970	138.000	3.170.300	100,52
1975	171.000	3.927.600	124,54
1980	207.500	4.467.000	151,16
1985	249.000	5.719.900	181,37
1990	290.500	6.675.200	211,66
1995	335.000	7.700.700	244,18
2000	380.000	8.734.800	226,97

(*) Cuadro estimado por SHR con la estimación de población del estudio EPA/SHR.

Los valores de la demanda anual de agua industrial así calculados corresponden a una estimación hecha para toda la provincia, incluído el Departamento de Tal-Tal, puesto que el valor de consumo de agua del año 1957 dado por Cepal es para toda la provincia y se sabe que la demanda de agua potable considerada corresponde solamente al complejo Antofagasta, Calama, Tocopilla y Pampa de Tocopilla, y no incluye el Departamento de Tal-Tal.

Sin embargo, analizando el cuadro de censos de la provincia, se puede apreciar que la población del Depto. de Tal-Tal ha disminuído de un 8,8 °/o en 1940, a un 6,3°/o en 1952 y a un 5,2°/o en 1960, con respecto a la población de la provincia. Aún más, si se analiza el porcentaje de población urbana solamente, se ve que el Departamento de Tal-Tal tiene un 4,6 °/o de la población urbana total de la provincia. En ese Departamento se paralizó totalmente el distrito salitrero de Catalina, y después de ello, ha quedado con una actividad económica reducida a faenas pesqueras y mineras de menor importancia.

Por todos estos antecedentes presentados, se estima que comparar ambas demandas de agua es totalmente lícito y que el error que se introduciría es ínfimo, puesto que la población de Tal-Tal no tiene ninguna significancia provincial y por ende, su industria tampoco.

La tabla 12.11 que se incluye a continuación permite apreciar la relación existente entre el consumo total de agua potable y el consumo de agua para la industria. Debe recordarse que esta agua de uso en la industria, en la actualidad está incluída en el agua potable total. Por ello, el porcentaje obtenido nos expresa la relación entre el agua potable usada como industrial y el agua potable propiamente tal.

TABLA 12.11

Porcentaje Consumo Agua Industrial Comparada con el Consumo de Agua Potable para la Provincia de Antofagasta

Año	Agua Potable	Agua Industrial	Porcentaje (°/o)
1970	20.102	3.170	15,8
1975	29.903	3.928	13,1
1980	42.877	4.767	11,1
1985	54.876	5.720	10,4
1990	68.520	6.675	9,7
1995	84.324	7.701	9,1
2000	100.850	8.735	8,7

Fuente: Estudio EPA/SHR.

En este cuadro se puede observar una disminución del porcentaje de agua industrial con respecto a la demanda de agua potable, lo que se explica porque se ha supuesto que el consumo de agua potable aumenta con la población y la dotación y el agua industrial aumenta su demanda con el aumento de población solamente.

Con la instalación de la planta de tratamiento de aguas servidas, el porcentaje de agua potable usada como agua industrial será mucho menor porque el barrio industrial proyectado por CORFO usará esta fuente de suministro.

En efecto, CORFO ha proyectado la instalación por etapas de una planta de aguas servidas que abastecerá un Barrio Industrial de 182 Hás. que consumirá aproximadamente 100 l/s y que además, suministrará agua para el regadío de los terrenos de La Chimba. La primera etapa de la planta entraría en servicio en 1970 y suministrará 120 l/s. La segunda etapa totalizará un gasto de 240 l/s y entraría en operación entre 1975 y 1980. La capacidad total futura de la planta se proyecta de 360 l/s.

12.4 Uso del Agua en la Agricultura.

12.4.1 Tipos de Cultivos.

Debido a las condiciones climáticas, de calidad de agua y de altura, el cultivo predominante es la alfalfa que generalmente se siembra asociada con trigo. Le siguen en importancia el cultivo del maíz que se consume principalmente fresco.

Además de estos cultivos predominantes, en Calama se producen espárragos, cebolla y ajos. En Chiu-Chiu se producen además de los mencionados, zanahorias, lechugas, betarragas y flores.

12.4.2 Tasas de Riego.

Los datos que se entregan son recopilaciones del Ingeniero Señor Absalón Monsalve, en su "Proyecto del Embalse Conchi", Mayo de 1969.

A las tasas teóricas de riego calculadas por la Dirección de Riego, hay que agregar un 30°/o para el lavado de suelos salinos, según informacion verbal al Sr. Monsalve del Ingeniero Agrónomo Sr. Domingo Lara. La proporción de suelos arenosos y francos puede estimarse en 80°/o y 20°/o, respectivamente. En base a estos datos, la tasa de riego se resume en la tabla 12.12.

No existen datos sobre la tasa de riego teórica de Quillagua. Como el área es sólo 1/10 de la del conjunto Calama/Chiu-Chiu puede suponerse igual tasa que la ya adoptada.

En base a los resultados del estudio de evapotranspiración y del balance hidrológico efectuados en relación a este informe, se estima que las cifras de éste están subvaluadas en aproximadamente un 30°/o.

TABLA 12.12

Tasa de Riego Teorica del Sector Calama - Chiu-Chiu
Según la Dirección de Riego

Meses de riego	Tasa neta m^3/há			Tasa total incluso 30 °/o para lavado	
	Suelos arenosos	Suelos francos	Suelos totales	m^3/há	lt/s/há
Agosto	762	444	699	910	0,3
Septiembre	1.204	703	1.105	1.440	0,6
Octubre	2.589	1.511	2.372	3.080	1,2
Noviembre	3.360	1.960	3.182	4.130	1,6
Diciembre	3.655	2.133	3.351	4.360	1,7
Enero	3.414	1.992	3.129	4.070	1,6
Febrero	3.139	1.831	2.876	3.740	1,4
Marzo	2.789	1.627	2.560	3.330	1,3
Abril	1.238	722	1.136	1.480	0,6
Mayo	741	4.432	680	880	0,3
			Anual en 10 meses :	27.420	1,1

12.4.3 Suelos regados actuales y habilitables:

Un estudio agrológico realizado por DECSA (Departamento de Conservación de Suelos y Aguas, del Ministerio de Agricultura) en la hoya hidrográfica del Loa en 1965-66, considera en conjunto los suelos regados y habilitables de Calama, Chiu-Chiu, Lasana, y los clasifica según su calidad en dos categorías:

1ª Categoría.

Suelos actualmente en cultivo y suelos eriazos que no presentan problemas de drenaje y salinidad para ser incorporados al cultivo.

2ª Categoría.

Suelos eriazos que presentan problemas de drenaje y salinidad que impiden su uso, pero que son susceptibles de ser habilitados.

TABLA 12.13

Separación de Suelos Según Categorías

	Superficie en hás	
	1ª Categoría	2ª Categoría
Calama	1.543,3	618,0
Chiu-Chiu/Lasana	437,6	---
TOTALES	1.980,9	618,0

La Sección Agrología de la Dirección de Riego del MOPT ha realizado estudios de calidades de suelos en la zona, los que se ajustan con gran aproximación a las cifras precedentes.

Respecto a la tasa de riego de Calama y del conjunto Chiu-Chiu/Lasana, hay un estudio de la CORFO (1967), en colaboración con el Ministerio de Agricultura, preparado para CONORTE en que se dan cifras más altas que las anteriores. Sin embargo, en este estudio se tomarán en cuenta las cifras que se incluyen proporcionadas por la Dirección de Riego, que aparentemente están más de acuerdo con la realidad.

TABLA 12.14

Hectáreas Regadas: Actuales y Futuras

	hás regadas act.	hás posibles de incorporar	hás totales
Calama	1.000	2.161,3	3.161,3
Chiu-Chiu/Lasana	182	437,6	619,6
Quillagua	122	----	122,0
TOTAL	1.304	2.598,9	4.002,9

Considerando estas cifras de hectáreas regadas y potencialmente regables, y las estimaciones de tasas de riego del Ingeniero Sr. Monsalve, se calculan a continuación las demandas futuras de riego en los diferentes sectores agrícolas.

12.4.4 Demandas actuales y futuras de Riego.

Para confeccionar las tablas de demandas futuras de agua para regadío, en Calama, Chiu-Chiu/Lasana y Quillagua, se ha considerado que ellas tienen la misma tasa de riego, lo que en realidad no es exacto por los diferentes cultivos, suelos y calidades de agua disponibles. Además se ha supuesto que en Quillagua no hay posibilidades de incorporar ninguna hectárea más al regadío.

TABLA 12.15

DEMANDA ACTUAL DE AGUA PARA REGADIO EN LA CUENCA DEL RIO LOA

Mes	m^3/mes			lt/seg			totales	
	Calama	Chiu-Chiu/ Lasana	Quillagua	Calama	Chiu-Chiu/ Lasana	Quillagua	m^3/mes	lt/seg
Agosto	910.000	165.620	111.020	339.8	61.8	41.5	1.186.640	443.1
Septiembre	1.440.000	262.080	175.680	555.6	101.1	67.8	1.877.760	724.5
Octubre	3.080.000	560.560	375.760	1.149.9	209.3	140.3	4.016.320	1.499.5
Noviembre	4.130.000	751.660	503.860	1.593.4	290.0	194.4	5.385.520	2.077.8
Diciembre	4.360.000	793.520	531.920	1.627.8	296.3	198.6	5.685.440	2.122.7
Enero	4.070.000	740.740	496.540	1.519.6	276.6	185.4	5.307.280	1.981.0
Febrero	3.740.000	680.680	456.280	1.546.0	281.4	188.6	4.876.960	2.016.0
Marzo	3.330.000	606.060	406.260	1.243.3	226.3	151.7	4.342.320	1.621.3
Abril	1.480.000	269.360	180.560	571.0	103.9	69.7	1.929.920	744.6
Mayo	880.000	160.160	107.360	328.6	59.8	40.1	1.147.520	428.5
Junio	---	---	---	---	---	---	---	---
Julio	---	---	---	---	---	---	---	---
ANUAL	27.420.000	4.990.440	3.345.240	1.047.5	190.6	127.8	35.755.680	1.365.9

TABLA 12.16

DEMANDA FUTURA DE AGUA PARA REGADIO EN LA CUENCA DEL RIO LOA

Mes	m^3/mes			lt/seg			totales	
	Calama	Chiu-Chiu/ Lasana	Quillagua	Calama	Chiu-Chiu/ Lasana	Quillagua	m^3/mes	lt/seg
Agosto	2.876.783	563.836	111.020	1.074.1	210.5	41.5	3.551.639	1.326.1
Septiembre	4.552.272	882.224	175.680	1.756.3	344.2	67.8	5.620.176	2.168.3
Octubre	9.736.804	1.908.368	375.760	3.635.3	712.5	140.3	12.020.932	4.488.1
Noviembre	13.056.169	2.558.948	503.860	5.037.1	987.2	194.4	16.118.977	6.218.7
Diciembre	13.783.268	2.701.456	531.920	5.146.1	1.008.6	198.6	17.016.644	6.363.3
Enero	12.866.491	2.521.772	496.540	4.803.8	941.5	185.4	15.884.803	5.930.7
Febrero	11.823.262	2.317.304	456.280	4.887.3	957.9	188.6	14.596.846	6.033.8
Marzo	10.527.129	2.063.268	406.260	3.930.4	770.3	151.7	12.996.657	4.852.4
Abril	4.678.724	917.008	180.560	1.805.1	353.8	69.7	5.776.292	2.228.6
Mayo	2.781.944	545.248	107.360	1.038.7	203.6	40.1	3.434.552	1.282.4
Junio	---	---	---	---	---	---	---	---
Julio	---	---	---	---	---	---	---	---
ANUAL	86.682.846	16.989.432	3.345.240	3.311.4	649.0	127.8	107.017.518	4.088.2

12.4.5 Consumo de agua en ganaderías.

El consumo total de agua por animal, incluyendo bebida, limpieza, uso en establos, etc; puede estimarse en los valores medios que aparecen en la tabla 12.17.

TABLA 12.17

Consumo de Agua en Ganadería

	lts/cabeza/día
Bobinos	38
Ovinos	11
Porcinos	15
Caprinos	10
Equinos	38

El consumo actual de agua en ganadería en la provincia de Antofagasta sería,según el MOP,de 241.800 m^3/año. Las necesidades previstas para el año 1982, con las mismas dotaciones, serían 377.200 m^3/año para la Provincia de Antofagasta.

Como se puede apreciar, estos valores resultan despreciables con respecto al consumo de riego.

12.5 Minería.

12.5.1 Generalidades.

Las actividades mineras de la región que demandan gran consumo de agua son las del cobre y del salitre, en cambio, la minería del azufre se puede decir que es una minería seca, ya que prácticamente no consume agua. Por ello, se analizará sólo la demanda de agua en la minería del cobre y del salitre.

La minería del cobre se encuentra dividida en Gran Minería, Mediana Minería y Pequeña Minería. La minería del salitre se encuentra concentrada en las oficinas de María Elena y Pedro de Valdivia, que actualmente son explotadas por la Sociedad Química y Minera de Chile S.A.

12.5.2 Minería del Cobre:

De la tabla 12.18 que se incluye sobre la producción de cobre en la provincia de Antofagasta en el año 1967, se observa que el 87,4 °/o de la producción total corresponde a la Gran Minería representada por el mineral de Chuquicamata de la Chile Exploration Co. (CHILEX).

La Mediana Minería produce un 10,8 °/o, y la Pequeña Minería un 1,8 °/o del total provincial. En la Mediana Minería tenemos que la Empresa Minera Mantos Blancos S.A. produce un 80 °/o del total provincial y un 88 °/ode la provincia sin incluir el Departamento de Tal-Tal, el que está a una distancia considerable de la hoya del río Loa y tiene fuentes propias de agua; por eso no se ha considerado en este estudio.

TABLA 12.18

Producción de Cobre en el Año 1967 en la Provincia de Antofagasta
(Datos en toneladas de mineral fino)

Fuente :Anuario de la Minería de Chile,1967
Servicio de Minas del Estado

Elaboración:S.H.R.

Gran Minería (Chilex):

Blister	93.990,0
Electrolítico	183.208,0
Total	277.198,0

Mediana Minería:

Departamento	Concentrado	Precipitado	Escorias de Refinación	Refinado	Total
Tocopilla	2.800,3	830,9	---	---	3.631,2
Antofagasta	91,9	5.616,0	130,7	21.762,2	27.600,8
Tal-Tal	---	3.092,5	---	---	3.092,5
Total	2.892,2	9.539,4	130,7	21.762,2	34.323,5

Pequeña Minería:

Departamento	Mineral de concentración	Mineral de lixiviación	Mineral de fundición directa	Total
Tocopilla	30,8	------	173,6	204,4
Antofagasta	228,7	328,2	1.179,1	1.736,0
Tal-Tal	20,9	3.451,0	292,8	3.764,7
Total	280,4	3.779,2	1.645,5	5.705,1

Resumen:

	Gran Min.	Med. Min.	Peq. Min.	Total
Prov. Antofagasta	277.198,0	34.333,1	5.705,1	317.236,2
Chile	536.933,0	93.995,8	32.549,2	663.478,0
% c/r a Chile	51,62 %	36,52 %	17,53 %	47,81 %

	Ton.	o/o c/r Gran Min.	o/o c/r Prov.
Gran Min.	277.198,00	100,00	87,37
Med. Min.	34.333,1	12,39	10,83
Peq. Min.	5.705,1	2,06	1,80

La Pequeña y Mediana Minería, sin incluir Mantos Blancos ni la comuna de Tal-Tal, representa un 3,07 o/o de la producción de cobre de la Empresa Mantos Blancos más la producción de la Gran Minería. En vista de este porcentaje tan pequeño de producción, no tiene sentido profundizar más en la determinación de la cantidad de agua usada por las correspondientes plantas de tratamiento del mineral. Tampoco tiene significancia determinar su ubicación geográfica y sus fuentes de abastecimiento de agua.

En vista de los antecedentes presentados, se determina a continuación sólo la demanda de agua en Chuquicamata y en Mantos Blancos.

Consumo y demandas de agua de Chuquicamata.

Primeramente se considera la demanda actual. Se hace la distinción del tipo de agua que se usa: industrial y potable; y del proceso de tratamiento del mineral, (sulfurado u oxidado) por cuanto tienen distinto consumo unitario. Finalmente, se incluye también, un estudio del agua para uso doméstico.

Las informaciones de que se dispuso a este respecto se han obtenido del informe "Estadísticas de consumo de agua industrial y potable para la producción de cobre en el mineral de Chuquicamata"(Febrero 1967).

Consumo actual de Chuquicamata.

- **Consumo de agua industrial.**

La tasa actual de consumo de agua por tonelada métrica de mineral sulfurado, suponiendo un promedio de 50.000 toneladas métricas de mineral tratado al día, aparece en la tabla 12.19.

TABLA 12.19

Consumo Actual de Agua por Tonelada Métrica de Mineral Sulfurado

Fundición de concentrado		3,84	l/ton
Evaporación de superficies expuestas		7,80	"
Planta termoeléctrica		35,86	"
Moldeo del cobre		3,10	"
Riego, control polvo, lavado de vehículo y perforadoras		116,93	"
	Sub total	167,53	l/ton
15 o/o de pérdidas y otros		25,13	"
	Total	192,66	l/ton

Considerando el agua contenida en relaves, se tiene que la tasa de consumo de agua por tonelada de mineral sulfurado varía entre 1.168,7 y 1.338,7 litros.

Tratamiento de minerales oxidados.

Se usa para el cálculo un promedio de 36.000 toneladas de mineral lixiviado por día. La tasa actual de consumo de agua por tonelada métrica de mineral oxidado es la que se muestra en la tabla 12.20.

TABLA 12.20

Consumo de Agua por Tonelada Métrica de Mineral Oxidado

Solución de Descarte		133,33	l/ton
Evap. de superficies expuestas		14,44	"
Electrodepositación		2,49	"
Enfriamiento en moldeo		4,00	"
Planta de ácido		39,58	"
Lavado de arena y ripio		17,74	"
Riego, control de polvo y lavado de vehículos		116,93	"
	Sub total	328,51	l/ton
Revalses, lavados y relaves		156,00	"
	Total	484,51	l/ton

En 1966 la producción de cobre a partir de minerales sulfurados fue de 421.372.857 libras y la producción a partir de minerales oxidados fue de 258.224.462 libras. El total de la producción fue de 308.260 toneladas métricas.

Según datos proporcionados por la Chilex, que se incluyen en el informe anteriormente mencionado, el consumo y recuperación de agua industrial fue el siguiente:

Consumo	928,8	l/s
Recuperación	213,8	"
Consumo neto	715,0	"

Consumo de agua para uso doméstico.

La población actual de Chuquicamata se puede estimar en 27.000 habitantes, incluyendo una población flotante cercana a 1.000 personas. La dotación es muy alta (541 l/hab/día), pero ello se debe a que en muchas faenas usan equipos que deben ser abastecidos de agua potable para su protección y mayor eficiencia. Además debe considerarse que el clima de la región es muy seco y la población goza de un elevado standard de vida. El consumo actual corresponde a 169 l/s.

Por lo tanto, el consumo neto total, actual de agua industrial y potable en Chuquicamata puede estimarse en 884 l/s. Este valor representa una dotación media de 90,5 m^3 de agua por tonelada de mineral de cobre producido.

TABLA 12.21

Consumo de Agua Potable

Consumo	m^3/día	l/hab/día
Doméstico	11.240	416,00
Planta y Mina	200	7,41
Generación de vapor	150	5,56
Enfriamiento motores	1.000	37,04
Enfriamiento moldes	500	18,50
Enfriamiento aceite	50	1,85
Acido sulfúrico	125	4,63
Aire acondicionado	50	1,85
Planta de leche-panadería	12	0,44
Pérdidas inevitables	675	25,80
Lavanderías industriales	100	3,75
Hospital	500	18,50
Totales	14.602	541,00

Consumo futuro de agua de Chuquicamata.

De acuerdo a los actuales convenios del cobre y a los planes de desarrollo del sector minero, la producción futura Chuquicamata deberá incrementarse en un 60% con respecto a la de 1965, aumentando también sustancialmente la capacidad de refinación electrolítica.

Según informaciones obtenidas en la Corporación del Cobre, la producción total futura de Chuquicamata y La Exótica puede estimarse en 455.868 Ton métricas, la que se obtendría a partir del año 1972.

Suponiendo que la dotación de agua industrial aumente en el futuro a 100 m^3/ton debido a la explotación de minerales de ley decreciente, el consumo anual futuro sería de 45,59 x 10^6 m^3/año, lo que representa un caudal promedio de 1.450 l/s.

Con respecto al consumo de agua potable, la CHILEX estimaba que la población futura totalizaría 37.000 habitantes y que la dotación futura sería de 678,49 l/hab/día. De esta última cifra, 530 l/hab/día corresponden a consumos domésticos propiamente tales y 148,49 l/hab/día corresponden a usos industriales que requieren de agua potable. Como la dotación doméstica futura se considera excesiva y representa un 27,3 % más que la actual, fijaremos esta dotación en 465 l/hab/día que es la cifra que se ha adoptado como dotación futura (año 2000) en la ciudad de Antofagasta. Manteniendo la dotación industrial en la cifra anteriormente indicada, la dotación total futura de agua potable sería de 613,5 l/hab/día.

Luego, los consumos futuros de agua potable representan un caudal medio de 261,7 l/s.

En resumen, la proyección de demandas totales de agua en Chuquicamata arroja los siguientes resultados:

Agua Potable	262	l/s
Agua Industrial	1.450	l/s
Consumo total futuro	1.712	l/s

Consumos Actuales y Demandas Futuras en el Mineral de Mantos Blancos.

La Empresa Minera Mantos Blancos S.A., comenzó a explotar el yacimiento Mantos Blancos ubicado a 40 km. al interior de Antofagasta, en el año 1961. Su producción de cobre fino en el año 1967 fue de 27.600 ton. métricas, según información obtenida del Anuario de la Minería 1967. Según información de la misma Compañía, la producción en el año 1969 alcanzó a 31.300 toneladas métricas, y los programas actuales no contemplan variaciones de importancia en la producción futura de cobre. Por ello, se considerará un consumo futuro de agua constante.

La Compañía informó que el consumo actual de agua alcanza aproximadamente unos 3.400 m^3/día, (39,4 l/s). La Empresa emplea procesos de tratamiento de las aguas para su recirculación y obtiene el agua potable de las aducciones de la DOS y FCAB en cantidades variables, prevaleciendo el consumo de la primera fuente. Sin embargo, por informacion entregada por DOS, se sabe que el suministro a Mantos Blancos es de 14 l/s.

12.5.3 Minería del Salitre.

La minería no metálica más importante de la provincia de Antofagasta es la minería del salitre. El salitre es explotado en la actualidad por la Sociedad Química y Minera de Chile S.A.

Esta Compañía opera en la provincia con las oficinas María Elena y Pedro de Valdivia, con la planta Coya incorporada al sistema de María Elena, y el campamento Vergara, que es el campamento de la Oficina Pedro de Valdivia. También opera el FFCC a Tocopilla y el puerto mecanizado de esa ciudad.

En los dos principales centros de producción, María Elena y Pedro de Valdivia, el agua para uso industrial se obtiene del Loa y de su afluente el río San Salvador; el agua potable se obtiene de la aducción que va de Toconce a Tocopilla. Las tuberías de agua industrial no tienen más de 40 km de longitud cada una, sin embargo, el agua debe ser bombeada porque las oficinas están a mayor altura.

La aducción construída por la Compañía en 1945 tenía una capacidad inicial de 150 l/s, la que se redujo en 1960 a 130 l/s. Esta aducción tiene que abastecer, además, en parte a Calama y a Tocopilla.

Consumo actual de agua Potable.

El consumo de agua potable en ambas oficinas, en los campamentos y además, en las instalaciones de Tocopilla (Ferrocarril y Puerto) se indica en la tabla 12.22.

TABLA 12.22

Consumo de Agua Potable en la Minería del Salitre

Año	Consumo Anual m^3	l/s
60 - 61	1.924.000	61,0
61 - 62	1.883.000	60,0
62 - 63	1.840.000	58,5
68 - 69	1.996.000	63,5

Fuente: Compañía Química y Minera de Chile S.A.

Consumo Actual de Agua Industrial.

El consumo de agua industrial del río Loa y San Salvador, ha sido en los últimos años, el que aparece en la tabla 12.23.

TABLA 12.23

Consumo de Agua Industrial en la Minería del Salitre

Año	María Elena	Pedro de Valdivia	Total l/s
55 - 56	3.151.000	4.189.000	233
56 - 57	3.081.000	3.764.000	218
57 - 58	3.964.000	4.674.000	275
58 - 59	4.187.000	4.865.000	288
59 - 60	4.254.000	4.887.000	290
60 - 61	4.059.000	3.928.000	254
61 - 62	4.687.000	4.571.000	294
62 - 63	4.942.000	4.591.000	303

Fuente: Compañía Química y Minera de Chile S.A.

En las dos últimas tablas se indica el período interanual, ya que los datos corresponden al año salitrero que va de Julio a Junio del año siguiente.

Mercedes de Agua.

La Compañía Química y Minera tiene cinco mercedes de agua industrial con bocatomas en el río Loa que totalizan 156,50 l/s. Además, tiene una merced concedida por 280 l/s del río San Salvador; esta merced no se usa completamente.

A este conjunto salitrero la D.O.S. le entrega un caudal total de 60 l/s de agua potable y además un consumo aproximado de 3,5 l/s para las instalaciones del puerto mecanizado y del ferrocarril (1968 - 1969).

Estimación Futura.

Ambas oficinas usan para la explotación del salitre el procedimiento Guggenhein, el que permite aprovechar caliches de baja ley de nitrato. Con este sistema se han aumentado considerablemente las reservas del mineral explotable con respecto a otros procedimientos.

En la actualidad, María Elena con menor producción consume mucho más agua que Pedro de Valdivia. Ello se debe a que María Elena en combinación con Coya Sur usan el procedimiento de evaporación solar que consume gran cantidad de agua. En cambio Pedro de Valdivia para esta parte del proceso, usa otro sistema que consume poca cantidad de agua. En un futuro no muy lejano, es posible que María Elena cambie el sistema de evaporación solar por el de la oficina de Pedro de Valdivia, disminuyendo el consumo de agua.

Con los proyectos de expansión y principalmente de diversificación en la obtención de sub productos del salitre, el consumo de agua de la Empresa se mantendrá más o menos constante, o quizás podría experimentar un aumento no superior al 20 % o 30% del actual. (Según información proporcionada por el Sr. Augusto Fernández, ingeniero del Depto. de Producción de la Compañía).

12.5.4 Resumen de los consumos de agua actuales y futuros de la minería.

De acuerdo a los antecedentes indicados en los puntos anteriores se resume en la siguiente tabla los consumos actuales y futuros de agua potable y agua industrial en la minería.

TABLA 12.24

Consumo Actual y Futuro (l/s) de Agua en la Minería.

1) Actual

	Chuquicamata 1966	Mantos Blancos 1969	Salitreras 68 - 69	Total
Agua Potable	169.0	14	63,5	246,5
Agua Industrial	715.0	--	303,0 (*)	1.018,10
Total	884.0	14	366,5	1.264,5

(*) 1962 - 1963

2) Futuro.

	Chuquicamata 1972	Mantos Blancos	Salitreras	Total
Agua Potable	262	14	64	340
Agua Industrial	1.450.0	--	303	1.626
Total	1.712	14	367	2.093

12.6 Mercedes de Agua.

En la Tabla 12.25 se presenta un cuadro resumen de las mercedes de agua de tipo industrial y minero, cuyas bocatomas están ubicadas en el río Loa o en sus afluentes. Las mercedes de agua de tipo agrícola son muchísimas y todas de pequeño gasto, por ello no se han considerado separadamente y han sido incluídas en el capítulo de regadío como conjunto en las diversas zonas agrícolas.

Se incluye además, un esquema que indica la ubicación aproximada de las distintas bocatomas, las aducciones y los puntos de entregas (figura 12.3).

12.7 Resumen de los Consumos Actuales y Futuros de Agua en la Cuenca del Río Loa.

De acuerdo a los antecedentes expuestos en los puntos anteriores, los consumos actuales y las demandas futuras de agua en la cuenca del río Loa, se pueden resumir en los siguientes términos:

	Consumo Actual (1969) (l/s)	Demanda Futura (2000) (l/s)
Regadío.		
Calama	1.047	3.311
Lasana, Chiu-Chiu	190	649
Quillagua	128	128
	1.365	4.088
Agua Potable e Industrial.		
Antofagasta	500	2.059
Tocopilla y Pampa	179	592
Calama	100	625
Chuquicamata	169	262
	948	3.538
Minería.		
Chilex	715	1.323
Salitreras	303	303
	1.018	1.626
Total	3.331	9.252

Figura 12.3

ESQUEMA DE ADUCCIONES Y MERCEDES DE AGUA NO AGRICOLA EN LA CUENCA DEL RIO LOA

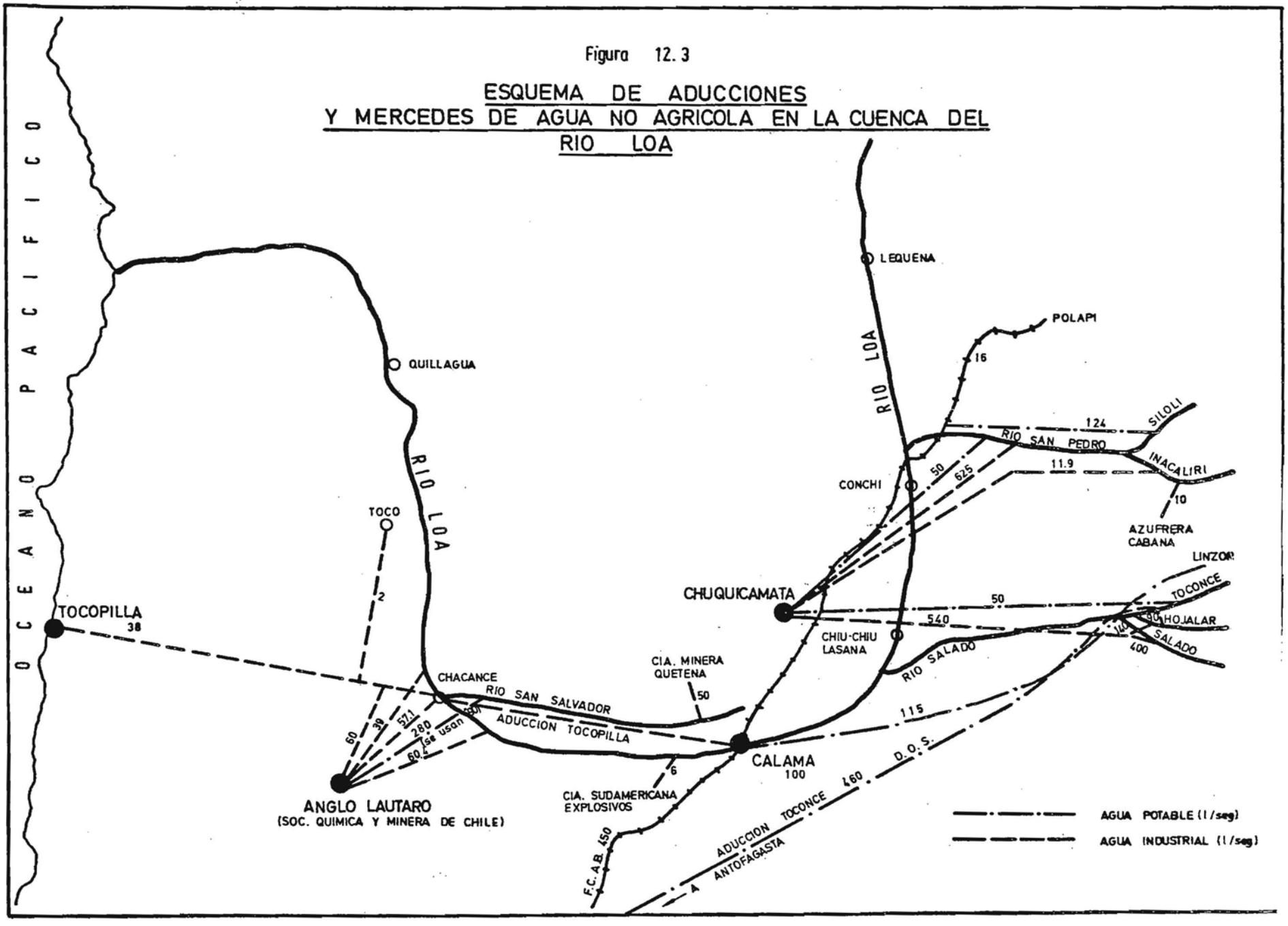


TABLA 12.25

Cuadro de Mercedes de Agua (No Agricolas)

Fuentes: Dirección de Aguas

Estudio Embalse Conchi
(Absalón Monsalve)

Río San Pedro

Bocatoma	Usuario	Uso	l/s	Decs. Conces. definitiva	Iniciación Uso	Observaciones
Siloli	F.C.A.B.	Agua Potable y FFCC en Calama y Antofagasta	124,0	anterior 1900	anterior 1916	
Polapi	F.C.A.B.		16,0	---	---	No es tributario del Loa.
Inacaliri	Azufrera Cabana	Industrial	10,0	324/ 9-2-56	Feb. 56	
Inacaliri	Chilex	Agua Potable	87,5	1968/14-6-27	Mar. 15	
Inacaliri	Chilex	Agua Potable	31,5	1324/25-6-58	Dic. 56	
San Pedro	Chilex	Agua Ind.	87,5	1968/14-6-27	Jun. 25	
San Pedro	Chilex	Agua Ind.	87,5	1324/25-6-58	Dic. 56	
San Pedro	Chilex	Agua Ind.	450,0	-----	-----	Concesión provisoria 30 Sept. 69. Con plazo de 2 años para construir obras de captación.
Colana	Chilex	Agua Potable	50,0	-----	-----	

Cuadro de Mercedes de Agua (No Agrícolas)
(Continuación)

Bocatoma	Usuario	Uso	l/s	Dec. conces. definitiva	Iniciación Uso	Observaciones
Loa	Anglo Lautaro	Industrial	23,10	1889/18		Bocatoma en Chacance
Loa	Anglo Lautaro	Industrial	10,40	2777/25		Bocatoma: 1.200 mt aguas arriba vado Miscanti.
Loa	Anglo Lautaro	Industrial	34,00	1991/4-4-29		Bocatoma en Chacance
Loa	Anglo Lautaro	Industrial	39,00	2158/12-4-29		Bocatoma en 11.000 mt aguas abajo Chacance Anterior 1928;caducada el30-10-28; levantada la caduc. el 12-4-29.
Loa	Anglo Lautaro	Industrial	50,00	513/6-4-32		Bocatoma: 1.200 mt aguas arriba vado Miscanti
Loa	Cía. Sudameric. de explosivo	Industrial	6,00	2022/35		Bocatoma: cerca cascada Chintoraste
			Río San Salvador			
Ojos de Opache	Cía. Sudameric. de explosivos	F. Motriz	250,00	308/24		Se restituye al río Opache antes junta con San Salvador
Quebrada Quetena	Cía. Minera Quetena	Industrial	50,00	98/55		Bocatoma: a 3 km aguas arriba confluencia quebrada Quetena/quebrada Opache.
San Salvador (merced 280 l/s	Anglo Lautaro Decreto 696/56)	Industrial	57,00 33,00	656/56	6-4-56 7-4-63	Se están usando 90 l/s, resto es reserva Bocatoma: orilla izq. San Salvador 20 mt aguas arriba confluencia con Loa

Cuadro de Mercedes de Agua (No Agrícolas)
(Continuación)

Río Salado

Bocatoma	Usuario	Uso	l/s	Decs. Conces. Definitiva	Iniciación Uso	Observaciones
Toconce	Chilex	Agua Potable	35,0	370/Feb. 25	1920	Fecha iniciación aproximada
Toconce	Chilex	Agua Potable	15,0	557/Mar. 27	1927	Fecha iniciación aproximada
Hojalar	Chilex	Agua Ind.	100,0 40,0	2974/13-12-61	Jun. 66	90 l/s traslado a Calama 1962 40 l/s reserva
Salado (Merced 400 l/s)	Chilex	Industrial	50,0 50,0 100,0 100,0 100,0	1310/17-6-55	Jun. 52 Dic. 52 Jun. 53 Dic. 53 Jun. 54	Fecha iniciación aproximada Fecha iniciación aproximada Fecha iniciación aproximada Fecha inciación aproximada Fecha iniciación aproximada
Linzor (Toconce)	D.O.S. Fiscal	Agua Potable Tocopilla y Of. Salitrera	115,0	sin merced	antes 1916	
Linzor (Toconce)	D.O.S. Fiscal	Agua Potable Antofagasta	370,0	sin merced	Sept. 1958	
Hojalar	D.O.S. Fiscal	Agua Potable Antofagasta	90,0	1409/1959	Sept. 1961	

BIBLIOGRAFIA

1.- Basso, Eduardo. "Inventario de los Recursos Hidrológicos Superficiales de Chile". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Planeamiento, 1961.

2.- Bruggen, Juan. "Informe Geológico Sobre el Agua Subterránea de la Región de Calama". Anales del Instituto de Ingenieros de Chile Vol. 30, Nº 4, p. 214 - 231 , 1930.

3.- CEPAL "Los Recursos Hidráulicos de Latinoamérica". Volúmen I. Chile, 1960.

4.- Comisión Chilena de Energía Nuclear. "Plan de Obras para atender las necesidades eléctricas y de agua de las provincias de Tarapacá y Antofagasta", 1969.

5.- Compañía de Cobre Chuquicamata. "Estadísticas de Consumo de Agua Industrial y Potable para la Producción de Cobre en el Mineral de Chuquicamata". Chile, Febrero 1967.

6.- Corporación de Fomento de la Producción. "Geografía Económica de Chile". Tomos I, II y III 1962.

7.- DECSA "Estudio Agrológico de la Hoya Hidrológica del Loa, 1965 - 1966". Ministerio de Agricultura. Dirección General de Agricultura y Pesca, 1966.

8.- Dirección de Estadística y Censos de Chile. "XII Censo General de Población y I de la Vivienda. Volumen II, Santiago, 1952.

9.- Dirección de Estadística y Censos de Chile. "XIII Censo General de Población" Santiago, 1960.

10.- Dirección de Estadísticas y Censos de Chile. "Entidades de Población: Antofagasta". Santiago, 1960.

11.- Dirección de Estadística y Censos de Chile. "Pre-Censo Manufacturero de Chile". Agosto 1967.

12.- Dirección de Estadísticas y Censos de Chile. "XIV Censo General de Población" 1970 (no publicado).

13.- Domínguez, Jorge. "Experiencia sobre Lavado de Suelos en Calama". Memoria de Título, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile, 1963.

14.- D.U.R. (Organización Profesional para el Estudio del Desarrollo Urbano y Rural). "Estudio Pre-Inversional de Antofagasta". Tomos I y II. Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, Dirección General de Planificación y Presupuesto, 1968.

15.- Fenner, Ricardo. "Estudio Geológico para el Tranque Loa en la Isla". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1948.

16.- Fuenzalida, Humberto. "Clima" Geografía Económica de Chile, Capítulo IV, Corporación de Fomento de la Producción, 1965.

17.- García Lozano, Faustino. "Métodos en Uso y su Empleo para Cálculo de la Evapotranspiración". Ministerio de Obras Públicas, Centro de Estudios Hidrográficos, Madrid, España, 1964.

18.- Goluvieb, Guennady. "Condiciones Hidrológicas del Escurrimiento Superficial y Subterráneo en el Norte Grande".

19.- Grassi, Carlos. "Estimación de los Usos Consuntivos de Agua y Requerimientos de Riego con Fines de Formulación y Diseño de Proyectos. Criterios y Procedimientos" CIDIAT, Mérida, Venezuela, 1968.

20.- Greve, Federico. "Historia de la Sismología de Chile". Instituto de Investigaciones Geológicas. Carta Geológica de Chile, 1968.

21.- Hansen, Norman. "Proyecciones de la Demanda de Agua en Chile y su Repartición Geográfica Para los Próximos 20 Años". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Planeamiento, 1962.

22.- Jennings, M.E. y Benson, M.A. "Frecuency Curves for Annual Flood Series with Some Zero Events or Incomplete Data". Water Resources Research, Vol. 5, Feb. 1969.

23.- Kendall, M.G. y A. Stuart. "The Advanced Theory of Statistics" Vol. 3, pp 351 a 359. Londres, Griffin, 1966.

24.- Kleiman, Pablo. "Estudio Hidrológico Loa en la Isla". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1948.

25.- Klohn, Wulf. "Calidad de las Aguas del Río Loa". Informe 68/2, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1968.

26.- Lara, Domingo. "Tasa de Riego para el Valle del Loa". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1948.

27.- Lara, Patricio. "Habilitación de un Sector de Suelo Salino-Sódico de las Vegas de Calama". Memoria de Título, Facultad de Agronomía, Universidad Católica de Chile, 1965.

28.- Lira, Gustavo. "Aguas del Río Loa". Instituto Científico e Industrial del Salitre. Santiago, Chile, 1921.

29.- Ministerio de Agricultura, Departamento de Conservación de Suelos y Aguas. "Estudio Agrológico de la Hoya Hidrográfica del Loa, Santiago, Chile, 1965 - 66.

30.- Ministerio de Agricultura. "Anuario de Agricultura y Pesca", Santiago, Chile, 1967.

31.- Ministerio de Agricultura. "IV Censo Nacional Agropecuario. Año Agrícola 1964 - 1965". Vol. 3. Provincia de Antofagasta, 1965.

32.- Ministerio de Minería, Servicio de Minas del Estado. "Anuario de la Minería en Chile".1967.

33.- Ministerio de Minería, Servicio de Minas del Estado. "Anuario de la Minería en Chile". 1968.

34.- Monsalve, Absalón. "Hidrología del Loa y Embalse Conchi para Uso Industrial". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1967.

35.- Monsalve, Absalón. "Anteproyecto del Embalse Conchi". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1967.

36.- Monsalve, Absalón. "Embalse Conchi. Bases Teóricas del Proyecto". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1969.

37.- Niemayer, Hans. "Estudio de la Contaminación del Río Loa". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1967.

38.- ODEPLAN. "Política de Desarrollo Nacional. Directivas Nacionales y Regionales". Santiago, Chile, 1968.

39.- ODEPLAN. "Estrategia de Desarrollo para las Provincias de Tarapacá y Antofagasta". (Borrador Preliminar). Tomos I y II.

40.- Oficina Meteorológica de Chile. "Pluviometría de Chile". Santiago, Chile, 1965.

41.- Olivier, Henry. "Irrigation and Climate". Londres, Edward Arnold, 1961.

42.- Organización Meteorológica Mundial. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano. "Manual de Instrucciones, Estudios Hidrológicos". San José, Costa Rica, 1972.

43.- Rodríguez, Renato y Rivera, Sergio. "Anteproyecto del Regadío de Calama y Chiu-Chiu". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1962.

44.- Servicio Nacional de Salud. "Anuario del Servicio Nacional de Salud", Santiago, Chile, 1970.

45.- Tolosa, Juan. "Sobrantes de Agua en el Río Loa". Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Dirección de Riego, 1967.

46.- United States Salinity Laboratory Staff.
Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils". United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook Nº 60, Feb. 1954.

47.- Wollman, Nathaniel. "The Water Resources of Chile". Latin American Institute for Economic and Social Planning and Resources for the Future, Inc. The John Hopkins Press, Baltimore, 1968.