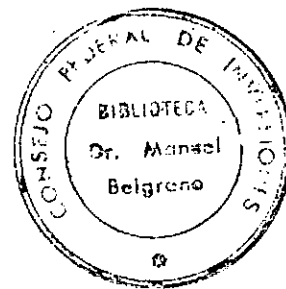


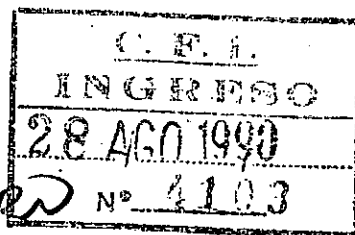
**CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES****EVALUACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO DEL  
CANAL DE DIOS Y CONDICIONES DE DISEÑO EN DISTINTOS TRAMOS****Expediente: OBRAS COMPLEMENTARIAS DEL CANAL DE DIOS****INFORME PARCIAL****Autor: Ingeniero civil Jorge ARANCIBIA**

Buenos Aires, 24 de Agosto de 1990

Consejo Federal de Inversiones

Sr. Secretario general

Juan José Ciacara



Ref: Evaluacion de las condiciones  
actuales de funcionamiento del  
canal de Dios y condiciones de  
diseño en distintos tramos

De mi mayor consideración:

Por la presente tengo el agrado de  
dirigirme a usted a los efectos de elevarle el informe parcial  
correspondiente al segundo mes de iniciadas las tareas.

Sin más saludo a usted muy atte..

Jorge H. ARANCIBIA

## INDICE

I.	Introducción	1
II.	Demandas hidricas	4
II.1	Demanda de agua potable	4
II.2	Demanda agropecuaria	7
III.	Oferta de agua del río	16
IV.	Evaluación de las obras existentes y su funcionamiento	42
IV.1	Obra de toma	42
IV.2	Conducciones en canal	45
IV.2.1	Parámetros de diseño	46
IV.2.2	Procesos de erosión y deposición	48
IV.2.3	Pérdidas infiltración y evaporación	53
V.	Información obtenida y referencias	76

## I - INTRODUCCION

El presente informe parcial al segundo mes de iniciadas las tareas resume las subetapas 1 y 2 correspondientes a las tareas de recopilación de antecedentes, estimación de condiciones de diseño en los distintos tramos del canal y evaluación de las condiciones de funcionamiento del canal.

Para la realización del mismo se compilaron y analizaron los antecedentes disponibles enumerados en el punto V y citados en la descripción de cada uno de los items del presente informe. También se realizaron dos viajes de inspección al sitio de las obras, uno terrestre que incluyó un recorrido a la toma y las trazas del canal y sus derivaciones y un sobrevuelo a la zona del proyecto que incluyó el área de la toma la traza del canal y el río aguas abajo.

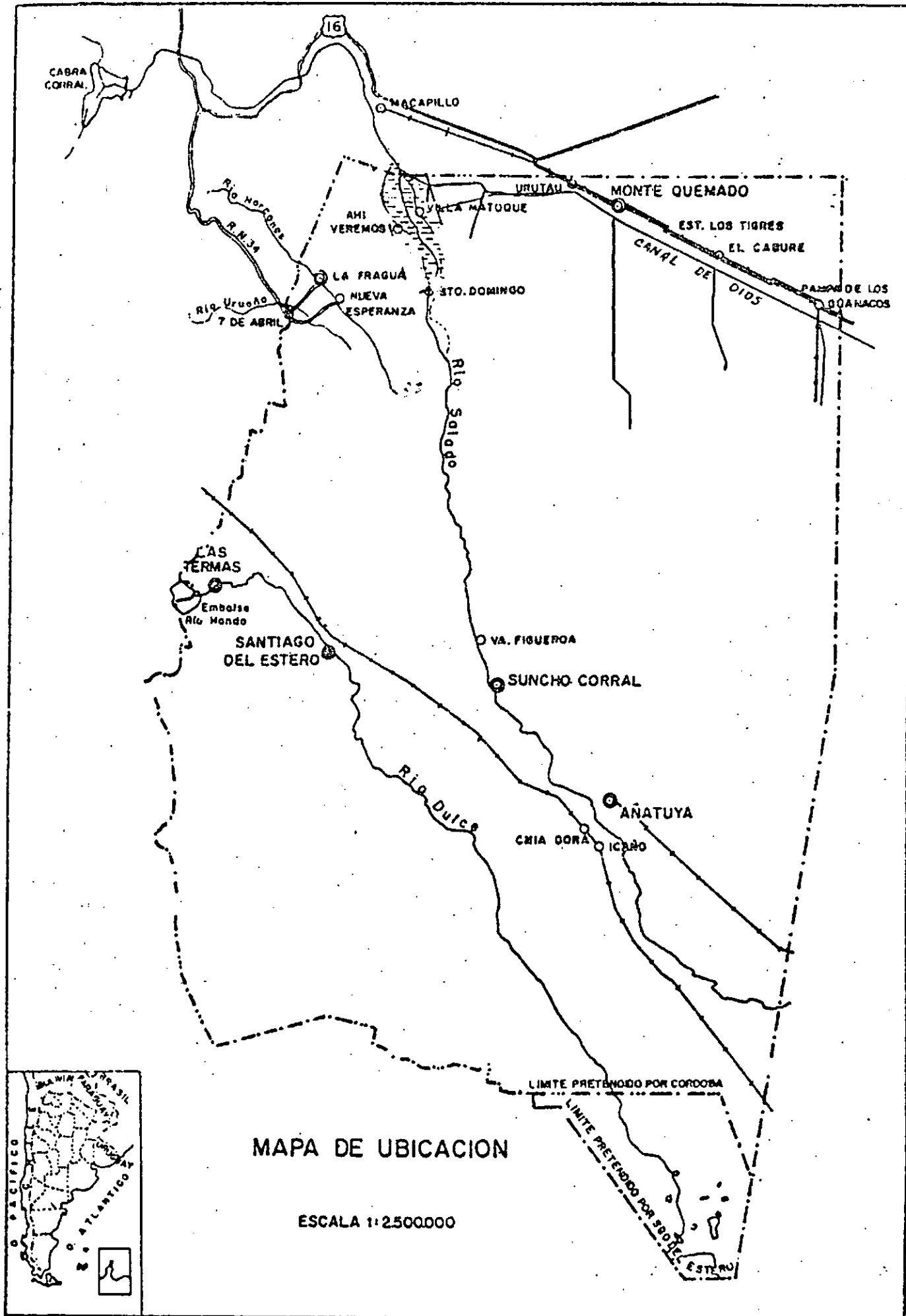
Además se efectuaron, en la provincia de Santiago del Estero, reuniones de trabajo con técnicos de la Administración Provincial de Recursos Hídricos de Santiago del Estero, de la delegación del Convenio Bajos Submeridionales y con el Subsecretario de Planeamiento de la Provincia de Santiago del Estero así como con el Ingeniero responsable del mantenimiento del Canal de Dios y con los técnicos de la Dirección Provincial de Obras Sanitarias y en Buenos Aires con los Ingenieros responsables del área infraestructura hídrica del Consejo Federal de Inversiones.

El análisis de la demanda hídrica realizado en este informe parcial fue basado en los estudios disponibles, en datos dados por los profesionales técnicos de la Pcia. de Santiago del Estero y en informaciones recabadas a la Pcia. del Chaco. Sin embargo la misma será perfeccionada y completada en el informe final mediante investigaciones adicionales a ser obtenidas en el sitio de las obras y análisis de la demanda pico, considerando los reservorios existentes o factibles de implementar en el

futuro.

Las primeras recomendaciones que surgen de las tareas objeto de este informe se mencionan en el tratamiento de cada parte de las obras. Las mismas serán completadas o ajustadas durante la continuación de los estudios.

A partir de la magnitud y características del material que sedimenta actualmente en el canal y los problemas operativos encontrados en la obra de toma, se hace necesario continuar el análisis de estos puntos.



## II - DEMANDAS HIDRICAS

El Canal de Dios fue construido por la Provincia de Santiago del Estero para el abastecimiento de agua para consumo poblacional y de ganado, como también para el desarrollo de pequeñas áreas de riego en el Chaco Santiagueño. A partir de 1982 también abastece de agua para consumo humano a varias localidades del oeste de la provincia del Chaco.

### II.1 - DEMANDA DE AGUA POTABLE

El canal abastece de agua a diversas localidades que de otra manera no podrían tener acceso al vital elemento con características adecuadas (debido al alto contenido de arsénico de las aguas subterráneas del área abastecida).

El consumo de agua está integrado por los siguientes tipos:

Uso doméstico

Uso industrial

Uso público

Derroches y pérdidas

Los diversos autores dan cifras dispares para proyectos de abastecimiento. Pero todos coinciden en dar valores mayores a localidades con mayor desarrollo. Basándose en las características del área y los factores de orden físico-geográfico (temperatura, vientos, lluvias, humedad, etc.) se determinó la dotación de agua según distintos autores:

- Según lo expresado por el Ing. Alberto Busto el consumo en los abastecimientos de agua potable para pequeñas poblaciones en zonas cálidas y para un desarrollo como el registrado en el área de influencia del canal de Dios y para una distribución con

instalación de medidores, se considera una dotación de hasta 200 l/h.dia. (Rev. OGN Nro. 164)

- En las Normas de estudios, diseño y presentación de Proyectos. Plan Nacional de Agua Potable. Ministerio de Economía, toma un valor de hasta 200 l/hab.dia.

- Este valor está dentro de los límites que indican Tomas R. Camp y Joseph C. Lawer para las poblaciones residenciales de los Estados Unidos, entre 120 y 475 l/hab.dia. estando los mismos muy relacionados al desarrollo de la comunidad.

El canal cuya traza se indica en el plano II.1 abastece directamente o a través de sus derivaciones a las poblaciones de Urutú, Caburé, Los Pirpintos, Pampa de los Guanacos, Monte Quemado, IFIA, Campo Gallo, y Santos Lugares en la provincia de Santiago del Estero y a partir de 1982 se prolonga hasta Río Muerto, Los Frentones, Pampa del Infierno y Concepción del Bermejo en la provincia del Chaco.

En el cuadro Nro. II.1 se indican las localidades y sus poblaciones futuras determinadas por los técnicos de la Dirección Provincial de Agua Potable de la provincia de Santiago del Estero para los proyectos de Plantas Potabilizadoras y de distribución de agua, así como sus consumos estimados. Esta repartición establece para estas poblaciones una dotación de 200 l/hab.dia (Calculado para una red futura con instalación de medidores).

Para asegurar el abastecimiento de agua en caso de corte de del escurrimiento del canal, cada población cuenta con un almacenamiento de reserva para 30 días de consumo. El mismo está materializado mediante dos represas, lo que permite realizar la limpieza de mantenimiento (desembanque de la represa), de una y continuar utilizando la otra.

En el caso de las poblaciones de la Provincia del Chaco fueron determinados por los técnicos de la Dirección General de



Hidráulica con iguales criterios que en la provincia de Santiago del Estero los consumos y las poblaciones futuras. Para ellas se proyectaron represas con una previsión de almacenamiento de 60 días.

## 11.2 DEMANDA AGROPECUARIA

### Demanda de Riego

Para la cuantificación de los requerimientos de riego en la zona, se contó con la información disponible en los estudios: "Disponibilidad y Calidad del Agua", "Consumo, Dotación y Sistema de Distribución de Agua para Riego" del Proyecto NOA Hidrico Segunda Fase de los años 1979 y 1980 respectivamente y con estimaciones de los técnicos responsables del mantenimiento actual del canal.

El sistema de Distribución de Agua del área de riego del Canal de Dios es el de caudal constante y tiempo variable.

El caudal de manejo para riego en el total de las parcelas (excepto IFIA) está determinado en 200 l/s, lo que permite regar 400 has en años normales, las que se distribuyen de la siguiente forma.

Urutaú	25 has
Mte. Quemado	50 has
Los Tigres	25 has
El Caburé	25 has
Los Pirpintos	50 has
Pampa de los Guanacos	50 has
Estación Experimental	
Pampa de los Guanacos	175 has

El caudal requerido se ha limitado a este valor de 0.200 m<sup>3</sup>/s para evitar posibles problemas de erosión, mayor demanda de mano de obra regante y sobredimensionamiento de acequias. Dado que I.F.I.A. (Campo Experimental Los Tigres) tiene una superficie mayor (450 has), el caudal continuo se estableció en 220 l/s para años de precipitación normal y se hace rotar dentro de las 19 parcelas que componen el bloque. En años de precipitación escasa, el caudal en los meses pico, debiera

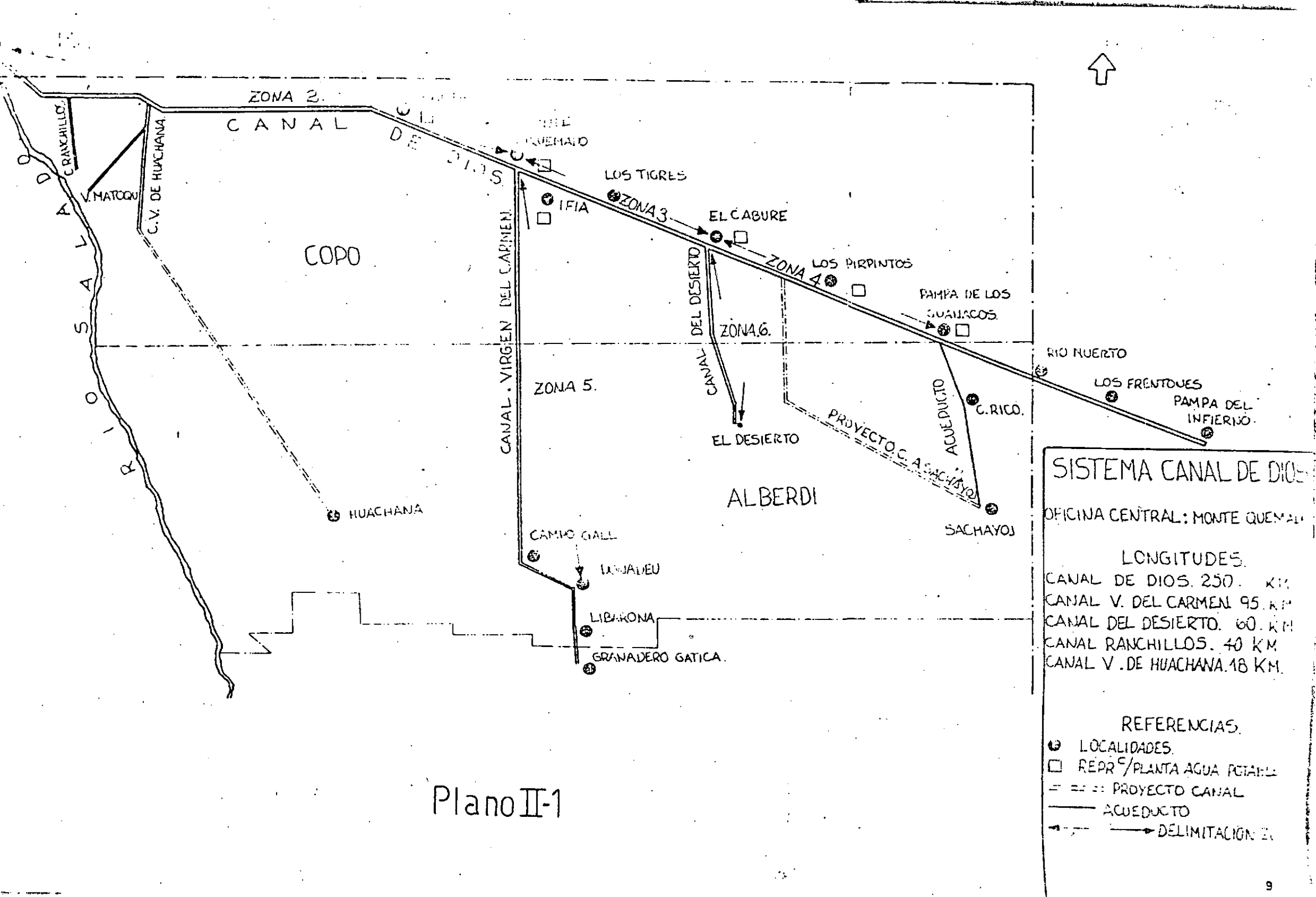
incrementarse al orden de 270 l/seg (Ver cuadro Nro. II.2).

Teniendo en cuenta las características topográficas y de textura de los suelos del área, se aconseja la aplicación del método de riego por "superficie sin pendiente" en pileta rectangular. El mismo consiste en cubrir el suelo con una capa de agua cuyo espesor está en relación con la lámina de riego que se desea aplicar, quedando el agua embalsada por bordos que rodean las unidades de riego, siendo el número de bordos el mínimo posible por ha, y adoptando la unidad de riego una forma y tamaño de acuerdo a la topografía, textura del suelo y mecanización utilizada (ver cuadro Nro. II.3).

Para regular la capacidad de respuesta del canal a los requerimientos de riego y agua potable existen aproximadamente cien represas o reservorios de agua cruda que totalizarían un volumen embalsado de 1.000.000 m<sup>3</sup>, tanto en el Canal de Dios como en las derivaciones. Además, en el Canal Del Desierto, los ganaderos han construido unas 30 represas para uso pecuario que embalsan aproximadamente 50.000 m<sup>3</sup> cada una.

El caudal previsto para la derivación Campo Gallo (Canal Virgen del Carmen) es de 500 l/seg en la toma sobre el Canal de Dios, el que será utilizado para consumo humano, bebida para ganado y agricultura. Descontando las pérdidas por infiltración y evaporación y los usos mencionados queda un caudal remanente de 26 l/seg para <sup>ampliar la</sup> agricultura. Sin embargo, el mismo, por su valor reducido, no resulta práctico para ser utilizado con el método de riego por inundación.

El caudal de la derivación a El Desierto es de 300 l/seg en la toma sobre el Canal de Dios. Luego de descontarse los consumos y las pérdidas de conducción queda un remanente de 140 l/seg. Este remanente puede utilizarse con fines agrícolas al final del tramo del canal adoptándose como caudal de manejo para regar 250 ha con la dotación crítica.



Plano II-1

## SISTEMA CANAL DE DIOS

OFICINA CENTRAL: MONTE QUEMAID

### LONGITUDES.

CANAL DE DIOS. 250. KM.  
CANAL V. DEL CARMEN. 95. KM.  
CANAL DEL DESIERTO. 60. KM.  
CANAL RANCHILLOS. 40. KM.  
CANAL V. DE HUACHANA. 18. KM.

### REFERENCIAS.

- LOCALIDADES.
- REPR<sup>e</sup>/PLANTA AGUA POTABLE
- PROYECTO CANAL
- ACUEDUCTO
- DELIMITACION

Los caudales para riego utilizados son fijos en todos los meses del año y obedecen al sistema de distribución y esquema de riego adoptado. Ellos se mantienen constantes debido a la escasa variabilidad que presentan las dotaciones mensuales de los cultivos.

- Caudal por turno en bloques (excepto IFIA)	200 l/s
- Caudal para IFIA	220 l/s (en años de precipitación normal)
- Caudal derivación Campo Gallo	500 l/s
- Caudal derivación El Desierto	300 l/s
Caudal Total	1.220 l/s

#### Demanda Pecuaria

Para estimar la provisión de agua de la ganadería se toma una franja de influencia de 5 km a ambos márgenes del canal. Se adoptaron de acuerdo con las premisas dadas por la Dirección General de Planificación de la Gobernación de Santiago del Estero en lo referente a uso de poblaciones, ganadería y de los caudales a derivar a Campo Gallo y El Desierto, los siguientes criterios.

- Receptividad de: 5 ha/cabeza vacuna para cría
- Dotación establecida: 50 l/cabeza/día

Por otra parte la estimación del consumo en ruta para ganado se hizo de acuerdo al esquema que se transcribe a continuación:

Pro. Tramo a Urutaú: Franja de 10 km x 90 km.

2do. Tramo a Monte Quemado: Colonización 100.000 ha más una franja de 10 km x 26 km.

3ro. Tramo a Los Tigres: Franja de 10 km x 30 km mas Reserva Forestal (No hay ganadería).

4to. Tramo a El Ceburé: Franja de 10 km x 30 km.

5to. Tramo Ramal a El Desierto: 2 Franjas de 10 km x 40 km.

6to. Tramo a Los Pirpintos: Franja de 10 km x 30 km más 75.000 ha.

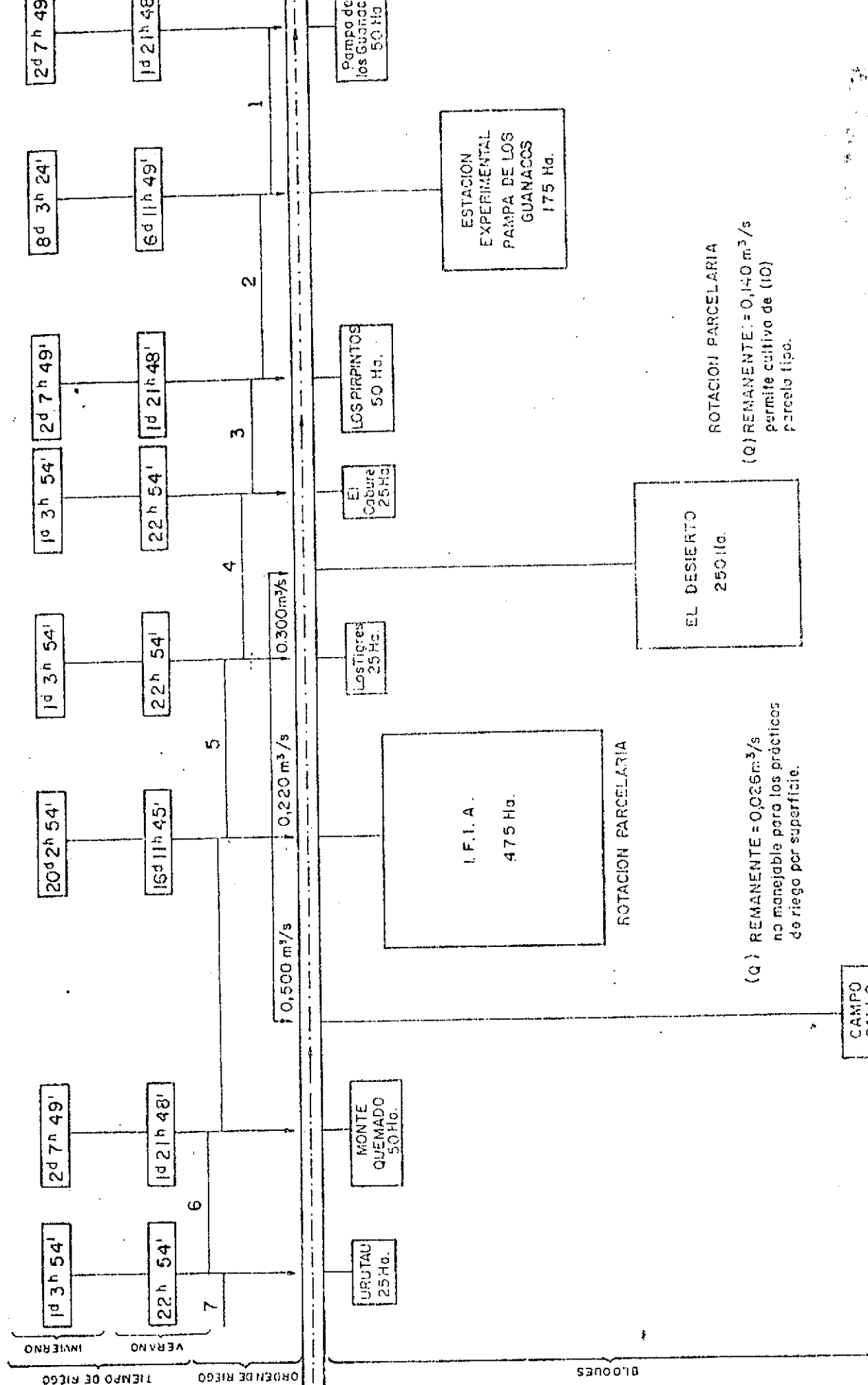
7mo. Tramo a Pampa de los Guanacos: 2 franjas de 10 km x 25 km (ver cuadro Nro. II.4).

## ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

POBLACION	POBLACION	CONSUMO
	FUTURA	FUTURO
	hab	m <sup>3</sup> /d
URUTAU	4 500	900
EL CABURE	4 500	900
LOS PIRPINTOS	5 500	1 100
PAMPA DE LOS GUANACOS	25 500	5 100
MONTE QUEMADO	33 500	6 700
I.F.I.A.	4 500	900
CAMPO GALLO	9 000	1 800
SANTOS LUGARES	3 000	600
RIO MUERTO	1 000	200
LOS FRENTONES	7 700	1 540
PAMPA DEL INFIERNO	7 300	1 460
CONCEPCION DEL BERMEJO	9 260	1 850
TACO POZO	9 260	1 850

Cuadro no II.1

ESQUEMA OPERATIVO DE MANEJO DE AGUA PARA RIEGO - Area: CANAL DE DIOS





# TIEMPO DE RIEGO Y CAUDAL OPERATIVO

CUADRO II-3

IDENTIFICACION DEL BLOQUE	NUMERO DE PARCELAS POR BLOQUE	CAUDAL POR PARCELA EN LITROS SEGUNDO	CAUDAL DERIVADO EN CADA PARCELA EN LITROS SEGUNDO	MANEJO DE BARRIO POR PARCELA	TIEMPO DE RIEGO							
					POR ELEMENTO		POR HECTAREA		POR PARCELA		POR BLOQUE	
					VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
					VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO
URUTAU	1	0,200			33'	40,2	55'	67'	22 <sup>h</sup> 54'	1 <sup>a</sup> 3 <sup>h</sup> 54'	I	
MONTE QUEMADO	2	0,200			33'	40,2	55'	67'	22 <sup>h</sup> 54'	1 <sup>a</sup> 2 <sup>h</sup> 48'	I	
RAMAL CAMPO GALLO	2	0,500	0,025		—	—	—	—	—	—	II	
LELA	19	0,220	0,220		30'	36,5	50'	61'	20 <sup>h</sup> 15'	1 <sup>a</sup> 1 <sup>h</sup> 24'	III	
LOS TIGRES	1	0,200			33'	40,2	55'	67'	22 <sup>h</sup> 54'	1 <sup>a</sup> 3 <sup>h</sup> 54'	I	
RAMAL A EL DESIERTO	10	0,300	0,140		47'	57,6	79'	96'	1 <sup>a</sup> 8 <sup>h</sup> 38'	1 <sup>a</sup> 15 <sup>h</sup> 59'	III	
EL CABURE	1	0,200			33'	40,2	55'	67'	22 <sup>h</sup> 54'	1 <sup>a</sup> 3 <sup>h</sup> 54'	I	
LOS PIRPINTOS	2	0,200			33'	40,2	55'	67'	22 <sup>h</sup> 54'	1 <sup>a</sup> 3 <sup>h</sup> 54'	I	
CAMPO EXP. RAMPA DE LOS GUANACOS	7	0,200			33'	40,2	55'	67'	22 <sup>h</sup> 54'	6 <sup>a</sup> 11 <sup>h</sup> 49'	I	
RAMPA DE LOS GUANACOS	2	0,200	0,200		33'	40,2	55'	67'	22 <sup>h</sup> 54'	1 <sup>a</sup> 2 <sup>h</sup> 48'	I	

I - CAUDAL TURNADO EN CANAL Y PARCELA

II - CAUDAL NO MANEJABLE PARA LAS PRACTICAS DE RIEGO POR SUPERFICIE

III - CAUDAL CONSTANTE EN CANAL Y TURNADO EN PARCELA

• SISTEMA DE RIEGO SIMPLIFICADO

• CULTIVO MAS EXIGENTE

• APROX. PRECIPITACION NORMAL

• (Un riego cada 17 días en verano y 28 días en invierno)

\* - CAUDAL REMANENTE AL FINAL DEL TRAMO DEL CANAL RAMAL CAMPO GALLO

\*\* - CAUDAL DETERMINADO PARA LELA

\*\*\* - CAUDAL REMANENTE AL FINAL DEL TRAMO DEL CANAL RAMAL A EL DESIERTO

\*\*\*\* - CAUDAL CALCULADO PARA SER MANEJADO EN EL RESTO DE LAS PARCELAS

CUADRO N° 13.4

ESTIMACION DE LOS CONSUMOS PARA POBLACION Y GANADERIA.

Localidad	Progresiva		Población	Ganado	Consumo (lt/seg.)	
	Parcial	Acumulada			Población	Ganado
Toma (Cruz Bajada)	0	0	0	0	-	-
Urutaú	92	92	500	18.400	1,157	10,648
Monte Quemado	26	118	7.000	25.200	16,204	14,584
Derivación a Campo Gallo	-	118	8.000	36.000	18,519	20,834
Campo Experimental Los Tigres (IFTA)	9	127	-	-	-	-
Los Tigres	17	144	400	3.400	0,926	1,968
Derivación a El Desierto	24	168	-	16.000	-	9,259
El Caburé	6	174	1.800	6.000	4,167	3,472
Los Pirpintos	30	204	2.000	21.000	4,630	12,153
Pampa de los Guanacos	25	229	4.500	10.000	10,417	5,787
			24.200	136.000	56,020	78,705

/...

### III OFERTA DE AGUA DEL RIO SALADO



#### Consideraciones generales

El estudio del comportamiento del río y su cuenca de aporte debe considerar la dinámica a la que responde debido a las condiciones naturales que lo gobiernan, y en el caso del río Salado, los condicionamientos impuestos por la realización de obras hidráulicas.

La propia dinámica del recurso propicia la necesidad de efectuar y mantener actualizados los conocimientos al efecto de seguir la marcha de los factores hidrológicos a través del tiempo.

En función de esta premisa se ha realizado una cuidadosa recopilación de antecedentes (Ver Capítulo V Información obtenida y referencias), de los cuales para este tópico resultan como más importantes los vinculados a los registros pluviométricos, aforos y registros limnimétricos, características del medio por donde escurre el río y sus afluentes de mayor importancia, de las obras hidráulicas y su funcionamiento.

El río y sus afluentes de mayor importancia son aforados en secciones de control atendidas principalmente por la Empresa Agua y Energía Eléctrica, y por la Administración Provincial de Recursos Hídricos, en la Provincia de Santiago del Estero. En el plano se muestra la red de mediciones analizada, asimismo en el Cuadro siguiente son indicadas para cada estación, su ubicación, período de funcionamiento y organismo que la opera.

En forma general se puede clasificar a la zona de análisis según los criterios de Thornthwaite, como semiárida.

Rio	Estación	Periodo de funcionamiento	Organismo
Arenales	Potr. de Diaz	1944/45-1966/67	AyEE
Arias	San Gabriel	1941/42-1967/68	AyEE
Calchaqui	La Punilla	1948/49-1967/68	AyEE
Juramento	Cabra Corral	1934/35-1967/68	AyEE
Medina	Desembocadura	1941/42-1967/68	AyEE
Pasaje	Miraflores	1928/29-1979/80	AyEE
Pasaje	El Tunal	1941/42-1979/80	AyEE
Salado	El Arenal	1929/30-1979/80	AyEE
Salado	Suncho Corral	1914/15-1961/62	AyEE

nota: los periodos de funcionamiento se obtuvieron de las Estadísticas hidrológicas hasta 1980 Agua y Energía Eléctrica

#### - Cuenca Activa

El río Salado tiene sus nacientes en la precordillera salteña. En confluencia de los ríos Arias y Guachipas en la zona de Cabra Corral, se considera el inicio del río Juramento o Salado.

Aguas abajo el río recibe la afluencia de los ríos Piedras y Medina.

La cuenca activa del río Salado se desarrolla hasta la sección el Tunal en la Provincia de Salta, sobre una superficie de 38.000 km<sup>2</sup>.

Los valores de las series hidrológicas que caracterizan al río y sus afluentes son mostrados en el siguiente cuadro.

RIO	ESTACION	PERIODO DE OBSERVACIONES	Q medio	Q max	Q min	V
			Anual (m <sup>3</sup> /s)	med.diar. (m <sup>3</sup> /s)	med.diar. (m <sup>3</sup> /s)	Anual (hm <sup>3</sup> )
Arenales	Potrero de Diaz	1944/45- 1966/67	7.0	260	0.5	221
Arias	San Gabriel	1941/42- 1967/68	24.4	441	5.0	771
Calchaqui	La Punilla	1948/49- 1967/68	6.5	374	0.2	204
Juramento	Cabra Corral	1934/35- 1967/68	29.5	835		930
Pasaje	Miraflores	1928/29- 1972/73	33.5	954	6.0	1056
Pasaje	Miraflores	1973/74- 1979/80	37.6	199	2.0	1188
Medina	Desembocadura	1941/42- 1979/80	3.2	221	0.5	100
Pasaje	El Tunal	1941/42- 1972/73	37.1	1092	1.0	1170
Pasaje	El Tunal	1973/74- 1979/80	42.3	510	1.0	1336

Corresponde indicar que a partir del cierre y llenado del embalse Cabra Corral los caudales en régimen natural son modificados por el efecto regulador de la obra hidráulica.

- Cuenca Media

Aguas abajo de la sección el Tunal el río cambia su rumbo hacia el Sur penetrando en la Provincia de Santiago del Estero sin recibir aportes encauzados de importancia.

En términos generales el río en este tramo resulta efluente y se caracteriza por la presencia de bañados, entre ellos son identificados el Bañado de Copo (actualmente seco) de una superficie de 300 km<sup>2</sup>; Bañado Hoyo Seco; el Bañado de Figueroa (actualmente con graves problemas de erosión lineal retrograda) y el Bañado de Añatuya.

En el tramo santiagueño del río Salado, en casos excepcionales, los ríos Horcones y Urueña pueden resultar afluentes. Los dos tienen sus nacientes en la Provincia de Salta y atraviesan el territorio santiagueño, siendo sus aguas utilizadas para riego.

En el caso del río Horcones hasta 1981 se perdían los exedentes en el bañado homónimo, posteriormente se construyó una pequeña canalización con el objeto de inducir su drenaje hacia el río Salado. El cambio producido en el nivel de base ha provocado un aumento de la pendiente, que ha originado un proceso de erosión lineal retrograda (cárcavas) que busca reestablecer un nuevo perfil de equilibrio. Esta modificación producirá cambios limitando el efecto amortiguador del bañado.

La dinámica de los derrames en este tramo del río Salado presenta variaciones significativas a lo largo del recorrido. Se realiza entonces una breve descripción del mismo desagregado en subtramos que permitan identificar sus características. Asimismo, teniendo en cuenta la ubicación de las secciones de control existentes.

A efectos de ampliar el análisis se lo extiende hasta la sección Cabra Corral.

- Subtramo Cabra Corral - Miraflores

Este subtramo se desarrolla en la parte activa de la cuenca en la Provincia de Salta en una longitud aproximada de 90 km. El río recibe afluentes laterales provistos por la pluviometría de la zona, entre ellos el más importante es el Río Piedras, con crecidas estivales entre diciembre y marzo.

En forma general se puede indicar que los aportes son superiores a las pérdidas e insumos para riego, conservándose gastos mayores en la sección Miraflores que en Cabra Corral. En ambos casos en régimen natural el volumen de escurrimiento medio para el periodo diciembre-marzo representa el 68% del derrame anual, es también durante este periodo cuando se producen las mayores ganancias de caudales en el tramo.

Para el periodo de registros común a ambas estaciones 1934/35-1967/68 los caudales medios y volúmenes medios derramados resultan:

Cabra Corral:  $Q_m = 29.5 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $V_m = 930 \text{ Hm}^3$

Miraflores:  $Q_m = 34.3 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $V_m = 1082 \text{ Hm}^3$

- Subtramo Miraflores - El Tunal

Este subtramo también se desarrolla en la parte activa de la cuenca, su longitud es de 35 km, y recibe como afluente más importante por margen derecha al río Medina, cuya cuenca tiene una superficie aproximada de 1700 km<sup>2</sup>. En el gráfico III-1 son mostrados los caudales medio, máximo y mínimo mensual representativos de la estación Desembocadura para el periodo de registros 1941/42-1979/80, en él puede observarse la amplitud de los valores medios extremos, mínimos y máximos, fundamentalmente durante el periodo estival de crecidas.

El río Medina aporta en promedio un caudal de  $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , con un derrame anual de  $100 \text{ Hm}^3$ .

En términos medios para el periodo común 1941/42-1971/72 de registros en las estaciones sobre el río Pasaje, Miraflores y el Tunal y sobre el río Medina la ya mencionada Desembocadura se ha confeccionado el siguiente cuadro que muestra cuantitativamente la marcha de los caudales medios y las pérdidas y ganancias en el tramo en régimen natural.

ESTACION	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	ANO
Miraflores (1)	11.0	11.0	14.0	23.0	66.0	112.0	75.0	33.0	18.0	15.0	14.0	12.0	33.7
Medina	1.3	1.4	1.7	2.8	4.1	7.1	6.2	2.3	1.4	1.4	1.4	1.3	2.7
El Tunal (2)	9.8	9.0	18.7	23.4	67.9	120.0	86.8	40.1	22.3	17.4	14.9	12.8	37.1
Dif. (2) - (1)	- 1.2	- 4.0	4.7	0.4	3.9	8.0	11.8	7.1	4.3	2.4	0.9	0.1	3.4

En los gráficos III-2, III-3, III-7 y III-8 son presentados los caudales medios, máximos y mínimos mensuales del río Pasaje en las estaciones Miraflores y El Tunal para los periodos 1929/30-1971/72 y 1973/74-1979/80, 1941/42-1971/72 y 1979/80 respectivamente. Las series han sido desdobladas considerando el efecto regulador del embalse Cabra Corral, cuyo llenado se ha realizado en 1973. En estos gráficos se observa la marcha anual de los caudales medios y extremos mensuales como asimismo su amplitud de variación.

En los gráficos III-4 y III-9 son mostradas las curvas de permanencias de caudales medios mensuales para las estaciones Miraflores y El Tunal en los periodos considerados, en ellos se observa la incidencia de la regulación impuesta por la operación del embalse Cabra Corral, que atenúa los valores pico y aumenta los caudales del periodo de estiaje. El mismo resultado se obtiene comparando los gráficos de caudales promedios mensuales de ambos periodos considerandos para cada una de las estaciones.

Para el periodo de operación del embalse 1973/74-1979/80 se presenta en el siguiente cuadro los valores de caudales medios mensuales y las pérdidas y ganancias producidas en el tramo.

ESTACION	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	AÑO
Miraflores (1)	28.7	27.9	29.1	32.1	41.1	55.6	57.9	48.0	30.0	28.1	28.0	27.6	37.6
Medina	1.5	3.7	9.6	16.0	18.5	6.6	2.4	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	5.5
El Tunal (2)	27.1	24.1	25.9	31.9	55.6	77.0	84.5	56.6	34.6	28.1	27.6	28.5	42.3
Dif. (2) - (1)	- 1.6	- 3.8	- 3.2	- 0.2	14.5	11.4	24.7	6.6	4.6	0.0	- 0.4	0.9	4.6

Merece indicarse que en este subtramo son regadas mediante derivaciones aproximadamente 7000 ha. en la zona denominada El Galpón, que podrían explicar las pérdidas durante el periodo de estiaje.

De la información obtenida y de los gráficos presentados pueden extraerse algunos valores que permiten identificar al régimen del río en ambas estaciones para los periodos considerados. Para el primero de ellos los caudales máximo, medio mensual, mínimo medio mensual y medio mensual son respectivamente para las estaciones Miraflores y el Tunal: 381 m<sup>3</sup>/s y 339 m<sup>3</sup>/s; 8 m<sup>3</sup>/s y 4 m<sup>3</sup>/s; y 33.5 m<sup>3</sup>/s y 37.1 m<sup>3</sup>/s; los caudales máximos y mínimos medios diarios resultaron: 954 m<sup>3</sup>/s y 1092 m<sup>3</sup>/s y 6 m<sup>3</sup>/s y 1 m<sup>3</sup>/s.

En los gráficos III-5 y III-10 son presentados los derrames anuales en las secciones Miraflores y el Tunal, en los gráficos III-6 y III-11 los volúmenes acumulados de esos derrames, y en el gráfico III-12 la curva de doble masa en valores de volúmenes anuales de ambas estaciones sobre el río Pasaje.

Para el segundo periodo los caudales fueron Q<sub>max</sub> mens.= 92 m<sup>3</sup>/s; Q<sub>min</sub> mens= 8 m<sup>3</sup>/s; Q<sub>max</sub> diario= 199 m<sup>3</sup>/s; Q<sub>min</sub> diario= 2 m<sup>3</sup>/s para la estación Miraflores y Q<sub>max</sub> mens.=123 m<sup>3</sup>/s; Q<sub>min</sub> mens. 9 m<sup>3</sup>/s; Q<sub>max</sub> diario= 510 m<sup>3</sup>/s; Q<sub>min</sub> diario = 1 m<sup>3</sup>/s, para la estación El Tunal y los volúmenes derramados para el periodo de crecientes: 515 Hm<sup>3</sup> y 647 Hm<sup>3</sup> que



representan el 43% y el 49% de los volúmenes medios anuales derramados.

- Subtramo El Tunal - El Arenal

Presenta diferentes comportamientos entre las porciones que se desarrollan en territorio salteño y santiagueño, pero la información existente impide que se realice tal discretización por lo que el análisis cuantitativo es realizado en forma integrada para el tramo de 190 km de longitud aproximada.

Aguas abajo de la sección El Tunal son derivados caudales para las siguientes zonas de riego: en la Provincia de Salta: El Tunal, Cnel. Ollerós, González, Gaona, Quebrachal, Macapillo, Santa Rosa y en la Provincia de Santiago del Estero: Villa Matoque, las que suman en total una superficie regada de 21.000 has. aproximadamente.

El río al ingresar al territorio de la Provincia de Santiago del Estero escurre con una muy débil pendiente por la zona conocida como Baffado del Copo que se extiende sobre una superficie aproximada de 32.000 has., en la que se producen importantes pérdidas por evaporación o infiltración. En este tramo la precipitación es escasa, la zona carece de una red de drenaje hacia el río y los suelos y subsuelos, están constituidos por sedimentos finos de baja cohesión.

En el baffado del Copo se ha detectado un proceso de erosión lineal retrógrada que ha provocado prácticamente su secado mediante el encauzamiento sucesivo a través de las cárcavas hasta formar un cauce único que actúa de drenaje evitando la inundación de la zona.

Estos procesos tienen su origen en los cambios sufridos en la dinámica del río por causa de la operación del embalse Cabra Corral que ha modificado mediante la regulación los derrames líquidos y sólidos del río, que de esta manera se manifiesta variando las zonas de erosión y deposición en procura de una nueva estabilización. En la zona del baffado del Copo el río actualmente presenta una importante actividad erosiva aumentando

el caudal sólido que transporta hacia aguas abajo, el que en parte será depositado al norte del bañado de Figueroa.

La estacionalidad del clima y de las crecidas anuales conjuntamente con la carga de sólidos que va provocando por deposición la elevación del valle aluvial, algunas veces hasta alcanzar y sobrepasar la altura de la llanura adyacente, ocasionan frecuentes salidas de cauce. Entonces esta zona es caracterizada por fenómenos de aluvionamiento excesivo, hidromorfismo y salinización causada por los bloqueos en los drenajes.

En el tramo comprendido entre las estaciones El Tunal y el Arenal son producidas importantes pérdidas en los caudales de escurrimiento, las cuales son evaluadas para las condiciones de río en estado natural y regulado mediante la operación del embalse Cabra Corral, a través de la diferencia de los caudales medios mensuales entre ambas estaciones para los periodos comunes 1941/42-1971/72 y 1973/74-1979/80 respectivamente. Los resultados se presentan en los cuadros siguientes:

**Periodo 1941/42 - 1971/72**

ESTACION	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	ANO
El Tunal	9.8	9.0	13.7	23.4	69.9	120.0	86.8	40.1	22.3	17.4	14.7	12.8	37.1
El Arenal	0.0	0.2	0.6	4.7	31.5	73.3	58.3	26.8	8.9	3.3	1.8	0.8	17.5
Diferencia	-9.8	-8.8	-13.1	-18.7	-38.4	-46.7	-28.5	-13.3	-13.4	-14.1	-13.1	-12.0	-19.6
Pérdida en %	100.0	98.0	97.0	80.0	55.0	39.0	33.0	33.0	60.0	81.0	88.0	94.0	53.0

**Periodo 1973/74 - 1979/80**

ESTACION	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	ANO
El Tunal	27.1	24.1	25.9	31.9	55.6	77.0	84.6	56.6	34.6	28.1	27.6	28.5	42.3
El Arenal	7.9	6.9	8.3	11.8	26.4	57.7	77.4	50.6	26.0	13.8	12.5	10.4	26.5
Diferencia	-19.2	-17.2	-17.6	-20.1	-29.2	-19.3	-7.2	-6.0	-8.6	-14.3	-15.1	-18.1	-15.8
Pérdida en %	71.0	71.0	68.0	63.0	53.0	25.0	9.0	11.0	25.0	51.0	55.0	64.0	37.0

Es decir que en el tramo se produce para el río no regulado una pérdida media del 53% del caudal medio anual de El Tunal. Naturalmente las mayores pérdidas en porcentaje se producen durante el periodo de estiaje y el comienzo de la creciente, es decir, de junio a diciembre; los valores menores se registran en marzo y abril hacia el final del periodo de creciente.

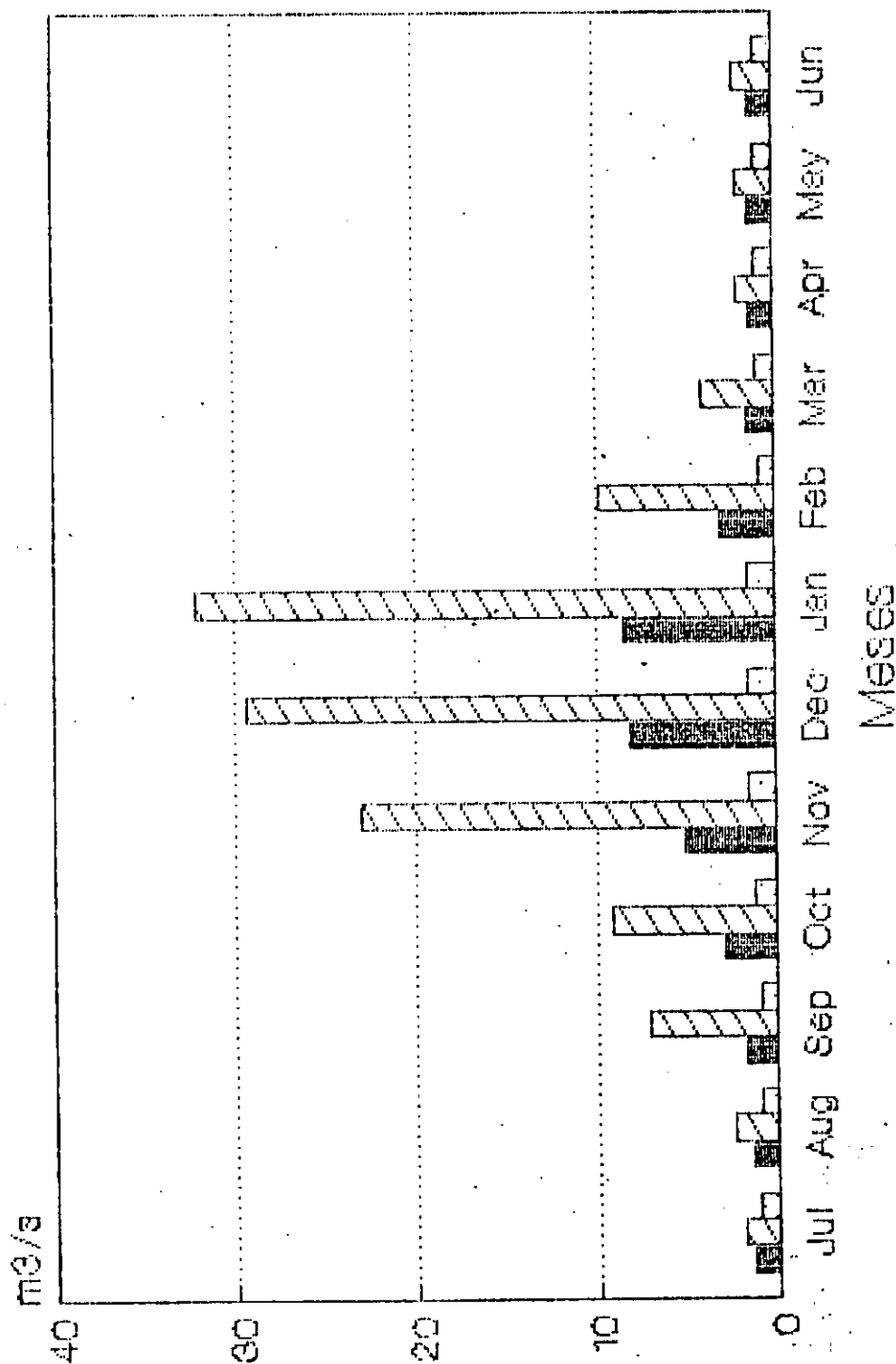
Para el periodo 1973/74 - 1979/80 la pérdida media ha sido del 37% del volumen derramado en El Tunal.

Para la estación El Arenal se presenta en los Gráficos III-13 y III-14 los caudales medios, máximos y mínimos mensuales para los periodos 1929/30 - 1971/72 y 1973/74 - 1979/80. En el primero se observa la gran amplitud existente entre los valores máximos y mínimos a nivel mensual, como asimismo su dispersión respecto a los valores medios, en el segundo como producto de la operación de Cabra Corral el río presenta una atenuación de los caudales máximos, aumento de los caudales mínimos y una notable disminución de la variación de los caudales medios. En el Gráfico III-15, permanencia de caudales se visualiza este efecto mediante las curvas de caudales clasificados para ambos periodos.

En los gráficos III-16 y III-17 son presentados los volúmenes derramados por año hidrológico para la serie de registros y su acumulado.

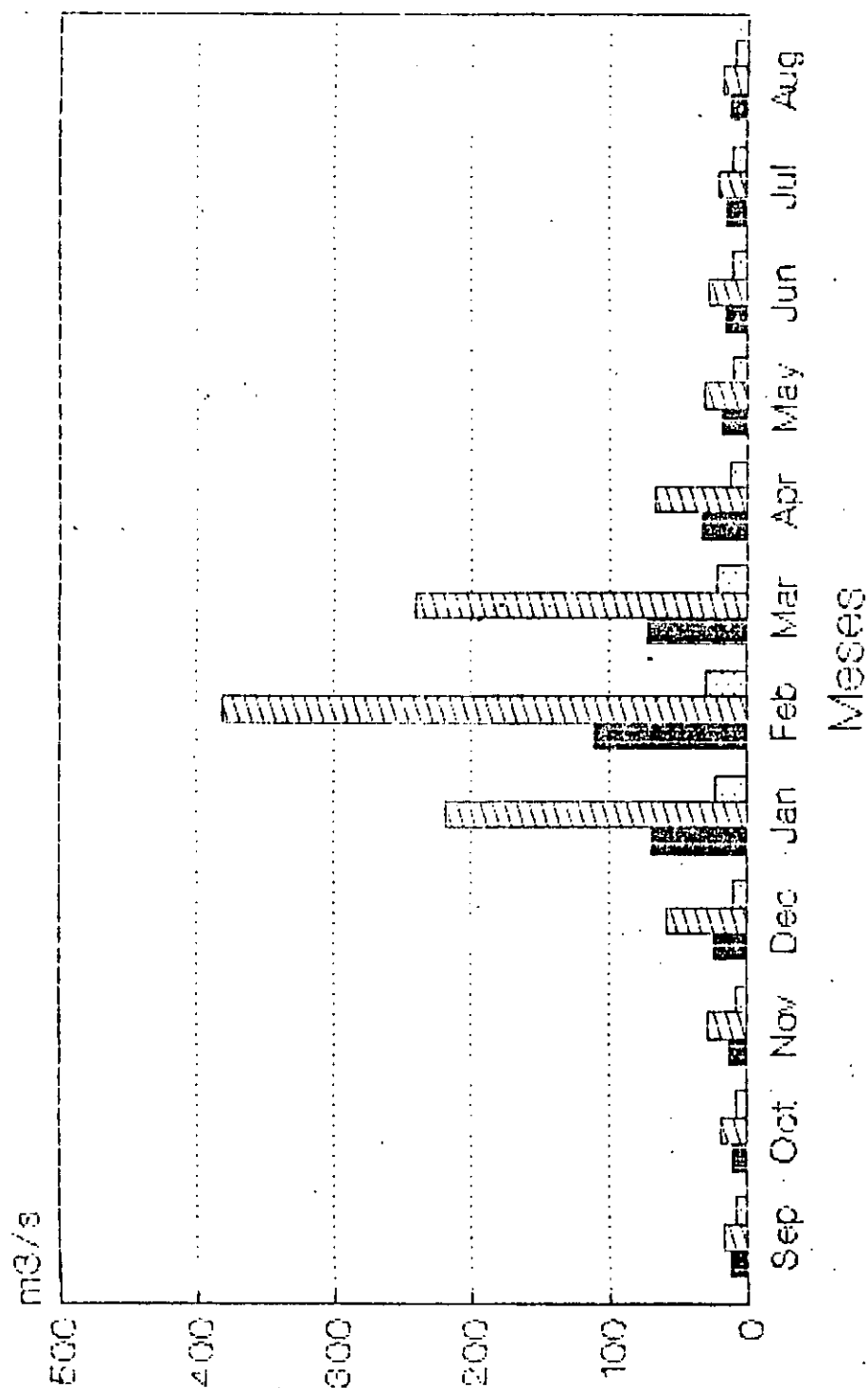
Para la estación El Arenal son mostrados para los periodos considerados los valores de: caudal máximo mensual 219 m<sup>3</sup>/s y 101 m<sup>3</sup>/s; caudal mínimo mensual 0 y 0, caudal medio mensual 17.5 y 26.5 m<sup>3</sup>/s; caudal máximo diario 300 m<sup>3</sup>/s y 170 m<sup>3</sup>/s y caudal mínimo diario 0 y 0. Asimismo los volúmenes medios escurridos durante el periodo enero-abril fueron: 548 Hm<sup>3</sup> y 487 Hm<sup>3</sup>, que representan el 88% y el 66% de los volúmenes medios anuales derramados.

# Caudales promedio mensuales Rio MEDINA. Est. Desembocadura Periodo 1941/42 - 1979/80



# Caudales promedios mensuales Est. MIRAFLORES

Periodo 1929/30 - 1971/72



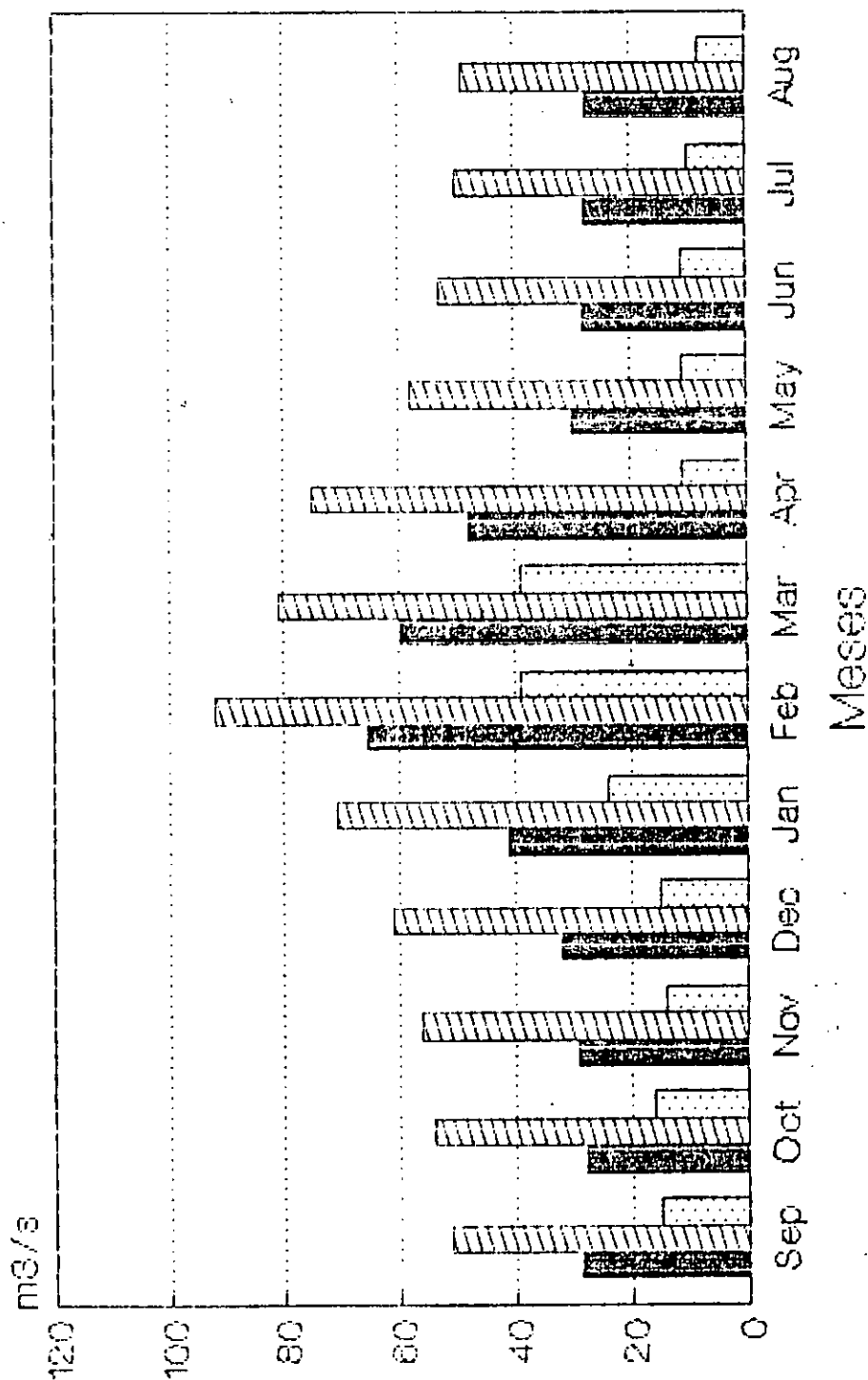
■ Caud. medio mensual    ▨ Caud. maximo mensual    □ Caud. minimo mensual

1973 Se cerro el embalsa Cabra Corral

# Caudales promedio mensuales

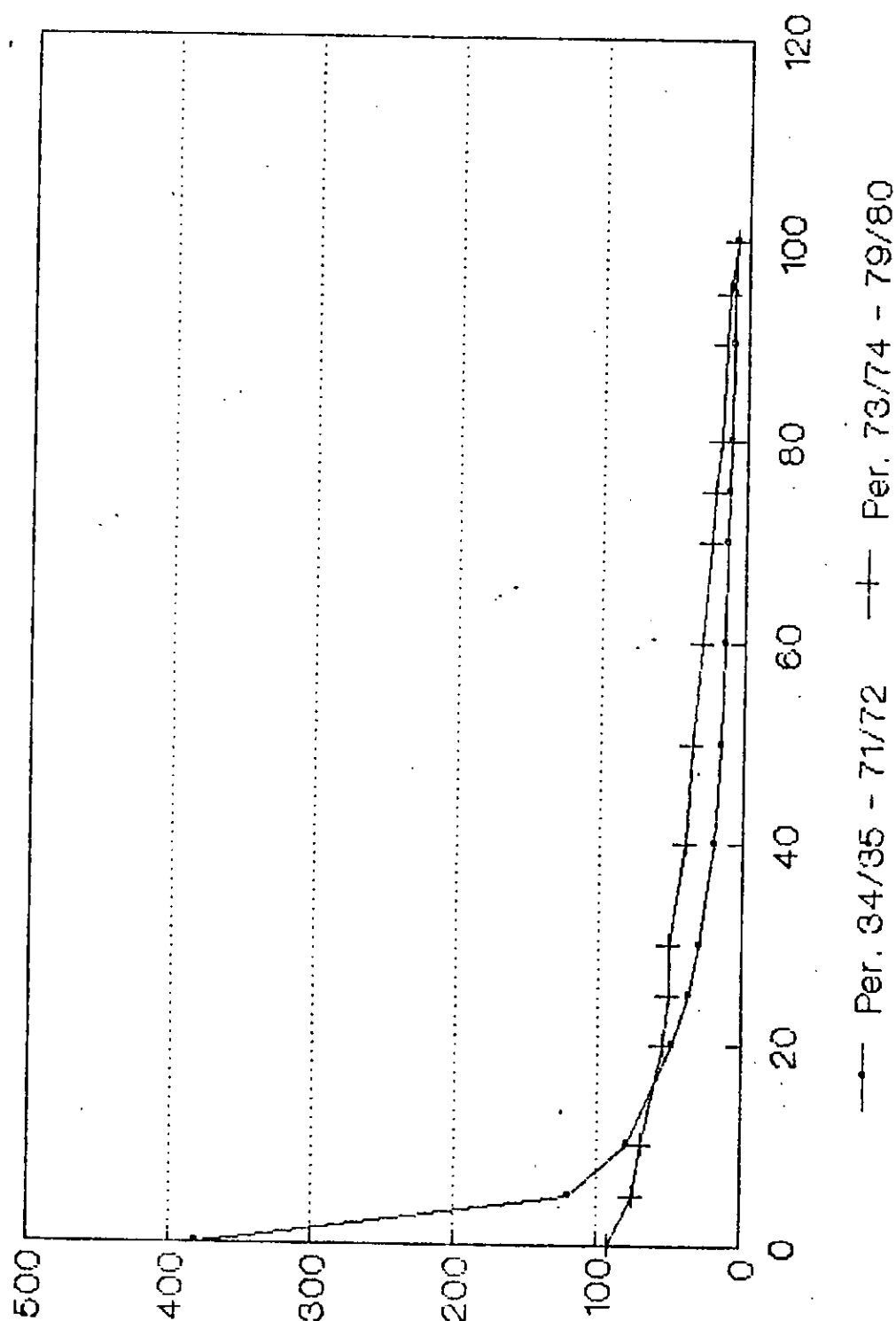
Est. MIRAFLORES

Periodo 1973/74 - 1979/80



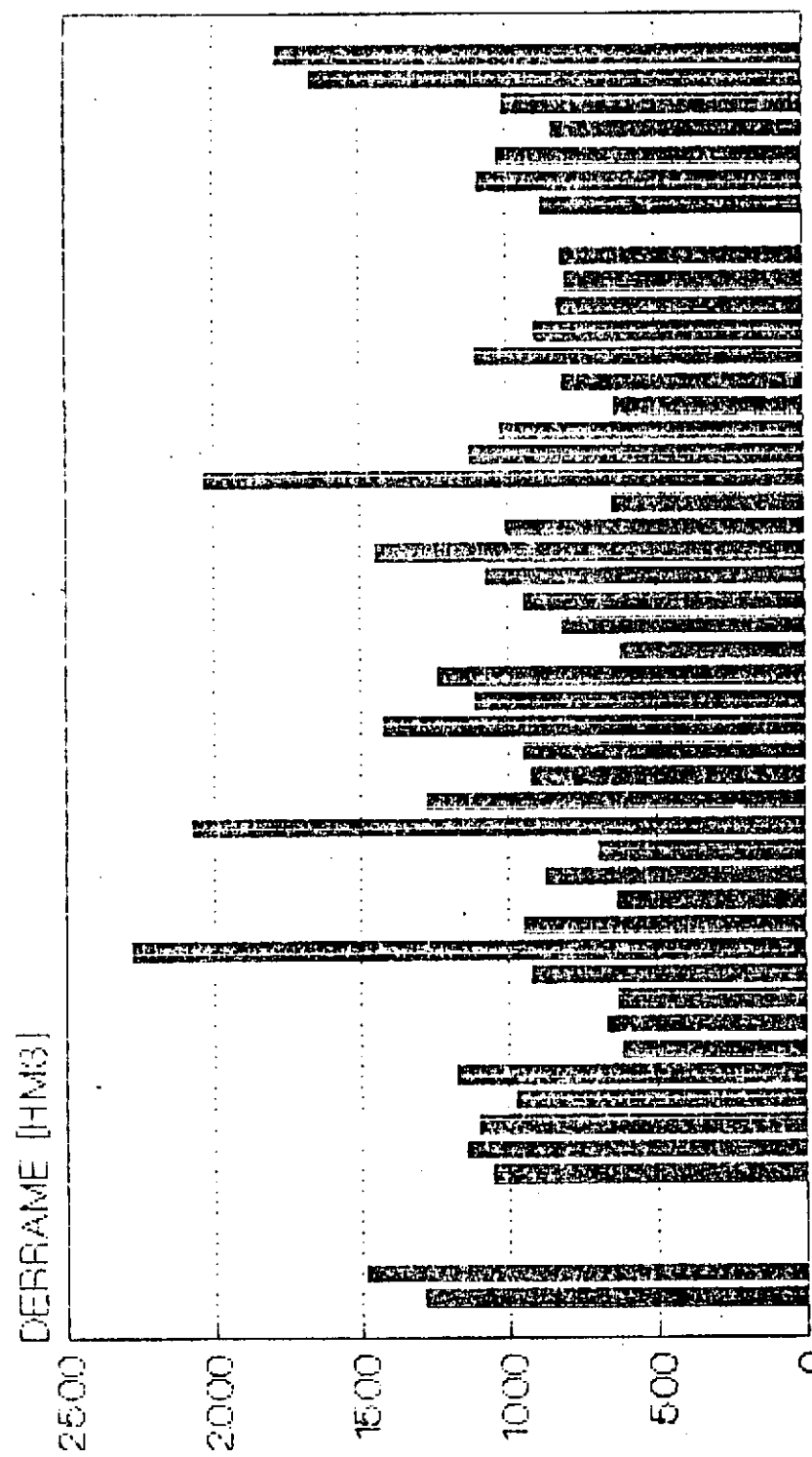
1973 Sa cerro el embalse Cabra Corral

# Permanencia de caudales medios mensuales Est.: MIRAFLORES



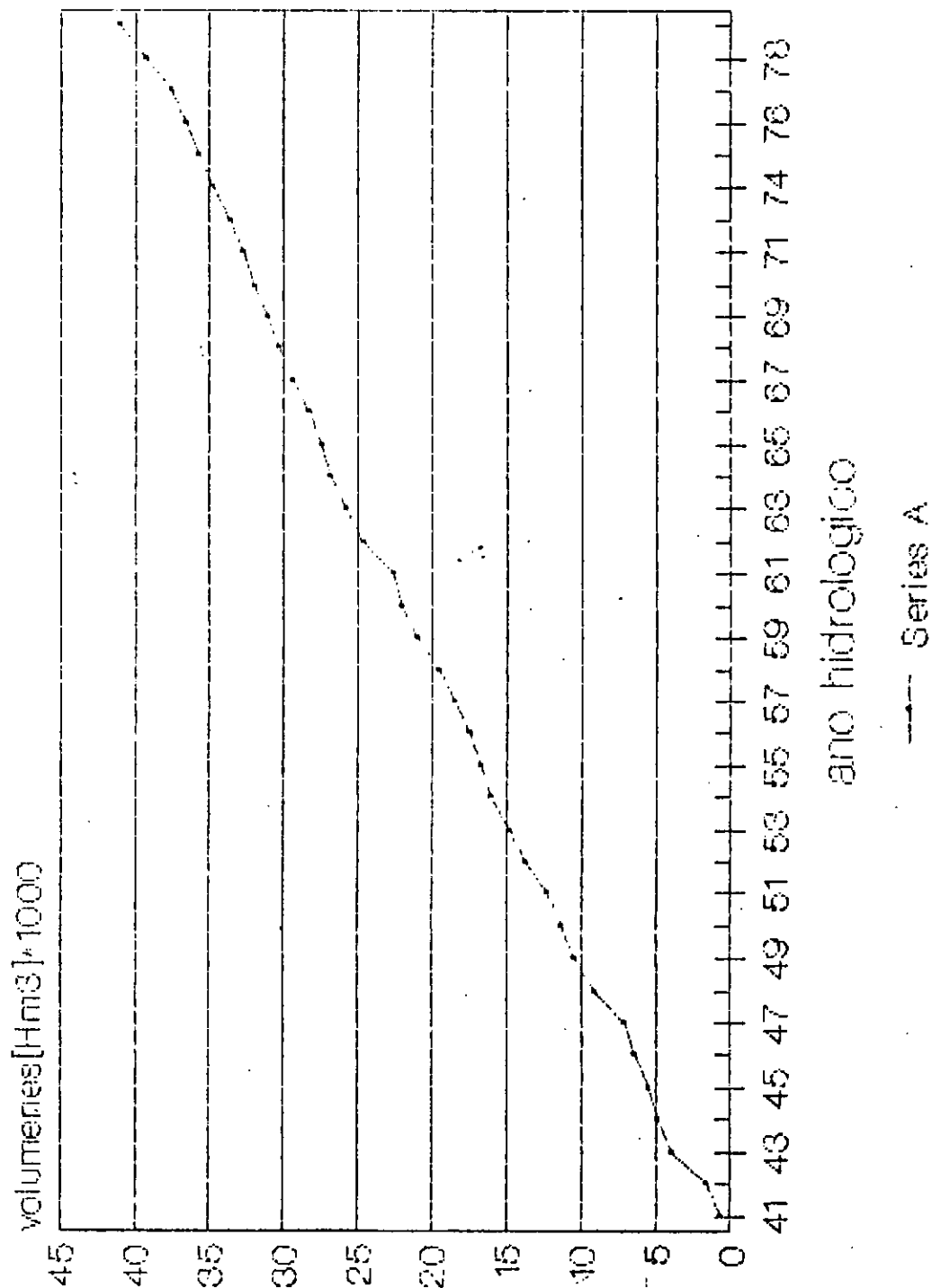
1973 Se cerró el embalse Cabra Corral

# DERRAMES ANO HIDROLOGICO RIO SALADO MIRAFLORES



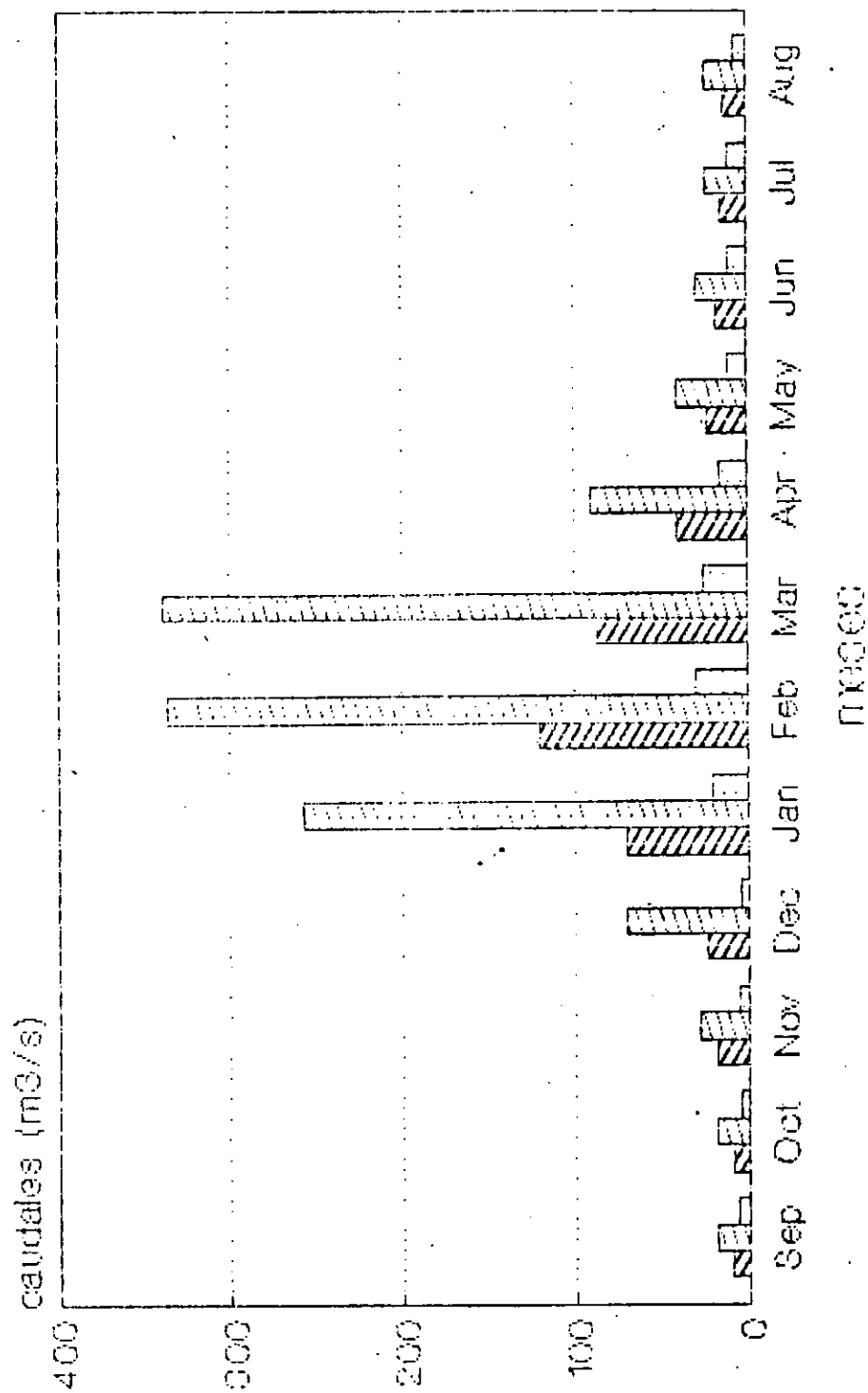


# Volumenes acumulados 1041/42-1979/80 Miraflores



# Caudales promedios mensuales Est. EL TUNAL

Periodo 1941/42 - 1971/72

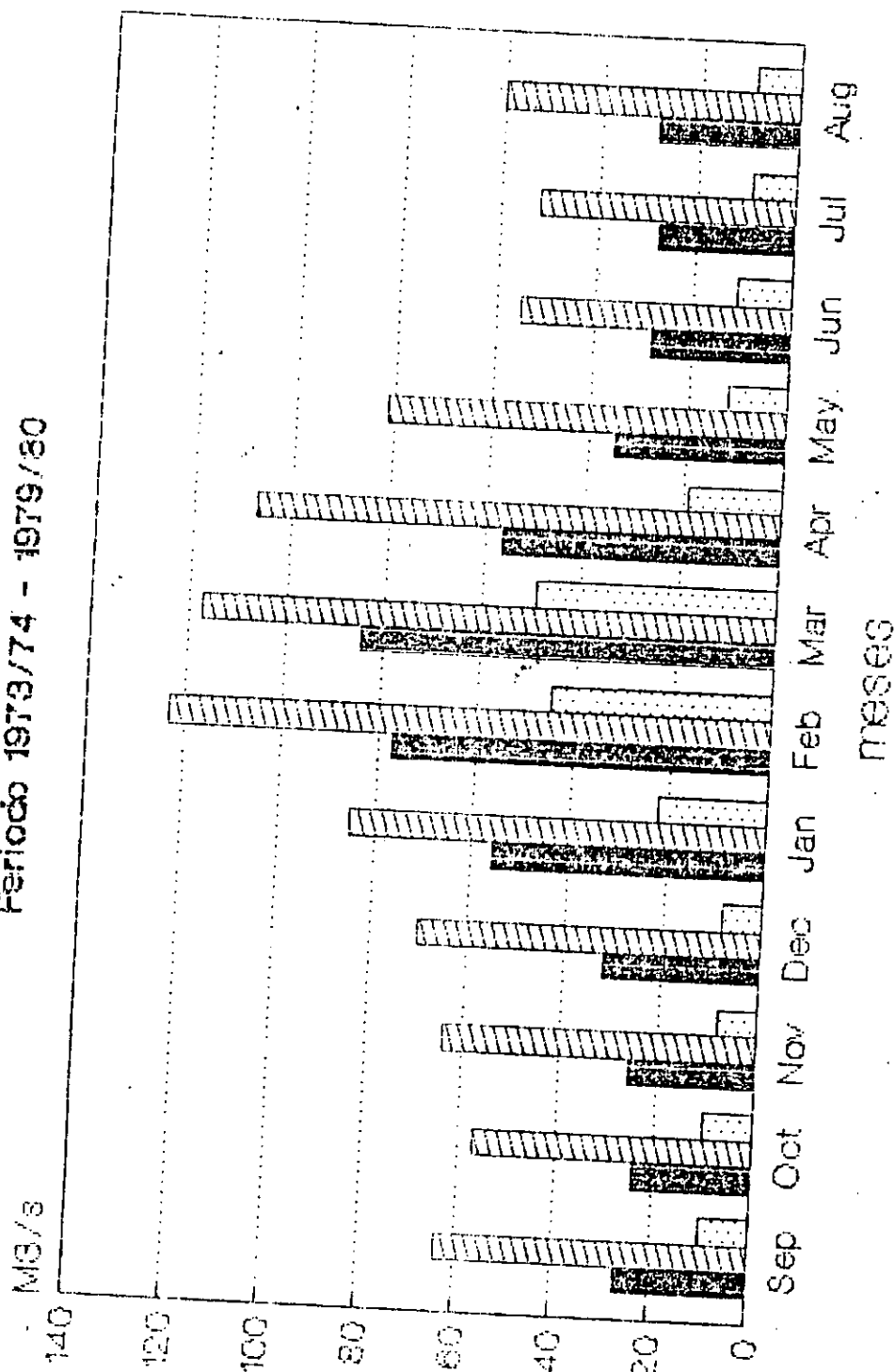


En 1973 se cerró el embalse Cable Corral

GRAFICO III - 7

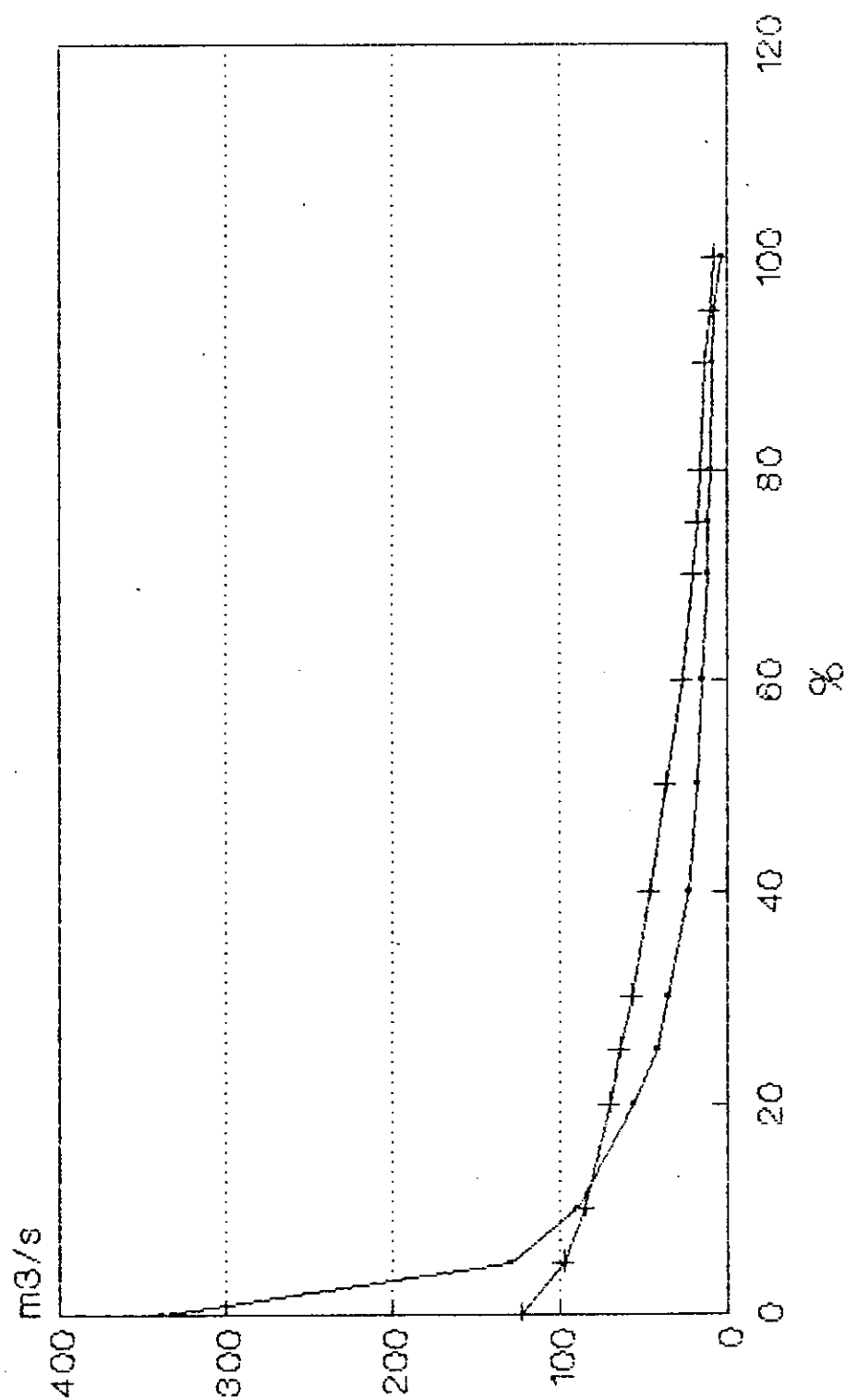
# Caudales promedios mensuales Est. EL TUNAL

Período 1973/74 - 1979/80



1973 Se cerro el embalse de Cebra Corral

# Permanencia de caudales medios mensuales Est. EL TUNAL



Per. 41/42 - 71/72    Per. 73/74 - 79/80

1973 Se cerro el embalse Cebra Corral

# DERRAMES ANO HIDROLOGICO RIO SALADO EL TUNAL

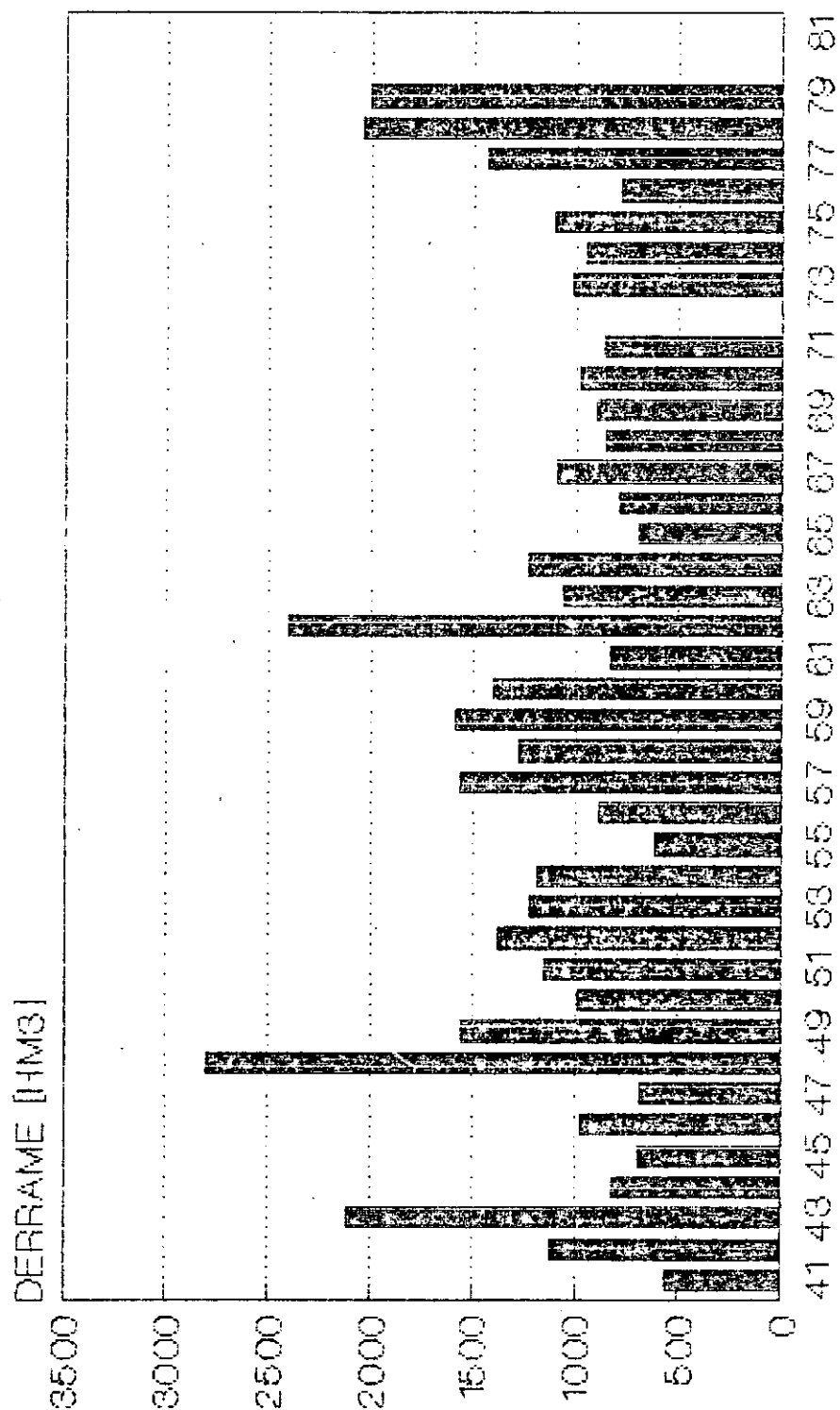
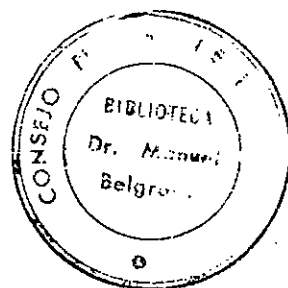
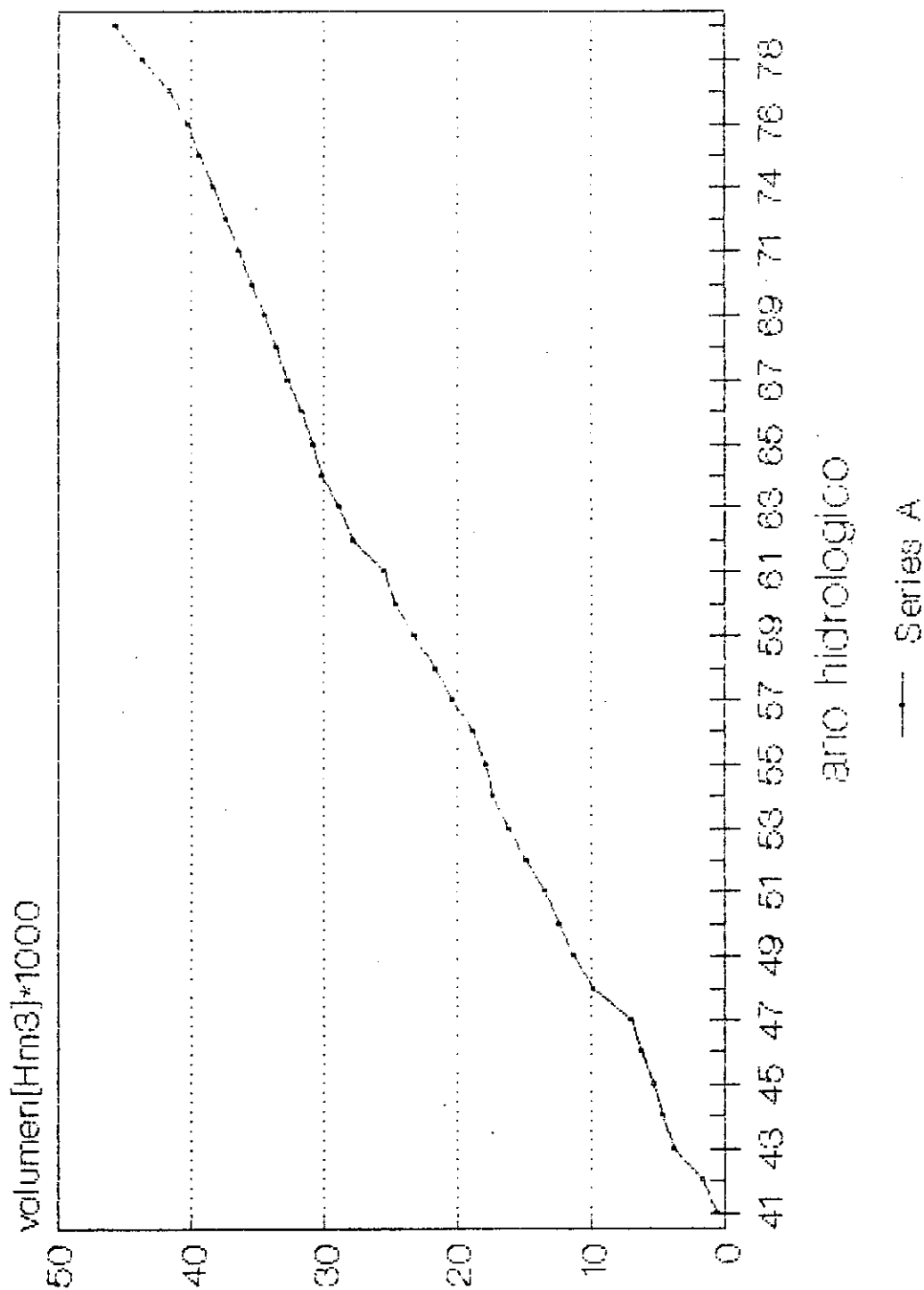


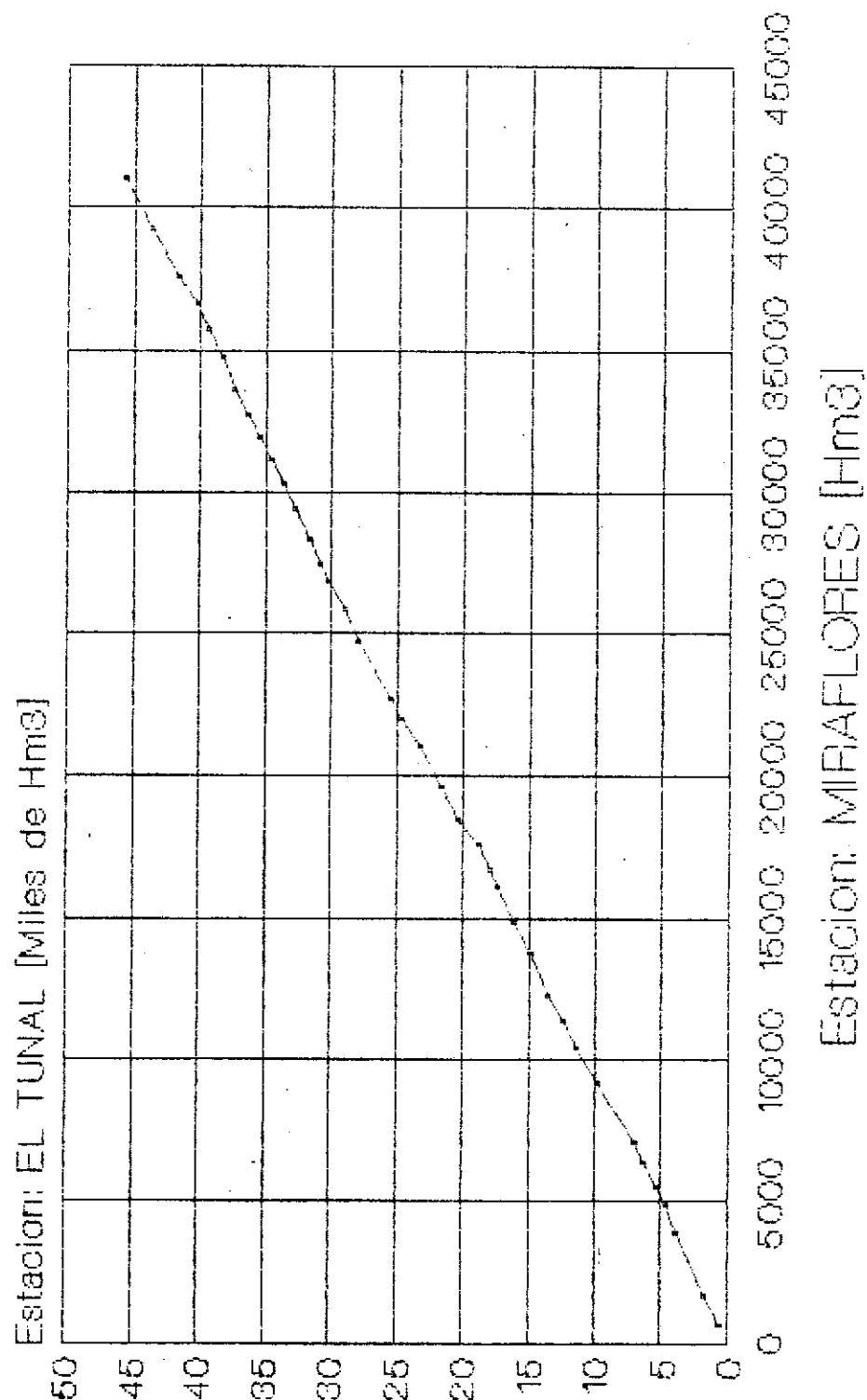
GRAFICO III - 10



# Volumenes acumulados 1941/42-1979/80 El Tunal



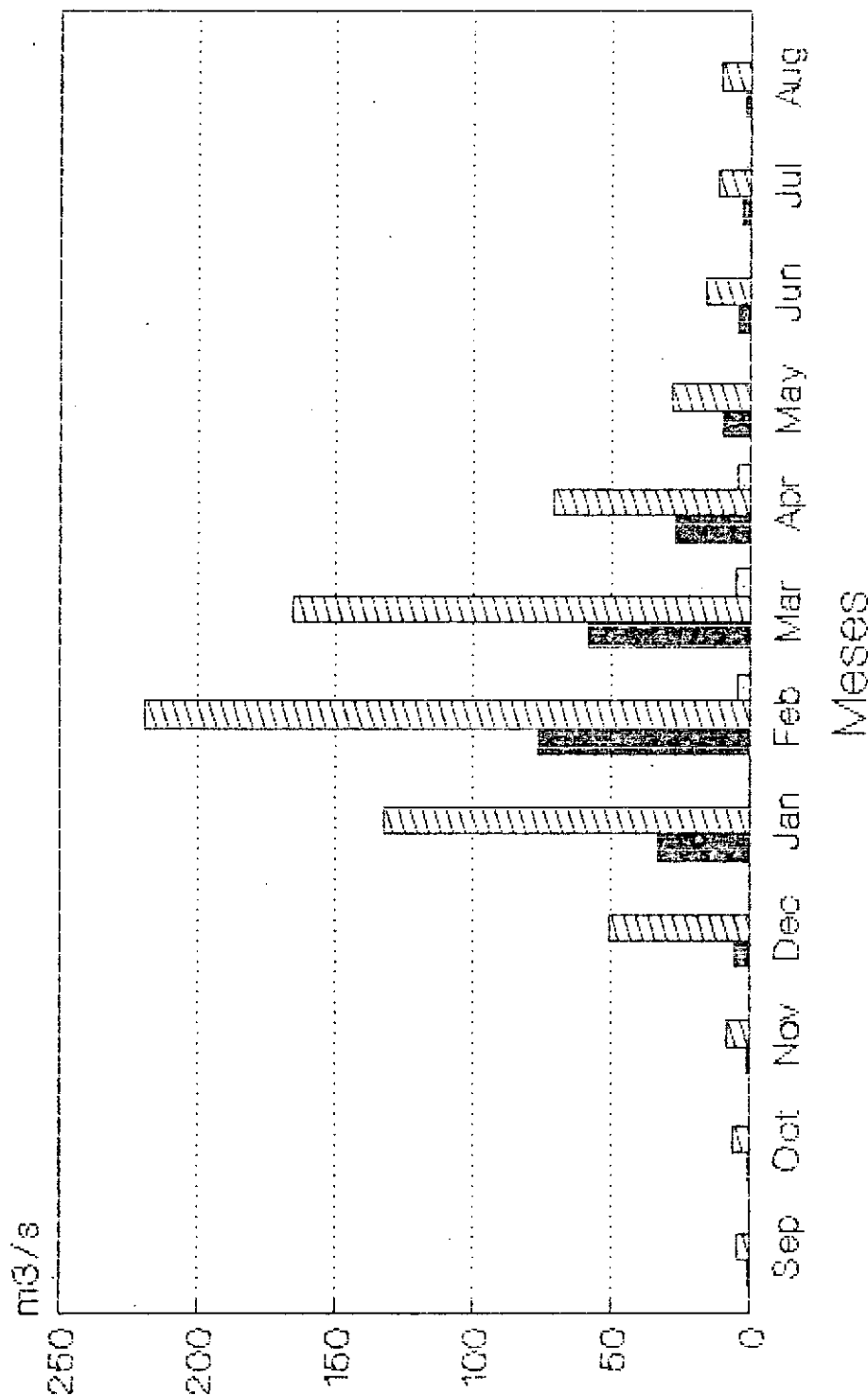
# **DERRAMES ANUALES MIRAFLORES-EL TUNAL**



Desde el año 1941

# Caudales promedio mensuales Est. EL ARENAL

Periodo 1929/30 - 1971/72



Caud. medio mensual   
 Caud. maximo mensual   
 Caud. minimo mensual

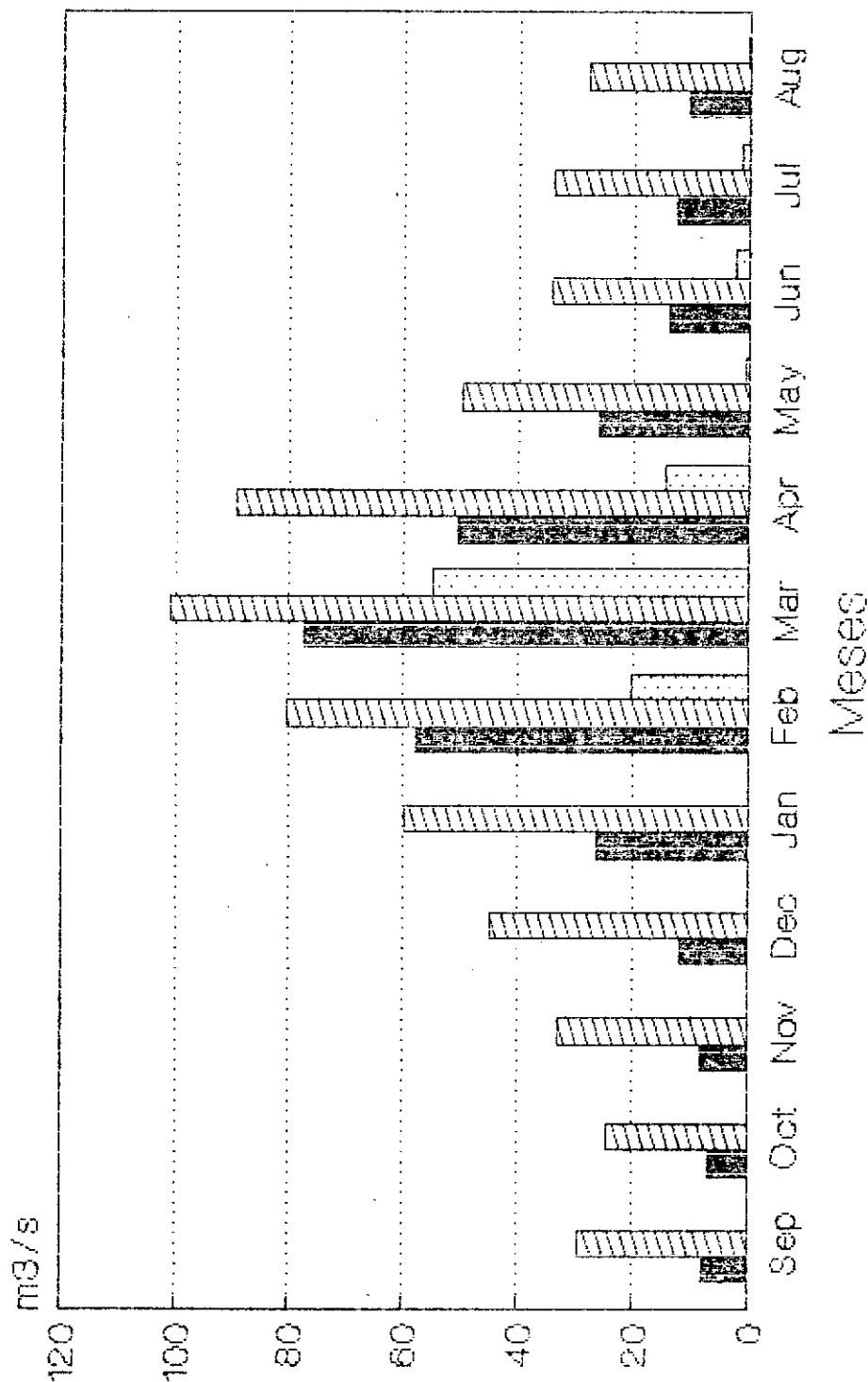
1973 Se cerro el embalse Cabra Corral



# Caudales promedio mensuales:

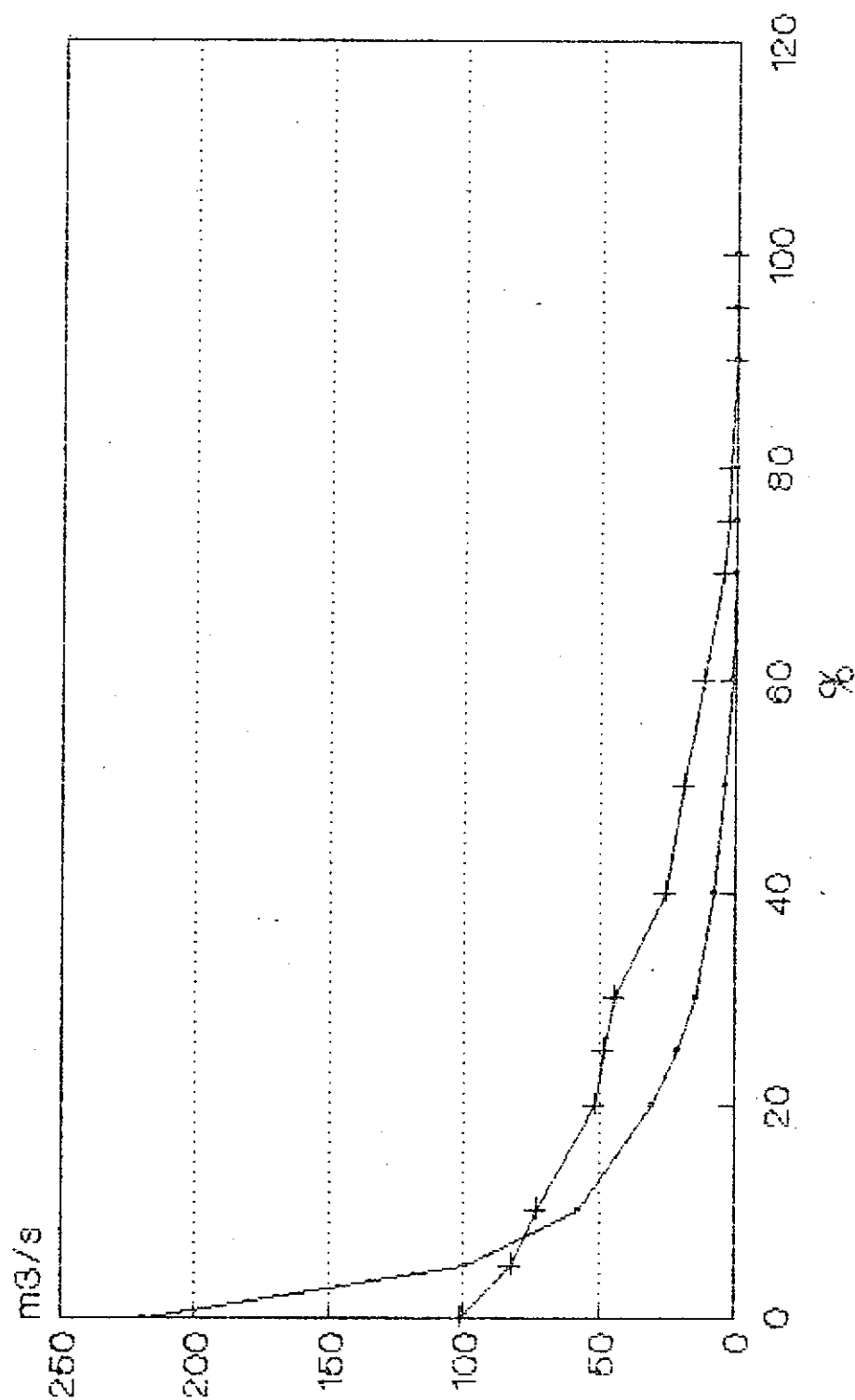
est. EL ARENAL

Periodo 1973/74 - 1979/80



1973 Se cerro el embalse Cebra Corral

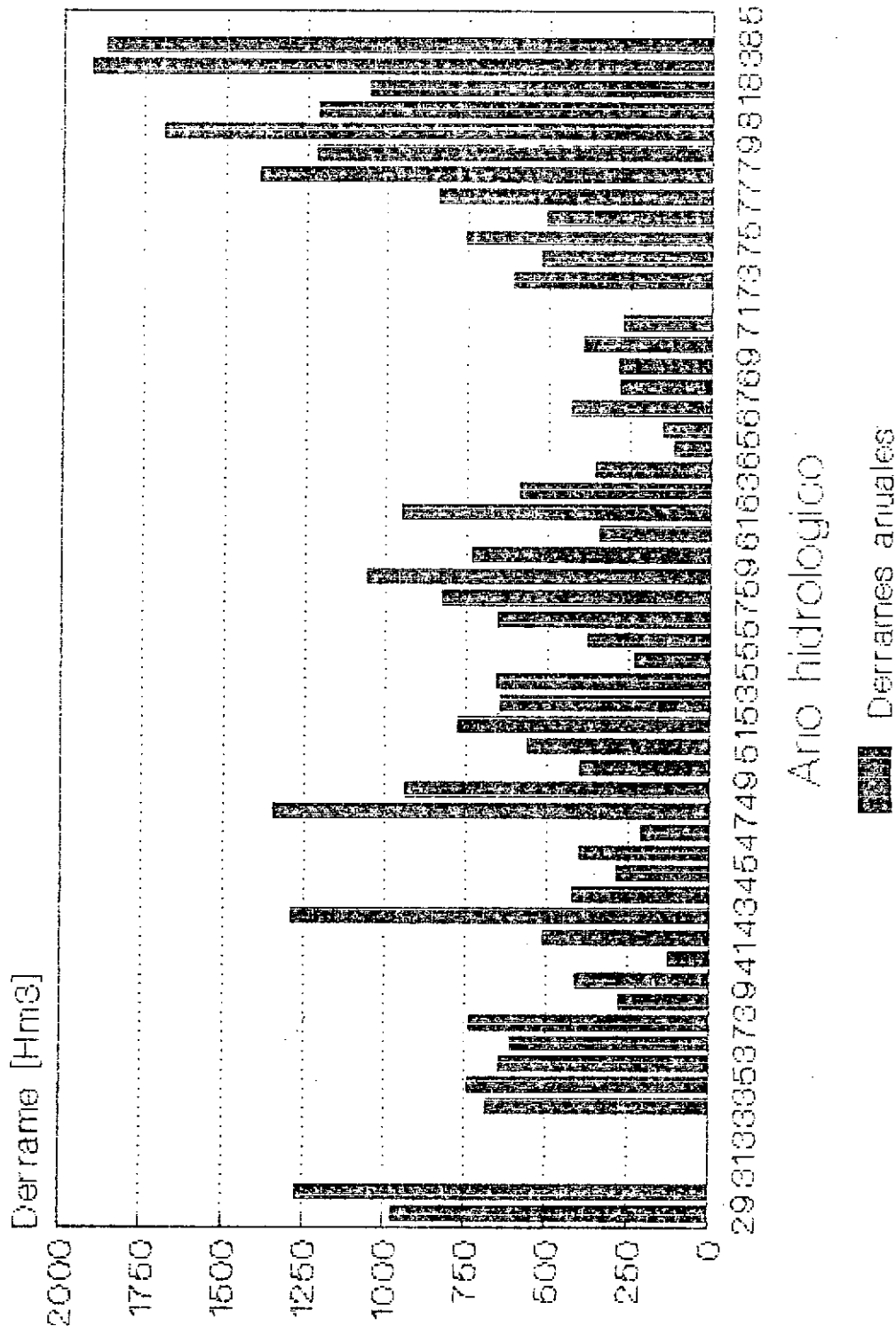
# Permanencia de caudales medios mensuales Est. EL ARENAL



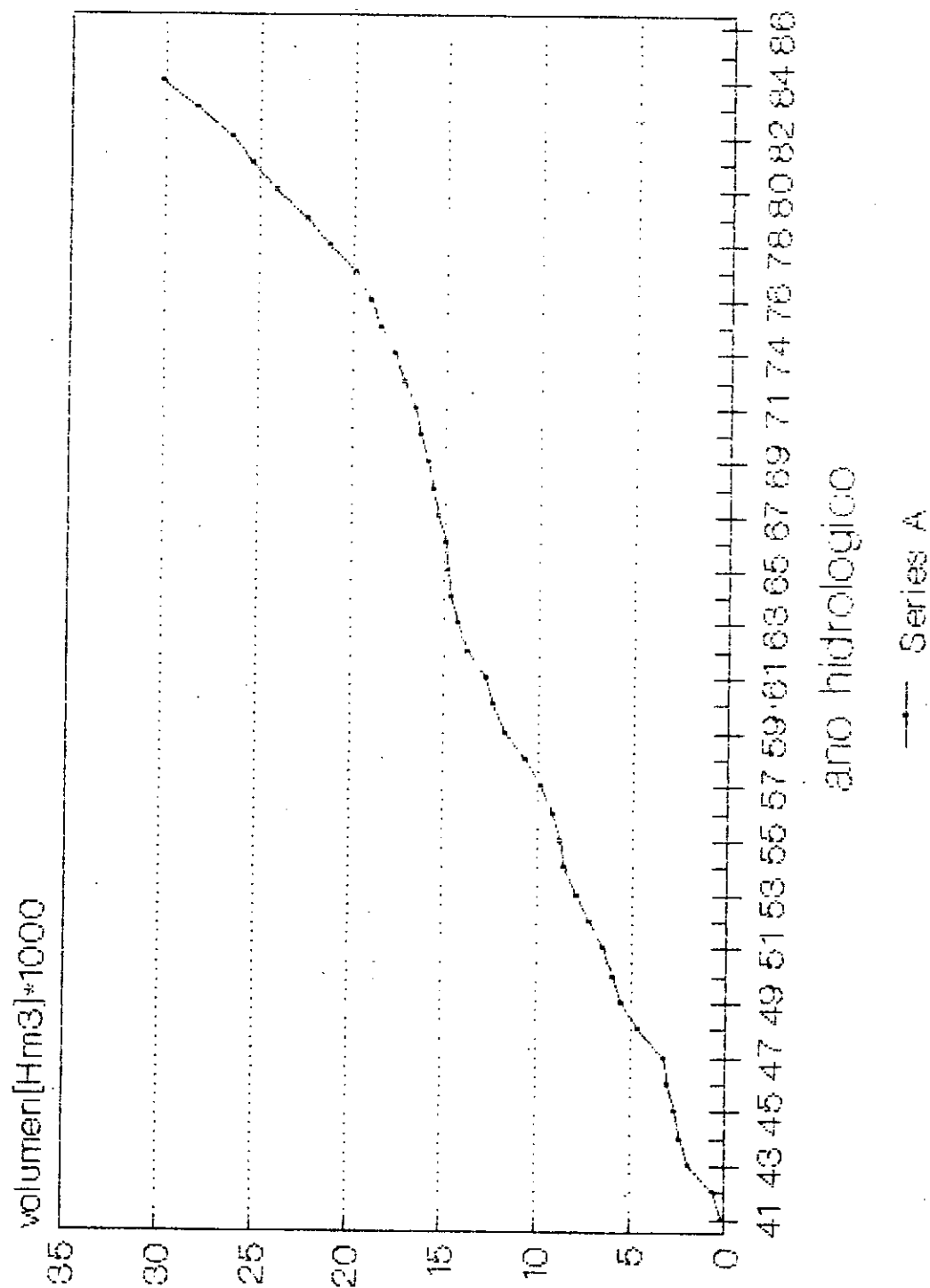
—+— Per. 34/35 - 71/72    —x— Per. 73/74 - 79/80

1973 Se cerro el embalse Cebra Corral

# DERRAMES ANO HIDROLOGICO RIO SALADO EL ARENAL



# Volumenes acumulados 1941/42-1984/85 El Arenal



#### IV - EVALUACION DE LAS OBRAS EXISTENTES Y SU FUNCIONAMIENTO

El Canal de Dios de aproximadamente 250 km tiene su origen en el límite de Salta y Santiago del Estero en las proximidades de la localidad de Cruz Bajada a margen izquierda del río Salado. El agua ingresa al mismo mediante una toma libre, atraviesa el Chaco Santiagueño y termina en Pampa de los Guanacos. A partir de 1982 se prolonga hacia la provincia del Chaco para abastecer a las localidades de Río Muerto y Los Frentones, a unos 30 km de Pampa de los Guanacos.

El Canal ha sido construido con el objeto de abastecer de agua a las poblaciones aledañas, ganadería y para generar pequeñas áreas de riego.

La obra se proyectó para conducir un caudal de aproximadamente 3,5 m<sup>3</sup>/s con un ancho de solera de 2.5 m y con una profundidad variable de 1,6 a 1 m.

El canal está construido con taludes 1:1 sin revestimiento

##### IV.1 - OBRA DE TOMA

La obra de toma actual es del tipo libre.

Consta de un canal de aducción sobre margen izquierda cuya entrada está protegida mediante espigones de troncos y ramas.

La sección del canal de acceso es trapezoidal y se observa en la foto Nro. IV.1. El mismo desemboca en una estructura de toma provista de una compuerta de segmento basculante de funcionamiento automático (ver foto Nro. IV.2), seguida de un tramo de canal revestido con compuertas deslizantes previstas para controlar el caudal a derivar y regularlo mediante módulos de acuerdo a las necesidades (ver foto Nro. IV.3).

Águas abajo de la toma se observa que el primer tramo de canal es de dimensiones generosas excediendo la capacidad de conducción del resto del canal por lo que la presencia de la vegetación e inclusive árboles caídos que se observa en algunos tramos (ver foto Nro. IV.4) no genera actualmente restricciones sensibles a las condiciones de escurrimiento, las que en cambio aparecen dictadas por la pérdida de capacidad de conducción en los tramos de canal ubicados más aguas abajo debido a problemas de deposición de sedimentos.

Posteriormente a la construcción de la toma, el cauce del río Salado fue descendiendo, proceso que en la actualidad continúa, lo que llevó a que la cota de emplazamiento de la toma quedara alta en relación a los niveles de agua del escurrimiento actual del río. En un intento de posibilitar la continuación del funcionamiento de la toma, se realizó una profundización parcial de la solera del canal de acceso, mediante la ejecución de una zanja revestida ejecutada en una parte de la solera del canal (la ubicada más próxima al río). Sin embargo, la ejecución de esta obra, influida posiblemente por la urgencia de encontrar un paliativo siquiera temporal al suministro de agua al Canal de Dios, provocó el desbalance de las condiciones de aducción a la estructura de toma con la aparición de marcadas asimetrías de funcionamiento que provocaron problemas de embancamiento y mal funcionamiento de las compuertas y de todo el sistema de control y regulación de caudales en la estructura de entrada.

Además en la actualidad ya la continuación del proceso de erosión y descenso del cauce ha dejado también fuera de servicio al canal de acceso aún contando con la profundización parcial ya descripta.

Por lo tanto, el funcionamiento de la toma exige la ejecución periódica de largos "canales" de acceso excavados lateralmente al cauce del río (ver foto IV.5) con las consiguientes interrupciones en el suministro de agua.

Estos canales excavados en el cauce mayor del río quedan destruidos durante las crecientes debiendo reexcavarse. Estas operaciones son onerosas y ocasionaron faltas de continuidad en el servicio de agua, además de tender paulatinamente a incrementarse en el futuro al avanzar el proceso de degradación del cauce del río Salado.

Se sugiere que aun obras de duración transitoria o de emergencia como la profundización parcial de la solera del canal de acceso citada más arriba, sean ejecutadas previa una planificación y análisis expeditivo de alternativas posibles de solución, para tender a optimizar recursos y obtener una durabilidad compatible con los costos involucrados y asegurar un funcionamiento aceptable del conjunto de obras.

Se señala que después de la construcción de la presa Cabra Corral los caudales disponibles para la captación en la obra de toma son suficientes durante todo el año como se muestra en el punto III Oferta de agua del Río Salado (ver gráfico III. 9 "Permanencia de caudales medios mensuales") quedando un caudal remanente para el escurrimiento de aguas abajo.

La localización actual de la toma fue diseñada en su momento en una curva del río aparentemente adecuada en cuanto a las condiciones de erosión-deposición del cauce natural pero resultan altamente preocupantes tanto el continuo proceso de profundización del cauce del río como la ausencia de barrancas, suficientemente estables, la tendencia del río a mutar su curso en dirección este-oeste y la facilidad con que se puede producir nuevos cambios del curso en el futuro ante cualquier alteración en la dinámica del escurrimiento.

Debido a estas razones se realizó un sobrevuelo tanto aguas arriba (aprox. 12 km) del emplazamiento actual de la toma como aguas abajo (hasta más aguas abajo de una toma antigua la que quedó alejada del río por un desplazamiento del curso

este-oeste). Visando obtener alguna idea preliminar de la posibilidad de encontrar alguna solución alternativa en el futuro.

En las fotos Nro. IV. 6 y 7 se observa una vista aérea del canal de acceso y la estructura de la toma actual.

Lo cierto es que los análisis hasta ahora realizados permiten concluir que el obtener un buen funcionamiento de la obra de toma es vital para la operación aceptable del canal y que por lo tanto la solución a este problema es absolutamente prioritario en relación a otros trabajos y obras a ser emprendidas en el futuro en el canal de Dios.

#### IV.2 - CONDUCCION EN CANAL

Dentro de los alcances del presente estudio debe determinarse en base a la información disponible, los parametros de diseño del canal y verificar su funcionamiento actual.

De los antecedentes localizados en las diversas reparticiones: Administración Provincial de Recursos Hídricos, Dirección Provincial de Obras Sanitarias, en la unidad Convenio Bajos Submeridionales y en el C.F.I. se identificaron y se extractaron los parámetros de diseño de las diversas secciones, los que se indican en el cuadro Nro. IV.1 junto con las velocidades medias y los caudales. En el cuadro Nro. IV. 2 se indican las principales derivaciones, la longitud y el caudal de diseño de las mismas.

Para la evaluación del comportamiento del canal además de los análisis visuales en los dos viajes realizados se efectuaron verificaciones en base a la información disponible. Esta información consistió en pendientes y secciones de proyecto, perfiles longitudinales y transversales realizados por la Administración Provincial de Recursos Hídricos (se adjuntarán en



el informe final), estudios realizados por el Proyecto NDA Hidrico y estudios de suelos en el Canal Virgen de Huachana.

En los viajes de inspección realizados se observó el estado del canal y como uno de ellos coincidió con un momento de corte del escurrimiento del canal se pudo identificar las secciones actuales, la magnitud y características de los embanques, fotos Nro. IV.8 a IV.10. Se observó en las obras de arte las marcas dejadas por las crecidas en las estructuras.

#### IV.2.1 - Parametros de diseño

Para la evaluación del funcionamiento con los aforos realizados por el Proyecto NDA Hidrico en el estudio "Disponibilidad y calidad de agua. Area Canal de Dios" se verificó el coeficiente de rugosidad de Manning de proyecto 0,029. Para esta verificación se fijó este valor de rugosidad y para las secciones relevadas y los caudales obtenidos se calculó la pendiente de la línea de energía. Cuadro IV.3 a IV.7. Este valor de pendiente es próximo a los valores de proyecto por lo que es aceptable el valor adoptado de 0,029 como coeficiente de rugosidad de proyecto del canal. Este valor por otra parte concuerda con los ordenes esperados en función de la observación visual y de su comparación con rangos de valores observados en obras similares.

Los aforos en la sección Los Pirpintos conducen a valores de pendientes más bajas que los de proyecto, esto pudo deberse a que la sección está afectada por perturbaciones aguas abajo o que el tramo por causa de la sedimentación haya tomado una pendiente menor a la de proyecto.

No resultó posible localizar estudios de suelos sobre la traza del canal, pero en cambio se encontro el antecedente titulado: "Estudios geotécnicos de los suelos en la traza del canal Virgen de Huachana" del cual se extractaron los siguientes

parrafos de interes:

"Las características granulométricas y de plasticidad de los materiales permite considerarlos como aptos para la elaboración de revestimientos de suelo cemento el que puede ser del tipo compactado o plástico.

Para la clasificación de ambos tipos de estabilizantes sera necesaria la realización de experiencias de laboratorio y en obra, de las cualidades de cada porcentaje utilizado. El uso de suelos modificados se hace recomendable en especial en los tramos de suelos arenosos de alta permeabilidad.

El valor económico relativo del agua será generalmente la base que determinará la necesidad del tratamiento a seguir.

Las pendientes laterales aconsejadas son de 1.5:1 en caso de usar revestimiento. Los taludes en zonas de suelos plásticos serán de 2:1 o mas suaves debido a la pérdida de estabilidad al saturarse.

Las velocidades maximas no erosivas (m/seg), de acuerdo a las características de los suelos según Sharon, I.A. (Summaries and extracts from selected chapters of operations of hydraulic reclamation systems - FAD) en función de los caudales son:

Caudal	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
(m <sup>3</sup> /s)					
Velocidad					
no erosiva	0,53	0,56	0,59	0,61	0,64 "
(m/seg)					

Como estos estudios son próximos al primer tramo del Canal de Dios y no existen motivos aparentes que determinen un cambio significativo de las características de los suelos en ambas

zonas, se utilizan estos datos para las determinaciones preliminares del estudio. Estos datos son:

ángulo de fricción interna: 25º

diámetro medio de las partículas: 0,1 mm

Sin embargo se recomienda la toma de muestras de suelo a lo largo de la traza del canal principal y sus derivaciones y la realización de los ensayos de caracterización correspondientes.

#### IV.2.2 - Procesos de erosión y deposición

##### - Estabilidad de los taludes

Con un material de ángulo de fricción interna del orden de 25º y sin una cohesión significativa, no se puede lograr un talud estable con un ángulo superior a éste, por lo tanto para el canal sin revestir se debe tener una relación profundidad: ancho de 2:1.

El talud de referencia es cercano al que se conforma naturalmente en el canal por el derrumbe de las paredes laterales.

##### - Estabilidad del lecho

Para el cálculo de la estabilidad del lecho se determinó la fuerza tractiva que produce el escurrimiento en la partícula, y se comparó este valor con los valores recomendados.

El siguiente cuadro está calculado según Ven T. Chow - Hidráulica de los canales abiertos. Capítulo VII para partículas de diámetro medio 0,1 mm.

Fuerzas tractivas permitidas recomendadas por el U.S Bureau of Reclamation.

agua clara

0.136 kg/m<sup>2</sup>

baja cant.sed.fino                      0,244 kg/m<sup>2</sup>

alta cant.sed.fino                      0,391 kg/m<sup>2</sup>

Tramo Obra de Toma - Prg 32.000

$$ro = *R*S = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0.8 \text{ m} * 0.0006 = 0.48 \text{ kg/m}^2$$

Tramo Prog 32.000 - Monte Quemado

$$h = 0.8$$

$$= *R*S = 1000 \text{ kg/m}^3 * 0.55 \text{ m} * 0.0006 = 0.33 \text{ kg/m}^2$$

Se destaca que estos valores son muy altos y que en el primer tramo está por sobre los valores recomendados para agua con alto contenido de sedimento fino. Se entiende de las observaciones y análisis realizados (ver punto siguiente Sedimentos) que se está ante un escurrimiento con muy alto contenido de sedimentos por lo que la deposición es mayor que la erosión. Las verificaciones arriba realizadas demuestran que si el agua que escurre por el canal disminuirá la carga de sedimentos, se generarían problemas de erosión en el lecho.

#### - Sedimentos

Existe información disponible sobre los sedimentos en suspensión del Río Salado la que fue consultada en el informe: "Sólidos en suspensión y Análisis de sedimentos. 1980, NOA Hidrico y determinaciones de sólidos en suspensión en Suncho Corral, 1985. A.P.R.H."

De acuerdo a esta información la carga de sedimentos del río Salado es variable entre valores de 0,5 a 2,5 kg/m<sup>3</sup> y a la altura de la Toma del Canal de Dios tiene un tamaño medio

inferior a los 0,074 mm (tamiz 200).

Los tiempos requeridos por una partícula para sedimentar dada la profundidad  $h=1,3$  m y la velocidad de caída  $w=0,018$  m/s extraída de "Flow in Alluvial Sand Channels" de D.B. Simons y E.V. Richardson - Abaco 9,12 de la pag. 9.33 para temperaturas de agua de 16°C y teniendo en cuenta que es arena fina

$$t = h / w = 1,3 \text{ m} / 0,018 \text{ m/s} = 72 \text{ s}$$

t tiempo de deposición.

h tirante de agua.

w velocidad de caída.

La longitud necesaria para que caiga esa partícula es de

$$l = v * t$$

$$l = 0,664 \text{ m/s} * 72 \text{ s} = 48 \text{ m}$$

v: velocidad media de la sección de diseño.

(ver parámetros de diseño)

Estos análisis son coherentes con lo observado in situ, ya que el cauce del canal presenta gran cantidad de material fino sedimentado (ver fotos Nro. IV.8 IV.10). No solamente sedimenta el material, sino que es levantado nuevamente por las velocidades superiores a la velocidad crítica.

La velocidad máxima admisible para evitar la remoción de partículas del fondo y su desplazamiento sigue la siguiente ley:

$$v_{lim} = a * d^{1/3} \text{ cm/s}$$

$a = 36$	$d > 1 \text{ mm}$
$a = 44$	$1 \text{ mm} < d < 0,1 \text{ mm}$
$a = 51$	$d < 0,1 \text{ mm}$

$v_{lim}$  velocidad crítica.

d diámetro de la partícula en mm.

Fuente: "Water Power Development" tomoII. Mosonyi -

Para el valor medio de partículas que se han medido en el Canal de Dios, según la publicación "Sólidos en suspensión y análisis de sedimentos". Area: Río Salado - Pcia. Stgo. del Estero - Proyecto NDA Hídrico - Segunda Fase - Año 1980-, se obtienen el siguiente valor para esta velocidad crítica.

$$d = 0.074 \text{ mm} \Rightarrow v_{lim} = 51 \cdot V \cdot 0.074 = 13.9 \text{ cm/s}$$

La velocidad mínima permitida o la velocidad no depositante, es la más baja velocidad que no iniciará sedimentación y no inducirá el crecimiento de plantas acuáticas y musgo. Esta velocidad es muy incierta y su valor exacto no puede ser fácilmente determinado. Según "Hidráulica de los Canales Abiertos" de Ven Te Chow, se pueden usar velocidades medias de 0.61 a 0.91 m/s cuando el porcentaje de limo presente en el canal es pequeño.

Es de destacar que el mayor problema de funcionamiento que se observa actualmente es la gran sedimentación que origina una sensible disminución de la sección de escurrimiento y obliga, a trabajos de mantenimiento periódicos con los que empero no se logra restituir la capacidad de diseño del canal debido a los continuos y grandes aportes de material sedimentado.

La capacidad de proyecto del canal cubre teóricamente todas la demandas de agua potable, riego y uso pecuario actuales y proyectadas.

Se hace notar en pero que los taludes de proyecto del canal (que está diseñado sin revestir en su totalidad), son excesivamente fuertes y no estables. Además si bien la rugosidad asumida para el proyecto y concordante con las mediciones efectuadas (ver cuadros Nros. IV.3 a IV.7) la estabilidad del lecho del canal frente la erosión se encuentra en el límite de lo admisible aun contando con el hecho, válido actualmente, que

el agua circulante contenga muy elevada proporción de partículas finas y de limo. ( $\tau_0 = 0.48 \text{ kg/m}^2 > 0.39 \text{ kg/m}^2 = \tau \text{ admisible}$ )

Como por otro lado un escurrimiento con tan alta proporción de materiales sólidos como el actual produce deposiciones incompatibles con un funcionamiento y operación adecuados del mismo, debería pensarse en diseñar en el futuro en la toma estructuras que eliminen una proporción grande de los finos que actualmente ingresan a la misma. Esto originará el ingreso de aguas más limpias y por lo tanto más erosivas al canal obligando a tratamientos especiales en el mismo.

Por todas estas razones no es de extrañar lo constatado en cuanto al funcionamiento actual del canal, el que se ve sensiblemente alterado y disminuido en su capacidad de evacuación por la presencia de depósitos de sedimentos deslizamiento de taludes, formación de terreno vegetal, erosiones de la corriente sobre los taludes previamente alterados y trabajos de mantenimiento realizados mediante equipos mecánicos operados desde las márgenes que alteran la conformación de las secciones.

Esto es válido tanto para el canal matriz como para las derivaciones y puede visualizarse en las fotografías Nros. IV. 8 a 10. ya mencionadas. Esto se ha constatado también en las secciones de aforo del proyecto NDA Hidrico y en los relevamientos topográficos realizados por los técnicos a cargo del mantenimiento del canal.

Además las pérdidas en algunos tramos, por el efecto combinado de evaporación e infiltración son incompatibles con un funcionamiento del canal que permita cumplir con los objetivos para los que fue construido.

Por este motivo, además de los ya señalados del futuro ingreso a la toma de aguas más limpias y por lo tanto más erosivas, se debe pensar que en el futuro será de interés

análisis alternativas de impermeabilización o revestimiento de al menos los tramos más críticos del canal. Sin embargo esta solución debería postergarse hasta después de encontrada y ejecutada una solución para la toma y el excesivo ingreso de sedimentos en la misma.

#### - Obras de Arte

Existen 35 saltos a lo largo de la traza del canal. la función de los mismos es contribuir a salvar el desnivel topográfico existente de forma de adaptarse a la diferencia de cotas del terreno a lo largo de la traza, sin superar la pendiente de diseño de escurrimiento uniforme prevista para evitar la erosión del material del lecho.

Se observa ver fotos IV. 11 y 12 que en la mayoría de los casos no se ha previsto adecuadamente la disipación de energía dentro de los cuencos amortiguadores lo que a ocasionado erosiones indeseables en la retestitución las que son utilizadas por el ganado como vevederos.

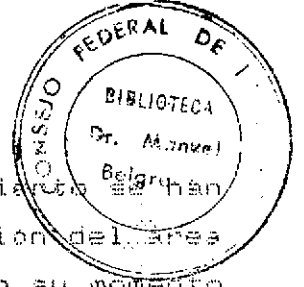
Se ha intentado efectuar en algunos casos para paliar este efecto protecciones con ramas y piedras con resultados relativos.

#### IV.2.3 Pérdidas por infiltración y evaporación

##### Pérdidas por infiltración

El río Salado ha sufrido mutaciones de cauce ocasionadas por fenómenos tectónicos y cambios climáticos así como alteraciones recientes en sus condiciones de escurrimiento ocasionadas por la construcción de las presas de Cabra Corral. y El Tunal y el desague del río Horcones al Salado con sus procesos de degradación de cauce y formación de erosiones localizadas asociados.





La alteración de las condiciones de escurrimiento se han evidenciado por ejemplo, en la sensible alteración del área crítica de acumulación de aluviones que dio origen en su momento al Bañado del Copo, cuyos rasgos predominantes fueron descriptos en los antecedentes disponibles (entre ellos en el estudio del Licenciado Vicente Ferreyro, INCYTH, titulado Mapa Geomorfológico del Área crítica del Río Salado). Esta problemática ha sido tratada en el Capítulo III del presente informe.

En el estudio del Licenciado Vicente Ferreyro, realizado para el NDA Hídrico se presenta un mapa geomorfológico en escala 1:75.000 basado en fotointerpretación con control de campo. En él se ha mostrado, para las condiciones imperantes en la época del estudio (año 1979), las condiciones del drenaje superficial del área así como sus aspectos dinámicos actuales, origen y tendencias.

Se cita en este trabajo la tendencia del curso de agua a desplazarse de este a oeste, manifestada a través de trenes de meandros con poco funcionamiento o abandonados.

Como conclusiones de este estudio se mencionan las siguientes:

- El río Salado, en el área estudiada (zona del Bañado del Copo y tramo aguas abajo), se comporta como un río de llanura baja, meandriforme, con bloqueo del drenaje por sedimentación excesiva y tendencia -al menos local- a desplazar su cauce de este a oeste.

- En el área con sedimentación excesiva, representada por el explayado del Río Salado, se plantean especialmente los problemas de encharcamiento causados por el bloqueo del drenaje.

- Las obstrucciones naturales del drenaje actual han sido activadas seguramente por acción antrópica (explotación forestal

desmedida y sobrepastoreo), pero resultarán aminoradas por las obras hidráulicas que regulen el canal aguas arriba. "

Como se ve, en este informe ya se mencionaba el efecto que producirían posteriormente las obras de regulación de aguas arriba.

Otro estudio de interés y muy reciente (años 1988/89) para el análisis de las infiltraciones en el Canal de Dios es la "Tesis de Doctorado de Ciencias Geológicas: "Hidrogeología de la Región Chaqueña Semiárida de Santiago del Estero" del Dr. Alfredo F. Martín.

En este estudio, mediante la aerofotografía se han detectado numerosos paleocauces dentro de una amplia zona, llanura de inundación, producto de las rotaciones que sufrió el Río Salado desde su curso original Oeste-Este desagüando en el Paraná hasta su curso actual Noroeste-Sudeste desagüando en el Río Paraná a la altura de la Fcia. de Santa Fe.

Los paleocauces producidos por la mutación del cauce debido a movimientos tectónicos y factores climáticos se caracterizan por una capa de arena fina en superficie de ancho variable que no supera los 250 m y con rumbo sinuoso o rectilíneo, mientras que la paleollanura de inundación circundante está compuesta por limos y arcillas.

Debido a la textura arenosa de los paleocauces el agua superficial se infiltra rápidamente constituyendo buenos reservorios de agua subterránea. La permeabilidad es mayor en su interior que en las zonas aledañas.

Los paleocauces se diferencian entre sí en dos grupos (ver esquema Nro. 1): Los antiguos ubicados en los primeros 529 de giro respecto a la dirección Oeste-Este. Más anchos y sinuosos, limitados por albardones laterales producto de las deposiciones posteriores a las crecientes desbordantes, donde la escorrentía

superficial los activa formando cárcavas de origen pluvial y confinando las aguas subterráneas en pequeños volúmenes debido a la alternancia de limos y arenas finas a muy finas lo que provoca aguas más salinas. La génesis de estos paleocauces produjo un aumento de la tasa de acumulación, especialmente en las áreas de bañados aun hoy activos como el Bañado del Copo caracterizado por la predominancia de capas de poco espesor limo-arcillosas que posteriormente fueron recimentados parcialmente como polvo eólico (loess). Debido a su sinuosidad generan con más facilidad barras de punta con espesores granodecrecientes (ver esquema Nro. 2).

Los modernos no tan sinuosos forman cauces abarrancados con escaso espesor debido a su origen erosivo por efecto de la velocidad del cauce principal. Estos ocupan una faja comprendida entre los 529 y los 659 respecto de la dirección Oeste-Este y están también sujetos a los efectos de la escorrenia superficial.

El efecto de estos paleocauces en las pérdidas por infiltración es grande, como ha sido comprobado en mediciones efectuadas en el canal Virgen de Huachana, lo que era esperable debido a la marcada diferencia en la permeabilidad en los mismos la que ha sido constatada mediante la realización de ensayos de bombeo.

Se señala por otro lado, que en la actualidad estas pérdidas se ven aminoradas en gran parte por el efecto de la colmatación, debida a los sedimentos más finos que aporta el agua conducida por el canal. Sin embargo, esta situación deberá cambiar en el futuro cuando se tomen las medidas que resulten adecuadas en la toma para controlar la entrada de sedimentos a un límite aceptable para su funcionamiento. Por consiguiente la infiltración ocasionada por los paleocauces deberá ser objeto en el futuro de especial atención y solucionada mediante tratamientos de impermeabilización o revestimiento según los estudios futuros lo aconsejen.

## Pérdidas por Evaporación

En cuanto a las pérdidas por evaporación se realizó una estimación en base a los datos suministrados por la estación de observación Pampa de los Guanacos para un récord de 10 años de registros de evaporación (1941-1950). Se tomó el promedio mensual correspondiente al mes de diciembre, que es de 177,4 mm. para compensar la menor precipitación que se registra en Urutau punto cabecera del aprovechamiento.

Debe señalarse, a fin de poder evaluar las pérdidas, que en la superficie expuesta a la evaporación se deben considerar las superficies de los embalses de las represas descubiertas que existen en su recorrido, hecho este particularmente notable en el tramo El Caburé-Pampa de los Guanacos (ver cuadro Nro. 1 a modo de ejemplo).

Se destaca que la provincia ha informado de la existencia de numerosas represas, aproximadamente unas 130, por lo que se hace difícil estimar la superficie total expuesta. La superficie total de evaporación del canal es de 80,15 ha.

En el cuadro Nro. IV.9 adjunto se hace una estimación para las 12 represas mencionadas en el cuadro Nro. IV.8.



FOTO IV - 1

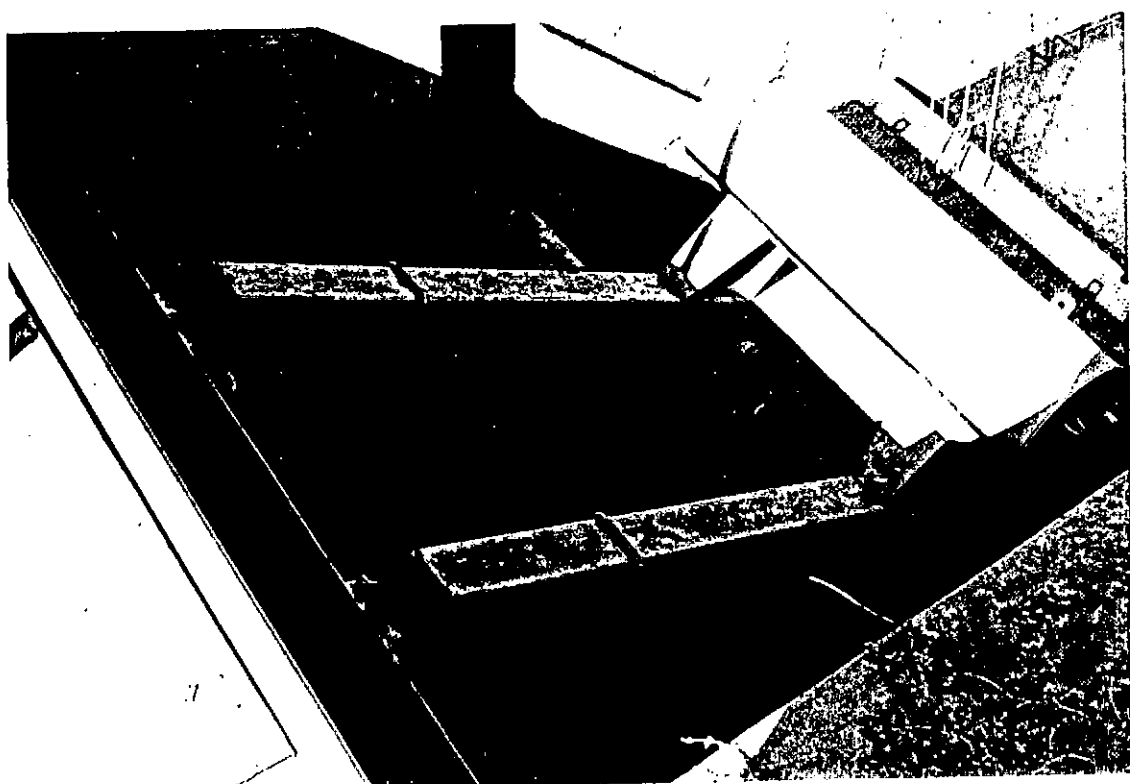


FOTO IV - 2

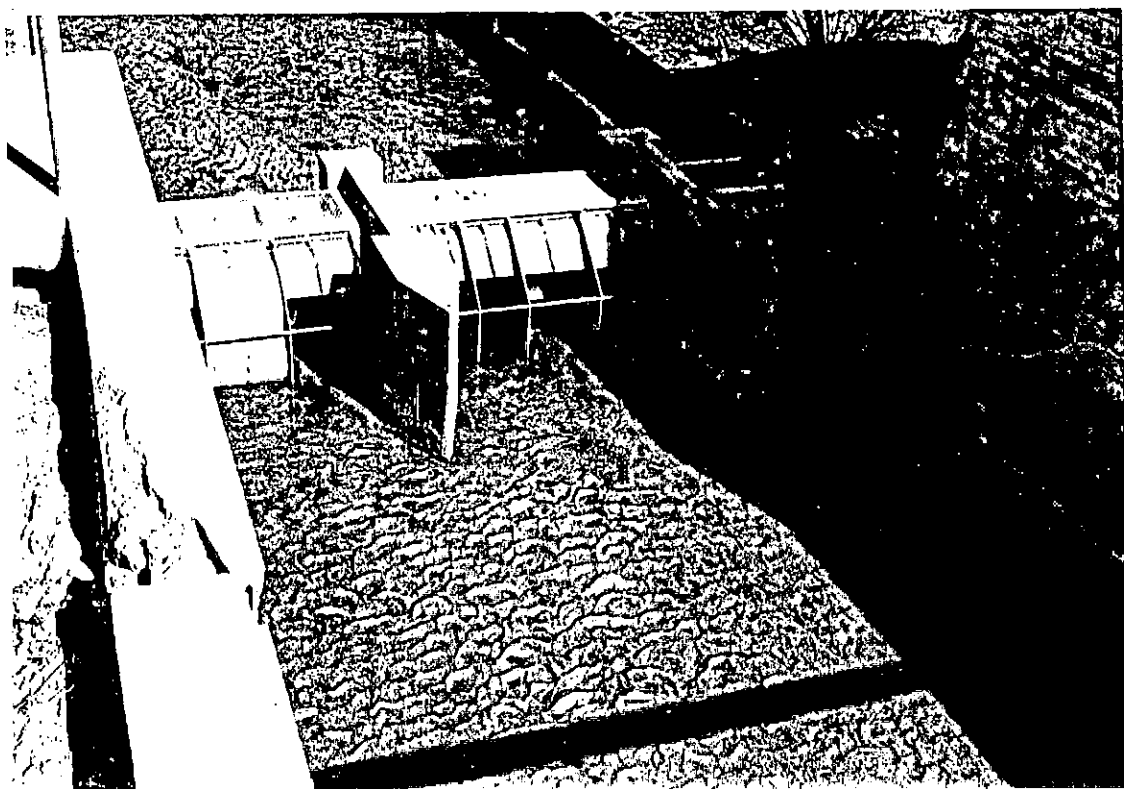


FOTO IV-3



FOTO IV-4



FOTO IV - 5



FOTO IV - 6

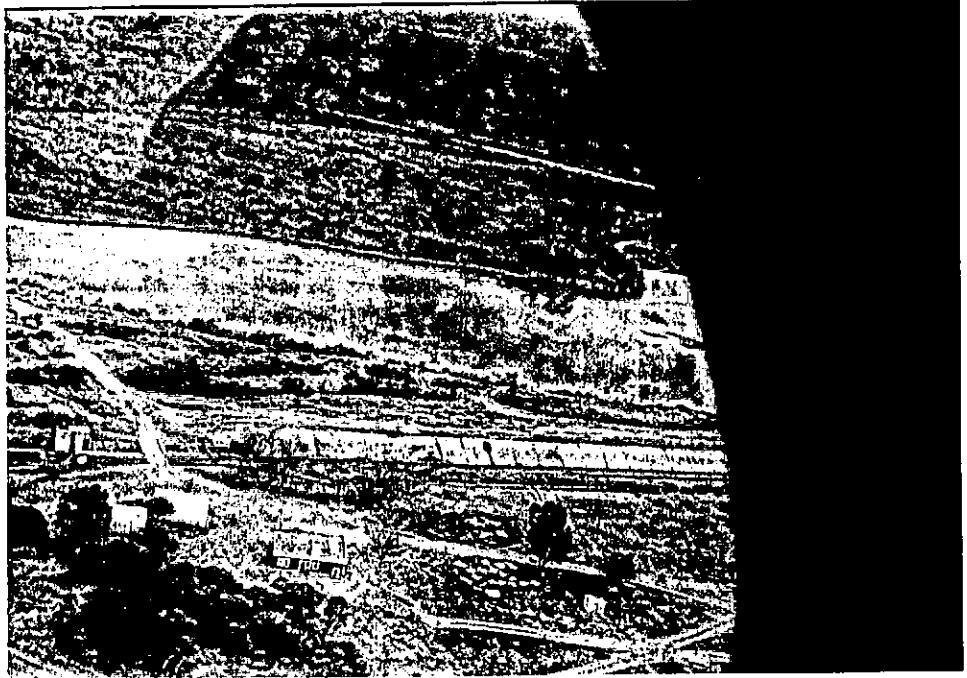


FOTO IV-7



FOTO IV-8





FOTO IV - 9



FOTO IV - 10

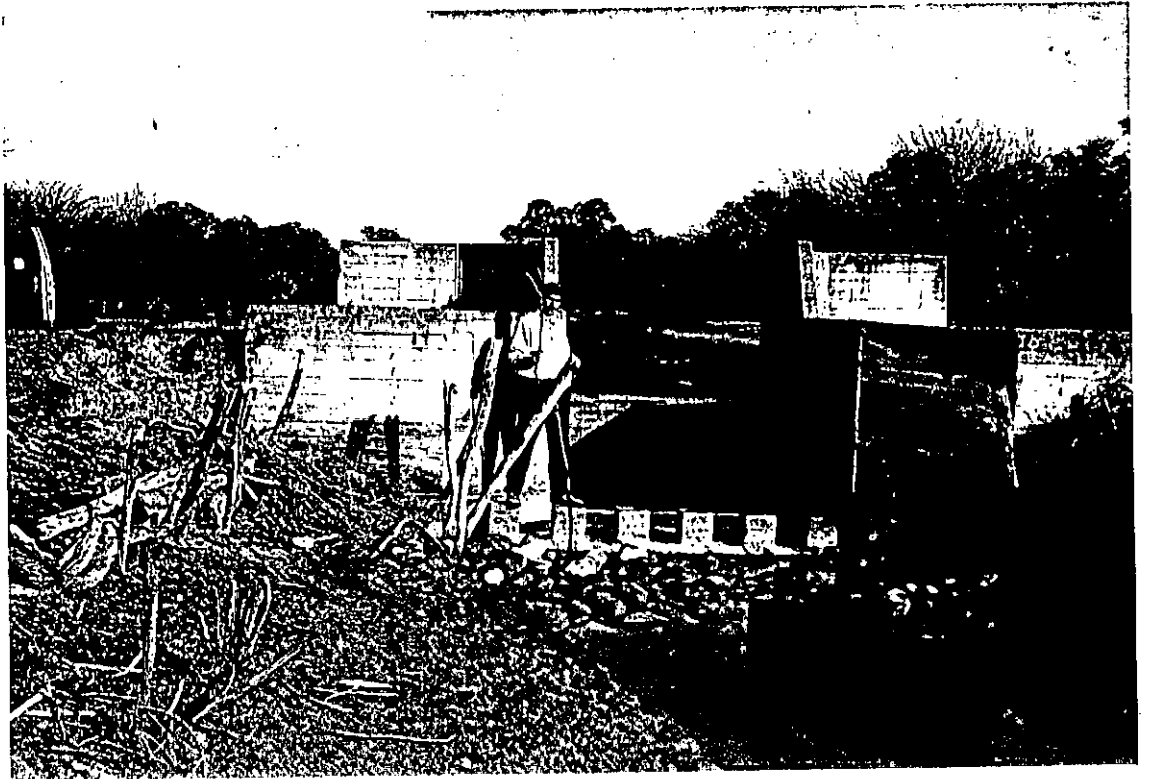


FOTO IV-11

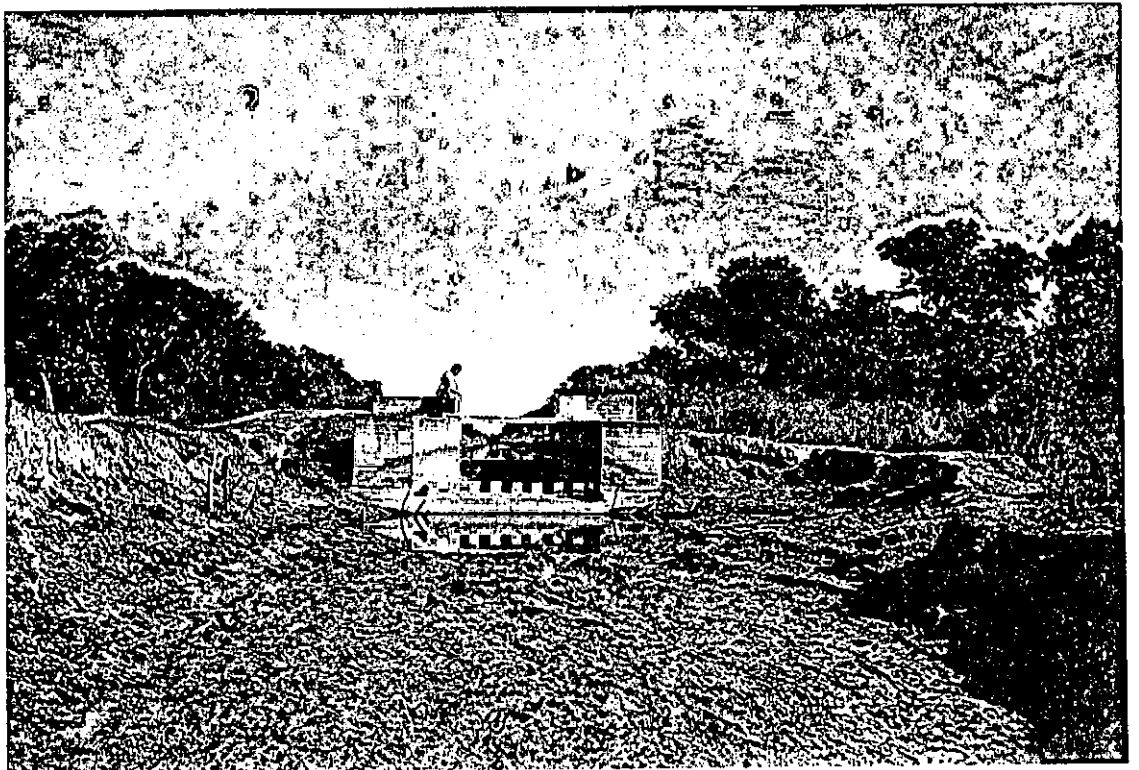
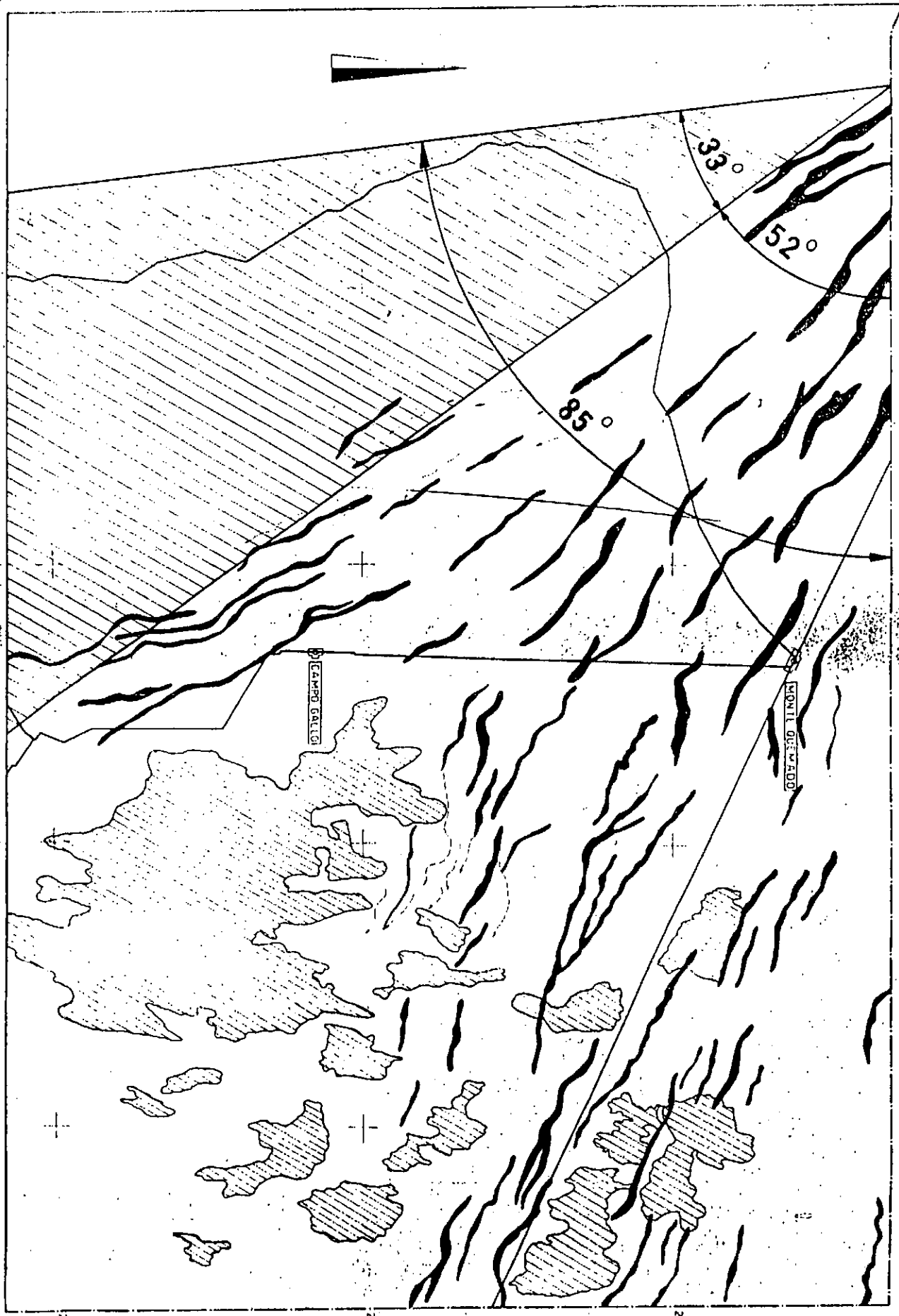


FOTO IV-12



27° 00'

63° 00'

62° 30'

62° 00'

CHACABUCO

MAP

MAPA RE  
DE IMAGE

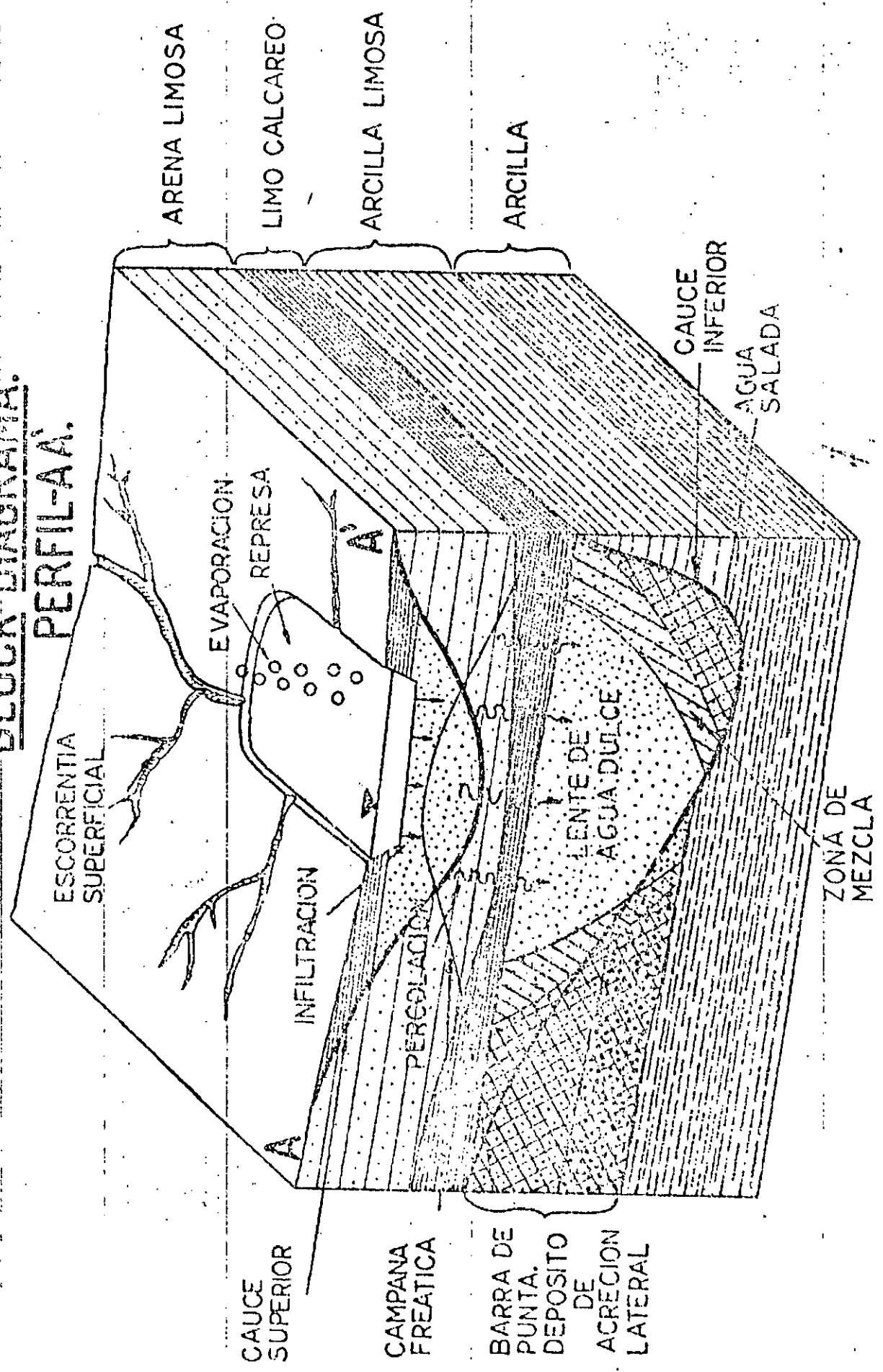
PALEO

27° 00'

26° 30'

26° 00'

# BLOCK DIAGRAM. PERFIL-AA'.



# CANAL DE DIOS      PARAMETROS DE PROYECTO

Sección	Prog	Ancho de fondo	altura	seuancia	línd	Pendientes	Rugosidad	Velocidad medía	caudal
	(m)	(m)	(m)	(m)	/l	(m/km)		(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
Obra de Toma	0	2.50	1.60	0.30	1	0.57	0.029	0.709	3.504
Prog 32.000	32.000	2.50	1.60	0.30	1	0.60	0.029	0.728	3.596
Vincillo	39.000	2.50	1.60	0.30	1	0.60	0.029	0.728	3.596
Urutau	95.000	2.50	1.00	0.20	1	0.60	0.029	0.570	1.506
Monte Quemado	115.300	2.50	1.00	0.20	1	0.60	0.029	0.570	1.506
Las Tigras	145.000	2.50	1.00	0.20	1	0.58	0.029	0.560	1.479
El Calaire	176.300	2.50	1.00	0.20	1	0.58	0.029	0.560	1.479
Las Pirpiritas	206.800	2.50	1.00	0.20	1	0.40	0.029	0.465	1.229
Pampa de los Guanakos	229.000	2.50	1.00	0.20	1	0.40	0.029	0.465	1.229

Cuadro no M1

## DERIVACIONES CANAL DE DIOS

CANAL	LONG	CAUDAL
	(km)	(m <sup>3</sup> /s)
Virgen de Huachana	80	3.00
Virgen del Carmen	95	1.00
del Desierto	60	0.40
der a Ranchillos	40	

Cuadro na IV - 2

# CANAL DE DIOS AFOROS en la Toma

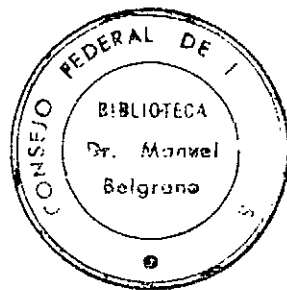
lectura escale	Caudal aforado (m3/s)	Ancho de fondo (m)	altura (m)	talud /1	Rugosid	Pendien (m/km)
0.53	0.453	1.80	0.77	0.5	0.029	0.192
0.62	0.558	1.80	0.86	0.5	0.029	0.205
0.76	0.883	1.80	1.00	0.5	0.029	0.315
0.89	1.062	1.80	1.13	0.5	0.029	0.306
0.91	1.117	1.80	1.15	0.5	0.029	0.319
1.08	1.633	1.80	1.32	0.5	0.029	0.433
0.97	1.335	1.80	1.21	0.5	0.029	0.386
0.52	0.453	1.80	0.76	0.5	0.029	0.200

Cuadro ng IV – 3

# CANAL DE DIOS AFOROS en URUTAU

lectura escala	Caudal aforado (m3/s)	Ancho de fondo (m)	altura (m)	talud /1	Regosid	Pendien (m/km)
0.24	0.8131	2.10	0.58	1.2	0.029	0.644
0.23	0.7142	2.10	0.57	1.2	0.029	0.529
0.4	1.0194	2.10	0.74	1.2	0.029	0.420
0.41	1.003	2.10	0.75	1.2	0.029	0.387
0.35	0.855	2.10	0.69	1.2	0.029	0.381

Cuadro ng IV – 4





# CANAL DE DIOS. AFOROS en LOS I.F.I.A.

lectura escala	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de fondo (m)	altura (m)	itabud	Rugosid	Pendien (m/km)
0.5	0.941	1.20	0.84	1.2	0.029	0.510
0.41	0.93	1.20	0.75	1.2	0.029	0.777
0.35	0.672	1.20	0.69	1.2	0.029	0.560
0.4	0.84	1.20	0.74	1.2	0.029	0.668
0.43	0.906	1.20	0.77	1.2	0.029	0.665

Cuadro no N - 5

# CANAL DE DIOS AFOROS en el CABURE

lectura escala	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de fondo (m)	altura (m)	talud	Rugosid	Pendien (m/km)
				/1		
0.5	0.76667	2.10	0.61	1.5	0.029	0.388
0.55	0.8364	2.10	0.66	1.5	0.029	0.343
0.28	0.51	2.10	0.39	1.5	0.029	0.886

Cuadro no IV - 6

# CANAL DE DIOS      AFOROS en los Pirpintos

lectura escala	Caudal aforado (m <sup>3</sup> /s)	Ancho de fondo (m)	altura (m)	talud	Rugosidad	Pendiente (m/km)
			(m)	/1		(m/km)
0.5	0.256	1.50	0.64	1.5	0.029	0.060
0.43	0.168	1.50	0.57	1.5	0.029	0.040
0.47	0.223	1.50	0.61	1.5	0.029	0.055
0.4	0.159	1.50	0.54	1.5	0.029	0.045
0.4	0.155	1.50	0.54	1.5	0.029	0.042

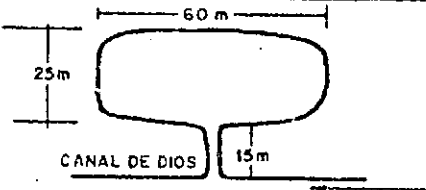
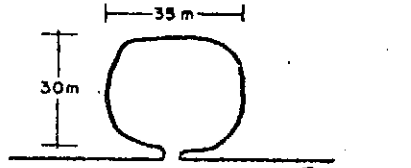
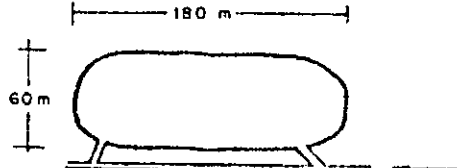
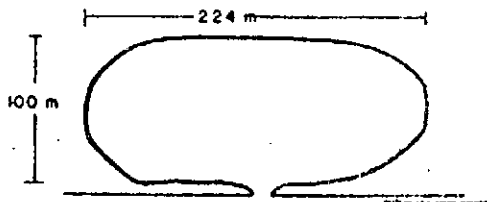
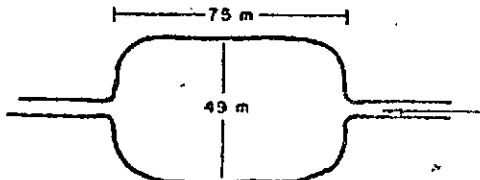
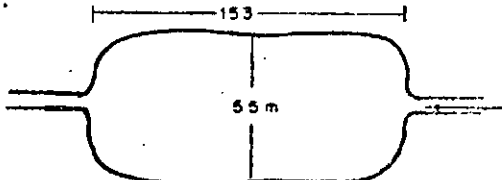
Cuadro no IV - 7

CUADRO NRO. IV.B

Localidad	Progre- siva (km)	Pérdidas evapor. (l/seg)	Pérdidas infiltrac. (l/seg)	Pérdidas totales (l/seg)
Toma (Cruz Bajada)	0	-	-	-
Urutaú	92	25,185	439,97	465,15
Campo Exp.Los Tigres (IFIA)	127	9,576	159,29	168,87
Caburé (Derivación al Desierto)	168	11,128	179,50	190,63
Pirpintos	204	9,855	173,25	183,10
Pampa de los Guanacos	229	6,844	94,17*	106,76
12 Represas (entre Caburé y Pampa de los Guanacos)	Sup.es- timada 8,396 ha	5,746	-	-

(\*) Valor obtenido en base a considerar una pérdida en el Tramo Los Pirpintos-Pampa de los Guanacos igual a la del tramo IFIA-Pirpintos del valor  $q = 3,767$  l/km. La estación de aforo instalada en Pampa de los Guanacos no cumplió su cometido debido a los pequeños caudales registrados, realizándose solo un aforo.

RELEVAMIENTO DE REPRESAS (Entre Cabure y Los Pirpintos)

Nº	POBLACION	DIST. PARCIAL Aprox. Km.	SUPERFICIE Aprox. m²	F O R M A
1	EL CABURE	17,4	1.800	
2		1,6	1.050	
3		3,7	10.800	
4	LOS PIRPINTOS	7,3	22.400	
5		2,7	3.675	
6		1,1	8.415	
7		5,4	10.082	

# Cuadro IV-9 (Continuación)

## RELEVAMIENTO DE REPRESAS (Entre Los Pirpintos y Pampa de los Guanacos)

Nº	POBLACION	DIST. PARCIAL Aprox. Km.	SUPERFICIE Aprox. m <sup>2</sup>	F O R M A
6	LOS PIRPINTOS	1,1	8.415	
7		5,4	10.082	<p>CANAL DE DIOS</p>
8		4,3	11.336	
9		3,6	9.734	
10		0,2	1.768	
11	PAMPA DE LOS	7,5	900	
12	GUANACOS	0,2	2.000	
Superficie total			83.960 m <sup>2</sup>	

## INFORMACION OBTENIDA Y REFERENCIAS

Serafini, Carlos

Programa de simulación del movimiento de Cabra Corral y El Tunal. C.F.I. Bs. As. 1983.

Convenio Bajos Submeridionales C.F.I.

Erosion fluvial en el área de Figueroa Stgo del Estero. 1985.

Convenio Bajos Submeridionales C.F.I.

Sistematización de la cuenca Rio Juramento y/o Salado Prov. Stgo. del Estero. 1983.

T. Fabbian, V. Ferreiro y R. De Filippi

Estudio geomorfológico en la zona del bañado del Copo, área rio Salado, Provincia de Santiago del Estero. Salta 1979.

Proyecto NOA hidrico

Planimetría y altimetría del rio Salado, Prov. de Stgo. del Estero. Salta 1980.

De Filippi Romagnoli

Sólidos en suspensión y análisis de sedimentos, área rio Salado, Prov. de Stgo. del Estero. Salta 1980.

R.C. de Filippi

Evaluación de estudios de base, área rio Salado, prov. de Stgo. del Estero. Salta 1981.

Proyecto NOA HIDRICO

Desarrollo de los Recursos Hídricos del Noroeste - Segunda Fase  
- Relevamiento Topográfico, 1980.

- Determinación del área a desarrollar y de la unidad de explotación, 1979.

- Evaluación económica de obras propuestas, 1980.
- Estudio geotécnico de los suelos de la traza del canal - Virgen de Huachana. I y II 1982.
- Sólidos en suspensión y análisis de sedimentos, 1980.
- Consumo, dotación y sistema de distribución de agua para riego (informe complementario), 1980.
- Disponibilidad y Calidad del Agua, 1979.

Consejo Federal de Inversiones (C.F.I.)

Estudio Preliminar para el aprovechamiento de los recursos hídricos de la Cuenca del Río Pasaje-Juramento-Salado. Tomos I y II, 1977.

Ven T. Chow

Handbook of Applied Hydrology

Ven T. Chow

Hidráulica de canales abiertos

Bureau of Reclamation

Manual de Tierras

Carl Terzaghi y Ralf Peck

Mecánica de Suelos

O.S.N.

Revista Nro. 164

Mosonyi

Water Power Development tomo II,

Hsien Wen Shen

River Mechanics 1971