

Microsystem - MOP_DGA

SUP-2780

v.1 c.1



PLA

INDICE GENERAL

TOMO I

DIRECCION GENERAL DE AGUAS
Centro de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

PAGINA

o RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. INTRODUCCION

1-1

- 1.1 Origen del Estudio y Antecedentes de Interés
- 1.2 Objetivos y Alcances del Estudio
- 1.3 Contenido de este Informe Final
- 1.4 Descripción Física General del Sistema Río Loa

1-1

1-3

1-4

1-7

2. RESEÑA DE ANTECEDENTES CONSULTADOS

2-1

- 2.1 Introducción
- 2.2 Informe: "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - Río Loa". Febrero 1979
- 2.3 Informe: "Estudios de Racionalización del Área de Riego del Río Loa". 1979
- 2.4 Informe: "Fotointerpretación de las Áreas de Calama, Lasana, Chiu-Chiu y Quillagua". Diciembre 1982
- 2.5 Informe: "Área Agrícola Lasana, Chiu-Chiu y Calama. Agua de Regadío. Distribución Mensual en m³ Mayo y Agosto 1984. D.G.A.
- 2.6 Rol Provisional de Regantes Área Agrícola de Quillagua e Informes con Antecedentes de Tasas de Riego
- 2.7 Informe: "Estudio de Nuevas Fuentes de Agua Potable para el Abastecimiento de las ciudades de Antofagasta, Calama, Tocopilla, Pampa Salitrera y Diagnóstico de la Infraestructura Existente (II Región)". Estudio Preliminar Nuevas Fuentes. 1982

2-1

2-1

2-3

2-5

2-5

2-6

2-6

2.8	Antecedentes sobre Demandas de Agua	2-8
2.9	Antecedentes Fluviométricos	2-10
2.10	Antecedentes de Calidad del Agua	2-12
2.11	Informe: "Reconocimiento Geológico a Rocas en Zona Casa de Valvulas y Vertedero del Embalse Conchi".	2-14
2.12	Informe sobre el Tranque Sloman	2-14
2.13	Informe: "Factibilidad Técnica de Aprovechamiento de los Embalses Sloman y Santa Fe".	2-15
2.14	Informe : "Proyecto de Modificación y Reparaciones Bocatoma Calama No.1".	2-15
3.	DETERMINACION DEMANDAS DE AGUA	3-1
3.1	Demandas No Agrícolas	3-1
3.2	Demandas Agrícolas	3-13
3.3	Resumen de Demandas al Sistema	3-65
4.	ESTUDIOS HIDROLOGICOS	4-1
4.1	Estadísticas de Gastos Medios Mensuales	4-1
4.2	Recuperaciones y Pérdidas en el Sistema	4-8
4.3	Pronóstico de Caudales Medios Mensuales	4-21
4.4	Estudios de Crecidas	4-28
5.	CALIDAD QUIMICA DE AGUAS DEL SISTEMA RIO LOA - RIO SALADO	5-1
5.1	Introducción	5-1
5.2	Estadísticas de Calidad de Aguas	5-1
5.3	Análisis de la C.E. de Distintos Puntos del Sistema	5-4
5.4	Relaciones de Modelación en Zonas de Recuperación y Pérdidas	5-18

6.	DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE RIEGO	6-1
6.1	Introducción	6-1
6.2	Oasis de Lasana	6-3
6.3	Oasis de Chiu-Chiu	6-13
6.4	Oasis de Calama	6-26
6.5	Oasis de Quillagua	6-57
6.6	Embalse Conchi	6-65
6.7	Tranque Sloman	6-68
6.8	Tranque Santa Fe	6-71
6.9	Propiedades y Superficies Bajo Canal y Cultivadas	6-74
6.10	Eficiencias de Conducción para la Situación Actual de Riego	6-85

TOMO II

7.	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO	7-1
7.1	Introducción	7-1
7.2	Estudio de Alternativas de Mejoramiento de la Infraestructura Actual de Riego	7-3
7.3	Alternativas de Mejoramiento de la Calidad del Agua para el Riego de Calama	7-107
8.	ESTRUCTURACION Y CALIBRACION DEL MODELO DE SIMULACION	8-1
8.1	Estructura del Modelo	8-1
8.2	Proceso de Calibración del Modelo	8-31
8.3	Resultados que entrega el Modelo de Simulación	8-41
8.4	Procedimientos de Pronóstico de las entregas desde el Embalse en tiempo real	8-45
9.	APLICACION DEL MODELO DE SIMULACION	9-1
9.1	Introducción	9-1
9.2	Situaciones Simuladas	9-3
9.3	Resultados de las Simulaciones	9-23

10.	SELECCION Y DESCRIPCION DE LA SOLUCION DE MEJORAMIENTO RECOMENDADA. DISENOS PRELIMINARES	10-1
10.1	Análisis Económico Preliminar de las Alter- nativas	10-1
10.2	Descripción de la Solución de Mejoramiento Recomendada	10-23
10.3	Resumen por Oasis del Costo Total del Proyecto de Mejoramiento	10-34
11.	EVALUACION ECONOMICA PRELIMINAR DE LA SOLUCION RECOMENDADA	11-1
11.1	Generalidades	11-1
11.2	Determinación de los Beneficios Agrícolas Directos	11-1
11.3	Determinación de los Costos de Proyecto	11-5
11.4	Determinación de los Parámetros Económicos	11-8
11.5	Análisis de Sensibilidad	11-10
11.6	Ocupación de Mano de Obra	11-13
11.7	Beneficiarios del Proyecto	11-15
11.8	Plazo de Ejecución Estimado para el Proyecto	11-16

TOMO DE ANEXOS

ANEXOS

- I DEMANDAS NO AGRICOLAS
- II DEMANDAS AGRICOLAS
- III ANTECEDENTES CALIDAD DE AGUA
- IV ESTADISTICA DE CAUDALES
- V RELACIONES DE PRONOSTICO
- VI PRECIOS UNITARIOS
- VII ALTERNATIVAS DE DESALINIZACION
- VIII RESULTADOS DE LOS PROCESOS DE SIMULACION
- IX MANUAL DE USO DEL PROGRAMA DE COMPUTACION
- X EVALUACION ECONOMICA PRELIMINAR DE LA
ALTERNATIVA RECOMENDADA. TABLAS COMPLEMENTARIAS
- XI VERIFICACION DE FUNDACIONES Y MECANICA DE SUELOS

INDICE DE PLANOS

1.	Red de Canales. Oasis de Lasana	1/8
2.	Red de Canales. Oasis de Chiu-Chiu	2/8
3.	Red de Canales. Oasis de Calama	3/8
4.	Red de Canales. Oasis Quillagua	4/8
5.	Unidades de Control, Marcos de Distribución y Aforadores	5/8
6.	Mejoramiento Bocatoma No.1 de Calama (Alternativas A y B)	6/8
7.	Bocatomas de Lasana, Chiu-Chiu y No.2 de Calama.	7/8
8.	Mejoramiento Obras de Entrega Tranque Sloman	8/8

RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. ORIGEN, OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

La II Región del país presenta una crónica escasez del recurso agua que se seguirá agudizando en forma significativa, tanto por las previstas necesidades y extracciones adicionales de SENDOS a partir de 1987 para el abastecimiento de sus servicios de agua potable, como asimismo por los requerimientos crecientes de la minería en general y especialmente de CODELCO.

Estos hechos están conduciendo a un efectivo y literal agotamiento de la cantidad de recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Loa y a un persistente y peligroso deterioro de su calidad (salinidad) para fines agrícolas.

Ante esta realidad, la Dirección General de Aguas ha puesto término al proceso de organización de los roles provisionales de usuarios agrícolas existentes en los oasis de Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua, procedimiento este que ha significado asignar a los agricultores, derechos de agua muy restrictivos, a objeto de adecuarse a las nuevas limitaciones mencionadas y especialmente a las nuevas extracciones previstas para el SENDOS en el sector de Quinchamale aguas arriba del embalse Conchi.

Teniendo en consideración que los nuevos derechos de agua asignados pueden provocar serios problemas en la actividad agrícola de los oasis del río Loa, que por diversas razones sociales y geopolíticas, es indispensable preservar dicha actividad en la región, el Ministerio de Obras Públicas dentro de un conjunto de medidas destinadas a preservar la producción agrícola de la cuenca del río Loa, decidió encomendar a su Dirección de Riego el Estudio de un Programa de Obras de mejoramiento de la infraestructura de riego del río Loa, que permitan lograr un mejor aprovechamiento de los recursos de agua asignados por la DGA a los regantes, cuando se concreten las nuevas extracciones de agua previstas para las demandas no agrícolas.

El presente informe que se resume a continuación, contiene los trabajos desarrollados, los resultados alcanzados y las conclusiones obtenidas, en el estudio de consultoría correspondiente, adjudicado a la empresa ICC-CONIC Ingenieros Consultores.

Los objetivos básicos de este estudio son :

- Efectuar un diagnóstico del estado actual de la infraestructura de riego del río Loa, y sobre la base del mismo realizar un estudio de la conveniencia y factibilidad de las posibilidades de mejoramiento.
- Efectuar las adecuaciones y actualizaciones necesarias a un estudio anterior y al modelo de simulación contenido en él (1), que permitan operar adecuadamente el sistema y conocer la disponibilidad, distribución, calidad y seguridad del agua para riego, con diferentes situaciones de extracciones adicionales de agua en algunos puntos del sistema en cuestión, y diferentes alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego actual.

(1) "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - río Loa" (1979) elaborado por B.Espíldora, E.Brown y J.Castillo para la Dirección de Riego. M.O.P.

2.

DESCRIPCION FISICA GENERAL DEL SISTEMA RIO LOA

La cuenca del río Loa se encuentra ubicada en la II Región de Antofagasta (Ver figura I).

Su superficie total abarca 31.925 km² y sus afluentes principales están constituidos por los ríos San Pedro, Salado y San Salvador.

La zona costera presenta un clima desértico con nublados abundantes. La zona comprendida entre la localidad de Quillagua (800 manm) hasta Lequena (3200 manm), corresponde a un clima desértico normal. A partir de la cota 3000 manm aproximadamente, se observa un clima de desierto marginal de altura en que las precipitaciones aumentan notoriamente con la altitud.

El régimen de caudales en el río Loa y sus afluentes presenta una reducida variación mensual e interanual, solamente alterado por variables crecidas que ocurren aleatoriamente entre los meses de Enero a Marzo durante el invierno altiplánico.

La calidad química de las aguas se va deteriorando notoriamente hacia aguas abajo, especialmente debido a los aportes de aguas subterráneas en el sector de Angostura, aguas arriba de Calama y de los caudales superficiales que aporta el río Salado aguas abajo de Chiu-Chiu. (Ver figura I).

Los sectores agrícolas regados se concentran en los oasis de Lasana (54 Hás), Chiu - Chiu (176 Hás), Calama (1103 Hás) y Quillagua (143 Hás), lo que totaliza 1476 Hás cultivadas según DGA.

El sistema de riego está constituido por una extensa red de canales que totalizan 120.071 m; la gran mayoría de los cuales tiene capacidades comprendidas entre 200 y 500 l/s.

Las aguas del río Loa están reguladas por medio del embalse Conchi (cota 3000 manm) de 21,9 millones de metros cúbicos de capacidad, el cual está operando desde 1975.

Las demandas no agrícolas al sistema están constituidas por extracciones para el abastecimiento de Chuquicamata, extracciones del SENDOS y de las salitreras, que en conjunto totalizan unos 2514 l/s en la actualidad (1986).

3.

ANTECEDENTES CONSULTADOS

Para la elaboración de este estudio se ha consultado y utilizado principalmente los siguientes informes de estudios anteriores, e información básica :

- "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - río Loa" (1979) B. Espíldora, E. Brown y J. Castillo para la Dirección de Riego. M.O.P.
- "Estudios de Racionalización del Área de Riego del Río Loa", 1979 H. Niemeyer para la Dirección de Aguas.
- "Foto Interpretación de las Áreas de Calama, Lasana, Chiu-Chiu y Quillagua". COSERREN. Dic-1972.
- "Área agrícola de Lasana, Chiu-Chiu y Calama. Agua de Regadío. Distribución Mensual en metros cúbicos".
- "Rol Provisional de Regantes Área Agrícola de Quillagua e Informes con Antecedentes de Tasas de Riego". D.G.A.
- "Estudio de nuevas fuentes de Agua Potable para el Abastecimiento de las Ciudades de Antofagasta, Calama, Tocopilla y Pampa Salitrera, y Diagnóstico de la Infraestructura Existente (II Región)". Estudio Preliminar Nuevas Fuentes, IFARLE Ltda. 1982.
- "Estudio de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Loa" CORFO Mayo-1973.
- Antecedentes Fluviométricos registrados en la cuenca del río Loa. Caudales Medios Mensuales, Aforos, Crecidas, Operación del embalse Conchi. Dirección General de Aguas. Dirección de Riego.
- Antecedentes de mediciones y análisis de calidad de aguas del río registrados por la Dirección de Riego y la D.G.A.
- "Factibilidad Técnica de aprovechamiento de los embalses Sloman y Santa Fé". Dirección de Riego Julio-1969.
- "Informe sobre el Tranque Sloman", Dirección de Riego. Agosto-1981.

- "Informe Proyecto de Modificación y Reparaciones Bocatoma Calama No.1", Dirección de Riego. Marzo-1977.

4. DEMANDAS DE AGUA

4.1 Demandas no agrícolas

El nivel de extracciones actuales para demandas no agrícolas de agua en diferentes puntos del sistema se resume en la tabla siguiente :

Extracción en litros/seg				
Sector	SOQUIMICH	SENDOS	CHUQUICAMATA	TOTAL
R.Loa Aguas Arriba de E. Conchi	-	460	790	1250
R.Salado Aguas Arriba de Ayquina	-	575	530	1105
Río San Salvador	27	-	-	27
R.Loa antes S.Salvador	67	-	-	67
Río Loa después de S.Salvador	65	-	-	65
TOTALES	159	1035	1320	2514

En la situación futura de extracciones para demandas no agrícolas, SENDOS contempla en 1987 una captación de 300 l/s en el río Loa en Quinchamale aguas arriba del embalse Conchi y posteriormente una extracción de 100 l/s en las Vegas de Turi afluentes al curso medio del río Salado.

Por otra parte, CODELCO requiere en los próximos años aproximadamente 1000 l/s adicionales, los cuales, de acuerdo a la información actualmente disponible, se pretende captarlos sin afectar directamente las aguas superficiales que drenan hacia el río Loa, pero que en parte podrían eventualmente interferir en los aportes de aguas subterráneas que se incorporan al caudal del río Loa aguas arriba del embalse Conchi.

Finalmente, no existen antecedentes de futuras extracciones previstas a futuro por Soquimich, pero al disponer esta empresa de mayores derechos de agua que sus extracciones actuales, podrían potencialmente a futuro requerir extraer adicionalmente unos 50 l/s aproximadamente.

4.2

Demandas agrícolas

Las tasas de riego en bocatoma según este consultor y las dispuestas por la Dirección General de Aguas para cada una de las zonas de riego, y las demandas de agua que se generarían en cada caso, se resumen a continuación. Se incluye además, las superficies actualmente regadas, con derechos de agua otorgados por la DGA y la superficie total bajo canal.

Las superficies cultivadas que se riegan actualmente se han estimado en este trabajo para la situación actual según un estudio aerofotogramétrico ejecutado en 1981 por COSERREN.

ZONA DE REGO	SUPERFICIES (Ha)			TASAS DE RIEGO (m ³ /ha/año)		DEMANDAS ANUALES PARA SUPERFICIES DGA			
	Total Potencial	Actual Estimada	Según	ICC-CONIC	DGA	con tasa ICC-CONIC		con tasa DGA	
	bajo canal (2)	(2)	DGA						
						m ³ x 10 ³	l/s	m ³ x 10 ³	l/s
LASANA	101,97	56,80	54,32	27.310	27.800	1.483	47	1.510	48
CHIU-CHIU	276,80	148,35	175,97	28.890	27.800	5.084	161	4.892	155
CALAMA	1.205,35	829,53	1.103,12	34.850	28.465(1)	38.444	1.219	31.400	996
QUILLAGUA	228,29	110,07	143,10	48.820	32.800	6.986	222	4.694	149
TOTAL	1.812,86	1.144,75	1.476,51	-	-	51.997	1.649	42.496	1.348

(1) Valor ponderado de acuerdo a tasas de riego y superficies asignadas a cada canal.

(2) Según Informe Coserren. Diciembre 1982.

La distribución de cultivos en porcentaje del área cultivada con que se ha determinado las tasas de riego según ICC-CONIC para este estudio, en cada zona de riego, son las siguientes :

CULTIVOS	ZONA DE RIEGO			
	LASANA	CHIU-CHIU	CALAMA	QUILLAGUA
Alfalfa	38,42	37,60	64,04	100,00
Maíz	23,94	13,21	34,25	-
Hortalizas	37,64	47,67	-	-
Trigo	-	1,52	1,71	-
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

5.

ASPECTOS HIDROLOGICOS

Para la situación actual y con el régimen de extracciones de agua vigente, la tabla siguiente indica el régimen de caudales en diferentes puntos a lo largo del río Loa y sus afluentes. Las cifras se expresan en términos de valores medios mensuales y anuales en m³/s.

	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	PROM
LOA EN CONCHI	0.90	0.84	0.83	0.82	0.81	1.14	1.51	1.05	0.93	0.90	0.93	0.93	0.97
SALADO EN AYQUINA	0.47	0.43	0.36	0.30	0.33	0.56	0.75	0.46	0.38	0.43	0.48	0.49	0.45
SAN SALVADOR	0.45	0.45	0.45	0.40	0.33	0.33	0.32	0.31	0.36	0.40	0.45	0.45	0.39
ANTES DE LASANA	0.54	0.61	0.65	0.94	1.79	1.62	1.63	0.81	0.59	0.51	0.43	0.48	0.88
ANTES DE CHIU-CHIU	0.42	0.46	0.47	0.73	1.56	1.39	1.41	0.63	0.45	0.38	0.34	0.37	0.72
ANTES DE CALAMA	1.69	1.65	1.57	1.62	2.11	2.27	2.60	1.76	1.60	1.62	1.67	1.68	1.82
ANTES DE QUILLAGUA	0.93	0.71	0.55	0.37	0.47	0.56	0.94	0.45	0.50	0.64	0.92	0.93	0.66

Aguas arriba del embalse Conchi, hasta el río San Pedro, se producen aportes subterráneos al Loa de aproximadamente 200 l/s.

Debe señalarse además que en el curso medio e inferior del río Salado se generan recuperaciones por aportes de aguas subterráneas de unos 200 l/s, de manera que el caudal medio anual aportado por el río Salado al Loa es de 650 l/s.

Una situación análoga se produce en el río Loa en el sector de Angostura, en que se generan recuperaciones de aguas de alta salinidad de aproximadamente 670 l/s.

Finalmente, entre el término de la zona de riego de Calama y el río San Salvador, se producen pérdidas naturales de agua del orden de 183 l/s y desde la confluencia con el río San Salvador y Quillagua se generan pérdidas naturales adicionales por otros 185 l/s. A estas pérdidas hay que agregar las extracciones de agua de Soquimich.

Es posible predecir cada año el volumen de agua y su distribución mensual que afluirá al embalse Conchi, y el que escurrirá en el río Salado en Ayquina durante el período Agosto a Abril, mediante una relación simple con el volumen escurrido en esos puntos en el período anterior de Marzo a Julio. Este pronóstico no contempla los volúmenes de agua aportados por crecidas aisladas. En este caso el error de la predicción no supera el 10%.

Durante el período Enero a Marzo de cada año se generan crecidas en el río Loa y Salado, producto de las tormentas que se producen durante el invierno altiplánico. Estas crecidas pueden modificar significativamente la relativamente escasa irregularidad intermensual e interanual que se observa en el régimen de caudales del río. La tabla siguiente resume algunas características de las principales crecidas observadas en Loa en Conchi, Salado en Ayquina y Loa en Yalquincha.

LUGAR Y FECHA PERIODO DE RETORNO	Duración (Hrs)	Volumen (10 ³ m ³)	Caudal Máximo m ³ /s
Loa en Conchi			
3 Enero 1972	48	841	24,6
1 Feb 1973	250	5.156	46,0
14 Feb 1975	296	15.050	63,6
18 Feb 1985	76	1.357	57,2
Salado en Ayquina			
31 Dic 1971	70	1.295	14,0
Feb 1975	-	> 1.145	60,0
29 Ene 1976	40	1.829	85,3
21 Feb 1985	30	281	21,3
Loa en Yalquincha			
5 Ene 1972	282	5.085	13,55
7 Feb 1973	162	4.707	28,50
16 Feb 1975	320	18.701	119,54
6 Mar 1975	144	6.857	64,65
29 Ene 1976	164	3.690	81,05
21 Feb 1985	36	428	3,45

Las crecidas que ocurren en Loa en Yalquincha pueden provenir tanto del río Loa alto como en conjunción con el río Salado, siendo los aportes de éste de menor magnitud en general en términos de volúmenes de esorrentía directa. El efecto regulador de crecidas del embalse Conchi ha sido significativo.

Los valores de crecidas anuales, provenientes de los análisis de frecuencias realizados para las estaciones Loa en Conchi y Salado en Ayquina, obtenidos para periodos de retorno entre 10 y 50 años se presentan en la Tabla siguiente.

Período de retorno	Loa en Conchi			Salado en Ayquina		
	Caudal m3/s	Volumen m3 x 10	Duración hr	Caudal m3/s	Volumen m3 x 10	
10	46	5,2	249	41	1,1	
20	61	10,0	327	70	2,6	
50	73	20,0	390	100	3,2	

Cabe recalcar que dichos valores han sido obtenidos producto de un análisis orientado a la evaluación del efecto regulador del embalse Conchi, por lo cual se considera no recomendable su utilización directa con fines de diseño de obras hidráulicas. Un análisis de crecidas para fines de diseño, requeriría de un estudio bastante acucioso de las series estadísticas, de las curvas de descarga y de las condiciones alternativas en cuanto a estados de almacenamiento en el embalse Conchi.

6. CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS

El río Loa y sus tributarios se caracterizan por presentar altos índices de salinidad, principalmente a consecuencia de los aportes de escurrimientos de aguas subterráneas que van incrementando el caudal de los ríos hacia aguas abajo de ellos.

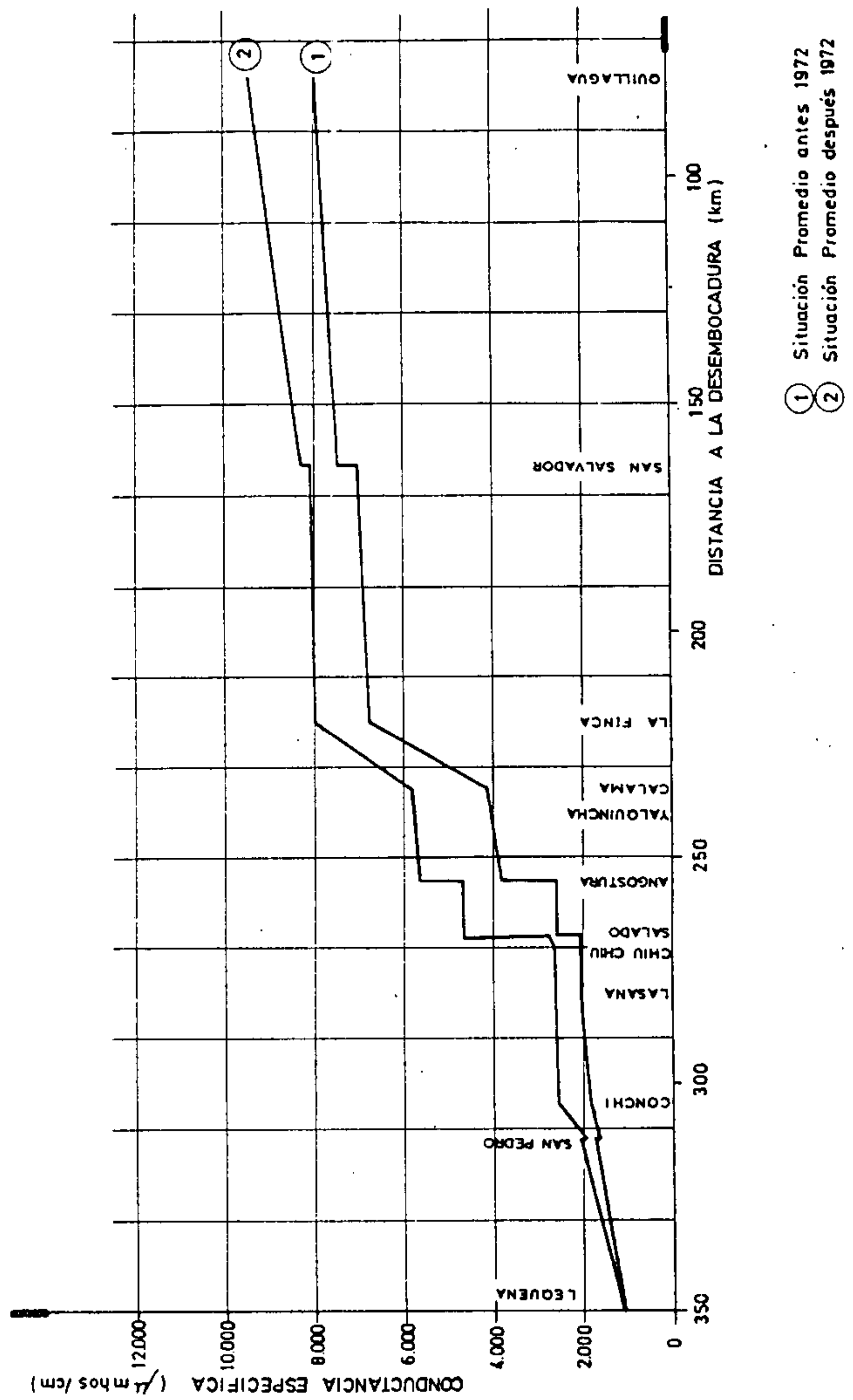
Del análisis de los antecedentes registrados en el río Loa, es posible caracterizar la variación de la calidad del agua del río Loa, en términos de su conductividad eléctrica.

La Figura II indica la variación espacial promedio de este indicador a lo largo del río Loa para dos períodos de tiempo distintos. La Figura III ilustra la variación de la calidad química global a lo largo de los últimos 24 años, en diferentes puntos del río.

A través de relaciones de balance hidroquímico, se han establecido las conductividades eléctricas de los aportes subterráneos al río Loa y Salado en los sectores de recuperaciones, según se indica en la siguiente tabla :

Recuperación	Conductividad Eléctrica (μ mhos/cm)
R.Loa entre San Pedro y Conchi	5162
Angostura	7864
R.Salado entre Ayquina y Loa	7300

Además, se han establecido relaciones que permiten estimar la conductividad eléctrica de las pérdidas naturales de agua del río y los aumentos de la misma que se producen en los sectores de riego. Esta información es utilizada como relaciones de modelación en el modelo de simulación de operación del sistema.



C.E. A LO LARGO DEL RIO LOA.

FIGURA
II

VARIACION DE C.E. EN EL TIEMPO.

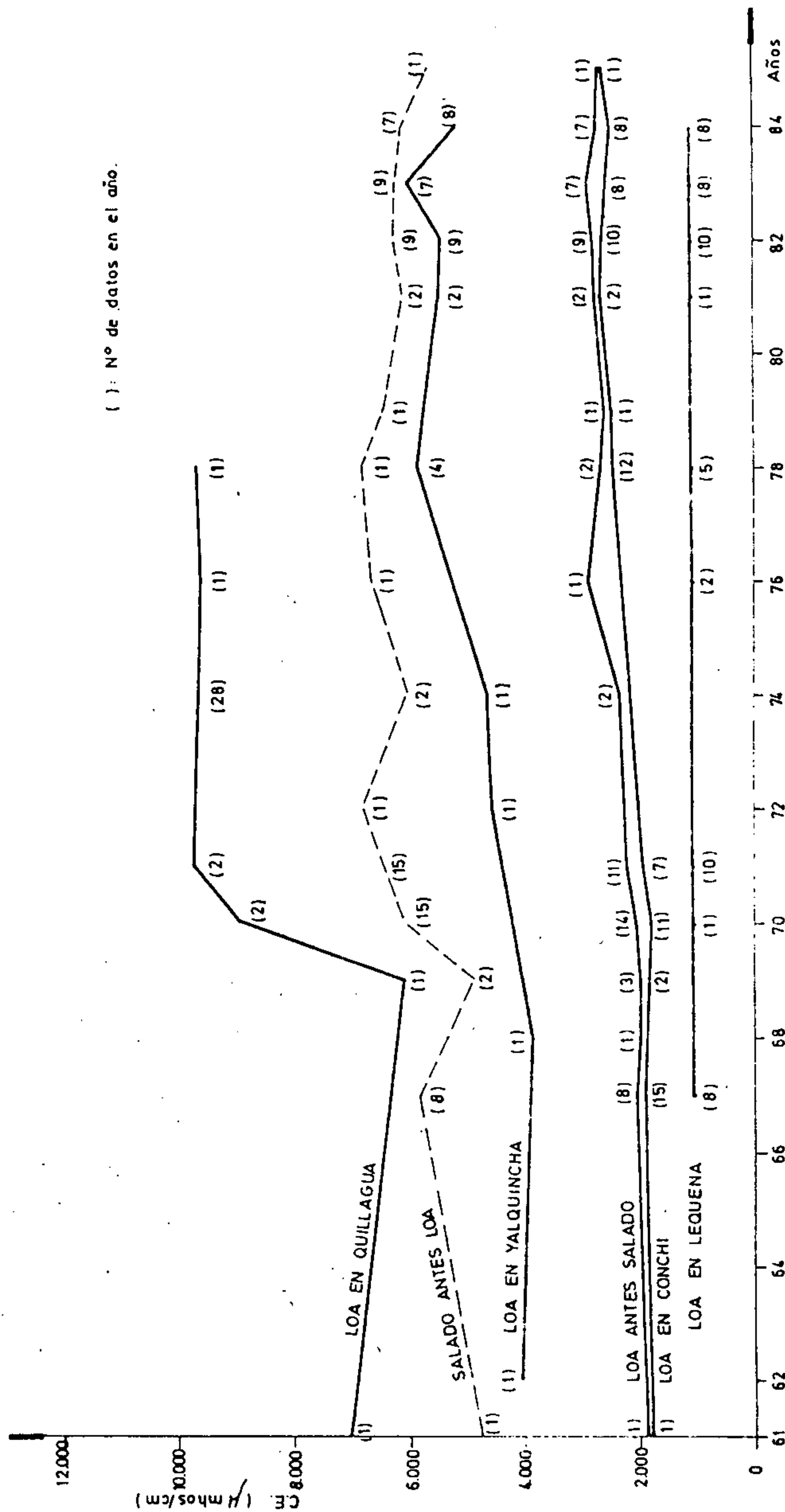


FIGURA III

7.

DIAGNOSTICO DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE RIEGO

La Tabla siguiente resume las principales características de las zonas de riego en el sistema río Loa.

ZONA DE RIEGO	No. DE CANALES Y DERIVADOS PRINCIPALES	LONGITUD DE CANALES (m)	RANGO CAPACIDAD MAXIMA (l/s)	No. DE PROPIE- TARIOS	SUPERFICIE CULTIVADA		DERECHOS DE AGUA		
					SEGUN COSERREM (Has)	SEGUN DGA (Has)	SEGUN DGA		
							m3/año x 10 ³	l/s año	l/s mes de máx.
LASANA	8	22.000	100 a 300	98	56,80	54,32	1.510	48	78
CHIU-CHIU	16	27.900	50 a 200	210	148,35	175,97	4.829	155	253
			900 a 1.000						
CALAMA	31	56.741	150 a 400	327	829,53	1.103,12	31.400	996	1.622
			1.100 a 2.400						
QUILLAGUA	2	13.430	400 a 600	76	110,07	143,10	4.694	149	293
TOTALES	57	120.071	-	711	1.144,75	1.476,51	42.496	1.348	2.246

La red de canales existente en cada zona de riego y los principales aspectos sobre su estado que se observó durante las inspecciones de terreno, se incluyen en los planos 1, 2, 3 y 4.

Sobre la base de estas observaciones, se efectuó una lista detallada de reparaciones y mejoramientos menores y medianos de las obras actuales para asegurar su adecuado funcionamiento.

Adicionalmente, se observaron los siguientes problemas generales en la infraestructura de la red de canales.

- A excepción de la zona de Chiu-Chiu, los canales no cuentan en sus bocatomas con obras de control y medida que permita asegurar captar según los derechos de agua establecidos por la DGA. Los canales captan agua en exceso hasta su capacidad y en algunos casos los excedentes son devueltos directamente al río.
- La falta de aforadores y de marcos con compuertas de distribución o el mal estado de las existentes, impiden un adecuado manejo de las aguas y una repartición controlada y eficiente de los recursos de agua captados y de los derechos de agua que se establecerán próximamente.
- Existe una generalizada falta de mantención adecuada de los canales y sus obras anexas, tales como excesiva vegetación de borde, embanques por derrumbes locales y basuras, calcificaciones de fondo y paredes, estado de estabilidad de taludes en sectores de pretilles, etc. Estos aspectos producen una disminución de la capacidad hidráulica de las obras, de la seguridad física de las mismas y pérdidas de agua.
- Las entregas prediales desde los canales, o bien carecen de compuertas, o éstas son muy rústicas y están en mal estado, lo que se traduce en pérdidas de agua y en un ineficiente manejo en la distribución y la aplicación del agua de riego.
- Chiu-Chiu, la ribera izquierda de Calama y especialmente Lasana, presentan una cantidad excesiva o innecesaria de bocatomas y canales independientes que dificultan : una operación más racional, la mantención de los mismos, un adecuado control de las aguas y sobretodo, una utilización eficiente y factible de los limitados recursos hídricos posibles de captar bajo la nueva asignación de derechos de la D.G.A.

- El último aspecto mencionado, se dificulta aún más debido a que cada canal tiene una asociación de regantes independientes que impide un manejo y distribución eficiente de las aguas a nivel de oasis y del sistema río Loa. Solo en Septiembre de 1985 se estableció una Junta Repartidora de Agua en Calama, no habiéndose constituido todavía una Junta de Vigilancia del río Loa.

En cada oasis, se han estimado las pérdidas por infiltración en la red de canales tanto para la situación actual de captación como para la situación de captación futura con los derechos asignados por la D.G.A. Los resultados se resumen en la tabla siguiente.

OASIS	SITUACION ACTUAL DE CAPTACION		SITUACION DE CAPTACION CON DERECHOS D.G.A.	
	PERDIDAS l/s	EFICIENCIA DE CONDUCCION	PERDIDAS l/s	EFICIENCIA DE CONDUCCION
LASANA	122	0,85	41	0,70
CHIU-CHIU	162	0,80	67	0,75
CALAMA	166	0,90	75	0,90
QUILLAGUA	32	0,90	7	0,90
TOTAL	482	-	190	-

Se recomienda efectuar una campaña sistemática y prolongada de aforos en los principales canales no revestidos, para evaluar más precisamente las pérdidas por infiltración en la red de canales.

Con respecto al embalse Conchi, los únicos aspectos dignos de tener en cuenta, lo constituyen las alteraciones de las rocas y de los taludes que se observan en las laderas adyacentes a las válvulas de salida, y del sector en que el rápido del vertedero descarga al río. Con respecto al primer aspecto, se recomienda tomar medidas que permitan desprender controladamente las rocas de las partes superiores y del talud, y afianzar

diversos sectores con pernos de anclaje previa colocación de malla metálica protectora o concreto proyectado. En relación a la zona de caída del vertedero se recomienda remover todo el material suelto del sector y depositarlo fuera de la influencia del cauce.

La cubeta del tranque Santa Fé se encuentra totalmente llena de sedimentos, por lo que se estima que no es conveniente pretender utilizarlo.

En el tranque Sloman, actualmente de propiedad privada y declarado monumento nacional, es factible ejecutar mejoramientos y obras menores que permitirían disponer de una capacidad de regulación remanente de 650.000 m3. Se estima que no es factible por razones de seguridad física, peraltar el muro de la presa.

8. ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO ESTUDIADAS

8.1 Alternativas de Mejoramientos de la Infraestructura de Riego

Para lograr los objetivos del estudio, se han considerado las siguientes posibilidades parciales de mejoramiento :

- Asegurar el riego de día mediante regulaciones cortas con tranques de noche y/o aumentos de capacidad de canales.
- Unificaciones de canales con sistemas de turno entre ellos.
- Unidades de control y medida para asegurar la asignación de derechos de agua en bocatomas.
- Marcos de distribución y aforadores
- Compuertas prediales adecuadas
- Reparaciones específicas de la infraestructura según lo detectado en el análisis de diagnóstico.
- Rehabilitación del tranque Sloman.

Estos tipos de mejoramientos parciales se han integrado de diferentes maneras para conformar en cada oasis, diversas alternativas más globales de mejoramientos, los cuales se han analizado técnica y económicamente para seleccionar la más conveniente. A esta alternativa seleccionada se le ha denominado "Solución de Mejoramiento Básico".

Adicionalmente, se han analizado, diseñado preliminarmente y costado separadamente, dos tipos de mejoramientos complementarios consistentes en disponer de nuevas bocatomas definitivas y el revestimiento de canales, los cuales permiten ampliar y eventualmente optimizar, a lo menos técnicamente, la Solución de Mejoramiento Básico.

El impacto y beneficio de las soluciones de mejoramiento básico en cada oasis, se analiza y cuantifica separadamente del mejoramiento de las bocatomas y del mejoramiento con revestimiento de canales, mediante la aplicación del modelo de simulación desarrollado según se indica más adelante en el punto 10.

A continuación se indica resumidamente la composición de la alternativa de mejoramiento básico seleccionada para cada oasis, los mejoramientos complementarios de bocatomas y revestimientos, y los costos totales de estas soluciones.

Por último se muestran esquemas de la red de canales para cada uno de los oasis en que se indican las unificaciones, unidades de control, marcos de distribución y aforadores que considera el proyecto recomendado.

8.1.1 Oasis de Lasana

- a) Mejoramientos Básicos (Ver Figura IV. Esquema red de canales - Oasis de Lasana)
- o Ejecutar todas las reparaciones y complementación de la infraestructura observadas en el Estudio de Diagnóstico.
 - o Obras para unificar los canales San Antonio, Quilchire 1 y Los Perales en la ribera derecha y los canales Buen Retiro y Los Ramírez en la ribera izquierda.
 - o Instalar unidades de control de captación y medición en cada sistema de canales unificados y en cada canal no unificado (Quichira; Quilchire 2 y Pona).
 - o Instalar dos marcos de distribución con aforadores en canales Buen Retiro y Pona.
 - o Proveer todas las compuertas prediales necesarias a los regantes.

b) Mejoramiento de revestimientos

Revestir los canales San Antonio, Quilchire 1, Buen Retiro y Pona.

c) Mejoramientos de Bocatomas

Construir una bocatoma nueva definitiva, consistente en una barrera de hormigón con doble juego de compuertas de limpia y secciones de captación, para los sistemas de canales unificados en cada ribera.

Las otras tres bocatomas existentes (Quichira; Quilchire 2 y Pona) no se modifican.

8.1.2 Oasis de Chiu-Chiu

a) Mejoramientos Básicos (Ver Figura V. Esquema red de canales - Oasis de Chiu-Chiu)

- o Utilizar la obra de unificación existente entre el canal Grande y Del Pueblo y operarlos a turno.
- o 14 marcos de distribución con sus aforadores
- o 4 aforadores
- o Ejecutar todas las reparaciones y complementaciones de la infraestructura actual, observadas en Estudio de Diagnóstico
- o Proveer todas las compuertas prediales necesarias a los regantes.

b) Mejoramientos de revestimientos

Revestir la totalidad del canal La Banda y los 5.300 primeros metros del canal Grande.

c) Mejoramientos de Bocatomas

Construir una bocatoma nueva definitiva similar a la de Lasana, para la captación de los canales Grande y La Banda.

8.1.3 Oasis de Calama

a) Mejoramientos Básicos (Ver Figura VI. Esquema red de canales - Oasis de Calama)

- o Ejecutar todas las reparaciones y complementaciones de la infraestructura actual observadas en el Estudio de Diagnóstico, incluyendo el mejoramiento de la Bocatoma No.1.
- o Proveer todas las compuertas prediales necesarias a los regantes.
- o 29 aforadores de barrera y tipo Parshall
- o 12 compuertas nuevas en marcos de distribución existentes.
- o Revestir 800 m en canal Coco-La Villa.
- o Un nuevo marco de distribución en canales Berna y Chañar.
- o 6 unidades de control de captación en bocatomas.
- o 3 obras de unificación para el canal Yalquincha 1 con Cardoso; el canal Banda Radic con el Topater y el canal Nuñez con La Prensa.
- o Obra de unificación de uso eventual en canales Chunchuri con Dupont.

b) Mejoramiento de revestimiento

Revestir los canales Berna, Chañar, Chunchuri No.1 y No.2, Chunchuri Bajo, Yalquincha 1, Banda Radic, Topater y Nuñez.

c) Mejoramiento de Bocatomas

Construir una nueva bocatoma definitiva para captar las aguas de los canales unificados Banda Radic - Topater. Consiste en una barrera de hormigón con compuertas de limpia.

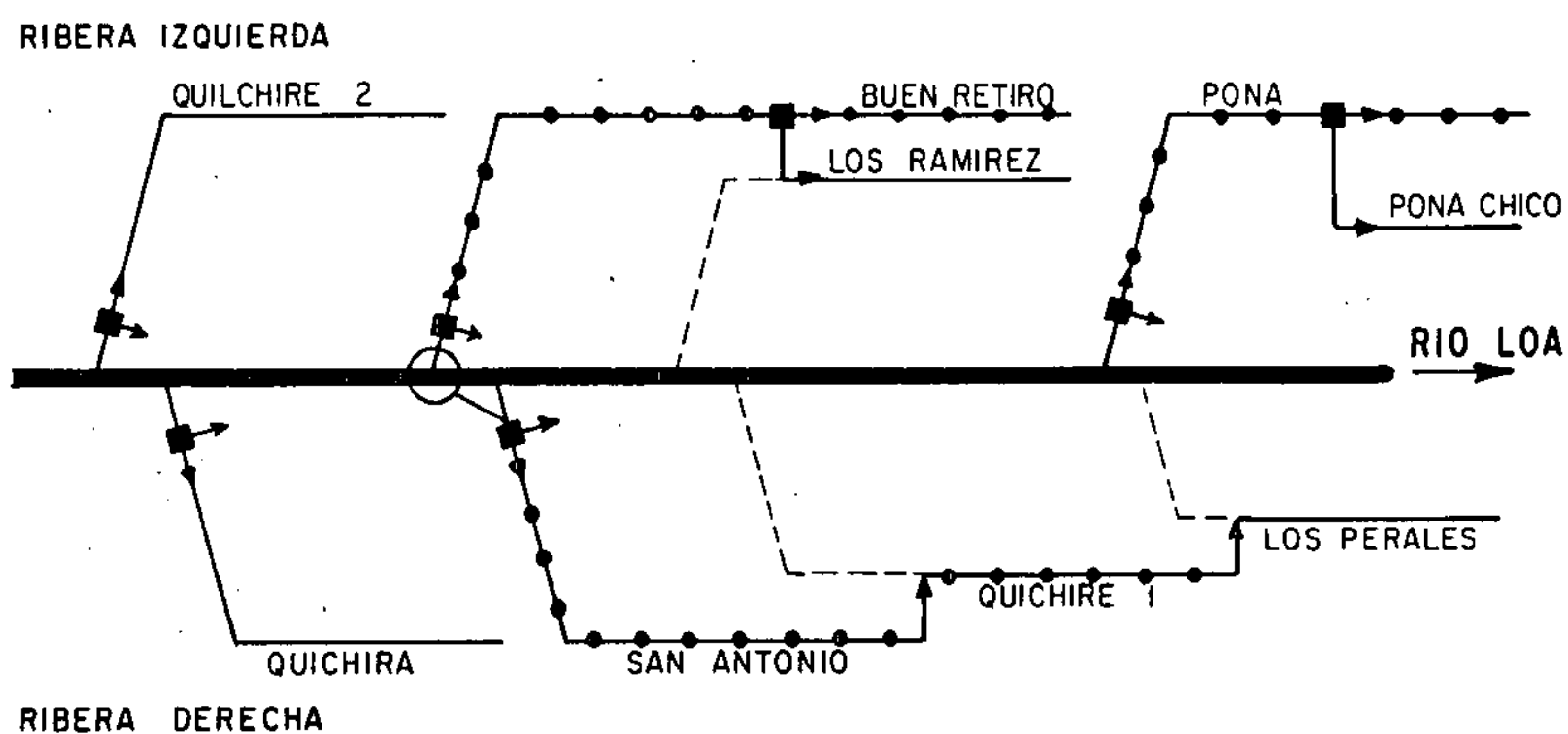
8.1.4 Oasis de Quillagua

- a) Mejoramientos Básicos (Ver Figura VII. Esquema red de canales - Oasis de Quillagua)
- o Ejecutar todas las reparaciones de infraestructura observados en el Estudio de Diagnóstico.
 - o Proveer todas las compuertas prediales necesarias a los regantes.
 - o Instalar dos aforadores
 - o Cubrir diversos sectores del canal 1 (830 m) para evitar efectos de derrumbes.
- b) Mejoramientos complementarios
- o No se recomienda efectuar nuevas obras de captación ni revestimientos de canales.
 - o Rehabilitación del tranque Sloman para aprovechar 650.000 m³ de regulación, mediante una modificación de la actual obra de salida y nuevas compuertas de control.

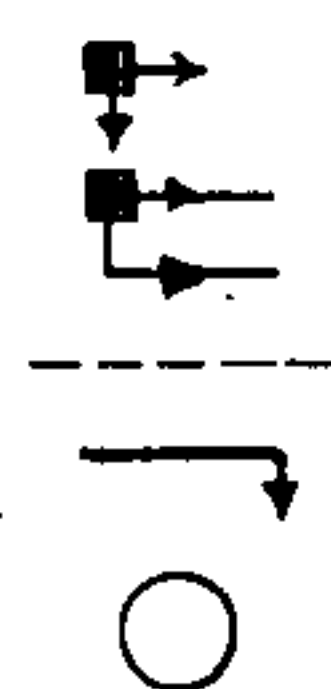
La tabla siguiente resume los costos de inversión de todos los mejoramientos estudiados. Estos costos corresponden a Diciembre 1985 y se ha considerado además un 10% por costos de Ingeniería, excepto para las bocatomas, en que se consideró un 15% para dichos costos.

MEJORAMIENTOS	COSTOS DE CONSTRUCCION POR OASIS (\$)					COSTOS DE INGENIERIA (\$)	TOTAL (\$)
	LASANA	CHIU-CHIU	CALANA	QUILLAGUA	SUBTOTAL		
Básicos	8.732.000	13.251.000	26.139.000	4.234.000	52.356.000	5.250.000	57.606.000
Bocatomas	5.559.000	5.601.000	7.551.000	-	18.711.000	2.810.000	21.521.000
Revestimientos	29.709.000	36.304.000	58.744.000	-	124.757.000	12.500.000	137.257.000
Tranque Slanan	-	-	-	10.823.000	10.823.000	1.090.000	11.913.000
TOTAL	44.000.000	55.156.000	92.434.000	15.057.000	206.647.000	21.650.000	228.297.000

Es conveniente recalcar que, los mejoramientos que consideran la construcción de nuevas bocatomas, revestimiento de canales y mejoramientos del Tranque Slanan, son adicionales a la solución de mejoramientos básicos, por tanto, los costos de cada mejoramiento deben sumarse a los de esa solución básica.



NOMENCLATURA

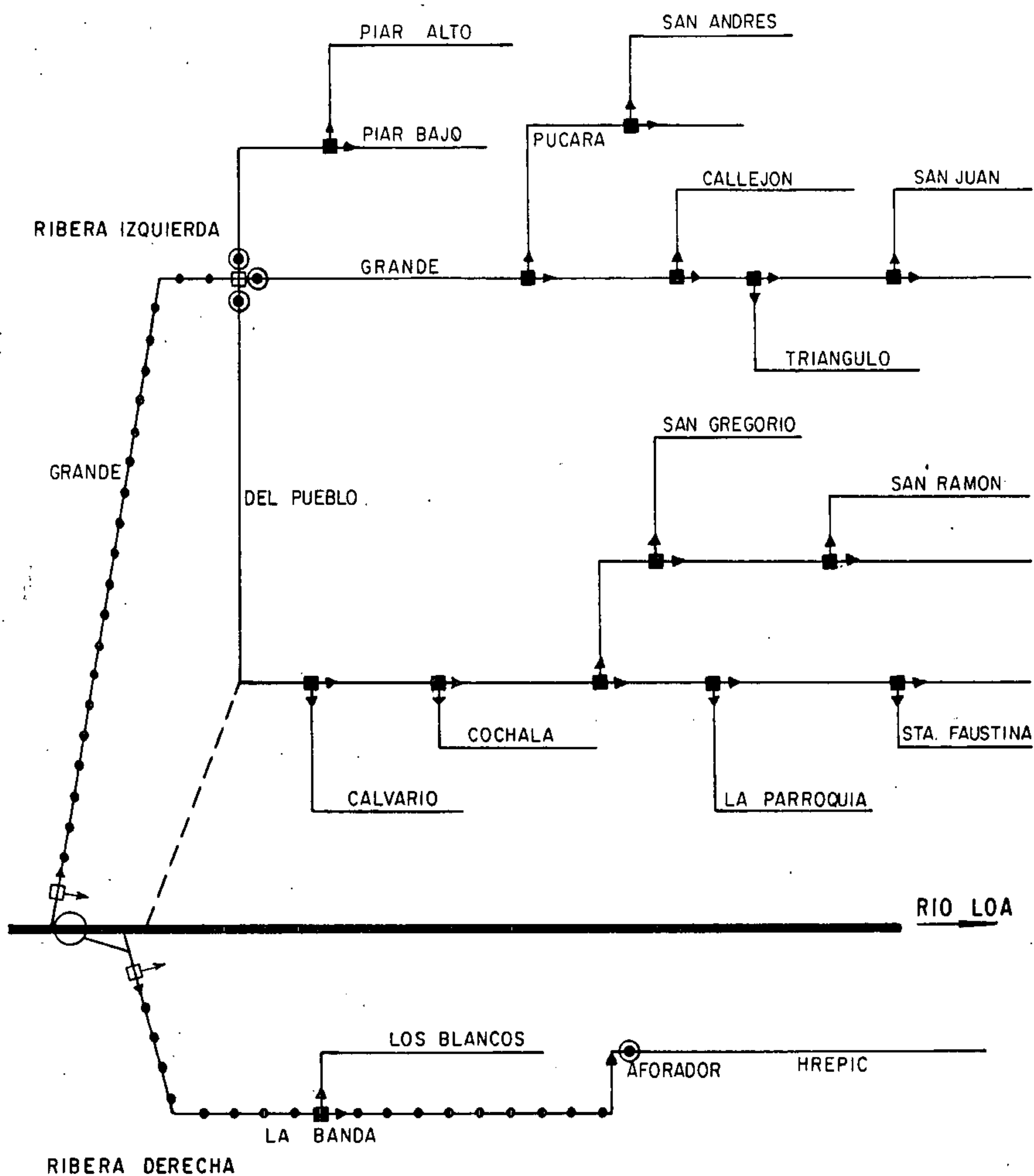


Unidad de control Projectada
 Marco de distribución Projectada
 Tramo de canal eliminado
 Obra de unificación Projectada
 Bocatoma Definitiva Projectada.

Revestimiento Propuesto

ESQUEMA RED DE CANALES - OASIS DE LASANA

FIGURA
IV

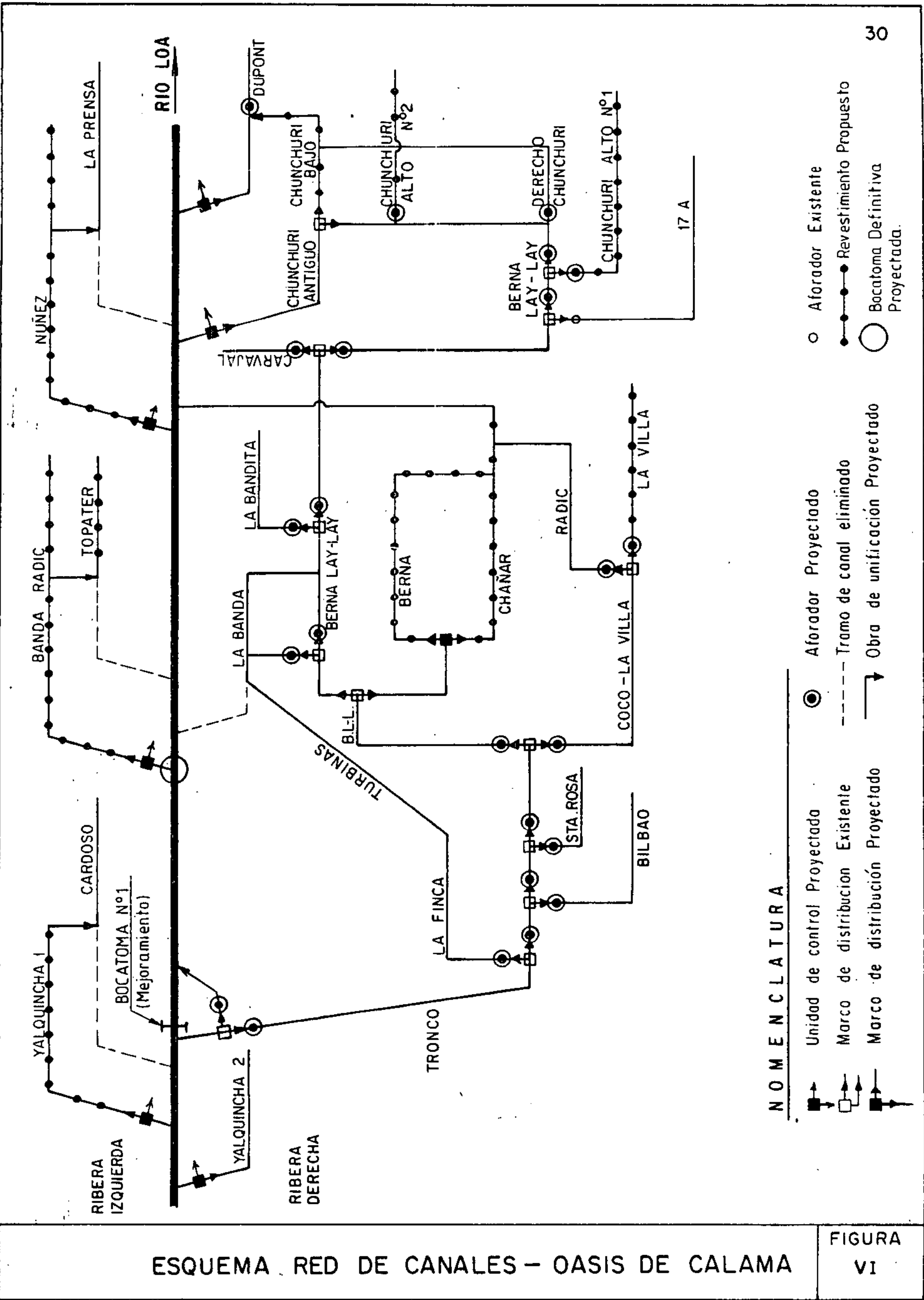


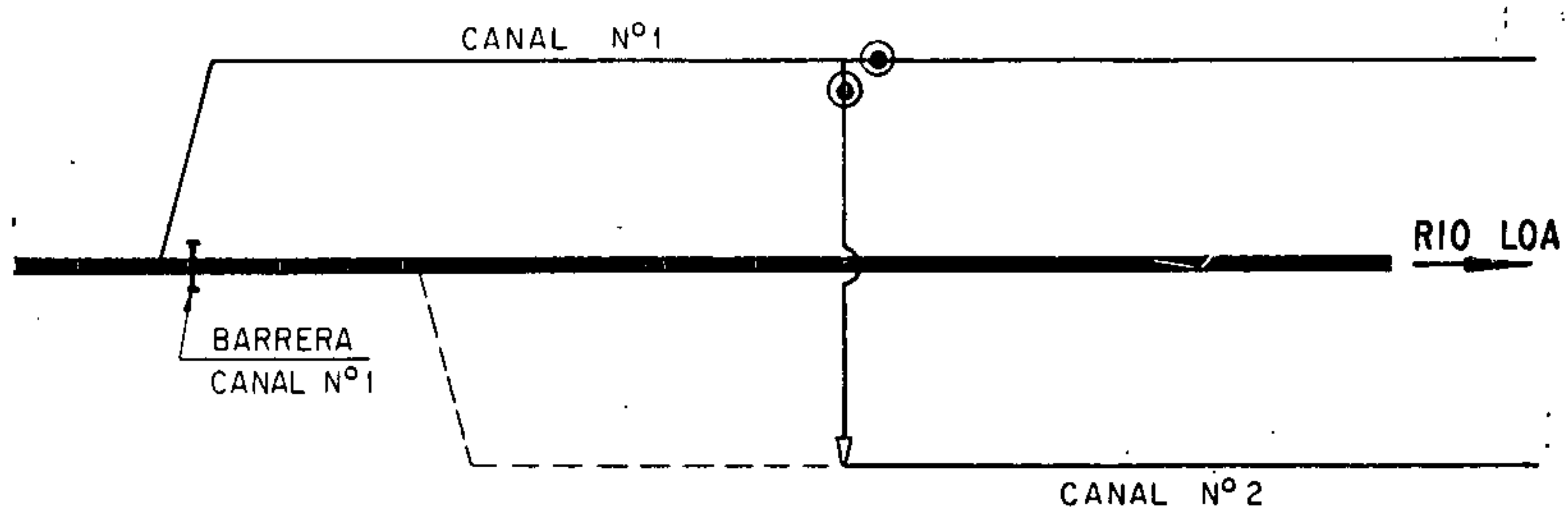
NOMENCLATURA

- | | | | |
|----|---------------------------------|-----|-------------------------------|
| ◻→ | Unidad de control Existente | ⊙ | Aforador Propuesto |
| ◻→ | Marco de distribución Existente | --- | Tramo de canal eliminado |
| ◻→ | Marco de distribución Propuesto | ● | Revestimiento Propuesto |
| | | ○ | Bocatoma Definitiva Propuesta |

ESQUEMA RED DE CANALES — OASIS DE CHIU-CHIU

FIGURA
V





- Tramo de canal eliminado
- ⊙ Aforador Proyectado
- ↓ Obra de unificación Existente

ESQUEMA RED DE CANALES — OASIS DE QUILLAGUA

FIGURA
VII

Mejoramientos de la calidad del agua para el riego de Calama

Se han identificado diversas alternativas para mejorar la calidad química del agua para el regadío de Calama, teniendo en consideración que las fuentes contaminantes más significativas del río Loa provienen de los aportes del río Salado y de las recuperaciones subterráneas que se generan en el sector Angostura.

En términos generales, estas alternativas consisten en captar y extraer fuera del sistema, o desalinizar mediante plantas de ósmosis inversa, dichas recuperaciones y aportes superficiales.

La tabla siguiente resume la descripción, costos y efectos directos de las alternativas estudiadas, cuyo impacto en el sistema y sus beneficios se evalúan con el modelo de simulación según se indica en el punto 10 siguiente.

Descripción y Costos de las Alternativas de Mejoramiento de la Calidad del Agua de Riego para Calama

ALTERNATIVA	DESCRIPCION	COSTO DE INVERSION	OTROS COSTOS	EFFECTOS DIRECTOS
1	Desalinizar aportes del río Salado Caudal Total Tratado : 1.000 l/s	US\$ 7.050.000	Capital Trabajo: US\$ 1.051.000	- Pérdida de agua = 22% caudal tratado - Producto 782 l/s con CE=2.500 mmhos/cm
2	Captar vertientes de Angostura y sacarlos del sistema con bombeo corto y conducción gravitacional	US\$ 427.960	Costo Energía actualizada US\$ 221.380	- Pérdida de agua = 250 l/s de CE = 7.864 mmhos/cm
3	Captar vertientes de Angostura y bombearlas a Chuquicanata para su utilización	US\$ 3.029.000	Costo Energía Anual Actualizado US\$ 8.551.000	- Uso minero de 250 l/s - Pérdida agua para riego 250 l/s de CE = 7.864
4	Desviación río Loa en sector salares de Angostura y desalinización del total de recuperaciones de Angostura	US\$ 7.668.350	Capital Trabajo: US\$ 1.050.000 Costo Anual de Operación: US\$ 2.695.000	- Pérdida de agua 110 l/s - Efluente Planta Desalinizadora 360 l/s con 2.500 mmhos/cm a mezclarse con las aguas del Loa desviadas
5	Desalinizar el total de las aguas requeridas para el riego de Calama	US\$ 12.320.000	Capital Trabajo: US\$ 1.848.000 Costo Anual de Operación: US\$ 5.703.000	- Pérdida de agua para Calama = 550 l/s con 10.170 ppm (disponible para Quillagua) - Producto 2.150 l/s con 2.500 mmhos/cm residual

9. SIMULACION DEL SISTEMA RIO LOA

9.1 Estructura y Calibración del Modelo de Simulación

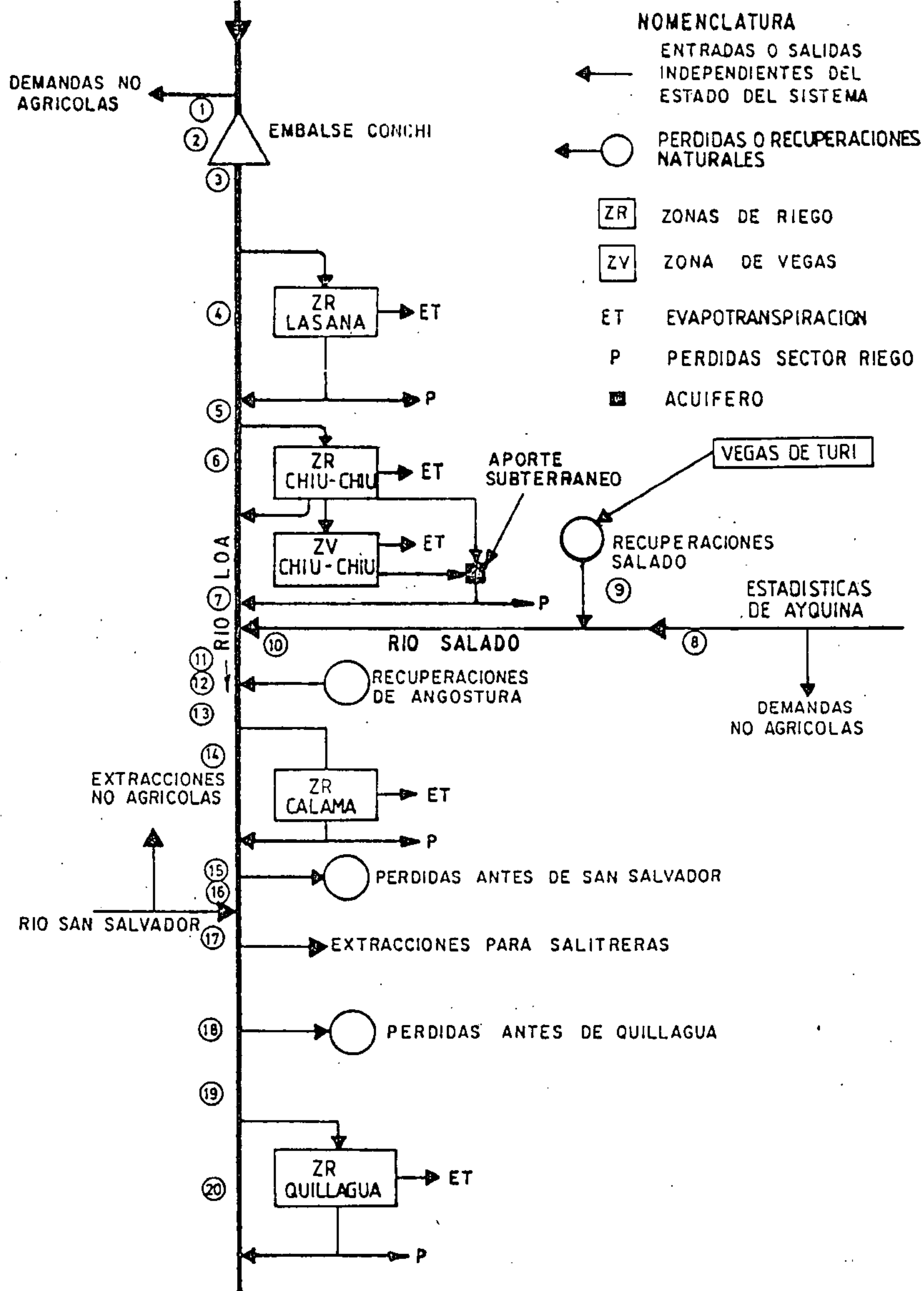
Sobre la base de un estudio anterior, se desarrolló un modelo de simulación del sistema río Loa, a objeto de representar las variaciones de caudal y calidad química del agua en diferentes puntos a lo largo del río, por el efecto combinado de fenómenos hidrológicos naturales, entregas de agua del embalse Conchi, extracciones de agua para usos agrícolas y no agrícolas, y por el impacto de las diferentes alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego y de la calidad del agua para el riego de Calama.

En la figura VIII se presenta en forma esquemática la disposición general de los elementos del modelo y su estructura general. En cada elemento del modelo puede producirse una variación del caudal afluente a él, de acuerdo a los procesos físicos e hidrológicos que ocurren, los cuales se simulan a través de ciertas relaciones basadas en la ecuación de balance hídrico del elemento correspondiente. El cálculo se realiza mes a mes durante el período de años de simulación considerado (Agosto 1958 a Julio 1985).

Para cada mes de simulación se determina, en primer término, la demanda de agua al embalse mediante un proceso de cálculo secuencial inverso de las relaciones de modelación de cada elemento. Es decir, partiendo del último elemento del sistema, se calcula hacia aguas arriba los caudales de entrada a cada elemento, llegando finalmente al caudal requerido del embalse, el que se compara con la factibilidad de entregarlo.

Posteriormente, se simula el sistema definiendo caudales realmente entregados y posibles déficits de agua en las zonas de riego, con un proceso de cálculo que comienza en el primer elemento y continúa secuencialmente hacia aguas abajo.

Adicionalmente, el modelo tiene incorporada una regla de operación del sistema, consistente en definir el nivel de demandas agrícolas al comienzo de la temporada de riego Agosto-Abril, para lo cual se realiza un pronóstico del volumen afluente a través de los ríos Loa y Salado.



ESQUEMA DE LA DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DEL MODELO

FIGURA
VIII

Los datos básicos de entrada al modelo son :

- Caudales medios mensuales, en régimen natural, de los ríos Loa en Conchi, Salado en Ayquina y San Salvador en junta con el río Loa.
- Valores mensuales de extracciones para demandas no agrícolas (industriales y de agua potable) en diferentes puntos del sistema.
- Superficie, eficiencias de riego, necesidades de lavado de suelo y tasas de evapotranspiración mensual, de cada una de las zonas de riego.
- Relaciones para definir el estado mensual del embalse Conchi. (nivel del agua, volumen embalsado, superficie espejo de agua).

Se requiere además, definir una regla de operación del embalse, las leyes de extracción de agua por canales de riego y los parámetros que se utilizan en las relaciones de modelación de algunos elementos del sistema.

Por otra parte, el modelo contiene relaciones que permiten analizar las variaciones de un índice de calidad de agua (conductancia específica) en distintos puntos del río, que se producirían como consecuencia de las diversas modelaciones de operación simuladas.

El proceso general de cálculo del modelo se ilustra mediante el Diagrama de Bloques del proceso de la figura IX. En dicho proceso se define un factor de penalidad α igual o menor que 1, que afecta las áreas posibles de regar, para definir a comienzo de la temporada de cada año, el área posible de regar de acuerdo a los recursos hídricos disponibles en el embalse y el resto del sistema.

Además de esta regla de operación, el modelo define y utiliza dos reglas de operación adicionales.

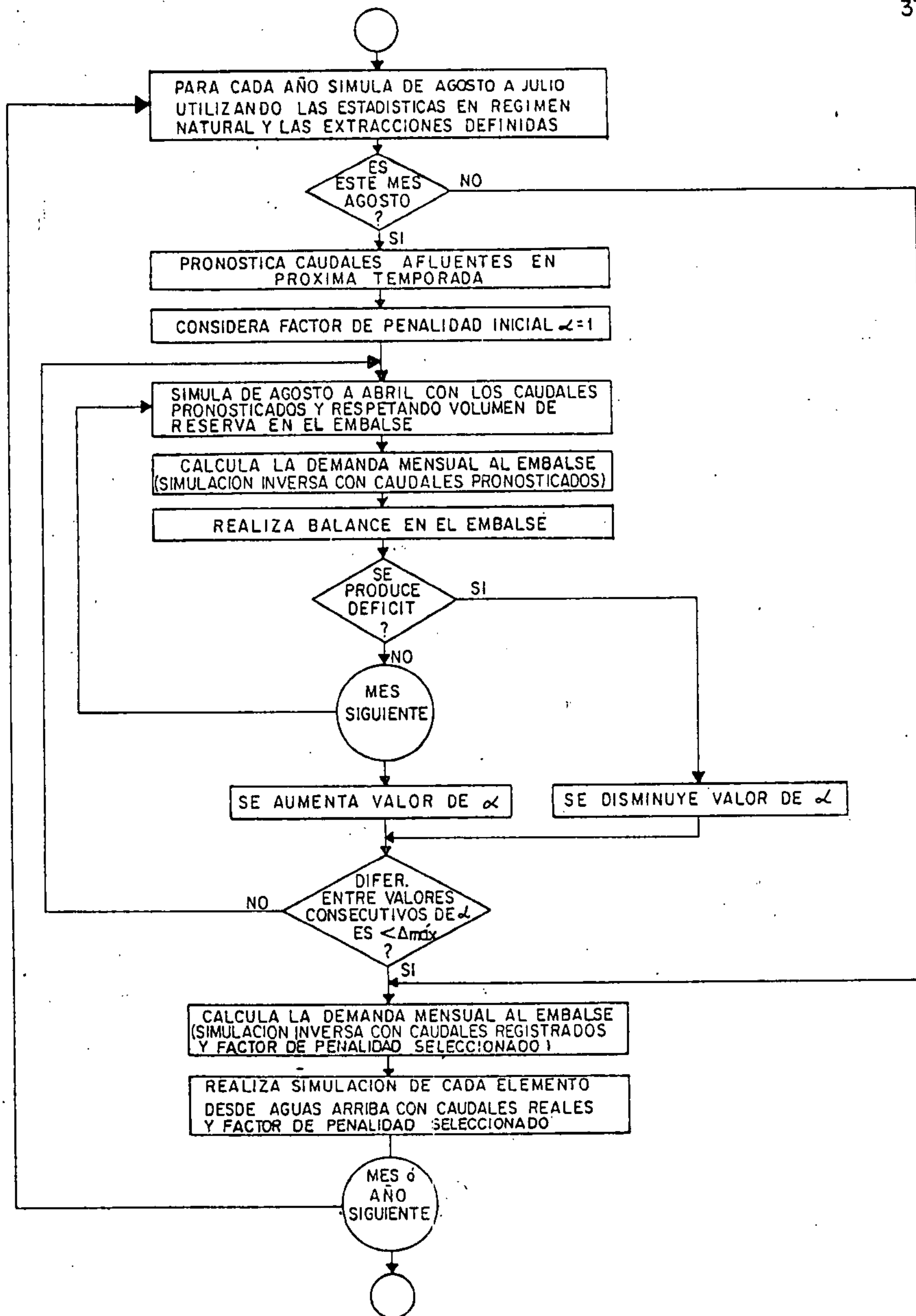


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE CALCULO

FIGURA
IX

Una de ellas permite distribuir óptimamente los excedentes de agua del embalse Conchi de modo de minimizar el grado de salinidad de las aguas que llegan a Calama y Quillagua. La regla opera entregando desde el embalse recursos hídricos adicionales a las demandas de riego en los meses en que la relación entre los caudales del Loa y del Salado sea menor a un factor de dilución previamente establecido por la regla.

La otra regla de operación establece los niveles de aguas máximos que deben respetarse durante ciertos meses en el embalse, a objeto de disponer de un volumen de control que permita regular las crecidas de cierto período de retorno y proporcionar así ciertos niveles de protección contra las mismas.

El modelo se calibró utilizando el período de Agosto de 1981 a Julio de 1985, verificando sus resultados en términos de los caudales y conductividades eléctricas registradas en dicho período en diferentes puntos del río Loa. El ajuste logrado se considera bueno.

Los principales resultados que proporciona el modelo se refieren a : déficits de agua para riego y seguridad de riego en cada oasis; caudales y conductividades eléctricas del agua en diferentes puntos del sistema; estados del embalse Conchi; entregas controladas y rebases de agua. Estos resultados se expresan mes a mes de cada año del período de simulación y como promedios anuales y del período de análisis.

Se elaboró un manual de uso del programa computacional del modelo en lenguaje BASIC y de la operación del modelo, implementándolo en el microcomputador de la Dirección de Riego y de la Universidad del Norte, en Antofagasta, para su uso posterior.

9.2

Resultados del Modelo de Simulación

Con el fin de lograr los objetivos del estudio, se aplicó el modelo de simulación desarrollado bajo diversas combinaciones de niveles de extracciones agrícolas y no agrícolas, de reglas de operación del embalse y de alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego y de la calidad del agua.

Se identificaron diversas situaciones a simular con el modelo, que permitieron obtener resultados y conclusiones con respecto a los siguientes aspectos :

- Representación de la situación actual
- Efecto de extraer 300 l/s en Quinchamale
- Efecto de restringir extracciones agrícolas según derechos establecidos por la D.G.A.
- Impacto de los mejoramientos de la infraestructura de riego : solución de mejoramiento básico; bocatomas definitivas; revestimientos de canales y habilitación del tranque Sloman.
- Impacto de cada una de las alternativas de mejoramientos de la calidad del agua.
- Determinación de la regla de operación del embalse Conchi para lograr un control de las crecidas.

Para estos efectos se estudiaron los siguientes casos o situaciones de simulación :

1. Situación actual; con tasas de riego de ICC-CONIC y superficies de riego según COSERREN.
2. Situación actual con superficies de riego según D.G.A., pero tasas de riego de ICC-CONIC.
3. Situación actual más 300 l/s extraídos en Quinchamale (Idem caso 1, más 300 l/s en Quinchamale).
4. Situación Sin Proyecto. Se supone extracciones agrícolas según derechos D.G.A. más extracción de 300 l/s en Quinchamale.
5. Situación Sin Proyecto con superficies de riego que presenten seguridad 100%.
6. Solución de Mejoramientos Básicos (Caso 4 más obras de mejoramientos básicos) se considera como solución base o patrón para medir efectos de otros mejoramientos.

7. Bocatomas Definitivas (Caso 6 más bocatomas definitivas)
8. Revestimiento de canales (Caso 6 más revestimientos de canales)
9. Mejoramientos Tranque Sloman
10. Desalinización de las aguas del río Salado
11. Extracción de las vertientes de Angostura
12. Desalinización de las recuperaciones de Angostura
13. Desalinización del agua de riego de Calama
14. Regla de operación de control de crecidas en situación actual
15. Regla de operación de control de crecidas con la solución de mejoramientos básicos

Los resultados obtenidos de aplicar el modelo de simulación a cada una de las situaciones o casos de simulación indicados, se resumen en la tabla siguiente.

De acuerdo a estos resultados, se pueden extraer las siguientes conclusiones :

- En la situación actual se dispone de una seguridad de riego del 100%, sin déficit de agua.
- En la situación actual, si se pretendieran regar las superficies que estipula la D.G.A. en su asignación de derechos, se mantiene una seguridad de riego del 100% en Lasana y Chiu-Chiu, pero se producen déficit de agua en Calama y Quillagua que hacen bajar su seguridad de riego a 93% y 19% respectivamente.

RESUMEN RESULTADOS DE LAS SITUACIONES SIMULADAS

SITUACION SIMULADA	SIN Nro	REGLA DE OPERACION	ZONA DE RIEGO	SUPERFICIE EFFECTIVA REGADA (Ha)	SEGURIDAD DE RIEGO (%)	DEFICIT MEDIO ANUAL (%)	CONDUCT. ESPECIFICA (mmhos/cm)	RENDIMIENTO DE CULTIVOS (%)
CALIBRACION	294	-	Lasana	57	-	-	2548	86
			Chiu-Chiu	148	-	-	2579	86
			Calana	830	-	-	5873	50
			Quillagua	110	-	-	9434	12
1. SITUACION ACTUAL	295	Factor de demand=2,0	Lasana	57	100	0,0	2548	86
			Chiu-Chiu	148	100	0,0	2579	86
		Factor de	Calana	830	100	0,0	5866	50
		diluc =0,3	Quillagua	110	100	0,0	9428	12
2. SITUACION ACTUAL, CON SUPERFICIES D.G.A.	296	Factor de demand=1,3	Lasana	54	100	0,0	2548	86
			Chiu-Chiu	176	100	0,0	2577	86
		Factor de	Calana	1103	93	8,9	5821	51
		diluc =0,4	Quillagua	143	19	19,8	9425	12
3. SITUACION ACTUAL, MAS QUINCHAMALE	297	Factor de demand=1,2	Lasana	57	100	0,0	2789	83
			Chiu-Chiu	148	100	0,0	2830	83
		Factor de	Calana	830	89	6,1	6213	46
		diluc =0,4	Quillagua	110	19	19,9	9699	9
4. SITUACION SIN PROYECTO	298	Factor de	Lasana	45	100	0,0	2789	83
		diluc =0,8	Chiu-Chiu	160	100	0,0	2833	83
			Calana	907	81	5,8	6240	46
			Quillagua	96	15	21,0	9675	9
5. SUPERFICIE DE RIEGO CON SEGURIDAD 100% EN SITUA- CION SIN PROYECTO	298	Factor de	Lasana	45	100	0,0	2789	83
		diluc =0,8	Chiu-Chiu	160	100	0,0	2833	83
			Calana	800	100	0,0	6240	46
			Quillagua	46	100	0,0	9675	9
6. SOLUCION DE MEJORAMIENTOS BASICOS	299	Factor de	Lasana	50	100	0,0	2789	83
		diluc =0,8	Chiu-Chiu	174	100	0,0	2791	83
			Calana	952	100	0,0	5757	51
			Quillagua	106	100	0,0	8323	24

RESUMEN RESULTADOS DE LAS SITUACIONES SIMULADAS (Cont.)

SITUACION SIMULADA	SIM Nro	REGLA DE OPERACION	ZONA DE RIEGO	SUPERFICIE EFFECTIVA REGADA (Ha)	SEGURIDAD DE RIEGO (%)	DEFICIT MEDIO ANUAL (%)	CONDUCT. ESPECIFICA (μ hos/cm)	RENDIMIENTO DE CULTIVOS (%)
7. BOCATOMAS DEFINITIVAS	308	Factor de diluc =0,9	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	50 174 952 106	100 100 100 100	0,0 0,0 0,0 0,0	2789 2791 5721 8277	83 83 52 24
8. REVESTIMIENTOS DE CANALES	309	Factor de diluc =0,8	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	60 196 987 106	100 100 100 100	0,0 0,0 0,0 0,0	2789 2791 5766 8333	83 83 51 24
9. MEJORAMIENTO DEL TRANQUE SLOMAN	299	Factor de diluc =0,8	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	50 174 952 124	100 100 100 100	0,0 0,0 0,0 0,0	2789 2791 5757 8323	83 83 51 24
10. DESALINIZAR RIO SALADO	310	Factor de diluc =0,9	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	50 174 952 106	100 100 100 100	0,0 0,0 0,0 0,0	2789 2791 4831 7938	83 83 62 28
11. EXTRAER VERTIENTES ANGOSTURA	311	Factor de diluc =0,6	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	50 174 952 106	100 100 100 100	0,0 0,0 0,0 0,0	2789 2791 5393 8376	83 83 55 23
12. DESALINIZAR RECUPERACIONES DE ANGOSTURA	312	Factor de diluc =0,8	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	50 174 952 106	100 100 100 100	0,0 0,0 0,0 0,0	2789 2791 4481 7514	83 83 65 32
13. DESALINIZAR AGUA DE RIEGO DE CALAMA	313	Factor de diluc =0,3	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	50 174 952 106	93 93 93 93	7,4 6,3 5,3 6,8	2789 2791 2500 8486	83 83 87 22

RESUMEN RESULTADOS DE LAS SITUACIONES SIMULADAS (Cont.)

SITUACION SIMULADA	SIM Nro	REGLA DE OPERACION	ZONA DE RIEGO	SUPERFICIE EFFECTIVA REGADA (Ha)	SEGURIDAD DE RIEGO (%)	DEFICIT MEDIO ANUAL (%)	CONDUCT. ESPECIFICA (μ ahos/cm)	RENDIMIENTO DE CULTIVOS (%)
14. SITUACION ACTUAL CON CONTROL DE CRECIDAS	317	Factor de demand=2,0	Lasana Chiu-Chiu	57 148	100 100	0,0 0,0	2548 2579	86 86
		Factor de diluc =0,3	Calama Quillagua	830 110	100 100	0,0 0,0	5861 9420	50 12
15. SOLUCION DE MEJORAMIENTOS BASICOS CON CONTROL DE CRECIDAS	320	Factor de diluc =0,8	Lasana Chiu-Chiu Calama Quillagua	50 174 952 106	100 100 100 100	0,0 0,0 0,0 0,0	2789 2791 5722 8229	83 83 51 25

- Bajo una situación sin Proyecto, al implementarse las extracciones de 300 l/s en Quinchamale y los derechos de agua para riego de la DGA, se mantiene un 100% de seguridad de riego en Lasana y Chiu-Chiu, pero las de Calama y Quillagua bajan a 81% y 15% respectivamente con déficits medio anuales de 5,8% y 21%. Además se produce un importante deterioro de la calidad del agua de riego para estos dos oasis que hacen disminuir sus productividades agrícolas. En esta misma situación, si se pretendiera mantener la seguridad de riego actual, se obtendría una disminución de 107 Há efectivamente regadas en Calama y 50 Há en Quillagua.
- La Solución de Mejoramientos Básicos produce un significativo impacto beneficioso en el sistema, que permite disponer de seguridades de riego de 100% en todos los oasis, mejorar significativamente la calidad del agua para Calama y Quillagua y aumentar la superficie regada total en 74 Há con respecto a la situación sin proyecto.
- La Solución de Bocatomas Definitivas no produce ningún impacto o beneficio directo cuantificable en el sistema de acuerdo a los indicadores analizados.
- La Solución de Revestimiento de Canales permite lograr incrementos en la superficie regada con 100% de seguridad de 10 Há en Lasana, 22 Há en Chiu-Chiu y de 35 Há en Calama, manteniéndose los niveles de calidad de agua con respecto a la solución de mejoramientos básicos.
- El mejoramiento del Tranque Sloman para aprovechar 650.000 m³ de regulación remanente, permite regar 18,4 Há adicionales en Quillagua manteniendo su seguridad de riego del 100% con los mejoramientos básicos.

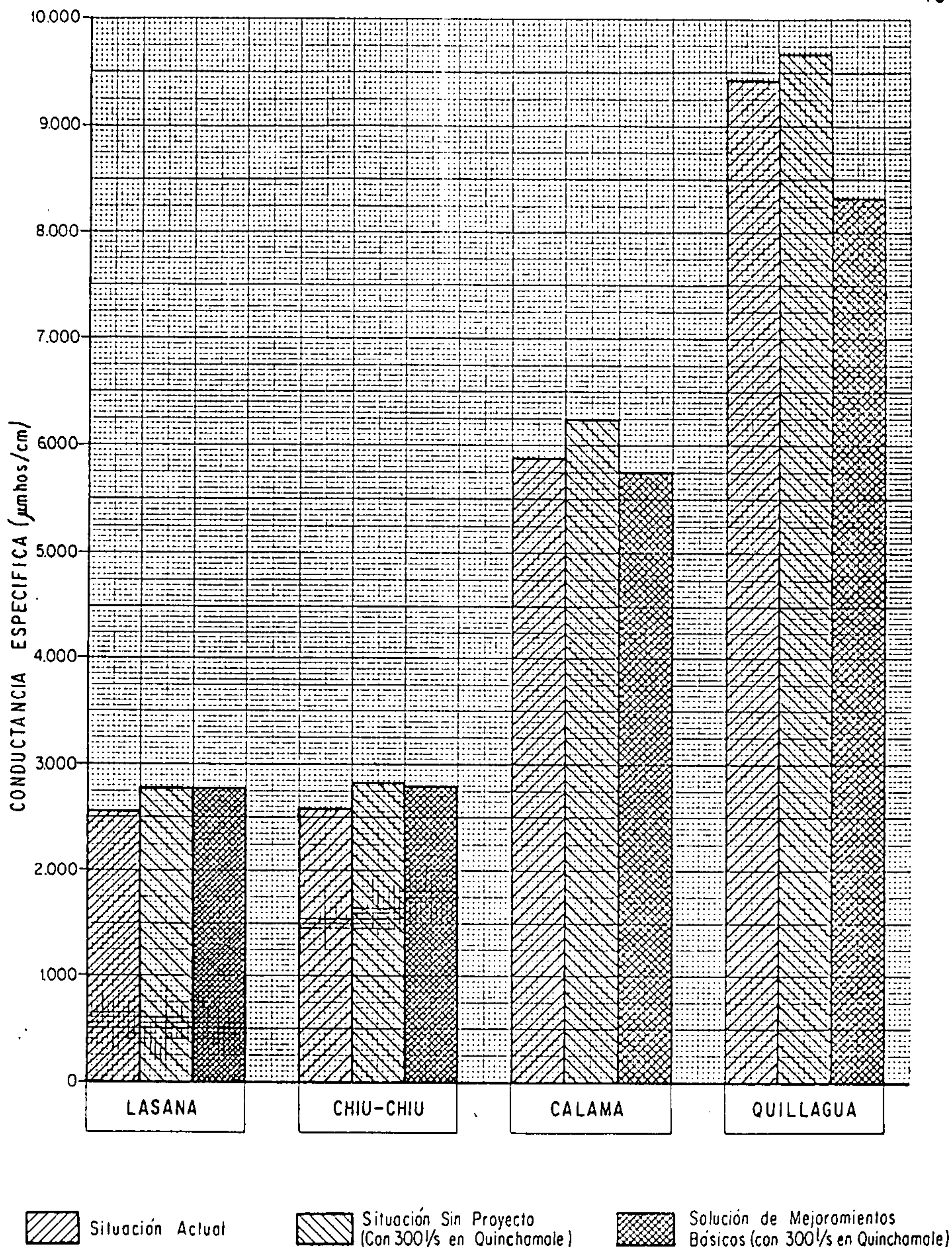
- De las alternativas para mejorar el agua de riego, la más efectiva en términos de impacto en la calidad del agua para Calama, es Desalinizar el Agua de Riego de Calama. Sin embargo esta alternativa produce déficits de agua en los oasis, rebajando la seguridad a 93% en todos ellos y produciendo un leve deterioro de la calidad en Quillagua. Todas las otras alternativas permiten mantener las seguridades de riego en 100%, siendo la más efectiva en términos de calidad de agua, la de Desalinizar las Recuperaciones de Angostura, y la menos efectiva, la de extraer las vertientes de Angostura.

En las figuras X y XI se presentan graficados los impactos que se producen para las situaciones Actual (2), Sin Proyecto con seguridad de riego 100% (5) y de Mejoramientos Básicos (6), en las superficies efectivamente regadas y en la calidad del agua en los cuatro oasis.

En general, se concluye que se produce un importante deterioro en ambos indicadores, con respecto a la situación actual, al incorporar la extracción adicional de 300 l/s en Quinchamale y los derechos de agua para riego de la DGA. En efecto, la C.E. media aumenta en más de 250 umhos/cm en Lasana, Chiu-Chiu y Quillagua, y aproximadamente 420 umhos/cm en Calama. La superficie efectivamente regada con seguridad 100% disminuye en 30 Há en Calama y en 94 Há en total en los cuatro oasis.

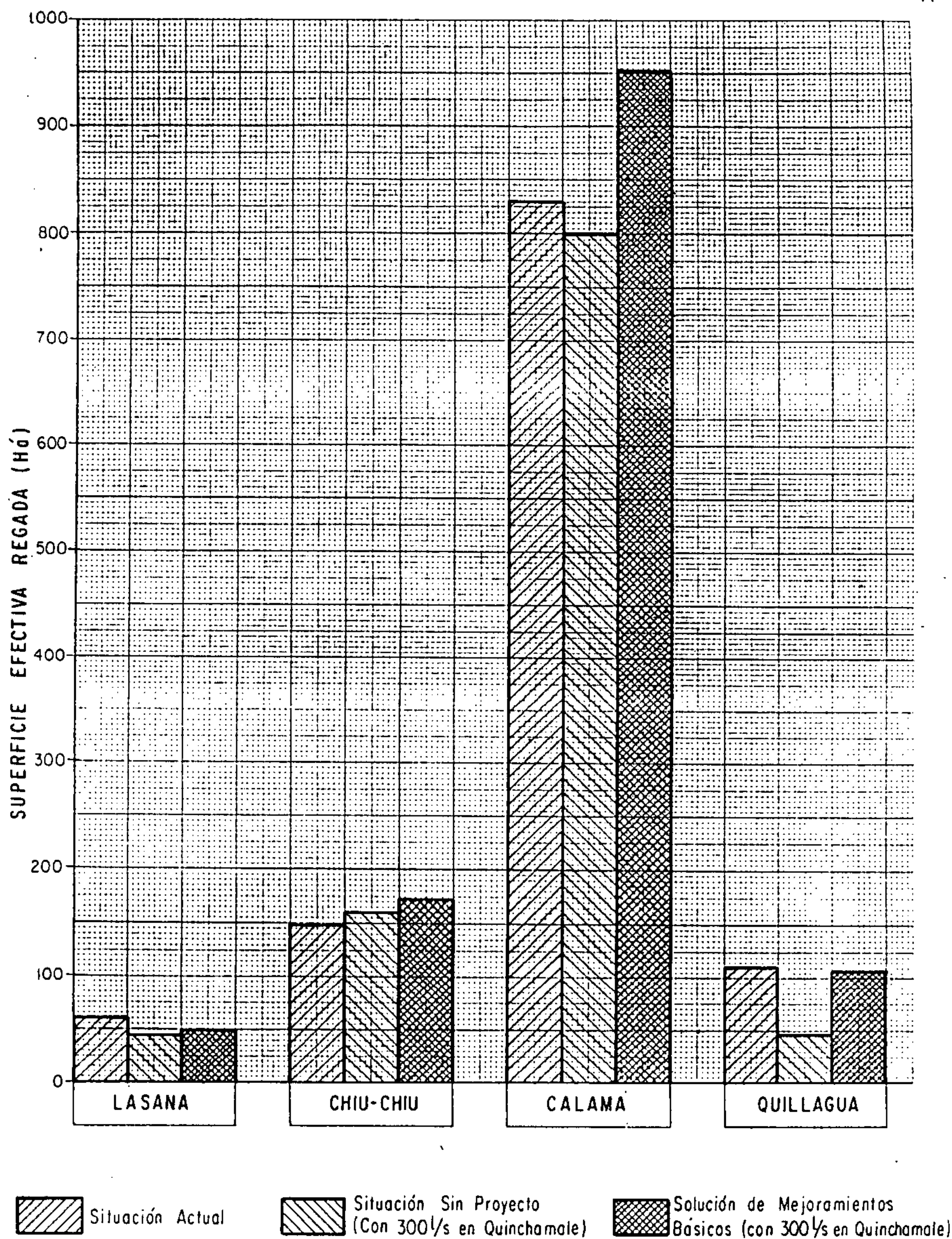
En la figura XII se presenta la seguridad de riego que se obtiene en estas tres situaciones, con las tasas de riego actuales y las superficies determinadas por la D.G.A.

Se trata de situaciones hipotéticas que permiten visualizar el impacto sobre la seguridad de riego frente a un mismo nivel de demandas agrícolas. Se aprecia el notable deterioro que se produce para la situación sin proyecto en Chiu-Chiu, Quillagua y especialmente en Calama.



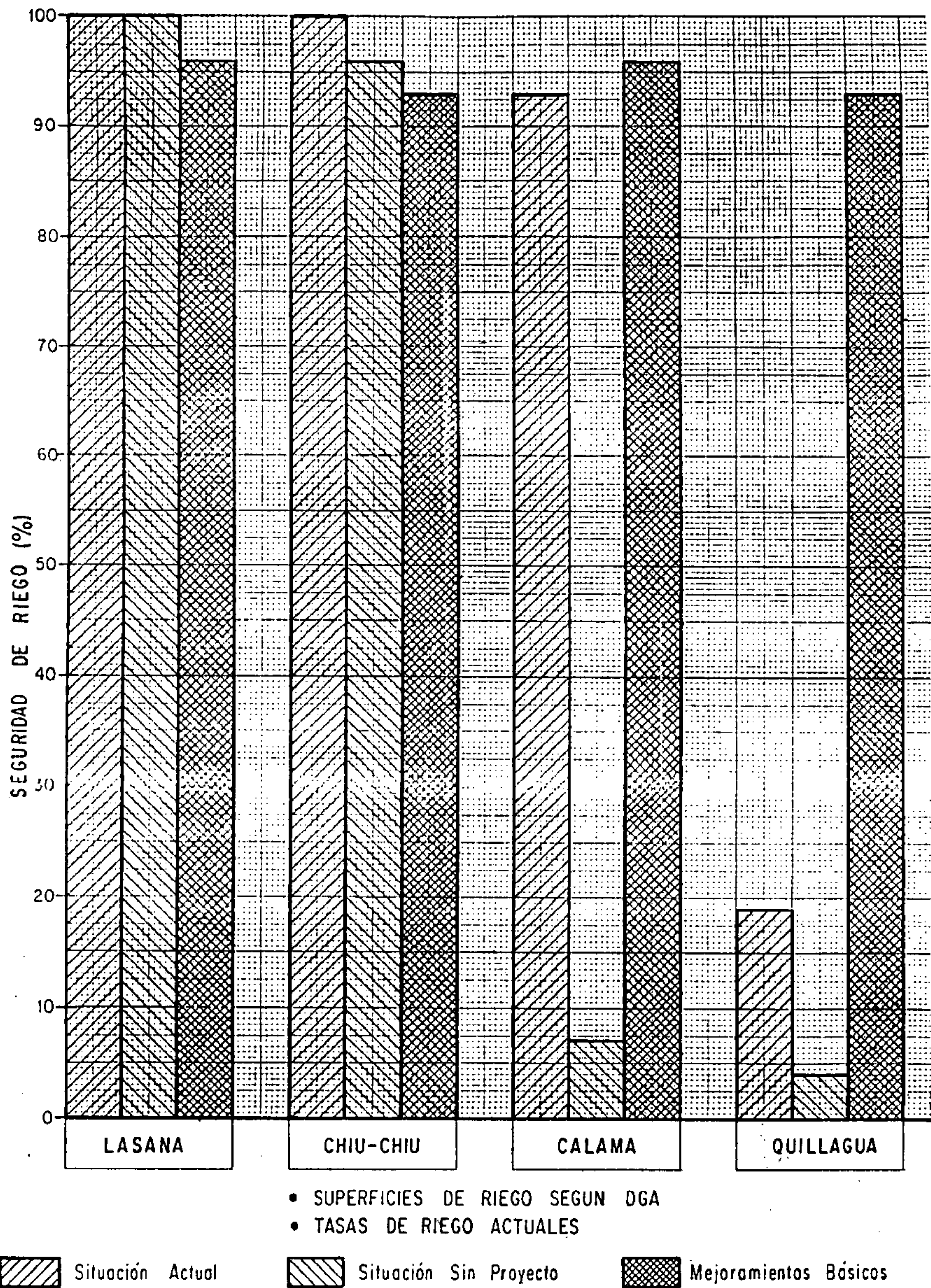
IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AGUA

FIGURA
X



IMPACTO EN LA SUPERFICIE EFECTIVA
CON SEGURIDAD DE RIEGO 100%

FIGURA
X1



IMPACTO EN LA SEGURIDAD DE RIEGO

FIGURA
XII

Por otra parte, en las tres figuras se observa el positivo impacto de la solución de Mejoramientos Básicos, disminuyendo la C.E. del agua en Calama y Quillagua y aumentando la superficie efectivamente regada en los cuatro oasis respecto a la situación sin proyecto.

Al implantarse un control de caudales en bocatomas se logra, además, uniformar la seguridad de riego, dando a los cuatro oasis una proporción pareja de los recursos disponibles en caso de déficit, lo que favorece notablemente a Calama y a Quillagua, zonas que se verían perjudicadas en la Situación Sin Proyecto.

9.3 Regla de operación para control de crecidas

Para la situación actual y suponiendo implementada la solución de mejoramientos básicos, se estudió una regla de operación del embalse Conchi para el control de las crecidas afluentes a éste, basada en la provisión de volúmenes de control (o de reserva) a comienzos de los meses de mayor probabilidad de ocurrencia de las crecidas.

Sobre la base de las características hidrológicas de las crecidas y los resultados de las simulaciones efectuadas, se recomienda proveer los siguientes volúmenes de control o de reserva a comienzo de los meses que se indican :

MES	VOLUMEN DE RESERVA O DE CONTROL (m3)
Enero	3.100.000
Febrero	4.000.000
Marzo	2.300.000

Esta regla es válida tanto para la situación actual como para la situación con mejoramientos básicos, y con ella se logra una protección total en Enero y Marzo contra las crecidas afluentes a Conchi que tengan un periodo de retorno de 1 en 20 años, y una protección parcial contra aquellas que ocurran en Febrero. En efecto, durante el mes de Febrero, al ocurrir una crecida con periodo de retorno de 20 años, la regulación de la crecida afluente a Conchi producirá un caudal máximo de 33,0 m³/s en Chiu-Chiu y de 29 m³/s en Calama.

La regla de operación recomendada no produce ningún efecto en la seguridad de riego de los oasis y tenderá a producir un mejoramiento de las condiciones de calidad del agua en el río.

Se recomienda implementar un método de pronóstico a corto plazo de las crecidas, mediante un programa especial de mediciones hidrométricas y meteorológicas, a objeto de optimizar a futuro la regla de operación propuesta y posibilitar la disminución de volúmenes de control indicados.

10. SELECCION Y DESCRIPCION DE LA SOLUCION DE MEJORAMIENTO RECOMENDADA. EVALUACION ECONOMICA PRELIMINAR DEL PROYECTO DE MEJORAMIENTO

10.1 Selección de la Solución de Mejoramiento

A objeto de seleccionar una solución de mejoramiento de la situación de riego en el sistema Loa, se efectuó un análisis de beneficio-costos de las alternativas cuyos costos de inversión y evaluación técnica se indican en el punto 8 anterior.

Para este análisis, se desarrolló especialmente una evaluación de los beneficios agrícolas brutos y netos por hectárea para cada oasis y se evaluaron los costos anuales de mantención y operación asignables a cada alternativa de mejoramiento.

Los resultados del análisis de beneficio-costos efectuado se resumen en la tabla de la página siguiente.

Sobre la base de estos resultados, se puede concluir lo siguiente :

- Ninguna de las alternativas de mejoramiento produce beneficios actualizados netos positivos en los oasis de Lasana y Chiu-Chiu.
- Las alternativas de revestimiento de canales y de extracción de las vertientes de Angostura, producen Beneficios Netos actualizados negativos.
- La solución de Mejoramientos Básicos es la que produce los máximos beneficios netos actualizados totales en el sistema.
- La alternativa de agregar a dicha solución el revestimiento de los canales principales, aún cuando permite incrementar en 67 Hás el área regada en todos los oasis, genera un beneficio actualizado neto negativo de - \$ 77.949.000.

Resumen Analisis Comparativo de Alternativas de mejoramiento

ALTERNATIVA	BENEFICIO NETO ACTUALIZADO ($\$ \times 10^3$)				
	LASANA	CHIU-CHIU	CALAMA	QUILLAGUA	TOTAL
PROYECTO					
MEJORAMIENTOS	-8.245	-6.181	26.935	19.997	32.506
BASICOS					
BOCATOMAS					
DEFINITIVAS	-16.086	-14.070	24.225	19.997	14.066
REVESTIMIENTO					
CANALES	-36.496	-30.552	-30.896	19.997	-77.949
MEJORAMIENTO					
TRANQUE					
SLOMAN	-8.245	-6.181	26.935	10.528	23.037
EXTRACCION					
VERTIENTES	-8.245	-6.181	-81.404	18.192	-77.638
ANGOSTURA					

En otras palabras, el adicionar el proyecto de revestimiento de canales a la solución de Mejoramientos Básicos, significa perder unos \$ 77.949.000 por concepto de beneficios netos actualizados totales.

Sobre la base de los antecedentes indicados anteriormente, de los resultados de los procesos de simulación (punto 9.2 y figuras X, XI y XII del Resumen) y de la Determinación de Beneficios Agrícolas (punto 10.1.2 del Informe), que presentan una diferencia positiva de beneficios agrícolas, este Consultor recomienda la alternativa de "Mejoramientos Básicos" como la solución más conveniente para lograr los objetivos planteados.

El aumento de las extracciones no agrícolas en 300 l/s a causa de la captación de SENDOS en Quinchamale genera un deterioro apreciable en la calidad del agua y en la superficie efectivamente posible de regar. Si a este factor se agrega la restricción de recursos por efecto de los derechos concedidos por la D.G.A., se concluye que no es posible satisfacer adecuadamente al sector riego manteniendo la situación "sin control de caudales en bocatomas" (ver figuras X, XI y XII).

Los resultados obtenidos para la situación Sin Proyecto, prácticamente obligan a realizar, por lo menos, la solución de mejoramientos básicos recomendada.

La decisión de no recomendar en esta oportunidad el revestimiento de canales como solución de mejoramiento complementario a los mejoramientos básicos, podría reconsiderarse a futuro a la luz de nuevos antecedentes que se aporten pero que actualmente quedan fuera del alcance de este estudio. En efecto la campaña sistemática y prolongada de aforos en canales recomendada en el punto 8 del Resumen y Capítulo 6 del Informe, proporcionará valores más precisos de las pérdidas por infiltración en la red de canales y permitiría así, reevaluar la alternativa de revestimiento.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta, que la solución de mejoramiento básico recomendada está basada estrictamente en un criterio de Beneficio Neto Actualizado. En consecuencia otros criterios de evaluación y objetivos de mejoramientos, pueden dar origen a reconsiderar los otros mejoramientos estudiados relacionados con revestimientos de canales y/o bocatomas definitivas.

10.2

Descripción de la Solución de Mejoramiento Recomendada

En términos generales la solución de mejoramientos recomendada o Proyecto de Mejoramiento, contempla los siguientes tipos de obras :

- Obras de reparación y complementación de la infraestructura de canales
- Obras de control de captación y de distribución de derechos de agua
- Obras de unificación de canales

En cada uno de los oasis del sistema el proyecto de mejoramiento recomendado contiene las características que se indican con las siguientes obras y costos totales de inversión (correspondientes a Diciembre 1985) que se señalan :

a) Oasis de Lasana

- | | |
|---|--------------|
| - Unificación de canales Sn. Antonio Quilchire 1 - Los Perales y de los canales Buen Retiro - Los Ramírez | \$ 1.150.000 |
| - Unidades de Control de Captaciones en cada canal (5) | \$ 2.685.000 |
| - Marcos de Distribución de Canales Pona y Buen Retiro | \$ 899.000 |
| - Reparaciones y complementaciones de la infraestructura de riego actual | \$ 3.998.000 |
| | ----- |
| TOTAL | \$ 8.732.000 |

Los canales deberán operar con un sistema de turnos que se especifica en el texto del informe, pudiéndose desarrollar los riegos en 12 horas por día.

b) Oasis de Chiu-Chiu

Se mantiene el esquema de canales, pero debe utilizarse la obra de unificación existente del canal Grande con el del Pueblo. Los canales deberán operar a turnos y los riegos pueden ser durante 12 horas por día. Las nuevas obras son las siguientes :

- Marcos de Distribución (14)	\$ 8.890.000
- Aforadores (4)	\$ 288.650
- Reparaciones y complementaciones de la infraestructura actual de riego	\$ 4.072.000

TOTAL	\$ 13.250.650

c) Oasis de Calama

En la ribera derecha se mantiene básicamente el actual esquema de canales y de duración de riego (24 hrs/día). Se elimina la bocatoma del canal La Banda el que se alimentará desde el canal Berna Lay-Lay y Turbinas. Los canales que se unifican en la ribera izquierda : Yalquincha con Cardoso; Banda Radic con Topater y Nuñez con La Prensa, deberán operar a turno con riegos en 24 horas.

Las nuevas obras son las siguientes :

- Unidades de Control de Captación	\$ 4.093.000
- Aforadores	\$ 797.420
- Reemplazo de Compuertas	\$ 1.968.000
- Revestimiento de Canal	\$ 2.560.000
- Marco de Distribución	\$ 700.000
- Unificación de Canales	\$ 1.130.000
- Reparaciones y complementos a la infraestructura existente, incluyendo mejoramientos a la Bocatoma No.1	\$ 14.891.000

TOTAL	\$ 26.139.420

d) Oasis de Quillagua

Se mantiene el actual esquema de canales y de duración de riego (24 horas) con un sistema de turnos entre el canal 1 y 2.

Las obras a ejecutar son las siguientes :

- Aforadores (2)	\$ 103.400
- Cubrir tramo canal 1	\$ 2.988.000
- Reparaciones y complementos a la infraestructura actual	\$ 1.143.000

TOTAL	\$ 4.234.400

En resumen, el costo total de inversión del Proyecto de Mejoramiento recomendado asciende a \$ 52.356.470, más \$ 5.250.000 en costos de ingeniería, lo que da un total aproximado de \$ 57.606.000.

10.3 Evaluación Económica Preliminar del Proyecto de Mejoramiento Recomendado

La evaluación económica preliminar de la alternativa recomendada, consistió en calcular el VAN y TIR del proyecto, a nivel privado y a nivel social. La evaluación se hizo considerando atribuibles al proyecto la diferencia de beneficios agrícolas que se obtienen en las situaciones con proyecto y sin proyecto. Esta última situación se define como aquella alternativa que considera la extracción de agua en Quinchamale para SENDOS, y además, que las tasas de riego asignadas a cada oasis son aquellas determinadas por la Dirección General de Aguas; todo lo anterior, sin que se ejecuten obras de mejoramiento de la infraestructura de riego.

Para la evaluación económica a nivel privado, se calcularon los beneficios por hectáreas y por cultivos, actualizando los valores del informe Niemeyer según la variación del precio del US\$. Esto se hizo luego de comprobar que las cifras resultantes con este procedimiento, estaban dentro de los rangos de valores que actualmente manejan los organismos especializados del sector (ODEPA y SNA). Para los costos de

producción, también se hizo una evaluación de acuerdo con las cifras por cultivo y por Há del informe Niemeyer. En este caso sin embargo, los costos de mano de obra se adoptaron según los valores existentes en la actualidad, mientras que el resto de los insumos se valoraron en US\$. Una vez determinado lo anterior, se calcularon los beneficios agrícolas netos por Há y por oasis, para una Há media con la distribución de cultivos por oasis adoptada en este estudio. Para valorar los beneficios, se consideró que las cifras de rendimientos físicos dada por Niemeyer eran representativas de la situación actual. Como en las situaciones sin proyecto y con proyecto, las calidades medias del recurso agua cambian, se supuso que los beneficios para dichas situaciones cambian proporcionalmente a los valores de rendimientos medios simulados en este estudio para estas situaciones, con respecto al valor simulado para la situación actual.

La evaluación de los costos del proyecto contempló los valores de inversión calculados según las cubicaciones de las obras y el estudio de precios unitarios realizado. Además incluyó una estimación de costos de mantención y operación y una estimación de los costos de ingeniería para el proyecto de las obras.

Para la evaluación económica a nivel social, en todos los Items de costos se utilizaron los factores recomendados por ODEPLAN, para afectar los componentes de mano de obra semi-calificada y no calificada, y para afectar los insumos de origen importado.

Como horizonte de evaluación se fijó un período de 20 años. Para la evaluación a nivel privado se usó una tasa de interés de 10% anual, que es la actualmente vigente para créditos agrícolas del Banco del Estado. Para la evaluación social, se usaron las tasas de interés vigentes de ODEPLAN.

Los resultados de la evaluación, tanto a nivel privado como social señalan VAN positivos de \$ 47,1 y \$ 62,7 millones respectivamente, considerando el global de los cuatro oasis. Cabe señalar sin embargo, que las cifras parciales para los oasis de Lasana y Chiu-Chiu son negativas, lo que es razonable, puesto que el proyecto tiene un efecto sustancialmente menor, en términos de seguridad de abastecimiento de recursos y términos de

mejoramiento de la calidad del agua, para estos dos oasis. Las tasas internas de retorno para el global del proyecto son de 20,9 y 26,5% a nivel privado y social respectivamente.

Un análisis de sensibilidad de los beneficios y costos del proyecto, dentro de un rango de $\pm 15\%$, revela cambios importantes en el VAN del mismo. Sin embargo, incluso en el caso más desfavorable de esta sensibilización, el VAN global del proyecto es positivo (\$ 18.757.000). El análisis de sensibilidad del VAN con la tasa de interés, tanto en el nivel privado (8 a 12%) como a nivel social ($\pm 2\%$) revela también cambios significativos en el VAN del proyecto. Sin embargo, en todos los casos este indicador resulta positivo y en el caso más desfavorable alcanza a 34,4 millones de pesos.

El número de beneficiarios directos del proyecto se estima en aproximadamente unos 3.500 personas, equivalente a unas 700 familias. De estos, del orden de 2.400 beneficiarios se encuentran actualmente en condiciones de extrema pobreza.

El período de construcción del proyecto se estima en 5 meses, generándose una ocupación durante este período de 140 hombres/mes de mano de obra semi-calificada y de 174 hombres/mes de mano de obra no calificada. Los empleos permanentes generados por el proyecto con respecto a la situación sin proyecto se estiman en 17 y prácticamente nulos en relación a la situación actual.

A continuación se resumen los principales indicadores económicos determinados para la Solución de Mejoramientos Recomendada.

- Superficie adicional regada	:	74 Hás
- VAN social	:	\$ 62,7 millones
- VAN privado	:	\$ 47,1 millones
- TIR social	:	26,5%
- TIR privado	:	20,9%
- No. de Beneficiarios	:	3.500
- Mano de Obra generada (semi-calificada y no calificada)	:	314 hombres/mes
- Empleos permanentes generados	:	17
- Costo Inversión Proyecto Recomendado	:	\$ 57,6 millones

1. INTRODUCCION

1.1 Origen del Estudio y Antecedentes de Interés

La II Región del país presenta una crónica escasez del recurso agua que se seguirá agudizando en forma significativa tanto por las previstas necesidades y extracciones adicionales del SENDOS a partir de 1987 para el abastecimiento de sus servicios de agua potable, como asimismo por los requerimientos crecientes de la minería en general y especialmente de CODELCO.

Estos hechos están conduciendo a un efectivo y literal agotamiento de la cantidad de recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Loa y a un persistente y peligroso deterioro de su calidad (salinidad) para fines agrícolas.

Ante esta realidad, la Dirección General de Aguas ha puesto término al proceso de organización de los roles provisionales de usuarios agrícolas existentes en los oasis de Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua, procedimiento este que ha significado asignar a los agricultores, derechos de agua muy restrictivos, a objeto de adecuarse a las nuevas limitaciones mencionadas y especialmente a las nuevas extracciones previstas para el SENDOS en el sector de Quinchamale aguas arriba del embalse Conchi.

En atención a estas situaciones el Sr. Ministro de Obras Públicas en sus ORD MOP No. 702 y 703 de Abril de 1985, dirigido al Sr. Director de Riego y al Sr. Ministro de Agricultura respectivamente, ha planteado, que por diversas razones, es indispensable preservar la actividad agrícola de la cuenca del río Loa y que por las características tan excepcionales de este caso, sería necesario desarrollar por parte del Estado algunas acciones de tipo subsidiario. Plantea además que pueden originarse problemas serios en la actividad agrícola de la cuenca del río Loa II Región, por las nuevas tasas de riego que tuvieron que asignarse.

En consecuencia, en los mencionados documentos se requiere a la Dirección de Riego del MOP que, dentro de un conjunto de medidas destinadas a preservar la producción agrícola del Loa, inicie el estudio de un programa de obras que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos asignados a los regantes. Por otra parte, se solicita al Ministerio de Agricultura que considere la factibilidad de mejorar, ya sea, los sistemas de riego tradicionales, la calidad de los suelos, las líneas de comercialización de sus productos, o cualquiera otra medida tendiente a paliar los efectos negativos que se presentarán en la agricultura a partir de 1987.

Debe tenerse en cuenta que la Dirección de Riego ha desarrollado desde hace varios años (por lo menos desde 1955) diversos estudios, proyectos y construcción de obras de riego en la cuenca del río Loa, que culminaron en 1975 con la entrada en servicio del Embalse Conchi. Este embalse, con 21.9 millones de m³ tuvo como propósito librar recursos para extracciones no agrícolas. Más recientemente en 1978 se contrató el "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi Río Loa".

Posteriormente, en 1979, la Dirección General de Aguas realizó el "Estudio de Racionalización del Área de Riego del Río Loa", que incluyó un catastro de los regantes y propuso un conjunto de obras de mejoramiento de la infraestructura existente.

Como consecuencia del mencionado requerimiento del Sr. Ministro de Obras Públicas en su ORD. MOP No. 702, y considerando que a partir de 1978 se dispone de nuevos antecedentes hidrológicos y de condiciones del sistema de riego, de sus demandas y recursos hídricos disponibles, la Dirección de Riego llamó en Marzo de 1985 a un Concurso Público para el Estudio del "Mejoramiento de la Infraestructura de Riego en el Río Loa I Etapa".

La propuesta respectiva fue asignada a ICC-CONIC Ingenieros Consultores Ltda., mediante la Resolución DGOP No. 280 del 4 de Julio y tramitada con fecha 18 de Julio de 1985. El plazo de ejecución asignado al estudio fue de 210 días.

Objetivos y Alcances del Estudio

De los antecedentes expuestos en el punto anterior queda en claro que el objetivo general que se persigue es estudiar los mejoramientos de la infraestructura de riego del río Loa, para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos de agua asignados por la DGA a los regantes, ante las nuevas demandas no agrícolas previstas, de manera de preservar la actividad agrícola de la zona.

En este estudio se ha considerado de gran importancia para el desarrollo el planteamiento ministerial de "preservar la actividad agrícola de la cuenca del río Loa", en el sentido que las soluciones que se planteen no deben implicar disminuciones de áreas regadas, asignadas con nuevos derechos de agua de la DGA, sin perjuicio que se evalúe el impacto en este sentido que podrían tener las futuras extracciones de agua para fines no agrícolas.

Más específicamente, los términos de Referencia del Estudio, establecen los siguientes dos objetivos básicos :

- "Efectuar todas las actualizaciones y adecuaciones necesarias al Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema embalse Conchi - Río Loa de 1979, que permitan operar adecuadamente el sistema y conocer la distribución, disponibilidad, calidad y seguridad del agua para riego, con diferentes situaciones de extracciones adicionales en algunos puntos del sistema en cuestión, y diferentes alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego actual" y
- "Efectuar un diagnóstico detallado del estado actual de la infraestructura de riego del río Loa, y sobre el mismo realizar un estudio de la conveniencia y factibilidad de las posibilidades de mejoramiento".

Para lograr estos objetivos, el estudio se ha desarrollado en 3 etapas con las siguientes actividades en cada una de ellas :

- Etapa 1 :

- . Recopilación y estudio de antecedentes
- . Estructuración básica del Modelo de Simulación del Sistema Embalse Conchi- Río Loa
- . Diagnóstico de la infraestructura de riego

- Etapa 2 :

- . Determinación de demandas de agua
- . Estudio de calidades de agua
- . Estudios Hidrológicos
- . Análisis de alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego
- . Planteamiento detallado del Modelo de Simulación y resultados provisionales

- Etapa 3 :

- . Resultados definitivos del Modelo de Simulación
- . Recomendación de soluciones de mejoramiento de la infraestructura de riego
- . Diseños preliminares de las obras de mejoramiento
- . Evaluaciones económicas finales
- . Implementación del programa computacional del Modelo de Simulación
- . Informe Final del Estudio

1.3 Contenido de este Informe Final

El presente informe corresponde al Informe Final de la Consultoría, el cual integra la información contenida en los informes parciales de cada etapa del trabajo y en general toda la información desarrollada y utilizada en el estudio.

Primeramente, en el punto siguiente de esta Introducción, se incluye una descripción general del sistema río Loa, resaltando aquellos aspectos más relevantes a los objetivos y desarrollo del presente estudio.

El capítulo 2 contiene una reseña resumida de todos los antecedentes previos pertinentes analizados y que se consideran necesarios para desarrollar el trabajo.

La determinación de demandas de agua al sistema río Loa, se incluyen en el capítulo 3. Estos aspectos se tratan separadamente para las demandas no agrícolas (urbanas y mineras), y para las demandas de riego, con un análisis especial referente a las tasas de riego.

En el capítulo 4 de este Informe, se incluyen los estudios hidrológicos que se requieren para lograr los objetivos del trabajo. Primeramente se analizan y elaboran las estadísticas de caudales medios mensuales requeridos, tanto en régimen real como natural. Luego se establecen diversas relaciones que permiten caracterizar y modelar las pérdidas y recuperaciones a lo largo del sistema. Se establece además un modelo de regresión simple para el pronóstico de los caudales medios mensuales y finalmente se elabora un estudio de las crecidas del río.

El análisis de la calidad química de las aguas del sistema Loa-Salado, se trata en el capítulo 5. Este capítulo incluye primeramente un resumen y análisis de la información recopilada para establecer su calidad y posibilidades de uso. Separadamente, se efectúa un análisis de la conductividad eléctrica del agua como indicador principal de su calidad en diversos puntos de interés a lo largo del río Loa y Salado, estableciendo las relaciones temporales y espaciales que permitan caracterizar la calidad química del sistema mediante el indicador señalado. Finalmente, se establecen diversas relaciones para la modelación hidroquímica del sistema en las zonas de pérdidas y recuperaciones que son de interés para la aplicación del modelo de simulación.

El capítulo 6 contiene los antecedentes y conclusiones relacionados con el diagnóstico de la actual infraestructura de riego en la zona de interés del estudio. Este diagnóstico se complementa con un archivo fotográfico seleccionado y representativo de las obras y situaciones que se han detectado en dicho diagnóstico. Este archivo se incluye en un tomo aparte a este volumen.

El estudio de identificación y evaluación de alternativas de mejoramiento, se trata en el capítulo 7. En la primera parte de este capítulo se analizan los mejoramientos de la infraestructura de riego, y separadamente las soluciones posibles para el mejoramiento de la calidad del agua en el río Loa.

Para ambos tipos de mejoramientos, se identifican, predimensionan y se evalúan preliminarmente los costos, de diversas alternativas técnicamente factibles y se efectúa una primera selección de aquellas que resultan técnicamente más efectivas y a la vez más económicas. El impacto y los beneficios de estas alternativas preseleccionadas, se evalúan mediante la aplicación de un modelo de simulación de la operación del sistema río Loa.

La estructuración y calibración de dicho modelo de simulación se detalla en el capítulo 8 del informe.

En el capítulo 9, se incluyen todos los antecedentes relativos a la aplicación del modelo de simulación. Contiene la identificación y caracterización de las diferentes situaciones de modelación o casos de interés a analizar con el modelo y los resultados obtenidos.

Sobre la base de los resultados de la aplicación del modelo y de los antecedentes incluidos en el capítulo 7, en el capítulo 10 del informe se efectúa la selección final de las soluciones de mejoramiento recomendadas. En este capítulo se describe en detalle el Proyecto de Mejoramiento incluyendo sus ubicaciones y costos y los planos de diseño preliminar de las obras principales.

Finalmente, en el capítulo 11, se incluye la evaluación económica preliminar, tanto privada como social, del proyecto de Mejoramiento recomendado.

Este informe final se completa con un volumen de Anexos y un volumen de Memorias de Cálculo.

El volumen de Anexos contiene información complementaria utilizada y desarrollada, referente a aspectos de demandas de agua, antecedentes hidrológicos y de calidad de agua, estudio de precios unitarios, sistemas de desalinización, y listados de computador con los resultados de las simulaciones.

El volumen de memorias de cálculo contiene los detalle de los cálculos efectuados para el diseño preliminar y cubicaciones de las obras y estudios parciales efectuados en relación a pérdidas de agua en los canales y sus revestimientos.

1.4 Descripción física general del sistema río Loa

La cuenca del río Loa se encuentra ubicada en la II Región de Antofagasta. (ver figura I).

Su superficie total abarca 31.925 km² y sus afluentes principales están constituidos por los ríos San Pedro, Salado y San Salvador.

La zona costera presenta un clima desértico con nublados abundantes. La zona comprendida entre la localidad de Quillagua (800 msnm) hasta Lequena (3.250 msnm) corresponde a un clima desértico normal. A partir de la cota 3.000 msnm, aproximadamente, se observa un clima de desierto marginal de altura en que las precipitaciones aumentan notoriamente con la altitud.

El régimen de caudales en el río Loa y sus afluentes presenta una reducida variación mensual e interanual, solamente alterado por variables crecidas que ocurren aleatoriamente entre los meses de Enero a Marzo durante el invierno altiplánico.

La calidad química de las aguas se va deteriorando notoriamente hacia aguas abajo, especialmente debido a los aportes del río Salado y a las recuperaciones de aguas subterráneas en el sector Angostura, aguas arriba de Calama.

Los sectores agrícolas regados se encuentran en los oasis de Lasana (54 Hás), Chiu-Chiu (176 Hás), Calama (1.103 Hás) y Quillagua (143 Hás), lo que totaliza 1.476 Hás cultivadas según DGA.

El sistema de riego está constituido por una extensa red de canales que totalizan 120.071 m; la gran mayoría de los cuales tiene capacidades comprendidas entre 200 y 500 l/s.

Las aguas del río Loa están reguladas por medio del embalse Conchi (cota 3.000 msnm) de 21,9 millones de metros cúbicos de capacidad, el cual está operando desde 1975.

Las demandas no agrícolas al sistema están constituidas por extracciones para el abastecimiento de Chuquicamata; extracciones del SENDOS y de las salitreras, que en conjunto totalizan unos 2.514 l/s en la actualidad.

2. RESEÑA DE ANTECEDENTES CONSULTADOS

2.1 Introducción

En este Capítulo se reseñan los antecedentes que se consideran pertinentes y necesarios para desarrollar el estudio, y que se consultaron en este trabajo.

En el caso que estos antecedentes correspondan a informes, se incluye un breve resumen de sus objetivos, contenido y recomendaciones o conclusiones principales.

Cuando esta información se refiere, a estadísticas de datos y planos, se incluye una relación del lugar a que se refieren, su naturaleza y su extensión espacial o temporal.

Finalmente se incluye también el tipo de información que se ha recopilado directamente en la zona, a través de reconocimientos del terreno y/o entrevistas con diversas personas relacionadas con el tema en estudio.

2.2 Informe : "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - Río Loa". Febrero 1979

Fue desarrollado por los ingenieros civiles B. Espíldora, E. Brown y J. Castillo.

En este estudio se plantearon como objetivos principales, los siguientes :

- Cuantificación de la mejoría o impacto producido por el embalse con respecto a la situación existente antes de su construcción, evaluada en términos de seguridades de riego, superficies cultivables posibles de regar y disponibilidad de agua regulada.
- Determinación de la política de operación óptima del embalse, en términos de definir las épocas del año en que debe tomarse las decisiones en cuanto a entregas y las magnitudes de éstas.

- Determinación de las potencialidades del embalse para satisfacer diferentes niveles futuros en cuanto a demandas agrícolas y no agrícolas.

Para alcanzar los objetivos anteriormente enunciados, el estudio realizado contempló los siguientes aspectos :

- Revisión de los principales estudios anteriores desarrollados a la fecha.
- Recopilación, revisión y procesamiento de todas las principales estadísticas fluviométricas y de aforos existentes en la cuenca del río Loa.
- Homogeneización de las estadísticas hidrológicas en función del tiempo, considerando los distintos niveles de extracciones ocurridas históricamente.
- Recopilación y análisis de los antecedentes de crecidas, y evaluación de las potencialidades de crecidas en varios puntos de la hoya, así como también, análisis de diferentes impactos del embalse como amortiguador de crecidas, al dejar volúmenes libres para este efecto.
- Análisis y formulación de modelos de pronósticos de gastos medios mensuales y volúmenes estacionales afluentes al sistema, con el objeto de tener información a priori para la toma de decisiones de operación en "tiempo real".
- Análisis de las demandas actuales y futuras, agrícolas y no agrícolas, de acuerdo a los antecedentes disponibles a la fecha del estudio.
- Análisis general de, la calidad del agua y la influencia que sobre la calidad del recurso tienen distintas políticas de extracciones de agua, y distintas reglas de operación del embalse.

- Formulación y calibración de un modelo hidrológico y de operación simulada del sistema embalse Conchi - río Loa. Este fue un elemento central del estudio realizado, que incorporó en su estructuración la simulación del embalse, distintas zonas de riego, puntos de extracción de agua para fines no agrícolas, zonas de recuperaciones y pérdidas naturales en el sistema, etc. Con este modelo se hicieron inferencias sobre : distintas políticas en cuanto a extracciones de agua para fines agrícolas y no agrícolas; efectos de distintas reglas de operación del embalse; efectos de aprovechar el embalse para control de crecidas; etc.

Mediante los análisis de operación simulada del sistema, para diferentes escenarios, se extrajeron los resultados y conclusiones relativas a los objetivos originalmente planteados para este estudio. El esquema metodológico planteado en este estudio sirve de base para el trabajo actualmente en realización.

2.3 Informe : "Estudios de Racionalización del Area de Riego del Río Loa" 1979.

Este estudio fue desarrollado por el Ing. Sr. Hans Niemeyer F. para la Dirección General de Aguas. Su objetivo general consistió en estudiar los aspectos básicos para la racionalización del uso del agua en la agricultura de los oasis de Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua.

El informe contiene primeramente una descripción hidrográfica e hidrológica y geológica del río Loa y de sus afluentes. En un capítulo especial se tratan los antecedentes disponibles que permiten caracterizar la calidad del agua del Loa y sus afluentes y diversas consideraciones sobre la relación entre la geología y morfología del cañón del Loa superior y la calidad de las aguas.

Para cada uno de los oasis, se incluye una descripción de cada uno de los canales de riego y elabora el rol de regantes correspondiente. Se acompañan unos planos con la red de canales de cada oasis.

Se efectúa un análisis por oasis de la agricultura en el valle, que contiene información sobre : distribución del uso de la tierra bajo canal, distribución por cultivos, estimación de rendimientos y beneficios netos por hectáreas, características de los actuales métodos de riego, y variaciones de la productividad media versus calidad del agua. Estos antecedentes se complementan con una completa información sobre los tipos y calidades de los suelos agrícolas en cada oasis y el plano de distribución de éstos.

Finalmente con respecto a los estudios de racionalización misma, se incluye un estudio sobre las tasas de riego y el diseño y/o especificación general preliminar y costos de las obras de mejoramiento que se proponen.

Se proponen tasas de riego para cada sector y tipo de cultivo y se consideran especialmente los requerimientos de lixiviación.

Las principales obras de mejoramiento propuestas son básicamente :

- Tranques nocturnos en Lasana, Chiu-Chiu y Calama
- Aprovechamiento del tranque Sloman para el regadío de Quillagua
- Construcción de grupos reguladores con compuertas en sectores de captación y de entrega a canales derivados en Lasana y Chiu-Chiu
- Construcción de marcos de distribución en Chiu-Chiu
- Revestimiento del canal Coco - La Villa
- Reposición de compuertas en Calama
- Rehabilitación de la bocatoma No.1 y construcción de una bocatoma No.2 en Calama (una para cada ribera)

2.4 Informe : "Fotointerpretación de las Areas de Calama, Lasana, Chiu-Chiu y Quillagua" Diciembre 1982.

Este trabajo fue desarrollado por la firma COSERREN para la Dirección de Riego del MOP.

El informe respectivo contiene un plano para cada uno de los oasis señalados, en que se indica la distribución del uso del suelo en cada uno de ellos.

Se establece un código y descripción de clasificación del uso, en que el área actualmente cultivable bajo riego se identifica los terrenos dedicados a : alfalfa, maíz, hortalizas, barbechos, trigo, suelos preparados para sembrar y/o plantar y parcelas con uso múltiple.

Para cada oasis, se establecen cuadros con las superficies dedicadas a cada uso de suelo anotándose el total del área cultivada, la superficie total y el porcentaje de uso agrícola.

2.5 Informe : "Area Agrícola Lasana, Chiu-Chiu y Calama. Agua de Regadío. Distribución Mensual en m3 Mayo y Agosto 1984. Dirección General de Aguas

Estos informes fueron desarrollados por la Oficina Provincial El Loa II Región de la Dirección General de Aguas. Su objetivo fue determinar para cada usuario agrícola de los oasis de Lasana, Chiu-Chiu y Calama, los Derechos de Aprovechamiento de las aguas para regadío.

Estas determinaciones se observan en el Volumen anual (en m3/Ha/año) y la distribución mensual de la tasa de riego, determinada por el Departamento de Estudios de la D.G.A. en Santiago, y en las Resoluciones dictadas por el Segundo Juzgado de Letras en lo Civil de Calama.

La regularización de los Derechos de Aprovechamiento de los usuarios agrícolas de los oasis, significa entregar a los titulares de dichos Derechos un control asignado de acuerdo a la superficie agrícola de suelo efectivamente explotado.

La distribución mensual asignada se entrega en el informe para cada canal en su totalidad y para cada usuario de cada canal, indicando además, el nombre de cada asignatario, el número de usuario y de hectáreas de cada canal y el número de hectáreas de cada usuario.

2.6 Rol Provisional de Regantes Area Agrícola de Quillagua e Informes con Antecedentes de Tasas de Riego

Esta información fue desarrollada por el Departamento de Estudios de la Dirección General de Aguas.

El informe respectivo proporciona para el oasis de Quillagua, la Dotación Anual de riego y su distribución mensual (en m³/há/mes).

Además contiene el rol de regantes en cada uno de los dos canales de Quillagua, con el nombre del usuario, la superficie que riega y cultiva efectivamente cada uno y la dotación de riego anual asignada.

A esta fecha, los roles están en proceso de legalización en los Tribunales competentes, y en consecuencia su vigencia definitiva está sujeta a la resolución respectiva.

2.7 Informe : "Estudio de Nuevas Fuentes de Agua Potable para el Abastecimiento de las Ciudades de Antofagasta, Calama, Tocopilla, Pampa Salitrera y Diagnóstico de la Infraestructura Existente (II Región)". Estudio Preliminar Nuevas Fuentes. 1982.

Este estudio fue desarrollado por IFARLE Ings. Civiles Consultores Ltda. para el Servicio Nacional de Obras Sanitarias. Su objetivo general consistió en programar la ejecución de obras que permitan incorporar nuevas fuentes al sistema de agua potable y satisfacer los consumos futuros. Se consideró como período de previsión el año 2000.

En el informe se incluye los estudios de proyección de población y del consumo de los principales centros poblados de la II Región, efectuándose a continuación el correspondiente balance de recursos actuales disponibles y demandas de agua potable, determinando finalmente el déficit actual y futuro.

Como anexos se incluyen : "Estudio Hidrogeológico", elaborado por INYGE; "Estudio Hidrológico", elaborado por el Ing. Andrés Benítez; "Desalación para Abastecimiento de Agua Potable", elaborado por TAHAL Consulting Engineers Ltd.; y "Derechos de Agua", elaborado el Abogado Gustavo Manríquez.

Con todos estos antecedentes, se realiza una evaluación técnico-económica de diversas alternativas de mejoramiento de las captaciones y conducciones existentes y de nuevas fuentes de abastecimiento, dividiendo estas últimas en : Fuentes que se descartan; Fuentes no consideradas en el programa inmediato por requerir inversiones costosas o estudios más detallados de evaluación de la potencialidad de sus recursos; y por último, Fuentes consideradas en el programa inmediato. En este último grupo se incluyó Río Loa en Quinchamale, Baños de Turi, Ojos del río Putana y Ojo Opache.

El programa de obras finalmente propuesto es el siguiente:

- a) Revestimiento y refuerzo de la aducción Toconce entre la captación y Calama, y la limpieza interior de la aducción Lequena.
- b) Captación de 300 l/s en el río Loa en Quinchamale. Esta obra debería entrar en servicio en 1987.
- c) Captación de 100 l/s an Baños de Turi. Esta obra debería entrar en servicio en 1995.

Finalmente, se recomienda a SENDOS obtener las mercedes de aguas correspondientes para satisfacer la demanda hasta el año 2000 y, además, asegurar el suministro a más largo plazo. Se indica cada una de las mercedes de aguas que se requiere.

2.8 Antecedentes sobre Demandas de Agua

El informe de 1979 (*) incluye un análisis bastante exhaustivo de la situación histórica, en cuanto a extracciones de agua para diferentes fines de uso se refiere. Allí se entregan valores en función del tiempo que comprenden las siguientes extracciones :

- Lequena (Agua Potable - SENDOS)
- Inacaliri (Agua Potable - CODELCO)
- San Pedro (Agua Industrial - CODELCO)
- Linzor (Agua Potable - CODELCO)
- Toconce (Agua Potable - SENDOS)
- Salado Represa Chilex (Agua Industrial - SENDOS)
- San Salvador (Agua Industrial - SOQUIMICH)
- Loa en Chacance (Agua Industrial - SOQUIMICH)

El período incluido en el análisis abarcó hasta Abril de 1978, aún cuando los antecedentes cuantitativos propiamente tales abarcaban algo menos.

Además, en el estudio de 1978, se analizó, y se pretendió cuantificar, la situación histórica relativa a extracciones de agua para riego; de allí surgieron relaciones de modelación para las captaciones de riego, que se incorporaron al modelo de simulación.

(*) Espíldora B. et al "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - Río Loa" Dirección de Riego, MOP Feb. 1979

Finalmente, se proyectaron diferentes escenarios posibles en cuanto a nuevas captaciones de agua para fines no agrícolas que podían preverse a esa fecha, así como también, situaciones factibles a simularse; en cuanto a demandas y extracciones de riego.

Entre 1978 y la actualidad, no existen diferencias sustanciales en cuanto a puntos de extracción de agua para fines no agrícolas; sin embargo, si existen algunos cambios menores en las tasas de extracción; a este respecto cabe mencionar, el aumento de captación en Lequena por el efecto del mejoramiento en las obras de captación de SENDOS y los aumentos de captación por parte de CODELCO, en el río San Pedro. Estos cambios en las tasas de captación, no pueden evaluarse en forma directa por medición de caudales captados, sino que solamente en forma indirecta, estadísticamente, por diferencia entre estadísticas fluviométricas, y/o aforos, existentes aguas arriba y aguas abajo de los puntos de captación. Para cuantificar los efectos señalados, se sostuvo entrevistas en terreno con los encargados de las captaciones en cuestión, de tal modo de ubicar cualitativamente los cambios en las extracciones; el análisis preliminar de los antecedentes fluviométricos disponibles tiende a confirmar las apreciaciones proporcionadas por las actividades competentes, de tal modo que permite cuantificar magnitudes y ubicación en el tiempo de los cambios.

En cuanto a extracciones para riego, no existen antecedentes cuantitativos que permitan describir apropiadamente las leyes de extracción. Al respecto sólo existen apreciaciones cualitativas, tales como el hecho de que el riego de las zonas de vegas, en los últimos días, prácticamente no se ha llevado a cabo. La escasez de antecedentes, implicará la necesidad de modelar los procesos de riego y calibrar las relaciones de modelación, mediante una adecuada selección de parámetros. En cuanto a demanda de riego a futuro, el aspecto más fundamental tiene que ver con las tasas de riego fijadas por la D.G.A.

En cuanto a demandas no agrícolas a futuro, existe la captación proyectada por SENDOS en Quichamale (río Las aguas arriba del San Pedro) y las posibles extracciones de agua de CODELCO-Chile, División Chuquicamata. Según los antecedentes disponibles, Chuquicamata requeriría unos

1.000 l/s adicionales a los actuales, para poder cumplir los aumentos de producción proyectados; se puede prever que algunas de las extracciones de CODELCO, pueden afectar los gastos de recuperación que se producen en el Loa en ciertos sectores. En todo caso CODELCO no tiene programado extraer agua superficial directamente del sistema Loa, para satisfacer las necesidades señaladas.

2.9 Antecedentes Fluvionétricos

2.9.1 Caudales Medios Mensuales

Se recopiló todas las estadísticas de caudales medios mensuales disponibles en la Dirección General de Aguas, para la hoya del río Loa. Se puso especial interés en la estación Salado en sifón Ayquina, ya que ésta corresponde a una de las estadísticas básicas de entrada para el modelo. Esta estadística se encuentra traducida hasta Junio de 1985.

En la Dirección de Riego se recopiló las hojas de operación del Embalse Conchi; éstas comprenden el período que abarca desde Septiembre de 1975 a Junio de 1985. Con éstas se confecciona la estadística de caudales medios mensuales de entrada al embalse.

2.9.2 Aforos

Se recopiló todos los aforos disponibles en la Dirección General de Aguas y Dirección de Riego, para la hoya del río Loa. Para los aforos considerados de especial interés para el estudio, se presenta a continuación, separando entre Dirección General de Aguas y Dirección de Riego, unas listas en las cuales se indica la sección de aforo, la cantidad de aforos y los períodos en los cuales fueron realizados.

2.9.3 Crecidas

Se identificaron en los listados de gastos medios diarios los periodos de crecidas en las estaciones Loa en Lequena, Loa en alcantarilla Conchi No.2, Salado en sifón Ayquina y Loa en Yalquincha; para esto se usaron también las estadísticas deducidas de la operación del Embalse Conchi.

TABLA 2.1

Aforos Dirección General de Aguas

Sección de aforo	No. del aforos	Periodos		
Loa antes de Lequena	112	Ene. 67	a	Abr. 85
Loa después de Lequena	32	Jun. 73	a	Ene. 82
San Pedro en Parshall 2	140	Oct. 67	a	Abr. 85
San Pedro en cruce Camino In-				
ternacional	144	Mar. 63	a	Abr. 85
Salado en Ayquina	151	Ene. 61	a	Dic. 75
Salado en sifón Ayquina	94	Ene. 76	a	Abr. 85
Salado en zona de riego Ayquina	14	Feb. 74	a	Oct. 75
Salado en Yalqui	29	Feb. 74	a	Ene. 81
Salado antes Junta con río Loa	161	Oct. 60	a	May. 85
Loa antes de Junta con Salado	128	Oct. 16	a	Nov. 27/
		Mar. 47	a	Ene. 82
Loa después de Junta con Salado	35	Jun. 61	a	Sep. 66/
		May. 75	a	Oct. 79
Loa en Angostura	39	Jun. 61	a	Sep. 75
Loa en Yalquincha	147	Dic. 15	a	Nov. 27/
		Nov. 53	a	May. 85
San Salvador antes Junta con	109	Dic. 15	a	Nov. 27/
Loa		Abr. 61	a	May. 85
Loa después de Junta con San	51	Dic. 15	a	Nov. 22/
Salvador		May. 63	a	May. 85
Loa antes Junta con Sn.Salvador	88	Dic. 15	a	Nov. 22/
		Oct. 61	a	Ago. 84
Loa en Quillagua	147	Oct. 16	a	Nov. 27/
		Jun. 48	a	May. 85

TABLA 2.2.

Aforos Dirección de Riego

Sección de aforo	No. del aforos	Períodos		
Loa antes Junta Salado	63	Ene. 84	a	Jun. 85
Salado antes Junta Loa	63	Ene. 84	a	Jun. 85
Loa en Yalquincha	94	Dic. 83	a	Jun. 85
Salado en Ayquina	4	Nov. 83	a	Nov. 84
Salado en sifón Ayquina	8	Nov. 83	a	Jun. 85
Salado en Yalqui	4	Nov. 83	a	Nov. 84
Salado antes Junta con Loa	40	Nov. 83	a	Jun. 85
Loa después de Angostura	24	Dic. 83	a	Nov. 84
Loa antes Junta con Salado	33	Dic. 83	a	Nov. 84
Salado frente a pueblo Ayquina	4	Feb. 85	a	Jun. 85

2.10 Antecedentes de Calidad del Agua

Se recopiló en la Dirección de Riego, las mediciones de terreno realizadas en la hoya del río Loa de conductividad eléctrica. Estas mediciones se realizaron en los puntos que a continuación se indican :

- o Loa en alcantarilla Embalse Conchi
- o Filtraciones Embalse Conchi
- o Loa en Parshall Embalse Conchi
- o Loa en Lasana antes zona de riego
- o Loa antes Junta río Salado
- o Salado antes Junta río Loa
- o Loa en Yalquincha
- o Loa en La Finca

El período en el cual se realizó estas mediciones corresponde desde Noviembre de 1983 hasta Junio 1985.

Cabe hacer notar que estas mediciones deben ser corregidas por temperatura para considerar una conductancia específica normalizada a 25 grados celcius. Además estos muestreos han sido realizados conjuntamente con aforos en cada lugar.

Se recopiló también en la Dirección de Riego el Informe "Seguimiento de la calidad química de aguas del sistema Loa-Conchi y su efecto sobre las demandas agrícolas", Septiembre 1985, de E. Lara y E. Medina, del que se obtuvo los análisis de muestras realizadas en el Laboratorio de Aguas de esta Dirección. Estos análisis contemplaron un total de 12 puntos de muestreo en los ríos Loa y Salado, y 21 puntos en las vertientes de Angostura. El período en el cual se efectuó el muestreo, abarca desde 1981 hasta 1984.

Se recopiló en la Dirección General de Aguas, la estadística de análisis químicos de aguas, elaboradas por esta Dirección, para la hoya del río Loa. Esta estadística consiste en promedios anuales con indicación del número de aforos efectuados por año. Esta estadística comprende el período que abarca desde 1966 a 1979 y 1983.

Se recopiló también el "Estudio de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Loa" (*). En el Anexo de este informe se encuentran todos los valores de los análisis de muestras realizadas desde 1961 hasta 1970, para la cuenca del río Loa.

Finalmente, es preciso señalar que se está tomando como parámetro representativo de la calidad del agua, la conductancia específica.

(*) Universidad de Chile. "Estudio de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Loa". Departamento de Recursos Hidráulicos. Corporación de Fomento. Mayo 1973.

2.11 Informe : "Reconocimiento Geológico a rocas en zona casa de válvulas y vertedero del Embalse Conchi"

Este estudio fue desarrollado por el geólogo de la Dirección de Riego, Sr Arturo Vergara en Julio de 1985.

Su objetivo fue verificar mediante un reconocimiento geológico de superficie, la calidad de las rocas en que está excavado el vertedero y las que se ubican aguas abajo a las válvulas de salida del embalse, ante las alteraciones que estas laderas presentan y que podrían producir deslizamientos en estos sectores.

Se efectúa una caracterización general de estas rocas, concluyéndose que las de la zona del vertedero no presentan peligro, pero si las del sector de las válvulas de salidas, en donde se recomiendan medidas de desprendimientos controlados y de afianzamiento con pernos y malla.

2.12 Informe sobre el Tranque Sloman

Este informe fue elaborado en Agosto de 1981 por Dn. Sergio Rivera, Jefe de proyecto de las I, II, y III Regiones de la Dirección de Riego, sobre la base de una visita a terreno para analizar la posibilidad de su aprovechamiento para el regadío de Quillagua.

En el informe se describe el estado actual del tranque, la situación general actual del riego en Quillagua y de uso del tranque, y se analiza la posibilidad de incrementar su capacidad útil para contribuir a eliminar los déficit de riego de Quillagua. Para ello se proponen como alternativas rebajar el radier actual en la sección de entrada del canal de descarga, o bien perforar una galería bajo dicho radier. En ambas soluciones debe disponerse de un nuevo elemento de cierre. Se propone además, utilizar el actual tranque Santa Fe aguas arriba como elemento de control de la sedimentación del embalse Sloman, cerrando sus compuertas y dejando que el río Loa vierta sobre el coronamiento.

2.13 Informe : "Factibilidad Técnica de Aprovechamiento de los embalses Sloman y Santa Fé"

Este trabajo fue desarrollado en Julio de 1969 para la Dirección de Riego por el Ing. Sr. Daniel Pineda N. y el Constructor Civil Tulio Cabezas I.

El informe contiene primeramente una historia de las concesiones y mercedes de agua que dieron origen a estas obras a principios de siglo.

Se describen las características físicas de cada presa y mediante un levantamiento topográfico se determinó la actual curva de embalse útil del tranque Sloman. Se describe además el estado de las obras.

Se establece la naturaleza granítica de la roca de fundación de ambos tranques y el estado de fracturamiento de las rocas adyacentes al muro Sloman, concluyéndose que las filtraciones que se observan en los sectores de ambos estribos, no se deben al fracturamiento de la roca sino a un deficiente empotramiento del muro.

En relación a la determinación de la sedimentación, para el tranque Sloman se estima una tasa media anual de unos 10.100 m³/año, alcanzando su embanque unos 7,0 m bajo la cota de coronamiento del muro.

Se plantea finalmente el aprovechamiento para riego del tranque Sloman, mediante un posible peralte de unos 5,0 m, pero no el Santa Fé, que está totalmente embancado. En éste solo se propone usarlo como sedimentador de aquél.

2.14 Informe : "Proyecto de Modificación y Reparaciones Bocatoma Calama No.1"

Este informe fue elaborado en Marzo de 1977 para la Dirección de Riego por el Ing. Emilio Donoso D.

El objetivo del trabajo fue determinar un presupuesto de las obras de reparación y modificación para la Bocatoma No.1 de Calama.

El informe contiene primeramente antecedentes del estado actual de las obras que componen la bocatoma. Incluye, estribo derecho e izquierdo, barrera de tablones, radier, sistema de aducción, antecedentes de subsuelo y estudio hidrológico.

Basado en estos antecedentes, se plantean diversas alternativas de modificación y reparación, en que la solución adoptada consiste fundamentalmente en :

- Modificación de la barrera de tablones existente, reemplazándola por una barrera aliviada de hormigón armado e igual altura a la existente.
- Reemplazo del muro principal del estribo izquierdo por una pared de tablestacas hasta la cota 310.38 m y un muro de hormigón armado sobre ellas hasta la cota 312.00 m.
- Colocación de un sistema de limpieza y descarga consistente en dos paños de compuertas metálicas de operación manual.
- Extensión de la barrera fija y radier debido al desplazamiento del estribo izquierdo.
- Modificación del radier aguas abajo debido a los cambios introducidos.
- Mantención del sistema actual de aducción del canal existente sin alteraciones debido a que se encuentra en buenas condiciones.

Seguidamente se dimensionan las obras y se entregan especificaciones de construcción.

Finalmente se desarrolla un presupuesto de las obras de reparación y modificación de la bocatoma.

El informe incluye además, un plano con la solución adoptada para la bocatoma.

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00011 6798