

INDICE GENERAL

TOMO I

	PAGINA
o RESUMEN Y CONCLUSIONES	
1. INTRODUCCION	1-1
1.1 Origen del Estudio y Antecedentes de Interés	1-1
1.2 Objetivos y Alcances del Estudio	1-3
1.3 Contenido de este Informe Final	1-4
1.4 Descripción Física General del Sistema Río Loa	1-7
2. RESEÑA DE ANTECEDENTES CONSULTADOS	2-1
2.1 Introducción	2-1
2.2 Informe: "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - Río Loa". Febrero 1979	2-1
2.3 Informe: "Estudios de Racionalización del Área de Riego del Río Loa". 1979	2-3
2.4 Informe: "Fotointerpretación de las Áreas de Calama, Lasana, Chiu-Chiu y Quillagua". Diciembre 1982	2-5
2.5 Informe: "Área Agrícola Lasana, Chiu-Chiu y Calama. Agua de Regadío. Distribución Mensual en m3 Mayo y Agosto 1984. D.G.A.	2-5
2.6 Rol Provisional de Regantes Área Agrícola de Quillagua e Informes con Antecedentes de Tasas de Riego	2-6
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	2-6

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 Fé".	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	Embalae 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

8. ESTRUCTURACION Y CALIBRACION DEL MODELO DE SIMULACION

8.1 Estructura del modelo

8.1.1 Introducción

Con el objeto de representar las variaciones de caudal y de la calidad química del agua en diferentes puntos pre-establecidos del sistema Loa-Conchi, se utilizó un modelo de simulación mensual de éste que permite analizar el efecto combinado de los fenómenos naturales netamente hidrológicos, de las entregas del embalse y de las extracciones de agua para fines agrícolas y no agrícolas. Este análisis está dirigido a determinar las entregas requeridas y posibles desde el embalse Conchi, los déficits que pueden producirse en cada una de las zonas de riego consideradas (Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua), las extracciones de agua de riego en cada una de estas zonas, las variaciones en la salinidad del agua en los distintos puntos del río y los estados del embalse, para distintos niveles de extracciones no agrícolas.

El modelo de simulación presenta la misma estructura básica del modelo elaborado en el estudio realizado en 1979 (1), habiéndose introducido las modificaciones necesarias para actualizarlo de acuerdo a los antecedentes surgidos con posterioridad.

En el presente punto se describe la estructuración del modelo, el que considera cinco tipos de elementos o singularidades :

- a) Puntos de incorporación o extracción de caudales
- b) Zonas de riego
- c) Sectores de recuperaciones o pérdidas naturales de caudal

(1) B. Espildora et al. "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema río Loa - Embalse Conchi": para la Dirección de Riego. 1979.

d) Embalse Conchi

e) Puntos de Control

En la Fig 8.1 se presenta en forma esquemática la disposición general de estos elementos, tal como se consideran en la estructura del modelo. En cada elemento 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 que se especifique.

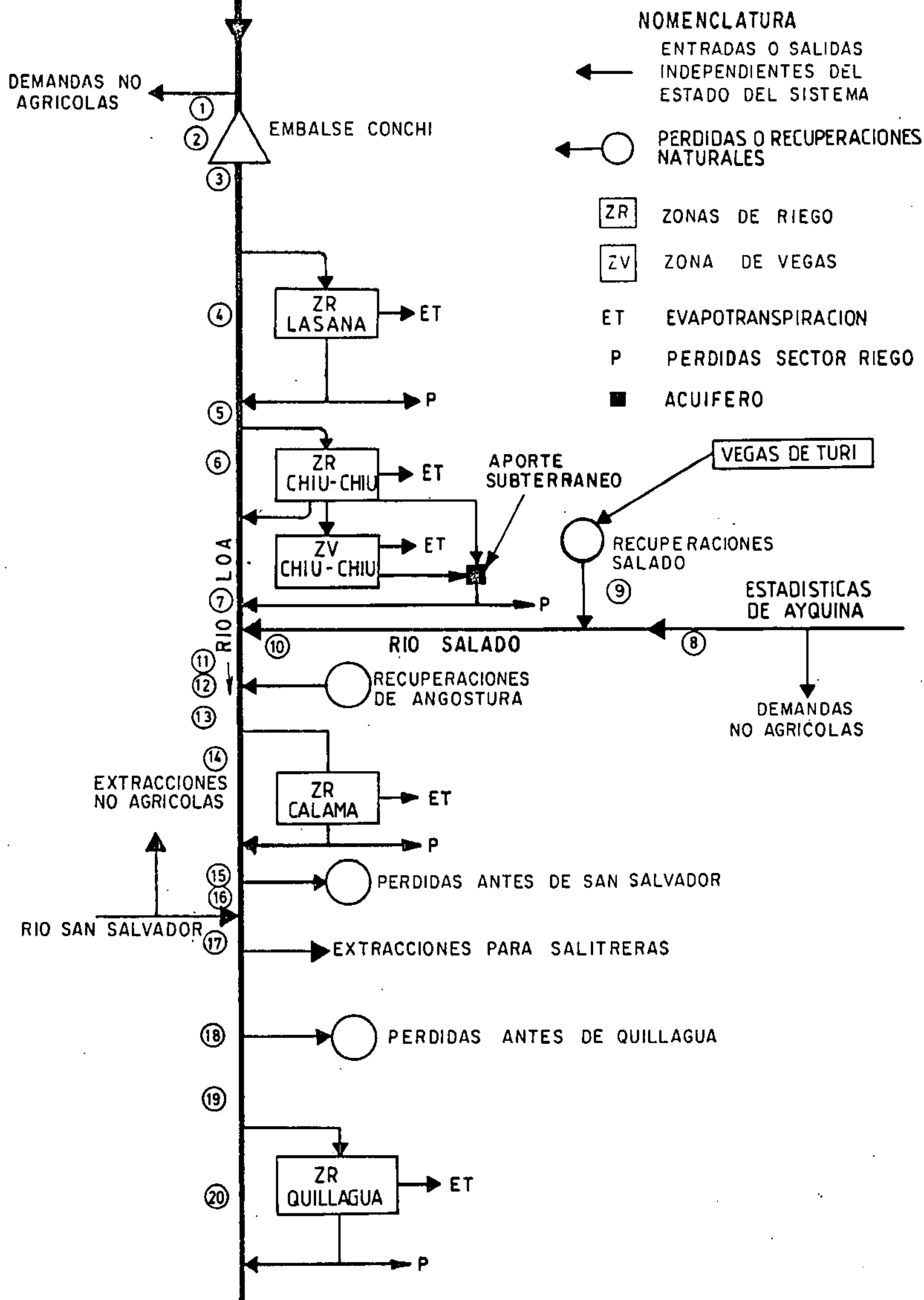
En el presente estudio se simulará el sistema utilizando las estadísticas de caudales medios mensuales existentes desde Agosto de 1958 a Julio de 1985.

En la Tabla 8.1 se presenta la nómina de elementos que conforman el modelo, ordenados de acuerdo con su estructura operativa, que consiste en un proceso secuencial de cálculo de las relaciones de modelación en cada uno.

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 (ver Capítulo 4).



ESQUEMA DE LA DISPOSICION DE LOS ELEMENTOS DEL MODELO

FIGURA
8.1

TABLA 8.1 Elementos del Modelo de Simulación

No. de orden del elemento	Nombre del elemento	Tipo de elemento
1	Loa en entrada a Conchi	Punto de incorporación y extracción de caudales
2	Embalse Conchi	Embalse
3	Después de Conchi	Punto de control
4	Lasana	Zona de riego
5	Después de Lasana	Punto de control
6	Chiu-Chiu	Zona de riego
7	Loa antes de Salado	Punto de control
8	Salado en Ayquina	Punto de incorporación y extracción de caudales
9	Recuperaciones del Salado	Sector de recuperaciones naturales
10	Salado antes de Loa	Punto de control
11	Loa después del Salado	Punto de control
12	Recuperaciones Angostura	Sector de recuperaciones naturales
13	Antes de Calama	Punto de control
14	Calama	Zona de riego
15	Después de Calama	Punto de control
16	Antes de San Salvador	Sector de pérdidas na- turales
17	San Salvador en Chacance	Punto de incorporación y extracción de caudales
18	Pérdidas antes Quillagua	Sector de pérdidas natu- rales
19	Antes de Quillagua	Punto de control
20	Quillagua	Zona de riego

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 y tasas de evapotranspiración mensual de cada una de las zonas de riego.
- Relaciones para definir el estado mensual del embalse Conchi : superficie del espejo de agua en función del volumen y las tasas de evaporación mensual desde el embalse.

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 modalidades de operación simuladas.

Debe destacarse que el modelo de simulación ha sido diseñado de modo que su estructura permita representar diferentes alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego y de la calidad del agua a la entrada del sector de riego de Calama.

A continuación se explica en mayor detalle cada uno de los diferentes elementos del modelo.

8.1.2 Puntos de incorporación y extracción de caudales

8.1.2.1 Generalidades

La función de estos elementos del modelo es representar las incorporaciones y extracciones puntuales de caudal, considerando las estadísticas mensuales en régimen natural y las extracciones para usos no agrícolas. Además, en ellos se define el valor de la salinidad del agua correspondiente a cada caudal incorporado o extraído.

Los puntos de incorporación y extracción de caudales son los siguientes :

- Entrada al sistema en Conchi
- Río Salado en Ayquina
- Río San Salvador en Chacance

En cada uno de estos puntos se realiza un balance de recursos afluentes en régimen natural, y de extracciones aguas arriba de ellos.

Las estadísticas de caudales y metodología empleada en la determinación de estos caudales se presentan en el Capítulo 4 del presente Informe.

8.1.2.2 Incorporaciones y extracciones en el río Loa en Conchi

En este punto se considera la estadística de caudales mensuales afluentes al embalse Conchi en régimen natural, los que se obtienen de agregar a los caudales medidos afluentes al embalse Conchi, las extracciones de agua para usos no agrícolas que históricamente se han realizado en el río Loa en Lequena, para agua potable, y en el río San Pedro en Parashall II, para uso industrial.

A este caudal en régimen natural se le descuenta las extracciones aguas arriba del embalse de acuerdo con el nivel de extracciones que se esté simulando, para obtener la estadística de caudales afluentes netos al embalse, en cada caso.

La conductancia específica del caudal incorporado en este punto se determina mediante relaciones de balance de masas entre los recursos del río Loa, del río San Pedro, de las recuperaciones del río Loa y de las extracciones en Lequena, en el río San Pedro y en otros puntos de extracción futura, como Quinchamale, por ejemplo. (ver punto 5.4.1).

8.1.2.3 Incorporaciones y extracciones en el río Salado en Ayquina

La estadística de caudales incorporados al sistema en este punto se obtiene de descontar al caudal en régimen natural, las extracciones para usos no agrícolas aguas arriba de esta estación, de acuerdo al nivel de extracciones que se desee simular.

Los caudales en régimen natural se obtienen sumando los caudales medidos en esa estación fluviométrica y las extracciones históricas para uso industrial, en la represa Chiles de CODELCO-Chuquicamata, y para agua potable, en los ríos Toconce (SENDOS) y Linzor (CODELCO-Chuquicamata).

La conductancia específica del caudal incorporado se determina de acuerdo a la información histórica existente relativa a calidad de aguas (ver punto 5.3.10).

8.1.2.4 Incorporaciones y extracciones en el río San Salvador en Chacance

Este río no posee una estación fluviométrica y por lo tanto no existen estadísticas de sus caudales medios mensuales. Se adoptará una incorporación de caudales constantes mes a mes, obtenida sobre la base de los aforos esporádicos existentes.

A los caudales afluentes definidos, se les descuenta las extracciones existentes para las salitreras.

La calidad química del caudal incorporado se obtiene sobre la base de valores puntuales de mediciones de conductancia específica. (ver punto 5.3.18).

8.1.2.5 Extracciones en otros puntos del sistema

Adicionalmente a las extracciones existentes y futuras señaladas en los tres puntos anteriores, el modelo permite considerar alternativas de extracciones futuras en las Vegas de Turi y en los sectores de recuperaciones del río Salado y del río Loa en Angostura, de modo de captar parte del agua de las vertientes y mejorar la calidad química del caudal del río.

Las relaciones de modelación de estas extracciones quedan incorporadas en las zonas de "recuperaciones o pérdidas naturales de caudal" correspondientes, según se indica más adelante en el punto 8.1.4.

8.1.3 Zonas de riego

8.1.3.1 Generalidades

La función de estos elementos del modelo es representar el proceso de consumo de agua en el riego de los oasis de Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua. En ellos se cuantifica la magnitud de las extracciones de agua al río a la entrada de la zona de riego y las devoluciones de excedentes a la salida. En este elemento el modelo calcula los posibles déficits de riego que pudieran generarse.

Aunque las captaciones de los canales y los derrames superficiales de excedentes están distribuidos a lo largo de las zonas de riego, se ha supuesto en la modelación que ocurren en la cabecera y término de aquellas, respectivamente. Esta simplificación implica que la simulación de caudales no incluye los tramos del río que atraviesan las zonas de riego, no siendo posible, por lo

tanto, obtener sus variaciones dentro de estas. Esta limitante es totalmente aceptable, ya que, de acuerdo con los objetivos planteados para este estudio, no se requiere modelar esos sectores del río, sino que basta con conocer los caudales a la entrada y salida de cada zona de riego.

Entre las zonas de riego debe distinguirse aquellas que presentan un área de vegas bajo infraestructura de canales, de las que no la presentan, ya que el proceso físico de riego de estas áreas genera una recuperación subterránea del río aguas abajo de ella que es necesario considerar en forma especial.

Si bien es cierto, de acuerdo con los derechos de agua asignados por la D.G.A. a los regantes, en el futuro estas áreas no se regarían en forma periódica, es necesario simular este riego para poder calibrar el modelo con las estadísticas existentes.

Los oasis de Chiu-Chiu y Calama tienen zonas de vegas que históricamente se han regado. Sin embargo, en Calama es posible simplificar la simulación no considerando en forma explícita la zona de vegas, ya que sus excedentes se pierden efectivamente por percolación y evapotranspiración o drenan al sistema del río San Salvador.

En consecuencia, la modelación de la zona de riego de Chiu-Chiu debe ser tratada en forma especial, y las zonas de riego de Lasana, Calama y Quillagua son representadas de forma más simple, sin incluir explícitamente el riego de vegas. Este procedimiento está respaldado por los resultados y conclusiones del estudio de 1979 anteriormente citado.

Se ha definido la "tasa de riego asignada a nivel de bocatoma" (TRA), como la cantidad de agua que es necesario extraer en bocatomas para satisfacer las demandas evapotranspirativas de los cultivos, las pérdidas normales en el sistema de riego (percolación desde canales, percolación profunda en predios y derrames de riego) y la provisión para el lavado de suelos por problemas de salinidad. Se supone que extracciones inferiores a TRA implican un déficit de riego.

El valor de la TRA para cada zona de riego es :

$$TRA = \frac{SR * TETR}{\eta_R}$$

en que SR = superficie de cultivos a regar

TETR = tasa de evapotranspiración de la zona cultivada incluyendo requerimientos de lixiviación de suelos

η_R = eficiencia global de riego

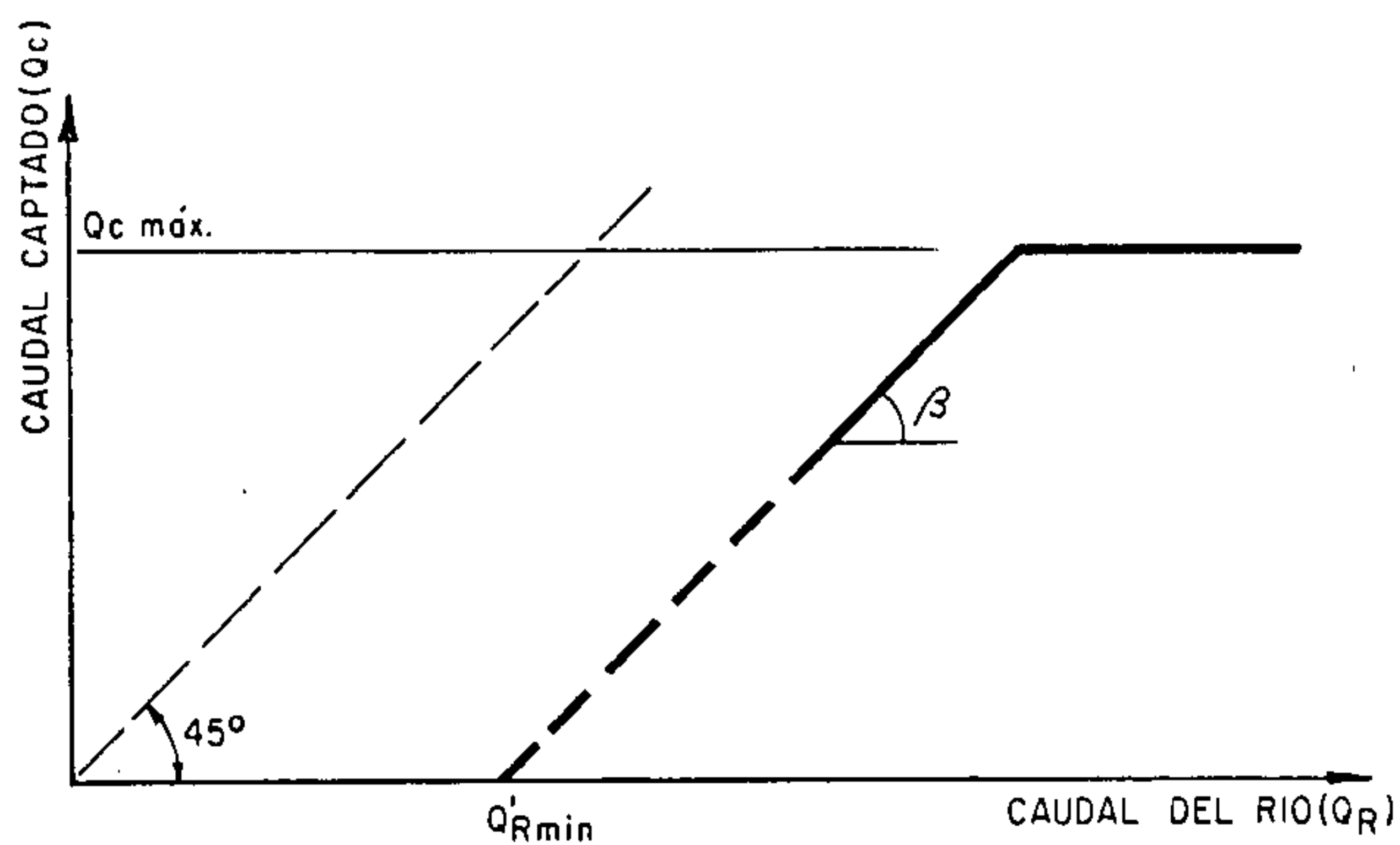
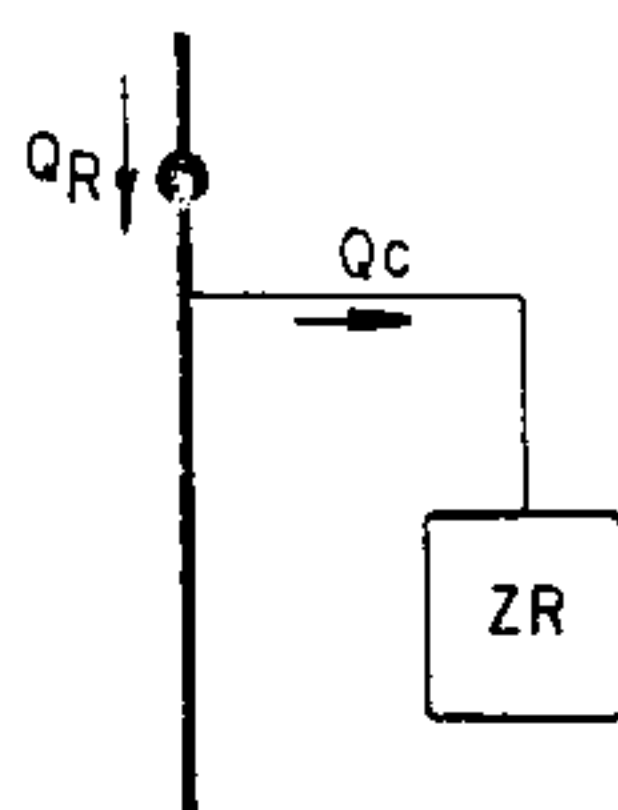
Con respecto a las captaciones en las bocatomas de los canales de riego, se han considerado dos situaciones distintas, denominadas "extracciones sin control de bocatomas" (SCB) y "extracciones con control de bocatomas" (CCB).

La situación de captación SCB corresponde a la condición histórica, en que los regantes pueden captar sin restricciones toda el agua que el sistema de bocatomas permite, excediendo, por lo general, la TRA considerada como suficiente.

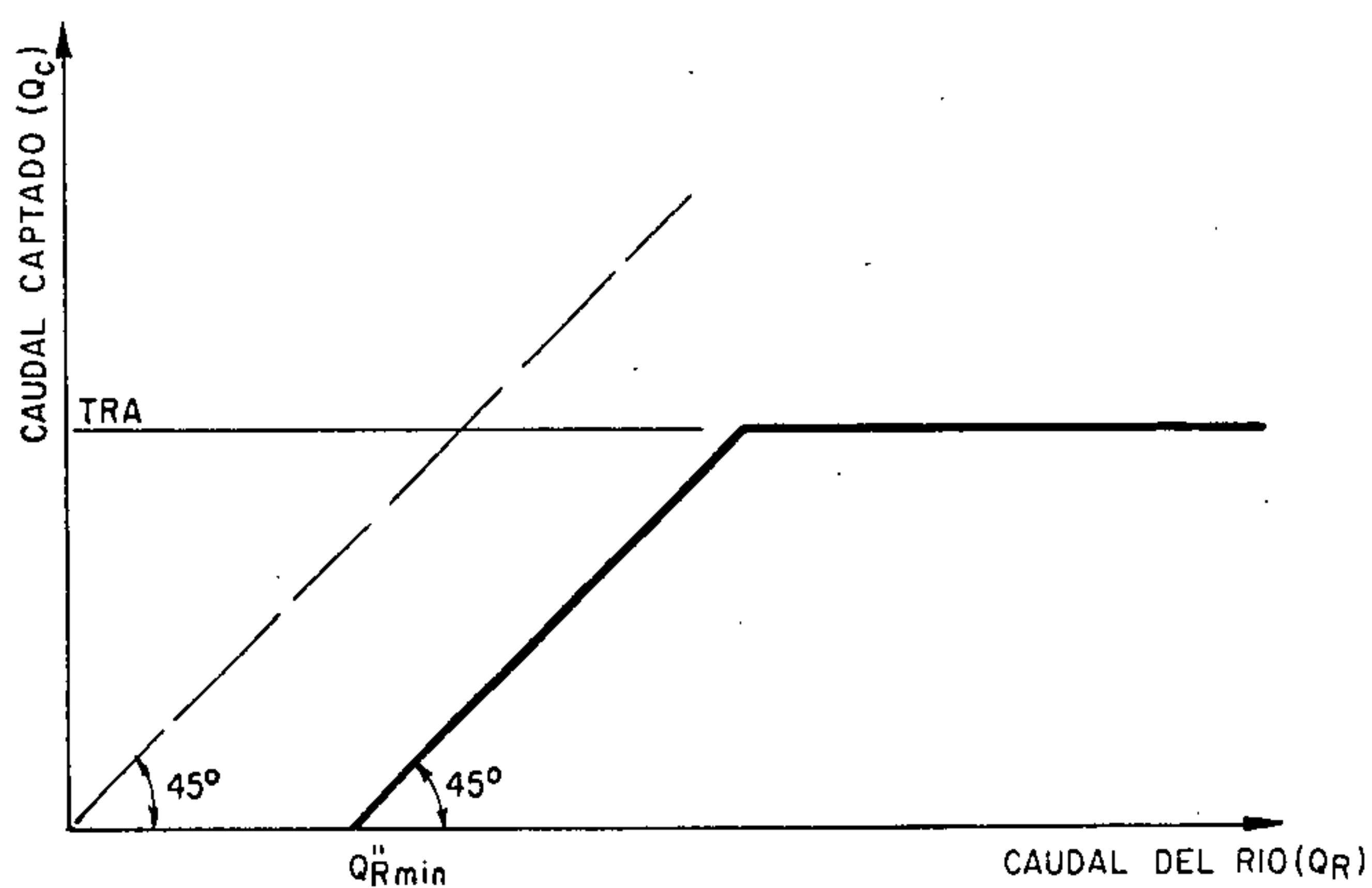
La situación de captación CCB, se refiere a una condición en que se supone que el sistema de bocatomas y la operación de los canales es tal, que las extracciones para riego pueden estar limitadas a un máximo dado por la TRA. Este control de bocatomas correspondería a una situación a futuro.

Para simular estas modalidades de captación se ha implementado "leyes de captación" para cada una de ellas, adaptables a cada zona de riego. Estas leyes relacionan el caudal captado por los canales con el caudal del río, y se ilustran en la Fig. 8.2 en forma esquemática.

En ambas leyes se considera un QR mínimo, bajo el cual no es posible captar por razones de tipo físico de las captaciones o por la necesidad de dejar pasar dicho caudal para satisfacer los requerimientos de los sectores de aguas abajo del río. El QR mínimo y la pendiente de la situación SCB son parámetros a calibrar



SITUACION SIN CONTROL DE BOCATOMAS



SITUACION CON CONTROL DE BOCATOMAS

utilizando la información histórica de caudales. Para la situación CCB, este QR mínimo quedará definido por la condición de mejoramiento de bocatomas y las reglas de operación del sistema que se quiera simular en cada caso.

Los límites máximos de cada ley de extracciones Q_c máx y TRA corresponden a la capacidad máxima de conducción o captación de los canales de la zona de riego y a la tasa de riego asignada a nivel de bocatoma, respectivamente.

8.1.3.2 Zonas de riego de Lasana, Calama y Quillagua

La Fig. 8.3 muestra esquemáticamente la configuración general adoptada para estas zonas de riego.

El caudal extraído (Q_c) se divide en una parte que se evapotranspira (ETR), otra que vuelve al río como derrames (DR) y otra que constituye las pérdidas del sistema (PERD), producto de percolación profunda, pérdidas de conducción, aportes a otros sistemas de drenaje superficial; etc. La proporción en que se distribuyen los excedentes entre DR y PERD queda determinada por el parámetro δ , que en el modelo se considera como una característica de la zona de riego, y que deberá calibrarse.

Las relaciones que definen este fraccionamiento son las siguientes :

$$ETR = SR * TETR$$

$$DR = \delta * (Q_c - ETR)$$

$$PERD = (1 - \delta) * (Q_c - ETR)$$

en que SR = superficie de cultivos a regar

TETR = tasa de evapotranspiración de las zonas cultivadas

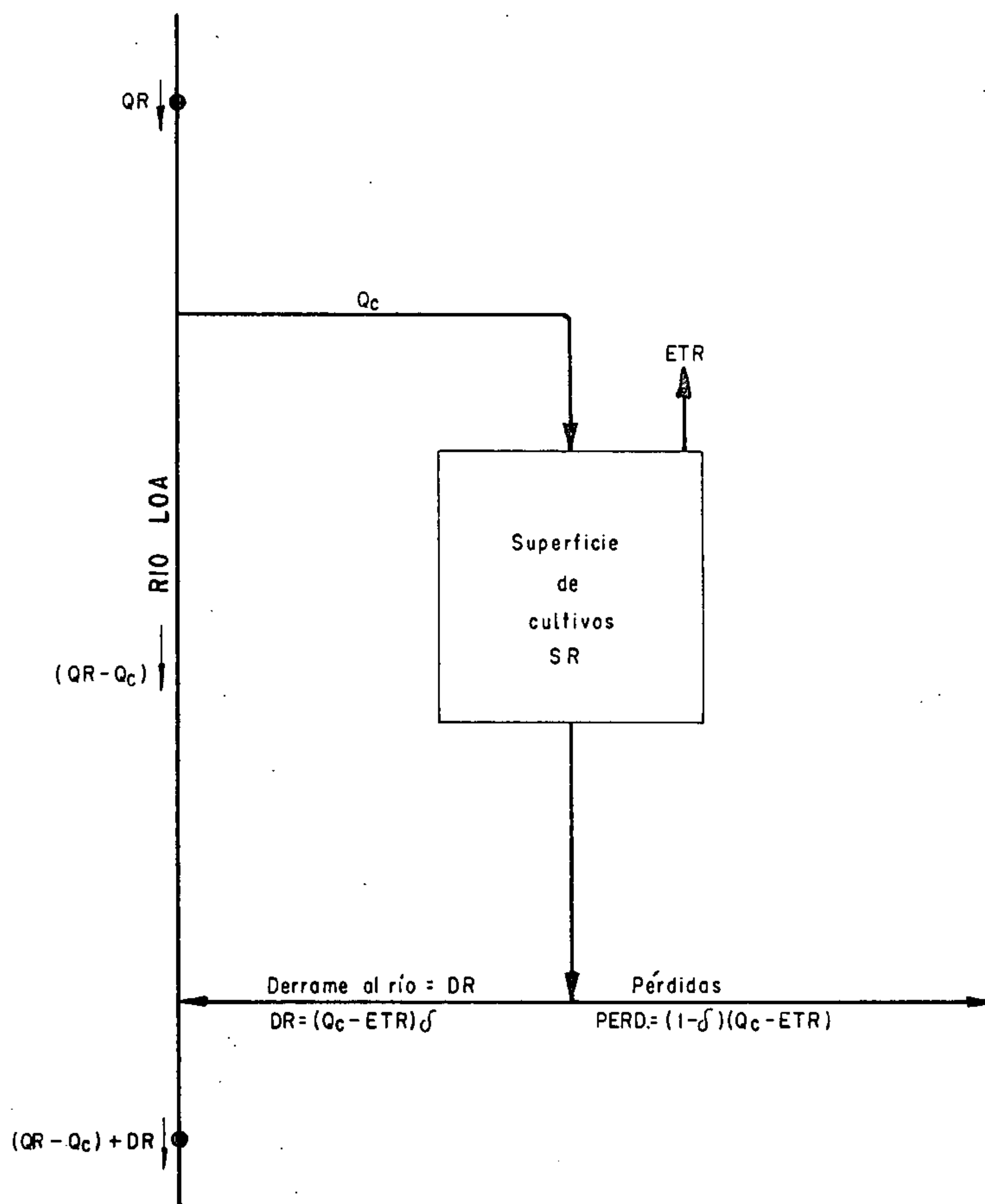
QR = caudal afluente al punto de captación en el río

Q_c = caudal captado

DR = derrame de riego recuperado por el río

PERD = pérdidas globales de la zona de riego

δ = parámetro a calibrar en cada zona de riego



Para el caso de la modelación de la zona de riego de Calama, el parámetro δ debe considerar la situación histórica del riego de las zonas de vegas y los derrames a los sectores de Quebrada Quetena y Ojos de Opache, ya que no se han considerado en forma explícita en la formulación de la estructura del sistema. Se ha considerado que los excedentes del riego de vegas y los derrames señalados, en su mayor parte se pierden efectivamente por percolación y evaporación o drenan al sistema del río San Salvador, independizándose así de la modelación del río Loa aguas abajo de Calama.

Para la situación futura, en que se consulta un control del caudal captado en bocatomas, y no se regarán las zonas de vegas, el excedente de riego será prácticamente nulo. En estas circunstancias, dada la escasa incidencia que tendrán las devoluciones al río se mantendrá el valor de δ que se determine en la calibración.

Sin perjuicio de lo anterior, si se considera apropiado analizar el efecto de variaciones en la efectividad del control propuesto, puede utilizarse valores intermedios de δ entre el determinado en la calibración y cero.

La conductancia específica (C.E.) del agua de riego corresponderá a la que tenga el caudal del río a la entrada de la zona de riego, mientras que la C.E. del caudal DR quedará representada por la relación :

$$CEDR = \frac{(Q_c - ETR) * CER - PERD * \xi * CER}{DR}$$

en que :

ξ = parámetro a calibrar en cada zona de riego
 CEDR = C.E. correspondiente al caudal DR
 CER = C.E. correspondiente al caudal QR

8.1.3.3 Zona de riego de Chiu-Chiu

En la Fig 8.4 se presenta en forma esquemática la estructura adoptada para la zona de riego de Chiu-Chiu, que corresponde a una situación distinta a la de las zonas de riego anteriores, por tener una zona de vegas que históricamente se ha regado y que genera recuperaciones de alguna importancia en el río Loa aguas abajo de Chiu-Chiu.

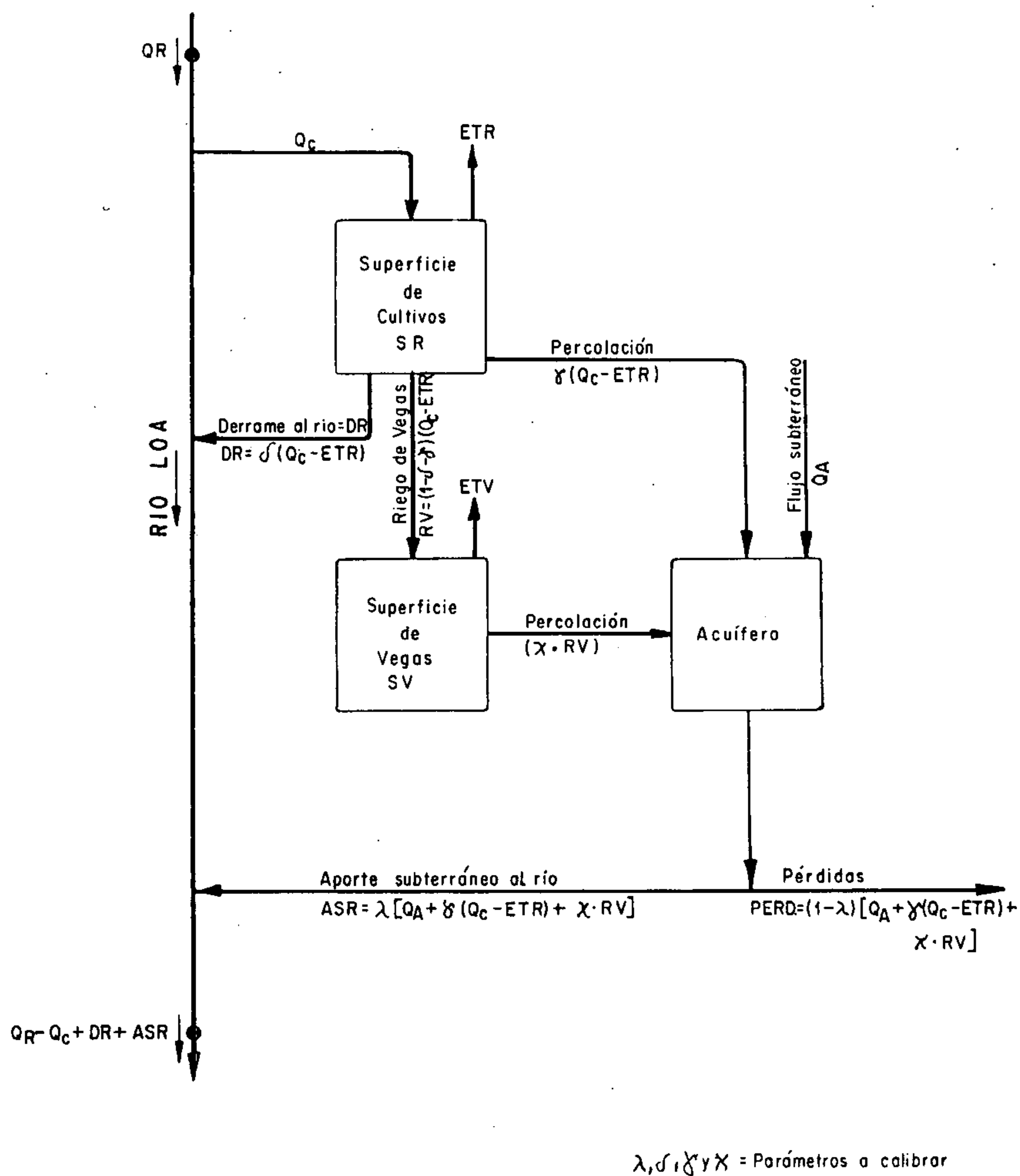
En este elemento del modelo se distinguen dos sectores : uno compuesto por la superficie de cultivos propiamente tal y otro por un área de vegas bajo infraestructura de riego.

El caudal extraído (Q_c) satisface las necesidades de evapotranspiración de los cultivos (ETR), constituyendo la diferencia ($Q_c - ETR$), los excedentes de riego que se distribuyen en 3 fracciones : un derrame de excedentes que vuelve al río como recuperaciones (DR), un caudal de riego del área de vegas (RV) y un caudal que se infiltra hacia la napa de aguas subterráneas existente en la zona.

La zona de vegas está regada permanentemente por la napa de aguas subterráneas, de modo que el riego de vegas (RV) es un aporte suplementario de agua que se distribuye entre una evapotranspiración en esta zona (ETV) y una infiltración hacia el acuífero ($\gamma * RV$).

Para representar las recuperaciones del río provenientes de aportes de la napa de aguas subterráneas que efectivamente ocurren en Chiu-Chiu, se ha considerado un balance de caudales en el acuífero, de modo que a él afluyen las infiltraciones provenientes del riego de las zonas de cultivos y de vegas, además del caudal propio de la napa (QA), los que se reparten en una fracción que es interceptada por el río Loa (ASR) y otra que constituye pérdidas del sistema y que se mantiene formando parte del acuífero ($PERD$).

Las proporciones en que se distribuyen los excedentes de las áreas de cultivos entre DR , RV y percolación quedan representadas por los parámetros δ y γ , y la proporción de los aportes subterráneos al río respecto del caudal total del acuífero, queda representada por el parámetro λ .



ESTRUCTURA DE LA ZONA DE RIEGO DE CHIU-CHIU

FIGURA

8.4

Las relaciones que definen este fraccionamiento son las siguientes :

$$\begin{aligned}
 \text{ETR} &= \text{SR} * \text{TETR} \\
 \text{DR} &= \delta * (\text{Qc} - \text{ETR}) \\
 \text{Perc.riego} &= \gamma * (\text{Qc} - \text{ETR}) \\
 \text{RV} &= (1 - \delta - \gamma) * (\text{Qc} - \text{ETR}) \\
 \text{Perc.vegas} &= \chi * \text{RV} \\
 \text{ASR} &= \lambda * [\text{QA} + \delta * (\text{Qc} - \text{ETR}) + \chi * \text{RV}] \\
 \text{PERD} &= (1 - \lambda) * [\text{QA} + \delta * (\text{Qc} - \text{ETR}) + \chi * \text{RV}] \\
 \text{QA} &= \text{caudal propio del acuífero}
 \end{aligned}$$

en que :

Qc = caudal captado
 TETR = tasa de evapotranspiración de las zonas cultivadas
 SR = superficie de cultivos a regar
 DR = derrame de riego recuperado por el río
 RV = caudal de riego de zona de vegas
 ASR = aporte subterráneo al río
 PERD = pérdidas del sistema. Caudales que quedan incorporados al acuífero
 $\delta, \gamma, \lambda, \chi$ = parámetros a calibrar

En la situación futura, con control de bocatomas, el caudal RV será nulo, ya que no se considera el riego de las zonas de vegas. Los excedentes de riego serán mínimos, y las devoluciones al río tendrán escasa incidencia en la modelación del sistema, por lo que se mantendrá invariable la proporción entre los valores δ y γ obtenidos en la calibración, de modo que $\delta + \gamma$ sea 1,0. También en este caso, si se considera necesario, puede realizarse un análisis de sensibilidad de los parámetros δ y γ , utilizando otros valores.

La conductancia específica del agua de riego corresponderá a la que tenga el caudal del río a la entrada de la zona de riego, mientras que la C.E. de la devolución de excedentes DR quedará definida por la siguiente relación :

$$CEDR = \frac{CER * [Qc - ETR - RV - \xi * \delta * (Qc - ETR)]}{DR}$$

en que :

ξ = parámetro a calibrar en cada zona de riego
 CEDR = C.E. correspondiente al caudal DR
 CER = C.E. correspondiente al caudal QR

La C.E. del aporte subterráneo al río corresponderá a la salinidad del agua almacenada en el acuífero, valor que se calibra con el modelo.

8.1.4 Zonas de recuperaciones o pérdidas naturales

8.1.4.1 Generalidades

En estos elementos se representan las incorporaciones o pérdidas naturales de flujo que se producen en forma distribuida en ciertos sectores de los ríos Loa y Salado. Los sectores de recuperaciones corresponden a afloramientos de la napa subterránea, y los de pérdidas, a lugares en que parte del escurrimiento superficial tiende a infiltrarse o se produce una fuerte evaporación y evapotranspiración dentro de la caja del río.

Los sectores de recuperaciones que se han identificado y considerado corresponden a :

- Sector Angostura del río Loa, entre la confluencia con el río Salado y Yalquincha
- Río Salado, entre la estación fluviométrica de Sifón Ayquina y la confluencia con el río Loa.

Se ha considerado dos sectores de pérdidas, que corresponden a :

- Río Loa, entre La Finca y la confluencia con el río San Salvador.
- Río Loa, entre la confluencia con el río San Salvador y Quillagua

Estos sectores de recuperaciones o pérdidas naturales se definieron del análisis de las estadísticas de aforos y de caudales medios mensuales de diversos puntos de los ríos Loa, Salado y San Salvador, estudios que se detallan en el Capítulo 4 del presente Informe.

Este mismo análisis permitió desestimar otros puntos que podrían haber constituido sectores de recuperaciones o pérdidas, conclusiones que confirman las observaciones realizadas en terreno por los Consultores en diversas visitas a la zona a lo largo de varios años.

8.1.4.2 Zona de recuperaciones de Angostura

El origen de estas recuperaciones es el aporte de la extensa zona de drenaje existente hacia el sur del sector Angostura, existiendo además algunas recuperaciones en la ribera derecha del río. Las recuperaciones se aprecian a simple vista, en forma de vertientes, y quedan claramente evidenciadas al comparar los aforos existentes entre el río Loa después de la junta con el Salado y Loa en Yalquincha, a la entrada de la zona de riego de Calama. Además hay aforos en el río Loa después de Angostura, que precisan aún más el sector en que se producen estas recuperaciones.

En el modelo, la magnitud de estas recuperaciones queda definida por una regresión lineal entre los caudales del río Loa en Yalquincha y río Loa después del río Salado.

Según se detalla en el Capítulo 4, existe un caudal de recuperaciones netas de 520 l/s, a las que debe agregarse las extracciones netas de los canales de regadío existentes aguas arriba de Yalquincha, estimadas en 150 l/s. En conclusión, la relación de recuperaciones totales entre Loa después del Salado ($Q(DS)$) y Loa en Yalquincha ($Q(Y)$) es : $Q(Y) = Q(DS) + 0,670 \text{ m}^3/\text{s}$.

En cuanto a la calidad de las aguas, estas recuperaciones tienen como característica principal su alto contenido de salinidad, que generan en el caudal del río Loa un importante aumento en el valor de su conductancia específica. El efecto de estas recuperaciones en la salinidad del agua del río Loa queda representado en el modelo mediante una ecuación de balance de masas que considera los caudales y conductancias específicas del río Loa antes de Angostura y de las vertientes (ver punto 5.4.3).

En el modelo se considera la opción de desviar o captar parte y desalinizar estas recuperaciones para mejorar la calidad del agua del río Loa hacia aguas abajo, como una de las alternativas de mejoramiento del sistema a estudiar.

8.1.4.3 Zona de pérdidas entre Loa en La Finca y Loa antes de junta con el San Salvador

Entre Loa en La Finca (a la salida de Calama) y la confluencia con el río San Salvador, se produce una pérdida de caudal evidenciada al comparar los aforos en este último punto con las estadísticas de caudales medios diarios en La Finca. La magnitud de estas pérdidas queda definida en el modelo por una regresión lineal entre estos valores obteniéndose la siguiente relación, según se indica en el Capítulo 4 :

$$Q(aSS) = Q(LF) - 0,250 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esta relación tiene implícito un nivel de extracciones de 0,067 m³/s en Loa antes de San Salvador, destinados al abastecimiento de agua de Vergara y Pedro de Valdivia.

Se analizó la información histórica de mediciones de la conductancia específica en ambos puntos, lo que permitió definir la variación de calidad química de las aguas que se produce en este tramo del río (ver punto 5.4.4).

8.1.4.4 Zona de pérdidas entre Loa después de junta con el San Salvador y Loa en Quillagua

Al comparar los aforos realizados en el río Loa inmediatamente aguas abajo del río San Salvador, en el cruce con el camino a Tocopilla, en los Tranques Santa Fé y Sloman y en Quillagua, se observa una fuerte pérdida progresiva del caudal en todo este tramo del río Loa, cuyo origen probablemente sea la infiltración y la evapotranspiración en la misma caja del río.

La magnitud de esta pérdida queda definida en el modelo por una regresión lineal entre los caudales del río Loa aguas abajo de la confluencia con el San Salvador y en Quillagua, obteniéndose la siguiente relación (ver Capítulo 4) :

$$Q(\text{Quill}) = Q(\text{dSS}) - 0,250 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esta relación tiene implícito un nivel de extracciones de 0,065 m³/s en Loa después de San Salvador, destinados al abastecimiento de agua de María Elena.

La variación de conductancia específica del agua en este tramo del río, se determinó sobre la base de datos históricos existentes, según se detalla en el punto 5.4.5.

8.1.4.5 Zona de recuperaciones entre Salado en Ayquina y Salado antes de confluencia con el Loa

Estas recuperaciones del río Salado se distribuyen entre Ayquina y Yalqui, fundamentalmente, y tienen su origen en afloramientos de aguas subterráneas en el cauce del río Salado.

La evaluación de la magnitud de estas recuperaciones se efectuó basándose en los datos de aforos concurrentes realizados en Ayquina y antes de la junta con el Loa.

En el modelo, estas recuperaciones quedan representadas por una regresión lineal entre los caudales de Salado en Sifón Ayquina y Salado antes de la junta con el Loa.

Según se detalla en el Capítulo 4, la relación obtenida es la siguiente :

$$Q(\text{SaL}) = 1,03 Q(\text{SA}) + 0,186$$

Es importante destacar que el área de las Vegas de Turi está directamente conectada a la napa de aguas subterráneas que fluye hacia el río Salado, por lo que en el modelo se ha dejado la opción de representar extracciones futuras de agua desde dichas Vegas, lo que incidiría en la magnitud de las recuperaciones indicadas en el río Salado.

La modificación en la calidad de aguas a causa de estas recuperaciones se representa en el modelo mediante una ecuación de balance de masas, que considera los caudales del río Salado, y de las recuperaciones y las conductancias específicas correspondientes (ver Capítulo 5).

8.1.5 Embalse Conchi

La simulación del embalse Conchi está constituida por un proceso de cálculo de variables que caracterizan el estado del embalse, basado en un balance hídrico, y sujeto a restricciones definidas por esquemas operacionales especiales de la obra.

Las variables que definen el estado del embalse al final de un mes determinado son : nivel del agua, volumen, entregas, rebases, afluentes y déficits. El cálculo del balance hídrico se realiza en forma mensual, y debe incluir las pérdidas por evaporación, las que dependen fundamentalmente del área de la superficie de agua del embalse y de la tasa de evaporación mensual desde la misma.

Los esquemas operacionales especiales que se consideran son : la provisión de volúmenes de control para el almacenamiento de las crecidas, y de volúmenes de reserva para precaverse de las fallas en el sistema debido a las imprecisiones de los pronósticos de caudales, y eventualmente proporcionan una holgura que permitiría de hecho dar un cierto grado de multianualidad al embalse.

El volumen de control que debe dejarse disponible a comienzo de cada mes de la temporada de crecidas para amortiguar en cierta medida los gastos máximos aguas abajo del embalse, se considera en la estructura operativa del modelo mediante una Curva de Alerta Superior (CAS). Este CAS define el volumen máximo a embalsar al comienzo de cada mes e implica evacuar todos los volúmenes excedentes mensualmente, aunque ello no sea necesario en atención a las demandas inmediatas del sistema hacia aguas abajo.

El embalse posee una capacidad útil de 21,9 millones de m³. La capacidad de entrega de las 2 válvulas de chorro hueco que posee al pie del muro es de 12 m³/seg y la capacidad de evacuación del vertedero controlado por compuertas es de 140 m³/seg. Estas capacidades son suficientemente grandes como para no constituir restricciones al considerar una escala mensual de simulación del proceso.

La relación de balance hídrico del embalse es la siguiente :

$$V_f = V_i + E - S - R - P_{ev}$$

en que :

V_i = volumen inicial del mes
 V_f = volumen final del mes
 E = volumen de entradas
 S = volumen de salidas o entregas controladas
 R = volumen de rebases
 P_{ev} = volumen de pérdidas por evaporación

Las pérdidas por evaporación se calculan como :

$$P_{ev} = T_{ev} \left(\frac{Sup_i + Sup_f}{2} \right) * C * 0,03044 \text{ (mill. de m}^3\text{)}$$

en que :

Tev = tasa de evaporación mensual (mm) obtenida de Tabla IV.15 del Anexo IV.

Supi, Supf = superficies inicial y final del embalse ($m^2 \times 10^6$) durante el mes

C = coeficiente del evaporímetro

0,03044 = factor de conversión de unidades

Se determinó una relación entre la superficie del embalse y el volumen, de modo que

Sup = K * V + b, con lo que finalmente se llega a que las pérdidas por evaporación son :

Pev = K' * (Vi + Vf) + b', definiendo K' y b' como :

$$K' = \frac{Tev * K}{2} * C * 0,03044$$

$$b' = Tev * b * C * 0,03044$$

Por lo tanto, el volumen embalsado a fin de cada mes se calcula como :

$$Vf = \frac{E - S + Vi * (1 - K') - b'}{(1 + K')}$$

Del análisis de los datos de conductancia específica medidos a la entrada y salida del embalse Conchi, se concluye que no se produce una modificación notoria entre ellos a causa de la evaporación desde el embalse, debido a que en la época de crecidas se almacenan en el grandes volúmenes de agua con menor contenido salino.

Por lo tanto, la C.E. del caudal entregado por el embalse corresponde a la misma del caudal afluente (ver puntos 5.3.5 y 5.3.6 del Capítulo 5).

8.1.6 Puntos de control

En el modelo se ha considerado elementos denominados puntos de control, en los que no se generan procesos físicos que alteren el comportamiento del sistema, sino que permiten conocer los caudales y conductancias específicas simuladas mensualmente en dichos puntos. Esto tiene especial importancia para el proceso de calibración del modelo, en el que se utilizarán estadísticas históricas obtenidas en algunos de estos puntos de control para compararlas con las simuladas.

Estos puntos están ubicados después de un aporte o una extracción natural o artificial al río, por lo que en ellos se suman o restan los caudales correspondientes, y se realiza el balance de masas que permite calcular la conductancia específica del caudal del río.

En el modelo se deja la opción de imprimir o no los caudales y C.E. mensuales en cada uno de estos puntos de control.

8.1.7 Determinación de demandas mensuales al embalse

Dadas las características hidrológicas del sistema río Loa, las entregas del embalse (S en la relación del punto 8.1.5) quedan definidas por las demandas a nivel de cada sector de riego, el régimen hidrológico de los ríos Salado y San Salvador y las pérdidas y recuperaciones, tanto naturales como artificiales, que se generan aguas abajo. Estas pérdidas y recuperaciones naturales, estrictamente dependen en cierta medida del caudal de los ríos en los distintos puntos de su recorrido y, por lo tanto, de las entregas efectivas del embalse. Sin embargo, aunque la estructura del modelo permite este efecto, las relaciones de modelación utilizadas son independientes de este efecto (ver Capítulo 4).

Para resolver esta situación y poder calcular los requerimientos de entregas mensuales del embalse sobre la base de las demandas totales del sistema, el modelo cuenta con una subrutina especial que realiza una simulación del mes en estudio en "sentido inverso", es decir, comienza desde las demandas de Quillagua y continúa hacia aguas arriba, sustrayendo los aportes y recuperaciones, y sumando las pérdidas y extracciones, hasta llegar al embalse, después de considerar todas las zonas de riego.

Este requerimiento así determinado, se compara con la disponibilidad de entrega del embalse en ese mes, procediendo luego a realizarse la simulación de cada elemento del sistema hacia aguas abajo. Si en algún mes se determina que el embalse no posee recursos suficientes para satisfacer la demanda calculada, "desde aguas abajo", se entregará desde él sólo el recurso disponible, registrándose la falla correspondiente en el sistema para dicho mes.

8.1.8 Pronóstico de disponibilidad de recursos y determinación del nivel de demandas agrícolas en cada año

Los requerimientos de agua del sector agrícola quedan definidos por las tasas de riego y superficies a regar en cada zona, obteniéndose así una demanda nominal de riego al sistema. Sin embargo, en algunos años podría ser necesario reducir este nivel de demandas por escasez de recursos hídricos, evaluación que se realiza en el modelo a comienzos de cada temporada de riego.

El modelo tiene implementando un método de pronóstico del volumen a escurrir durante la temporada de riego (período Agosto-Abril), sobre la base del volumen escurrido en la temporada de invierno precedente. La distribución mensual de este volumen pronosticado se realiza utilizando coeficientes promedios para cada una de las estaciones fluviométricas, considerando las estadísticas en régimen natural (ver punto 4.3 y Anexo V).

Estos pronósticos se realizan a comienzo del mes de Agosto de cada año en las estaciones Loa en Conchi y Salado en Ayquina, y tienen por objetivo permitir definir a comienzos de cada temporada, el nivel de demandas agrícolas posibles de satisfacer. Para ello se determina un factor de penalidad α que representa una fracción de la demanda nominal total a satisfacer, si no hubiese restricciones hídricas en el sistema.

Tal como se señaló en el punto correspondiente a la descripción de la simulación del embalse Conchi, este método de pronóstico y determinación anual del nivel de demandas agrícolas, va acompañado por un esquema operacional especial del embalse, consistente en considerar volúmenes de reserva para precaverse de posibles errores por defecto en el volumen pronosticado. En caso de no producirse esta situación, el volumen de reserva le da un cierto grado de multianualidad a la operación del embalse.

El volumen pronosticado, no contempla una predicción del volumen aportado por las crecidas en el período Diciembre-Marzo, y en consecuencia, en caso de producirse éstas, el volumen correspondiente quedaría disponible para la próxima temporada de riego, considerándose de hecho una multianualidad en el proceso de operación en tiempo real del embalse.

Si la disponibilidad de agua en el período resulta en realidad mayor que la pronosticada, y se había previsto cierto factor de penalidad α , en el modelo se considera que no se pretenderá aumentar las superficies regadas a mitad del período de riego por sobre el valor fijado al inicio de la temporada de riego utilizando los resultados del pronóstico. El método supone que los agricultores han sido informados a comienzos del período de cuales serán las disponibilidades de agua y que, por lo tanto, la estructura de explotación agrícola en superficie y tipo de cultivos será fijada de acuerdo a ella, no siendo factible cambiarla durante la temporada de riego.

La determinación del factor de penalidad α se realiza a continuación de efectuar el pronóstico en el mes de Agosto de cada año. El proceso consiste en realizar una simulación ficticia de la temporada de riego utilizando los caudales medios mensuales pronosticados, encontrando así, por iteraciones sucesivas, el valor de α que iguala las disponibilidades de agua en el sistema con los requerimientos del mismo. Mes a mes se calcula la demanda al embalse siguiendo el proceso de "simulación inversa" descrito en el punto anterior, la que se compara con la factibilidad de éste de entregarla dicho mes. Si ello es posible, la entrega efectiva del embalse será la previamente determinada, y se procede a repetir el proceso para el mes siguiente de la temporada de riego del año en análisis. Si el embalse, en algún mes de la temporada de riego no es capaz de entregar la demanda total requerida, se detiene la simulación en ese mes y se comienza de nuevo la simulación ficticia con el primer mes de la temporada (Agosto), pero afectando las áreas de riego por un nuevo factor de penalidad α menor que el anterior.

Este proceso descrito se repite en forma iterativa durante la temporada de riego del año en análisis, hasta determinar las entregas mensuales mínimas desde el embalse que satisfagan en cada mes las demandas totales del sistema, encontrando el factor α que sea necesario.

8.1.9 Regla de operación que contempla un factor de dilución

Dependiendo de la situación a simular, se producen mayores o menores volúmenes de rebases no controlados desde el embalse Conchi. Estos rebases ocurren principalmente entre Mayo y Septiembre, y ocasionalmente entre Enero y Marzo a causa de las crecidas. Con excepción de los rebases por crecidas, que ocurren en pocos años de la estadística utilizada, los rebases ocurren en la época en que la demanda de riego es menor y, por lo tanto, no son aprovechados.

Dado que el principal problema del agua de riego de los oasis de Calama y Quillagua es su salinidad, y que esta situación empeorará en el futuro debido a las extracciones de Quinchamale, se decidió imponer como objetivo de la regla de operación del embalse, el que se distribuya los excedentes de modo de minimizar la C.E. del agua en esos puntos entre los meses de Agosto y Abril.

Se definió el "factor de dilución" como la relación mínima admisible entre los caudales de Loa y Salado antes de su confluencia. La regla de operación consiste en entregar, desde el embalse, recursos adicionales a los demandados por las zonas de riego en los meses en que la relación de caudales (Loa/Salado) sea menor a dicho factor de dilución previamente establecido. De esta forma se tendría una mayor dilución de las aguas del río Salado y de las recuperaciones de Angostura, obteniéndose una calidad mejorada en Calama durante la temporada de riego.

Para cada situación simulada se determinó el factor de dilución que permite maximizar la repartición de excedentes sin originar déficits en el sistema.

Una vez ejecutados los procesos anteriores de pronóstico del volumen disponible durante la temporada principal de riego y de definición del nivel anual de demandas de riego, se realiza la simulación mediante el programa principal del modelo, para determinar definitivamente las entregas y estado mensual del embalse utilizando los caudales reales afluentes por los ríos Loa y Salado.

Todos estos procesos anteriores se repiten en la misma secuencia, para cada uno de los años de simulación considerados.

En la Fig.8.5 se presenta un diagrama de bloques del modelo que esquematiza todo el proceso descrito. Además, en el Anexo IX se incluye el manual de operación del programa de computación.

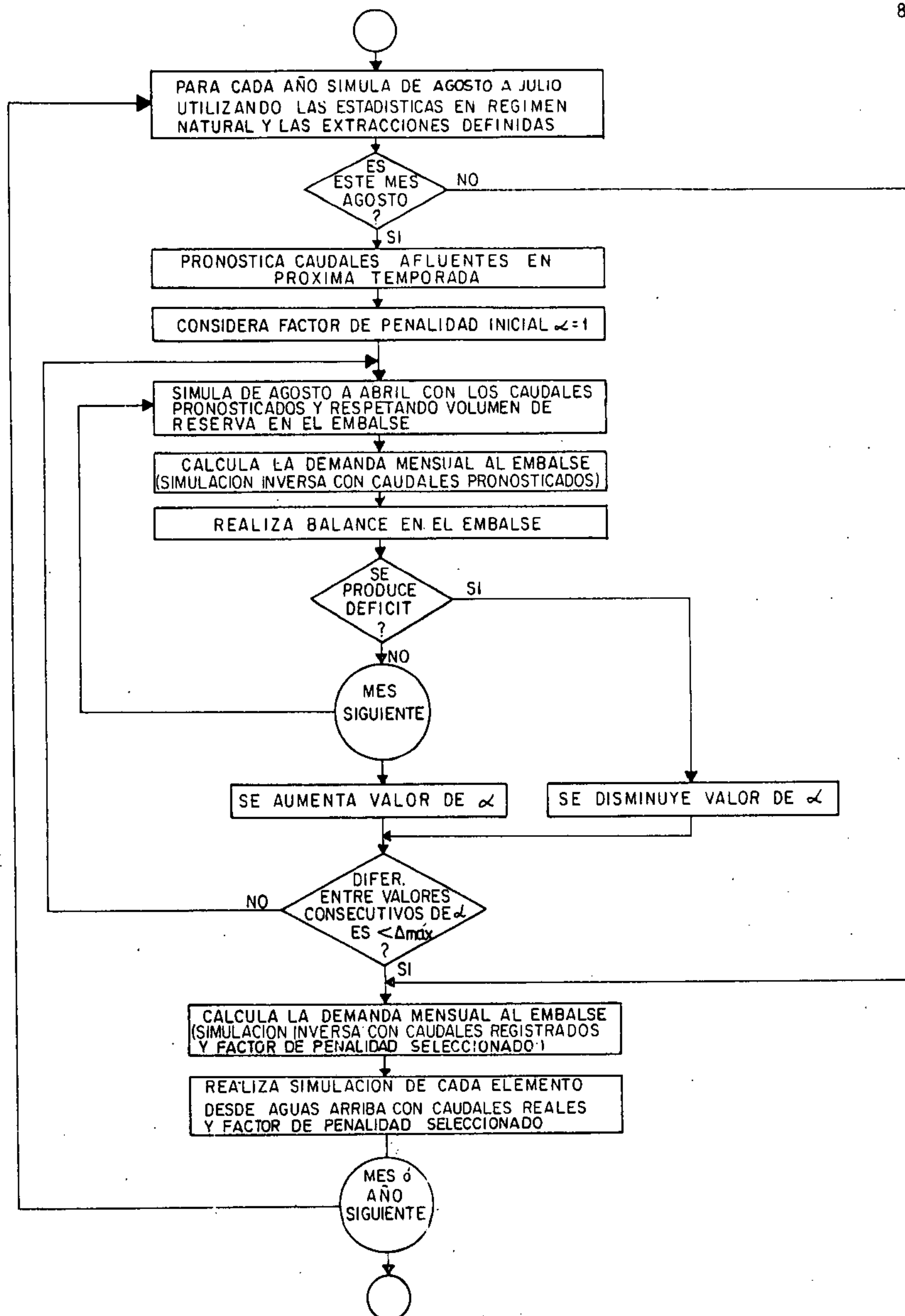


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE CALCULO

8.2

Proceso de calibración del modelo

Las relaciones de modelación de los elementos que son representativos de zonas de riego están definidas en base a parámetros que requieren de un proceso de calibración.

De acuerdo a lo indicado en el punto anterior, dichos parámetros son los siguientes :

- δ : Define la fracción de los excedentes de riego que vuelve al río en cada zona de riego.
- H1 : Pendiente de la recta que define la ley de extracción histórica de canales en cada zona de riego.
- Q MIN : Caudal mínimo que debe dejarse pasar o queda como pasante (por eficiencia de captación) en cada zona de riego.
- ξ : Define la C.E. de los excedentes de riego que vuelven al río en cada zona de riego.
- λ : Define el caudal de recuperaciones subterráneas del río Loa aguas abajo de la zona de riego de Chiu-Chiu.
- γ : Define la fracción de los excedentes de riego que se infiltra hacia la napa de aguas subterráneas en Chiu-Chiu.
- χ : Define la fracción del caudal destinado al riego de vegas que infiltra hacia la napa de agua subterráneas en Chiu-Chiu.
- Q Ag.Sub : Caudal propio del escurrimiento de aguas subterráneas en Chiu-Chiu.
- C.E. A.Sub.: C.E. del caudal propio del escurrimiento de aguas subterráneas en Chiu-Chiu

A cada uno de estos parámetros se le fijó un valor inicial aproximado y un rango posible de variación, de acuerdo al nivel de información disponible y al conocimiento que se tiene del sistema prototipo.

El proceso de calibración consistió entonces en verificar si con dichos valores iniciales el modelo reproducía con un mínimo error posible los caudales y la C.E. del río medidos en ciertos puntos, durante un cierto periodo de simulación.

Si la comparación entre caudales y C.E. simulados y medidos no era aceptable, se modificaba el valor de algunos parámetros, en forma sistemática, hasta lograr un ajuste adecuado.

Para la calibración de los parámetros que definen los caudales en el modelo, se eligieron como puntos de comparación las estaciones fluviométricas del Loa en Yalquincha y Loa en La Finca. El periodo de calibración utilizado fue de Agosto de 1981 a Julio de 1985. Se eligió este periodo por disponerse en él de estadísticas confiables en ambas estaciones fluviométricas y corresponder a los últimos 4 años de operación del sistema, con lo que se asegura el obtener parámetros calibrados de acuerdo a la situación actual.

Los caudales de comparación usados en Yalquincha no corresponden exactamente a la estadística original medida, porque han sido procesados para tomar en cuenta las extracciones de los canales de riego que captan aguas arriba de esta sección de control. De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 4, el caudal medio extraído sería de 150 l/s, por lo que esta cantidad se ha sumado a la estadística de Yalquincha con una distribución similar a la de la tasa de riego en Calama. De esta forma se obtiene una estimación del caudal que llega por el río inmediatamente aguas arriba de la zona de riego de Yalquincha y Calama.

La estadística de comparación utilizada en La Finca corresponde a la de caudales medios mensuales determinados por la D.G.A.

La calibración de la C.E. en cada punto se realiza comparando los valores simulados con el correspondiente valor característico determinado en el capítulo 5.

Los puntos de calibración de caudales elegidos son los únicos en que se dispone, para estos efectos, de estadísticas continuas y relativamente confiables.

Los caudales afluentes al sistema en este período corresponden a los caudales en régimen natural de Loa en Conchi, Salado en Ayquina y San Salvador antes del Loa, menos las extracciones existentes aguas arriba de estos tres puntos. Estas extracciones se definieron de acuerdo a lo señalado en el Capítulo 4, y son las siguientes:

	<u>Período</u>	<u>Extracciones</u> (m ³ /a)
Loa antes de Conchi	8-81 a 8-82	1,206
Loa antes de Conchi	9-82 a 7-85	1,250
Salado antes de Ayquina	8-81 a 7-85	1,105
San Salvador antes de Loa	8-81 a 7-85	0,027

Para efecto de simular correctamente el sistema en este período, se consideró como demandas al embalse los caudales medios mensuales medidos a la salida de Conchi. De esta manera es posible calibrar adecuadamente los parámetros de cada zona de riego, ya que los caudales que se incorporan mensualmente al sistema corresponden realmente a los escurridos en este período, independizándose de cualquier regla de operación del embalse. Por otra parte, también fue posible validar las relaciones de operación del embalse al conocerse los caudales afluentes y efluentes, y reproducir el volumen embalsado mensualmente.

Las eficiencias de conducción y aplicación y la evapotranspiración mensual de cada zona de riego que se utilizaron en este proceso de calibración, corresponden a los valores definidos por ICC-CONIC en el capítulo 3, por ser los que mejor representarían la situación de cada zona de riego en estos últimos años.

Las superficies cultivadas en estos años en cada zona de riego, no necesariamente corresponden a las definidas por la D.G.A. para asignación de derechos, por lo que se consideró apropiado adoptar los valores determinados en el Informe COSERREN de 1982 en base a fotografías aéreas. Estas cifras son las que se señalan a continuación:

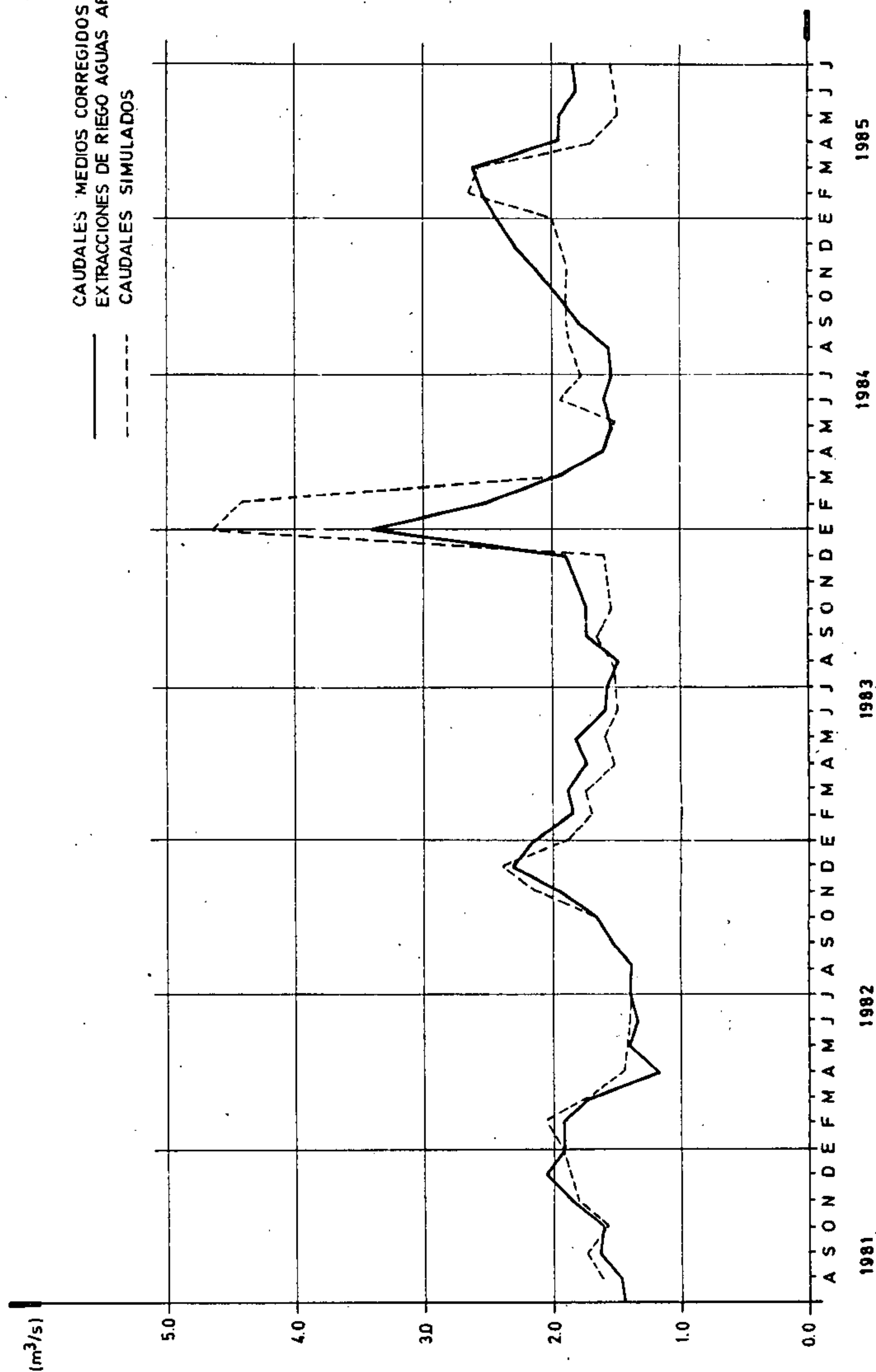
Lasana	: 57 Ha
Chiu-Chiu	: 148 Ha
Calama	: 830 Ha
Quillagua	: 110 Ha

En el Anexo VIII se incluye un listado de los resultados mensuales de la simulación del proceso final de calibración, con los parámetros ajustados. Al final del listado de cada año de simulación, se incluyó la diferencia entre caudales medidos y simulados en las estaciones Loa antes Salado, Loa en Yalquincha y Loa en La Finca. Se ha representado con 9999.99 los meses en que no se cuenta con un valor medido.

La Fig. 8.6 muestra los caudales mensuales medidos y simulados antes de la zona de riego de Calama. Como valores medidos se han graficado los caudales medios mensuales de Loa en Yalquincha corregidos por las extracciones de riego de los canales que captan inmediatamente aguas arriba de esta estación fluviométrica. Se observa que ambas curvas siguen la misma ley de variación de los caudales, con mínimos en Junio, Julio y Agosto y máximos en Diciembre, Enero y Febrero, distribución que depende de los caudales entregados por el embalse Conchi, adaptándose a las demandas mensuales de riego.

Para conseguir representar los caudales en este punto, fue necesario modificar los parámetros de las zonas de riego de Lasana y Chiu-Chiu.

En Enero de 1984 se registró una crecida que originó un caudal medio de 3,4 m³/s en circunstancia de que el caudal simulado en ese mes es 4,65 m³/s.



PERIODO DE CALIBRACION.
CAUDALES MEDIDOS Y SIMULADOS EN YALQUINCHA.

FIGURA
8.6

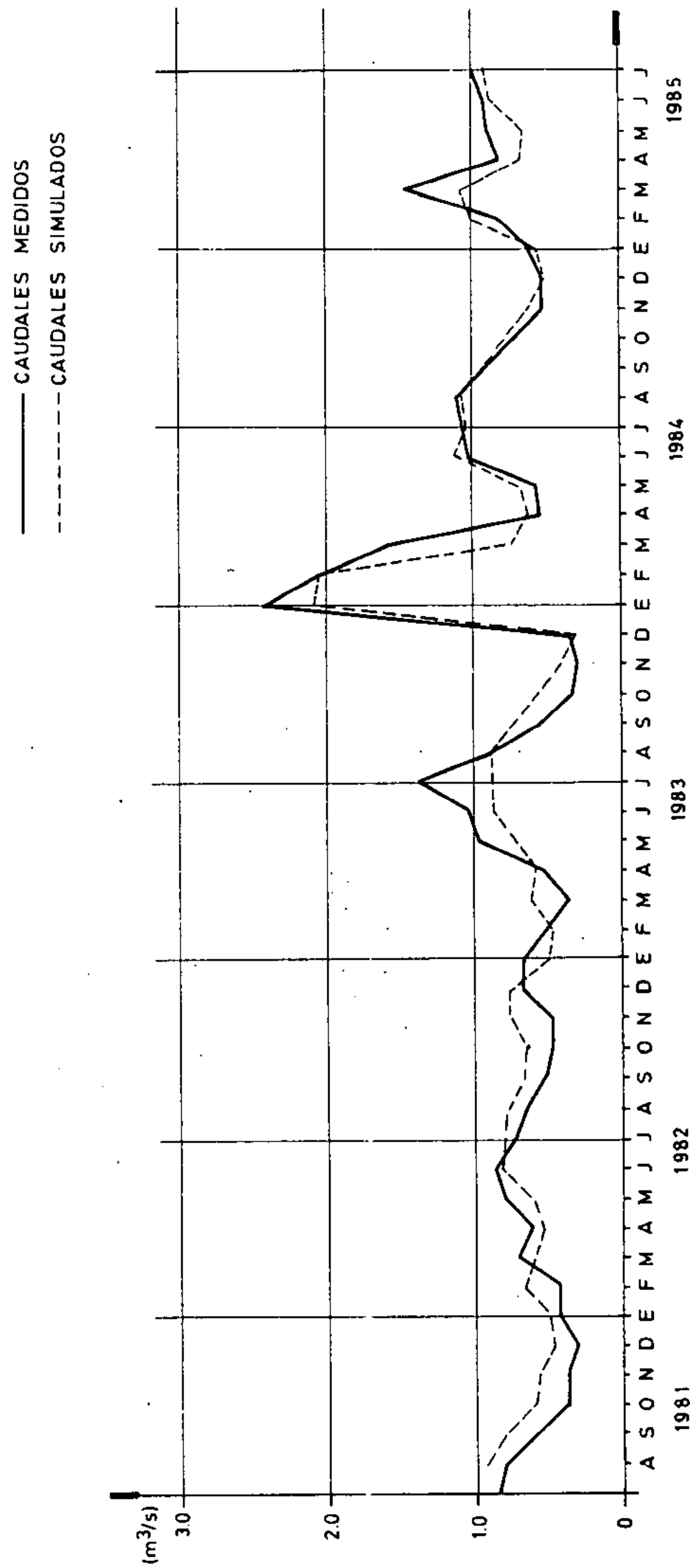
Los caudales ingresados al sistema en ese mes son 3,0 m³/s entregados por Conchi y 1,56 m³/s en Salado en Ayquina, de lo que se concluye que existe un error en el registro correspondiente de algunas de estas tres estaciones. Algo similar ocurre en el mes de Febrero de ese mismo año. Como se verá a continuación, estos meses quedan bien representados en Loa en la Finca, de lo que se concluye que estas diferencias no se deben a errores de calibración, sino a errores de los datos disponibles en la estadística de Loa en Yalquincha.

En la Fig. 8.7 se presenta la comparación entre los caudales medidos y simulados en La Finca. Se observan que ambas curvas presentan una buena similitud. La crecida de Enero y Febrero de 1984 queda aquí relativamente bien representada.

En todo caso, se cuidó que el promedio de los caudales medios anuales simulados en ambos puntos de calibración fuesen iguales al promedio de caudales medios anuales medidos en ellas. En efecto, estos valores son :

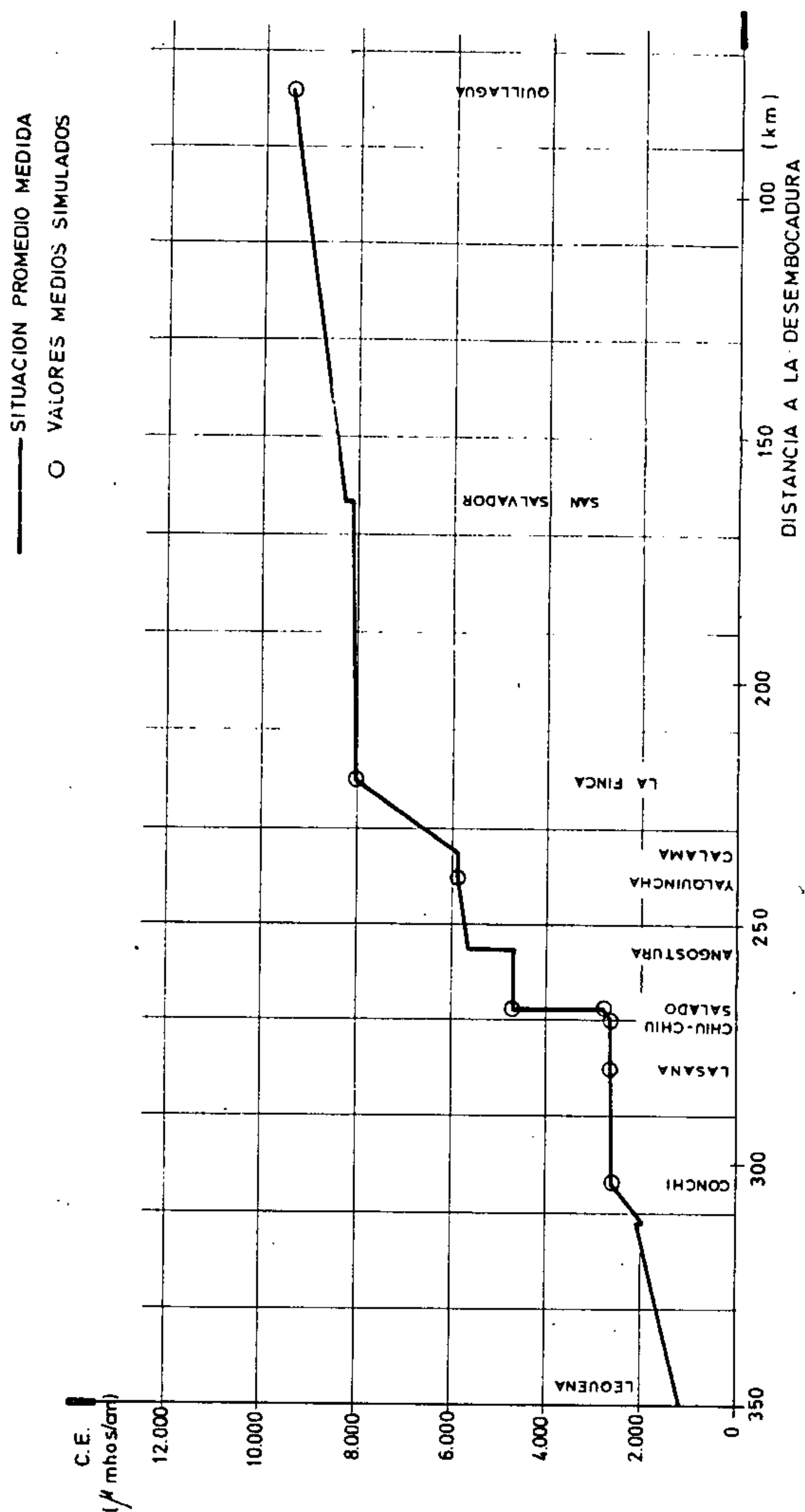
	Caudal medido (m ³ /s)	Caudal simulado (m ³ /s)
Loa en Yalquincha	1,85	1,85
Loa en La Finca	0,78	0,77

Para calibrar los parámetros de cada zona de riego, que definen el valor de la C.E. de las devoluciones de excedentes al río, se utilizó los valores característicos de la C.E. determinados para cada punto del río en el Capítulo 5. En la Fig. 8.8 se representan los promedios simulados en cada punto. Al compararlos con los valores medios medidos, se observa una coincidencia casi perfecta. En la Tabla 8.2 se señalan los valores medios medidos y los simulados, observándose una diferencia máxima de 0,055 mmhos/cm en Loa después del Salado.



PERIODO DE CALIBRACION.
CAUDALES MEDIDOS Y SIMULADOS EN LA FINCA.

FIGURA
8.7



PROCESO DE CALIBRACION.
C.E. SIMULADA Y MEDIDA EN RIO LOA.

FIGURA
8.8

TABLA 8.2

CALIBRACION DE C.E. (mmhos/cm)

	Promedios medidos	Promedios Simulados		
		Máximo	Medio	Mínimo
Después de Conchi	2,548	-	2,548	-
Después de Lasana	2,600	2,590	2,579	2,554
Antes de Salado	2,739	2,846	2,728	2,580
Salado en Ayquina	5,515	-	5,515	-
Salado antes de Loa	6,196	6,281	6,165	5,847
Loa después de Salado	4,685	5,286	4,671	3,441
Loa antes de Calama	5,865	6,505	5,873	4,106
Loa después de Calama	8,018	8,907	8,041	5,623
San Salvador	8,361	-	8,361	-
Loa antes Quillagua	9,478	9,997	9,434	6,989

Las variaciones mensuales simuladas para la C.E. en los distintos puntos quedan dentro de los márgenes de la dispersión existente en los valores medidos, de acuerdo a la información presentada en el Capítulo 5.

Finalmente, en la Tabla 8.3, se presentan los parámetros finales de calibración en las 4 zonas de riego.

En el Anexo VIII se presenta un listado con el resumen mensual de los caudales y C.E. simulados con estos parámetros.

TABLA 8.3
PARAMETROS CALIBRADOS

	LASANA	CHIU-CHIU	CALAMA	QUILLAGUA
DELTA, δ	0,750	0,400	0,580	0,500
H1	1,000	1,000	1,000	1,000
Q MINIMO	0,100	0,100	0,100	0,100
EPSILON, ϵ	0,950	1,200	0,490	0,900
LAMDA, λ	-	0,500	-	-
GAMMA, γ	-	0,100	-	-
XI, χ	-	0,300	-	-
Q AG. SUBT.	-	0,230	-	-
C.E. AG. SUBT	-	3050	-	-

Los resultados finales de la calibración del modelo se consideran totalmente aceptables, ya que los rangos de las diferencias entre caudales y C.E. medidos y simulados son pequeñas y están prácticamente dentro de los rangos de error posibles de la información básica utilizada.

8.3 Resultados que entrega el modelo de simulación

Tal como se explica en el Anexo IX, Manual de Uso del Programa de Computación, los resultados del modelo son entregados en 2 archivos distintos, que contienen un resumen de resultados, el primero, y un listado de detalle de los resultados mensuales, el segundo.

El resumen contiene los resultados generales de todo el período para cada una de las zonas de riego y los caudales medios anuales y mensuales del período en los principales puntos del sistema, además de un listado mensual del volumen embalsado en Conchi.

El listado de detalle contiene los resultados mensuales de la operación del embalse Conchi, de los déficits (indicados con un signo -) o extracciones en exceso por sobre la demanda requerida (signo +) en cada zona de riego y los caudales y C.E. en los principales puntos del sistema.

A continuación se describe los criterios de cálculo de los resultados del modelo.

8.3.1 Situación de riego en el período

8.3.1.1 Seguridad de riego

Se ha definido la seguridad de riego de cada oasis como un indicador de la respuesta del sistema frente a la situación simulada de extracciones de agua y/o mejoramientos de infraestructura o calidad del agua.

La seguridad de riego se calcula como :

$$SR = \frac{N - \text{años con falla}}{N}$$

en que N es el número total de años de simulación.

Se ha definido como año con falla, aquel en que el déficit generado en algún mes de la temporada de riego es mayor al 15% de la demanda nominal (o derechos establecidos) de ese mes, o cuando en dos meses consecutivos de la temporada el déficit supera el 10%.

Este criterio es el incorporado por la Comisión Nacional de Riego en el Decreto No. 173 de fecha 27-12-85, que reglamenta la Ley No.18.450 que fomenta la inversión privada en obras de riego y drenaje.

Para efectos de evaluación de las alternativas de mejoramiento analizadas en el presente estudio este resultado no tiene incidencia, pues, según se indica en el capítulo 10, el impacto de los mejoramientos se evalúa en función de los déficit medios que se generan en cada zona de riego.

8.3.1.2 Déficit anual de cada zona de riego

En el modelo se calcula el déficit producido en cada mes, en cada zona de riego, como el caudal captado menos la demanda mensual nominal. (El déficit se expresa como cifra negativa).

En base a las características de los cultivos regados en las 4 zonas de riego, y considerando que cuando hay déficit, éste se produce concentrado entre los meses de Octubre y Febrero, se ha adoptado la metodología de cálculo del déficit de la temporada que se señala a continuación: El déficit anual corresponderá al promedio (en volumen de agua) de los 3 meses con mayor déficit (porcentual) de la temporada.

En el resumen de resultados se indica los valores máximo, medio y mínimo de la serie de déficit anuales generados en el periodo de simulación, para cada zona de riego.

8.3.1.3 Conductancia específica del agua en cada oasis

Dada la importancia que adquiere la calidad del agua en los rendimientos agrícolas, se indica, para cada zona de riego, los valores máximo, medio y mínimo de la serie de C.E. promedios anuales. El promedio anual se calcula considerando las C.E. simuladas para los meses del periodo Agosto a Abril, no incluyendo Mayo, Junio y Julio, meses en que las demandas agrícolas son mínimas.

8.3.1.4 Rendimientos de los cultivos por efecto de la salinidad

Según la metodología desarrollada en el capítulo 3.2 de este informe, el rendimiento de los cultivos existentes en la zona, considerando una adecuada tasa de lixiviación, es :

R alfalfa	=	114,1304	-	10,8696	*	C.E. (%)
R hortaliza	=	127,8689	-	16,3934	*	C.E. (%)
R trigo	=	142,5532	-	10,6383	*	C.E. (%)
R maíz	=	113,3333	-	11,1111	*	C.E. (%)

Sin embargo, debe destacarse que estas relaciones están deducidas sobre la base de antecedentes recopilados por el Boletín No.24 de FAO, con cultivos de características distintas a las especies de la zona en estudio, los que corresponden a variedades locales con una mayor resistencia a la salinidad del agua, por lo que el rendimiento real debería ser mayor. En el capítulo 10 se señala la metodología empleada en la evaluación de las alternativas para considerar este efecto.

8.3.2 Caudales medios anuales del periodo

En el resumen se entrega los valores máximo, medio y mínimo de los caudales medios anuales simulados, para los puntos de entrada al sistema y para las entregas del embalse, tanto controladas, para riego, como por rebase de excedentes no regulados.

8.3.3 Caudales medios mensuales del periodo

Como resumen de los caudales simulados se calcula el promedio de los caudales mensuales de cada mes en los principales puntos del sistema, indicándose además, el caudal medio anual correspondiente.

8.3.4 Volumen almacenado en el embalse Conchi

Se ha estimado útil incluir en el resumen de resultados un cuadro con el volumen almacenado al final de cada mes para todo el periodo de simulación.

8.4 Procedimiento de pronóstico de las entregas desde el embalse en tiempo real

El modelo presenta tres opciones de simulación, según se indica en el Manual de Uso del Programa (Anexo IX). Estas opciones corresponden a una simulación completa del período de datos estadísticos (27 años en el presente estudio), una simulación de calibración de los parámetros básicos (4 años en este estudio) y una simulación de la temporada siguiente.

Las dos primeras opciones han sido explicadas en este capítulo, en tanto que la tercera tiene por objeto poder pronosticar los caudales disponibles en el sistema en la próxima temporada de riego, y así elaborar un programa de entregas desde el embalse.

Para realizar este pronóstico debe indicarse, en los archivos de datos correspondientes (Ver Anexo IX), los caudales medios mensuales en régimen natural de Loa en Conchi y Salado en Ayquina de los 12 meses del año anterior (Agosto-Julio) al de la temporada a pronosticar. El período de simulación de esta opción es 24 meses, por lo que deberá indicarse caudales 0.0 para los meses futuros. Las reglas de operación del embalse deben ser previamente definidas a este proceso, ya que la determinación del Factor de Dilución, del Volumen de Reserva y de la Curva de Alerta Superior se realiza en procesos a largo plazo, es decir, con la simulación completa de las estadísticas de caudales (27 años).

Esta opción permitirá a la Dirección de Riego definir en Agosto, a comienzos de la temporada de riego, el nivel de demandas agrícolas posibles de satisfacer y un programa tentativo de entregas desde el embalse Conchi, conociendo además los volúmenes embalsados en cada mes, los déficits de riego que podrían producirse y la distribución de caudales y C.E. del agua en distintos puntos del sistema.

9. APLICACION DEL MODELO DE SIMULACION

9.1 Introducción

El modelo de simulación del río Loa, descrito en el Capítulo 8, se aplicó bajo diversas combinaciones de niveles de extracciones de agua para fines agrícolas y no agrícolas (uso industrial y agua potable), de reglas de operación del embalse y de situaciones representativas de alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego y de la calidad del agua.

Los temas sobre los cuales interesaba obtener resultados del modelo son los siguientes :

- Representación de la situación actual.
- Efecto de extraer 300 l/s desde Quinchamale en la situación actual.
- Efecto de restringir la entrega de recursos según los derechos establecidos por la D.G.A. para cada zona de riego.
- Efecto de la implementación de la "Solución de Mejoramientos Básicos" en la infraestructura de riego (ver Capítulo 7).
- Efecto de construir bocatomas definitivas en cada oasis, además de los "mejoramientos básicos" de infraestructura.
- Efecto de revestir los principales canales de riego, además de los "mejoramientos básicos" de infraestructura.
- Efecto de cada una de las alternativas de mejoramiento de la calidad del agua.
- Determinación de la regla de operación del embalse Conchi para lograr un control de las crecidas.

En este capítulo se incluye un resumen de los principales resultados obtenidos, analizándolos para cada situación simulada y comparándolos con una situación base para poder extraer las conclusiones pertinentes a los objetivos planteados en este estudio.

Finalmente, se especifican las reglas de operación recomendadas para el embalse para la situación actual y la de mejoramientos básicos.

9.2 Situaciones simuladas

9.2.1 Descripción de las situaciones simuladas

De acuerdo al temario señalado, se confeccionó un programa de procesamientos, de modo de incluir todas las alternativas de mejoramientos de infraestructura y de calidad del agua señaladas en el Capítulo 7.

En la Tabla 9.1 se presenta el programa de situaciones a simular con las características principales de cada tipo de procesamiento.

Se identificó tres situaciones principales de simulación (Actual, Sin Proyecto y Mejoramientos Básicos), las que se utilizarán como patrones de comparación de los efectos que producen las modificaciones al sistema, simuladas en el resto de las situaciones de proceso.

TABLA 9.1

Programa de situaciones a simular

Situación a Simular	Contr Bocat	Niv.Extracciones no agrícolas	Tasas de Riego y Superficies
1. Situación Actual	Sin	Actual	TR=ICC-CONIC Sup=COSERREN
2. Situación Actual, Sup D.G.A.	Sin	Actual	TR=ICC-CONIC Sup=D.G.A.
3. Situación Actual más Quinchamale	Sin	Actual+ 300 l/s en Quinchamale	TR=ICC-CONIC Sup=COSERREN
4. Situación Sin Proyec- to	Sin	Actual+ 300 l/s en Quinchamale	TR=D.G.A. Sup=D.G.A.
5. Superficie de riego con seguridad 100% en Situac. sin proyecto	Sin	Actual+ 300 l/s en Quinchamale	TR=D.G.A. Sup=a obtener
6. Solución de Mejora- mientos Básicos (Unificación de cana- les y obras de con- trol de B.T. Repara- ciones según Diagnós- tico	Con	Actual+ 300 l/s en Quinchamale	D.G.A.
7. Bocatomas definitivas	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.
8. Revestimiento canales	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.
9. Mejoramiento Tranque Sloman	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.
10. Desalinizar río Sala- do	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.

TABLA 9.1 (Cont.)

Programa de situaciones a simular

Situación a Simular	Contr	Niv.Extracciones	Tasas de Riego
	Bocat	no agrícolas	y Superficies
11. Extracción de las vertientes de Angostura	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.
12. Desalinizar recuperaciones de Angostura	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.
13. Desalinizar el agua de riego de Calama	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.
14. Control de Crecidas Situación Actual	Sin	Actual	TR=ICC-CONIC Sup=COSERREN
15. Control de crecidas. Mejoramientos Básicos	Con	Actual+300 l/s en Quinchamale	D.G.A.

En la Tabla 9.2 se detalla el valor que se adopta en los datos del modelo, para cada parámetro que se modifica en alguna o en algunas de las situaciones de simulación. Se indica el nombre del archivo en que se incluye cada dato y su ubicación en los registros correspondientes.

A continuación se describen las situaciones a simular y se señala la base de comparación que tendrán los resultados de cada una.

9.2.1.1 Situación actual

Corresponde a lo que actualmente ocurre en el sistema. No existe control de bocatomas, de modo que en cada zona de riego se capta los recursos de acuerdo al caudal del río, y a la capacidad de cada canal, según la ley de extracciones para esta situación. El nivel de extracciones no agrícolas actual es el siguiente :

Loa antes de Conchi	: 1,250 m ³ /s
Salado antes de Ayquina	: 1,105 m ³ /s
San Salvador	: 0,027 m ³ /s
Loa antes de San Salvador	: 0,067 m ³ /s
Loa después de San Salvador	: 0,065 m ³ /s

De acuerdo a lo señalado en el Capítulo 3.2, las tasas de riego para la distribución de cultivos actualmente existente en cada zona de riego es la que se resume en la Tabla 9.3. La distribución mensual de esta tasa de riego es la señalada en la Tabla 3.33 del Capítulo 3.2 del presente informe.

TABLA 9.2

Parámetros a utilizar en el modelo en cada situación simulada

ARCHIVO	DALOA1.DAT - ENTRADA A CONCHI			DALOA2.DAT - ENBALSE CONCHI	
PARAMETRO Y UBICACION	Extracción aguas arriba de Conchi	Caudal extraído en Quinchanales	Recuperaciones Los antes Conchi	Factor de Amplificación de la demanda	Curva de Alerta Superior
	Línea : 2	Línea : 2	Línea : 2	Línea : 2	(12 datos)
	Dato No.: 1	Dato No.: 2	Dato No.: 3	Dato : último	Línea : 24
SITUACION SIMULADA					
11. Situación Actual	1,250	0,0	0,200	2,0	12 x 21,9
12. Situación Actual, con superficies DGA	1,250	0,0	0,200	2,0	12 x 21,9
13. Situación Actual, más Quinchanales	1,550	0,300	0,200	1,2	12 x 21,9
14. Situación Sin Proyecto	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
15. Superficie con seguridad 100% en sit. sin Proyecto	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
16. Solución de Mejoramientos Básicos	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
17. Bocanastas Definitivas	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
18. Revestimiento de canales	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
19. Mejoramiento del Tranque Sloan	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
110. Desalinizar río Salado	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
111. Extraer vertientes Angostura	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
112. Desalinizar recuperaciones de Angostura	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
113. Desalinizar agua de riego de Galiana	1,550	0,300	0,200	1,0	12 x 21,9
114. Situación Actual con Control de crecidas	1,250	0,0	0,200	2,0	1 a 4 = 21,9 5 = 18,8 6 = 17,9 7 = 19,6 8 a 12 = 21,9
115. Solución de Mejoramientos Básicos con control de crecidas	1,550	0,300	0,200	1,0	1 a 4 = 21,9 5 = 18,8 6 = 17,9 7 = 19,6 8 a 12 = 21,9

TABLA 9.2 (Cont.)

ARCHIVO	DAL044.DAT - ZONA RIEGO LASANA					
PARAMETRO Y UBICACION	Superficie de riego	Eficiencia de aplicación	Eficiencia de conducción	Tasa de riego en bocatonas	Factores de dis- tribución demanda (12 datos según Tabla 3.33)	Mínimo captación
	Línea : 2 Dato No.: 1	Línea : 2 Dato No.: 2	Línea : 2 Dato No.: 3	Línea : 2 Dato : último	Línea : 3	Línea : 4 Dato No.: 2
SITUACION SIMULADA						
11. Situación Actual	56,8	0,65	0,77	27300	ICC-CONIC	0,100
12. Situación Actual, con su- perficie DGA	54,3	0,65	0,77	27300	ICC-CONIC	0,100
13. Situación Actual, más Quinchamale	56,8	0,65	0,77	27300	ICC-CONIC	0,100
14. Situación Sin Proyecto	54,3	0,65	0,63	27800	DGA	0,100
15. Superficie con seguridad 100% en sit. sin Proyecto	54,3	0,65	0,63	27800	DGA	0,100
16. Solución de Mejoramientos Básicos	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,100
17. Bocatonas Definitivas	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,00
18. Revestimiento de canales	54,3	0,67	0,81	27800	DGA	0,100
19. Mejoramiento del Tranque Slozan	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,100
110. Desalinizar río Salado	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,100
111. Extraer vertientes Angos- tura	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,100
112. Desalinizar recuperaciones de Angostura	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,100
113. Desalinizar agua de riego de Calama	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,100
114. Situación Actual con con- trol de crecidas	56,8	0,65	0,77	27300	ICC-CONIC	0,100
115. Solución de Mejoramientos Básicos con control de crecidas	54,3	0,67	0,67	27800	DGA	0,100

TABLA 9.2 (Cont.)

ARCHIVO	DALOAS.DAT - ZONA RIEGO CHIV-CHIV							
PARAMETRO Y UBICACION	Superficie de riego	Eficiencia de aplica- ción	Eficiencia de conduc- ción	Parámetro Delta	Tasa de riego en bocatomas	Factores de dis- tribución demanda (12 datos según Tabla 3.33)	Mínimo captación	Parámetro Gama
	Línea :2 Dato No.:1	Línea :2 Dato No.:2	Línea :2 Dato No.:3	Línea :2 Dato No.:4	Línea :2 Dato :último	Línea :3	Línea :4 Dato No.:2	Línea Dato No.
SITUACION SIMULADA								
11. Situación Actual	148,4	0,65	0,72	0,4	28900	ICC-COMIC	0,100	0,1
12. Situación Actual, con su- perficies DGA	176,0	0,65	0,72	0,4	28900	ICC-COMIC	0,100	0,1
13. Situación Actual, más Cuinchale	148,4	0,65	0,72	0,4	28900	ICC-COMIC	0,100	0,1
14. Situación Sin Proyecto	176,0	0,65	0,68	0,4	27800	DGA	0,100	0,1
15. Superficie con seguridad 100% en sit. sin Proyecto	176,0	0,65	0,68	0,4	27800	DGA	0,100	0,1
16. Solución de Mejoramientos Básicos	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,100	0,2
17. Bocatomas Definitivas	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,000	0,2
18. Revestimiento de canales	176,0	0,67	0,81	0,8	27800	DGA	0,100	0,2
19. Mejoramiento del Tranque Sloman	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,100	0,2
110. Desalinizar río Salado	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,100	0,2
111. Extraer vertientes Angos- tura	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,100	0,2
112. Desalinizar recuperaciones de Angostura	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,100	0,2
113. Desalinizar agua de riego de Calana	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,100	0,2
114. Situación Actual con con- trol de crecidas	148,4	0,65	0,72	0,4	28900	ICC-COMIC	0,100	0,1
115. Solución de Mejoramientos Básicos con control de crecidas	176,0	0,67	0,72	0,8	27800	DGA	0,100	0,2

TABLA 9.2 (Cont.)

ARCHIVO	DALOA8.DAT - SALADO EN AYQUINA		DALOA9.DAT - RECUPER. SALADO		DALOA12.DAT - RECUPER. ANGOSTURA	
PARAMETRO Y UBICACION	Extracción aguas arriba de Ayquina	C.E. en Ayquina	0 recuperaciones extraídas	C.E. recupera- ciones	0 recuperaciones extraídas	C.E. recupera- ciones
	Línea : 2 Dato No.: 1	Línea : 2 Dato No.: 2	Línea : 2 Dato No.: 3	Línea : 3 Dato No.: 1	Línea : 2 Dato No.: 3	Línea : 3 Dato No.: 1
SITUACION SIMULADA						
1. Situación Actual	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
12. Situación Actual, con su- perficie DGA	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
13. Situación Actual, más Quinchanales	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
14. Situación Sin Proyecto	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
15. Superficie con seguridad 100% en sit. sin Proyecto	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
16. Solución de Mejoramientos Básicos	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
17. Bocananas Definitivas	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
18. Revestimiento de canales	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
19. Mejoramiento del Tranque Sloan	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
110. Desalinizar río Salado	1,105	2500	0,220	2500	0,0	7864
111. Extraer vertientes Angos- tura	1,105	5515	0,0	7300	0,250	7864
112. Desalinizar recuperaciones de Angostura	1,105	5515	0,0	7300	0,110	4416
113. Desalinizar agua de riego de Calana	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
114. Situación Actual con con- trol de crecidas	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864
115. Solución de Mejoramientos Básicos con control de crecidas	1,105	5515	0,0	7300	0,0	7864

TABLA 9.2 (Cont.)

ARCHIVO	DALOA14.DAT - ZONA RIEGO CALAMA						
PARAMETRO Y UBICACION	Superficie de riego	Eficiencia de aplica- ción	Eficiencia de conduc- ción	Tasa de riego en bocatoma	Factores de dis- tribución de demanda (12 datos según Tabla 3.33)	Quiniao captación	Indic. tratam. en Calama
	Línea :2 Dato No.:1	Línea :2 Dato No.:2	Línea :2 Dato No.:3	Línea :2 Dato :ultimo	Línea :3	Línea :4 Dato No.:2	Línea :6 Dato No.:1
SITUACION SIMULADA							
1. Situación Actual	829,5	0,70	0,81	34900	ICC-COMIC	0,100	0,0
2. Situación Actual, con su- perficie DGA	1103,1	0,70	0,81	34900	ICC-COMIC	0,100	0,0
3. Situación Actual, más Quinchanale	829,5	0,70	0,81	34900	ICC-COMIC	0,100	0,0
4. Situación Sin Proyecto	1103,1	0,70	0,81	28700	DGA	0,100	0,0
5. Superficie con seguridad 100% en sit. sin Proyecto	1103,1	0,70	0,81	28700	DGA	0,100	0,0
6. Solución de Mejoramientos Básicos	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,100	0,0
7. Bocatoma Definitivas	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,000	0,0
8. Revestimiento de canales	1103,1	0,72	0,86	28700	DGA	0,100	0,0
9. Mejoramiento del Tranque Sloan	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,100	0,0
10. Desalinizar río Salado	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,100	0,0
11. Extraer vertientes Angos- tura	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,100	0,0
12. Desalinizar recuperaciones de Angostura	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,100	0,0
13. Desalinizar agua de riego de Calama	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,100	1,0
14. Situación Actual con con- trol de crecidas	829,5	0,70	0,81	34900	ICC-COMIC	0,100	0,0
15. Solución de Mejoramientos Básicos con control de crecidas	1103,1	0,72	0,83	28700	DGA	0,100	0,0

TABLA 9.2 (Cont.)

ARCHIVO	DALOA20.DAT - ZONA RIEGO QUILLAGUA						
	DALOA17.DAT SAN SALVADOR						
PARAMETRO Y UBICACION	Extracciones No Agrícolas	Superficie de riego	Eficiencia de aplicación	Eficiencia de conducción	Tasa de riego en bocatoma	Factores de distribución demanda (12 datos según Tabla 3.33)	Quinimo captación
	Línea : 2 Dato No.: 1	Línea : 2 Dato No.: 1	Línea : 2 Dato No.: 2	Línea : 2 Dato No.: 3	Línea : 2 Dato : último	Línea : 3	Línea : 4 Dato No.: 2
SITUACION SIMULADA							
1. Situación Actual	0,027	110,1	0,65	0,77	48800	ICC-COMIC	0,100
2. Situación Actual, con superficies DGA	0,027	143,1	0,65	0,77	48800	ICC-COMIC	0,100
3. Situación Actual, más Quinchanaale	0,027	110,1	0,65	0,77	48800	ICC-COMIC	0,100
4. Situación Sin Proyecto	0,027	143,1	0,65	0,77	32800	DGA	0,100
5. Superficie con seguridad 100% en sit. sin Proyecto	0,027	143,1	0,65	0,77	32800	DGA	0,100
6. Solución de Mejoramientos Básicos	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100
7. Bocatomas Definitivas	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,000
8. Revestimiento de canales	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100
9. Mejoramiento del Tranque Sloan	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100
10. Desalinizar río Salado	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100
11. Extraer vertientes Angostura	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100
12. Desalinizar recuperaciones de Angostura	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100
13. Desalinizar agua de riego de Calana	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100
14. Situación Actual con control de crecidas	0,027	110,1	0,67	0,77	48800	ICC-COMIC	0,100
15. Solución de Mejoramientos Básicos con control de crecidas	0,027	143,1	0,67	0,82	32800	DGA	0,100

TABLA 9.3

Superficies y Tasas de riego según situación actual

	Lasana	Chiu-Chiu	Calama	Quillagua
Superficie (según COSERREN) (Ha)	56,8	148,4	829,5	110,1
Distribución de cultivos (%)				
- Alfalfa	38,42	37,60	64,04	100,00
- Maíz	23,94	13,21	34,25	0,00
- Hortalizas	37,64	47,67	0,00	0,00
- Trigo	0,00	1,52	1,71	0,00
Necesidad de agua incluyendo lixiviación, a nivel de cultivos. (m3/ha/año)	13654	13578	19865	24408
Eficiencia de riego				
Conducción	0,77	0,72	0,81	0,77
Aplicación	0,65	0,65	0,70	0,65
Tasa de riego en bocatoma (m3/ha/año)	27300	28900	34900	48800

9.2.1.2 Situación actual con superficies D.G.A.

El análisis de esta situación tiene por objeto conocer la seguridad de riego y el nivel de déficit que se produce al aumentar las superficies actualmente regadas a las reconocidas por la D.G.A. en su asignación de derechos, presentadas en la Tabla 9.4, pero manteniendo las eficiencias de riego y necesidades de agua actuales en cada oasis, según lo estimado para este estudio por el consultor.

Esta situación se compara con la situación actual definida en el punto 9.2.1.1 anterior.

TABLA 9.4

Superficies y Tasas de Riego según D.G.A.

OASIS	Superficie (Ha)	Tasa de riego (m3/ha/año)
Lasana	54,3	27800
Chiu-Chiu	176,0	27800
Calama	1103,1	28700
Quillagua	143,1	32800

9.2.1.3 Situación actual más Quinchamale

Esta situación representa lo que ocurrirá desde el momento en que comience a operar la captación de SENDOS en Quinchamale, aguas arriba del embalse Conchi, con una extracción de 300 l/s según derechos establecidos por la D.G.A. Dado que esta extracción es inminente, se mantendrá en todas las situaciones de simulación siguientes.

En esta situación, el resto de las variables queda igual a la situación actual, contra la cual se compara los resultados.

9.2.1.4 Situación sin proyecto

Esta situación representa el efecto de restringir las entregas de agua desde el embalse Conchi según los derechos de la D.G.A., pero no efectuar ninguna obra de mejoramiento ni reparación de la infraestructura de riego. Tampoco se construyen las unidades de control en los canales que permitirían controlar los caudales efectivamente captados.

Las superficies y tasas de riego en bocatoma asignados por la D.G.A. se indicaron en la Tabla 9.4 anterior.

En este caso las eficiencias de conducción disminuyen con respecto a la situación actual por estar restringidos los caudales captados en bocatoma a los derechos otorgados por la D.G.A., que son menores a los actualmente captados. En base a un estudio de pérdidas en canales y estimaciones sobre el manejo del agua que podría realizarse en esta situación, se determinó las eficiencias de riego que se señalan en la Tabla 9.5.

TABLA 9.5

Eficiencias de Riego Situación Sin Proyecto

OASIS	Conducción	Aplicación
Lasana	0,63	0,65
Chiu-Chiu	0,68	0,65
Calama	0,81	0,70
Quillagua	0,77	0,65

El nivel de extracciones no agrícolas es el actual más 300 l/s en Quinchamale.

Esta situación sirve como base de comparación para la Solución de Mejoramientos Básicos de infraestructura.

9.2.1.5 Superficie de riego con seguridad 100% en situación sin proyecto

Para la situación sin proyecto señalada en el punto anterior se generan déficits de abastecimiento en Calama y en Quillagua, como se verá más adelante, por lo que se estimó conveniente determinar las superficies cultivadas que tendrían seguridad de riego 100% para la misma situación simulada.

Utilizando los resultados mensuales de la simulación anterior (Situación Sin Proyecto), se determinará la magnitud de las superficies efectivamente regadas cuya demanda es posible satisfacer sin tener déficits de abastecimiento.

9.2.1.6 Solución de mejoramientos básicos

Con esta situación se evaluará el impacto que produce el efectuar las reparaciones de diagnóstico señaladas en el Capítulo 6 y las obras de mejoramiento básico de infraestructura recomendadas en el Capítulo 7, consistentes fundamentalmente en unificación de canales, obras de control de caudales en bocatomas, marcos de distribución de caudales con sus aforadores y compuertas, y compuertas prediales. La comparación de esta situación se hará contra la situación Sin Proyecto.

El nivel de extracciones agrícolas considerado es el actual más 300 l/s en Quinchamale.

Las superficies y tasas de riego consideradas corresponden a las señaladas por la D.G.A. en su asignación de derechos de agua a cada oasis, considerándose la opción "CON" Control de Bocatomas en el modelo de simulación.

Los mejoramientos mínimos a efectuarse producirán un aumento en las eficiencias de riego con respecto a la situación Sin Proyecto. La unificación de canales permitirá mejorar las eficiencias de conducción, de acuerdo al estudio de pérdidas efectuado, y se estima que la eficiencia de aplicación aumentará en un 3% con respecto a la Situación Sin Proyecto.

En la Tabla 9.6 se presentan las eficiencias de riego para esta situación.

TABLA 9.6

Eficiencias de riego en situación de mejoramientos básicos

OASIS	Conducción	Aplicación
Lasana	0,67	0,67
Chiu-Chiu	0,72	0,67
Calama	0,83	0,72
Quillagua	0,82	0,67

Esta situación se considera como básica, ya que sobre ella se considerará las alternativas de revestimiento de canales, construcción de bocatomas definitivas, mejoramientos del Tranque Sloman, en Quillagua, y mejoramientos de la calidad química de las aguas en el Salado, en Angostura o en Calama.

9.2.1.7 Bocatomas definitivas

Una alternativa de mejoramiento complementario de la infraestructura de riego, adicional a la solución de mejoramientos básicos, es construir bocatomas definitivas para los canales unificados de Lasana, Chiu-Chiu y para el canal unificado Banda Radic - Topater, de la ribera izquierda de Calama.

En esta situación, se mantiene el nivel de extracciones no agrícolas, las demandas agrícolas y las eficiencias de riego de la situación de "Solución de Mejoramientos Básicos".

En el modelo, esta alternativa se representa modificando el caudal mínimo que se deja pasar en cada zona de riego, llevándolo a un valor 0.0 m³/seg en los 4 oasis. Es decir suponiendo un 100% de eficiencia de captación.

9.2.1.8 Revestimiento de canales

Esta alternativa de mejoramiento de la infraestructura de riego también es adicional a la Solución de Mejoramientos Básicos, y consiste en revestir algunos canales de los oasis de Lasana, Chiu-Chiu y Calama, seleccionados en base al estudio de pérdidas de caudal (ver Capítulo 7). Se consideró innecesario revestir canales en Quillagua.

En esta situación se mantiene el nivel de extracciones no agrícolas y las demandas agrícolas de la situación de "Solución de Mejoramientos Básicos".

El revestimiento de estos canales representará un aumento en la eficiencia de conducción, el que fue determinado en base a la menor pérdida de agua que se producirá en cada oasis. En la Tabla 9.7 se presentan las eficiencias de riego consideradas en esta situación.

TABLA 9.7

Eficiencias de riego con revestimiento de canales

OASIS	Conducción	Aplicación
Lasana	0,81	0,67
Chiu-Chiu	0,81	0,67
Calama	0,86	0,72
Quillagua	0,82	0,67

9.2.1.9 Mejoramientos del Tranque Sloman

Esta alternativa consiste en aprovechar al máximo los 650.000 m³ de capacidad remanente del Tranque. La solución propuesta consiste en una pantalla de hormigón con una compuerta de fondo más pequeña, además de otros mejoramientos en los vertederos y obras de entrega.

El impacto de este mejoramiento se evalúa sobre la base de los resultados de la situación de Mejoramientos Básicos (punto 9.2.1.6), haciendo una evaluación separada para el sector Sloman-Quillagua con los caudales medios mensuales obtenidos del listado de detalle de la pasada correspondiente del modelo.

9.2.1.10 Desalinizar el río Salado

Esta alternativa consiste en tratar las aguas aportadas por el río Salado mediante una planta desalinizadora por Osmosis Inversa ubicada en su confluencia con el río Loa.

Se propone una planta que baje la C.E. de las aguas del río Salado a 2,500 mmhos/cm, lo que genera un caudal de desecho de 220 l/s, según se indica en el Capítulo 7.

Esta alternativa incluye además las obras señaladas en la Solución de Mejoramientos Básicos.

El nivel de extracciones no agrícolas y las demandas y eficiencias de riego se mantienen iguales a los de la situación Mejoramientos Básicos.

Esta situación se representa en el modelo incorporando el valor 2500 a las C.E. de Salado en Ayquina y de las recuperaciones del río Salado, y un valor 0,22 a las extracciones en el sector de recuperaciones del río Salado.

9.2.1.11 Extraer vertientes de Angostura

Esta situación representa las alternativas 2 y 3 de mejoramientos de la calidad del agua, indicadas en el Capítulo 7.3. Estas corresponden a captar los ojos de agua del sector Angostura (250 l/s) y bombear el caudal fuera del sistema, evaporándolo en una alternativa, o entregándolo a Chuquicamata en la otra.

También en este caso se mantiene la situación de Mejoramientos Básicos en lo referente a nivel de extracciones no agrícolas, demandas agrícolas y eficiencias de riego.

La representación en el modelo de esta situación se realiza considerando un valor 250 l/s como extracciones del sector Angostura.

9.2.1.12 Tratamiento de recuperaciones de Angostura

Esta alternativa consiste en desviar el río Loa al inicio del sector de contaminación de Angostura, desalinizar las recuperaciones existentes aguas arriba de Angostura (470 l/s) y luego juntar el efluente de la planta desalinizadora con el agua desviada del Loa. Como producto del tratamiento se genera un caudal de desecho de 110 l/s.

Como en las alternativas anteriores, se mantiene en esta situación los niveles de extracciones no agrícolas, las demandas agrícolas y las eficiencias de riego de la Solución de Mejoramientos Básicos.

La forma de representar en el modelo esta situación, es incorporar como C.E. de las recuperaciones, un valor tal que represente la salinidad con que efectivamente quedará la mezcla del agua tratada con los 200 l/s de recuperaciones no tratadas (Entre Angostura y Yalquincha). De acuerdo a la relación de mezcla que se genera, se determina que la C.E. representativa del total de las recuperaciones de Angostura, en este caso, es 4,416 mmhos/cm. Además debe considerarse un valor de 110 l/s como extracción en el sector Angostura, que representa el caudal de desecho del proceso de desalinización.

9.2.1.13 Tratamiento del agua de riego de Calama

Esta alternativa consiste en captar el total de las aguas de riego de Calama, a la entrada del sector de riego, desalinizarla y distribuirla a los canales de riego.

Para representar este efecto en el modelo se dejó una opción especial en el archivo de datos correspondiente a la zona de riego de Calama, tal como se explica en el Anexo IX y se señala en la Tabla 9.2.

La C.E. del agua tratada es 2,500 mmhos/cm y se origina un caudal de desecho de 450 l/s con una C.E. de 13,000 mmhos/cm que es devuelto al río Loa y sigue su curso hacia Quillagua.

9.2.2 Metodología de procesos

Todas las situaciones que representan alternativas de mejoramiento fueron simuladas considerando, como regla de operación del embalse, la programación de las entregas mensuales desde él mediante el factor de penalidad determinado en Agosto, al comienzo de cada temporada de riego (Ver Capítulo 8). Esta regla de operación lleva implícita la ejecución de un pronóstico de caudales para la temporada, dejando además un volumen de reserva en el embalse para prevenir posibles diferencias por defecto de dicho pronóstico con respecto a los caudales realmente escurridos (Ver Capítulo 8).

El volumen de reserva utilizado fue de $2,5 \times 10^6$ m³, valor determinado en un proceso iterativo de búsqueda. Valores menores al señalado originan fallas del sistema en algunos años en que el pronóstico entrega caudales superiores a los realmente escurridos, en tanto que valores superiores obligan a reducir innecesariamente el factor de penalidad α , originando también fallas por no cumplir con la demanda nominal del sistema.

La regla de operación que contempla un control de crecidas, consistente en determinar una "curva de alerta superior", no fue considerada en ninguna de estas pasadas de comparación de situaciones, pues fue estudiada para dos casos en particular al final de todo el proceso de simulaciones (Ver Tabla 9.1).

Finalmente, la cuarta regla de operación del sistema considerada, consiste en respetar una relación de caudales mínima entre los ríos Loa y Salado en la junta, denominada factor de dilución.

Este factor se determinó para cada situación de simulación mediante un proceso iterativo de búsqueda, de modo que al ir aumentándolo no se produjeran déficits en el sistema adicionales a los que se generaban en esa situación, sin factor de dilución.

De esta forma se determinó, para cada situación analizada, una regla de operación consistente en repartir en forma óptima los excedentes del embalse Conchi, sin generar déficits al sistema y mejorando la C.E. del agua de riego en Calama.

Resultados de las simulaciones

Para cada situación de simulación se determinó una serie de indicadores representativos del impacto que dicha situación tiene en el sistema río Loa.

En la Tabla 9.8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en cada situación, indicando el factor de dilución óptimo obtenido y, para cada zona de riego, las superficies efectivamente regadas, la seguridad de riego, los déficit medios, la C.E. media del agua y el rendimiento medio de los cultivos que dicha C.E. produce.

En el Anexo VIII se incluye el listado de resumen de resultados obtenidos para cada situación señalada en la Tabla 9.8.

En las figuras 9.1 y 9.2 se compara los resultados obtenidos para las superficies efectivas regadas con 100% de seguridad y la C.E. del agua en cada oasis, para las situaciones actual (1), Sin Proyecto (5) y Solución de Mejoramientos Básicos (6).

Para comparar la seguridad de riego que presentan las superficies DGA con las tasas de riego determinadas por ICC-CONIC, se procesó las situaciones Sin Proyecto y Mejoramientos Básicos con dichas demandas, adicionalmente a los procesos definidos en la Tabla 9.1. En la figura 9.3 se comparan las seguridades de riego obtenidas en cada oasis para la Situación Actual con superficie DGA (2), Situación Sin Proyecto y con Mejoramientos Básicos.

A continuación se señala las principales conclusiones obtenidas de los resultados de cada situación.

TABLA 9.8

RESULTADOS DE LAS SITUACIONES SIMULADAS

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

TABLA 9.8 (Cont.)

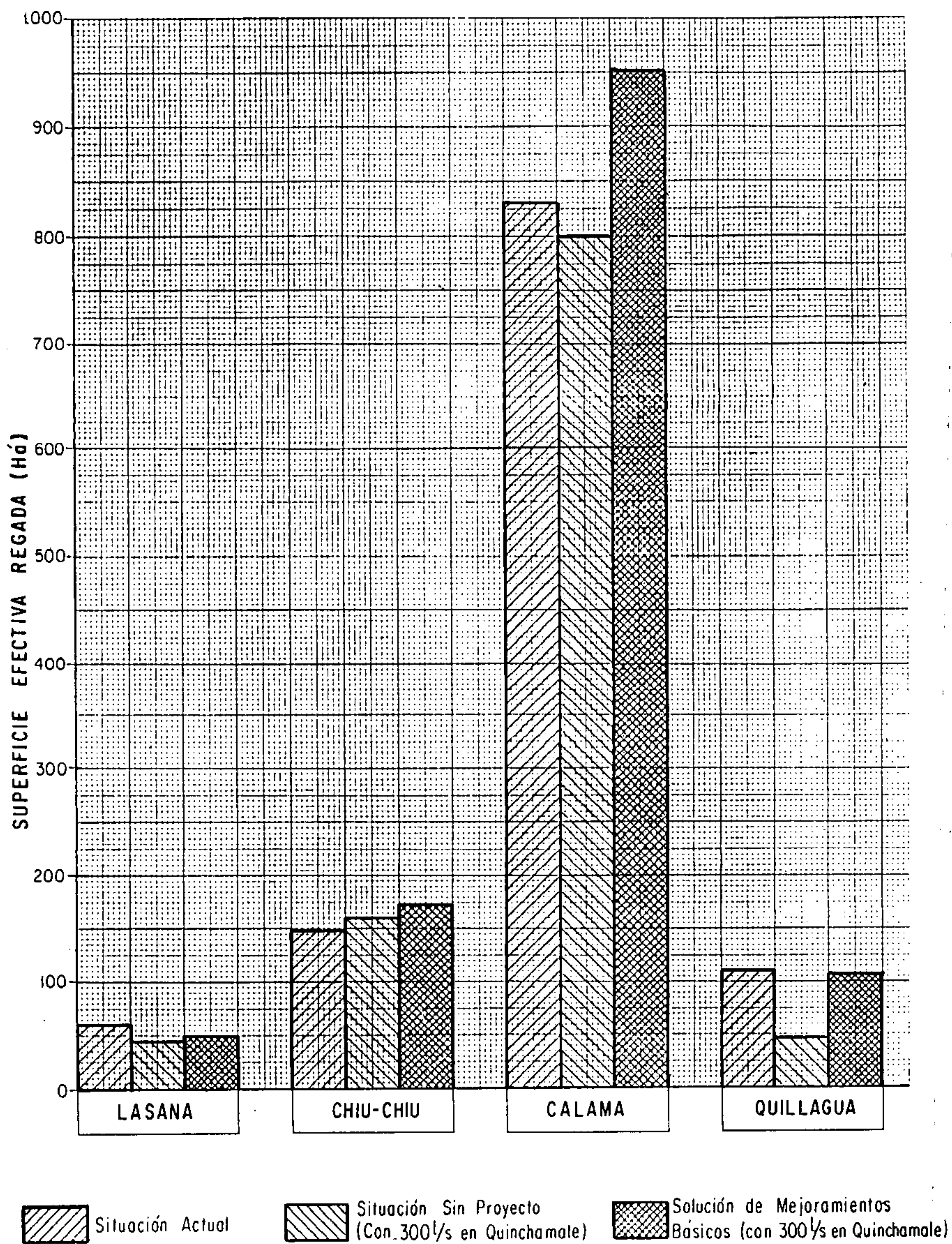
RESULTADOS DE LAS SITUACIONES SIMULADAS

SITUACION SIMULADA	SIM Nro	REGLA DE OPERACION	ZONA DE RIEGO	SUPERFICIE EFECTIVA REGADA (Ha)	SEGURIDAD DE RIEGO (%)	DEFICIT MEDIO ANUAL (%)	CONDUCT. ESPECIFICA (l/s/ha/cm)	RENDIMIENTO DE CULTIVOS (%)
7. BOCATONAS 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

TABLA 9.8 (Cont.)

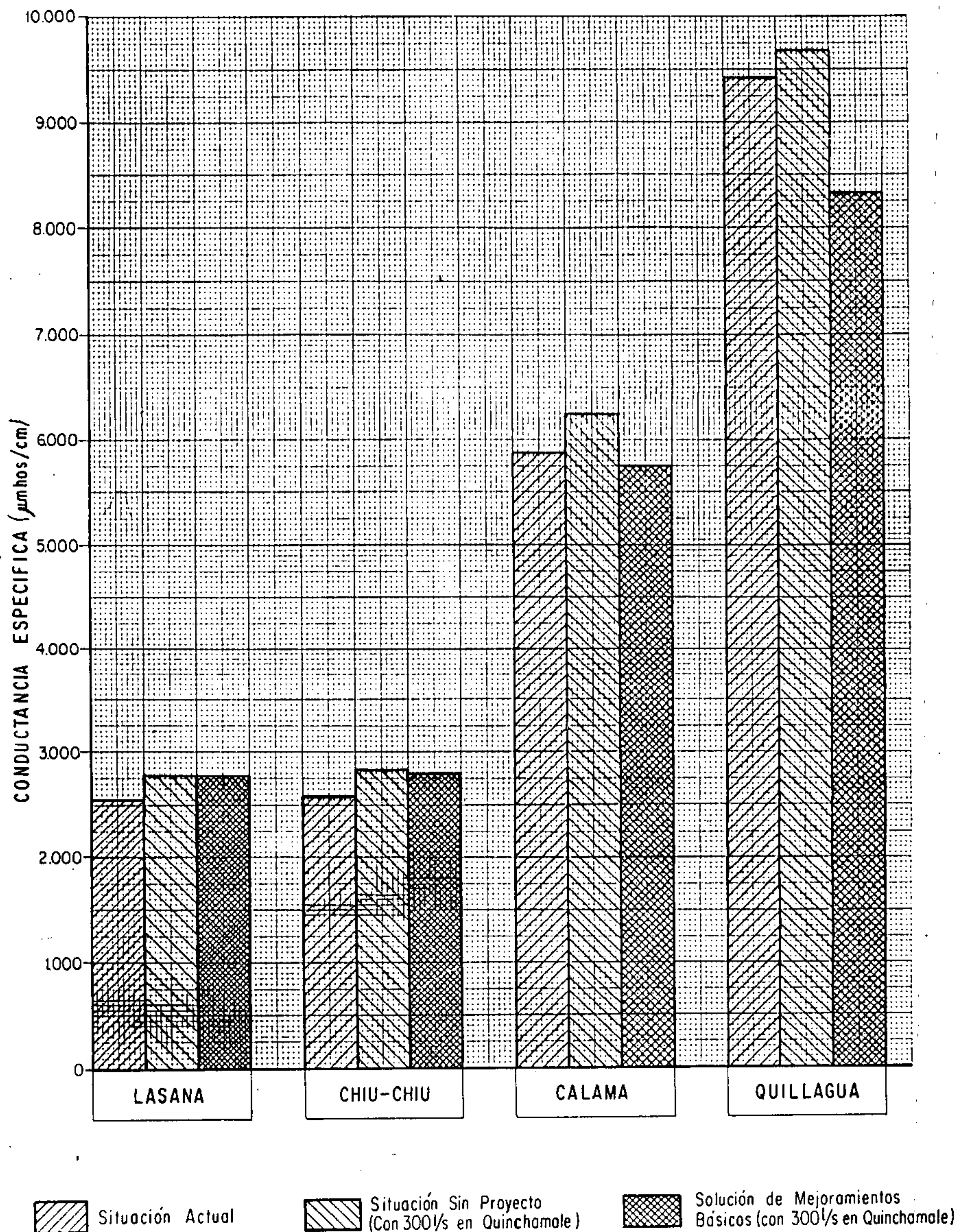
RESULTADOS DE LAS SITUACIONES SIMULADAS

SITUACION SIMULADA	SIN Nro	REGLA DE OPERACION	ZONA DE RIEGO	SUPERFICIE EFECTIVA REGADA (Ha)	SEGURIDAD DE RIEGO (%)	DEFICIT MEDIO ANUAL (%)	CONDUCT. ESPECIFICA (mhos/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	Calana 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 Calana 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



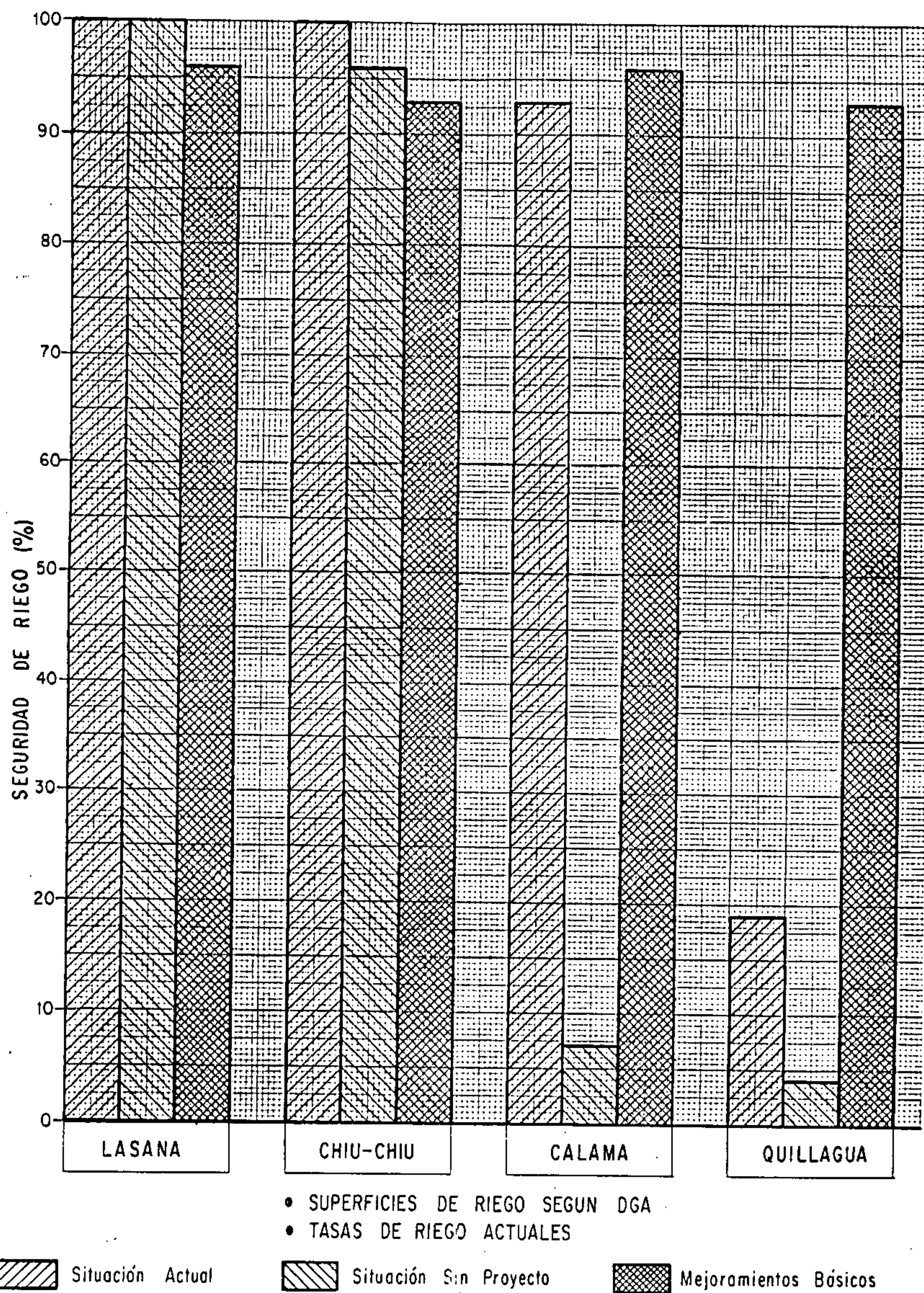
IMPACTO EN LA SUPERFICIE EFECTIVA
CON SEGURIDAD DE RIEGO 100%

FIGURA
9.1



IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AGUA

FIGURA
9.2



IMPACTO EN LA SEGURIDAD DE RIEGO

FIGURA
9.3

9.3.1 Efecto de la extracción de 300 l/s en Quinchamale y de la asignación de derechos de la DGA en la situación actual

9.3.1.1 Situación Actual

En primer término se observa que en la situación actual se tiene un 100% de seguridad de riego en cada oasis para las superficies señaladas.

Una comparación de las demandas mensuales al embalse según tasas de riego y recuperaciones y pérdidas del río con las entregas efectivas del embalse, permitió determinar que en la actualidad estas entregas son superiores a las demandas, obteniéndose un factor medio de amplificación de 2.0. Este factor fue encontrado por iteraciones sucesivas, teniendo como patrón de comparación las estadísticas de caudales y C.E. en distintos puntos del sistema. Puede observarse una muy buena correspondencia obtenida con los resultados del proceso de calibración.

Este factor de amplificación de la demanda tiene por objetivo contrarrestar el hecho de no contar con control del caudal captado por los canales, con lo que son abiertamente perjudicadas las zonas de riego de Calama y, principalmente, de Quillagua, que están aguas abajo en el sistema.

Estos resultados permiten afirmar que, según las tasas de riego determinadas para los cultivos de la zona, sería posible aumentar la superficie regada en cada oasis sin que se originen déficits de abastecimiento.

Cabe destacar que el rendimiento medio actual de los cultivos por efecto de la salinidad (valor válido sólo para una comparación relativa de situaciones y no como valor absoluto por las razones de características de los cultivos señaladas anteriormente) es de 86% en Lasana y Chiu-Chiu, 50% en Calama y 12% en Quillagua.

Esta situación procesada se utiliza como patrón base de comparación relativa con las situaciones de simulación siguientes.

9.3.1.2 Situación actual con superficies asignadas por la DGA

En esta situación se analiza el efecto de aumentar la superficie de riego manteniendo las eficiencias de riego y necesidades de agua actuales (Tasas de riego según ICC-CONIC).

Los resultados obtenidos señalan que disminuye la seguridad de riego a un 93% en Calama y a un 19% en Quillagua, con déficits medios de 8,9% y 19,8%, respectivamente. En Lasana y Chiu-Chiu la seguridad del 100% existente no es alterada.

La C.E. media se mantiene prácticamente invariable.

Estos resultados tienen su explicación en que, al no existir control de los caudales captados en bocatomas, los canales de Lasana y Chiu-Chiu captan el máximo de recursos posible, produciéndose déficits en los oasis ubicados hacia aguas abajo. El más perjudicado con esta situación es, sin duda, Quillagua, que se encuentra ubicado al final del sistema.

En resumen, en este caso no puede regarse las superficies señaladas por la DGA, manteniendo las tasas y eficiencias de riego actuales, sin producir deterioros significativos en la seguridad de riego de Calama y Quillagua.

9.3.1.3 Situación actual más 300 l/s en Quinchamale

En esta situación se analiza el efecto que producirá la extracción de 300 l/s en Quinchamale, para SENDOS, en la situación actual.

Tal como se observa en la Tabla 9.8, la seguridad de riego en Calama y Quillagua disminuyen de 100% en la situación actual a 89% y 19%, respectivamente.

En este caso, el factor de amplificación de las demandas no puede ser superior a 1.2, con lo que el embalse Conchi no entrega recursos suficientes para que Lasana y Chiu-Chiu dejen pasar suficientes excedentes a Calama, y menos a Quillagua.

Por otra parte, la salinidad del agua del sistema se ve también afectada, ya que al extraer 300 l/s de agua de buena calidad del río Loa antes de Conchi, la C.E. media del caudal de entrada al embalse aumenta en 241 μ mhos/cm, llegando a Calama con un promedio de 6213 μ mhos/cm, contra 5866 μ mhos/cm de la situación actual. En estas condiciones, el rendimiento medio de los cultivos disminuye en un 3% para Lasana y Chiu-Chiu, y en un 4% y 3% para Calama y Quillagua, respectivamente.

9.3.1.4 Situación Sin Proyecto, con 300 l/s en Quinchamale

En esta situación se representa el hecho de restringir los caudales entregados por el embalse Conchi a los derechos asignados por la DGA, sin realizar ninguna obra de reparación ni mejoramiento de la infraestructura de riego.

Se ha considerado además la extracción de 300 l/s en Quinchamale, por estar los derechos ya asignados, el proyecto confeccionado y la construcción de las obras en los planes de 1986 o 1987.

Al comparar los resultados con la situación actual, se observa una disminución en las superficies efectivamente regadas en Lasana y Quillagua de 12 y 14 Há, respectivamente, y un aumento de 12 Há en Chiu-Chiu y 77 Há en Calama. Estas variaciones son producto de la asignación de derechos de la DGA. Sin embargo, al no disponerse de control de captación en bocatomas, en Calama y Quillagua se originan déficits que significan seguridades de riego de 81% y 15%, respectivamente. El déficit medio que se genera en ambos oasis para el período de simulación es de 5,8% en Calama y 21,0% en Quillagua. Al estar las entregas desde el embalse restringidas a los derechos asignados por la DGA, no es posible disponer de un factor de amplificación de la demanda que contrarreste el efecto de no disponer de control de caudales en bocatomas.

La calidad del agua se ve también empeorada en esta situación con respecto a la actual, debido a la extracción de 300 l/s en Quinchamale, teniéndose una disminución de los rendimientos medios de los cultivos de 3% para Lasana y Chiu-Chiu y de 4% y 3% para Calama y Quillagua, respectivamente. (Ver Tabla 9.8).

Esta situación simulada se utiliza como patrón de comparación de la Solución de Mejoramientos Básicos, que se analiza a continuación.

9.3.1.5 Superficies con seguridad 100% en Situación Sin Proyecto

Tal como se señaló en el punto anterior, para la situación sin proyecto se originan déficits de abastecimiento en Calama y Quillagua que significan seguridades de riego de 81% y 15%, respectivamente.

Al inspeccionar el listado de detalles de resultados de esa simulación, puede determinarse que los mayores déficits porcentuales mensuales se producen en Diciembre del año 13 de simulación, siendo su magnitud de 240 l/s y 110 l/s en Calama y Quillagua, respectivamente.

De acuerdo a la distribución de la tasa de riego determinada para una Há media en cada oasis (Tabla 3.32 del capítulo 3.2), estos déficits representan superficies efectivas no regadas de 107 Há en Calama y 50 Há en Quillagua. Descontando estos valores de los anteriormente obtenidos, se concluye que las superficies efectivamente regadas con seguridad de riego 100% en la Situación Sin Proyecto, son :

Lasana	: 45 Há
Chiu-Chiu	: 160 Há
Calama	: 800 Há
Quillagua	: 46 Há

9.3.2 Alternativas de mejoramiento de la infraestructura de riego

9.3.2.1 Solución de Mejoramientos Básicos

Al realizar las obras incluidas en la solución de Mejoramientos Básicos, se consigue una notable mejoría en la seguridad de riego de Calama y Quillagua (100%), eliminándose los déficit de la situación sin proyecto. La superficie efectivamente regada aumenta en los cuatro oasis, en tanto que la seguridad de riego y el rendimiento medio de los cultivos por menor salinidad suben a 100% y 51%, respectivamente, en Calama y a 100% y 24%, respectivamente, en Quillagua.

Esta solución de mejoramientos básicos se considera como base para los casos de simulación que se indican a continuación, ya que todas las alternativas analizadas siguientes son complementarias a ella, es decir, incluyen las obras de la solución de mejoramientos básicos, más la que le corresponde a cada una según su identificación en la Tabla 9.8.

9.3.2.2 Bocatomas definitivas

Los resultados de esta situación son prácticamente iguales a los de la solución de mejoramientos básicos, manteniéndose las superficies efectivamente regadas y las seguridades de riego. Sólo se obtiene un leve incremento del 1% en el rendimiento medio de los cultivos de Calama. En resumen, se concluye que las bocatomas definitivas no producen un impacto o beneficio directo cuantificable en el sistema de acuerdo a los indicadores analizados.

9.3.2.3 Revestimiento de canales

En esta situación, el revestimiento de los principales canales de Lasana, Chiu-Chiu y Calama producen un aumento en las eficiencias de conducción, lo que se traduce en un aumento de la superficie efectivamente regada en esas tres zonas.

Como ya se explicó, se consideró innecesario revestir canales en Quillagua.

Dados los nuevos valores de eficiencias de conducción, las superficies efectivamente regadas aumentan en 10 Há en Lasana, en 22 Há en Chiu-Chiu y en 35 Há en Calama.

La seguridad de riego se mantiene en el 100% y los rendimientos de los cultivos por efecto de salinidad no varían con respecto a la solución de mejoramientos básicos.

9.3.2.4 Mejoramientos del Tranque Sloman

Para evaluar el impacto de esta alternativa de mejoramiento complementario, se utilizó los resultados de detalle de la solución de mejoramientos básicos (Simul. No. 299), extrayendo de ellos los caudales medios mensuales afluentes a Quillagua.

De acuerdo con dichos caudales, el Tranque Sloman presenta 100% de seguridad de llenarse a comienzos de la temporada de riego, por lo que el volumen de 650.000 m³ de capacidad puede considerarse como un recurso adicional que permitiría regar cierta superficie por sobre las 106 Hás regadas en Quillagua con los mejoramientos básicos.

La comparación de demandas de agua con caudales afluentes, permite concluir que el Tranque Sloman se operaría entre los meses de Octubre y Abril.

Según lo determinado en el punto 3.2, las necesidades de agua, incluida la lixiviación es de 24408 m³/Há/año. Si las eficiencias de conducción y aplicación son 0,82 y 0,67, respectivamente, la tasa de riego anual en bocatoma para 1 Há efectivamente regada será 44.427 m³/Há/año. Los meses de Octubre a Abril representan el 79,4% de la demanda anual, por lo que la demanda de estos 7 meses es de 35.275 m³/Há.

Como se señaló, el volumen adicional de agua en Quillagua es de 650.000 m³, lo que alcanzaría para regar 18,4 Há adicionales por sobre las 106 Hás efectivamente regadas en la solución de mejoramientos básicos.

En estas condiciones, se mantendría la seguridad de riego de la zona en un 100% y no variaría el rendimiento de los cultivos por cambio en la salinidad del agua.

9.3.3 Alternativas de mejoramiento de la calidad del agua de Calama

Todas las alternativas de mejoramiento de la calidad del agua de Calama están basadas en la solución de mejoramientos básicos, es decir, son complementarias a las obras propuestas en dicha solución, la que sirve como patrón de comparación de los resultados.

9.3.3.1 Desalinizar el río Salado

En esta alternativa se mantiene las superficies efectivamente regadas y la seguridad de riego de los cuatro oasis.

La C.E. del agua del río Salado disminuye a 2,500 mmhos/cm como resultado del tratamiento por Osmosis Inversa, lo que significa que el agua de riego de Calama mejoraría a 4,831 mmhos/cm y a 7,938 mmhos/cm en Quillagua. Este mejoramiento representa un aumento de 51% a 62% y de 24% a 28% en el rendimiento de los cultivos de Calama y Quillagua, respectivamente.

9.3.3.2 Extraer vertientes de Angostura

Al captar los ojos de las vertientes de Angostura y extraerlos del sistema (se evaporan en la alternativa 2 o se entregan a Chuquicamata en la alternativa 3), se obtiene un mejoramiento en la calidad del agua de Calama, manteniendo las superficies efectivamente regadas y las seguridades de riego de los cuatro oasis.

Aunque se pierde 250 l/s del sistema, el beneficio obtenido es un aumento desde un 51% a un 55% en el rendimiento medio de los cultivos de Calama. En Quillagua, sin embargo, esta disminución de caudal produce una leve disminución de 1% en el rendimiento medio de los cultivos de la zona, a causa de un aumento de 53 μ mhos/cm en la C.E. media.

9.3.3.3 Desalinizar recuperaciones de Angostura

Los resultados obtenidos en esta alternativa mejoran en mayor proporción que en la anterior la calidad del agua en Calama, manteniendo la superficie efectiva y la seguridad de riego.

En este caso, la disminución de la C.E. del agua produce un aumento en el rendimiento medio de los cultivos de 51% a 65% en Calama y de 24% a 32% en Quillagua.

9.3.3.4 Desalinizar agua de riego de Calama

Esta alternativa es la que logra la mayor eficiencia en la disminución de la salinidad del agua de riego de Calama, dejándola en 2,500 mmhos/cm.

Sin embargo, genera un efluente de 450 l/s con C.E. de 13,000 mmhos/cm que sigue su curso aguas abajo hacia Quillagua. Este caudal, que no es utilizable en Calama, genera un déficit que reduce la seguridad de riego a 93% en los cuatro oasis.

El rendimiento de los cultivos por concepto de salinidad del agua de riego, aumenta de 51% a 87% en Calama y disminuye de 24% a 22% en Quillagua, con respecto a la solución de Mejoramientos Básicos.

9.3.4 Control de crecidas

La regla de operación del embalse Conchi para controlar crecidas está basada en la provisión de volúmenes de control a comienzos de los meses de mayor probabilidad de ocurrencia de las crecidas.

Para definir el volumen de control recomendable en cada mes, debe realizarse una simulación del sistema para un cierto nivel de demandas, de manera de estudiar el efecto en la seguridad de abastecimiento y en la calidad química del agua en las cuatro zonas de riego.

Esta regla de operación se determinó para la situación actual y además suponiendo implementada la solución de mejoramientos básicos.

9.3.4.1 Características de las crecidas que pueden ocurrir en los meses de Enero, Febrero y Marzo en Conchi

De acuerdo al análisis de frecuencia de las crecidas del río Loa en Conchi, resumidas en las figuras 4.15 y 4.16 del Capítulo 4, se confeccionó la Tabla 9.9 siguiente con el período de retorno y características principales de las crecidas ocurridas en Loa en Conchi. La duración y caudal máximo instantáneo de la crecida se obtuvieron de las relaciones señaladas en dicho capítulo (punto 4.4.1.1).

Los meses en que ocurren las crecidas son Enero, Febrero o Marzo, lo que indica que la regla de operación a adoptar debe considerar un volumen de control al comienzo de dichos meses, solamente.

TABLA 9.9

Periodo de retorno de crecidas en Loa en Conchi

MES	PERIODO DE RETORNO (años)	VOLUMEN ($m^3 \times 10^6$)	CAUDAL MAXIMO (m^3/s)	DURACION (horas)
Enero	5	0,2	8,0	51
	10	1,5	20,3	156
	20	3,1	28,5	234
Febrero	5	0,6	13,3	93
	10	3,7	30,9	258
	20	11,2	51,7	479
Marzo	5	0,1	5,8	34
	10	1,0	16,9	124
	20	2,3	24,8	198

El volumen de control de crecidas se determinó al realizar simulaciones con distintas curvas de alerta superior (Ver Capítulo 8), obteniéndose así el efecto que tiene cada una de ellas en la seguridad de riego del sistema.

Una eventual política de control de crecidas no debe pretender controlarlas totalmente, sino que reducir a valores razonables el caudal máximo vertido por el embalse.

En el "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - Río Loa" (Espíldora et al, 1979) se efectuó un rastreo de crecidas aguas abajo del embalse Conchi, incluyendo el efecto regulador del embalse mismo, cuyos resultados son absolutamente válidos para su utilización en el presente estudio. En la Tabla 9.10 se presentan los caudales máximos obtenidos en dicho estudio en Chiu-Chiu y Calama, para distintas combinaciones de caudales máximos de crecidas y volúmenes de control en el embalse.

Estos antecedentes servirán de base para adoptar un adecuado volumen de control de crecidas en las situaciones "actual" y de "solución de mejoramientos básicos", que se analizan a continuación.

TABLA 9.10

Resumen resultados rastreo crecidas operacionales para
diferentes volúmenes de control

Caudal Máximo (m3/seg)

<u>Q MAX.</u>	<u>VOL. CONTROL</u> <u>10³ m3</u>	<u>Q. CHIU-CHIU</u>	<u>Q CALAMA</u>
64	0	43	38
	500	43	38
	1000	43	38
	2000	40	36
	2500	40	36
	4000	40	36
	5000	40	36
46	0	31	28
	500	31	28
	1000	31	28
	2500	29	26
	4000	29	26
	4500	29	26
	5000	21	19
32	0	21	19
	500	21	19
	1000	21	19
	2000	20	18
	3000	20	18
	3500	13	11
	4000	8	7
25	5000	6	5
	0	17	15
	500	17	15
	1000	15	14
	2000	15	14
	2500	13	11
	3000	6	5

9.3.4.2 Control de crecidas para situación actual

La situación actual presenta, al operar el embalse sin control de crecidas, una seguridad de riego 100% para los cuatro oasis, en tanto que el rendimiento medio de los cultivos por efecto de la salinidad del agua es 86% en Lasana y Chiu-Chiu, 50% en Calama y 12% en Quillagua (Ver Tabla 9.8).

Se analizó distintas "curvas de alerta superior", que consideran volúmenes de control de crecidas a principio de Enero, Febrero y Marzo.

De acuerdo a los períodos de retorno que presentan las crecidas en estos meses (Ver Tabla 9.9), se decidió adoptar un volumen de control de $3,1 \times 10^6$ m³ y $2,3 \times 10^6$ m³ para las crecidas de Enero y Marzo respectivamente, lo que permite el control total de las crecidas afluentes al embalse Conchi con períodos de retorno de 20 años. En Febrero, el volumen de las crecidas es muy superior, por lo que no es recomendable intentar un control total, sino un amortiguamiento del caudal máximo. Se simuló volúmenes de control de $4,0 \times 10^6$ m³ y $4,5 \times 10^6$ m³ a comienzos de este mes, además de los ya señalados para comienzos de Enero y Marzo, obteniéndose como resultados que en ambas situaciones se mantiene las seguridades de riego y el rendimiento de cultivos de la situación sin control de crecidas.

Una crecida con período de retorno 20 años en el mes de Febrero, presentaría un caudal máximo de 52 m³/s, aproximadamente. Si se contempla un volumen de control de $4,0 \times 10^6$ m³, se obtendrá caudales máximos de 33 m³/s en Chiu-Chiu y 29 m³/s en Calama, aproximadamente, mientras que si el volumen de control es $4,5 \times 10^6$ m³, los caudales máximos serían prácticamente de la misma magnitud, no consiguiéndose una disminución significativa.

En consecuencia, los volúmenes de control de crecidas recomendadas para la situación actual, a principios de cada mes, son $3,1 \times 10^6$ m³ en Enero, $4,0 \times 10^6$ m³ en Febrero y $2,3 \times 10^6$ m³ en Marzo.

9.3.4.3 Control de crecidas para solución de mejoramientos básicos

En esta situación, al no considerar control de crecidas, también se tiene seguridad de riego 100% en los cuatro oasis, y rendimientos medios de los cultivos de 83% en Lasana y Chiu-Chiu, 51% en Calama y 24% en Quillagua (Ver Tabla 9.8).

Siguiendo la misma metodología empleada en la situación anterior, se determinó que al considerar los volúmenes de control señalados a comienzos de Enero y Marzo, y volúmenes de control de $4,0 \times 10^6$ m³ y $4,5 \times 10^6$ m³ a comienzos de Febrero, no se producen cambios en las seguridades de riego ni en el rendimiento medio de los cultivos, con respecto a la situación sin control de crecidas.

Por las mismas razones señaladas en el punto anterior, los volúmenes de control de crecidas recomendados a comienzos de cada mes son $3,1 \times 10^6$ m³ en Enero, $4,0 \times 10^6$ m³ en Febrero y $2,3 \times 10^6$ m³ en Marzo.

9.3.4.4 Otras consideraciones y recomendaciones

Es necesario señalar que los análisis y conclusiones anteriores son válidas sólo para las situaciones estudiadas. Otras situaciones deben ser estudiadas especialmente utilizando el modelo de simulación del sistema con los parámetros correspondientes, según la implementación del modelo efectuada en el computador de la Dirección de Riego y de la Universidad de Antofagasta.

El volumen de control planteado para amortiguar totalmente las crecidas de 1 en 20 años de los meses de enero y Marzo y parcialmente las de Febrero, son factibles de implementar sin perjudicar el objetivo de entregas desde el embalse para ambas situaciones de demandas. Sin embargo, estas cifras de volumen de control de hecho permiten protegerse contra crecidas aún mayores, pues el operador del embalse, aún cuando no dispone de normas de operación precisas de compuertas y obras de salida, alguna operación de estos elementos efectúa, por lo que en la realidad la seguridad del control de crecidas es mayor.

Esta regla de operación del embalse podrá ser mejorada en la medida que en el futuro se disponga de mayor información relativa a las características propias de las crecidas y sea factible implementar un pronóstico de ellas en el corto plazo. Para ello, es aconsejable implementar una serie de acciones que permitan registrar en mejor forma las crecidas en el sistema y correspondientes precipitaciones que las ocasionan. El nivel en el embalse y las precipitaciones deberían ser medidos con una frecuencia horaria durante las lluvias y las crecidas.

Al disponer de un sistema de pronóstico a corto plazo de las crecidas, se pueden tomar decisiones más oportunas de operación del embalse. Esto redundará en que los volúmenes de control que se requiera preservar cada mes de la temporada de crecidas, podrán ser menores y eventualmente ser nulos.

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00011 6830