



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

INDICE GENERAL

TOMO I

	DIRECCION GENERAL DE AGUAS Centro de Información Recursos Hídricos Área de Documentación	PAGINA
o	RESUMEN Y CONCLUSIONES	
1.	INTRODUCCION	1-1
1.1	Origen del Estudio y Antecedentes de Interés	1-1
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 Válvulas y Vertedero del Embalse Conchi".	2-14
2.12	Informe sobre el Tranque Sloman	2-14
2.13	Informe: "Factibilidad Técnica de Aprovechamiento de los Embalses Sloman y Santa Fe".	2-15
2.14	Informe : "Proyecto de Modificación y Reparaciones Bocatoma Calama No.1".	2-15
3.	DETERMINACION DEMANDAS DE AGUA	3-1
3.1	Demandas No Agrícolas	3-1
3.2	Demandas Agrícolas	3-13
3.3	Resumen de Demandas al Sistema	3-65
4.	ESTUDIOS HIDROLOGICOS	4-1
4.1	Estadísticas de Gastos Medios Mensuales	4-1
4.2	Recuperaciones y Pérdidas en el Sistema	4-8
4.3	Pronóstico de Caudales Medios Mensuales	4-21
4.4	Estudios de Crecidas	4-28
5.	CALIDAD QUIMICA DE AGUAS DEL SISTEMA RIO LOA - RIO SALADO	5-1
5.1	Introducción	5-1
5.2	Estadísticas de Calidad de Aguas	5-1
5.3	Análisis de la C.E. de Distintos Puntos del Sistema	5-4
5.4	Relaciones de Modelación en Zonas de Recuperación y Pérdidas	5-18

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

TOMO II

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

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

TOMO DE ANEXOS

ANEXOS

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

INDICE DE PLANOS

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

3. DETERMINACION DEMANDAS DE AGUA

3.1 Demandas No Agrícolas

En este punto se realiza un análisis de las extracciones históricas y actuales de agua para los servicios de agua potable y usos industriales que afectan directamente al sistema río Loa, y se hace una proyección de posibles extracciones futuras, de acuerdo a lo que los antecedentes disponibles actualmente permiten prever.

3.1.1 Extracciones Aguas Arriba del Embalse Conchi

3.1.1.1 Uso Agua Potable

Las extracciones actualmente existentes para agua potable aguas arriba del embalse Conchi, y que afectan los recursos disponibles para dicho embalse, se concentran en la bocatoma Lequena de SENDOS. Esta captación inició su operación en Junio de 1972, y durante 1980, se realizaron trabajos de mejoramiento que permitieron aumentar su capacidad de captación. Para estimar los caudales efectivamente captados existen datos de aforos concurrentes efectuados en el río Loa aguas arriba y aguas abajo de la captación (Tabla I.1, Anexo I), entre Noviembre de 1973 y Enero de 1982; con posterioridad a dicha fecha sólo existen aforos aguas arriba de la captación. Además, existen registros en la estación fluviométrica de Loa en Lequena, aguas arriba de la bocatoma.

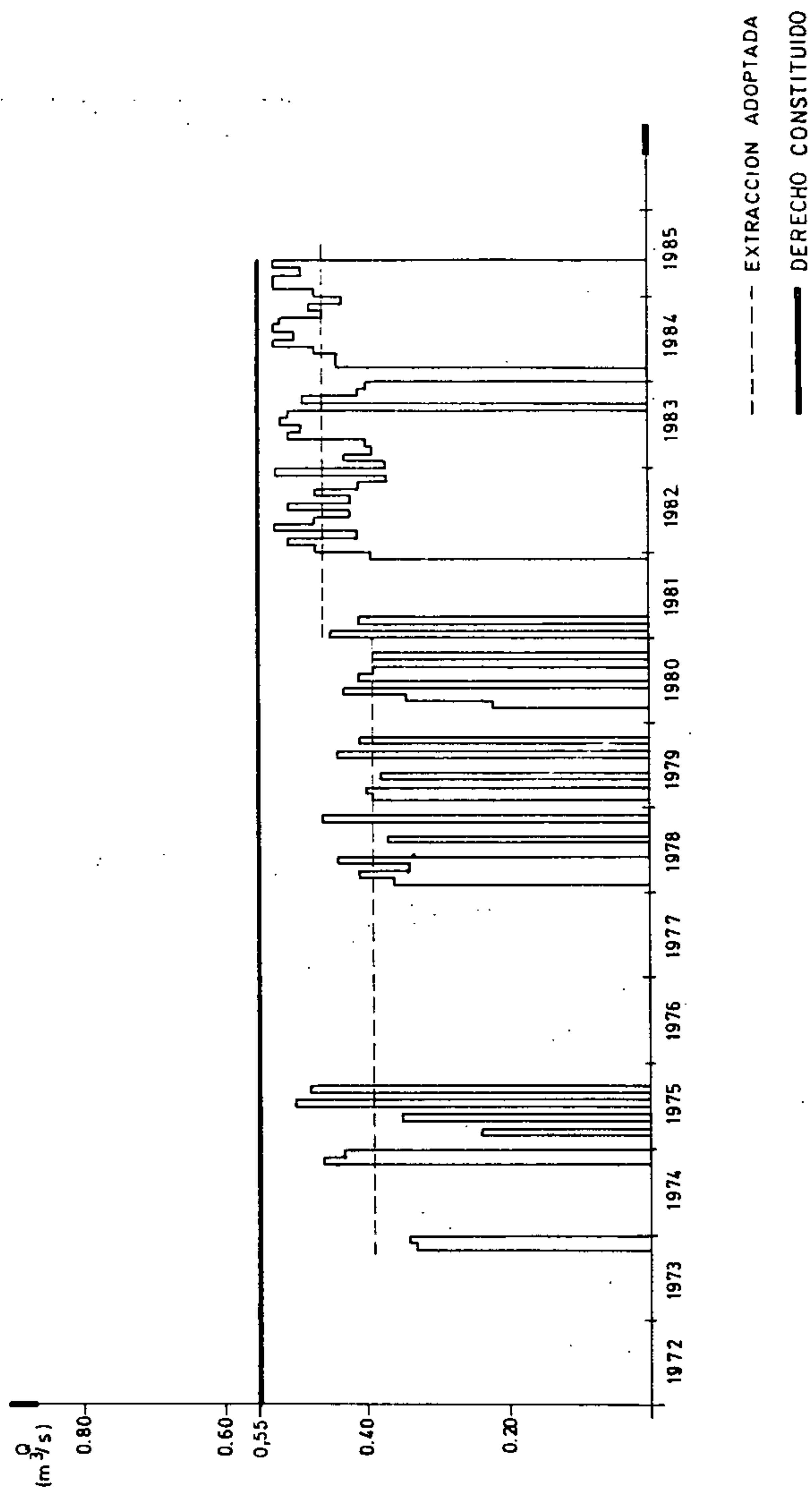
Haciendo un análisis de la información disponible, se puede apreciar el efecto que tuvo el mejoramiento de las obras de captación realizado durante 1980, el que se manifiesta en una disminución del caudal del río Loa aguas abajo de la captación, en los aforos realizados con posterioridad a Diciembre de 1980. Habida consideración de lo anterior, se adoptó como extracción en Lequena para SENDOS, un caudal de 389 l/s, que

corresponde al promedio de la diferencia de los aforos concurrentes, aguas arriba y aguas abajo de la captación, en el periodo Junio de 1972 a Diciembre de 1980. Para el periodo posterior, desde Enero de 1981 en adelante y hasta el final del periodo adoptado para el análisis (Julio de 1985) se supuso que :

- a) quedaba un sobrante no captado de 20 l/s, lo que es concordante con los pocos aforos existentes aguas abajo de la captación entre 1981 y 1982.
- b) la captación tiene una capacidad máxima de 525 l/s (IFARLE Ingenieros Civiles Consultores. 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". SENDOS II Región, Marzo 1982. Con las consideraciones anteriores, se calculó, sobre la base de los aforos aguas arriba de la captación, un promedio de caudal captado de 460 l/s, para el periodo Enero de 1981 a Abril de 1985 y que se supone válido hasta el término del periodo de análisis, (Julio de 1985), (Fig.3.1).

El agua captada en la bocatoma Lequena, llega a la planta de tratamiento Topater, en la cual en los meses de Abril a Agosto, se produce un excedente de alrededor de 30 a 50 l/s, los cuales se botan al río Loa en Calama, entre la ubicación de la estación fluviométrica en Yalquincha y la bocatoma principal de los canales de riego de Calama. Estos valores de caudal corresponden a una estimación hecha por personal de SENDOS.

Aparte de la bocatoma SENDOS en Lequena, para fines de abastecimiento de agua potable existe el proyecto de SENDOS de construir una bocatoma en Quinchamale. Este lugar se ubica en el curso del río Loa unos 3 km aguas arriba de su confluencia con el río San Pedro. En este lugar el río Loa ya ha recuperado un caudal suficiente, luego de haber sido prácticamente secado en Lequena, como para contemplarse un gasto de captación de 300 l/s según el proyecto SENDOS. Este proyecto debe entrar próximamente a su etapa de construcción.



ESTIMACION DE LA EXTRACCION MEDIA MENSUAL EN BASE A AFOROS
BOCATOMA LEQUENA DE SENDOS.

FIGURA
3.1

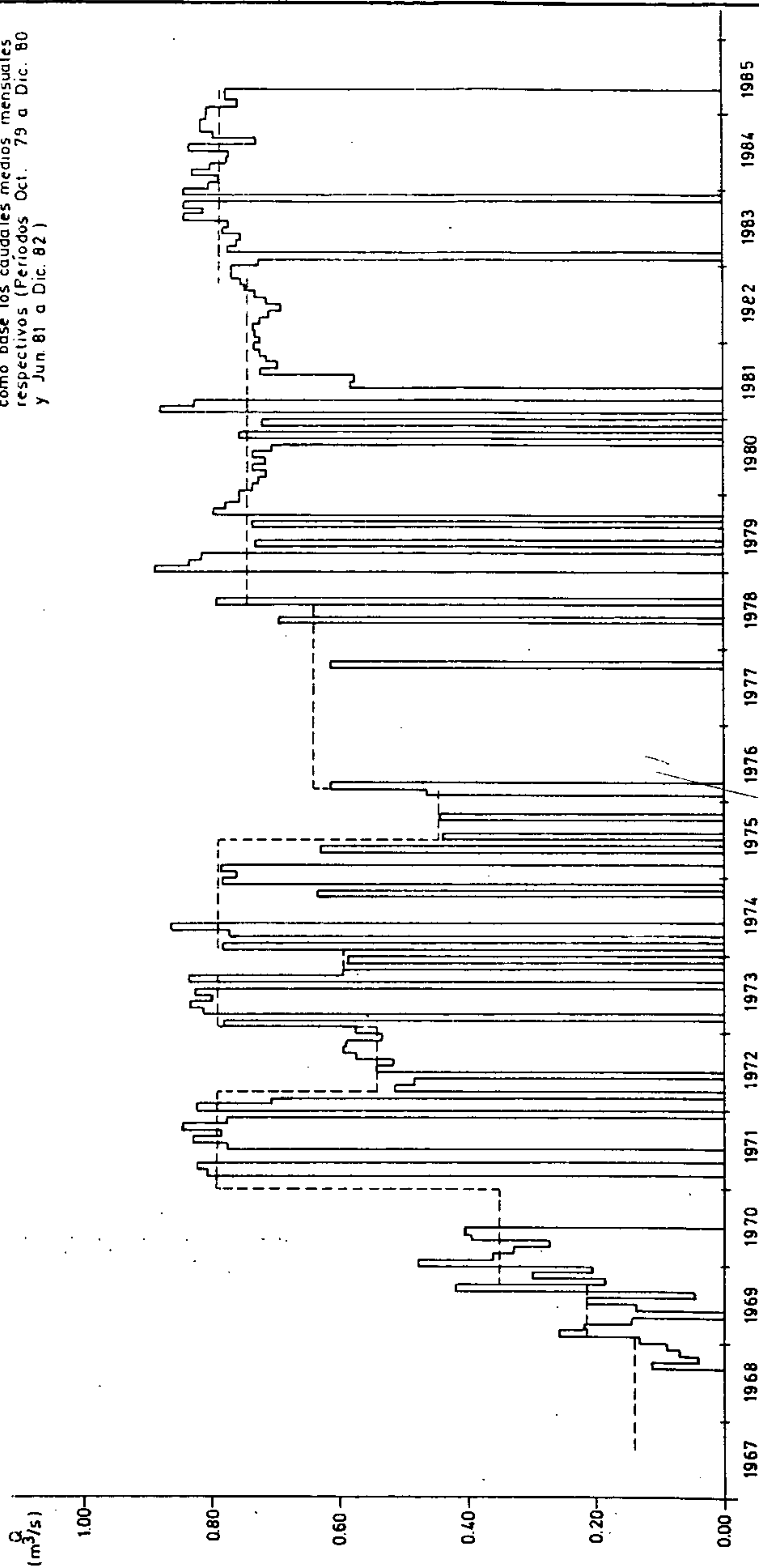
El informe de IFARLE ya citado, menciona también la posibilidad de mejorar la capacidad de conducción de la aducción Lequena, de su actual máximo de 525 l/s a un máximo potencial de 550 l/s, limpiando la tubería. Desde el punto de vista de los recursos disponibles en el río, este aumento de capacidad máxima se podría ocupar sólo en algunos periodos de tiempo y por lo tanto, en términos de los recursos sobrantes en el río, que eventualmente se manifestarían como entradas al embalse Conchi, tendría muy poca influencia.

De acuerdo con lo anterior, como escenario de simulación del sistema a futuro, bastaría con considerar una mayor extracción de 300 l/s para agua potable, aguas arriba de Conchi.

3.1.1.2 Uso Agua Industrial

Las extracciones actualmente existentes de uso industrial aguas arriba del Embalse Conchi, corresponden a las efectuadas por CODELCO-CHILE División Chuquicamata, mediante la Bocatoma Chilex ubicada en el río San Pedro. Para evaluar la magnitud de estas extracciones y su comportamiento histórico se utilizó, aforos concurrentes en el tiempo (o bien gastos medios mensuales cuando existían) efectuados en San Pedro en Parshall II y San Pedro en Cruce con Camino Internacional (Tabla I.2, Anexo I); estas secciones se ubican aguas arriba y aguas abajo de la captación, respectivamente. En la Fig. 3.2 se muestra el análisis de la estimación de la extracción media mensual histórica en la Bocatoma Chilex. En la figura se distingue secuencias de meses en los cuales la extracción se sitúa a niveles significativamente diferentes a los periodos anteriores o posteriores. Finalmente, se ha adoptado como extracción histórica en este punto, valores promedios de estas secuencias como representativos de las extracciones del periodo abarcado. En la tabla siguiente se presentan estos valores promedios, señalando el periodo considerado, número de aforos existentes y el coeficiente de variación calculado con los valores individuales.

NOTA : Cuando se tuvo disponible, se tomó como base los caudales medios mensuales respectivos (Períodos Oct. 79 a Dic. 80 y Jun. 81 a Dic. 82)



----- EXTRACCION ADOPTADA

ESTIMACION DE LA EXTRACCION MEDIA MENSUAL EN BASE A AFOROS.
BOCATOMA CHILEX EN RIO SAN PEDRO.

FIGURA
3.2

Cabe señalar, por otra parte, que dentro del sistema no se consideran las extracciones en las bocatomas de Inacaliri y Colana, lo anterior se fundamenta en los siguientes aspectos : 1) Ambas bocatomas se ubican en la cuenca alta del río San Pedro-Inacaliri por lo cual tendrían un efecto indirecto, de poca importancia y de difícil evaluación; 2) dadas las características del río San Pedro, resulta más razonable independizar del sistema dichas extracciones que incluirlas.

TABLA 3.1

Extracciones históricas del río San Pedro en
Bocatoma Chilex

PERIODO	Q (l/s)	No. DE AFOROS	COEF. DE VARIAC. Cv
Sep.1968-Ene.1969	140	7	0,262
Feb.1969-Sep.1969	216	9	0,117
Oct.1969-Dic.1970*	351	13	0,323
Ene.1971*-Mar.1972*	794	10	0,023
Abr.1972*-Ene.1973	544	9	0,062
Feb.1973-Sep.1973	791	7	0,059
Oct.1973-Ene.1974*	594	2	0,008
Feb.1974*-Jun.1975*	791	10	0,059
Jul.1975-Feb.1976	448	3	0,032
Mar.1976-Jul.1978	642	3	0,073
Ago.1978-Ago.1982	746	31	0,074
Sep.1982-Abr.1985	790	33	0,042

NOTAS:

- Para los períodos anteriores a Julio 1975 se adoptaron los mismos valores y períodos considerados en el informe de Espíldora et al (1979).
- * Indica que los inicios y fin de períodos son estimados porque existen meses sin datos en la división.

En cuanto a situaciones futuras que pueden preverse con respecto a extracciones de agua para uso industrial aguas arriba del embalse Conchi, deben mencionarse las eventuales mayores extracciones que podría hacer CODELCO-Chile División Chuquicamata, en la cuenca del río San Pedro aguas arriba de la actual captación. En efecto, dentro de los estudios de exploración de nuevas fuentes que ha llevado a cabo CODELCO para abastecer de agua a sus sistemas de procesos industriales, se ha analizado la posibilidad de efectuar mayores extracciones de aguas subterráneas en la zona de los ojos del San Pedro, lugar de nacimiento de este río. Cabe conjeturar que, de producirse estas mayores extracciones, ellas afectarían de alguna forma la producción de recursos superficiales y/o subterráneos de la hoya hidrográfica del río San Pedro. De estos recursos, CODELCO ya capta una parte importante de los recursos superficiales en la Bocatoma Chilex en el curso bajo del río San Pedro, aguas abajo de la estación fluviométrica Parshall II, quedando en la actualidad un remanente promedio, que se registra en San Pedro en Cruce Camino Internacional, de unos 50 l/s; de producirse una merma en los recursos superficiales del río San Pedro, habría que suponer que estos 50 l/s tenderían a anularse. Por otro lado, de acuerdo al análisis del balance hídrico del tramo del río Loa entre la confluencia con el San Pedro y la entrada al Embalse Conchi (ver capítulo 4) se deduce que en dicha zona se produce una recuperación del caudal del Loa estimada en unos 200 l/s; esta recuperación debe atribuirse principalmente a los aportes subsuperficiales y subterráneos de la hoya hidrográfica del río San Pedro, y consecuentemente, sería razonable suponer que, al menos parcialmente, se vería disminuida de producirse mayores extracciones de agua subterránea en la zona de Ojos del San Pedro.

3.1.1.3 Resumen de extracciones históricas aguas arriba del Embalse Conchi

De acuerdo con el diagnóstico presentado para agua potable y uso industrial en los puntos anteriores, se resumen en la tabla siguiente las extracciones históricas aguas arriba del Embalse Conchi.

TABLA 3.2

Extracciones históricas aguas arriba del embalse Conchi
(l/s)

PERIODO	BOCATOMA CHILEX SAN PEDRO	BOCATOMA LEQUENA	TOTAL EXTRACC.
Haata Ene.1969	140	-	140
Feb.1969-Sep.1969	216	-	216
Oct.1969-Dic.1970	351	-	351
Ene.1971-Mar.1972	794	-	794
Abr.1972-May.1972	544	-	544
Jun.1972-Ene.1973	544	389	933
Feb.1973-Sep.1973	791	389	1.180
Oct.1973-Ene.1974	594	389	983
Feb.1974-Jun.1975	791	389	1.180
Jul.1975-Feb.1976	448	389	837
Mar.1976-Jul.1978	642	389	1.031
Ago.1978-Dic.1980	746	389	1.135
Ene.1981-Ago.1982	746	460	1.206
Sep.1982-Abr.1985	790	460	1.250

3.1.2 Extracciones Aguas Arriba de Salado en Ayquina

3.1.2.1 Uso Agua Potable

En la cuenca del río Salado, aguas arriba de la localidad de Ayquina, existen extracciones de agua potable realizadas por CODELCO-Chile División Chuquicamata y por SENDOS.

En primer lugar, CODELCO tiene una captación en el arroyo Linzor, afluente del río Toconce, para fines de abastecimiento de agua potable de Chuquicamata. Esta captación funciona normalmente a plena capacidad (50 l/s según los informes de Espildora B. et al (1979), IFARLE (1982) y según antecedentes recogidos en terreno.

Agua abajo de la captación de CODELCO, en el mismo arroyo Linzor, existe una captación antigua para el agua potable de Tocopilla, denominada la Canaleta Linzor. Esta Canaleta, según los informes anteriores, habría funcionado con 115 l/s hasta Mayo de 1970. Posteriormente se desmanteló la canaleta y actualmente, sólo se captan 25 l/s que se conducen hasta el estanque de Toconce; el resto escurre hacia el río Toconce.

En el río Toconce existe una captación de Sendos, esta tiene un pequeño arranque mediante el cual se entrega agua de riego al pueblo de Toconce; según informes anteriores la extracción se estima en 15 l/s continuos. El resto del agua captada abastece a la ciudad de Antofagasta; a esta se agrega el caudal captado por Sendos en Linzor, que pasa por el estanque de Toconce. Un análisis de estas extracciones en el período histórico, lleva a considerar para el lapso que abarca desde el comienzo de las extracciones (Septiembre de 1958) a Agosto de 1961, un promedio de 300 l/s; luego, estas extracciones habrían aumentado en el período comprendido entre Septiembre de 1961 y Mayo de 1970, a un promedio de 375 l/s, debido principalmente a un traspaso desde el río Hojalar efectuado aguas arriba de la bocatoma. Por último a partir de entonces a la fecha, las extracciones se ubicarían a un nivel de 435 l/s, cifra que resulta similar a los valores de aforos existentes en el período, aguas arriba y aguas abajo de la bocatoma, este aumento se habría producido debido a que la canaleta Linzor redujo su captación de 115 l/s dejando mayores excedentes en el río.

En el río Caspana existe una captación destinada principalmente a abastecer de agua de riego al pueblo de Caspana; en informes anteriores (IFARLE, 1982) esta extracción se estima del orden de 50 l/s.

3.1.2.2 Uso Agua Industrial

Las extracciones que se realizan aguas arriba de la localidad de Ayquina para uso industrial, corresponden a los efectuados por CODELCO-Chile División Chuquibambilla, mediante la Represa Chilex en el río Salado.

De acuerdo con antecedentes entregados en el informe de IFARLE (1982), a partir de 1953 las extracciones para uso industrial en el río Salado serían de 340 l/s, luego en Mayo de 1961 se desvían hacia el río Salado 190 l/s del río Hojalar y a su vez se dejan de captar 120 l/s del río Salado que pasan a integrar el caudal de dicho río. De esta forma, y a partir de la fecha indicada, la Represa Chilex capta un total de 410 l/s. Por aforos efectuados aguas arriba y aguas abajo de la represa, por la D.G.A., en los periodos Octubre de 1971 a Octubre de 1975 y de Febrero de 1978 a Noviembre 1978, se confirma la cifra de 410 l/s hasta Abril de 1976 y posteriormente la extracción aumentaría a 530 l/s; este nivel de extracción se mantiene hasta la actualidad.

3.1.2.3 Resumen de extracciones históricas aguas arriba de Salado en Ayquina

De acuerdo con el diagnóstico presentado para agua potable y uso industrial en los puntos anteriores, se resumen en la tabla siguiente las extracciones históricas aguas arriba de Salado en Ayquina.

TABLA 3.3

Extracciones históricas aguas arriba de Salado en Ayquina
(l/a)

CAPTACION	ANTES DE	SEP 1958	JUN 1961	SEP 1961	MAY 1970	MAY 1976
	AGO 1958	A	A	A	A	A
		MAY 1961	AGO 1961	MAY 1970	ABR 1976	ABR 1985
ADUCCION LINZOR	50	50	50	50	50	50
CANALETA LINZOR-TOCOPILLA	115	115	115	115	25	25
PUEBLO TOCONCE	15	15	15	15	15	15
CAPTACION DOS TOCONCE	-	300	300	375	435	435
ANTOFA-GASTA						
CAPTACION CHILEX	340	340	410	410	410	530
PUEBLO CASPANA	50	50	50	50	50	50
TOTAL	570	870	940	1.015	985	1.105

3.1.3 Otros Puntos de Extracción

Además de las extracciones señaladas anteriormente, existen extracciones no agrícolas en los ríos Loa y San Salvador en el sector de Chacance. Estas corresponden a las que realiza SOQUIMICH para las salitreras. En el río San Salvador existe la bocatoma Coya sur; según el informe de Espildora et al (1979), se extraería un gasto de 27 l/s. En el río Loa existe una Bocatoma aguas arriba del río San Salvador, que surte a Vergara y Pedro Valdivia y existe una Bocatoma aguas abajo del río San Salvador, que abastece a María Elena; según el informe de Jorge Díaz (*), las extracciones serían de 67 l/s y 65 l/s respectivamente, valores que son algo inferiores a los adoptados por Espildora et al (1979).

En cuanto a la situación futura con respecto a extracciones en esta zona, no es posible prever aumentos importantes para las salitreras, aún cuando estas tienen derechos legales constituidos que les permitirían hacer extracciones sustancialmente mayores a las que actualmente hacen.

(*) Jorge Díaz, "Balance Hidrológico del Área de Quillagua. Cuenca del río Loa. II Región". Departamento de Hidrología. Dirección General de Aguas. M.O.P.
Antofagasta. Abril 1983.

3.2 Demandas Agrícolas

3.2.1 Introducción

Con la finalidad de aplicar el modelo de simulación y cuantificar las demandas de riego, se procedió a estudiar las tasas de riego para cada una de las áreas de riego del sistema río Loa (Lasana, Chiu-Chiu, Calama y Quillagua).

La metodología aplicada, corresponde primeramente a recopilar y ordenar la información contenida en estudios anteriores disponibles sobre tasas de riego para la situación actual, señalando los principales supuestos y resultados a los cuales se llega en esos estudios.

En seguida se procedió a determinar una tasa de riego que a juicio del consultor representará en una forma fidedigna la situación actual.

Cabe señalar expresamente que la tasa de riego determinada por este consultor no pretende comprometer las tasas oficiales de la D.G.A.

Con respecto a las demandas agrícolas totales por oasis, éstas se determinaron de la siguiente manera.

Las demandas agrícolas totales actuales se determinan aplicando las tasas de riego calculadas por ICC-CONIC a las superficies cultivadas determinadas en un estudio reciente (1981) de COSERREN.

Las demandas agrícolas totales futuras se han supuesto que corresponden a aplicar las tasas de riego asignadas por la D.G.A., a las superficies agrícolas con derechos de aprovechamiento según esta misma institución.

3.2.2 Base Teórica

El cálculo de la tasa de riego para un área o zona determinada se resume a continuación.

Conocida la Evapotranspiración Potencial (ETP) para una zona, la Evapotranspiración Real para un cultivo "i" se puede calcular como :

$$ETR_i = ETP * K_i$$

en que :

ETR_i = Evapotranspiración real del cultivo "i"

ETP = Evapotranspiración potencial

K_i = Coeficiente de cultivo "i"

Conociendo la distribución de cultivos, las necesidades de lixiviación de éstos y la eficiencia global del riego, se podrá determinar la tasa de riego a nivel de bocatoma de la zona como :

$$TR = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{100} ETR_i \frac{1}{(1-NL_i)} \frac{1}{EGR}$$

Donde

S_i = Superficie porcentual del cultivo "i" en la zona de riego

NL_i = Necesidad de lixiviación del cultivo "i"

EGR = Eficiencia global del riego a nivel de bocatoma

n = Número de cultivos de la zona de riego

La necesidad de lixiviación se determina como :

$$NL_i = \frac{CE_{ar}}{CE_{ad}}$$

donde

CEar = Conductividad eléctrica del agua riego

CEad = Conductividad eléctrica del agua de drenaje

La eficiencia global de riego (EGR) incluye tanto la eficiencia de aplicación como la de conducción, y se calcula como :

$$EGR = EA * EC$$

donde :

EA : Eficiencia de aplicación

EC : Eficiencia de conducción

3.2.3 Estudios Existentes

3.2.3.1 Estudio U. de Chile - Corfo. Estudio de los recursos hídricos de la cuenca del río Loa. Año 1973

En este estudio se realizaron las siguientes consideraciones :

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se adoptaron los valores obtenidos al aplicar el método de Hargreaves I a los valores de evaporación medios diarios.

Este método basado en mediciones directas desde la bandeja evaporimétrica, toma en cuenta además fenómenos como el de advección (transferencia de calor que favorece la evaporación en los oasis), y sus valores concuerdan con los de Calama y otros lugares de similar aridez.

La evapotranspiración potencial se estima en un 80% del valor de 28.536 m³/há/año, llegándose a un valor de 22.895 m³/há/año.

Las necesidades de lavado se estimaron en un 30%.

3.2.3.2 Estudio de Harza

En este estudio se llega a una cifra de 16.850 m³/há/año para la evapotranspiración potencial de los oasis de Lasana, Chiu-Chiu y Calama.

Las eficiencias de riego consideradas son de 75% para la eficiencia de aplicación y un 90% para la eficiencia de conducción.

Las necesidades de lixiviación por oasis se estimaron en 15% para Lasana y Chiu-Chiu y un 20% para Calama.

Las superficies cultivadas y distribución de cultivos por oasis se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 3.4

Superficie y distribución de cultivos según Harza

	OASIS			
	Lasana	Chiu-Chiu	Calama	Quillagua
Superficie cultivada en há	62,78	92,66	991,22	115,20
Distribución de cultivos. En porcentaje				
Trigo	10	14	17	
Cebada	-	-	7	
Choclo	39	2	15	
Alfalfa	31	58	59	
Vegetales	20	25	2	

Finalmente entrega como tasas efectivas en m³/há/año los valores de 27.800 para Lasana y Chiu-Chiu y 28.700 para Calama.

3.2.3.3 Informe de Basilio Espildora et al, "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi-Rio Loa". 1979

La tasa de evapotranspiración adoptada en este estudio corresponde a la del estudio U. de Chile-Corfo y es común a todos los oasis.

Las tasas de los distintos oasis resultan de aplicar la eficiencia global, NG, al valor de evapotranspiración, luego

$$T = ET/NG$$

$$\text{donde } NG = \frac{Nr * Nc}{1 + NL}$$

NG : Eficiencia global
Nr : Eficiencia de riego
Nc : Eficiencia de conducción
NL : Necesidad de lavado

Para las necesidades de lavado, aplicando una metodología que toma en cuenta el concepto de salinidad efectiva, concluye que el valor límite para la solución del suelo es de 6,0 mmhos/cm. Las necesidades de lavado se estiman de la siguiente expresión :

$$NLx = (16,3 * CE_{ar} - 10,8) \quad CE_{ar} \text{ en mmhos/cm}$$

De donde se obtienen los valores de NL para los distintos oasis.

Oasis	CEar	NLx
Lasana	2,500	30
Chiu-Chiu	2,500	30
Calama	4,500	63
Quillagua	9,000	136

Para N_c y N_r Espildora entrega como rangos :

$$\begin{aligned} 0,8 < N_r < 0,9 \\ 0,75 < N_c < 0,8 \end{aligned}$$

Luego las eficiencias globales en porcentaje por oasis resultantes son :

<u>Oasis</u>	<u>NG</u>
Lasana	40
Chiu-Chiu	35
Calama	50
Quillagua	45

Las superficies cultivadas por oasis supuestas son las siguientes :

<u>Oasis</u>	<u>Superficie cultivada en há</u>
Lasana	40
Chiu-Chiu	134 (100 há corresponden a vegas)
Calama	1.000
Quillagua	120

Finalmente los valores determinados para demandas a nivel de bocatoma son :

<u>Oasis</u>	<u>Demandas en m³/há/año</u>
Lasana	57.237
Chiu-Chiu	63.072
Calama	45.790
Quillagua	50.867

Llama la atención la variación relativa de los valores de las tasas obtenidas en este estudio, por esto vale señalar que el objetivo del estudio es reflejar la situación existente con un grado de aproximación y posteriormente efectuar una simulación a fin de evaluar las consecuencias del aumento o disminución de la tasa adoptada. Estos valores están bastante lejos de las tasas racionales por lo cual no se deben efectuar conclusiones inadecuadas de los resultados obtenidos.

3.2.3.4 Informe Niemeyer. Estudio de Racionalización del área de riego del Río Loa, 1979

Para determinar la Evapotranspiración Potencial H. Niemeyer recurre al uso de la bandeja Tipo A o tanque evaporímetro; para determinar los coeficientes de cultivo interpola en las curvas construidas con los valores dados por J. Tosso en la publicación "Nueva Fórmula para la Determinación de Evapotranspiración en Chile", Agosto de 1974; por J. Doorenbos & W.O. Pruitt en "Las Necesidades de agua de los cultivos", y por el Estudio FAO : "Riego y Drenaje No.24" Roma 1976; y, por C. Romanella : Curso: "Operación, Mantenimiento y Desarrollo de Distritos de Riego" IICA, 1974.

Los valores de evapotranspiración potencial determinados son de 23.708 m³/há/año para Lasana, Chiu-Chiu y Calama y de 19.832 m³/há/año para Quillagua.

La distribución mensual de esta está dada en la Tabla 3.5, la cual entrega los valores del factor de distribución con respecto al valor medio anual.

TABLA 3.5

IOASIS	LASANA, CHIU-CHIU	QUILLAGUA
MES	Y CALAMA	
E	1,14	1,39
F	1,07	1,52
M	1,00	1,17
A	0,91	0,88
M	0,84	0,54
J	0,75	0,54
J	0,78	0,48
A	0,85	0,77
S	1,04	1,00
O	1,18	1,16
N	1,22	1,24
D	1,22	1,32

Con respecto a las superficies cultivadas y distribuciones de cultivos estas son las siguientes :

Superficie en há.

Lasana	Chiu-Chiu	Calama	Quillagua
70	100	1.110	120

TABLA 3.6

Distribución de cultivos por oasis en porcentaje

	LASANA	CHIU-CHIU	CALAMA	QUILLAGUA
Zanahorias	15,9	22,9	-	-
Alfalfa	31,7	56,3	59,7	100,0
Ajo	1,6	3,1	-	-
Trigo/cebada	9,5	14,6	24,6	-
Maíz grano	38,1	2,1	3,4	-
Maíz choclo	1,6	1,0	12,1	-
Hortalizas	1,6	-	0,2	-

Para determinar las necesidades de lixiviación, Niemeyer recurre al Handbook 60 del U.S Department of Agriculture.

Así, para determinar la cantidad de agua adicional en la cual se debe incrementar la lámina de agua, se determina $NL\% = CE_{ar}/CE_s$, donde CE_s es la conductividad eléctrica que se ha convenido dejar al suelo, lo cual es lo mismo que multiplicar por $(1+NL\%/100)$ y se obtiene la tasa de riego incluyendo la lixiviación.

Las necesidades de lavado por oasis resultan así las siguientes :

Lasana	Chiu-Chiu	Calama	Quillagua
66%	68%	88%	93,5%

Los valores de eficiencias considerados son :

Eficiencia de riego 70% (incluye conducción predial)

Eficiencia de conducción :

Lasana	Chiu-Chiu	Calama	Quillagua
90%	80%	95%	80%

Finalmente Niemeyer llega a las siguientes tasas de riego a nivel de bocatoma para los distintos oasis en m³/há/año :

Lasana	27.940
Chiu-Chiu	32.797
Calama	31.788
Quillagua	50.994

Esta tasa considera que el mínimo caudal captado y posible de conducir es de 30 l/s.

3.2.3.5 Informe de la Dirección de Riego "Seguimiento de la Calidad Química de Aguas del Sistema Loa-Conchi y su efecto sobre las demandas agrícolas", por Edgardo Lara, 1985

En este estudio la Evapotranspiración potencial y real son tomadas del Estudio de Racionalización del Area de Riego del río Loa de H. Niemeyer.

Las superficies de los distintos oasis se adoptaron según lo determinado por COSERREN en su estudio de fotointerpretación de fotografías aéreas de septiembre de 1981 y cuyos resultados se incluyen en la siguiente Tabla 3.7 :

TABLA 3.7

Uso actual del suelo, y distribución de cultivos para los oasis de Calama, Lasana, Chiu-Chiu y Quillagua según Coserren

Uso	Calama		Lasana		Chiu-Chiu		Quillagua	
Actual	hás	%	hás	%	hás	%	hás	%
Alfalfa	530,62	58,17	21,82	35,25	55,78	23,72	107,93	76,68
Maíz	1283,75	31,11	13,60	21,97	19,60	8,33	2,14	1,52
Hortalizas	0,94	0,10	21,38	34,54	70,72	30,07	-	-
Praderas y Vegas	82,66	9,06	5,10	8,24	86,80	36,91	30,68	21,80
Trigo	14,22	1,56	-	-	2,25	0,97	-	-
Total	912,19	100,00	61,90	100,00	235,15	100,00	140,75	100,00

Asimismo para determinar las necesidades de lixiviación se consideraron las estadísticas de conductividad eléctrica del subprograma de calidades de agua de la Dirección de Riego, adoptándose los siguientes valores promedio :

Calama	6,484 mmhos/cm	Valor obtenido del promedio entre : Loa en Yalquincha Loa en Pte. Dupont Loa en La Finca
Lasana	2,619 mmhos/cm	Valor correspondiente al obtenido en : Loa en puente Lasana
Chiu-Chiu	2,710 mmhos/cm	Valor obtenido del promedio entre : Loa en puente Lasana Loa antes de Salado
Quillagua	8,843 mmhos/cm	Promedio de los años 1975 a 1978 de la D.G.A.

Los criterios usados para determinar la conductividad aceptable del extracto de saturación del suelo, son los que se señalan a continuación.

Alfalfa : Calama, restricción de un 50% sobre los rendimientos; Lasana y Chiu-Chiu, restricción al 90% de los rendimientos; Quillagua valor comprendido entre restricción en 50% de los rendimientos y el máximo tolerable.

Maíz : Calama, valor intermedio entre restricción de 50% de rendimientos y máximo permisible; Lasana y Chiu-Chiu, restricción a 75% del rendimiento máximo posible; Quillagua tolerancia máxima.

Hortalizas : Promedios entre varias hortalizas incluyendo zanahorias con varias restricciones de rendimientos.

Trigo : Calama con restricción a 75% de rendimiento máximo; Chiu-Chiu sin restricción de rendimientos.

Los valores finalmente utilizados se incluyen en la Tabla 3.8

TABLA 3.8

Conductividad Eléctrica del Suelo en mmhos/cm y Requerimientos de Lixiviación en porcentaje para distintos cultivos en Oasis derivados por Sistema Conchi Loa. Según E. Lara, 1985.

	Calama		Lasana		Chiu-Chiu		Quillagua	
	Ces	Lr %	Ces	Lr %	Ces	Lr %	Ces	Lr %
Alfalfa	7,1	91,0	3,4	67,0	3,4	79,8	10,95	80,8
Maíz	8,0	81,1	3,8	68,9	3,8	71,4	10,00	88,4
Hortalizas	7,1	91,0	3,8	68,9	3,8	71,4	-	-
Trigo	7,4	87,6	-	-	6,0	45,2	-	-

Además se considera para las vegas una tasa de riego de un 50% de la tasa de riego de la alfalfa.

Las eficiencias usadas son las siguientes :

Eficiencia de aplicación 80%

Eficiencia de conducción intrapedial 95%

Eficiencia de conducción canales 90%

Finalmente, las tasas de riego a nivel de bocatoma determinadas, son las siguientes en m³/há/año por oasis.

Calama	32.476
Lasana	24.982
Chiu-Chiu	21.040
Quillagua	34.243

3.2.3.6 Otros Estudios

De los numerosos estudios anteriores realizados por la Dirección de Riego, se puede obtener la siguiente información.

Las áreas de los oasis se estiman en :

Chiu-Chiu y Lasana	182 há
Calama	1.000 há
Quillagua	122 há

Las distribuciones de cultivo han sido estimadas por distintos autores en :

Sr. S. Rivera para Calama	Alfalfa	75%
	Trigo	12,5%
	Maíz	12,5%
Sr O. Ossa para Calama	Chacras	10,45%
	Cereales	10,45%
	Praderas	71,1 %

Con respecto a las necesidades de lixiviación

Sr S. Rivera la estimó en 44%

Sr A. Monsalve la estimó en 30%

Finalmente las tasas propuestas en diferentes estudios son las siguientes en m³/há/año.

Tasa 1	27.790
Tasa 2	28.570
Tasa 3	27.240

3.2.4 Proposición de una nueva tasa de riego para la situación actual

3.2.4.1 Evapotranspiración Potencial

Una de las principales dificultades para determinar la tasa de riego correspondiente a cada oasis consiste en estimar correctamente la Evapotranspiración Potencial (ETP).

Al analizar las distintas alternativas para ello, para Calama se adoptó el valor determinado en el Estudio U. de Chile-Corfo realizado en el año 1973 y que en su oportunidad fue estudiado acuciosamente y en profundidad. Los antecedentes posteriores disponibles no justifican una modificación de este valor y sólo ratifican que el valor adoptado es apropiado.

El valor medio anual de la ETP para Calama adoptado, es en consecuencia de 6,28 mm/día.

A objeto de estimar la evapotranspiración potencial en los oasis de Lasana y Chiu-Chiu, teniendo en cuenta la influencia del poder evaporante de la atmósfera en estos oasis, se recurrió a las estadísticas de evaporación desde bandeja registradas por la D.G.A. en Chiu-Chiu y Calama entre 1976 y 1984 (ver Anexo I) según se indica a continuación.

Dichos registros, permiten calcular los siguientes valores promedio anual de evaporación desde bandeja :

Chiu-Chiu	:	Eb = 7,27 mm/día
Calama	:	Eb = 8,84 mm/día

De estos antecedentes se puede deducir que el poder evaporante de la atmósfera, y en consecuencia, la evapotranspiración potencial (ETP) es mayor en Calama que en Chiu-Chiu (y en Lasana).

Sobre la base de este antecedente, se ha supuesto que la ETP media anual de Chiu-Chiu (o Lasana) y la ETP media anual de Calama, están en la misma proporción que las respectivas evaporaciones medias anuales registradas en los evaporímetros de bandeja. Es decir :

$$\begin{array}{rclclcl} \text{ETP de Chiu-Chiu} & & \text{Eb de Chiu-Chiu} & & 7,27 \\ \hline & = & & = & \\ \text{ETP de Calama} & & \text{Eb de Calama} & & 8,84 \end{array}$$

En consecuencia, adoptando la ETP de Calama que es de 6,28 mm/día, se tiene que :

$$\text{ETP de Chiu-Chiu} = \left(\frac{7,27}{8,84} \right) * 6,28 = 5,16 \text{ mm/día}$$

$$\text{ETP de Lasana} = 5,16 \text{ mm/día}$$

La información evaporimétrica registrada por la D.G.A. en el oasis de Quillagua abarca hasta el año 1979 y es muy escasa e incompleta (ver Tabla II.3 Anexo II). Por lo tanto, no se estimó adecuado usar el mismo método empleado en los oasis de Lasana, Chiu-Chiu y Calama para la determinación de la ETP en el oasis de Quillagua. Por este motivo se prefirió aplicar el mismo procedimiento desarrollado por H. Niemeyer en su informe "Estudio de Racionalización del Área de Riego del Río Loa 1979".

Dicho procedimiento consiste en el empleo del tanque evaporímetro Clase A. La evaporación de este tanque se obtuvo de antecedentes proporcionados por la D.G.A. y del "Modelo de Simulación y Planificación hidrológica y de constitución química. Su aplicación a la cuenca del Río Loa". Mario Lingah. 1976

El valor de la ETP media anual resulta ser :

$$\text{ETP de Quillagua} = 5,43 \text{ mm/día}$$

A objeto de estimar los valores mensuales de la ETP en cada oasis se ha aplicado un coeficiente de distribución mensual a los valores medios anuales calculados que se han indicado más arriba.

Este coeficiente de distribución corresponde, en cada oasis, al cuociente entre el promedio (en el periodo de registro) de la evaporación de bandeja de un mes dado y el promedio registrado de la evaporación anual. Los valores utilizados para este cálculo se incluyen en el Anexo II y los resultados obtenidos para dichos coeficientes de distribución se incluyen en la Tabla 3.9

TABLA 3.9

Coeficientes de distribución mensual con respecto al valor medio de la evapotranspiración potencial

	LASANA Y CHIU-CHIU (1)	CALAMA	QUILLAGUA
E	1,11	1,17	1,39
F	1,05	1,10	1,52
M	0,90	0,97	1,17
A	0,82	0,90	0,88
M	0,76	0,79	0,54
J	0,71	0,69	0,54
J	0,78	0,70	0,48
A	0,91	0,82	0,77
S	1,08	1,02	1,00
O	1,26	1,22	1,16
N	1,31	1,30	1,24
D	1,30	1,32	1,32

(1) Lasana se asimila a Chiu-Chiu por su cercanía.

En la Tabla 3.10 se entregan los valores mensuales de ETP para los distintos oasis.

A modo de ejemplo, para Calama para el mes de Enero, se tiene que el coeficiente de distribución mensual es 1,17, luego multiplicando este valor por la evapotranspiración media anual de 6,28 mm/día para este oasis, resulta que la evapotranspiración potencial en Enero para Calama es de 7,35 mm/día.

TABLA 3.10

Evapotranspiración potencial mensual y anual en los oasis

LASANA Y CHIU-CHIU			CALAMA		QUILLAGUA	
MES	mm/día	mm/mes	mm/día	mm/mes	mm/día	mm/mes
E	5,73	177,63	7,35	227,85	7,55	234,20
F	5,42	151,76	6,91	193,48	8,29	232,10
M	4,64	143,84	6,09	188,79	6,37	197,60
A	4,23	126,90	5,65	169,50	4,80	144,00
M	3,92	121,52	4,96	153,76	2,93	90,70
J	3,66	109,80	4,33	129,90	2,94	88,30
J	4,02	124,62	4,40	136,40	2,60	80,60
A	4,70	145,70	5,15	159,65	4,19	129,80
S	5,57	167,10	6,41	192,30	5,46	163,80
O	6,50	210,50	7,66	237,46	6,33	196,20
N	6,76	202,80	8,16	244,80	6,76	202,70
D	6,71	208,01	8,29	256,99	7,20	223,20
Promedio	5,16	156,75	6,28	190,92	5,43	165,27
Anual			mm/día		mm/día	
TOTAL	mm/año	1.884		2.291		1.983
ANUAL	m3/Ha/año	18.840		22.910		19.832

3.2.4.2 Distribución de cultivos y superficies cultivadas por oasis. Situación Actual

La distribución de cultivos adoptada está basada en la determinada por COSERREN en su estudio de fotointerpretación de la superficie de riego del río Loa con fotos aéreas tomadas en 1981. A pesar de ser un valor puntual por estar sacado de una foto, se estima que es una buena aproximación para la distribución, presentando la ventaja de conocerse el procedimiento y la fuente de dichos datos.

Las variaciones que se hicieron a los valores determinados por Coserren son los siguientes :

- En todos los oasis no se consideró el riego de vegas y su proporción fue distribuida proporcionalmente entre los cultivos restantes.
- En el oasis de Calama no se contabilizó el riego de hortalizas, por tratarse de una proporción mínima con respecto al total y porque posiblemente son chacras domiciliarias regadas con agua potable, por lo que no corresponde incluirlas en las tasas de riego.
- En el oasis de Quillagua, se supuso un 100% de cultivo de alfalfa. A pesar de existir un porcentaje mínimo de maíz en el oasis, esta suposición está por el lado de la seguridad, ya que la necesidad de agua de la alfalfa es mayor.

Finalmente, los valores de distribución de cultivos adoptados se incluyen en la Tabla 3.11.

TABLA 3.11

Distribución de cultivos adoptados para el estudio, en porcentaje

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

Para determinar las demandas actuales y calibrar el modelo, las superficies cultivadas consideradas por oasis, corresponden a las cifras entregadas por Coserren. Para las demandas futuras y la aplicación del modelo se usarán las cifras establecidas por la D.G.A. al asignar derechos de aprovechamiento (ver Tabla 3.12).

TABLA 3.12

Superficie cultivada en há por oasis

OASIS	SUPERFICIE (há)	
	D.G.A.	COSERREN
Lasana	54,32	56,80
Chiu-Chiu	175,97	148,35
Calama	1.103,12	829,53
Quillagua	143,10	110,07
TOTAL	1.476,51	1.144,75

3.2.4.3 Coefficiente de cultivo

Estos coeficientes se obtuvieron sobre la base de los determinados por J. Toaso en su estudio "Nueva fórmula para la determinación de la evapotranspiración en Chile", 1974.

Estos se determinaron en conjunto para Lasana, Chiu-Chiu y Calama por cultivo, y para el oasis de Quillagua, debido a sus condiciones climatológicas y prácticas de riego diferentes al resto de los oasis.

TABLA 3.13

Coeficientes de cultivo (KC) oasis de Lasana, Chiu-Chiu y Calama

CULTIVO MES	ALFALFA	TRIGO Y CEBADA	MAIZ	HORTALIZAS
ENERO	0,90	0,08	0,91	0,55
FEBRERO	0,95	-	0,64	0,65
MARZO	0,93	-	0,32	0,45
ABRIL	0,84	-	0,06	0,20
MAYO	0,68	-	-	0,20
JUNIO	-	-	-	0,20
JULIO	-	-	-	0,20
AGOSTO	-	0,15	-	0,20
SEPTIEMBRE	0,52	0,27	0,02	0,20
OCTUBRE	0,57	0,49	0,24	0,25
NOVIEMBRE	0,68	0,80	0,54	0,30
DICIEMBRE	0,79	0,86	0,82	0,45

Para el maíz se estimó un promedio entre 5 fechas de siembras con periodos variables entre 138 y 148 días según la fecha de siembra. Las fechas son las siguientes :

15 Sept. y 01 de Oct. : 138 días
 15 Oct. : 140 días
 01 Nov. : 142 días
 15 Nov. : 148 días

Para las hortalizas, se tomó en cuenta que este cultivo está formado por variadas especies de distintas características y con distintas épocas de siembra o plantación de cosechas.

A fin de determinar un valor medio representativo para las hortalizas se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones :

- Los valores correspondientes de los meses de Septiembre a Mayo, se estimaron con zanahorias, betarragas y ajos como cultivos con proporciones diferentes.
- Para los valores de Junio a Agosto, se consideró el cultivo de ajos y un valor adicional para evitar la deshidratación de cultivos ya desarrollados.

TABLA 3.14

Coeficientes de cultivo (Kc) oasis de Quillagua

CULTIVO		ALFALFA
MES		
E		0,90
F		0,95
M		0,93
A		0,84
M		0,68
J		0,52
J		0,52
A		0,52
S		0,52
O		0,57
N		0,68
D		0,79

3.2.4.4 Evapotranspiración Real por Oasis y Cultivo

En las Tablas 3.15, 3.16 y 3.17 siguientes, se incluyen los resultados de los valores de la evapotranspiración real de cada cultivo, calculadas para cada uno de los oasis.

TABLA 3.15

ETR por cultivo para oasis de Lasana y Chiu-Chiu en mm/mes

MES	CULTIVO			
	MAIZ	ALFALFA	TRIGO	HORTALIZAS
ENERO	162,35	159,87	14,21	97,70
FEBRERO	96,82	144,17	-	98,64
MARZO	45,88	133,77	-	64,73
ABRIL	7,87	106,60	-	25,38
MAYO	-	82,62	-	24,30
JUNIO	-	-	-	21,96
JULIO	-	-	-	24,92
AGOSTO	-	-	21,86	29,12
SEPTIEMBRE	3,68	86,89	45,12	33,42
OCTUBRE	42,52	114,86	98,74	50,38
NOVIEMBRE	109,31	137,90	162,24	60,84
DICIEMBRE	170,96	164,33	178,89	93,60
TOTAL	639,39	1.131,01	521,06	624,99
mm/año				

TABLA 3.16

ETR por cultivo para Calama en mm/mes

MES	CULTIVO		
	ALFALFA	TRIGO/CEBADA	MAIZ
ENERO	205,07	18,23	208,25
FEBRERO	183,81	-	123,44
MARZO	175,57	-	60,22
ABRIL	142,38	-	10,51
MAYO	104,56	-	-
JUNIO	-	-	-
JULIO	-	-	-
AGOSTO	-	23,95	-
SEPTIEMBRE	100,00	51,92	4,23
OCTUBRE	135,35	116,36	50,10
NOVIEMBRE	166,46	195,84	131,95
DICIEMBRE	203,02	221,01	211,25
TOTAL	1.416,22	627,31	799,95
mm/año			

TABLA 3.17

ETR por cultivo para Quillagua en mm/mes

MES	ALFALFA
ENERO	210,78
FEBRERO	220,50
MARZO	183,77
ABRIL	120,96
MAYO	61,68
JUNIO	45,92
JULIO	41,91
AGOSTO	67,50
SEPTIEMBRE	85,18
OCTUBRE	111,83
NOVIEMBRE	137,84
DICIEMBRE	176,33
VALOR ANUAL	1.464,20
mm/año	

A partir de las tablas anteriores se calcularon para cada oasis la evapotranspiración real ponderada por la distribución de cultivos ($ETR_i * S_i\%/100$). Los resultados se incluyen en las Tablas 3.18 a 3.21 siguientes.

TABLA 3.18

Oasis de Lasana ($ETR_i * S_i\%/100$)
(mm/mes)

MES	CULTIVOS		
	ALFALFA	MAIZ	HORTALIZAS
ENERO	61,42	38,87	36,77
FEBRERO	55,39	23,18	37,13
MARZO	51,39	10,98	24,36
ABRIL	40,96	1,88	9,55
MAYO	31,74	-	9,15
JUNIO	-	-	8,27
JULIO	-	-	9,38
AGOSTO	-	-	10,96
SEPTIEMBRE	33,38	0,88	12,58
OCTUBRE	44,83	10,18	18,96
NOVIEMBRE	52,98	26,17	22,90
DICIEMBRE	63,14	40,93	35,23

TABLA 3.19

Oasis de Chiu-Chiu (ETR1 * S1%/100)
(mm/mea)

MES	CULTIVOS			
	ALFALFA	MAIZ	HORTALIZAS	TRIGO
ENERO	60,11	21,45	46,57	0,22
FEBRERO	54,21	12,79	47,02	-
MARZO	50,30	6,06	30,86	-
ABRIL	40,08	1,04	12,10	-
MAYO	31,07	-	11,58	-
JUNIO	-	-	10,47	-
JULIO	-	-	11,88	-
AGOSTO	-	-	13,88	0,33
SEPTIEMBRE	32,67	0,49	15,93	0,69
OCTUBRE	43,19	5,62	24,02	1,50
NOVIEMBRE	51,85	14,44	29,00	2,47
DICIEMBRE	61,79	22,59	44,62	2,72

TABLA 3.20

Oasis de Calama (ETR1 * Si%/100)
(mm/mes)

MES	CULTIVOS		
	ALFALFA	MAIZ	TRIGO
ENERO	132,33	71,33	0,31
FEBRERO	117,71	42,28	-
MARZO	112,44	20,63	-
ABRIL	91,18	3,60	-
MAYO	66,96	-	-
JUNIO	-	-	-
JULIO	-	-	-
AGOSTO	-	-	0,41
SEPTIEMBRE	64,04	1,45	0,89
OCTUBRE	86,68	17,16	1,99
NOVIEMBRE	106,60	45,19	3,35
DICIEMBRE	130,01	72,35	3,78

TABLA 3.21

Oasis de Quillagua (ETR1 * S1x/100)
(mm/mes)

MES	CULTIVOS
	ALFALFA
ENERO	210,78
FEBRERO	220,50
MARZO	183,77
ABRIL	120,96
MAYO	61,68
JUNIO	45,92
JULIO	41,91
AGOSTO	67,50
SEPTIEMBRE	85,18
OCTUBRE	111,83
NOVIEMBRE	137,84
DICIEMBRE	176,33

Nota :

Distribución de cultivos : 100% alfalfa

3.2.4.5 Necesidades de lixiviación

a) Relaciones Básicas

Según lo señalado anteriormente, la necesidad de lixiviación de sales para un determinado cultivo, se puede expresar mediante la siguiente relación :

$$NLx = \frac{CEar}{CEad}$$

El valor de la CEad está relacionado y determinado por múltiples factores. Entre estos se pueden distinguir :

- Variedad y tipo de especies (calidad, semillas) y la resistencia propia de cada cultivo a las sales.
- Tipo de agricultura (técnico-humana), técnicas y prácticas de riego, régimen de abonaduras, etc.
- Condiciones climáticas
- Condiciones de suelo, capacidad de intercambio catiónico agua-suelo etc.
- Calidad del agua de riego.

La gran variedad y variabilidad de los factores antes señalados, hacen imposible determinar sin mediciones de terreno el valor de la CEad.

Sin embargo, basándose en ciertas hipótesis, se puede llegar a expresar NL en función de valores que pueden asignarse sobre la base de antecedentes bibliográficos disponibles.

En efecto, el Boletín de Riego y Drenaje No.24 de FAO establece que si se mantienen constantes las características físico-químicas de los suelos y no se tienen problemas de drenaje con escasas precipitaciones y métodos corrientes de irrigación de superficie o de aspersión se puede suponer que :

$$CE_{ad} \sim 5 (CE_{es} - CE_{ar})$$

$$\text{entonces } NL\% = \frac{CE_{ar}}{5(CE_{es} - CE_{ar})}$$

$$\text{y } CE_{es} \sim 1,5 CE_{ar}$$

Basado en estas hipótesis, el Boletín No.24 de FAO en su tabla No.41 entrega valores de rendimientos potenciales de los cultivos en función de CE_{ar} y CE_{es} y el valor máximo admisible para el agua de drenaje de los distintos cultivos.

En la Tabla 3.22 se han resumido estos valores correspondientes a los cultivos de las zonas de riego del río Loa.

TABLA 3.22

Tolerancia de los cultivos a las sales según las cosechas
(Conductividades en mmhos/cm)

CULTIVO	RENDIMIENTO AGRICOLA POTENCIAL									
	100%		90%		75%		50%		CE_{ad}	
	CE_{es}	CE_{ar}	CE_{es}	CE_{ar}	CE_{es}	CE_{ar}	CE_{es}	CE_{ar}	máx.	
Alfalfa	2,0	1,3	3,4	2,2	5,4	2,6	8,8	5,9	16,0	
Trigo	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,4	13,0	8,7	20,0	
Hortalizas (1)	2,5	1,7	3,4	2,25	4,8	3,2	7,1	4,75	11,5	
Maíz	1,8	1,2	3,2	2,1	5,2	3,5	8,6	5,7	16,0	

(1) Promedio entre zanahorias y betarragas

A partir de la Tabla 3.22 se puede obtener relaciones entre rendimientos agrícolas potenciales y conductividad del agua de riego para cada cultivo; estos están graficados en la Fig.3.3.

Además, dado que $1,5 \text{ CEar} = \text{CEes}$ se graficó en la Fig.3.4, las relaciones entre rendimientos agrícolas potenciales y la CEes, para cada uno de los productos.

La relación entre el Rendimiento Agrícola (R) y la CEar está dada a continuación :

Relaciones obtenidas

Alfalfa $R = 114,1304 - 10,8696 \text{ CEar}$

Hortalizas $R = 127,8689 - 16,3934 \text{ CEar}$

Trigo $R = 142,5532 - 10,6383 \text{ CEar}$

Maíz $R = 113,3333 - 11,1111 \text{ CEar}$

b) Conductividad eléctrica del agua de riego para los distintos oasis.

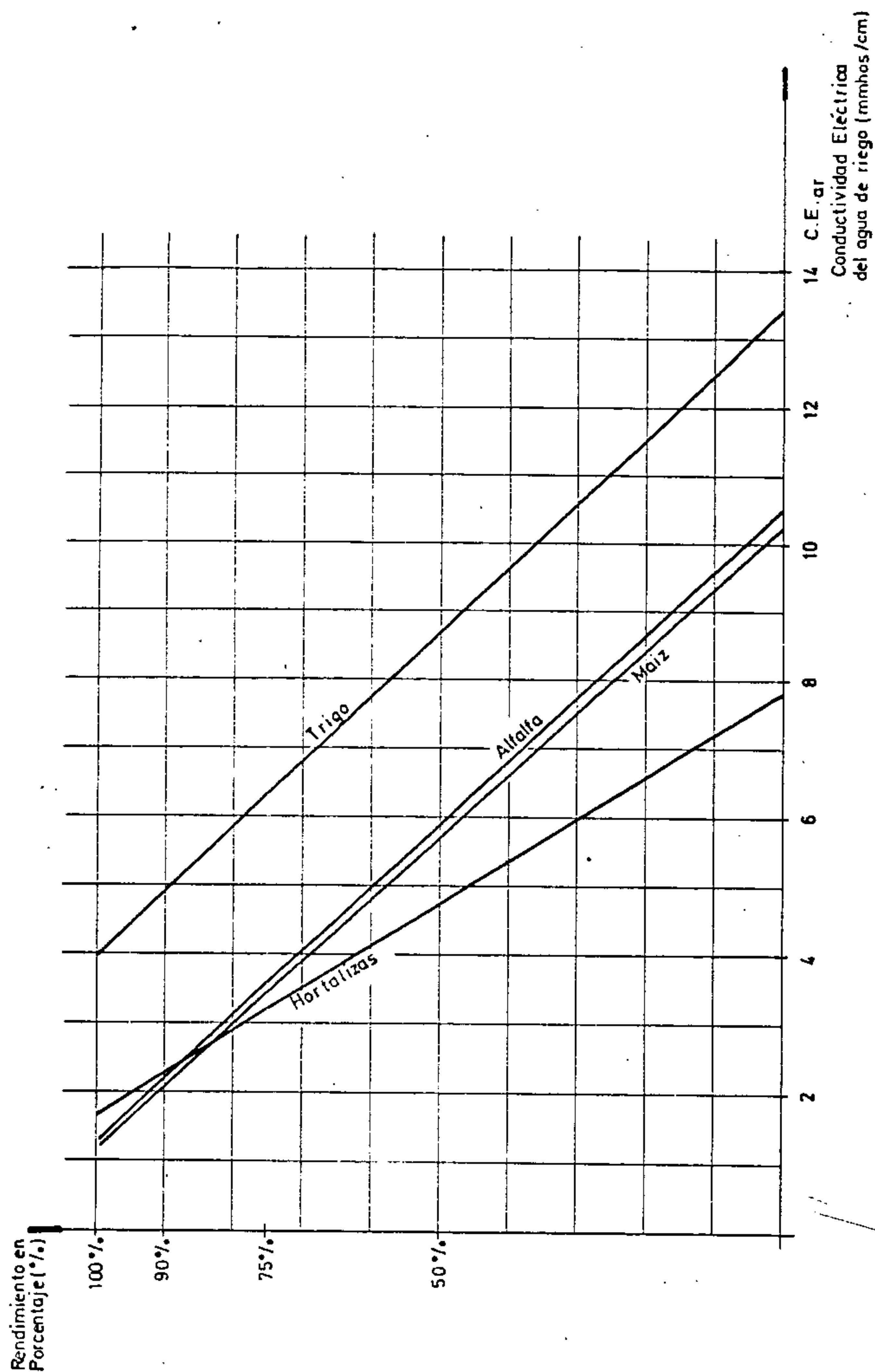
Para estimar las necesidades de lixiviación, se debe tener en cuenta las conductividades del agua de riego para los distintos oasis.

Con esta finalidad se tomaron los valores medios determinados en el estudio de calidades de agua (ver Capítulo 5) y cuyos valores por oasis son los siguientes :

TABLA 3.23

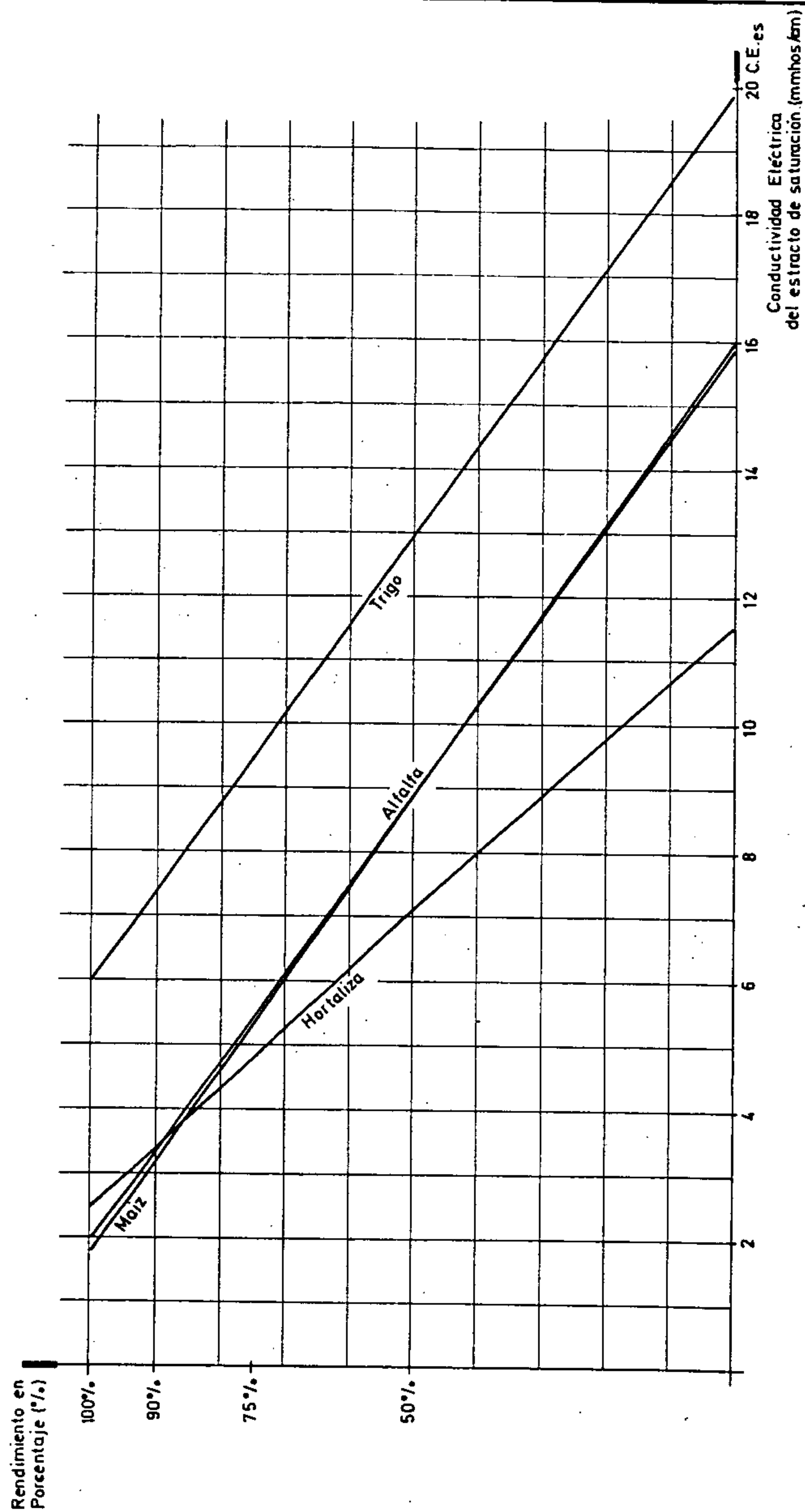
Conductividad eléctrica media del agua de riego

OASIS	CONDUCTIVIDAD AGUA DE RIEGO (mmhos/cm)
LASANA	2,548
CHIU-CHIU	2,600
CALAMA	5,883
QUILLAGUA	9,478



RENDIMIENTOS AGRICOLAS VS. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL AGUA DE RIEGO.

FIGURA 3.3



RENDIMIENTOS AGRICOLAS VS. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL
EXTRACTO DE SATURACION.

FIGURA
3.4

c) Variaciones de la conductividad eléctrica del agua de riego para los distintos oasis

Para tener en cuenta las posibles variaciones en la conductividad eléctrica del agua de riego de los distintos oasis, se siguió el siguiente procedimiento a fin de tener en cuenta los valores mínimos y máximos de dicha variación.

Para los valores mínimos, se tomaron en cuenta los valores mínimos medidos y los posibles mejoramientos en la calidad del agua.

Para los valores máximos, se tomaron en cuenta los valores máximos medidos, y los posibles aumentos por efecto de deterioros futuros a causa de nuevas extracciones no agrícolas.

A continuación se entrega una tabla con los valores adoptados :

TABLA 3.24

Variaciones previstas en la conductividad eléctrica del agua de riego por oasis en mmhos/cm

OASIS	CEar	
	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO
LASANA	2,0	3,5
CHIU-CHIU	2,0	3,5
CALAMA	4,5	7,5
QUILLAGUA	8,0	11,0

d) Necesidades de lixiviación por cultivo

En este estudio, la necesidad de lixiviación se expresa a través de un "coeficiente de lavado", CL, que corresponde al porcentaje adicional de agua en que debe incrementarse la lámina de riego, por concepto de lavado de sales del suelo o lixiviación.

Este coeficiente de lavado se relaciona con la "necesidad de lavado" NL, a través de la siguiente expresión :

$$\frac{1}{1 - NL} = 1 + CL$$

En consecuencia, utilizando las expresiones aproximadas de NL en función de la CE_{ar} y de la CE_{es}, indicadas en el numeral a) anterior, se tiene que :

$$CL = \frac{CE_{ar}}{CE_{es}}$$

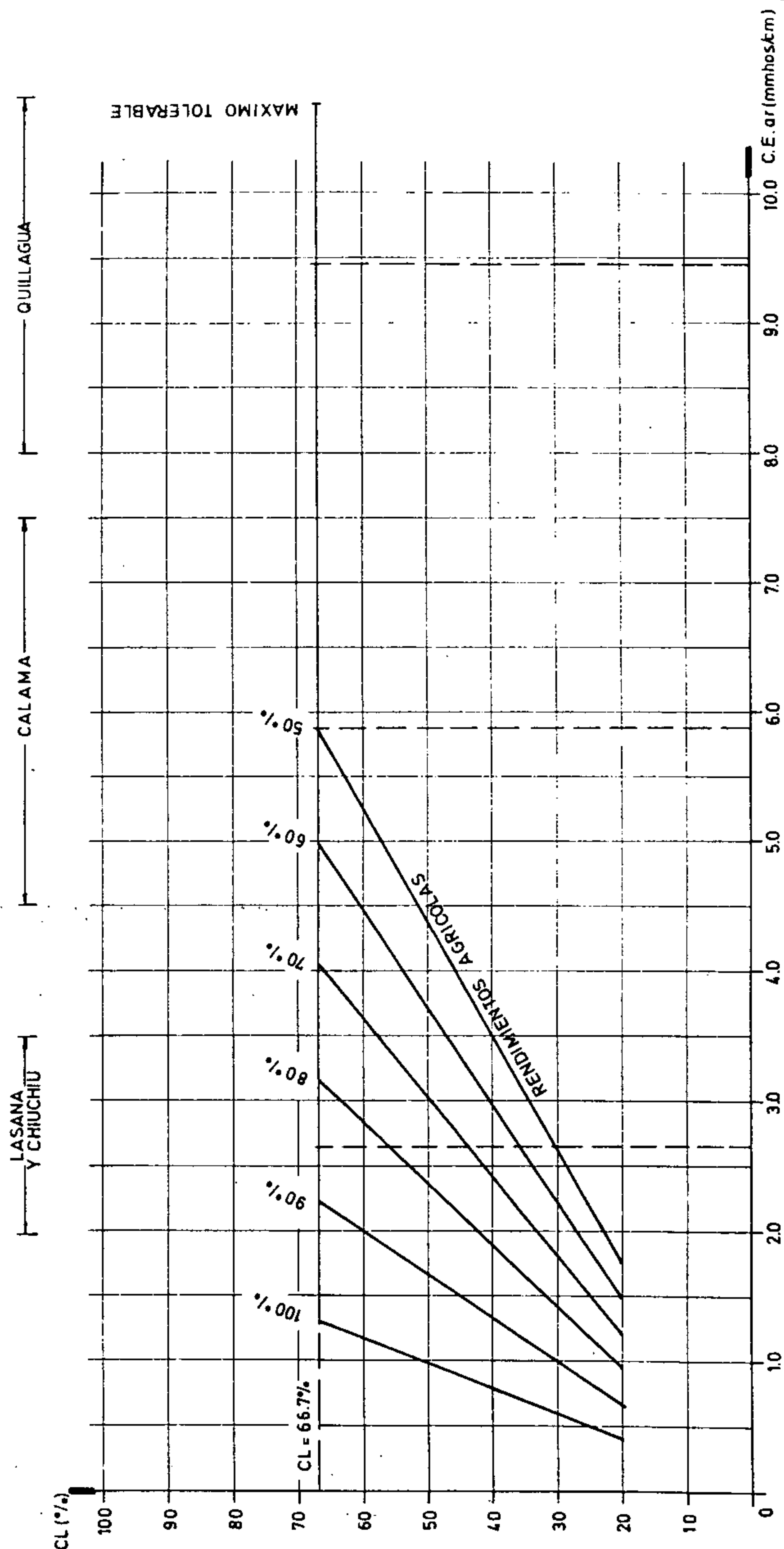
Finalmente la expresión para calcular la Tasa de Riego indicada en el punto 3.2.2, se puede transformar a :

$$T.R = \left[\sum_{i=1}^n ETR_i \cdot Si (1 + CL_i) \right] \cdot \frac{1}{EGR}$$

donde CL_i es el coeficiente de lavado asignado al cultivo "i".

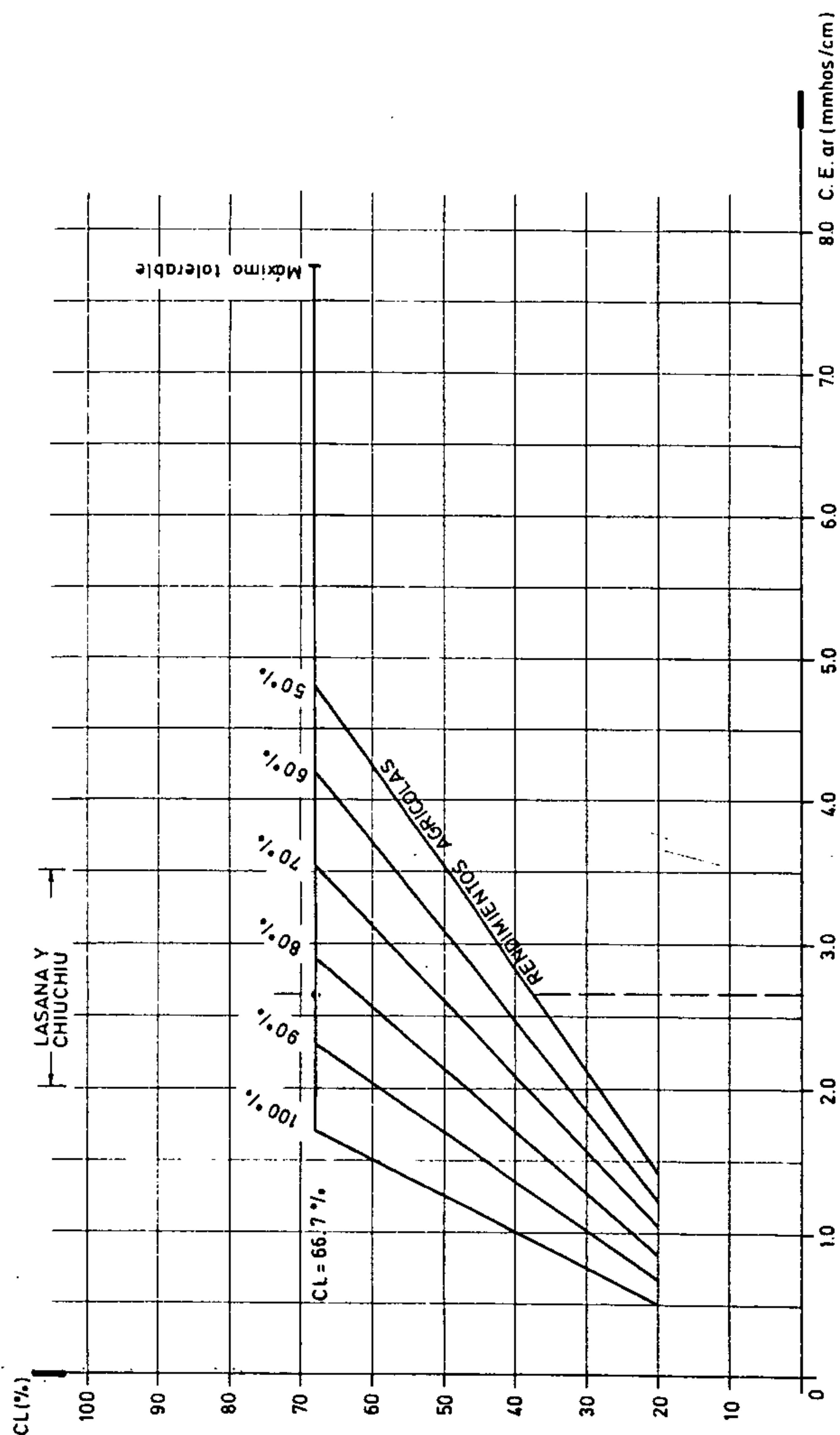
Teniendo presente las variaciones de conductividad eléctrica del agua de riego dentro de ciertos márgenes prefijados como se explicó anteriormente, se han construido graficos para cada cultivo que representan el coeficiente de lavado (CL%) en función de la CE_{ar} y de los rendimientos agrícolas (ver Figs. 3.5 a 3.8).

A modo de ejemplo, para la alfalfa en el oasis de Chiu-Chiu con un CE_{ar} = 2,60 mmhos/cm, se tiene un CL = 66,7% para un rendimiento agrícola del 85%.



INCREMENTO PORCENTUAL DE LA LAMINA DE AGUA DE LAVADO (CL) VS. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL AGUA DE RIEGO (C.E.ar) Y RENDIMIENTOS AGRICOLAS PARA ALFALFA.

FIGURA 3.5

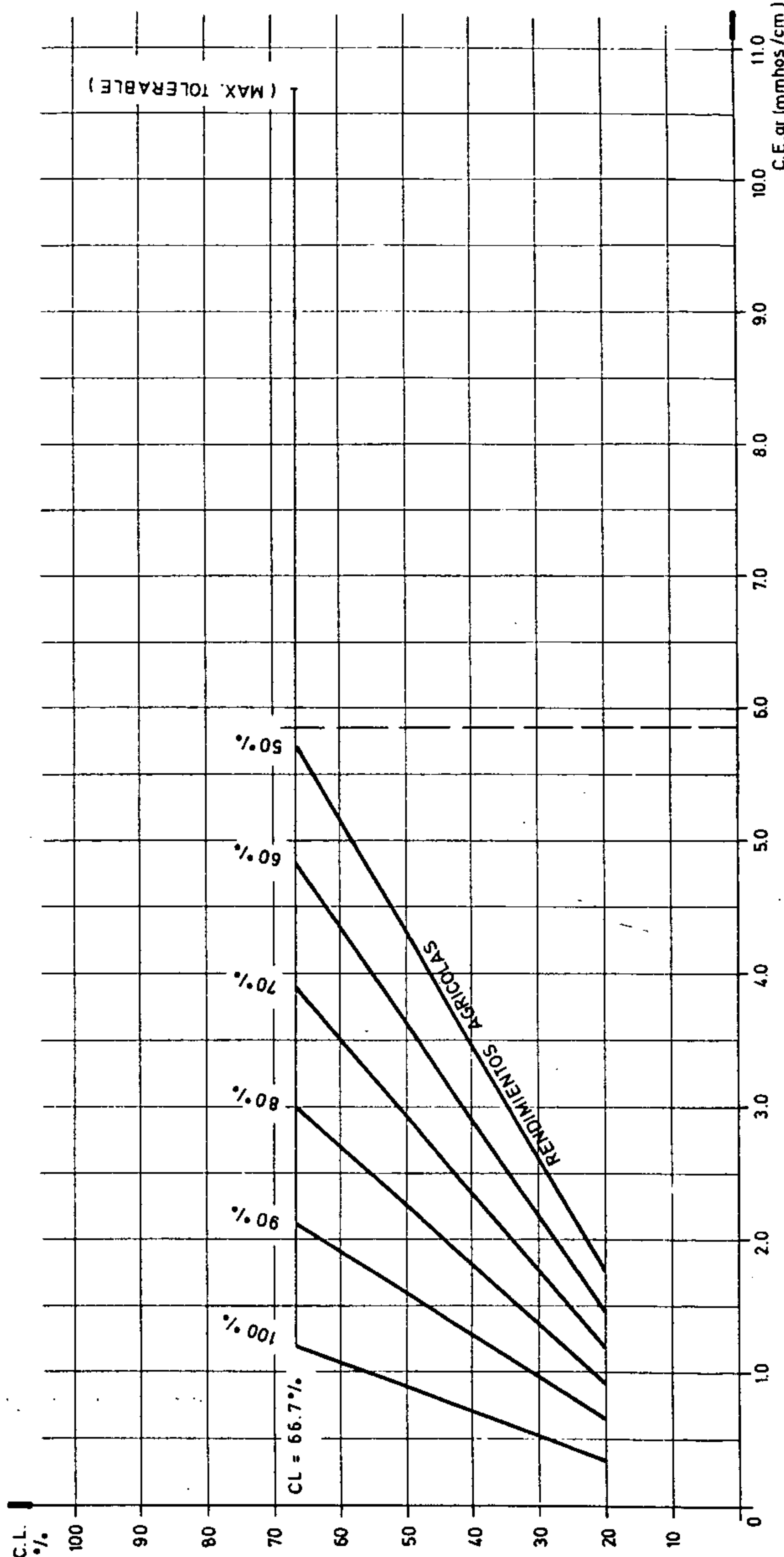


INCREMENTO PORCENTUAL DE LA LAMINA DE AGUA DE LAVADO (CL) VS. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL AGUA DE RIEGO (C.E. ar) Y RENDIMIENTOS AGRICOLAS PARA HORTALIZA.

FIGURA
3.6

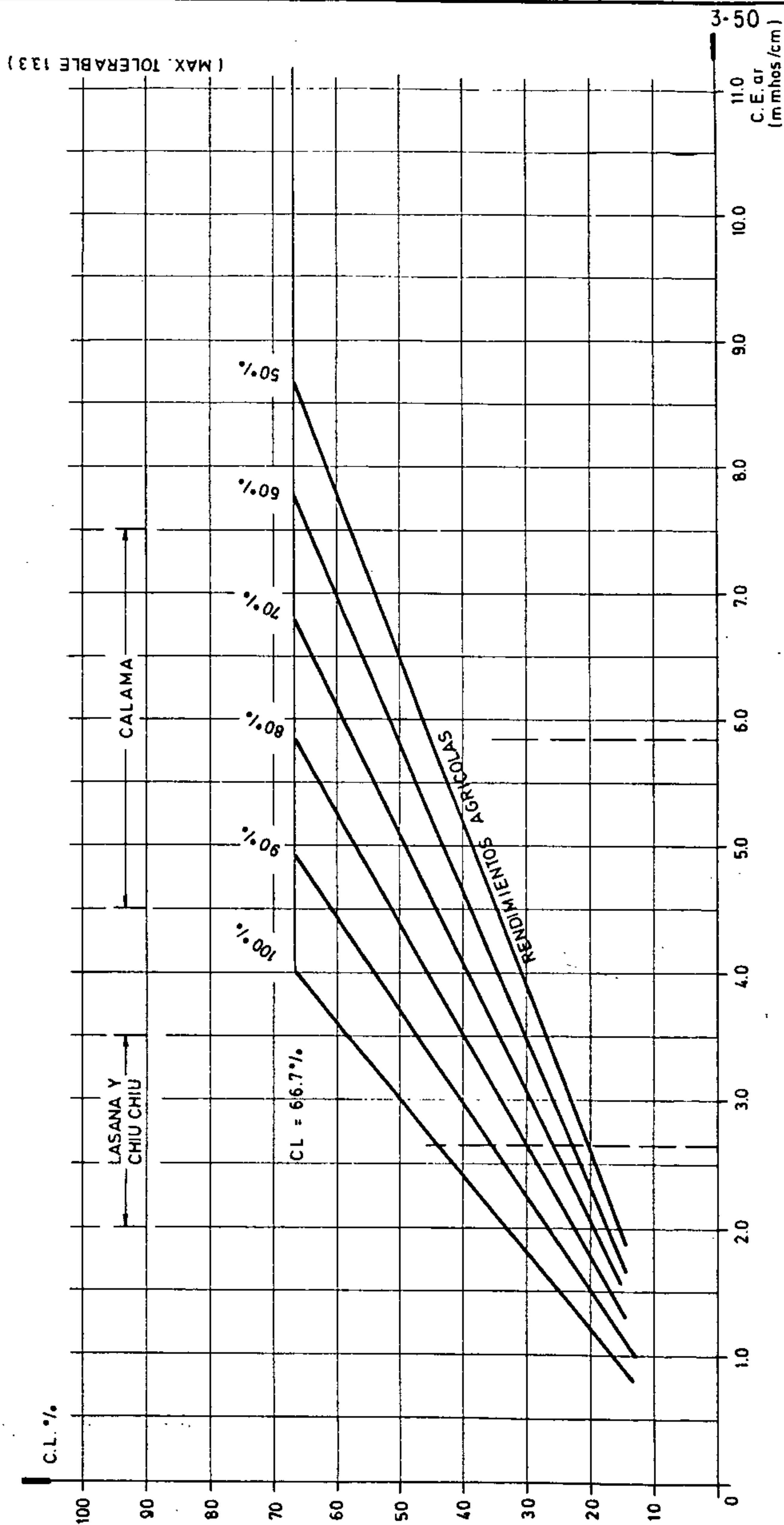
LASANA Y
CHIU-CHIU

CALAMA



INCREMENTO PORCENTUAL DE LA LAMINA DE AGUA DE LAVADO (C.L.)
VS. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL AGUA DE RIEGO (C.E.ar) Y
RENDIMIENTOS AGRICOLAS PARA MAIZ.

FIGURA
3.7



INCREMENTO PORCENTUAL DE LA LAMINA DE AGUA DE LAVADO (C.L.)
VS. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL AGUA DE RIEGO (C.E.ar) Y
RENDIMIENTOS AGRICOLAS PARA TRIGO.

Variaciones de la CEar a 2,0 mmhos/cm y 3,5 mmhos/cm no representan cambios en el CL, la cual permanece en 66,7%, sin embargo los rendimientos agrícolas tienen una variación entre 92,4 y 76,1%, respectivamente.

e) Conclusiones y resultados

A partir de los gráficos anteriores, se concluye que el coeficiente de lavado es prácticamente constante a partir de un valor de la conductividad eléctrica del agua de riego CEar y su valor es de 66,7%.

Desde el punto de vista del sector riego, sólo se liberarían recursos mejorando la calidad del agua de riego en el caso que el rendimiento agrícola de los cultivos fuese 100%, cosa que no es posible obtener dadas las calidades de agua históricas de la zona.

Desde el punto de vista del regante, un mejoramiento en la calidad del agua representará un mejoramiento en los rendimientos agrícolas y una posible modificación en la distribución de cultivos de los oasis a fin de obtener mayores beneficios.

Finalmente se resumen los rendimientos agrícolas y necesidades de lixiviación por oasis y cultivo para la situación actual.

TABLA 3.25

Rendimientos agrícolas y coeficiente de lavado por cultivo y por oasis para la situación actual

OASIS	CULTIVOS							
	ALFALFA		MAIZ		HORTALIZAS		TRIGO	
	Rendx	CLx	Rendx	CLx	Rendx	CLx	Rendx	CLx
LASANA	85	166,7	85	166,7	85	166,7	-	-
CHIU-CHIU	85	166,7	85	166,7	84	166,7	100	144,0
CALAMA	50	166,7	50	166,7	-	-	80	166,7
QUILLAGUA	50x>R>M.T.	166,7	-	-	-	-	-	-

M.T. : Máximo tolerable

3.2.4.6 Tasas de Riego incluyendo lixiviación y con EGR=100%

Aplicando los coeficientes de lixiviación CL determinados en la Tabla 3.25, a los valores de Evapotranspiración Real ponderada indicados en las Tablas 3.18. a 3.21, se calculan en las Tablas 3.26 a 3.29 siguientes, las Tasas de Riego por cultivo y por oasis, suponiendo un 100% de Eficiencia Global de Riego (EGR)

TABLA 3.26

Necesidades de agua incluyendo lixiviación para oasis de Lasana en mm/mes por cultivo

MES	ALFALFA	MAIZ	HORTALIZAS	T.R. CON LIXIVIACION mm/mes
ENERO	102,39	64,80	61,30	228,49
FEBRERO	92,34	38,64	61,90	192,88
MARZO	85,67	10,83	40,61	137,11
ABRIL	68,28	3,13	15,92	87,33
MAYO	52,91	-	15,25	68,16
JUNIO	-	-	13,79	13,79
JULIO	-	-	15,64	15,64
AGOSTO	-	-	18,27	18,27
SEPTIEMBRE	55,64	1,47	20,97	78,08
OCTUBRE	74,73	16,97	31,61	123,31
NOVIEMBRE	88,32	43,63	38,17	170,12
DICIEMBRE	105,25	68,23	58,73	232,21
TOTAL				1.365,39 mm/año 13.653,9 m3/há/año

TABLA 3.27

Necesidades de agua incluyendo lixiviación para oasis de
Chiu-Chiu en mm/mes por cultivo

MES	ALFALFA	MAIZ	HORTALIZAS	TRIGO	T.R. CON LIXIVIACION mm/mes
ENE	100,20	35,76	77,63	0,32	213,91
FEB	90,37	21,32	78,38	-	190,07
MAR	83,85	10,10	51,44	-	145,39
ABR	66,81	1,73	20,17	-	88,71
MAY	51,79	-	19,30	-	71,09
JUN	-	-	17,45	-	17,45
JUL	-	-	19,80	-	19,80
AGO	-	-	23,14	0,48	23,62
SEP	54,46	0,82	26,56	0,99	82,83
OCT	72,00	9,37	40,04	2,16	123,57
NOV	86,43	24,07	48,34	3,56	162,40
DIC	103,00	37,66	74,38	3,92	218,96
TOTAL					1.357,80 mm/año
					13.578,0 m3/há/año

TABLA 3.28

Necesidades de agua incluyendo lixiviación para oasis de
Calama en mm/mes por cultivo

MES	ALFALFA	MAIZ	TRIGO	T.R. CON LIXIVIACION mm/mes
ENE	218,93	118,91	0,52	338,36
FEB	196,22	70,48	-	266,70
MAR	187,44	34,39	-	221,83
ABR	152,00	6,00	-	158,00
MAY	111,62	-	-	111,62
JUN	-	-	-	-
JUL	-	-	-	-
AGO	-	-	0,68	0,68
SEP	106,75	2,42	1,48	110,65
OCT	144,50	28,61	3,32	176,43
NOV	177,70	75,33	5,58	258,61
DIC	216,73	120,61	6,30	343,64
TOTAL				1.986,52 mm/año
				19.865,2 m ³ /ha/año

TABLA 3.29

Necesidades de agua incluyendo lixiviación para oasis de
Quillagua en mm/mes por cultivo

MES	ALFALFA
ENE	351,37
FEB	367,57
MAR	306,34
ABR	201,64
MAY	102,82
JUN	76,55
JUL	69,86
AGO	112,52
SEP	142,00
OCT	186,42
NOV	229,78
DIC	293,94
	2.440,81 mm/año
	24.408,1 m ³ /ha/año

A continuación, en la Tabla 3.30, se resumen las Tasas Anuales de Riego por oasis suponiendo un 100% de Eficiencia Global de Riego (EGR).

TABLA 3.30

Tasas de riego anual en m³/ha/año, incluyendo lixiviación
y suponiendo EGR = 100%

OASIS	T.R.
LASANA	13.654
CHIU-CHIU	13.578
CALAMA	19.865
QUILLAGUA	24.408

3.2.4.7 Eficiencias de riego

Este aspecto tiene especial importancia dentro del cálculo de tasas de riego. En efecto, es difícil e incierto asignar cifras relativamente precisas de los diferentes componentes de la eficiencia de riego sin efectuar costosas y prolongadas mediciones directas en terreno para distintas condiciones. Por este motivo, el procedimiento usual empleado en la práctica, es asignar valores de los componentes de la eficiencia de riego, basándose en los rangos de cifras contenidos en estudios anteriores y en diversos antecedentes bibliográficos disponibles, según el conocimiento real de las condiciones de terreno del caso en estudio y en los métodos y prácticas de riego que se utilizan (o debieran utilizarse) en el área del proyecto.

Para los efectos del presente estudio, se ha definido una eficiencia global de riego, EGR, a nivel de bocatomas, como :

$$EGR = E_a * E_c$$

en que :

E_a = Eficiencia de aplicación del agua a los cultivos, que depende del método y prácticas de riego.

E_c = Eficiencia de conducción, que depende de las características, estado y sistema de operación de la red de canales primarios y secundarios.

TABLA 3.31

Eficiencias de riego en las zonas de riego del río Loa
según distintos estudios anteriores de la zona

FUENTE	Ea	Ec	EGR
H. NIEMEYER	0,70	Lasana :0,90 Chiu-Chiu:0,80 Calama :0,95 Quillagua: -	Lasana :0,63 Chiu-Chiu:0,56 Calama :0,67 Quillagua:0,70
E. LARA	0,80	0,86	0,69
B.ESPILDORA ET AL	0,8-0,9	0,75-0,8	0,6-0,66-0,72
D.G.A.	-	-	Quillagua 0,55
HARZA	0,75	0,90	0,68

NOTA : Las fuentes bibliográficas respectivas son las citadas en el punto 3.2.3.

En la Tabla 3.31 se resumen las cifras de eficiencia recomendada y asignadas en estudios y trabajos anteriores en las zonas de riego del río Loa.

Por otra parte, se estima que una de las recopilaciones de estas cifras más completas y realistas que se dispone en la bibliografía son las contenidas en el Boletín No.24 de la FAO. De acuerdo a esta fuente, la eficiencia de aplicación, E_a , para el método de riego usado en la zona (melgas o eras) fluctuaría entre 0,60 y 0,8 según el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de EE.UU. Por otra parte, en la misma fuente, según una publicación de expertos holandeses, el valor medio representativo de la eficiencia de riego sería de 0,53.

Teniendo en consideración el tamaño y características de las melgas y las modalidades y prácticas de riego de los regantes en las distintas zonas de riego en el Loa, se han adoptado para este estudio las siguientes cifras :

OASIS	EFICIENCIA APLICACION (E_a)
Lasana	0,65
Chiu-Chiu	0,65
Calama	0,70
Quillagua	0,65

Con respecto a la Eficiencia de Conducción (E_c), el Boletín No.24 de la FAO, distingue a su vez un desglose en dos de sus componentes, es decir :

$$E_c = E_{c1} \times E_{c2}$$

en que E_{c1} representa la eficiencia de distribución de los canales principales o matrices del proyecto y E_{c2} corresponde a la eficiencia de conducción intrapedial o de canales menores y derivados.

Las cifras correspondientes citadas en la fuente bibliográfica indicada, son las siguientes :

Ec1 :

- Alimentación continua sin variaciones
substanciales 0,90
- Alimentación intermitente en proyectos
de 3.000 a 7.000 Hás y por rotación entre
superficies de 70 a 3.000 Hás, con una buena
gestión 0,80-0,85

Ec2 :

- Acequias y canales menores no revestidos 0,80
- Acequias y canales menores revestidos 0,90-0,95

Adicionalmente, el informe de la FAO contempla un factor de corrección que debe integrarse al estimar Ec1 y Ec2 para tener en cuenta la calidad de la gestión y del sistema de comunicaciones para la operación del sistema de conducciones. Este factor será 1,0 para condiciones de buena gestión y de comunicaciones; de 0,85 para condiciones suficientes; de 0,60 para situaciones insuficientes y de 0,50 para condiciones mediocres o malas.

En este estudio, dada la escasa extensión y simplicidad de la red de distribución en todos los oasis, se ha supuesto que dicho factor es igual a 1,0.

Basándose en los antecedentes anteriores y en los valores calculados para Ec2 en el capítulo 6 punto 6.10 del presente informe se han adoptado los siguientes criterios y cifras de eficiencias de conducción para cada uno de los sectores de riego en la situación actual.

En el oasis de Lasana, la eficiencia de conducción (Ec2) se calculó en el capítulo 6 punto 6.10 como 0,85, valor que según FAO representaría una situación favorable de acequias y canales menores sin revestir, teniendo en cuenta la magnitud y extensión de cada canal de la red de conducción y al hecho que las calcificaciones de la sección del canal tenderían a disminuir las pérdidas habituales de un canal menor no revestido. La eficiencia de distribución, Ec1 se ha supuesto igual a 0,9. En resumen, la eficiencia total de conducción Ec se ha estimado en 0,77 ($0,9 \times 0,85$).

En el sector de riego de Chiu-Chiu, la eficiencia de distribución Ec1, se ha estimado en 0,90 ya que los canales principales tienen alimentación continua. La eficiencia Ec2 se calculó en el capítulo 6 punto 6.10 como 0,80, valor que según FAO representa acequias y canales menores no revestidos. En conclusión la Eficiencia total de conducción en Chiu-Chiu se estima de 0,72.

En Calama, la eficiencia de distribución principal, Ec1, se ha estimado en 0,90, dado la alimentación prácticamente continua que se produce en la red de canales. Por otro lado, la eficiencia de los canales menores, Ec2, se calculó en el capítulo 6 punto 6.10 como 0.90, por el gran porcentaje de canales revestidos y la presencia de calcificaciones en canales de tierra que disminuyen las pérdidas por infiltración, este valor representaría según FAO la situación de acequias y canales menores revestidos. En consecuencia la eficiencia total de conducción, Ec, se estima en 0,81.

En el oasis de Quillagua la distribución de agua entre el canal 1 y 2 puede ser relativamente intermitente; luego la eficiencia Ec1 se estima en 0,85. La eficiencia Ec2 se calculó en el capítulo 6 punto 6.10 como 0.90, según FAO esto representaría el hecho que el canal 1 está revestido prácticamente en toda su extensión y que el canal 2 no. Por lo tanto la eficiencia total de conducción en Quillagua se estima en 0,77.

A base de las consideraciones anteriormente hechas en relación a las eficiencias de aplicación y de conducción en cada zona de riego, se han determinado las siguientes eficiencias globales de riego en cada oasis.

Sector de Riego	Eficiencia Aplicación	Eficiencia Conducción	Eficiencia Global
Lasana	0,65	0,77	0,50
Chiu-Chiu	0,65	0,72	0,47
Calama	0,70	0,81	0,57
Quillagua	0,65	0,77	0,50

3.2.4.8 Tasas de riego a nivel de bocatoma en la situación actual

Incorporando los valores indicados anteriormente de eficiencia global de riego a nivel de bocatoma, a los valores mensuales indicados en las Tablas 3.26 a 3.29, se tienen finalmente los siguientes valores de Tasas de Riego por oasis para la situación actual de riego :

TABLA 3.32

Tasa de riego mensual a nivel de bocatoma mm/mes por oasis

MESES	LASANA	CHIU-CHIU	CALAMA	QUILLAGUA
ENE	456,98	455,13	593,61	702,74
FEB	385,76	404,40	467,89	735,14
MAR	274,22	309,34	389,18	612,68
ABR	174,66	188,74	277,19	403,28
MAY	136,32	151,26	195,82	205,64
JUN	27,58	37,13	-	153,10
JUL	31,28	42,13	-	139,72
AGO	36,54	50,26	1,19	225,04
SEP	156,16	176,23	194,12	284,00
OCT	246,62	262,91	309,53	372,84
NOV	340,24	345,53	453,70	459,56
DIC	464,42	465,87	602,88	587,88
mm/año	2.730,78	2.888,93	3.485,11	4.881,62
m ³ /ha/año	27.308	28.889	34.851	48.816

Las tasas de riego anuales en m³/há/año finalmente calculadas se pueden aproximar a las siguientes cifras :

Lasana	27.310
Chiu-Chiu	28.890
Calama	34.850
Quillagua	48.820

En la Tabla 3.33 se pueden comparar los valores de tasas de riego propuestos por este consultor, con las definidas por la D.G.A. para efectos de asignación de derechos.

TABLA 3.33

Tasas de riego a nivel de bocanona según distintos autores
(m³/há)

MES	ICC-CONIC				D.G.A.			
	Lasana	Chiu-Chiu	Calama	Quillagua	Lasana	Chiu-Chiu	Calama	Quillagua
Enero	4.570	4.551	5.936	7.028	3.846	3.846	3.970	4.723
Febrero	3.858	4.044	4.679	7.352	2.826	2.826	2.918	4.953
Marzo	2.742	3.094	3.891	6.127	2.595	2.595	2.679	4.100
Abril	1.747	1.888	2.772	4.033	1.668	1.668	1.722	2.690
Mayo	1.363	1.513	1.958	2.057	1.251	1.251	1.292	1.378
Junio	276	371	0	1.531	881	881	909	1.017
Julio	313	421	0	1.397	950	950	979	951
Agosto	366	503	12	2.251	1.645	1.645	1.698	1.509
Septiembre	1.562	1.762	1.941	2.840	1.784	1.784	1.842	1.902
Octubre	2.466	2.629	3.095	3.729	3.197	3.197	3.300	2.493
Noviembre	3.403	3.455	4.537	4.596	3.404	3.404	3.516	3.083
Diciembre	4.644	4.659	6.029	5.879	3.553	3.753	3.875	4.001
Total	27.310	28.890	34.850	48.820	27.800	27.800	28.700 (1)	32.800

(1) La DGA asignó variaciones de estas tasas de riego anual para los siguientes canales :

Canal Coco La Villa - Ramal Berna	: 28.549,39 m ³ /há/año
Canal Lay-Lay - La Banda	: 28.388,82 m ³ /há/año
Canal Chunchuri Bajo	: 27.490,15 m ³ /há/año

3.2.5 Demandas Agrícolas

3.2.5.1 Demandas Actuales

El cálculo de las demandas agrícolas actuales, se realiza con la finalidad de calibrar el modelo de simulación y caracterizar una situación sin proyecto y sin las nuevas asignaciones de derechos de agua por parte de la D.G.A.

Es así como éstas se calcularán con las tasas de riego indicadas anteriormente en el punto 3.2.4.8 y con las áreas cultivadas determinadas por COSERREN, las cuales representan la situación en el año 1981 y que se supone igual a la actual.

En la Tabla 3.34 siguiente se entregan las demandas anuales en miles de metros cúbicos.

TABLA 3.34

Demandas agrícolas anuales para la situación actual

OASIS	SUPERFICIE (1) (ha)	TASA DE RIEGO (2) (m3/ha/año)	DEMANDA miles m3/año
LASANA	56,80	27.310	1.551
CHIU-CHIU	148,35	28.890	4.286
CALAMA	829,53	34.850	28.909
QUILLAGUA	110,07	48.820	5.374
TOTAL			40.123

(1) Las cifras se aproximaron al entero más cercano.

(2) Valores adoptados.

3.2.5.2 Demandas futuras bajo situación sin proyecto

Estas demandas futuras se determinan según las superficies con Derechos de Aprovechamiento establecidos por D.G.A. y las Tasas de Riego oficiales determinadas por esta misma institución.

En la Tabla 3.35 se indican estas demandas anuales en miles de metros cúbicos.

TABLA 3.35

Demandas agrícolas anuales según DGA

OASIS	SUPERFICIE (ha)	TASA DE RIEGO (m3/ha/año)	DEMANDA miles m3/año
LASANA	54,32	27.800	1.510
CHIU-CHIU	175,97	27.800	4.892
CALAMA	1.103,12	28.465 (1)	31.400
QUILLAGUA	143,10	32.800	4.694
TOTAL			42.496

(1) Ponderado de acuerdo a las tasas de riego y superficies asignadas por canal.

3.3

RESUMEN DE DEMANDAS AL SISTEMA

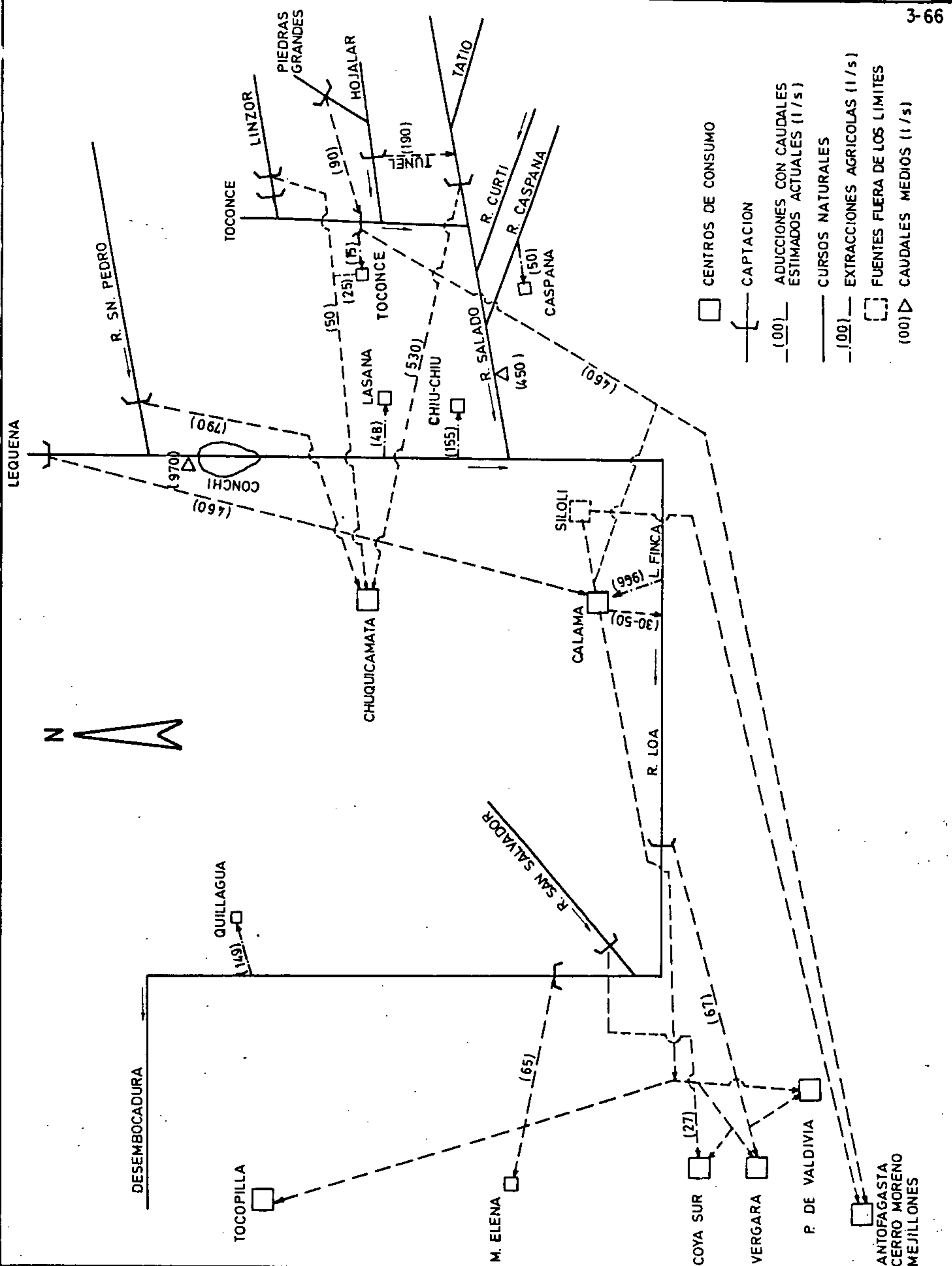
En la Fig. 3.9 se presenta un diagrama esquemático de las extracciones actuales al sistema Río Loa - Embalse Conchi.

Se señala entre paréntesis los caudales medios extraídos en l/s, y el destino de cada una.

Para las zonas de riego se presenta el caudal medio anual requerido según los derechos de agua otorgados por la D.G.A.

Cabe hacer notar que los caudales de extracciones no agrícolas han debido ser deducidos indirectamente, utilizando estadísticas de caudales medios mensuales y aforos en distintos puntos del sistema.

Se recomienda instalar secciones de control o equipos de medición de los caudales captados en las bocatomas correspondientes a estas extracciones, obras que permitirían, a futuro, un adecuado manejo del sistema.



EXTRACCIONES ACTUALES
SISTEMA EMBALSE CONCHI - RIO LOA

FIGURA
3.9.

4. ESTUDIOS HIDROLOGICOS

En este capítulo se incluye una relación de los análisis hidrológicos realizados durante el estudio.

En primer lugar se explica el origen y procesamiento de las estadísticas de gastos medios mensuales utilizados para la simulación del comportamiento del sistema, tanto en lo que se refiere a las entradas consideradas para el sistema, como en lo que se refiere a estadísticas usadas en la calibración de los parámetros del modelo. Enseguida se presentan los análisis de las relaciones de modelación derivados para expresar el comportamiento de los diferentes subsistemas, especialmente en lo que se refiere a pérdidas y recuperaciones en los distintos tramos del río Loa. Luego, el capítulo incluye los modelos de pronósticos de volúmenes estacionales y su distribución mensual, que son utilizados en la simulación del sistema. Finalmente, el capítulo incluye un análisis de crecidas, que constituye la información básica requerida para el estudio del aprovechamiento del embalse Conchi en control de crecidas.

4.1 Estadísticas de Gastos Medios Mensuales

En el modelo de simulación del sistema, confeccionado en este estudio, requiere como datos fluviométricos fundamentales de entrada, los registros continuos de caudales medios mensuales en la entrada al embalse Conchi y los aportes del río Salado. Estas estadísticas se necesitan en régimen natural, cubriendo todo el periodo seleccionado para la simulación (Agosto de 1958 a Julio de 1985).

Además, el modelo requiere de información fluviométrica de los aportes del río San Salvador al Loa.

También, para la calibración de los parámetros del modelo, se requieren algunas estadísticas de caudales medios mensuales en puntos intermedios del sistema, durante los periodos seleccionados para la calibración. En este caso se usaron las estadísticas de las estaciones fluviométricas río Loa en Valquíncha y río Loa en La Finca, en el periodo de calibración, que abarcó desde Agosto 1981 a Julio de 1985, (Tablas IV.4 y IV.5 del Anexo IV).

4.1.1 Entradas al Embalse Conchi

En el informe Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - Río Loa (Espíldora et al, 1979) (*) se analizó, extendió, relleno y corrigió esta estadística para el período Mayo de 1958 a Abril de 1978, en régimen medido, utilizando como base la estadística de la estación fluviométrica Loa en Conchi hasta Julio de 1975, y la estadística de afluentes al embalse Conchi deducidos de los cuadros de operación del embalse, desde Agosto de 1975 a Abril de 1978. Se considera que esta estadística se encuentra suficientemente estudiada y por lo tanto, en este estudio, se adopta sin modificaciones. Como el período de simulación que se adoptó, abarca desde Agosto de 1958 a Julio de 1985, se completó el período faltante con los caudales medios mensuales obtenidos de los cuadros de operación del embalse Conchi desde Mayo de 1978 en adelante, para completar el período. Considerando las extracciones históricas ocurridas aguas arriba de Conchi, según el análisis del capítulo 2, se confeccionó la estadística de gastos medios mensuales en régimen natural en el período Agosto de 1958 a Julio de 1985, que también se presenta en Anexo IV.

En este estudio, se prefirió usar como año de simulación el período entre Agosto y Julio en vez del período Mayo a Abril utilizado en el informe citado de 1979. La razón de ello es que el período ahora seleccionado coincide mejor con el período agrícola y de riego, y además este período se inicia en el mes de Agosto, que es cuando se dispone de mejores antecedentes para efectuar el pronóstico de caudales según el modelo respectivo elaborado.

(*) Espíldora, B.; E.Brown y J.Castillo. "Estudio Hidrológico y Operacional del Sistema Embalse Conchi - Río Loa. Dirección de Riego, M.O.P. Feb. 1979.

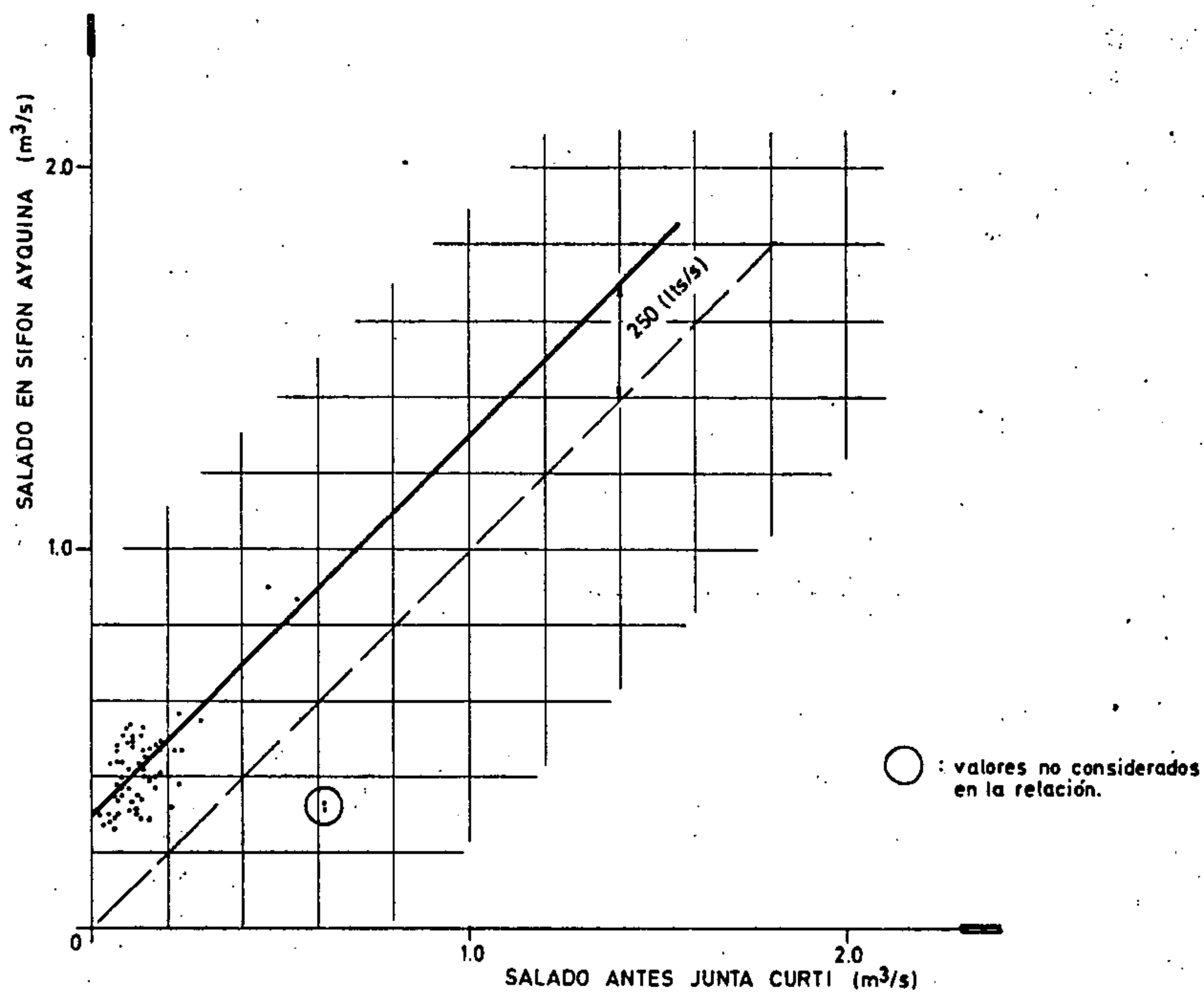
4.1.2 Aportes del río Salado

En el informe de Espíldora et al (1979), para obtener la estadística de gastos medios mensuales de este río, se utilizó los registros de la estación fluviométrica Salado en Ayquina. Esta estadística, se analizó, extendió, relleno y corrigió en dicho trabajo, para el período Mayo de 1958 a Abril de 1978, en régimen medido. A excepción del período Enero de 1976 a Abril de 1978, se considera que esta estadística se encuentra suficientemente estudiada y puede ser considerada confiable; por lo tanto, se adopta sin modificaciones para este estudio, en todo el lapso comprendido entre Agosto de 1958 y Diciembre de 1975. Para completar el período de simulación (Agosto 1958 a Julio 1985) se usó la estadística de la estación fluviométrica Salado en Sifón Ayquina (*). Esta última estadística posee algunos huecos; estos fueron rellenos mediante una relación con los valores de la estadística de la estación fluviométrica Salado antes junta con Curti (ver figura 4.1) excepto el mes de Noviembre de 1976, el cual fue relleno utilizando una relación entre los valores restantes de los meses de Noviembre y Diciembre.

Para confeccionar la estadística en régimen natural, se usaron las extracciones aguas arriba de Ayquina, históricamente ocurridas, según el análisis presentado en el capítulo 2. Las estadísticas de gastos medios mensuales en régimen natural adoptados para Salado en Ayquina para el período Agosto de 1958 a Julio de 1985 se presentan en el Anexo IV.

Además, en el Anexo IV, se incluyen las tablas con los caudales medios mensuales de Salado en Ayquina, Salado en Sifón Ayquina y Salado antes de junta con Curti, obtenidas de los registros de la D.G.A. (Tablas IV.19, IV.20 y IV.21).

(*) La estación Salado en Sifón Ayquina reemplazó a la estación Salado en Ayquina a partir de Enero de 1976, encontrándose ubicada algunos kilómetros aguas abajo de la anterior, pero no mostrando discrepancias aparentes en cuanto a homogeneidad del registro con la anterior.



SALADO EN SIFON AYQUINA VS. SALADO ANTES JUNTA CURTI
CAUDALES MEDIOS MENSUALES.

FIGURA
4.1

4.1.3 Aportes del río San Salvador

Este río no dispone de estación fluviométrica alguna que permita confeccionar una serie de tiempo representativa de los gastos medios mensuales afluentes al río Loa. Sólo existen aforos puntuales que se han realizado aguas arriba de la confluencia y que abarcan el período de Abril de 1961 a Mayo de 1985, (Tabla IV.6, Anexo IV). En dicho período se han realizado un total de 94 aforos, lo que arroja un promedio de 1 aforo cada 3 meses. Con el objeto de deducir el aporte de este río al Loa, se llevaron a un gráfico (fig. 4.2) todos los aforos realizados. El análisis de este gráfico permitió extraer la conclusión de que, por lo menos, era factible distinguir dos períodos diferentes en el régimen hidrológico; el primero, abarcando hasta Diciembre de 1978, que entrega valores medios significativamente más altos que de Enero de 1979 en adelante; en la figura se ha destacado con nomenclatura diferente los aforos de cada período, así como también los valores medios de cada período, (Tabla IV.7, Anexo IV), haciéndose aparente la falta de homogeneidad en el régimen hidrológico histórico del río San Salvador.

La falta de homogeneidad en el régimen del río San Salvador puede atribuirse al hecho que una parte de los recursos de este río provienen de la zona de vegas de Calama, que antiguamente eran regadas con los sobrantes de los canales y de las zonas de riego de Calama; en la actualidad sin embargo, debido a la merma general de recursos disponibles para el riego en el oasis de Calama, las vegas prácticamente no reciben sobrantes de agua de riego. Aunque la disminución del aporte de riego a la zona de vegas ha sido paulatino y consecuentemente, también lo debe haber sido el de las recuperaciones que por este concepto se materializan en el río San Salvador, la información disponible no permite discriminar sobre la forma como se ha desarrollado en el tiempo este hecho.

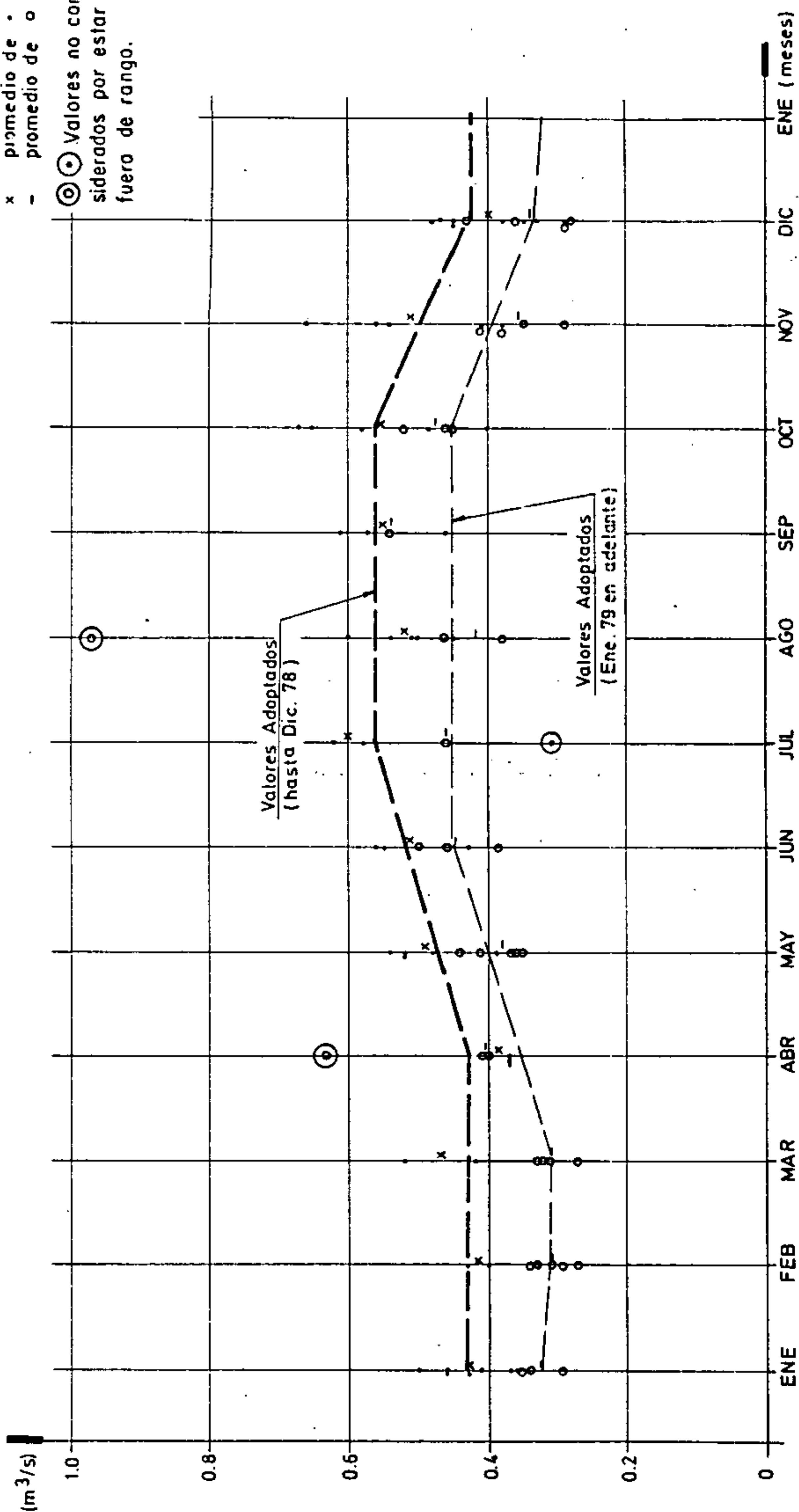
Atendiendo a las consideraciones anteriores, se ha adoptado como aportes medios mensuales del río San Salvador al Loa los que aparecen en el Anexo IV y que corresponden a los que se extraen de las curvas "suavizadas", ajustadas a los aforos puntuales, en la figura 4.2. Considerando que hacia futuro las zonas de vegas de Colama no deberían regarse, por no tener derechos de agua asignados, los valores de aportes medios mensuales del río San Salvador al Loa que se adoptan como representativos del período más reciente (Enero de 1979 a Mayo de 1985) podrían considerarse también válidos hacia futuro, siempre y cuando no ocurran mayores extracciones de agua del río San Salvador.

NOMENCLATURA

- Mar 61 a Dic 78
- o Ene 79 a May 85

- x promedio de •
- promedio de o

- ⊙ ⊙ Valores no considerados por estar fuera de rango.



RIO SAN SALVADOR ANTES JUNTA CON RIO LOA.
AFOROS EN DISTINTOS MESES.

FIGURA
4.2

4.1.4 Estadísticas de Gastos Medios Mensuales en puntos Intermedios

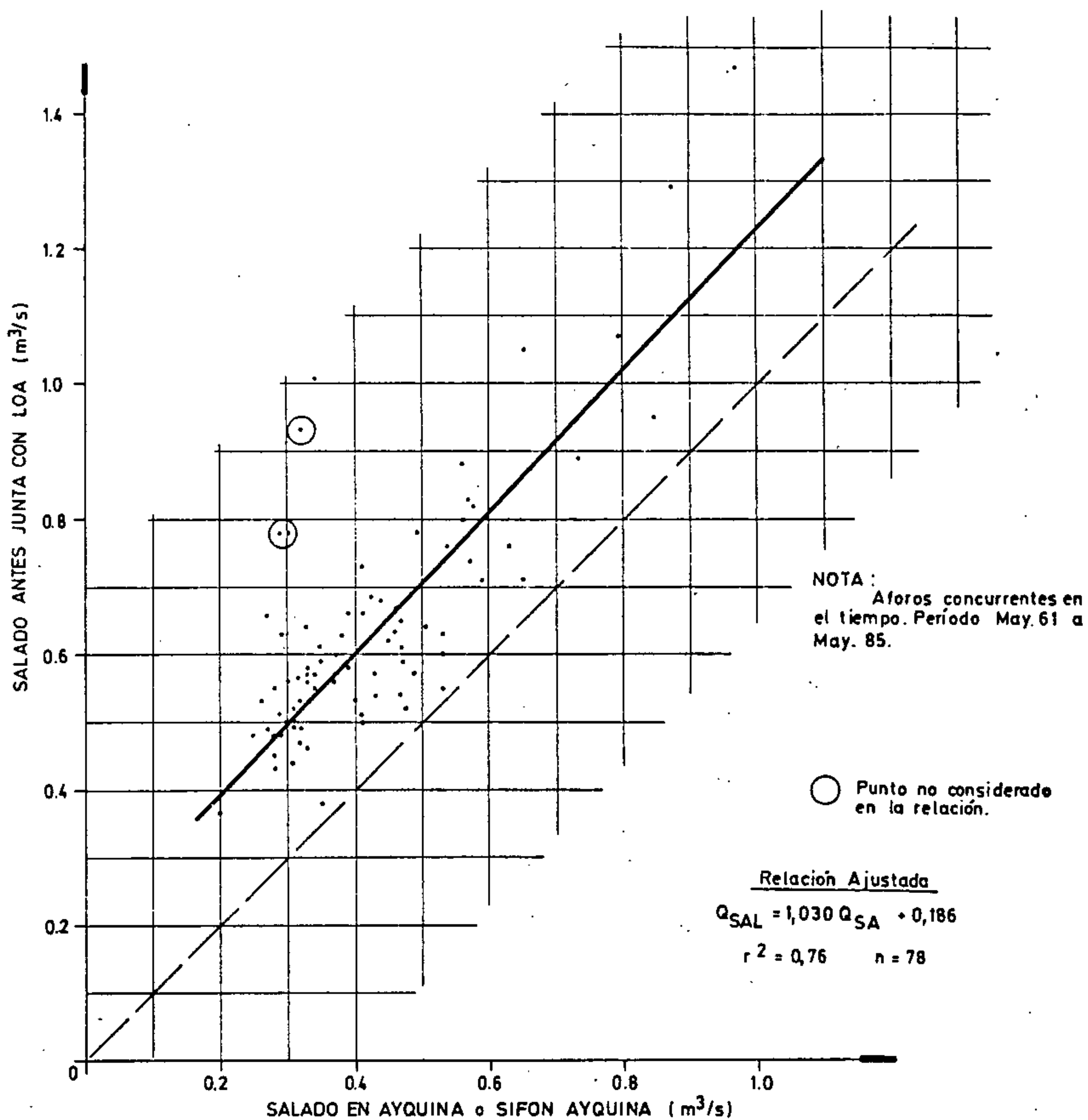
Estas son las series que se requieren para ser usadas como base de comparación, para los valores simulados por el modelo en puntos intermedios del sistema. En este caso, aquellas series que resultaron de interés son Loa en Yalquincha y Loa en La Finca, aguas arriba y aguas abajo de la zona de riego principal de Calama, respectivamente. En el Anexo IV se presentan los valores medidos de los gastos medios mensuales finalmente adoptados en el período Agosto de 1981 a Julio de 1985. Por tratarse de series que se utilizan sólo con fines comparativos, no se pretendió completarles algunos huecos exhibidos.

4.2 Recuperaciones y Pérdidas en el Sistema

En este punto se realiza un análisis de las recuperaciones y pérdidas que se presentan en el sistema, con el objeto de introducirlas como elementos de modelación. La evaluación de la magnitud de estas recuperaciones y pérdidas, se hizo principalmente sobre la base de datos de aforos concurrentes en el tiempo, efectuados en los distintos puntos de los cauces superficiales de interés.

4.2.1 Tramo del río Salado entre Ayquina y junta con el Loa

En el estudio de Espildora et al (1979), para estimar estas recuperaciones, se adoptó relaciones separadas para los meses Marzo a Agosto y Septiembre a Febrero. Con la información adicional que actualmente se dispone se reestudió estas relaciones. En la figura 4.3, se presenta una relación de aforos concurrentes en el tiempo, entre Salado antes junta con Loa y Salado en Ayquina o en Sifón Ayquina, (Tabla IV.8, Anexo IV). En esta figura no se observó una diferenciación relativamente clara que justificará una separación entre los grupos de meses antes mencionados. Finalmente se realizó un ajuste por mínimos cuadrados y se adoptó esta relación única como representativa. La curva obtenida es la siguiente:



SALADO ANTES DE JUNTA CON LOA Y SALADO EN AYQUINA o SIFON AYQUINA. RELACION DE AFOROS.

FIGURA 4.3

$$QSAL = 1,030 QSA + 0,186$$

en donde :

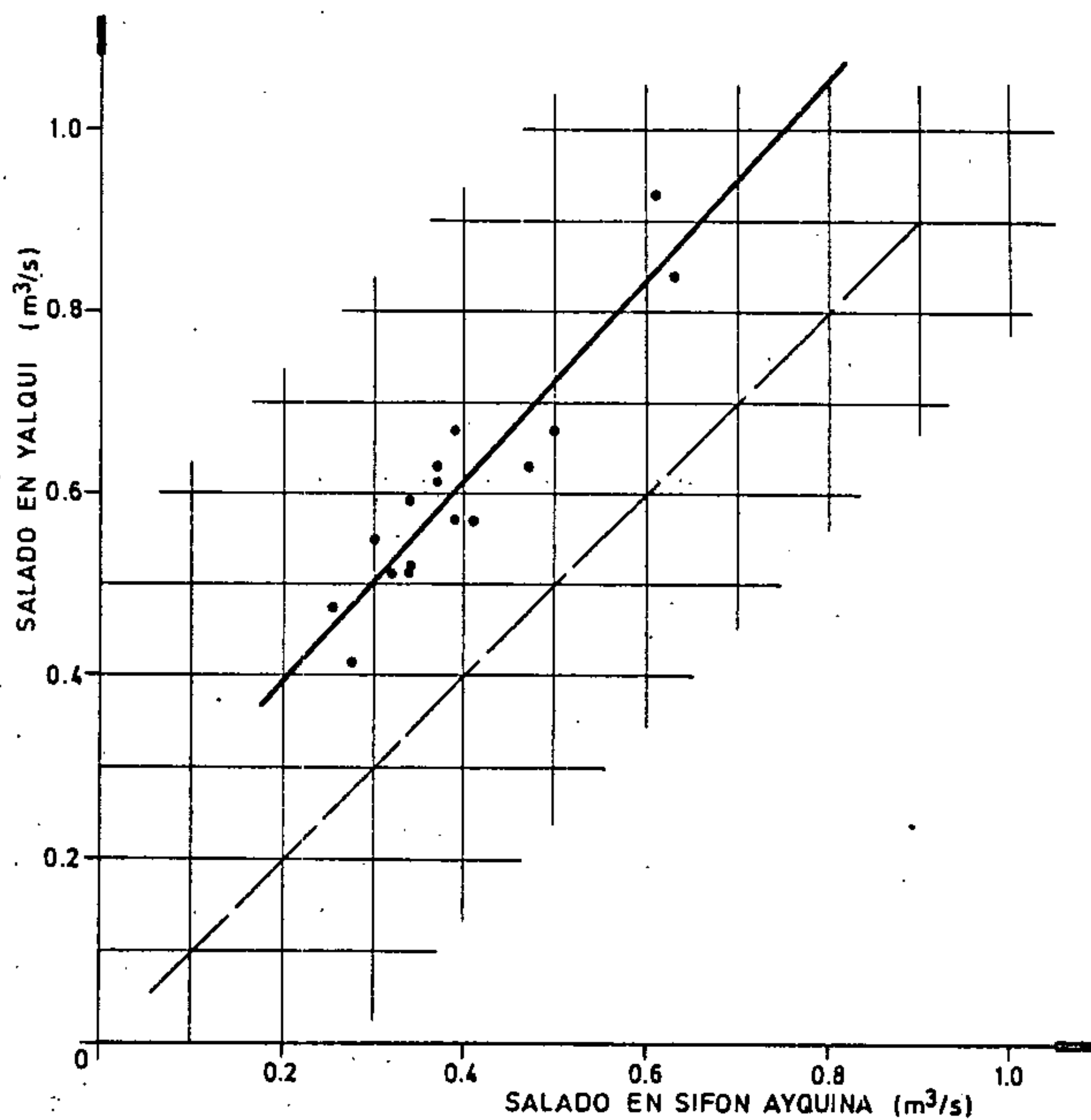
QSAL : Caudal en el río Salado antes junta con río Loa
(m³/seg)

QSAL : Caudal en el río Salado en Ayquina o en Sifón
Ayquina (m³/seg)

Adicionalmente, se estudió este tramo por separado, considerando las recuperaciones entre Salado en Yalqui y Salado en Sifón Ayquina (Tabla IV.9, Anexo IV) y, Salado antes junta con Loa y Salado en Yalqui (Tabla IV.10, Anexo IV). Este análisis se basó en datos de aforos concurrentes en el tiempo efectuados en los puntos antes citados. En las figuras 4.4 y 4.5, se presentan las relaciones obtenidas; en ambos casos se efectuó un ajuste mediante mínimos cuadrados. Analizando ambas figuras, se observa claramente que la mayor parte de las recuperaciones se producen entre Ayquina y Yalqui. Con la conclusión anterior y observando la geomorfología de la zona, se puede presumir que la mayor parte de estas recuperaciones provienen de la zona de las vegas de Turi. Consecuentemente, futuras extracciones de agua que se plantean en dicha zona, afectarán estas recuperaciones y por consiguiente los caudales de aportes del río Salado al Loa, hasta en un máximo potencial de 200 l/s.

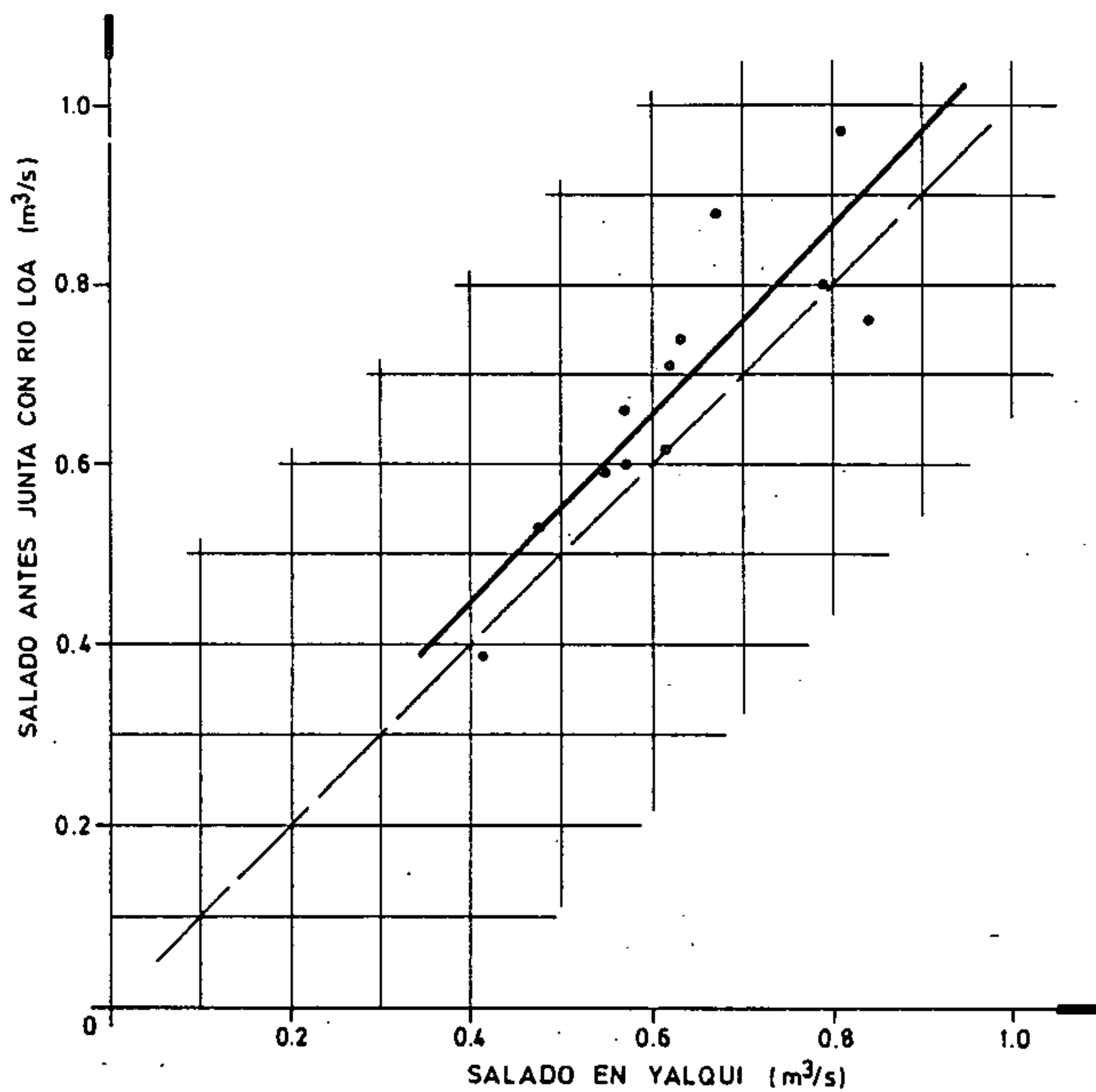
4.2.2 Tramo del río Loa entre el Embalse Conchi y la entrada a la zona de Riego de Lasana

En este tramo la Dirección de Riego ha realizado aforos concurrentes, en número de 4 al mes aproximadamente, durante todo el año 1984 y hasta la actualidad, en la estación fluviométrica (parshall) ubicada aguas abajo del embalse Conchi y en el río Loa antes de la zona de riego de Lasana. El análisis conjunto de estos datos, revela que las diferencias de caudal entre estos dos puntos son mínimas, y además, son tanto positivas como negativas. Consecuentemente puede suponerse razonablemente, que no existen pérdidas o recuperaciones netas en el tramo.



NOTA :
 (aforos concurrentes en el tiempo
 Período Oct. 77 a Nov. 83.)
Relación Ajustada:
 $Q_{SY} = 1.107 Q_{SSA} + 0.169$
 $r^2 = 0.854 \quad n = 16$

RELACION DE AFOROS.
 SALADO EN YALQUI VS. SALADO EN SIFON AYQUINA.



NOTA :

(aforos concurrentes en el tiempo Período Feb. 74 a Nov. 83).

Relación Ajustada:

$Q_{SAL} = 1.043 Q_{SY} + 0.031$

$r^2 = 0.746 \quad n = 12$

RELACION DE AFOROS.
SALADO ANTES JUNTA CON LOA VS. SALADO EN YALQUI.

FIGURA
4.5

4.2.3 Tramo Loa después de junta con Salado y Loa en Valquincha

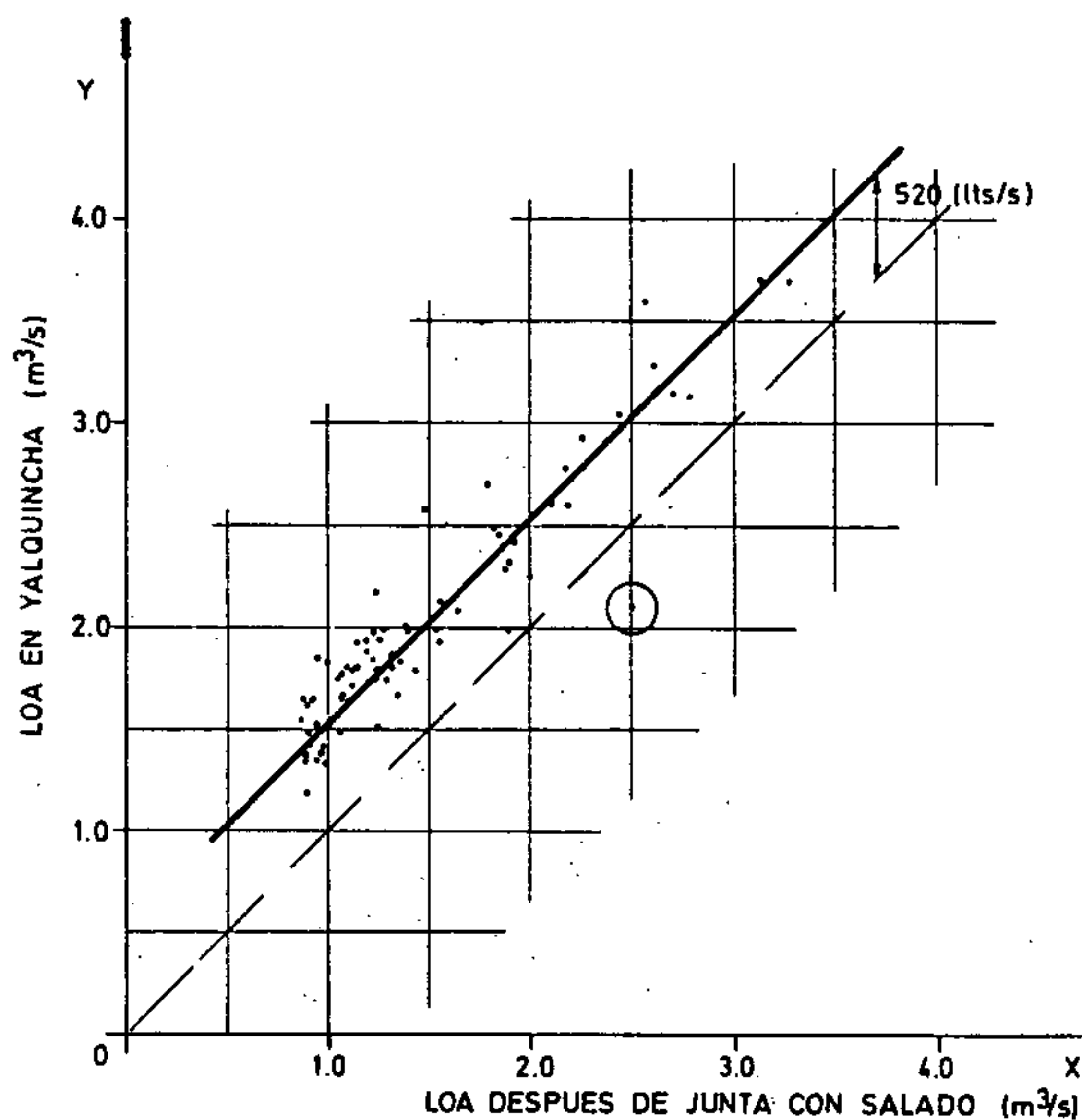
Para realizar este análisis se efectuó una relación en base a aforos concurrentes en el tiempo entre Loa después de junta con Salado y Loa en Valquincha. Se ocuparon todos los aforos disponibles realizados por la D.G.A. y por la Dirección de Riego, en las secciones antes señaladas (Tabla IV.11, Anexo IV). En la figura 4.6 se presenta la relación obtenida. Se realizó un ajuste por mínimos cuadrados y este presentó una pendiente aproximadamente igual a 1. Finalmente se decidió adoptar una curva de recuperación neta constante igual a 520 l/s, la que considera las extracciones de los canales Valquincha y Cardoso, cuyas bocatomas se ubican al inicio de la zona de riego de Valquincha.

Existen unos pocos aforos concurrentes en el tiempo en Loa después de Angostura y Loa en Valquincha, realizados por la Dirección de Riego entre Julio de 1984 y Junio de 1985. El análisis de estos aforos permite concluir que en este tramo se produce una recuperación neta promedio de 50 l/s; consecuentemente, en el tramo Loa después de junta con Salado a Loa después de Angostura, se produciría una recuperación neta media de 470 l/s. Considerando, por otra parte, que la extracción media para riego en los canales Valquincha y Cardoso sería de 150 l/s es posible concluir que las recuperaciones totales entre Loa después de Angostura y Loa en Valquincha alcanza a 200 l/s.

Consecuentemente, se puede concluir que la recuperación total entre Loa después de Salado y Loa en Valquincha, sería aproximadamente constante y de 670 l/s.

4.2.4 Tramo Loa en la Finca a Loa antes junta San Salvador

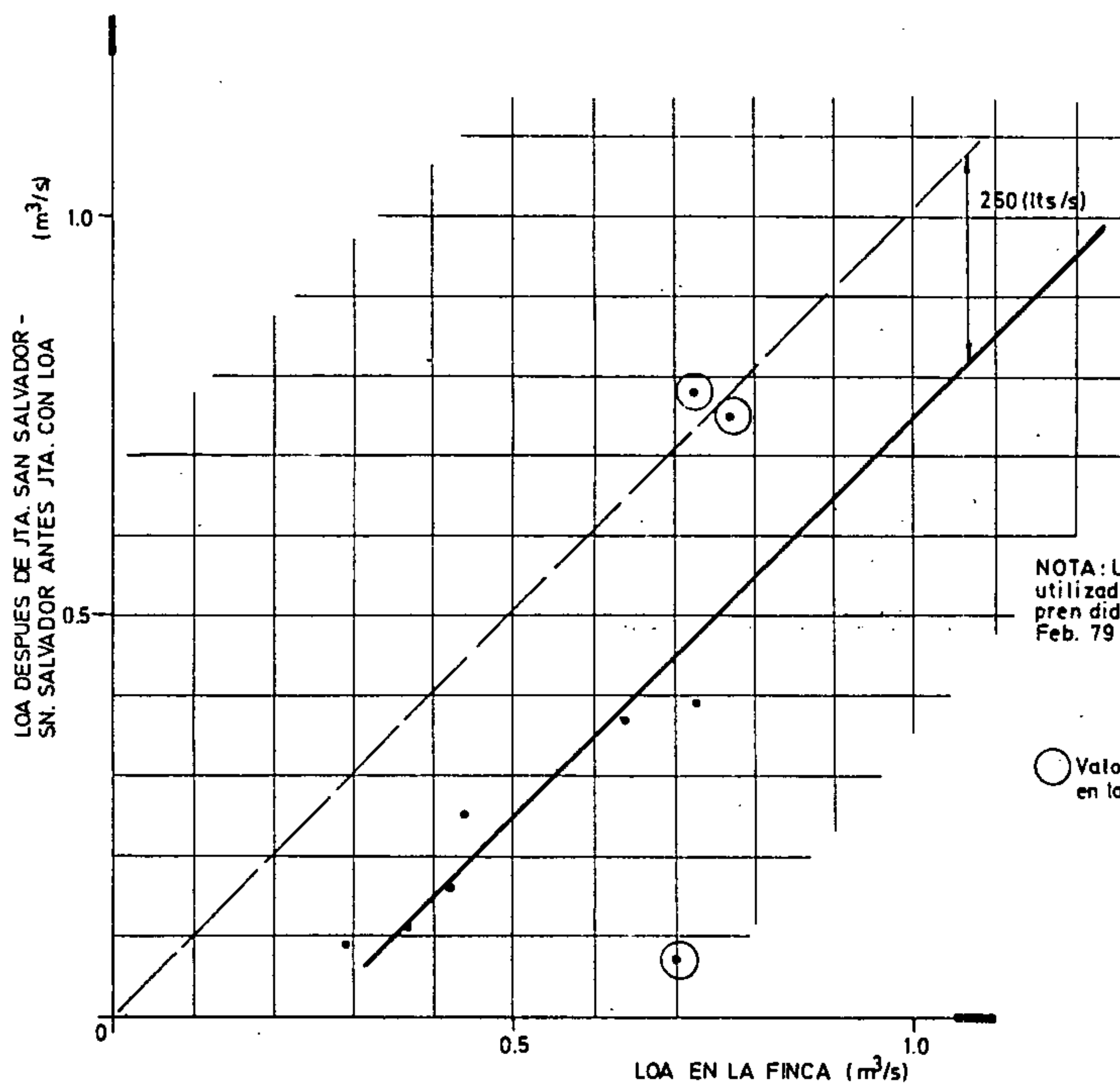
Para evaluar la magnitud de pérdidas o recuperaciones en este tramo, se efectuó una relación entre los caudales medios diarios de la estación fluviométrica Loa en La Finca y la resta de los aforos concurrentes en el tiempo, de Loa después de junta con San Salvador y San



(aforos concurrentes en el tiempo
Período Junio 61 a Marzo 64;
Marzo 79; Enero 84 a Junio 85)

RELACION DE AFOROS.
LOA EN YALQUINCHA Y LOA DESPUES DE JUNTA CON SALADO.

FIGURA
4.6



RELACION DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS Y AFOROS SECTOR
LOA ANTES JTA. SN. SALVADOR A LOA EN LA FINCA

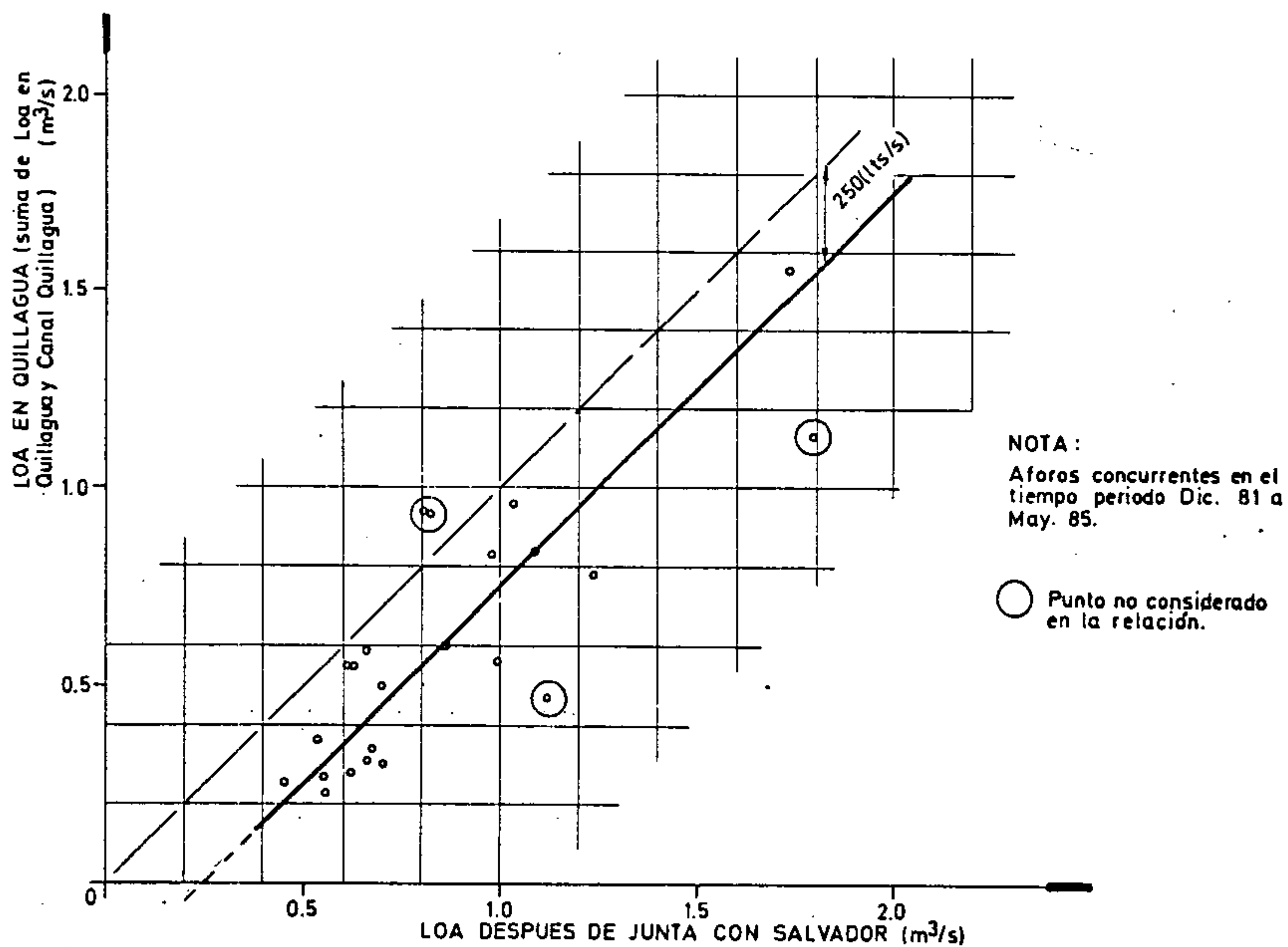
FIGURA
4.7

Salvador antes junta con Loa (Tabla IV.12, Anexo IV). En la figura 4.7 se presenta la relación obtenida; se puede observar que los valores son pocos y que algunos de ellos aparecen sensiblemente apartados de la tendencia general; a pesar de lo anterior, se consideró apropiado adoptar una curva de pérdida constante e igual a 250 l/s. Este valor de pérdida incluye las extracciones de agua para las salitreras, ubicadas aguas arriba de la junta de los ríos Loa y San Salvador. Con respecto a estas extracciones, cabe señalar que el informe Espíldora et al (1979) adoptó un valor de 96 l/s; el otro antecedente disponible es un informe de la Dirección General de Aguas de Antofagasta (Díaz, 1983) (*) que adopta un valor de 67 l/s para estas extracciones. Considerando que este último es un valor más actualizado, se podría adoptar como valor representativo de la situación actual; por consiguiente, la pérdida neta de agua por infiltración y evapotranspiración en el tramo del río Loa entre La Finca y la junta con el San Salvador puede estimarse en 183 l/s.

4.2.5 Tramo Loa después de junta con San Salvador a Loa en Quillagua

Para cuantificar la situación en este tramo, se confeccionó una relación de aforos concurrentes en el tiempo entre Loa después de junta con Salvador y Loa en Quillagua. Como la sección de aforo del río Loa en Quillagua queda aguas abajo de la captación del canal Quillagua, para obtener el caudal total en Loa en Quillagua, se sumó el caudal captado por el canal al caudal aforado en el río. El período de aforos concurrentes considerado abarcó desde Diciembre de 1981 a Mayo de 1985 (Tabla IV.13, Anexo IV). En la figura 4.8 se presenta la relación obtenida; haciendo un ajuste por mínimos cuadrados, este presentó una pendiente sensiblemente igual a 1. Consecuentemente, se decidió adoptar una curva de pérdida constante e igual a 250 l/s. Cabe señalar que

(*) Díaz, J. "Balance Hidrológico del Area de Quillagua. Cuenca del Río Loa. II Región". Dirección General de Aguas, M.O.P. Antofagasta. Abril 1983.



RELACION DE AFOROS.
LOA DESPUES DE JUNTA CON SALVADOR VS. LOA EN QUILLAGUA.

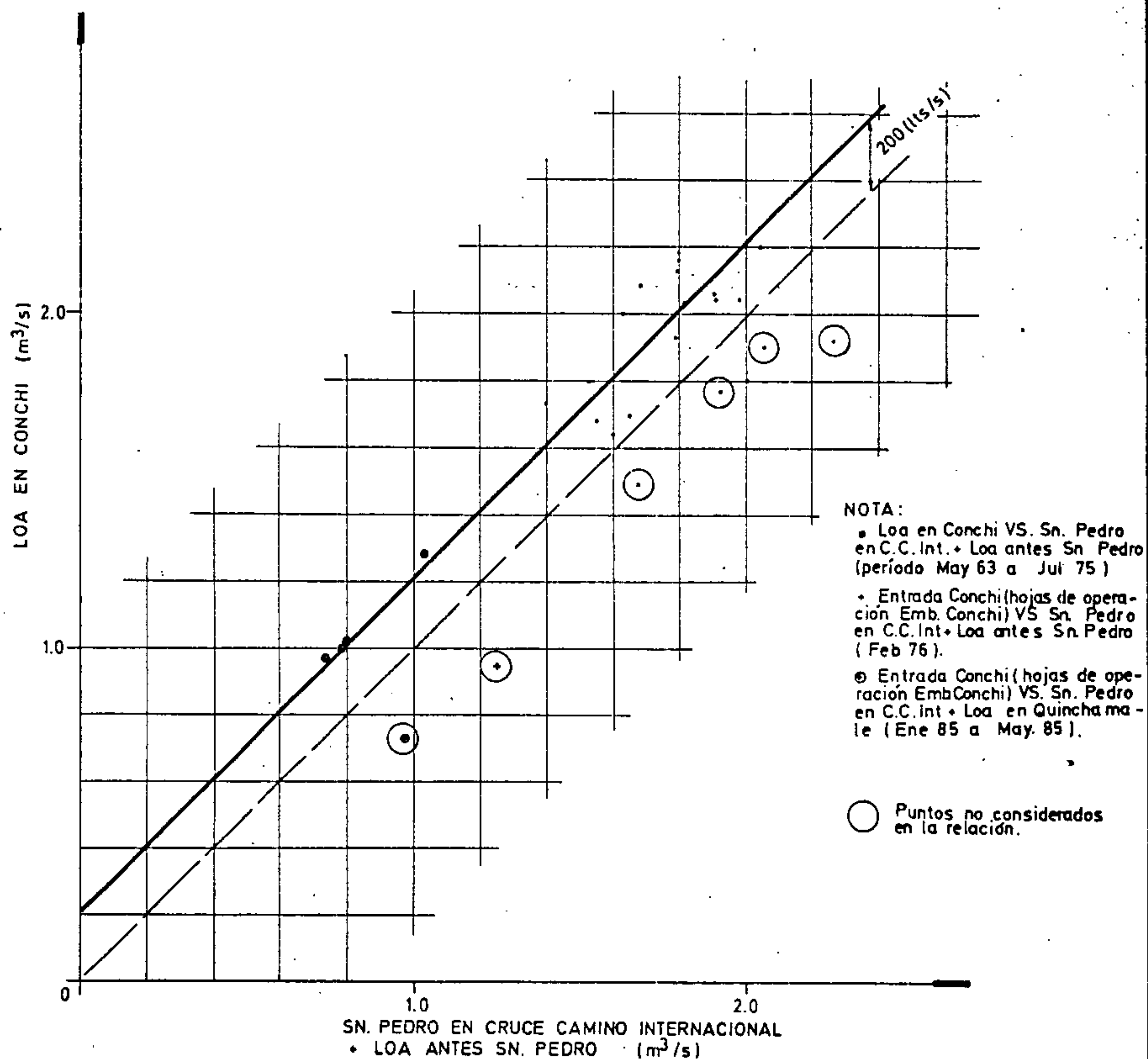
FIGURA
4.8

esta conclusión es sustancialmente distinta a la adoptada en el estudio de Espíldora et al (1979); esto se debe a que para dicho estudio sólo se contaba en Quillagua con aforos realizados dentro de la zona de riego y por consiguiente, muy afectados por las extracciones y recuperaciones de riego; en cambio ahora, los datos de aforos disponibles están perfectamente identificados en cuanto a ubicación y cuantifican los gastos totales disponibles para Quillagua.

Cabe señalar también, que la pérdida registrada lleva implícitos las extracciones de agua para las salitreras que ocurren aguas abajo de la junta con el San Salvador; según el informe Díaz (1983), estas ascenderían a 65 l/s para María Elena. Valor que es levemente inferior al adoptado por Espíldora et al (1979). Considerando estos 65 l/s, las pérdidas en el tramo Loa después de junta con San Salvador a Quillagua, por concepto de evapotranspiración e infiltración, ascenderían a 185 l/s.

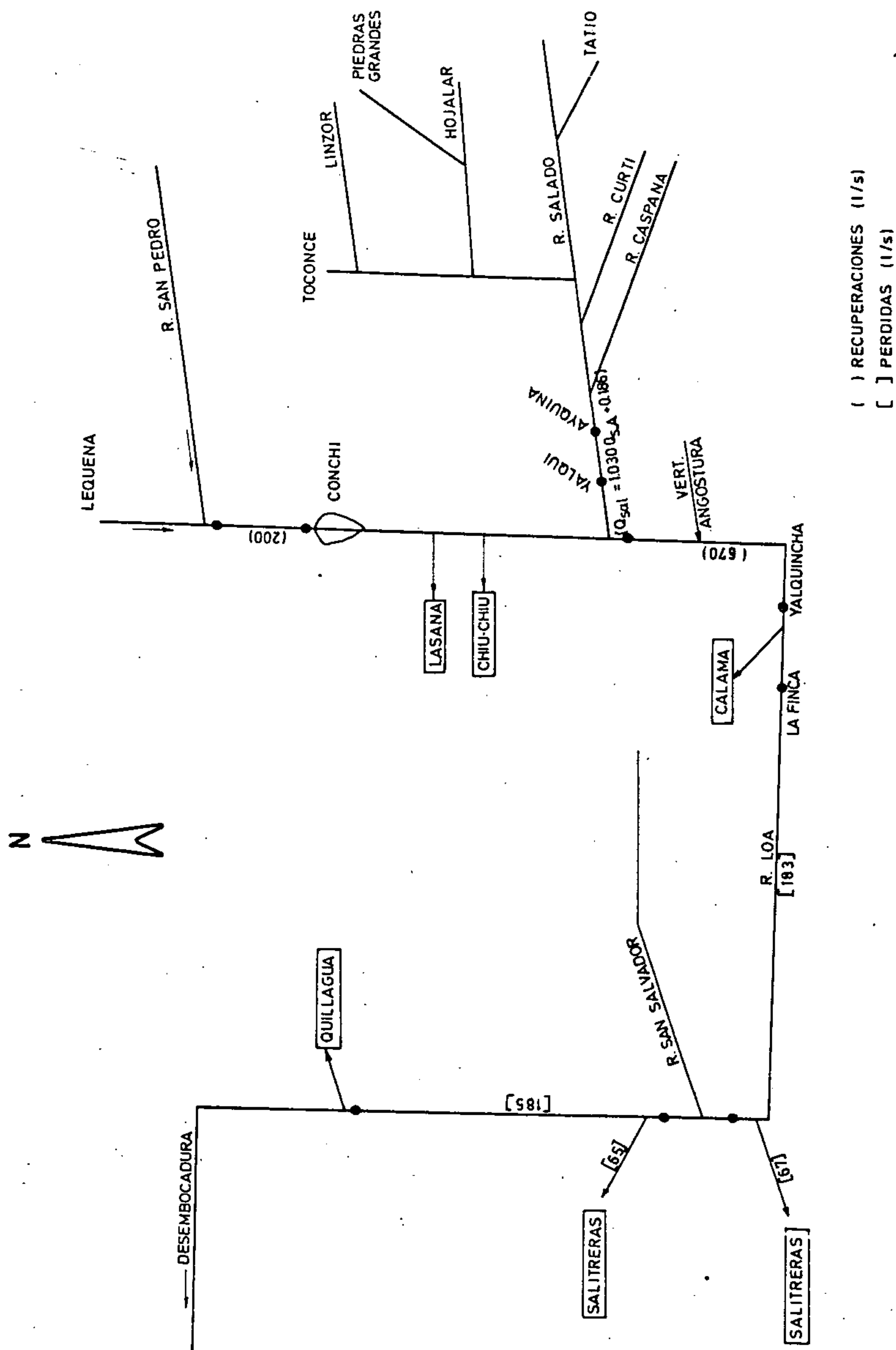
4.2.6 Tramo Loa después de San Pedro a Loa en entrada a Embalse Conchi

Principalmente con el objeto de modelar el efecto en la calidad del agua de entrada al embalse que tendrán futuras extracciones aguas arriba de éste, se estudió el balance hídrico del tramo desde la junta del San Pedro con el Loa, hasta Conchi. Para esto se confeccionó una relación entre caudales medios diarios y aforos concurrentes en el tiempo. Los caudales medios diarios corresponden a los registrados en la estación fluviométrica Loa en Conchi; estos fueron complementados, a partir de 1976 por los caudales medios diarios de entrada al embalse Conchi, registrados en las hojas de operación del embalse. Los aforos corresponden a los efectuados en San Pedro en cruce Camino Internacional y Loa antes San Pedro (Tabla IV.14, Anexo IV); la suma de ambos, se asimila al caudal de Loa después de junta con San Pedro. Adicionalmente, se utilizó algunos aforos efectuados en Loa en Quinchamale que sumados a los de San Pedro en cruce Camino Internacional, permiten obtener el caudal de Loa después de San Pedro. En la figura 4.9 se presenta la relación obtenida; se consideró apropiado adoptar una curva de recuperación constante e igual a 200 l/s en este tramo.



RELACION DE CAUDALES MEDIOS DIARIOS Y AFOROS SECTOR LOA DESPUES DE SN. PEDRO A LOA EN CONCHI.

FIGURA
4.9



RECUPERACIONES Y PERDIDAS EN EL SISTEMA EMBALSE CONCHI - RIO LOA

FIGURA
4.10

En la figura 4.10 se presenta un diagrama esquemático de las recuperaciones y pérdidas, adoptadas finalmente para el sistema.

4.3 Pronóstico de Caudales Medios Mensuales

4.3.1 Introducción

La operación del embalse y los análisis de simulación del Sistema Embalse Conchi-Rio Loa requieren de una previsión de caudales medios mensuales en los ríos Loa en Conchi y Salado en Ayquina, entradas principales al sistema.

El objetivo es establecer un método de pronóstico que permita estimar los caudales medios mensuales con anticipación suficiente para la temporada principal de riego. Para esto, se establece como período de pronóstico el comprendido entre el 1o. de Agosto y el 30 de Abril del año siguiente.

En los caudales medios mensuales pronosticados no se incluyen los aportes producidos por las crecidas por la imposibilidad de pronosticarlos ni siquiera en el corto plazo, debido a la escasez de información disponible y a lo aleatorio del régimen hidrológico de crecidas.

El modelo de pronósticos planteado como se indica en el párrafo anterior, permitirá conocer los mínimos recursos de agua que se dispondrán en Loa en Conchi y en Salado en Ayquina. Cualquier evento de crecida que se produzca, aumentará las disponibilidades en la temporada de riego. El modelo pronosticará caudales medios mensuales bases.

4.3.2 Relaciones de Pronóstico

El método de pronóstico se presenta en detalle en el Anexo V. Las relaciones finales obtenidas están dadas en los puntos siguientes.

4.3.2.1 Pronóstico del Volumen total a Escurrir

La predicción del volumen total a escurrir está dada en términos de régimen natural, en el período comprendido entre el 10. de Agosto y el 30 de Abril del año siguiente.

Las relaciones obtenidas son :

Salado en Ayquina

$$V(\text{AGO-ABR}) = 1,878 + 2,031 V(\text{ABR-JUL}) \quad (4.3.1)$$

Loa en Conchi

$$V(\text{AGO-ABR}) = 5,401 + 1,557 V(\text{MAR-JUL}) \quad (4.3.2)$$

en que :

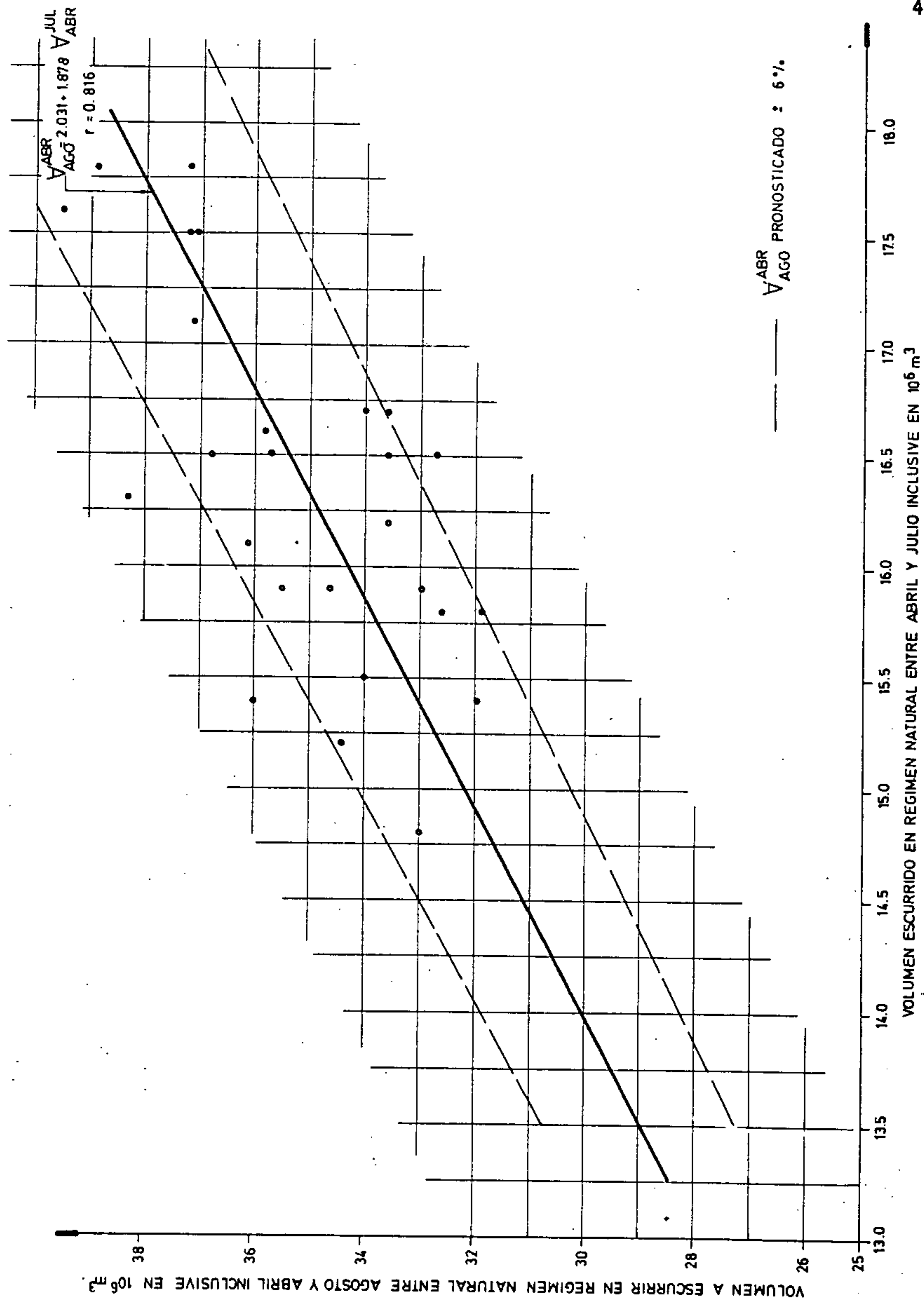
$V(\text{AGO-ABR})$ = Volumen base a escurrir en régimen natural, sin considerar las crecidas, desde el 10. de Agosto al 30 de Abril, (Hm³).

$V(\text{MAR-JUL})$ = Volumen base escurrido en régimen natural, sin considerar las crecidas, desde el 10. de Marzo al 31 de Julio del año en que se efectúa el pronóstico, (Hm³).

$V(\text{ABR-JUL})$ = Volumen base escurrido en régimen natural, sin considerar las crecidas, desde el 10. de Abril al 31 de Julio del año en que se efectúa el pronóstico, (Hm³).

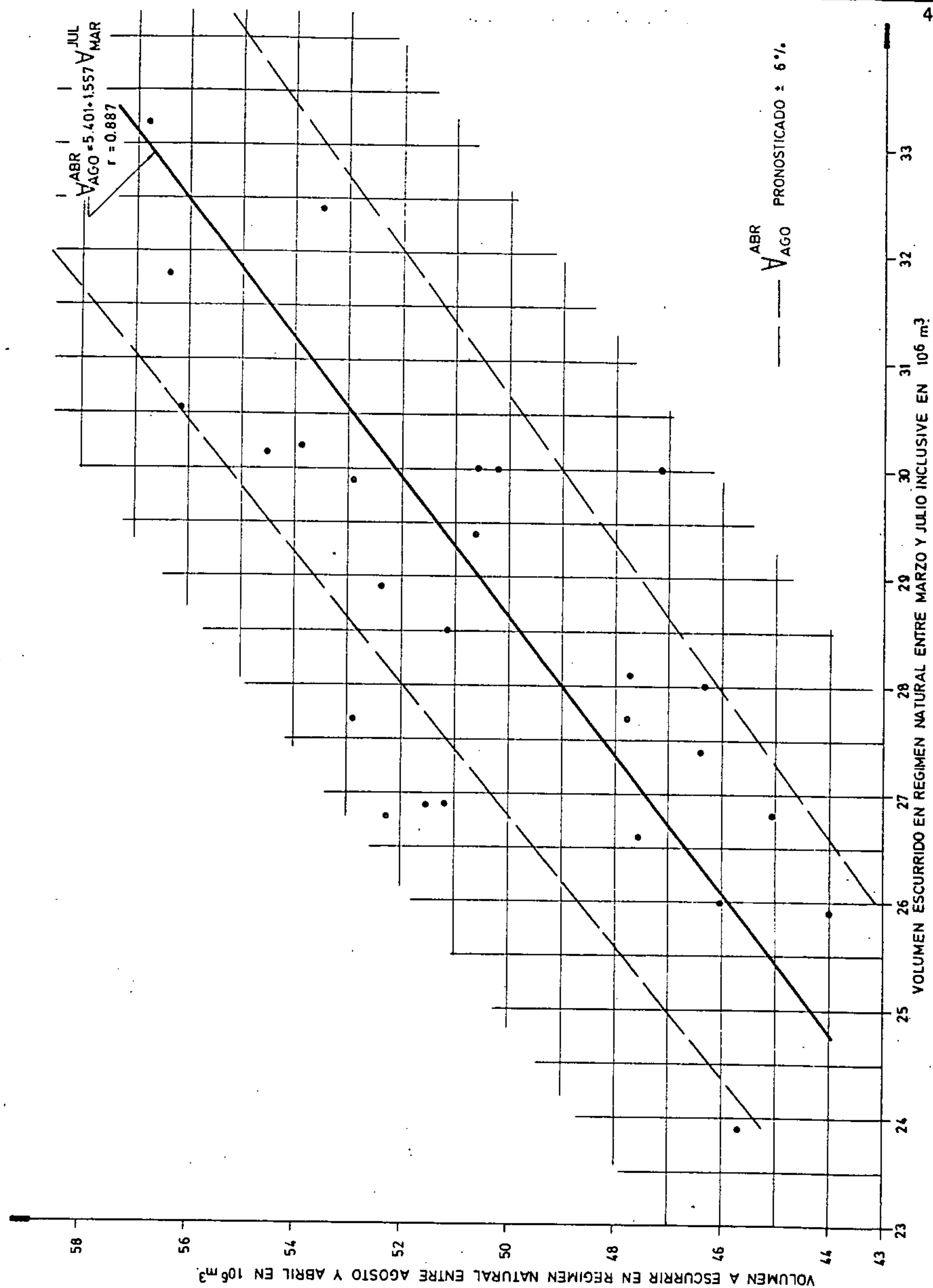
Las relaciones de pronóstico están dadas en las figuras 4.11 y 4.12 para las estaciones Salado en Ayquina y Loa en Conchi respectivamente.

A los valores medidos de volúmenes escurridos en el período comprendido entre los meses de Marzo a Julio y de Abril a Julio, debe agregárseles el volumen de extracciones aguas arriba de las estaciones consideradas, de modo de tener así el régimen natural en esos períodos.



PRONOSTICO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA EN REGIMEN NATURAL EN EL PERIODO AGOSTO - ABRIL. RIO SALADO EN AYQUINA.

FIGURA
4.11



PRONOSTICO DEL VOLUMEN DE ESCORRENTIA EN REGIMEN NATURAL EN EL PERIODO AGOSTO - ABRIL. RIO LOA EN CONCHI

FIGURA
4.12

Igualmente, al volumen pronosticado comprendido entre los meses de Agosto y Abril, debe descontarse el volumen de extracciones, de modo de obtener el volumen real a escurrir en el periodo.

4.3.2.2 Pronóstico de caudales medios mensuales

El método de pronóstico que se usará es el que distribuye el caudal medio mensual aplicando un coeficiente promedio.

Los valores obtenidos para los coeficientes de distribución para Loa en Conchi y Salado en Ayquina, se indican en la tabla 4.1.

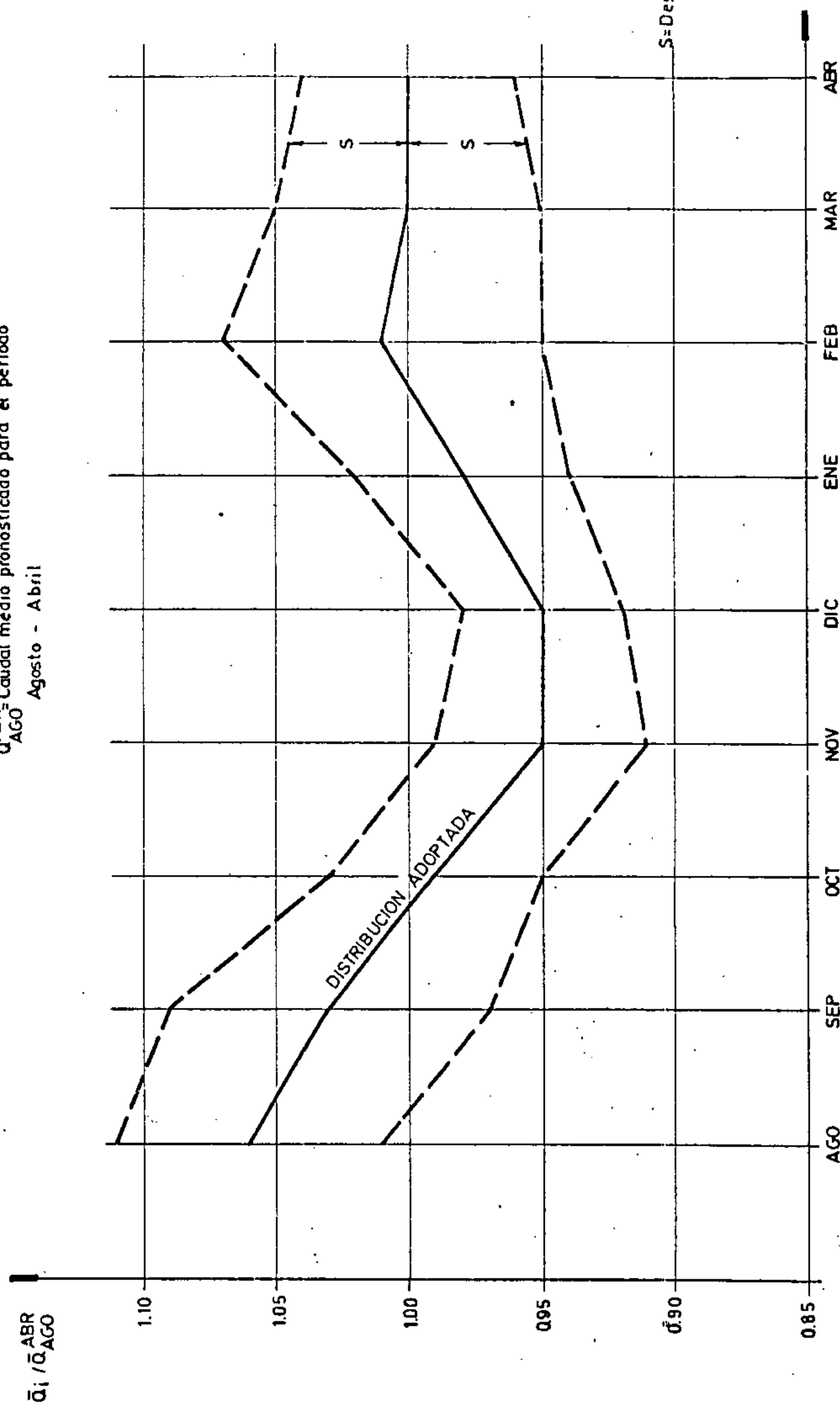
TABLA 4.1

Coeficiente de distribución de caudales medios mensuales

Estacion	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Salado en									
Ayquina	1,06	1,03	0,99	0,95	0,95	0,98	1,01	1,00	1,00
Loa en									
Conchi	1,01	0,98	0,98	0,96	0,96	1,01	1,02	1,03	1,00

La variación mensual de estos coeficientes está dada en las figuras 4.13 y 4.14 para Salado en Ayquina y Loa en Conchi respectivamente. Se indica también el rango de valores posibles dentro de \pm una desviación estándar. El error máximo relativo se estima de un 6% en Salado en Ayquina, y de un 8% en Loa en Conchi.

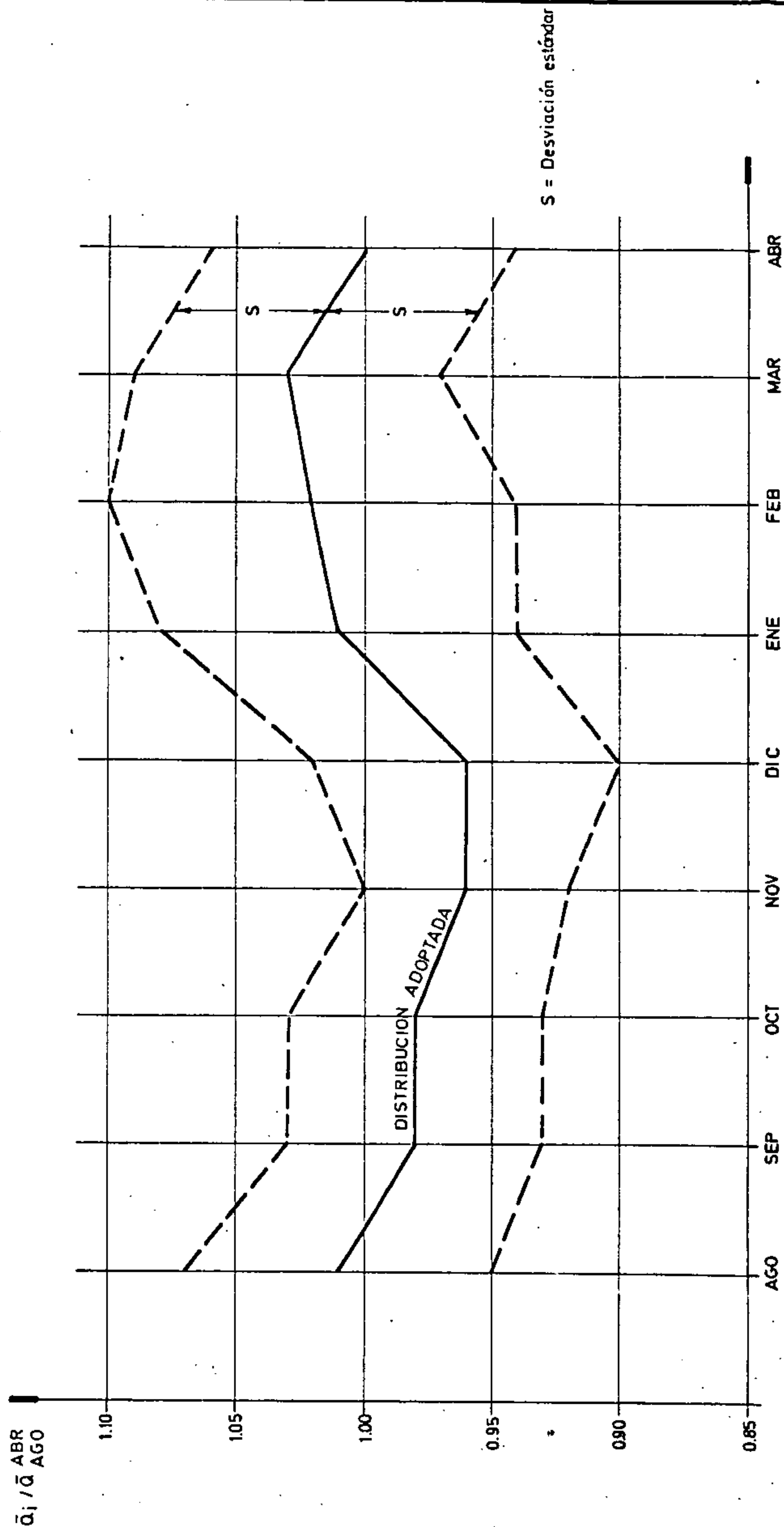
\bar{Q}_i = Caudal medio del mes i
 \bar{Q}_{ABR}^{ABR} = Caudal medio pronosticado para el período
 \bar{Q}_{AGO}^{AGO} Agosto - Abril



DISTRIBUCION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN EL PERIODO AGOSTO - ABRIL. RIO SALADO EN AYQUINA.

FIGURA 4.13

\bar{Q}_i = Caudal medio del mes i
 $\frac{\bar{Q}_{ABR}}{\bar{Q}_{AGO}}$ Caudal medio pronosticado para
 el período Agosto - Abril.



DISTRIBUCION DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN EL PERIODO AGOSTO - ABRIL. RIO LOA EN CONCHI.

FIGURA 4.14

4.4 Estudios de Crecidas

En este capítulo se complementa el estudio hidrológico de crecidas realizado anteriormente por Espíldora et al (1979), utilizando la información nueva que al respecto se ha generado en los últimos años.

Se incluye las caracterizaciones hidrológicas de las crecidas registradas en las estaciones de Loa en Conchi, Salado en Ayquina y Loa en Yalquincha.

Se intenta además un análisis de frecuencia y un análisis de correlaciones para caracterizar en mejor forma las crecidas en estas estaciones.

4.4.1 Caracterización de las crecidas

En la caracterización hidrológica de las crecidas se usó como referencia el estudio de Espíldora et al (1979), el que realiza esta caracterización hasta el año 1975, usando para tal efecto el Estudio de Crecidas del Proyecto CHI-535 y los limnigramas de la Dirección General de Aguas (DGA).

Del año 1976 hasta la actualidad (1985), la recopilación de antecedentes se realizó en la DGA, revisando los limnigramas correspondientes a ese período. Para la traducción de las alturas limnigráficas, se utilizó las curvas de descarga existentes en la DGA.

4.4.1.1 Loa en Conchi

1) Caracterización hidrológica de las crecidas.

En la Tabla 4.2 se presenta un resumen de los parámetros básicos calculados, que permiten caracterizar las crecidas registradas en Loa en Conchi. Para cada una de ellas se incluye fecha de inicio, término de la crecida, hora de inicio, duración, volumen total, volumen de flujo base, volumen de esorrentía directa, caudal medio de la crecida y caudal máximo.

En la caracterización hidrológica de las crecidas de Loa en Conchi, se usaron las estadísticas de las estaciones fluviométricas de Loa en Alcantarilla Conchi hasta el año 1976 (extraídas del estudio anterior) y Loa en Alcantarilla Nueva No.2 desde el año 1979 hasta el año 1986. Entre los años 1976 y 1979 no existen limnigramas. En ese período se produjo una crecida grande, el año 1977, que se evaluó como se indica en la Tabla 4.2.

En el estudio de Espíldora et al (1979) se establecieron relaciones entre los parámetros característicos de las ondas de crecidas de Loa en Conchi, obteniéndose las siguientes relaciones, que se consideran válidas en el presente trabajo.

- Relación Caudal Máximo Instantáneo-Duración :

$$td = 9,171 + 5,203 Q_p$$

en que td = Duración de la crecida (horas)
 Q_p = caudal máximo (m³/s)

- Relación Volumen de Crecida-Caudal Máximo Instantáneo :

$$Q_p = 27,716 * 10^{-3} * V^{0,464}$$

Q_p = caudal máximo (m³/s)
 V = volumen de crecida (m³)

- Relación Volumen de Crecida - Duración :

$$td = 54,976 * 10^{-3} * V^{0,559}$$

td = duración (horas)
 V = volumen de crecida (m³)

TABLA 4.2

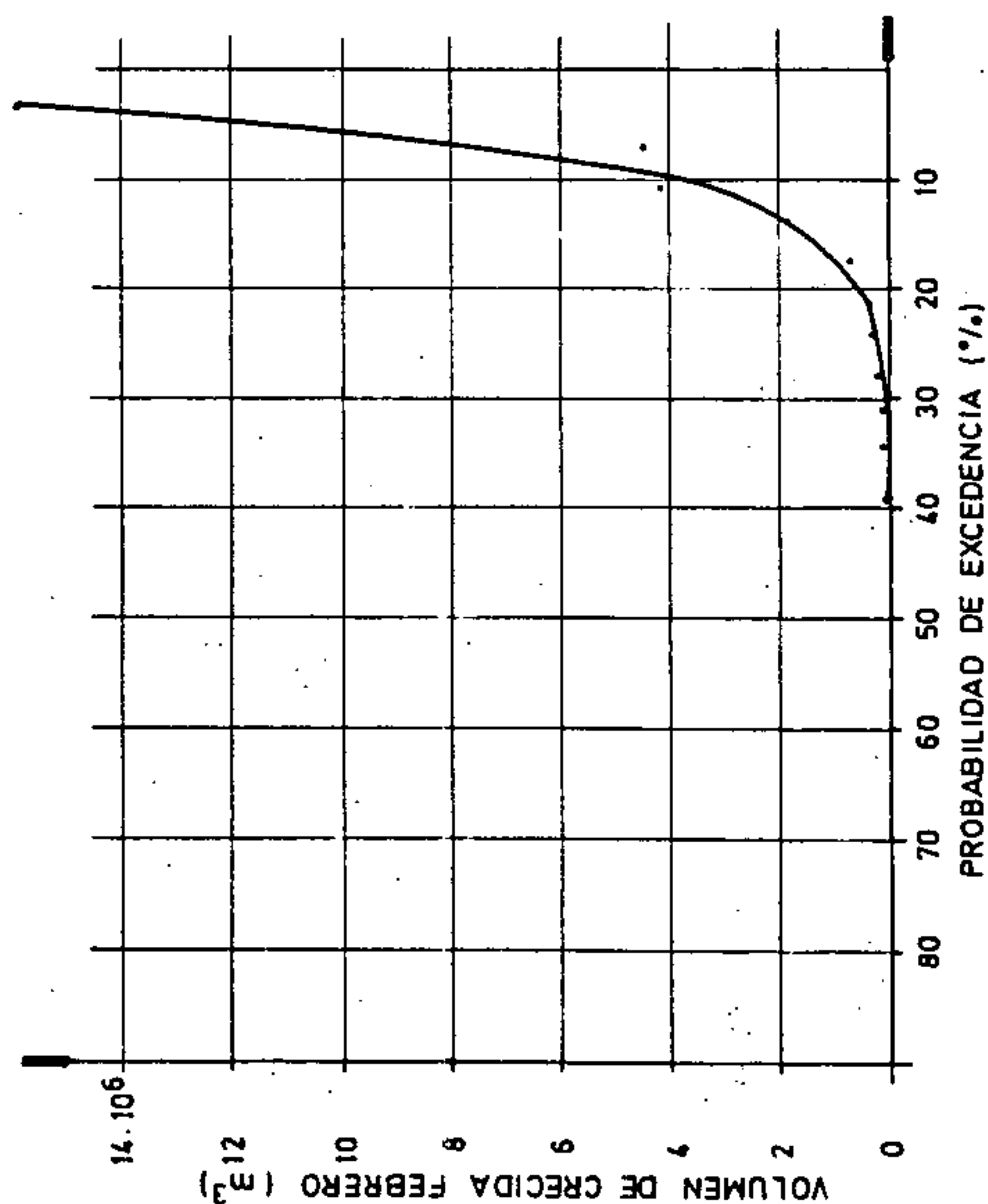
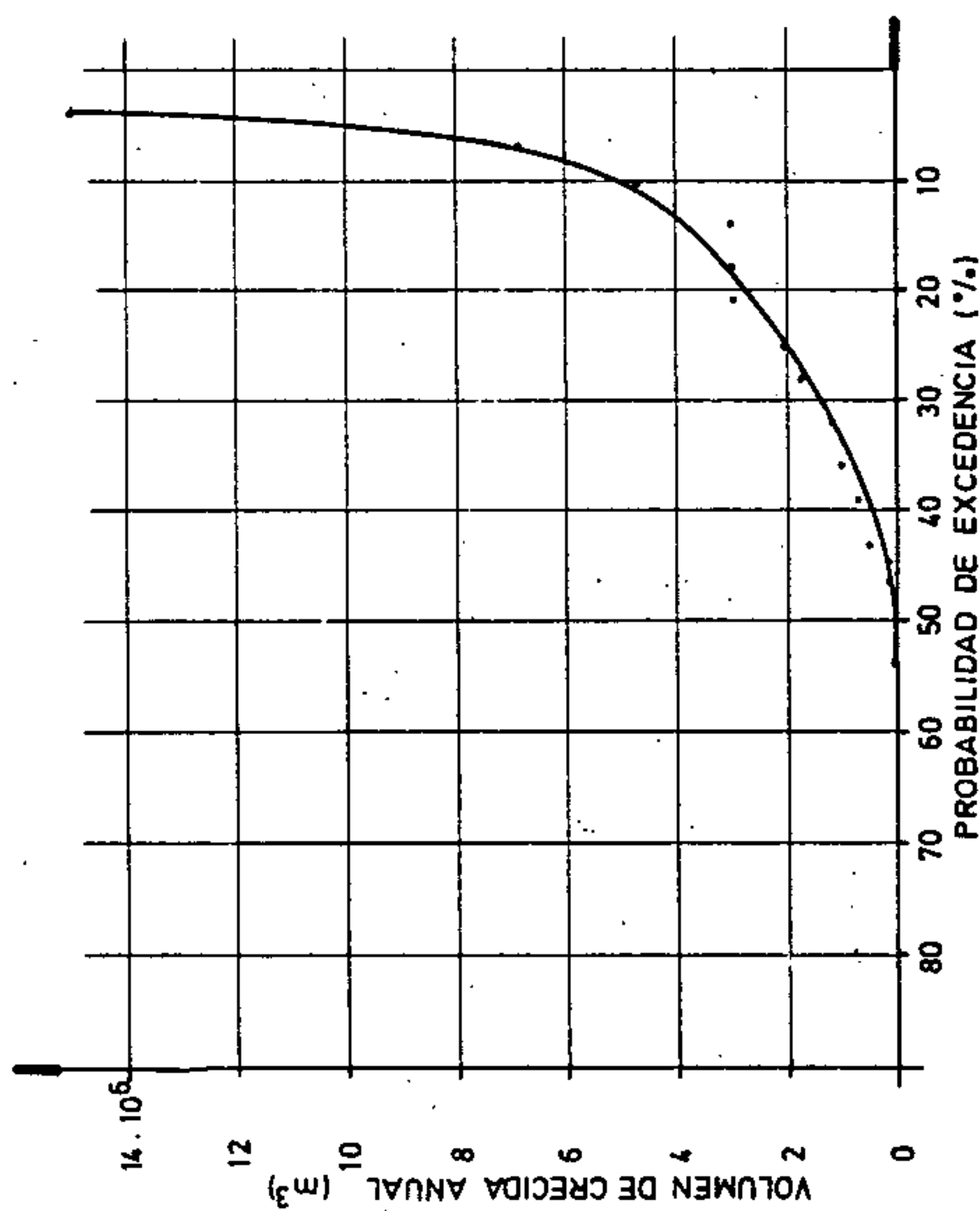
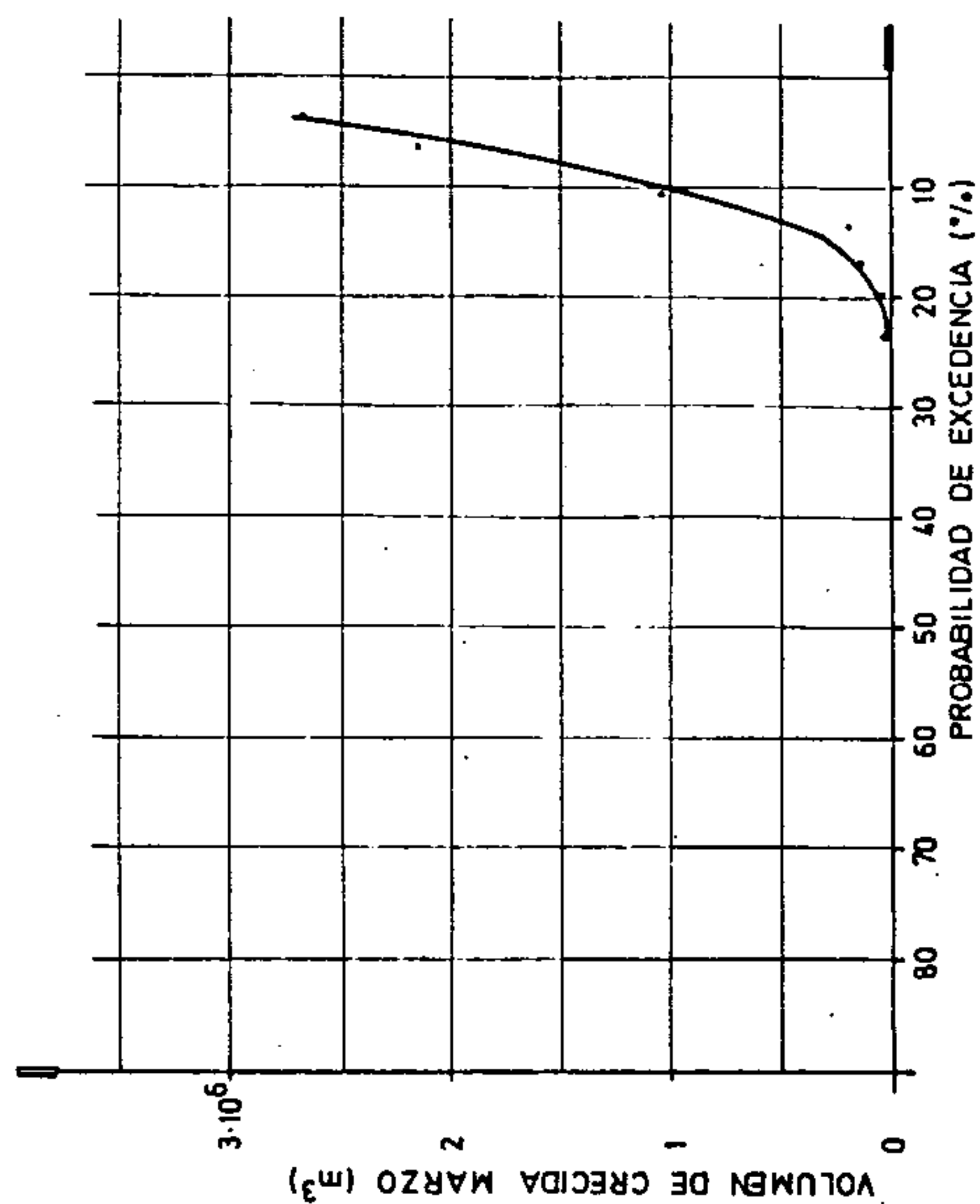
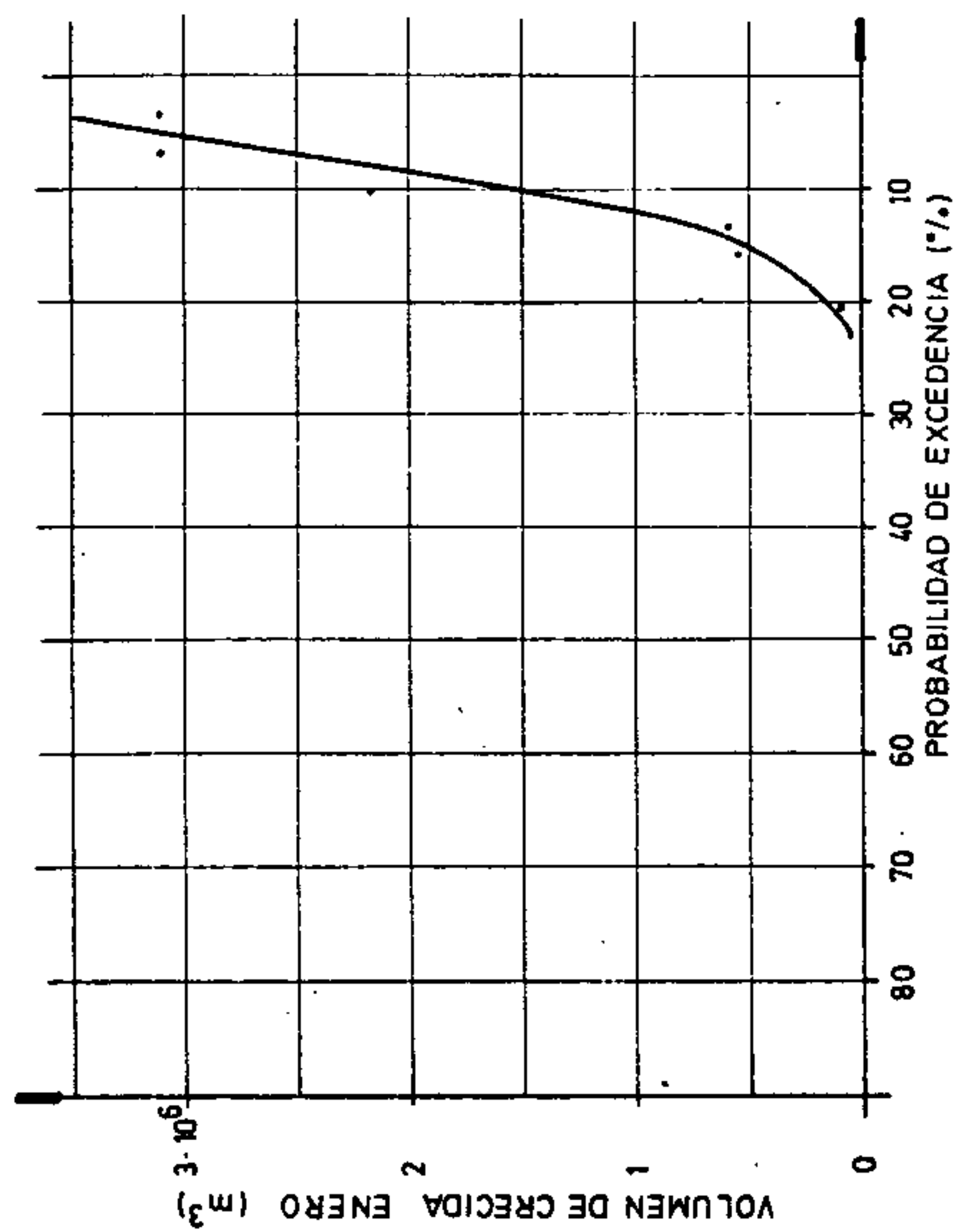
LOA EN CONCHI

No. CRECIDA	DESDE	HASTA	HORA INICIO	DURACION (HRS)	VOLUMEN TOTAL (10 ³ m ³)	VOL. FLUJO BASE (10 ³ m ³)	VOLUMEN CRECIDA (10 ³ m ³)	CAUDAL MED. CRECIDA (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)
1	23/2/59	28/2/59	20	116	1.526	1.148	378	0,91	8,08
2	03/3/59	13/3/59	0	240	4.753	2.125	2.628	3,04	20,85
3	19/1/61	31/1/61	22	290	5.889	2.788	3.101	2,97	22,39
4	05/2/61	05/2/61	8	12	167	129	38	0,86	5,46
5	09/2/63	10/2/63	8	56	680	433	247	1,22	8,25
6	09/3/63	15/3/63	0	164	2.236	1.187	1.049	1,77	18,63
7	31/1/68	01/2/68	18	16	217	130	87	1,52	5,30
8	18/2/68	20/2/68	18	48	557	374	183	1,06	3,84
9	11/3/69	11/3/69	2	12	149	96	53	1,21	5,58
10	02/1/70	03/1/70	9	24	196	155	41	0,47	4,02
11	19/2/70	20/2/70	2	40	349	290	59	0,42	5,80
12	28/2/70	01/3/70	20	24	190	148	42	0,48	3,88
13	03/1/72	05/1/72	13	48	841	442	399	2,31	24,57
14	07/1/72	07/1/72	8	12	97	85	12	0,29	2,77
15	09/1/72	11/1/72	13	48	490	341	149	0,86	8,67
16	16/2/72	24/2/72	6	192	1.830	1.107	723	1,05	4,47
17	26/1/73	31/1/73	4	140	1.149	605	544	1,07	5,94
18	01/2/73	01/2/73	10	250	5.156	1.205	3.951	4,39	45,99
19	26/2/73	03/3/73	18	120	1.092	770	332	0,74	3,62
20	03/3/73	12/3/73	22	216	3.597	1.458	2.139	2,75	34,92
21	24/1/74	01/2/74	22	176	3.027	868	2.159	3,41	31,52
22	30/1/75	04/2/75	0	144	1.786	673	1.113	2,15	20,65
23	14/2/75	27/2/75	20	296	15.050	1.228	13.822	12,97	63,60
24	19/2/77	23/2/77	-	-	5.197	700	4.497	-	36 (*)
25	21/2/81	27/2/81	-	-	1.152	769	383	-	10 (*)
26	13/3/83	17/3/83	18	81	359	245	144	1,23	3,2
27	11/1/84	14/1/84	-	-	3.536	436	3.100	-	30 (*)
28	06/2/85	10/2/85	0	111	1.063	462	600	2,66	7,89
29	12/2/85	15/2/85	15	76	738	399	338	2,70	6,43
30	18/2/85	21/2/85	6	76	1.357	487	870	4,96	57,21
31	05/3/85	09/3/85	9	96	711	542	169	2,06	14,84

(*) No existe lianigrama. El volumen aportado por la crecida es estimado de la información del Embalse Conchi que mantiene la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, y el caudal máximo instantáneo es calculado de las relaciones de volumen de crecida-caudal máximo instantáneo obtenido para Loa en Conchi.

11) Análisis de Frecuencias

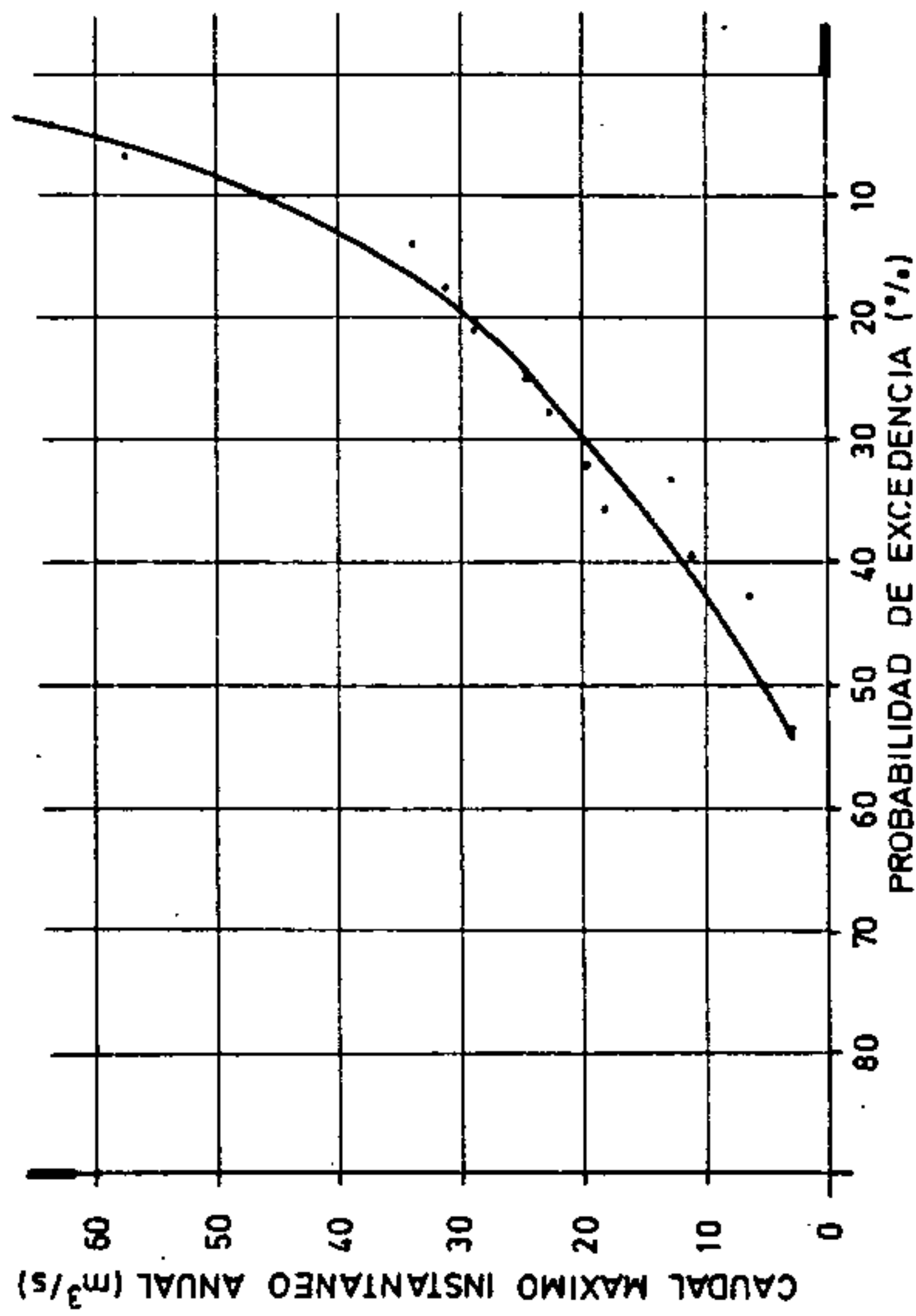
Con la información que se presenta en la Tabla 4.2 se realizó un análisis de frecuencias para volúmenes de crecida anual, volúmenes mensuales de crecidas de los meses de Enero, Febrero y Marzo, y caudal máximo instantáneo anual. Los resultados correspondientes se incluyen en las figuras 4.15 y 4.16.



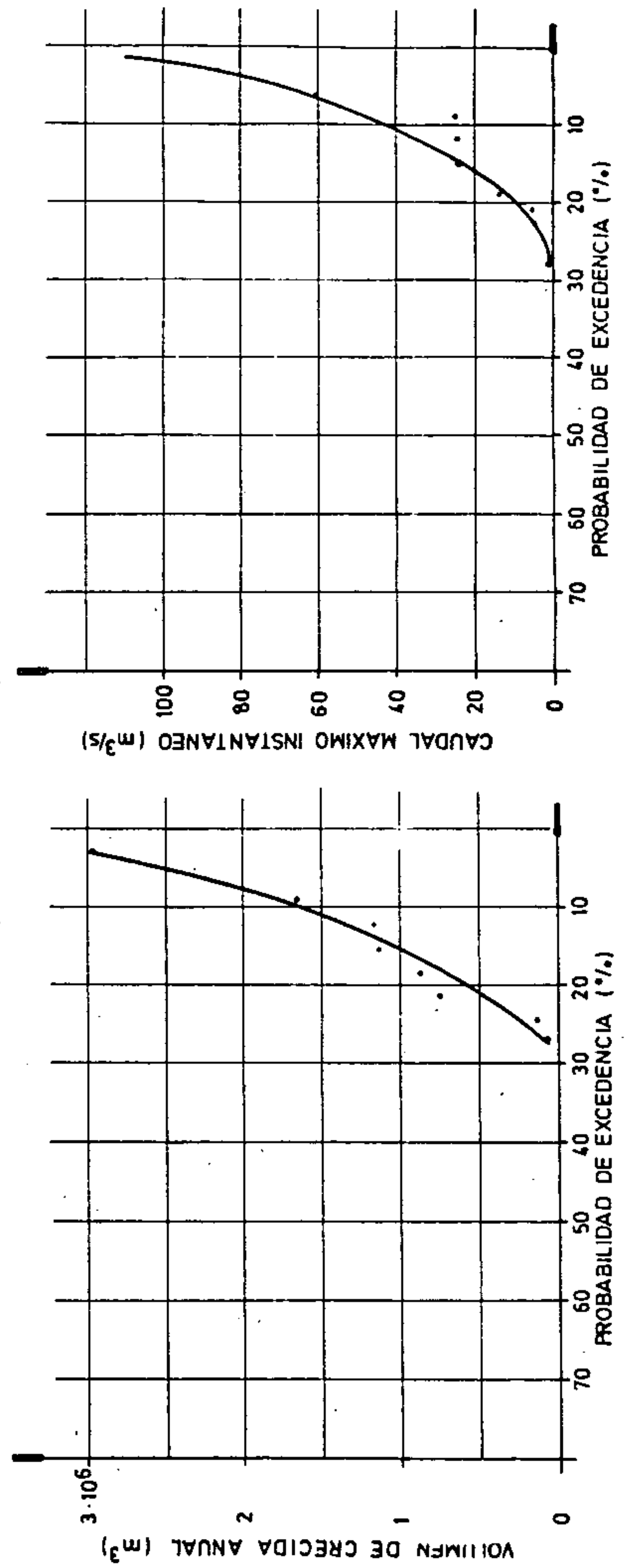
ANALISIS DE FRECUENCIA
RIO LOA EN CONCHI

FIGURA
4.15

RIO LOA EN CONCHI



RIO SALADO EN AYQUINA



4.4.1.2 Salado en Sifón Ayquina

i) Caracterización hidrológica de las crecidas

En el presente estudio, se completa la caracterización hidrológica realizada en el estudio anterior, que se extiende hasta el año 1976. En la Tabla 4.3 se presentan los parámetros calculados que permiten caracterizar las ondas de crecidas en este lugar. Con la información de la Tabla 4.3 fue posible definir la relación que se presenta a continuación :

- Relación Volumen de Crecida - Caudal Máximo Instantáneo (Fig. 4.17) :

$$Q_p = 1,292 * 10^{-5} * V^{1,101} \quad r=0,952$$

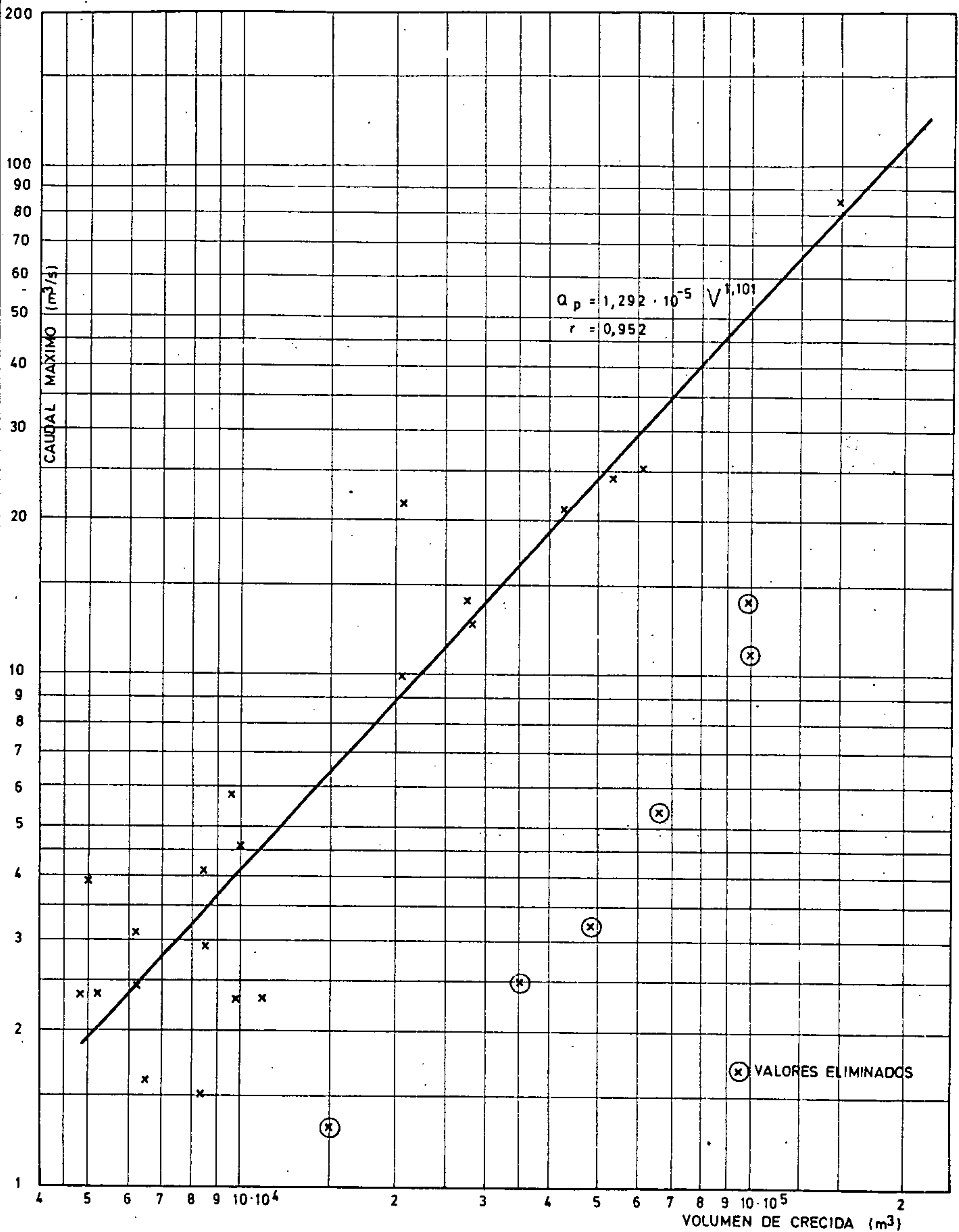
en que :

Q_p = caudal máximo instantáneo (m³/s)

V = volumen de crecida (m³)

ii) Análisis de Frecuencia

En esta estación se realizó un análisis de frecuencias para las variables volumen anual de crecida y caudal máximo instantáneo anual. Los resultados correspondientes se incluyen en la Figura 4.17.



SALADO EN SIFON AYQUINA
 VOLUMEN DE CRECIDA - CAUDAL MAXIMO

FIGURA
 4.17

TABLA 4.3

SALADO EN AYQUINA

No. CRECIDA	DESDE	HASTA	HORA INICIO	DURACION (HRS)	VOLUMEN TOTAL (10 ³ m ³)	VOL.FLUJO BASE (10 ³ m ³)	VOLUMEN CRECIDA (10 ³ m ³)	CAUDAL MED. CRECIDA (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)
1	19/2/70	22/2/70	4	92	1.060	430	630	1,90	5,40
2	01/3/70	03/3/70	12	44	227	129	98	0,62	2,30
3	03/3/70	04/3/70	8	31	149	84	65	0,58	1,60
4	04/3/70	06/3/70	15	53	244	141	83	0,44	1,50
5	28/1/71	30/1/71	0	60	261	151	110	0,51	2,30
6	02/1/72	03/1/72	1	33	239	89	150	1,27	1,30
7	31/1/72	06/1/72	10	70	1.295	315	980	3,89	14,00
8	06/1/72	07/1/72	8	23	422	72	350	4,23	2,50
9	07/1/72	08/1/72	7	21	545	65	480	6,36	3,20
10	08/1/72	10/1/72	4	49	1.200	202	998	5,66	11,00
11	2/75						1.145		60,00 (1)
12	28/1/76	29/1/76	23	23	350	145	205	4,24	9,94
13	29/1/76	31/1/76	22	40	1.829	265	1.564	12,71	85,32 (2)
14	23/3/80	25/3/80	23	41	199	113	84	1,34	4,05
15	23/2/81	24/2/81	22	25	119	69	50	1,32	3,86
16	24/2/81	25/2/81	23	24	124	72	52	1,44	2,35
17	25/2/81	26/2/81	23	23	115	66	48	1,39	2,35
18	26/2/81	28/2/81	21	37	738	128	610	5,50	25,22
19	03/1/84	04/1/84	6	22	113	51	62	1,40	2,44
20	04/1/84	04/1/84	3	21	180	84	96	2,39	5,80
21	05/1/84	06/1/84	0	27	679	147	532	6,99	24,10
22	06/1/84	06/1/84	2	22	578	154	424	7,31	21,31
23	23/3/84	24/3/84	7	27	193	107	85	1,99	2,93
24	24/3/84	25/3/84	9	29	225	124	100	2,16	4,54
25	25/3/84	26/3/84	15	28	191	129	62	1,90	3,13
26	21/2/85	23/2/85	7	30	281	65	216	2,61	21,31
27	06/3/85	06/3/85	1	23	390	109	281	4,71	12,64
28	07/3/85	08/3/85	0	48	763	230	533	4,39	24,70
29	09/3/85	10/3/85	1	30	422	146	276	3,91	13,95

NOTAS :

- (1) Existiendo antecedentes cualitativos de una crecida importante en febrero de 1975, y no habiendo limnigramas en el río Salado el volumen de esta crecida se obtuvo por diferencia entre los volúmenes de crecida de Loa en Valquíncha y Loa en Conchí. El caudal máximo se obtuvo de la relación obtenida Volumen de Crecida - Caudal Máximo Instantáneo para Salado en Ayquina.
- (2) Valor obtenido usando la curva de descarga desarrollada en el Estudio de Crecidas, Proyecto CHI-535.

4.4.1.3 Loa en Yalquincha (Escorial)

i) Caracterización hidrológica de las crecidas

La caracterización fue realizada hasta el año 1976 en el estudio anterior. Se usó para tales efectos la estación fluviométrica Loa en Escorial. Para los años posteriores, en este estudio se usó la estación fluviométrica Loa en Yalquincha.

En la Tabla 4.4 se presentan los parámetros calculados que permiten caracterizar las ondas de crecidas en este lugar y que también permitieron obtener las siguientes relaciones :

- Relación Caudal Máximo instantáneo - Duración (Fig. 4.18) :

$$td = 33,243 + 2,169 Q_p \quad r = 0,919$$

en que :

td = duración de la crecida (horas)

Qp = caudal máximo instantáneo (m³/s)

- Relación Volumen de Crecida - Caudal Máximo Instantáneo

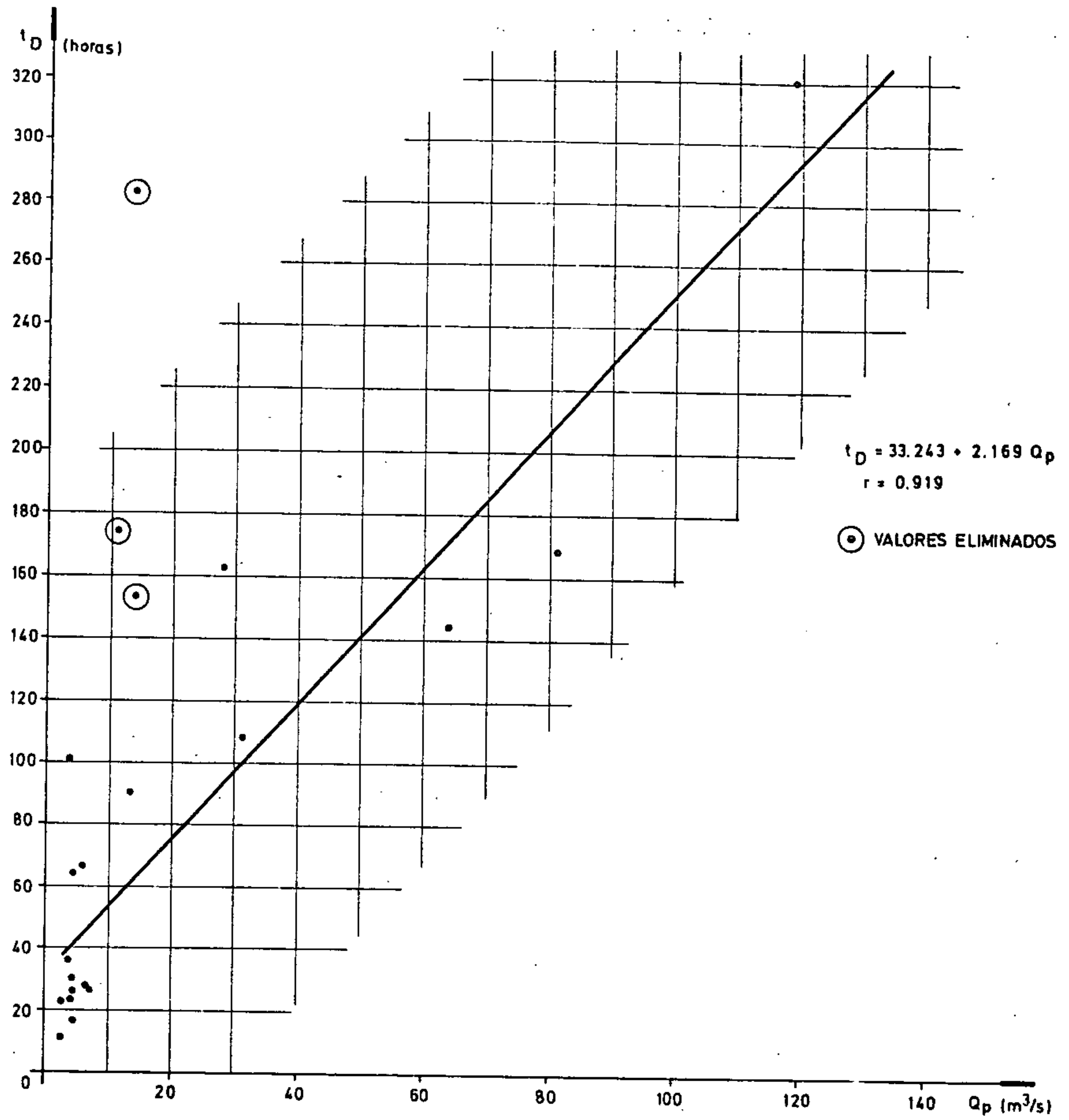
En este caso se obtuvieron dos relaciones, una para valores de volúmenes pequeños y que corresponden a los medidos en Loa en Yalquincha (con posterioridad a la puesta en operación del embalse Conchi), y otra relación para volúmenes mayores correspondientes a los registrados en Loa en Escorial antes de la construcción del embalse (Fig. 4.19).

Para volúmenes menores que 0,2 Hm³ se tiene :

$$Q_p = 0,089 * V^{0,344} \quad r = 0,890$$

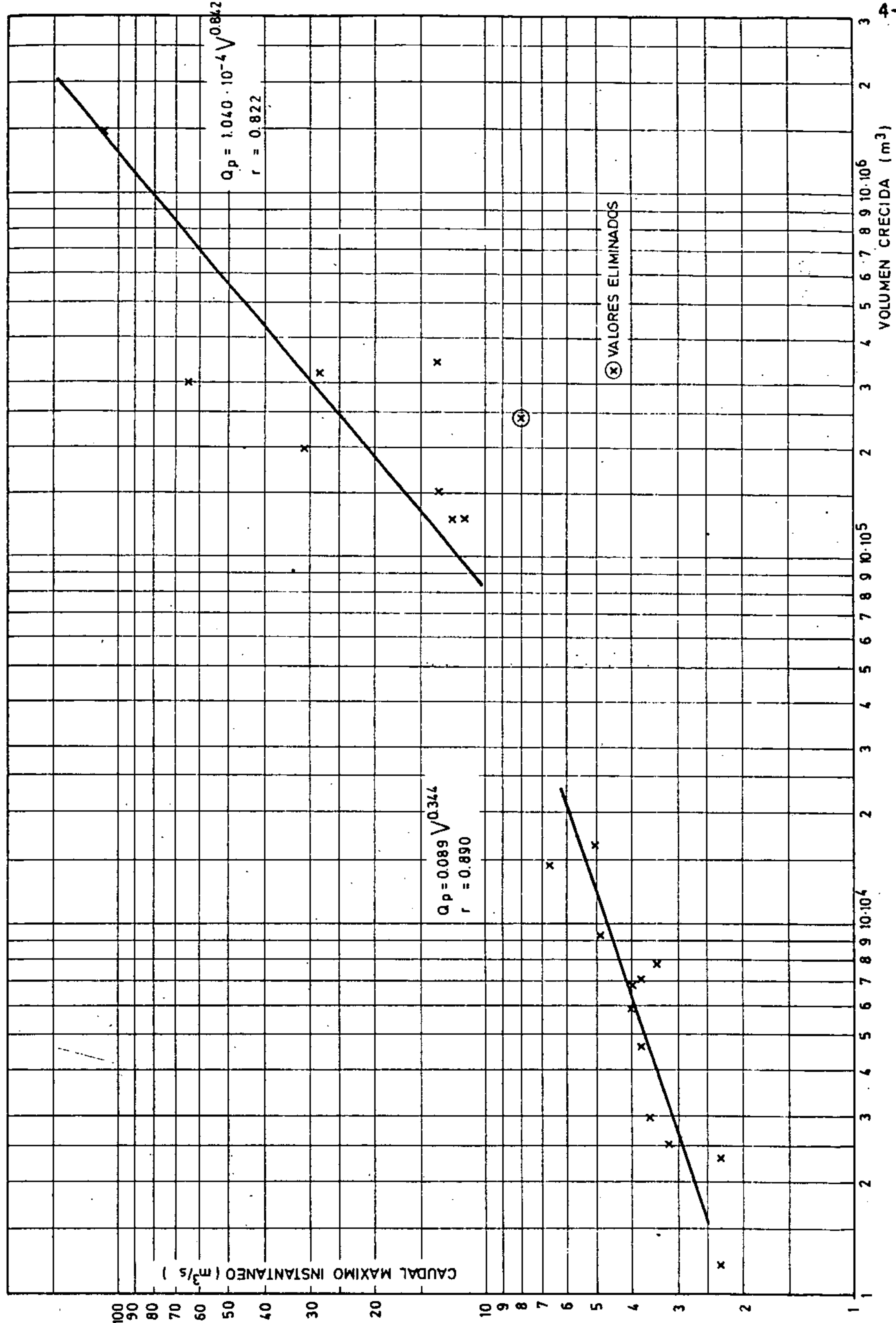
para volúmenes mayores que 1 Hm³ se tiene :

$$Q_p = 1,040 * 10^{-4} * V^{0,842} \quad r=0,822$$



LOA EN YALQUINCHA (ESCORIAL)
CAUDAL MAXIMO - DURACION

FIGURA
4.18



Q_p = caudal máximo instantáneo (m^3/s)

V = volumen de crecida (m^3)

- Relación Volumen de Crecida - Duración

Igual que en el caso anterior, se obtuvieron dos relaciones, una para valores de volúmenes menores que $0,2 \text{ Hm}^3$ y otra para valores de volúmenes mayores que 1 Hm^3 (Fig. 4.20) lo que esencialmente está marcando el efecto producido por la construcción del embalse Conchi.

Para volúmenes menores que $0,2 \text{ Hm}^3$ se tiene :

$$t_d = 0,217 * V^{0,438} \quad r=0,845$$

t_d = duración de la crecida (horas)

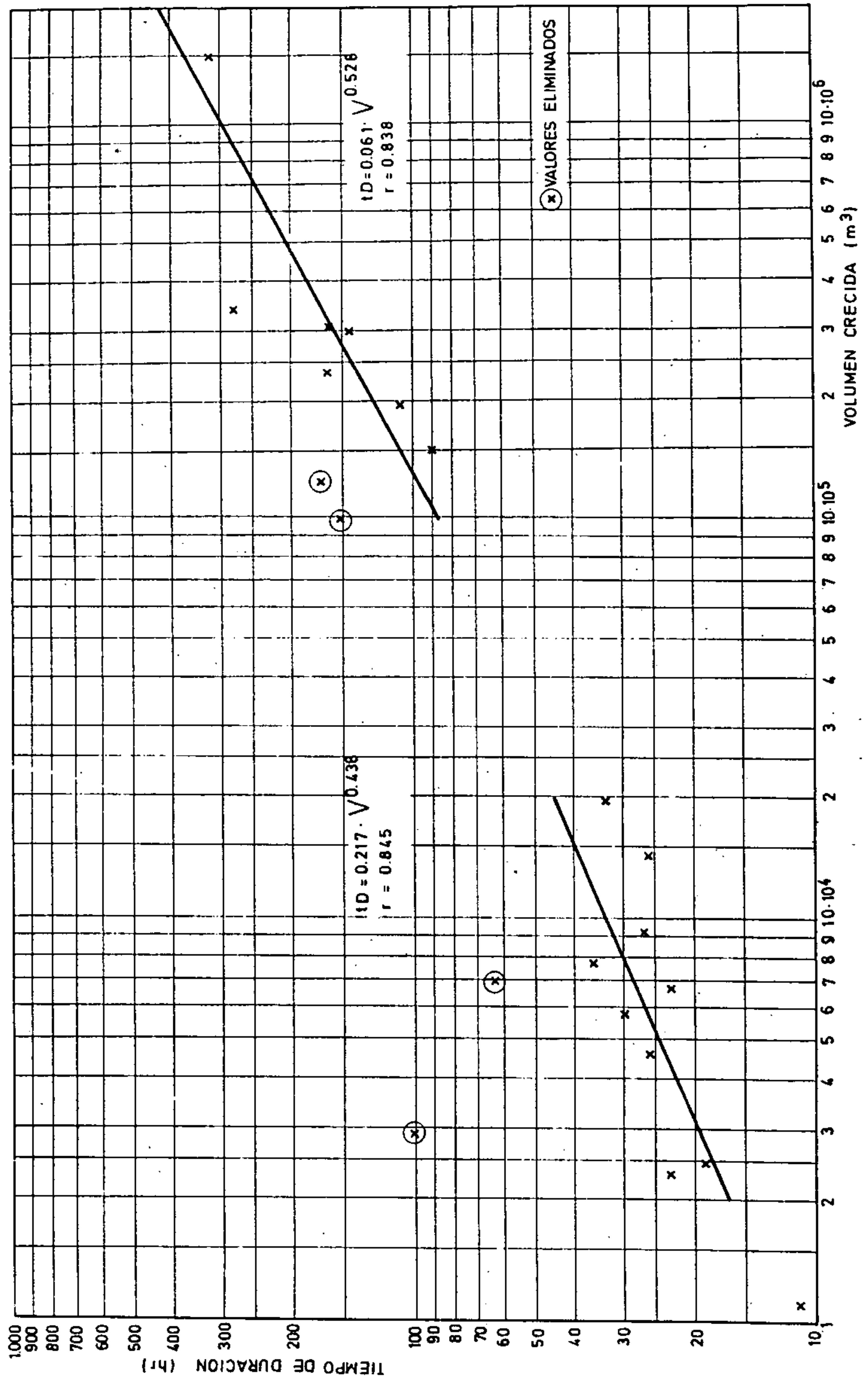
V = volumen de la crecida (m^3)

Para volúmenes de crecida mayores que 1 Hm^3 se tiene

$$t_d = 0,061 * V^{0,529} \quad r = 0,838$$

t_d : duración de la crecida (horas)

V : volumen de la crecida (m^3)



LOA EN YALQUINCHA (ESCORIAL)
VOLUMEN DE CRECIDA - DURACION

FIGURA
4.20

TABLA 4.4

LOA EN YALOUTINCHA

No. CRECIDA	DESDE	HASTA	HORA INICIO	DURACION (HRS)	VOLUMEN TOTAL (10 ³ m ³)	VOL. FLUJO BASE (10 ³ m ³)	VOLUMEN CRECIDA (10 ³ m ³)	CAUDAL MED. CRECIDA (m ³ /s)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)
1	22/2/70	26/2/70	13	101	115	86	29	2,47	3,63
2	05/1/72	17/1/72	16	282	5.085	1.672	3.413	3,36	13,55
3	16/2/72	20/2/72	8	108	2.739	753	1.986	5,11	31,32
4	07/2/73	13/2/73	0	162	4.707	1.603	3.104	5,31	28,50
5	06/3/73	09/3/73	6	90	2.501	983	1.518	4,68	13,45
6	31/1/75	07/2/75	8	174	2.632	1.374	1.258	2,01	11,39
7	16/2/75	01/3/75	14	320	18.701	3.734	14.967	12,99	119,54
8	06/3/75	12/3/75	4	144	6.857	3.796	3.061	5,90	64,65
9	16/3/75	22/3/75	14	154	4.280	3.219	1.061	1,91	14,04
10	29/1/76	05/2/76	8	164	3.690	1.310	2.380	4,03	81,05
11	19/2/77	23/2/77	12	88	-	-	-	-	- (*)
12	25/2/81	26/2/81	17	11	184	172	12	4,66	2,31
13	26/2/81	27/2/81	21	23	168	145	23	2,04	2,31
14	27/2/81	28/2/81	21	18	155	130	25	2,02	3,36
15	05/1/84	06/1/84	11	23	251	184	67	3,04	3,99
16	06/1/84	07/1/84	9	26	273	227	46	2,93	3,82
17	09/1/84	10/1/84	6	26	390	246	144	4,02	6,79
18	10/1/84	11/1/84	8	27	351	259	92	3,76	4,93
19	19/2/85	21/2/85	0	30	332	274	58	3,08	4,06
20	21/2/85	22/2/85	7	36	428	351	77	3,31	3,45
21	07/3/85	09/3/85	22	63	759	563	196	3,35	5,08
22	10/3/85	12/3/85	3	64	683	612	71	2,96	3,85

(*) No existe curva de descarga válida en ese período. El cauce del río se dividió en tres brazos. No fue posible cuantificar con Loa en La Finca, debido a que no existen registros en esa estación para ese período.

ii) Análisis de Frecuencias

De lo expuesto en i) y observando la Tabla 4.4 se aprecia claramente que el régimen de crecidas en Loa en Yalquincha sufrió un cambio, como era de esperarse, a partir de la fecha de inicio de la operación del Embalse Conchi (Agosto de 1975).

En efecto, se observa una apreciable disminución de los volúmenes de crecidas con posterioridad a dicha fecha. Desde el punto de vista estadístico, esto significa que se constituyen dos "muestras" distintas, antes y después del embalse Conchi; ahora bien, estas dos muestras son demasiado pequeñas como para hacer los análisis de frecuencias distintos que conceptualmente correspondería hacer para las dos situaciones.

4.4.2 Análisis de resultados y comentarios generales

Sobre la base de los elementos entregados en el punto anterior, a continuación se presentan las características principales de las crecidas con sus probabilidades de excedencia asociadas, para Loa en Conchi y Salado en Ayquina; cabe señalar que para Loa en Yalquincha no resulta posible, con los procedimientos empleados, la obtención de valores análogos, debido a la alteración producida, por la construcción del embalse, lo que causa una escasa longitud de registros homogéneos.

Los valores de caudales máximos y volúmenes se obtienen a partir de las curvas de análisis de frecuencias presentadas anteriormente.

TABLA 4.5

Crecidas

a) Estación : Loa en Conchi

Período de retorno años	Caudal m ³ /s	Volumen, m ³ x 10 ⁶	Duración hr.
10	46	5,2	249
20	61	10,0	327
50	73	20,0	390

b) Estación : Salado en Ayquina

Período de retorno años	Caudal m ³ /s	Volumen, m ³ x 10 ⁶
10	41	1,1
20	70	2,6
50	100	3,2

- Comparando las curvas de análisis de frecuencias resultantes obtenidas a partir de un mayor volumen de información para Loa en Conchi con las curvas obtenidas en el estudio anterior (Espildora et al, 1979) se observan algunos cambios cuantitativos dignos de mención. A nivel de caudales máximos instantáneos, para el mismo período de retorno, se advierte una disminución en los valores. En efecto, los caudales se reducen en un 40 y 20%, para 50 y 20 años de período de retorno respectivamente. En términos de volúmenes anuales, la reducción alcanza a un 20, 35 y 40% para 50, 20 y 10 años de período de retorno, respectivamente. A nivel de volúmenes mensuales, para un período de retorno de 20 años, el porcentaje de disminución es del orden de 30%, para los meses de Enero y Febrero, en tanto que en Marzo este porcentaje llega a aproximadamente un 50%.
- De acuerdo a los antecedentes recopilados y a los análisis realizados en el punto anterior (4.4.1), se confeccionó la Tabla 4.5, en la cual se presenta un diagnóstico cualitativo de la simultaneidad de ocurrencia de crecidas en las estaciones de Loa en Conchi, Loa en Yalquincha y Salado en Ayquina. Se observa que las crecidas registradas en Loa en Yalquincha, provienen preferentemente de crecidas ocurridas en sector alto del río Loa, o bien, por la conjunción de crecidas en los ríos Loa Alto y Salado; en todo caso, este último río aporta normalmente volúmenes de agua bastante más pequeños durante las crecidas.

TABLA 4.5

Diagnóstico cualitativo sobre la simultaneidad de ocurrencia
de crecidas en los ríos Loa y Salado

No. CRECIDA	FECHA	LOA EN CONCHI	ESTACION SALADO AYQUINA	LOA EN YALQUINCHA
1	FEB 59	x	*	*
2	MAR 59	x	*	*
3	ENE 61	x	*	*
4	FEB 61	x	#	#
5	FEB 63	x	*	*
6	MAR 63	x	*	#
7	FEB 68	o	-	-
8	FEB 68	o	-	-
9	MAR 69	o	-	-
10	ENE 70	o	-	-
11	FEB 70	x	x	x
12	MAR 70	o	o	-
13	ENE 71	*	o	-
14	ENE 72	x	x	x
15	FEB 72	x	-	x
16	ENE 73	o	*	-
17	FEB 73	x	*	x
18	FEB 73	o	*	-
19	MAR 73	x	*	x
20	ENE 74	x	*	*
21	FEB 75	x	#	x
22	FEB 75	x	#	x
23	MAR 75	*	#	x
24	ENE 76	-	x	x
25	FEB 77	x	#	#
26	FEB 81	x	x	x
27	ENE 84	x	x	x
28	MAR 84	-	o	-
29	FEB 85	x	x	x
30	MAR 85	x	x	x

x Crecida registrada

o Crecida pequeña

Existe crecida, pero no fue posible su cuantificación

* No existen registros

- No existe crecida

La situación de crecidas registradas en Yalquincha que provengan sólo, o principalmente, del río Salado, es bastante poco frecuente.

Por otra parte, se visualiza claramente que las crecidas registradas en Loa en Yalquincha, a la entrada de Calama, con posterioridad a la entrada en operación del embalse Conchi son sustancialmente menores que las ocurridas antes de la existencia de esta obra.

Todo lo anterior señala que el embalse ya cumple una función de regulación de crecidas en el río Loa. Por supuesto que esta función la puede cumplir en forma perfectamente planificada y programada, hacia futuro.

- Cabe señalar que el estudio de crecidas realizado está orientado esencialmente a la evaluación del efecto regulador que ejerce el embalse Conchi. Consecuentemente estos valores no deben considerarse aplicables directamente al diseño de obras hidráulicas. Por otra parte, es necesario recalcar que se han considerado periodos de retorno hasta 50 años, dado que el grado de elaboración de la información y su extensión no permiten extrapolar valores más altos con un nivel de confianza aceptable.
- Finalmente la obtención de valores de crecidas orientadas al diseño de obras hidráulicas requeriría de un análisis más acucioso de los registros estadísticos, complementados con información histórica registrada en periódicos de la época o proveniente de testimonios de personas, que permitan detectar crecidas de importancia en periodos en los cuales no se dispone de registros. Adicionalmente, se requiere una revisión detallada de las curvas de descarga; un estudio de propagación de crecidas tanto en el embalse como desde los puntos de efluencia de los tributarios más importantes, y un análisis probabilístico del estado del embalse durante la ocurrencia de las crecidas.

5. CALIDAD QUÍMICA DE AGUAS DEL SISTEMA RÍO LOA - RÍO SALADO

5.1 Introducción

El río Loa y sus tributarios se caracterizan por presentar altos índices de concentración de sustancias inorgánicas en sus aguas, los que tienen su origen en los afloramientos de aguas subterráneas que incrementan en forma importante el caudal del río en diversos puntos.

En el presente informe se ha considerado que la salinidad, expresada en términos de conductancia específica, es un parámetro representativo de la calidad del agua en general, ya que existe gran similitud en la variación de las concentraciones de todas las sustancias minerales. Los problemas que pueden presentarse en la utilización de estos recursos, aparte de la salinidad propiamente tal, son los contenidos de Boro, que alcanza niveles fitotóxicos a la altura de Calama, y de Arsénico, que obliga al tratamiento de las aguas utilizadas para la bebida.

En este capítulo se pretende describir las características de la salinidad del agua en el sistema, su variación a lo largo del curso del río Loa, la variación en los últimos años en diversos puntos representativos y las relaciones de modelación de la conductancia específica en cada elemento del modelo de simulación del sistema.

El objetivo de este estudio es determinar valores característicos de la conductancia específica en los puntos correspondientes a elementos del modelo de simulación, y definir las relaciones de mezcla necesarias para representar posibles cambios en la salinidad por efecto de distintas reglas de operación del sistema.

5.2 Estadísticas de calidad de aguas

Se recopiló toda la información disponible sobre análisis de muestras de agua en todos los puntos de la cuenca del río Loa y de sus subcuencas San Pedro, Salado y San Salvador.

Estos datos corresponden a análisis de muestras de la D.G.A., de la D.R. y de SENDOS II Región, además de mediciones de la conductancia específica en terreno realizadas por la D.R. de la II Región.

En el Anexo III, Tablas III.1 y III.2 se resumen el número anual de datos de conductancia específica en los principales puntos del sistema y su respectivo promedio anual, para análisis de muestras de la D.G.A. y de la D.R. De SENDOS se obtuvo 15 resultados de análisis efectuados en Loa en Quinchamale en 1983 y 3 datos de 1984.

En la Tabla III.3 del Anexo III se indica el número de mediciones anuales realizadas en terreno en cada punto del sistema por la D.R. II Región. En la Tabla III.4 se presentan los valores promedios mensuales, obtenidos de corregir las mediciones de terreno por el factor de temperatura, para estandarizarlo en 25 grados celcius.

Se estudió la concordancia entre los datos de las distintas fuentes, concluyéndose finalmente que son compatibles los valores dados por los análisis de la D.G.A., la D.R. y SENDOS II Región, pero las conductancias específicas obtenidas en terreno presentan una desviación sistemática con respecto al resto de los valores, por lo que debió efectuarse la corrección correspondiente para utilizarlos.

5.2.1 Comparación de C.E. obtenidas por los laboratorios de D.G.A. y D.R.

Se efectuó una correlación entre todos los datos concurrentes en el tiempo obtenidos de las estadísticas de la D.G.A. y de la D.R. Se obtuvo una relación lineal muy próxima a la recta a 45 grados, con un coeficiente de correlación $r=0,95$ (ver Fig. III.1, Anexo III) lo que indica una muy buena correspondencia entre los datos de ambas fuentes.

5.2.2 Comparación de C.E. obtenidas por el laboratorio de D.R. con C.E. medidas en terreno

La medición de C.E. en terreno se realiza utilizando un instrumento portátil con un sensor que se introduce en el agua. Simultáneamente se mide la temperatura del agua, dato necesario para corregir el valor medido y referido a una temperatura estándar de 25 grados celcius.

Se correlacionó los valores concurrentes en el tiempo entre mediciones de terreno y análisis de muestras de la D.R. para los principales puntos del sistema, obteniéndose la relación que se muestra en la Fig. III.2 del Anexo III. Se concluyó que, en general, el valor de C.E. medido en terreno y corregido por temperatura es superior al valor obtenido por el laboratorio de la D.R. A pesar de no existir una relación constante para los distintos puntos, se obtuvo una buena correlación entre todos los valores medidos en terreno con los analizados en el Laboratorio de la D.R. ($r=0,99$).

Para utilizar los datos de terreno, debe corregirse la C.E. medida según la siguiente expresión :

$$C.E.corregida = 0,939 * C.E.medida - 0,023$$

5.2.3 Datos de SENDOS II Región

Para obtener mayor información respecto a la C.E. en el río Loa antes de San Pedro, se recopiló los análisis de Loa en Quinchamale existentes en SENDOS, que corresponde a un punto de extracción futura de agua. Los valores obtenidos corresponden a los años 1983 y 1984, y sus valores son muy aproximados a los dos datos disponibles de la D.G.A., correspondientes a los años 1976 y 1985. En consecuencia, se decidió utilizar estos valores para ampliar la estadística de la D.G.A. en este punto.

5.3 Análisis de la C.E. en distintos puntos del sistema

A continuación se presenta un resumen del estudio realizado para la C.E. en cada punto del sistema. Se analizó la variación de la salinidad en el tiempo (Fig. 5.1) y se intentó determinar una distribución estacional definida. Para Loa en Leguena, Loa en Conchi, Salado en Ayquina y Salado antes del Loa se intentó determinar una relación entre la C.E. y el caudal, sin resultados positivos. Para los restantes puntos del río Loa, aguas abajo del embalse Conchi, no es posible determinar esta relación por la alteración en el régimen del río que significa el embalse.

Del análisis de los gráficos de la distribución mensual en cada punto y de las correlaciones C.E. vs caudal efectuadas, se concluyó que no existe una variación mensual definida en ningún punto, y que en las correlaciones con el caudal, aunque se observa una tendencia a la disminución de la C.E. con el aumento del caudal, se tiene una gran dispersión, por lo que se adoptó un valor medio anual constante para cada punto, obtenido como el promedio de los valores medios mensuales existentes en ese año.

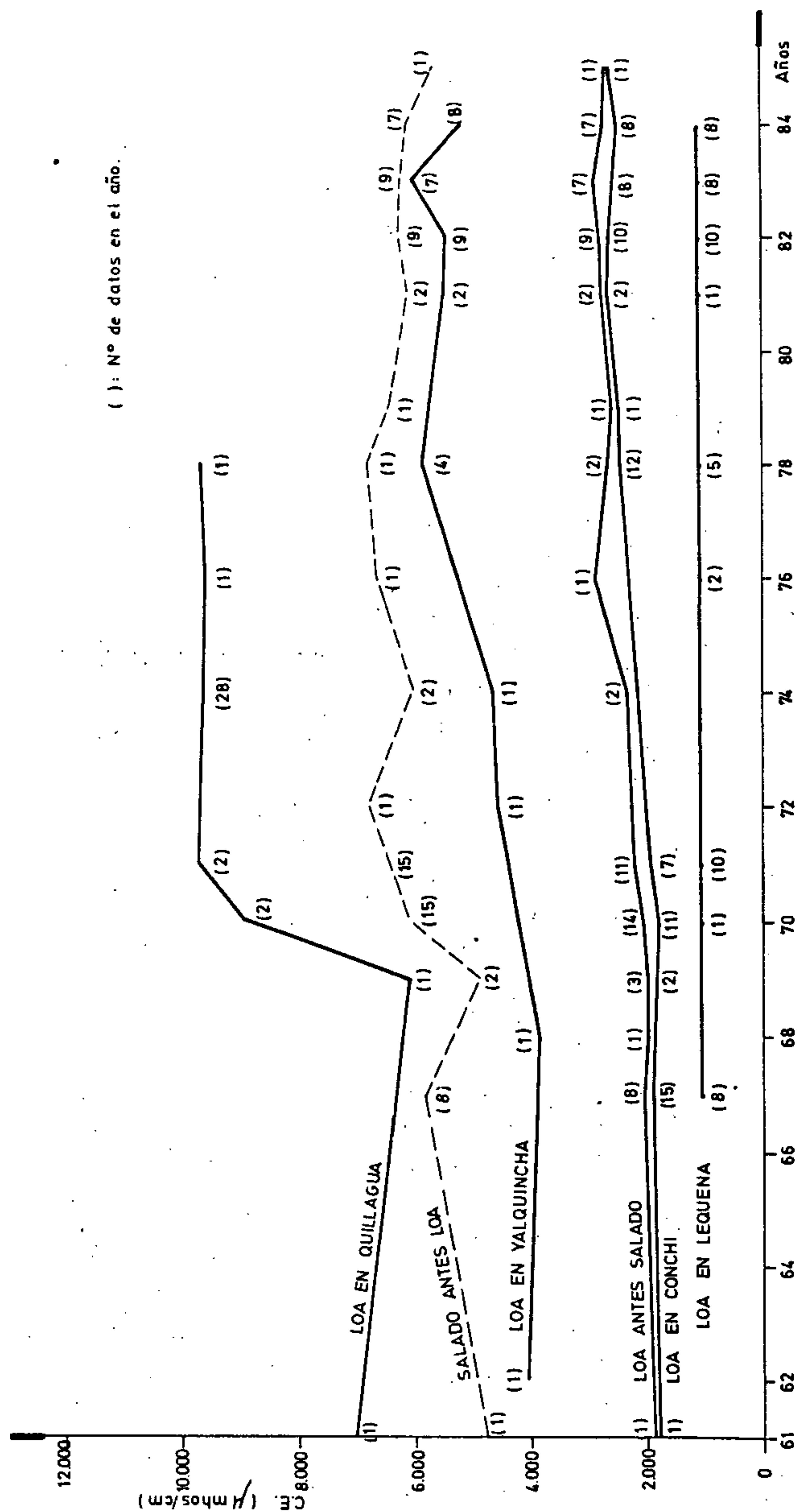
5.3.1 Loa en Leguena

No hay variación en los valores promedios anuales desde 1967 a la fecha, obteniéndose un valor representativo de 1,141 mmhos/cm, único para todo el período.

5.3.2 Loa antes de río San Pedro

La C.E. es constante hasta 1972, fecha en que se produce un aumento importante en la salinidad producto de la entrada en operación de la captación de SENDOS en Leguena. En dicho punto se extrae la mayor parte de los recursos del río Loa, llegando a la confluencia con el San Pedro solo el producto de las recuperaciones del río, las que presentan una salinidad mucho mayor a la de éste.

Antes de 1972, la C.E. promedio era de 1,755 mmhos/cm, aumentando a un promedio de 2,034 mmhos/cm posteriormente.



VARIACION DE C.E. EN EL TIEMPO.

FIGURA 5.1

5.3.3 San Pedro antes de río Loa

No existe una tendencia definida en la variación de la C.E. en el tiempo. El promedio representativo de la C.E. en este punto es 1,259 mmhos/cm.

5.3.4 Loa después de río San Pedro

Existe solo una medición posterior a 1972, efectuada en 1976, por lo que para este período se adopta una C.E. calculada mediante un balance de masas que utiliza los caudales y C.E. de Loa antes de San Pedro y San Pedro antes de Loa.

	<u>Caudal(l/s)</u>	<u>C.E.(mmhos/cm)</u>
Loa antes San Pedro (1)	720	2,034
San Pedro antes Loa (2)	80	1,259
Loa después San Pedro (3)	800	?

$$C.E. (3) = \frac{Q(1) * C.E.(1) + Q(2) * C.E.(2)}{Q(3)}$$

El valor resultante para el período posterior a 1972 es 1,957 mmhos/cm.

Para antes de 1972 existen varios valores medidos cuyo promedio es 1,686 mmhos/cm.

5.3.5 Loa entrada a embalse Conchi

En este punto se aprecia el aumento notorio que se produjo en la C.E. a partir de 1972 por efecto de la construcción de la captación de Lequena, de SENDOS (ver Fig. 5.1).

Los promedios representativos de la salinidad del agua en este punto son : 1,871 mmhos/cm antes de 1972 y 2,598 mmhos/cm después de ese año.

Estos valores son superiores a los determinados para Loa después de San Pedro, lo que indica que las recuperaciones del río entre estos dos puntos, evaluadas en 200 l/s, presentan un mayor contenido salino que las aguas del río proveniente de la cuenca superior.

5.3.6 Loa en salida de embalse Conchi

El embalse Conchi comenzó a operar en 1975 y, desde entonces, la D.G.A. ha tomado muestras del agua entregada. La DR también ha tomado muestras en este punto desde 1981 y ha efectuado mediciones de terreno desde 1983. El promedio de valores medidos es 2,545 mmhos/cm, levemente inferior a los 2,598 mmhos/cm medidos en la entrada al embalse (diferencia de 2,0%).

Esta disminución de la conductancia específica se debe al almacenamiento que se produce en el embalse de grandes volúmenes de agua con menores contenidos salinos que lo normal, producto de las eventuales crecidas en Enero o Febrero. El aumento en la conductancia específica que se produce por la evaporación desde él, se ve así superado por el efecto contrario producido por el almacenamiento de las crecidas.

Debido a la escasa significancia de la diferencia con respecto a la C.E. de entrada al embalse, y por ser este valor dependiente de la ocurrencia o no de crecidas, que no son periódicas, se ha considerado que, para efectos prácticos, el embalse no produce cambios en el valor de la C.E. del agua del río Loa.

5.3.7 Loa en Lasana

En este punto se obtuvo un promedio representativo de 2,548 mmhos/cm, obtenido de los análisis de muestras realizados por la DR entre 1981 y 1984 y mediciones de terreno desde 1983. Para el período previo a 1972 se determinó un promedio de 2,060 mmhos/cm.

5.3.8 Loa en Chiu-Chiu

En este punto solo se dispone de datos de la D.G.A. en 1966 y 1967, los que no son válidos para los últimos años, por las alteraciones provocadas por la captación de Lequena. Para el período previo a 1972, el promedio es 2,061 mmhos/cm, prácticamente igual al valor obtenido para Lasana.

Se supondrá un valor de 2,600 mmhos/cm como representativo de la salinidad en este punto para el período posterior a 1972.

5.3.9 Loa antes del Salado

En este punto se nota claramente un aumento importante a partir de 1972, producto de la captación de Lequena teniéndose antes de esta fecha un promedio de C.E. de 2,011 mmhos/cm con una fluctuación que va desde 1,830 mmhos/cm hasta 2,500 mmhos/cm, y después de 1972 un promedio de 2,739 mmhos/cm con una fluctuación que va desde 2,468 mmhos/cm hasta 3,178 mmhos/cm.

5.3.10 Salado en Ayquina

Si bien se aprecian variaciones de hasta los 2,000 mmhos/cm, se ve que éstas no tienen relación con sucesos que puedan haber generado cambios permanentes, sino más bien son ascensos o descensos puntuales que podrían tener como explicación el funcionamiento de la Represa Chilex de CODELCO o de las otras captaciones de SENDOS y CODELCO existentes aguas arriba de este punto.

En todo caso, el promedio para el período previo a 1972 es 5,167 mmhos/cm, en tanto que el promedio posterior a 1972 es 5,515 mmhos/cm.

5.3.11 Salado antes de Loa

Se aprecia el mismo fenómeno que en el punto anterior, pero con valores de C.E. más altos, teniendo éstos un promedio de 6,196 mmhos/cm para el período posterior a 1972 y de 5,600 para el período previo a ese año.

Se aprecia un aumento respecto a Salado en Ayquina, lo que demuestra que la C.E. de las recuperaciones entre Ayquina y Loa son superiores a la C.E. de los afluentes por el río Salado.

5.3.12 Loa después del Salado

En este punto también es muy claro el aumento de la C.E. que se produce en 1972 (Captación de Lequena), siendo el promedio antes de 1972 de 2,565 mmhos/cm con variaciones que van desde 1,920 mmhos/cm hasta 3,390 mmhos/cm y después de esa fecha un promedio de 4,685 mmhos/cm, y variaciones que van desde 3,192 mmhos/cm hasta 5,838 mmhos/cm.

5.3.13 Loa después de Vertientes de Angostura

Para el período previo a 1972, se obtuvo un promedio de 3,856 mmhos/cm, con variaciones entre 4,860 y 3,250 mmhos/cm.

Para el período posterior a 1972 se dispone del valor 5,493 mmhos/cm, correspondiente a Junio de 1983, y de las mediciones de terreno de Julio de 1984 a Junio de 1985, que dan un promedio de 5,178 mmhos/cm. Sin embargo, es posible determinar un valor más representativo de la C.E. media en este punto utilizando los promedios de caudales aforados antes y después de las vertientes y en Yalquincha, y las C.E. determinadas para Loa antes de Angostura y Loa en Yalquincha.

	<u>Caudal(l/s)</u>	<u>C.E.(mmhos/cm)</u>
Loa antes de Angostura (1)	1135	4,685
Loa después de Angostura (2)	1605	?
Loa en Yalquincha (3)	1805	5,865

El caudal de Loa en Yalquincha incluye un valor medio de 150 l/s que corresponde a las extracciones de riego aguas arriba de esta sección de control. De acuerdo a estos caudales, las recuperaciones del río son 470 l/s en Angostura y 200 l/s entre Angostura y Yalquincha.

En este estudio se considerará el caudal de recuperaciones como un solo conjunto, sin discriminar entre caudales de vertientes individuales o recuperaciones de la caja del río. De esta manera por balance de masas puede determinarse un valor medio característico de la C.E. de los 670 l/s de recuperaciones entre Loa antes de Angostura y Loa en Valquíncha.

$$C.E.(recup.) = \frac{Q(3) * C.E.(3) - Q(1) * C.E.(1)}{Q(recup.)}$$

Se obtiene que $C.E.(recup.) = 7,864$ mmhos/cm

Al conocer este valor, es posible determinar la C.E. que tendría el río Loa después de Angostura para el período posterior a 1972.

$$C.E.(2) = \frac{Q(1) * C.E.(1) + Q(vert) * C.E.(vert)}{Q(2)}$$

El valor resultante para este período es $5,616$ mmhos/cm para Loa después de Angostura.

5.3.14 Loa en Valquíncha

A pesar de existir pocos datos antes de 1972, se aprecia el efecto de las extracciones de Lequena a partir de ese año. El promedio antes de 1972 es de $4,139$ mmhos/cm y después es de $5,865$ mmhos/cm.

5.3.15 Loa en Calama

No se cuenta con valores antes de 1972, en tanto que el promedio calculado para el período posterior es de $5,900$ mmhos/cm, valor levemente superior al obtenido para Loa en Valquíncha.

5.3.16 Loa en La Finca

Se aprecia el aumento producido en la C.E. a partir de 1972. Antes de ese año el promedio es 6,737 mmhos/cm, mientras que entre 1972 y 1985 el promedio es 8,018 mmhos/cm.

Estos valores demuestran un gran deterioro en la calidad del agua con respecto a Loa en Yalquincha y Calama, lo que indica un alto contenido salino de las devoluciones al río en la zona de riego de Calama.

5.3.17 Loa antes San Salvador

Se aprecia un aumento brusco de la C.E. a partir de 1972.

Antes de 1972 el promedio es 7,007 mmhos/cm.

Después de 1972 el promedio es 8,123 mmhos/cm.

5.3.18 San Salvador antes de Loa

No se aprecia una tendencia definida en la variación de la C.E. en el tiempo.

La C.E. promedio es 8,361 mmhos/cm para un periodo de mediciones entre 1969 y 1984.

5.3.19 Loa después de San Salvador

Existe solo un valor después de 1972 por lo que la C.E. se calculó por balance de masas, utilizando caudales y C.E. de Loa antes de San Salvador y San Salvador antes de Loa.

	<u>Caudal(l/s)</u>	<u>C.E.(mmhos/cm)</u>
Loa antes San Salvador (1)	250	8,123
San Salvador antes Loa (2)	400	8,361
Loa después de San Salvador (3)	650	?

El valor obtenido es de 8,278 mmhos/cm.

Para antes de 1972 se tienen varios valores medidos, cuyo promedio es 7,475 mmhos/cm.

5.3.20 Loa en Quillagua

Como se aprecia en la Fig. 5.1, en este punto hay una cierta similitud con lo que sucede en el Salado, produciéndose un incremento brusco a partir de 1970.

Desde 1971, la C.E. se mantiene constante hasta 1978. No hay valores medidos entre 1979 y 1982, y hay 2 valores en 1983 que corresponden a muestras tomadas aguas abajo de la zona de riego de Quillagua, por lo que no son comparables a los valores anteriores, tomados en la estación fluviométrica Loa en Quillagua, ubicada aguas arriba de esta zona de riego y que actualmente no se opera.

Manteniendo el criterio de dividir los datos en los periodos 1961-1971 y 1972-1985, se obtiene los siguientes promedios.

C.E. antes de 1972 = 7,972 mmhos/cm
C.E. después de 1972 = 9,478 mmhos/cm

5.3.21 Situación característica de la salinidad a lo largo del río Loa

Se confeccionó un gráfico que muestra la situación del río Loa en dos periodos, antes de 1972 y después de 1972 (Tabla 5.1 y Fig.5.2).

En el cuadro se presentan los valores máximos, medios y mínimos obtenidos en ambos periodos para los principales puntos del sistema.

TABLA S.1

Variación de C.E. a lo largo del recorrido del río Loa
(mmhoa/cm)

ESTACION	C.E. PERIODO HASTA 1972			C.E. PERIODO DESPUES 1972		
	MAX.	MED.	MIN.	MAX.	MED.	MIN.
Loa en Lequena Km 350	1,230	1,141	0,900	1,426	1,141	1,042
Loa antes San Pedro Km 312	1,930	1,755	1,379	-	2,034	-
San Pedro antes Loa Km 0	-	1,259	-	1,490	1,259	1,143
Loa después San Pedro Km 312	1,980	1,686	1,515	-	(1,957)	-
Loa en Conchi Km 304	2,140	1,871	1,114	3,338	2,598	2,076
Loa en Labana Km 280	2,170	2,060	1,900	2,903	2,548	2,062
Loa en Chiu-Chiu Km 270	2,148	2,061	1,845	-	2,600	-
Loa antes Salado Km 267	2,500	2,011	1,830	3,178	2,739	2,468
Salado en Ayquina Km 38	-	5,167	-	6,777	5,515	4,885

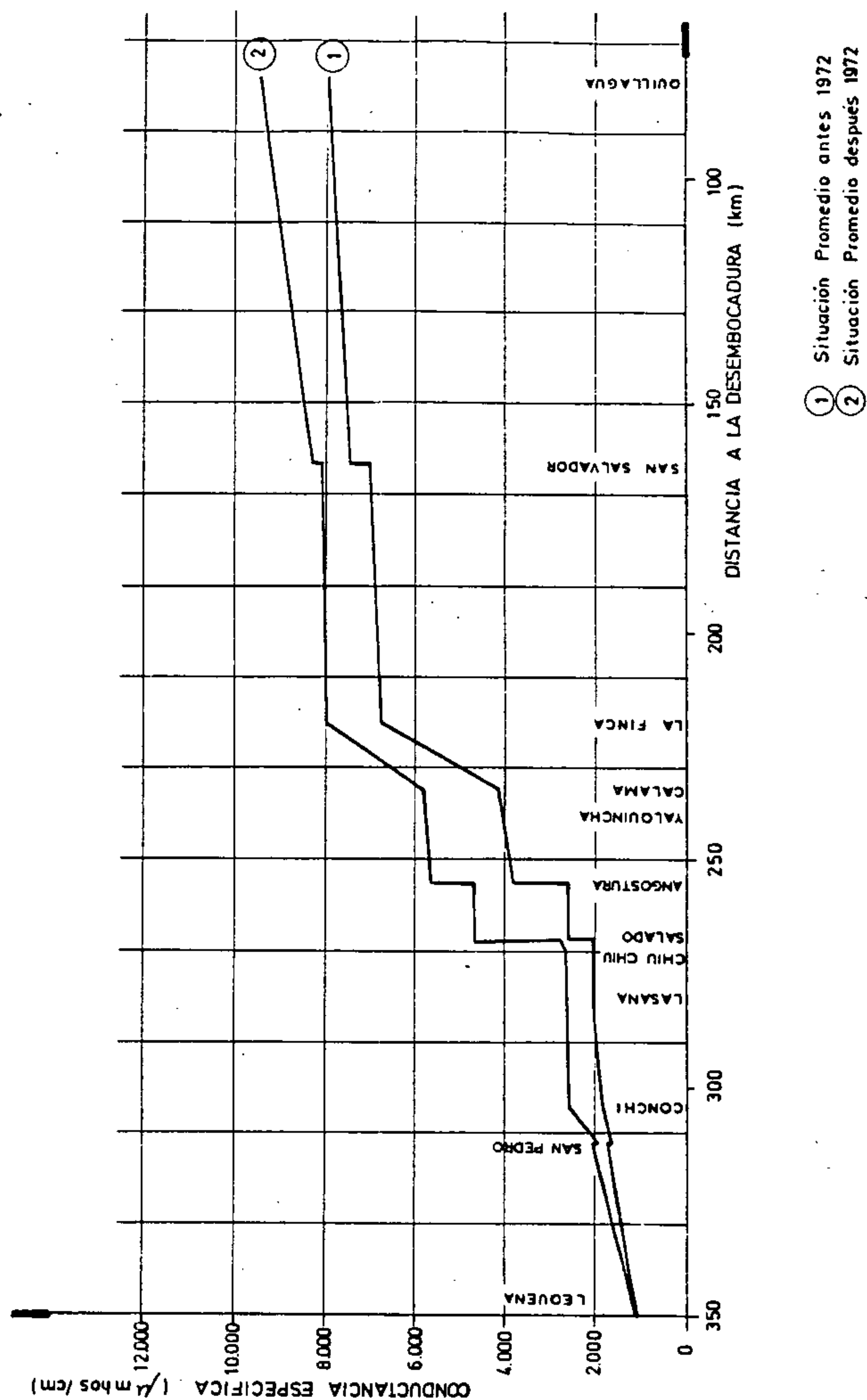
TABLA 5.1 (Cont.)

ESTACION	C.E. PERIODO HASTA 1972			C.E. PERIODO DESPUES 1972		
	MAX.	MED.	MIN.	MAX.	MED.	MIN.
Salado antes Loa Km 0	-	5,600	-	7,769	6,196	4,976
Loa después Salado Km 267	3,390	2,565	1,920	5,838	4,685	3,192
Vertientes Angostura Km 255	-	-	-	-	(7,864)	-
Loa después Angostura Km 255	4,860	3,856	3,250	-	(5,616)	4,520
Loa en Yalquincha Km 240	4,508	4,139	3,882	6,819	5,865	4,299
Loa en Calama Km 234	-	-	-	6,918	5,900	4,811
Loa en La Finca Km 220	7,890	6,737	5,200	9,379	8,018	6,602
Loa antes San Salvador Km 163	8,390	7,007	5,600	8,480	8,123	7,765
San Salvador antes Loa KM 0	-	8,361	-	9,155	8,361	7,423
Loa después San Salvador Km 163	8,650	7,475	6,000	-	(8,278)	-

TABLA 5.1 (Cont.)

ESTACION	C.E. PERIODO HASTA 1972			C.E. PERIODO DESPUES 1972		
	MAX.	MED.	MIN.	MAX.	MED.	MIN.
Loa en						
Quillagua	11,550	7,972	6,100	11,982	9,478	9,202
Km 78						

() Valor calculado por balance de masas.



C.E. A LO LARGO DEL RIO LOA.

FIGURA
5.2

En la Fig. 5.2 se observa que la variación creciente de la C.E. a lo largo del río Loa mantiene la misma forma en ambos periodos. Sin embargo, en el periodo posterior a 1972, se aprecia un aumento de la C.E. en cada punto del río con respecto al periodo anterior, llegando a una diferencia máxima de 2,100 mmhos/cm en Loa después del río Salado.

Entre Lequena y San Pedro, la C.E. crece en ambos periodos, producto de las recuperaciones en ese tramo, siendo mayor la diferencia después de 1972.

Al recibir las aguas del río San Pedro, la C.E. disminuye, ya que éste viene con aguas menos contaminadas con sales.

Entre San Pedro y Conchi la C.E. aumenta, también producto de recuperaciones, manteniéndose prácticamente constante entre Conchi y antes del Salado. En este punto crece significativamente, siendo mucho mayor el salto en el periodo posterior a 1972, por efecto de la disminución del caudal del río Loa en relación al del río Salado. Luego la C.E. se mantiene constante hasta Angostura, donde producto de las vertientes sube ostensiblemente en ambos periodos.

Desde ese punto la C.E. se mantiene prácticamente constante hasta Calama. El regadío de Calama se refleja en un aumento violento de la salinidad en el río, producto de las recuperaciones del agua de riego.

Entre La Finca y San Salvador se aprecia un pequeño aumento en la C.E. En este último punto recibe las aguas del río San Salvador, que presenta una salinidad mayor, lo que origina un leve aumento en la C.E. del río Loa. Finalmente, entre San Salvador y Quillagua, se aprecia un aumento de la salinidad producto de las pérdidas de caudal por evaporación e infiltración en este tramo.

5.4 Relaciones de modelación en zonas de recuperaciones y pérdidas

En el caso de las recuperaciones, las relaciones de modelación consistirán en balance de masas de los puntos extremos del tramo en que se produzcan éstas.

Para el caso de las pérdidas, se hará una correlación lineal entre los puntos extremos del tramo en cuestión.

Además, para las zonas de riego se intentó correlacionar valores concurrentes de C.E. a la entrada y a la salida de cada una, con el objeto de tener un dato de referencia para la calibración de los parámetros del modelo de simulación, pero finalmente este método se descartó debido a los muy bajos coeficientes de correlación obtenidos.

5.4.1 Recuperaciones del río Loa entre San Pedro y Conchi

En el río Loa después de la junta con el río San Pedro sólo se dispone de un valor medido en Enero de 1976. Se prefirió adoptar para este punto un valor calculado en base a balance de masas, con los valores de C.E. y caudales antes de la junta del Loa con el San Pedro (ver 5.3.4).

Para la determinación del caudal y de la C.E. de las recuperaciones, se hizo equilibrio de masas, utilizando los valores del Loa después de la junta con el San Pedro y del Loa en Conchi.

Para el período posterior a 1972 el cálculo es el siguiente :

	<u>Caudal(l/s)</u>	<u>C.E.(mmhos/cm)</u>
Loa después de San Pedro (1)	800	1,957
Loa en Conchi (2)	1.000	2,598
Recuperaciones (3)	200	?

$$Q(3) = Q(2) - Q(1) = 200 \text{ (l/s)}$$

$$C.E.(3) = \frac{Q(2) C.E.(2) - Q(1) C.E.(1)}{Q(3)} = 5,162$$

5.4.2 Recuperaciones del río Salado entre Ayquina y Loa

Se utilizó balance de masas entre Salado en Ayquina y Salado antes del Loa.

Para el periodo posterior a 1972 el cálculo es :

		<u>Caudal(l/s)</u>	<u>C.E.(mmhos/cm)</u>
Salado en Sifón Ayquina	(1)	300 - 400	5,575
Salado antes Loa	(2)	495 - 598	6,196
Recuperaciones	(3)	195 - 198	?

$$Q(3) = Q(2) - Q(1) = 195 \text{ a } 198 \text{ l/s}$$

$$CE(3) = \frac{Q(2) * C.E.(2) - Q(1) C.E.(1)}{Q(3)} = 7,151 \text{ a } 7,451 \text{ (mmhos/cm)}$$

Se adoptará para la C.E. de las recuperaciones del río Salado un valor medio de 7,300 mmhos/cm.

5.4.3 Recuperaciones del río Loa en Angostura

Se calculó la C.E. representativa de este sector en base a balance de masas (ver punto 5.3.13).

De acuerdo a este cálculo, la C.E. media de las recuperaciones sería de 7,864 mmhos/cm.

5.4.4 Pérdidas del río Loa entre La Finca y San Salvador

Se efectuó una correlación lineal entre los puntos concurrentes medidos en La Finca y antes de San Salvador. Ver Tabla 5.2 y Fig. III.3. Se obtuvo la siguiente relación.

$$CE(SS) = 1,43 * CE(LF) - 1,704$$

$$r = 0,65$$

TABLA 5.2

Correlación C.E. La Finca / antes San Salvador

Fecha	CE La Finca	CE antes San Salvador
3 - 71	7,890	8,080
4 - 71	7,120	8,390
7 - 71	5,405	6,380
1 - 72	6,140	8,540
6 - 83	7,200	8,480

Sin embargo, puede apreciarse que los valores de la C.E. en La Finca son menores al promedio característico determinado para ese punto, por lo que se decidió finalmente adoptar la relación $CE(SS) = 1,01 * CE(LF)$, que se deduce de los valores medios de C.E. en cada punto.

5.4.5 Pérdidas en el río Loa entre San Salvador y Quillagua

Se efectuó una correlación lineal entre los puntos concurrentes medidos en Los después San Salvador y Quillagua (Tabla 5.3 y Fig. III.4).

TABLA 5.3

C.E. después San Salvador / Quillagua

Fecha	CE Desp San Salvador	CE Quillagua
4 - 71	8,650	11,550
7 - 71	6,730	7,907
1 - 76	8,091	9,527

Se obtuvo la siguiente relación :

$$CE(QUILL) = 1,92 * CE(dSS) - 5,444$$

$$r = 0,96$$

Sin embargo, esta relación cuenta sólo con 3 puntos y son valores anteriores a 1975, por lo que se prefirió considerar una relación deducida de los valores medios característicos de ambos puntos. La relación adoptada para la variación de la C.E. en este tramo del río es :

$$CE(Quill) = 1,15 * CE(dSS)$$

5.4.6 Aumentos de salinidad en zona de riego Lasana

Se calculó una correlación lineal entre los puntos concurrentes medidos en Loa en Lasana y Chiu-Chiu. (Tabla 5.4 y Fig. III.5).

TABLA 5.4

Correlación C.E. Lasana / Chiu-Chiu

Fecha	CE Lasana	CE CHIU-CHIU
12-05-67	2,170	2,070
17-05-67	2,036	2,036
22-05-67	2,135	2,135
28-05-67	2,148	2,148
01-06-67	1,900	2,033
05-06-67	2,104	1,992
09-06-67	1,944	2,033
12-06-67	2,039	2,039

$$CE(LAS) = 0,060 + 0,97 CE(CH-CH)$$

$$r = 0,54$$

Para el rango de CE de 2,000 a 2,650 mmhos/cm en Lasana, esta relación indica CE de 2,000 mmhos/cm a 2,679 mmhos/cm en Chiu-Chiu, lo que representa un pequeño incremento de 0 a 0,020 mmhos/cm entre estos dos puntos. Esta relación está de acuerdo con los promedios de 2,061 y 2,650 mmhos/cm adoptados para los períodos antes de 1972 y después de 1972, respectivamente.

5.4.7 Aumento de salinidad en zona de riego Chiu-Chiu

Se hizo lo mismo que en los puntos anteriores pero usando los valores concurrentes de Chiu-Chiu y antes del Salado (Tabla 5.5; Fig. III.6).

TABLA 5.5

Correlación C.E. Chiu-Chiu / antes Salado

Fecha	CE Chiu-Chiu	CE Antes Salado
12-05-67	2,070	2,140
17-05-67	2,036	2,090
22-05-67	2,135	2,185
28-05-67	2,148	2,100
01-06-67	2,033	2,083
05-06-67	1,992	1,908
09-06-67	2,033	2,033
12-06-67	2,039	1,867

$$CE(CHI-CHI) = 1,400 + 0,32 CE(AS)$$

$$r = 0,66$$

Los valores utilizados en esta correlación corresponden a Mayo y Junio de 1967. Tres de ellos indican mayor conductividad en Chiu-Chiu que en Los antes del Salado. Dado el bajo coeficiente de correlación obtenido y la desconfianza que producen dichos valores, se ha determinado no utilizar la relación obtenida.

5.4.8 Aumento de salinidad en zona de riego Calama

Se hizo una correlación entre puntos concurrentes de Yalquincha y La Finca (Tabla 5.6 Fig. III.7).

TABLA 5.6

Correlación C.E. Yalquincha / La Finca

Fecha	CE Yalquincha	CE La Finca
20-02-78	5,879	8,168
24-04-78	5,361	8,080
01-12-78	6,819	7,928
24-06-83	5,878	7,200
26-09-83	6,316	8,520
28-03-84	6,734	9,379

Se obtuvo la siguiente relación :

$$CE(Y) = 3,193 + 0,36 CE(LF)$$

$$r = 0,46$$

Los datos utilizados en esta correlación corresponden a los años 78, 83 y 84.

Aunque el coeficiente de correlación es bajo, la relación obtenida representa adecuadamente los valores medios, máximos y mínimos del período posterior a 1972. En cambio no es adecuada para el período previo a 1972.

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00011 6814