

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE RIEGO

PLAN MAESTRO DE ACCION INMEDIATA PARA
EL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DE AZAPA

REGION DE TARAPACA

INSTANCIA FINAL

INFORME GENERAL

E-12

RICARDO EDWARDS G.-JUAN KARZULOVIC K.
DICIEMBRE 1981



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

NOTA

El tomo III a que se alude en el texto no se publicó, debido a que sólo contenía los antecedentes para licitar el peralte de la bocatoma Lauca y la obra de entrega de Cotacotani. Al licitar un conjunto de obras mucho mayor, dicho tomo III resultó superfluo.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION DE RIEGO

付心渡延 批准 以下 緊急 事業 7 227-771
PLAN MAESTRO DE ACCION INMEDIATA PARA
EL SISTEMA DE RIEGO DEL VALLE DE AZAPA

REGION DE TARAPACA

INSTANCIA FINAL

INFORME GENERAL

概略レポート

RICARDO EDWARDS G.-JUAN KARZULOVIC K.
DICIEMBRE 1981



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
 AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
 FONOS 748732
 SANTIAGO

PLAN MAESTRO DE ACCION INMEDIATA SISTEMA DE REGADIO AZAPA

INSTANCIA FINAL

INFORME GENERAL

CONTENIDO

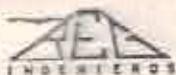
CAPITULO I	INTRODUCCION	序論	1
I.1	Generalidades	概論	1
I.2	Síntesis de la Primera Instancia	1.ª - 2.ª 段階	3
CAPITULO II	ALTERNATIVAS PARA NUEVAS FUENTES DE AGUA ..	新規水源の代替案	11
II.1	Generalidades	概論	11
II.2	Ubicación y Características de cada fuente ..	水源毎の位置と特性	13
CAPITULO III	SINTESIS HIDROGEOLOGICA Y GEOTECNICA	水文地質の概況と土木地質の概況	14
III.1	Presentación del capítulo	章の紹介	14
III.2	Reseña hidrogeológica y manejo óptimo aguas subterráneas Valle de Azapa		15
III.3	Síntesis hidrogeológica y geotécnica de las cuencas altiplánicas	アタカマ谷の水文地質の概況と地下水管理 アタカマ-1の流域の水文地質の概況	22
CAPITULO IV	APROVECHAMIENTO DE LA LAGUNA COTACOTANI	コタコタニ湖の利用	27
IV.1	Reconocimiento de la Obra de Entrega de la Laguna Cotacotani	コタコタニ湖の土木事業	28
IV.2	Verificación del Plano existente de la Laguna Cotacotani	コタコタニ湖の既存図面の確認	29



IV.3	水文調査 Estudio Hidrológico Laguna Cotacotani.....	30
IV.4	Estudio de Readecuación de Obra de Entrega "B" Laguna Cotacotani y Presentación de Obra Al- ternativa 月士木の再検討調査と代替工事.....	33
IV.5	Proyecto Definitivo de Rehabilitación de la Obra "B" en la toma de la laguna Cotacotani... コフコフニ湖取水地裏の月士木のハビリク最終計画	35
CAPITULO V APROVECHAMIENTO LAGUNA CHUNGARA.....		37
コフコフ湖の利用		
V.1	Infraestructura del Canal Chungará 湖の水路建設	38
V.2	Hidrología de la Laguna Chungará 湖の水路の水質	40
V.3	Simulación Hidrológica del Aprovechamiento de la laguna Chungará 水利用に因る水質の改善	42
V.4	Aporte de los Afluentes Superficiales a la la- guna Chungará para suplir deficit de riesgo.... 湖の水質を補うための水質改善のための水質調査	43
V.5	Estudio de Alternativa para la Habilitación del canal chungará 湖の水路のハビリク工事調査	47
V.6	Evaluación económica de la reparación	53
V.7	Estudio unión en túnel Chungará-Cotacotani.... コフコフ-コフコフニトンネルに因る調査	54
CAPITULO VI MEJORAMIENTO DE LA TOMA DEL CANAL LAUCA.		56
コフコフ水路取水工の改良		
VI.1	Descripción de la Obra Actual de la Bocatoma del canal Lauca 湖の水路頭首工の現状	57
VI.2	Estudio de Alternativas para el peralte de la Toma del canal Lauca 湖の水路頭首工の代替案	57
VI.3	Evaluación de Beneficios para las Alternativas de Peralte. 湖の水路の代替案の収益評価	58
VI.4	Evaluación de Costos para distintos peraltes Bocatoma Lauca 湖の水路の代替案の工事費評価	62



VI.5	Proyecto Definitivo del Peralte de la Bocatoma del canal Lauca	63
	ラウカ水路頭着工の概して下敷設計書	
CAPITULO VII	RECURSOS POR BOMBEO DESDE EL RIO LAUCA ...	64
	ラウカ川からのポンプ揚水資源	
VII.1	Estudio de una Planta de Bombas en Hun tume	64
	Huntume への揚水機場の調査	
VII.2	Estudio de una Planta de Bombas en Anco challoane	73
	Ancochalloane への揚水機場の調査	
VII.3	Conclusiones	76
	結論	
CAPITULO VIII	COMPARACION DE ALTERNATIVAS Y ESTUDIO DE PRIORIDADES	77
	代替案の比較及び優先度調査	
CAPITULO IX	PLAN MAESTRO DE ACCION Y ORGANIZACION RE QUERIDA	85
	事業の又及び之に必要の組織	
IX.1	Programa de Estudio y Construcción de Obras	86
	調査計画と建設工事	
IX.2	Organización requerida. Condiciones	91
	必要の組織 条件	
IX.3	Administración del Plan. Condiciones	94
	計画の管理サービス	
CAPITULO X	IMPLICACIONES ECOLOGICAS DEL PLAN MAESTRO DE ACCION INMEDIATA PARA EL REGADIO DEL VA LLE DE AZAPA	98
	即時実行の計画の生態的意の調査	
X.1	Introducción	99
	101-102	
X.2	Areas comprometidas	100
	計画区域	



X.3	Biota	102
X.4	Aprovechamiento hidrológico de las fuentes del Lauca y sus implicaciones ecológicas <i>生物水利用と生態上及び環境</i>	106
X.5	Consideraciones finales <i>最終的考察</i>	109
X.6	Fotografías <i>写真集</i>	110

CAPITULO XI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION DEL PLAN MAESTRO DE REGADIO DEL VALLE DE AZAPA. <i>計画案の採否及びその実施計画に關する結論と勧告</i>	111
-------------	--	-----

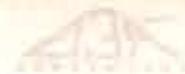
A N E X O S

ANEXO 1.	Borrador de la solicitud de modificación de reserva de aguas a solicitar por la Dirección de Riego a la Dirección General de Aguas
ANEXO 2.	Borrador de los puntos mínimos a considerar en un convenio Dirección de Riego-Endesa para el uso de los nuevos recursos provistos por el Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Regadío del Valle de Azapa



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LYDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2350 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

- 1 -



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LYDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2350 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

I. INTRODUCCION.

I.1 Generalidades.

Los estudios del Plan Maestro, originalmente divididos en tres instancias, por decisión de la Dirección de Riego se redujeron a dos: la Primera Instancia, entregada en Febrero de 1981, y la Instancia Final que aquí se presenta.

En el Informe General de la Primera Instancia se hizo, una introducción que contiene una breve reseña histórica, donde se pueden observar períodos críticos o de sequía en el valle de Azapa desde que hay memoria, y se muestran los esfuerzos desplegados para incrementar el área de riego.

Esto último se ha conseguido, y el área regada se ha incrementado de unas 500 hás en 1940 a unas 2.200 hás en la actualidad.

En cambio, los períodos de sequía, el último de los cuales duró 7 años, entre 1964 y 1971, continúan perturbando la actividad agrícola del valle, disminuyendo notablemente los ingresos de esta actividad.

Esta Instancia Final se ocupa justamente de estudiar una secuencia de obras, todas rentables, que permiten absorber los déficit de agua de riego en el valle de Azapa y promover así una agricultura estable, que permita hacer inversiones seguras.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 748732
BANTIAGO



Es conocido el hecho de que Azapa es el valle más septentrional de Chile en que los factores clima, suelo y calidad de agua permiten una agricultura intensiva y diversificada, como la existente, la que trae aparejado el arraigo de población. A la vez, este valle comienza en la ciudad de Arica, puerta de entrada por el norte al territorio nacional.

Estas consideraciones resaltan la importancia geopolítica del Plan Maestro. A ellas se unen los enormes beneficios económicos que producen las obras consultadas.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

I.2 Síntesis de la primera instancia.

Para el valle de Azapa, el llegar a definir un adecuado manejo de las aguas disponibles, tanto superficiales como subterráneas, es una necesidad urgente.

En la Primera Instancia del presente estudio se realizó fundamentalmente el análisis de los recursos y necesidades de agua y el diagnóstico general del problema.

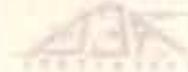
Es así que dentro de ella se consideraron los aspectos referentes al clima de la región, la distribución y origen de los recursos de aguas superficiales y el análisis de la información relativa a ellos, el análisis de los recursos de aguas subterráneas y la geología regional, el estudio de las formas y tasas de riego usadas en el Valle de Azapa, el uso del suelo del mismo y la proposición de una tasa de riego apropiada al valle.

También formó parte del estudio el balance general de los recursos de agua en el valle, con la determinación de los déficit de agua en los períodos estudiados y la formulación de proposiciones concretas tanto para el manejo del agua como de estudios y/o proyectos que deberían analizarse en las instancias siguientes.

Se llegó a definir que en la zona cordillerana de Arica se producen períodos secos y lluviosos, que se alternan en forma irregular, considerándose una situación típica la constituida por un período de 7 años secos y 7 años lluviosos.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

Durante los años lluviosos el nivel de las aguas subterráneas se ha elevado, provocando problemas de drenaje en los suelos de cultivo y produciendo anegamientos y perjuicios en las construcciones de la ciudad de Arica.

Durante los períodos secos, en cambio, el nivel de las aguas subterráneas se ha deprimido, llegando a peligrar la contaminación por el agua de mar de las napas subterráneas que surten el agua potable de Arica.

El aumento de las demandas de riego provocado por la puesta en riego de los terrenos servidos con las aguas desviadas del río Lauca y el aumento de consumo del agua potable, tiende a producir un incremento en la demanda total, que hará muy difícil que se vuelvan a producir en el futuro los problemas de anegamiento que se vivieron en los años recién pasados. Esto queda ilustrado en el cuadro que va a continuación, en el que se consideran los déficit y sobrantes de aguas previstos para un ciclo de 7 años secos y para un ciclo de 7 años lluviosos, para distintos niveles de demanda de agua potable y de riego. En este cuadro se han considerado los déficit, reducidos en la cantidad de agua que se economizaría al mejorar las condiciones del canal Lauca que hoy día sufre fuertes pérdidas.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIERO
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

LA COMPAÑIA GENERAL DE SERVICIOS
S.A. (SANTO DOMINGO)
CALLE ALBAZAR Nº 1000 - FONOS 220000-220001
SANTIAGO

DEFICIT Y SOBANTES EN MILLONES DE m³

Demanda de Agua Potable
1980 a 1985

Demanda de Agua Potable
a año 2.000

- Sin incorporación de
área de Alto Ramírez
(Sup. total regada:
2221 Hás)

- Sin incorporación de área
de Alto Ramírez
(Superf. regada:
2221 Hás)

Período de 7 años secos,
Déficit 206

Período de 7 años secos,
Déficit 262

Período de 7 años
lluviosos

Período de 7 años
lluviosos

Sobrantes 36

Déficit 23

- Con incorporación de
área de Alto Ramírez
(Superf. total regada:
2494,3 Há)

- Con incorporación de
área de Alto Ramírez
(Superf. total regada:
2494,3 Há)

Período de 7 años secos
Déficit 244

Período de 7 años secos
Déficit 300

Período de 7 años
lluviosos

Período de 7 años
lluviosos

Sobrantes 16

Déficit 40

El cuadro anterior indica que para la demanda actual de agua potable y sin la incorporación de Alto Ramírez, se produce un déficit de 206 millones de m³, el que podría compensarse parcialmente mediante los 36 millones de m³ que quedan sobrantes durante el período lluvioso, en caso que se opere convenientemente el embalse subterráneo del valle de Azapa. Queda así un déficit remanente de 170 millones de m³, que requiere de una regulación interanual basada en el aprovechamiento de nuevos recursos de agua, hoy día no explotados.

Para la situación prevista con la demanda de agua potable del año 2.000 y, eventualmente, con la incorporación de los suelos de Alto Ramírez, el incremento de las necesidades de agua pasa a ser independiente de si se trata de un ciclo seco o lluvioso, y para suplir la diferencia, se requeriría de nuevos recursos de agua que deberían llegar al valle todos los años. Puede, para este caso, proveerse de un recurso de pasada que no requiere de regulación de largos períodos.

Sobre la base de las ideas anteriormente expuestas, se hicieron las siguientes proposiciones concretas, que constituyeron las conclusiones básicas de la Primera Instancia:

1. Se recomienda efectuar una evaluación económica de las reparaciones en los canales Lauca y Azapa, en los cuales se producen fuertes pérdidas en la actualidad por el mal estado de sus revestimientos. En dicha evaluación se deben comparar los costos de las reparaciones con los beneficios que se producirían al reducir las pérdidas de conducción.
2. Es conveniente una reparación de la red de agua potable de Arica con el objeto de reducir las pérdidas que en la actualidad alcanzan aproximadamente a un 40%.
3. No incorporar al riego los terrenos de Alto Ramírez antes de aumentar las disponibilidades de agua del valle, y en todo caso sus derechos de agua deben ser eventuales. Una vez que sea posible regar estos su



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO

los, su incorporación deberá hacerse en forma paulatina, con el fin de que el lavado de los suelos no contamine la napa subterránea que abastece de agua potable a la ciudad de Arica.

Para satisfacer los déficit de carácter interanual se proponen las tres medidas siguientes que deberán ejecutarse en forma consecutiva, siguiendo una programación que se vaya ajustando de acuerdo al aumento real de las necesidades de agua.

4. Mantener el nivel freático en un nivel deprimido óptimo a fin de que las crecidas del invierno altiplánico y los eventuales sobrantes de agua puedan quedar almacenados en el embalse subterráneo. Este manejo del agua subterránea permitirá evitar los problemas que ocurren en años lluviosos por falta de drenaje.

5. Hacer un estudio de factibilidad económica de construcción de las obras necesarias para aprovechar la laguna Cotacotani como embalse; en dicho estudio se debe establecer la capacidad óptima de utilización de este embalse considerando que no se debe exagerar la interconexión de lagunas hasta el punto de hacerla desaparecer por el daño ecológico que ello representaría. Además es recomendable efectuar un estudio hidrológico de la laguna que determine los recursos que llegan a ella.

6. Aprovechamiento de la Laguna Chungará.

Mediante un rebaje del nivel actual de esta laguna en unos 6 metros, sería posible contar con un embalse de 150 millones de m³. con el fin de establecer si el volumen que deja de evaporarse, al bajar la cota del espejo de

agua, es suficiente para reponer durante el período lluvioso el recurso empleado en suplir el déficit del período de escasez, es necesario efectuar un estudio hidrológico en el cual se simulen las condiciones de operación de las obras de regulación. Estas obras podrían considerar la rehabilitación del canal Chungará existente o la ejecución de una nueva obra.

No se ha consultado la construcción de embalses de regulación interanual en la hoya del río San José, como sería el embalse Copaquilla sobre el río Seco, debido a que estos embalses controlan sólo una parte de la hoya alta del río San José y sus recursos son muy irregulares. Sería necesario guardar agua a 7 años plazo y gran parte de ella se perdería por evaporación.

Con el objeto de aumentar el flujo permanente de aguas desde la cuenca del río Lauca hacia el valle de Azapa, se pueden ejecutar las dos obras siguientes:

7. Instalación de una planta de bombeo en el lugar más conveniente para elevar aguas desde el río Lauca al Canal Lauca. Una obra como ésta, para que resulte económica, debe ser operada con regularidad y se presta por esto para operar como elemento que aumentaría el caudal base del valle de Azapa; este aspecto deberá ser considerado al efectuar la evaluación económica de esta obra.



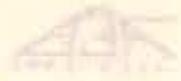
RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



8. Aprovechamiento por medio de sondajes de las aguas subterráneas del valle del río Lauca en zonas de vegas existentes entre la Bocatoma y Juan de la Cruz (Huntume).
9. Todas las medidas tendientes al trasvase de aguas desde la cuenca del Lauca y Chungará hacia el valle de Azapa, sean éstas de carácter permanente o de regulación interanual, permiten el incremento de la energía generada por la Central Hidroeléctrica de Chapiquiña. Las obras de regulación interanual permitirán a esta Central contar con una disponibilidad de agua más uniforme, ya que durante los períodos secos el caudal del canal Lauca se reduce notablemente, con la consiguiente disminución de la generación eléctrica. Por este motivo, las evaluaciones económicas de obras en las hoyas del río Lauca, de la Laguna Chungará o en el Canal Lauca, deberán considerar el beneficio adicional debido a la generación de energía eléctrica.

Por último, cabe hacer las siguientes recomendaciones de carácter general:

10. Mejorar la red hidrometeorológica en toda la región de Arica, ya que a medida que el recurso agua vaya siendo más escaso, más necesario es el conocimiento preciso del recurso. Se hace mención especial a la estación Ajata, poniendo énfasis en la reinstalación del evaporímetro, pues las mediciones de este



instrumento son fundamentales para la evaluación de los recursos de la laguna Chungará.

11. Establecer un organismo destinado a controlar y supervisar el manejo de los recursos hídricos del Valle de Azapa.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIERO
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 81
FONO. 743732
SANTIAGO

CAPITULO II

ALTERNATIVAS PARA NUEVAS FUENTES DE AGUA.

II .1. Generalidades.

Dentro de las proposiciones efectuadas en la parte final de la Primera Instancia, se señalaban como posibles fuentes de nuevos recursos a la Laguna Chungará y al río Lauca, y se sugería asimismo la habilitación de la Laguna Cotacotani como embalse.

Para obtener recursos desde Laguna Chungará es necesario construir una planta de bombeo en su ribera y habilitar un canal para llevar el agua hasta la laguna Cotacotani, desde la cual ingrese por el río Desaguadero a la ciénaga de Parinacota y al canal Lauca.

Ya en 1966 se realizó un proyecto para dicha planta de bombas, el cual fue objeto de modificaciones en los años siguientes; asimismo se proyectó el canal mencionado en lo precedente en esas mismas fechas. Se inició la construcción de ambas obras, pero no se terminó ninguna, existiendo en la laguna, aún en la actualidad, acopios de materiales para la planta de bombas. Con respecto al canal Chungará, éste se halla construido en parte. Para ambas obras se realizó en esta Instancia Final un estudio de la factibilidad económica de su reparación.

Para obtener nuevos recursos desde el río Lauca, es posible recurrir a dos proyectos en sectores diferentes; Uno de ellos es el peralte de la barrera de

la toma del Canal Lauca; otra posibilidad es la elevación mecánica desde el río Lauca al Canal Lauca de las recuperaciones del río aguas abajo de la toma; esto se puede realizar en dos puntos diferentes: en Huntume o Juan de la Cruz y aguas abajo de la unión del río Ancochalloane con el río Lauca.

Para la primera de las posibilidades mencionadas (peralte de la barrera de la toma), se entrega en el capítulo 6 del presente Informe General la descripción del proyecto definitivo para el peralte, junto a una síntesis de los efectos que produce y la evaluación económica de su puesta en marcha.

Para las alternativas de elevación mecánica en ambos sitios, ya se han proyectado plantas de bombas, proyectos que no se llevaron a la etapa de construcción. A base de éstas se ha realizado un estudio de los tamaños óptimos de las plantas que se debe utilizar; dichos estudios se presentan en el capítulo 7 del presente Informe General. En ese capítulo se entrega la síntesis de la evaluación económica de los beneficios y los costos que implica la construcción de cada planta.

En relación al uso de la Laguna Cotacotani como embalse, se hizo necesario definir primero los volúmenes aprovechables y las cotas entre las cuales convenía mantener el espejo de aguas; posteriormente se trabajó en el diseño de las obras necesarias para la explotación de la laguna.

El resumen de lo anterior se presenta en el capítulo 4 del presente informe.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

2.2. Ubicación y Características de cada Fuente.

Con el objeto de presentar en forma clara las ubicaciones de cada fuente de agua en relación al valle de Azapa, se ha preparado un mapa general de la zona que se incluye en la figura N°2.1

En dicha figura se muestra también el recorrido que seguirá el agua desde Chungará o desde las captaciones en el Lauca.



CAPITULO III SINTESIS HIDROGEOLOGICA Y GEOTECNICA

III. 1 Presentación del capítulo

El texto del presente capítulo contiene, en su sección III.2, una muy breve reseña de los resultados más importantes obtenidos con el informe denominado Evaluación Recursos Hídricos Subterráneos Valle de Azapa y que constituye el Tomo II de los Documentos de Trabajo incorporados a la Primera Instancia del Estudio del Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego del Valle de Azapa ; con inclusión, en la misma sección III.2 de referencia, de una síntesis del programa de manejo óptimo de los recursos de aguas subterráneas del Valle de Azapa que debiera adoptarse para atender, en la mejor forma posible, los intereses tanto de los usuarios que demandan esos recursos para consumos potables como de aquellos que los requieren para satisfacer demandas de riegos.

Este capítulo contiene además, en su sección III.3, una versión muy abreviada y refundida del informe denominado Estudio Geotécnico e Hidrogeológico Cuencas Altiplánicas Laguna Chungará-Laguna Cotacotani-Río Lauca Superior y que compone el Tomo I de los Documentos de Trabajo incorporados a la Instancia Final del Estudio del Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego del Valle de Azapa.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto las fundamentaciones de lo establecido en este capítulo, el cual ha sido confeccionado por la Oficina Juan Karzulović Kokot, pueden examinarse en los ya citados Documentos de Trabajo correspondientes al Tomo II de la Primera Instancia y al Tomo I de la Instancia Final, ambos también confeccionados por la Oficina Juan Karzulović Kokot, del Estudio del Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Riego del Valle de Azapa.

III.2 Reseña hidrogeológica y manejo óptimo aguas subterráneas Valle de Azapa

III.2.1 Reseña hidrogeológica

Los recursos de aguas subterráneas del Valle de Azapa están esencialmente cobijados en sedimentos cuaternarios recientes u holocénicos localizados en el piso del mismo valle y de modo que los depósitos cuaternarios situados ahora 5 a 10 m más altos que dicho piso no presentan, habitualmente, materiales acuíferos favorables o efectivamente productores.

Los depósitos cuaternarios recientes con expectativas de acuíferos importantes se encuentran principalmente abajo de la curva topográfica de los 2.000 m.s.n.m por cuanto, arriba de la cota indicada, tales depósitos son normalmente delgados, ocupan secciones estrechas a muy estrechas del valle y cubican muy reducidas capacidades para el almacenamiento de aguas subterráneas.

Abajo de la altitud de los 2.000 m, en su fondo, el Valle de Azapa mantiene las zonas acuíferas, indicadas a continuación, entre la superficie o piso del valle y el límite en profundidad de acuíferos con alguna expectativa de producción :

- De 0,00 a 40,00 m Zona de acuíferos productores importantes
- De 40,00 a 70,00 m Zona de acuíferos productores modestos
- De 70,00 a 100,00 m Zona de acuíferos productores pobres
- De 100,00 a >100,00 m Zonas sin expectativas acuíferos aprovechables

Las zonas de acuíferos productores importantes a modestos tienen aguas subterráneas de escurrimiento libre y de permanente renovación por efectos, principalmente, de la infiltración de aguas de precipitaciones que ocurren en la hoya andina alta del Río de Azapa o de San José; de la infiltración de aguas de crecidas aluvionales que generan en el citado cauce lluvias intensas y copiosas; de la infiltración de las aguas de superficie tanto del propio Río San José alto como de las que son transvasadas a su cuenca con los aportes de la captación del Río Lauca; y muy particularmente de la infiltración de parte de las aguas utilizadas en los riegos del Valle de Azapa que recargarían los acuíferos que interesan, a una tasa de 20 a 25 % del total de los caudales de riegos.

Las zonas de los acuíferos pobres a muy pobres tienen una recarga de renovación mucho más restringida y sus aguas subterráneas potenciales se presentan semiconfinadas a confinadas; de manera que no se justifican captaciones con sondajes, en el Valle de Azapa, a profundidades mayores que 70 m.

El nivel de las aguas subterráneas con renovaciones permanentes expeditas o de todo tiempo, esto es de los acuíferos de escurrimiento libre efectivamente productores, ha fluctuado siempre en forma muy notable a lo largo del tiempo y es capaz de experimentar ascensos y descensos importantes, muy bien documentados con registros de los años 1947-1961-1971-1976-1979, los cuales aparecen estrechamente asociados con los volúmenes de recargas por una parte y de extracciones artificiales por la otra para el año o período que se considere.

Cuando el caudal medio anual de recarga supera lo correspondiente al caudal medio anual de extracciones artificiales, los ascensos de los niveles de las aguas subterráneas locales alcanzan en diversas áreas del valle la superficie y los excedentes correspondientes tienden a descargarse naturalmente a través de sectores que han sido, históricamente, sitios de vertientes o de vegas y cuales principalmente los de Las Riberas-San Miguel en el curso medio alto del valle, el de Las Animas algo más abajo y las áreas costaneras del curso más inferior del Río Azapa o San José; estos ascensos han culminado en el período posterior al inicio de los aportes del Río Lauca al Valle de Azapa, de manera que el año 1976, cuando se habrían presentado los máximos ascensos históricos de las aguas subterráneas que preocupan, el conjunto de vertientes de Las Riberas-San Miguel y de Las Animas descargaba unos 600 lt/s aunque probablemente nunca, anteriormente, habrían registrado gastos superiores a unos 150 lt/s. Del mismo modo, en el citado año 1976, se produjeron alumbraamientos de aguas subterráneas muy perjudiciales para las construcciones de los sectores más bajos de la población de Arica y también humedecimientos, dañinos para las plantaciones de olivos y aparentemente no conocidos antes con igual intensidad, en diversas áreas del valle.

Cuando el nivel medio anual de recarga es menor que lo correspondiente al caudal medio anual de extracciones artificiales, los descensos del nivel de las aguas subterráneas del valle se revelan con cierta rapidez en disminuciones acentuadas de las descargas de las vertientes tradicionales y en el paulatino secamiento de las charcas o aguadas de los terrenos costaneros bajos de Arica. Pero estos descensos, en el resto del valle, tienden a ser mucho más lentos o menos notorios en razón de que una parte importante de la sobreexplotación de los recursos de aguas subterráneas, esto es la diferencia entre la recarga de renovación y la extracción artificial, queda compensada por el drenaje de los almacenamientos hídricos subterráneos que se encuentran contenidos, arriba de las correspondientes captaciones, en los sedimentos cuaternarios acuíferos del valle y que fueron estimados, por el autor de este capítulo, equivalentes a una producción total anual de 2.635 lt/s; con almacenamientos

correspondientes, en dicho total, a unos 1.550 lt/s para el tramo Costa-Cabuza y 1.085 lt/s para el tramo Cabuza-Ausípar (*).

Las fluctuaciones fuertes, de los niveles de aguas subterráneas del valle, se producen con diferencias relativamente muy pequeñas entre los caudales de recargas de renovación media anual y de extracciones artificiales medias anuales, o con rangos de 100 a 200 lt/s. Por otra parte y bajo las condiciones actuales de aportes del Río Lauca, las recargas medias anuales de años más o menos pluviométricamente normales representan unos 860 lt/s; mientras, bajo condiciones de años lluviosos, tales recargas medias anuales efectivas no serían mayores que unos 1.000 lt/s, en razón de que la capacidad de almacenamientos de los materiales acuíferos del valle no permitiría más, de forma que cualquier recarga adicional es descargada naturalmente a través de los alumbramientos de vertientes y de aguadas tipo vegas.

La calidad por composición química de las aguas subterráneas del valle es buena para usos agrícolas y aceptable a deficiente para empleos potables directos; esto último como consecuencia de contenidos salinos algo altos, principalmente sulfatos y en menor proporción cloruros, los cuales aparecen en las aguas del curso inferior del valle como consecuencia de incrementos graduales de salinidad desde las cabecezas hacia la Costa. Pero estos contenidos salinos muestran una tendencia inquietante, a sus aumentos sostenidos futuros, por efectos de una excesiva explotación de los acuíferos del curso inferior del valle y así mismo por la puesta en explotación de terrenos de cultivos todavía mal lavados y muy salinos; situación apreciada en el cuadro adjunto que indica valores de sulfatos y cloruros, de aguas de sondajes que se explotan o se han explotado para abastecimientos potables de la ciudad de Arica, según análisis efectuados en los años 1971 y 1979 :

(*) Al Este de Ausípar, situado unos 60 km Valle de Azapa arriba desde la Costa, los almacenamientos hídricos subterráneos son poco relevantes.

Sondaje N° SENDOS	Lámina 1 (*)	Sulfatos (SO ₄) ppm		Cloruros (Cl) ppm	
		1971	1979	1971	1979
s/n	11. San José	152,7	245	94,5	341
s/n	6. L.Empleados	183,5	240	118,6	256
489 ?	5. Tucapel	209,5	224	111,7	181
650	36. Saucache	222,0	434	165,0	279
568	35. Los Pinos	229,6	459	116,9	309
434	30. P.Azapa	296,7	370	163,3	211
491	26. P.Azapa	199,2	282	94,5	206
184	61. P.Azapa	244,4	385	137,5	213
47	63. P.Azapa	<u>391,3</u>	381	154,7	356
715	2. Copaja	-	361	-	329
569	37. 18 Septiembre	-	360	-	249
714	4. S.Estadio	-	287	-	222
48	29. P.Azapa	-	386	-	213
492	27. P.Azapa	-	301	-	181
1.113	87. P.Gómez	-	279	-	158
1.114	88. P.Gómez	-	66	-	153
1.142	89. P.Gómez	-	244	-	111
1.216	74. L.Animas	-	272	-	204

(*) Ver Tomo II de Anexos de la Primera Instancia, del Estudio del Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Regadío del Valle de Azapa, donde la lámina de referencia ubi ca los sondeos analizados.

III.2.2 Manejo óptimo aguas subterráneas Valle de Azapa

Conforme con la tradicional ocurrencia en la Región de Arica de alternaciones de períodos con ciclos de lluvias normales hasta abundantes y de períodos con ciclos de lluvias menores que las normales hasta de franca sequía, resulta muy claro que tienden a producirse en el Valle de Azapa dos situaciones extremas, y ambas perjudiciales, para lo concierne a la disponibilidad de recursos de aguas subterráneas explotables. Durante el avance en el tiempo de períodos secos de varios años, se depri - men notoriamente los niveles de aguas subterráneas en todo el valle y finalmente se secan las vertientes; mientras, en el transcurso de períodos húmedos de varios años, los acuíferos productores abajo de Cabuza tienden a saturarse hasta casi la superficie, las vertientes tradicionales descargan naturalmente hasta unos 600 lt/s y se aniegan sectores costaneros bajos de la ciudad de Arica y asimismo se humedecen perjudicialmente muchos predios plantados con olivos.

Lo anterior implica que las aguas subterráneas del Valle de Azapa deberían manejarse de manera que, en lo posible, se disponga de ex - tracciones capaces de mantener un nivel por debajo de aquel que correspon - de a ciclos avanzados de períodos con lluvias abundantes y por encima del que caracteriza a ciclos asimismo avanzados de períodos con lluvias meno - res que las normales o de sequía. Esto con una explotación permanente, válida tanto para períodos húmedos como secos y por consiguiente para em - pleos efectivamente consuntivos, la cual debería incrementarse en los lap - sos de aguas abundantes y debería sostenerse, en los lapsos de aguas esca - sas, con la disminución de los almacenamientos hídricos subterráneos dis - ponibles arriba de las captaciones y también con incremento de los recur - sos de aguas aportados por la Captación del Río Lauca. Por otra parte, este manejo óptimo de las aguas subterráneas del Valle de Azapa debe bus - car la conservación y resguardo de las características de composición quí - mica de tales aguas.

A base de lo recién expuesto, se estima recomendable explo - tar los recursos hídricos subterráneos del Valle de Azapa bajo las condi - ciones siguientes :

- (1) Decisión de entregar prioridad, en la utilización de los recursos, para el abastecimiento potable de la población actual y futura de Arica. Esto por el hecho de que el consu - mo potable es efectivamente consuntivo en todo tiempo y no están disponibles, a costos razonables, otras fuentes de abas - tecimientos.

(ii) Limitación de la superficie permanente bajo riegos a 2.350 hectáreas y fomento de nuevas áreas de cultivos temporales, esencialmente chacareras, mantenidas sólo durante años con abundancia de aguas y en terrenos reconocidamente poco salinos. Esto debido a que, durante ciclos de años secos, no están disponibles recursos hídricos capaces de satisfacer adecuadamente las demandas totales para los riegos de una mayor superficie de cultivos permanentes y para el abastecimiento potable de Arica.

(iii) Considerar que las zonas de vertientes de Las Riveras-San Miguel y Las Animas son las más convenientes para lograr, mediante extracciones reguladas, el manejo óptimo de los recursos de aguas subterráneas y de sus correspondientes niveles en el Valle de Azapa; de modo que deberían fomentarse, en las zonas de referencia, captaciones capaces de mantener allí niveles permanentemente deprimidos que disminuyan el riesgo de ascensos excesivos durante ciclos de años lluviosos y al mismo tiempo no impliquen, en el transcurso de ciclos de años secos, descensos asimismo excesivos por efectos de una sobreexplotación.

(iv) Decidir que las únicas captaciones adecuadas para extracciones reguladas, en el Valle de Azapa y particularmente en las zonas de vertientes recién señaladas, corresponden a galerías de drenajes con pisos entre 15 a 30 m bajo la superficie y cuyas limitaciones de profundidad aseguren una depresión no excesiva del nivel de explotación de los recursos de aguas subterráneas disponibles. Por esta razón y aunque cualquier tipo de captación en las zonas de vertientes de referencia provocará disminuciones de los rendimientos actuales de aquellas, resultarán menos perjudiciales, para los intereses de los agricultores locales y su puesto que se resuelva el manejo integral óptimo de las aguas subterráneas del valle, extracciones mediante galerías de drenajes en comparación con extracciones a través de baterías de sondajes.

(v) Instalación de nuevas obras, en la zona altiplánica de Laguna Chungará-Laguna Cotacotani y del Río Lauca Superior abajo de la actual Bocatoma de la Captación Lauca, destinadas a la obtención de recursos de aguas adicionales, ahora no utilizados, para su conducción hasta el Valle de Azapa y lograr, principalmente, reemplazar las aguas provistas por las vertientes actuales a los agricultores del valle y las cuales quedarían secas, en períodos de años con aguas escasas, debido a las captaciones sugeridas en (iv) anterior; como también para lograr, en tales períodos de aguas escasas, un reforzamiento de las recargas de los acuíferos del valle.

(vi) Manejo regulado, de la misma Captación Lauca, en forma de aportar al Valle de Azapa mayores o menores caudales según lo requiera la condición de los niveles estáticos en dicho valle.

(vii) Creación de un organismo destinado a controlar y supervisar el manejo de los recursos hídricos del Valle de Azapa; constituido especialmente por representantes de los agricultores y autoridades locales, SENDOS Arica, Dirección de Riego y Dirección General de Aguas.

III.3 Síntesis hidrogeológica y geotécnica de las cuencas altiplánicas

III.3.1 Hidrogeología

Las unidades de rocas de las cuencas altiplánicas que interresan son casi exclusivamente de volcanitas, del Terciario Medio hasta el Cuaternario Reciente, todas en general macizas y con permeabilidades radicadas en fracturas abiertas que han sido desarrolladas, en particular y a partir de fracturamientos o diaclasamientos primarios, por acciones de intemperizaciones físicas térmicas que son notables, en el relieve altiplánico, debido a muy fuertes variaciones de temperaturas entre el día y la noche en todo tiempo.

Las permeabilidades de las fracturas abiertas por intemperización física térmica, son notables en los primeros 25 m desde la superficie de afloramientos de las volcanitas de referencia y, dado que estas mismas volcanitas son francamente prevalectantes en el territorio andino investigado, ellas originan un acuífero con aguas subterráneas de escurrimiento libre que es de enorme extensión areal, tiene una alta tasa para la infiltración de aguas de precipitaciones, representa un vasto volumen de almacenamiento y se vacía muy lentamente, por descarga natural, hacia las tierras bajas de depresiones relativas o de los cauces que interceptan, a modo de colectores naturales muy efectivos, el nivel de aguas subterráneas de las volcanitas regionales fracturadas.

Las unidades de suelos, cuyos espesores no sobrepasarían máximos de 25 m verticales y que serían muy reducidas en el vaso de la Laguna Chungará, están constituidas principalmente por arenas y gravas arenosas saturadas o con desarrollo de vegas (bofedales); por arenas y gravas arenosas, secas en superficie y con niveles de aguas subterráneas a más de 2 m de hondura, de terrenos comparativamente altos; por limos y arenas finas de ambientes lacustres; y por cubiertas regionales, aunque delgadas, de escombreras de las unidades de rocas.

El régimen hidrológico, de las aguas de superficie de las cuencas investigadas, está claramente controlado por el relieve volcánico más reciente o Cuaternario y también, en forma muy notable, por constantes alumbramientos, en las tierras bajas que cobijan las aguas de superficie, de aguas subterráneas de vaciamiento lento que son prácticamente regionales y resultan interceptadas por las acciones de drenaje de dichas tierras bajas.

La Laguna Chungará tendría un vaso permeable y descargaría parte de sus recursos, en forma de flujos subterráneos, a través de su extremo noroccidental relleno con la Unidad de rocas permeables QV3 y con entrega natural a Laguna Cotacotani; en tanto que no permitiría descargas hacia el Oriente, el Sur y el Norte. Por otra parte, las descargas subterráneas hacia Cotacotani serían no inferiores a 60 lt/s; presumiblemente no mayores que 600 lt/s y probablemente con rango de 250 a 350 lt/s.

La Laguna Chungará es un sistema extraordinariamente bien equilibrado y de modo que tiende a mantener, en todo tiempo, un nivel de aguas de superficie con escasas variaciones de cota. Cuando ocurren aportes de aguas de superficie anormalmente bajas, la laguna recupera su nivel medio a través del drenaje de los almacenamientos subterráneos radicados en los terrenos permeables de sus costados y principalmente de los correspondientes al Volcán Parinacota; mientras, cuando ocurren aportes de aguas de superficie anormalmente altas, la laguna conserva su nivel medio mediante un muy fuerte incremento de las descargas subterráneas hacia Cotacotani.

Aunque la Laguna Chungará presenta en su sector nororiental materiales de arenas y gravas arenosas de muy alta permeabilidad, no pueden producirse allí pérdidas de aguas de la misma laguna por el hecho de que esos materiales se apoyarían en un basamento rocoso que compondría una especie de plano suavemente inclinado, con pendiente hacia Chungará, el cual nunca habría permitido, durante la historia geológica reciente de la laguna, descargas hacia aguas arriba o con entregas a territorio de la República de Bolivia.

Las aguas de las cuencas altiplánicas examinadas son potencialmente altas, para fines de regadío, en boro y flúor. El boro es de distribución prácticamente regional y sólo ocasionalmente alcanzaría, en las aguas actuales del Canal Lauca o adiciones futuras por nuevas captaciones o mejoramientos de las existentes, valores en el rango de 2 ppm que efectivamente podrían provocar perjuicios en los cultivos del Valle de Azapa. El flúor proviene principalmente de lixivaciones de las unidades de rocas volcánicas andesíticas y será siempre, aunque con grandes variaciones a lo largo de cada año, potencialmente más alto en Laguna Chungará que en Laguna Cotacotani y mucho menor abajo de Bocatoma Canal Lauca; conforme con la naturaleza de los suelos agrícolas del Valle de Azapa, el contenido alto de flúor de las aguas altiplánicas no sería suficiente para afectar los cultivos de Azapa, pero podría ser perjudicial para los suministros potables de la población de Arica que se basa en fuentes subterráneas recargadas, en parte importante, por las infiltraciones de los riegos efectuados con las aguas del Canal Lauca.

III.3.2 Geotecnia

En su estado actual el Canal Chungará-Cotacotani no es operable para conducción de aguas debido, principalmente, a mal estado de sus losetas de revestimiento en algunos tramos y a numerosos sectores donde podrían producirse infiltraciones y pérdidas altas con inclusión, potencialmente, de daños al mismo canal. En todo caso sus reparaciones son factibles, aunque a un costo probablemente alto, y puede quedar en condiciones de ser operado para la conducción de aguas.

Debe descartarse cualquier alternativa de conexión directa por túnel, entre Laguna Chungará y Laguna Cotacotani, destinada a transvasar aguas de aquella hacia ésta. Esto en razón de que dicha conexión sería de costo extraordinariamente alto debido, principalmente, a necesidad de sostenimientos repetidos durante la faena de excavación correspondiente; por ocurrencia frecuente de aguas subterráneas copiosas en las frentes de avances de las excavaciones; y por exigencias finales de revestimiento con bóveda a sección completa en largos tramos. Sin embargo es atractiva la conexión por túnel entre la llamada Laguna Sin Nombre y la denominada Laguna Guacolla; esto debido a que los problemas geotécnicos serían mucho menores, el mencionado túnel sería relativamente muy corto o de solamente unos 200 m de largo y permitiría aportes de aguas ahora no utilizadas a la captación del Lauca.

La puesta en operación de la obra de toma de más aguas abajo que la ahora en funcionamiento en Cotacotani, es factible en lo referente a condiciones geotécnicas de los terrenos involucrados y significaría mejorar notablemente los aportes actuales al Canal Lauca. Su problema principal radica en la ausencia a este momento de zanjones cortafugas apropiados y éstos podrían ser construídos, sin grandes problemas, previa la obtención de resultados de algunas exploraciones sencillas de subsuperficie.

Abajo de la zona de Bocatoma del Canal Lauca, el río homónimo tiene recuperaciones de aguas que son importantes y que podrían extraerse, en dos secciones favorables, para entregarlas al canal de referencia. Estas secciones favorables tienen las características principales aproximadas siguientes :

Alternativa Alto Huntume o Juan de la Cruz	AAH
Hoya de recuperación de aguas	74 km ²
Caudal medio de recuperaciones	250 lt/s
Cota lecho Río Lauca	4.340 m.s.n.m
Cota Canal Lauca frente sitio AAH	4.365 m.s.n.m
Distancia eje Río Lauca a Canal	350 m
Elevación desde el sitio AAH a Canal	30 m
Ancho sección Río Lauca en sitio AAH	150 m

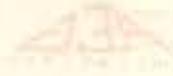
Alternativa Bajo Huntuma o confluencia Lauca-Ancochalloane ABH	
Hoya de recuperación de aguas	165 km ²
Caudal medio de recuperaciones	500 lt/s
Cota lecho Río Lauca	4.310 m.s.n.m
Cota Canal Lauca frente sitio ABH	4.360 m.s.n.m
Distancia eje Río Lauca a Canal	800 m
Elevación desde el sitio ABH a Canal	60 m
Ancho sección Río Lauca en sitio ABH	150 m

Las dos secciones recién reseñadas permitirían, sin problemas geotécnicos relevantes, la construcción de pequeñas presas de toma de hasta unos 5 m de altura sobre el lecho del río y capaces de almacenar en cada caso hasta más o menos 250.000 m³, estas presas pequeñas requerirían, para minimizar pérdidas por infiltraciones someras, una cortina impermeable de unos 5 m de hondura por cuanto, a mayor profundidad y conforme a la pequeña altura de los embalses hasta aquí considerados, las pérdidas por infiltraciones no serían significativas y no perjudicarían la seguridad de funcionamiento de la presa. Estos mismos embalses no serían afectados por crecidas fluvioaluvionales peligrosas o del tipo de corrientes de barro si se ubican en el valle del Lauca arriba de la confluencia con Quebrada Ancochalloane, por el hecho de que aquel cauce no las presentaría, pero podrían potencialmente quedar afectadas por crecidas fluvioaluvionales de la Quebrada Ancochalloane, que sí se producen aunque muy espaciadas en el tiempo, supuesta una presa abajo de la confluencia pertinente (*).

Si se desea construir una presa de embalse más alta que 5 m por encima del lecho del río, deben considerarse potenciales filtraciones de pérdidas importantes en los apoyos laterales de la presa, además de las que se producirían en el fondo del valle, de manera que serían necesarias exploraciones mucho más rigurosas que para presas pequeñas y en las cuales deberían incluirse sondajes, con complemento de ensayos de permeabilidad, en los materiales de fundación de la presa.

Los materiales de fundación del muro de presa que preocupa, serán especialmente ignimbritas riolíticas con características de rocas macizas pero muy fracturadas, estratos de tobas blandas asimismo riolíticas intercaladas entre las ignimbritas, y cubiertas delgadas o de menos que 5 m de espesor de materiales fluvioaluvionales recientes sueltos y permeables. Las ignimbritas tienen un riesgo potencial elevado, por su fracturamiento, de inducir pérdidas por infiltraciones importantes de eventuales embalses y este sería uno de los principales problemas que debería examinarse en muros de presa altos.

(*) La cual siempre será factible y de funcionamiento seguro si se consideran los resguardos pertinentes.



INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

Para muros de presa de 10 m de altura sobre el lecho del Río Lauca, deberían contemplarse sondajes exploratorios que penetren no menos que 15 m bajo dicho lecho y para muros más altos tales sondajes deberían penetrar, a lo menos, 2 veces la altura del muro.

Importa recalcar que es claramente factible, para lo concerniente a las condiciones geológicas y geotécnicas de los terrenos que serían comprometidos, la construcción y operación de una presa de 5 a 10 m de altura en el Valle del Río Lauca abajo de Bocatoma Canal Lauca o en su afluente Quebrada Ancochalloane; sin embargo tendría dificultades, siempre respecto de las condiciones geológicas y geotécnicas de los terrenos involucrados, la construcción y operación de una presa de mayor envergadura. Por esta razón, como asimismo debido a que las exploraciones previamente necesarias serían de costo relativamente alto, se considera no atractiva la posibilidad de investigar con estudios adicionales la factibilidad de una presa alta en la zona que se comenta.

CAPITULO IV.

APROVECHAMIENTO DE LA LAGUNA COTACOTANI

En el estudio "Plan de Acción Inmediata para el Sistema de Riego del Valle de Azapa", se ha establecido que las demandas actuales de agua en el valle de Azapa superan las disponibilidades de este elemento en los períodos de escasez.

Una forma de paliar el desabastecimiento de agua durante dichos períodos es mejorar el aprovechamiento de la laguna Cotacotani.

La laguna cuenta en la actualidad con dos obras de entrega diferentes: La primera, obra de entrega "A", actualmente en uso, consiste en dos compuertas ubicadas a cotas diferentes que permiten fluctuar los niveles de las lagunas entre las cotas 4495,5 y 4499,0. La segunda, obra de entrega "B", situada 115 m aguas abajo, permite una fluctuación de niveles de mayor magnitud (hasta la cota 4493,5); sin embargo, no es posible utilizarla sin realizar modificaciones a la obra.

En la síntesis de los estudios realizados, que a continuación se presenta, se analiza la factibilidad de poner en servicio la obra de entrega "B", con el objeto de mejorar el aprovechamiento del recurso de la laguna Cotacotani. Para realizar esto, se verificó el plano existente (escala 1: 5.000) de dicha laguna en poder de la Dirección y se verificaron las curvas de embalse obtenidas del mismo.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

- 28 -

RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

Posteriormente se desarrolla un estudio hidrológico con el objeto de determinar el caudal afluente de la Laguna Cotacotani.

Para estudiar la readecuación de la obra de entrega "B" Cotacotani, se hizo un análisis del estado actual de la obra y una verificación de la estabilidad al volcamiento y control de filtraciones.

Se compara entonces la factibilidad de la readecuación de la obra "B" con una obra alternativa, consistente en un muro de tierra situado entre la obra "A" y la obra "B". A base de las recomendaciones dadas por la oficina Ricardo Edwards G., se decidió hacer el estudio de rehabilitación de la obra "B" Cotacotani, obra que tiene un costo aproximado de nueve millones de pesos.

A continuación se presenta una descripción de las etapas descritas con anterioridad.

IV.1. Reconocimiento de la Obra de Entrega de la Laguna Cotacotani (Doc.Trb. A-1)

La Laguna Cotacotani cuenta en la actualidad con dos obras de entrega diferentes: La primera (A), actualmente en uso, consiste en dos juegos de compuertas a distinta cota. La segunda (B), situada 115 m más abajo, permite una mayor fluctuación de niveles al vaciar la laguna hasta una cota más baja.

Características de la Obra de Entrega "B".

En el año 1963 se construyó la obra de entrega "B" que permite regular el caudal de la laguna y mejorar su



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2350 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

INGENIEROS
SANTIAGO

aprovechamiento. La obra es de hormigón armado, cuyas terminaciones no fueron realizadas.

Con el objeto de conocer la resistencia del hormigón, se realizaron ensayos no destructivos mediante el martillo Schmidt. De los ensayos y de la inspección visual se puede concluir que el hormigón corresponde a un hormigón clase "C".

Prueba de Operación realizada por la Dirección de Riego Arica.

Con fecha 8 y 9 de Septiembre de 1980, se efectuó una prueba de carga en la cual se observó, que al mantener el nivel de agua a la cota 4496,70 se producen filtraciones aguas abajo de la obra de entrega "B".

Desde el 23-4-81 esta obra está funcionando, regulándose con ella los gastos de entrega. Se ha establecido que las filtraciones no han sobrepasado de los 10 lts/seg.

IV .2 Verificación del Plano existente de la Laguna Cotacotani, escala 1: 5.000 (Doc. Trab. A-2)

La Dirección de Riego, en una fecha no precisada, realizó un levantamiento batimétrico y taquimétrico de la Laguna Cotacotani.

Con el objeto de verificar el plano existente, la oficina de Ricardo Edwards G., realizó una taquimetría y batimetría conjunta en cuatro sectores aislados, identificados en el plano existente, con el objeto de verificar la confiabilidad de éste.

El trabajo en terreno se efectuó entre los días 9 y 19 de Noviembre de 1980.

Como conclusión de la comparación se tiene que:

- Existe en general una semejanza, aceptable en la parte seca del sector de la laguna.
- En las partes bajo agua, existen unas diferencias de cierta importancia.
- La mayor cubicación obtenida a partir de los planos de esta oficina, REG, permite afirmar que un proyecto basado en el plano existente sería más pesimista con respecto a los volúmenes de regulación.

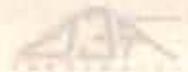
IV.3. Estudio Hidrológico Laguna Cotacotani (Doc. Trab. A-3)

La Laguna Cotacotani se encuentra ubicada en la hoya del río Lauca a 4500 m de altura aproximadamente; tiene una superficie aproximada del espejo de aguas de 440 Hás y un volumen embalsado cercano a los 21 millones de m³, a la cota 4.495,66.

La Laguna Cotacotani está formada por 4 lagunas unidas entre sí. Las tres lagunas mayores están unidas mediante un canal y un bajo natural cuya cota de fondo es la 4.495,50 m.s.n.m.; la cuarta laguna, que es menor respecto de las anteriores, está conectada al resto mediante un canal con cota de fondo 4.497,50.

Los principales afluentes superficiales de la laguna son el río Benedicto Morales y el Estero El Encuentro, y su descarga se realiza por el río Desaguadero hacia las ciénagas de Parinacota.

La laguna representa una fuente de recursos adi-



cionales del valle de Azapa; estos recursos son: el volumen embalsado entre la cota mínima de las compuertas y el espejo de agua, y además, el caudal aportado a la laguna que dejaría de evaporarse al disminuir la superficie del espejo de agua por efecto de bajar el nivel de la laguna.

El volumen embalsado por la laguna entre el nivel máximo y la cota actual de las obras de regulación es de aproximadamente 13 millones de m³.

La justificación de rebajar la cota de entrega de la Laguna Cotacotani, puede ser desglosada en los siguientes puntos:

- a) Necesidad de aumento de capacidad de regulación actual, aunque el aumento de la capacidad de regulación no tiene sentido práctico ya que no existe un volumen extra de recursos a ser regulados.
- b) Aprovechamiento del volumen fósil.

Al rebajar la cota de entrega, es posible aprovechar el volumen fósil que se encuentra entre la cota actual y la cota de rebaje; dicho volumen producirá un beneficio en el riego del valle de Azapa.

Como posible rebaje se estudian dos diferentes alternativas a partir de la cota 4.495,50.

<u>Alternativa</u>	<u>Rebaje a la Cota (m)</u>
1	4.493,50
2	4.489,70

Cota actual de la laguna Cotacotani 4.495,56



c) Volumen adicional aprovechable por reducción de evaporación.

El rebajar la cota de entrega de la laguna, significa cambiar el nivel de ésta a una cota más baja. Este cambio significa una reducción del espejo de aguas y por consiguiente, una disminución del volumen evaporado y del aporte directo por precipitación.

d) Necesidad de reponer la Obra de Entrega "A"

Dado que la obra de entrega "A" se encuentra en malas condiciones, ella debe ser reemplazada por la obra "B" una vez readecuada .

En el cuadro siguiente, obtenido del Doc. de Trabajo, tomo II, sección A-4, se muestran los beneficios de cada Alternativa de Rebaje, concluyéndose que el rebaje a la cota 4.493,50 es justificable y rentable, no así un rebaje a cota inferior.

ALTERNATIVA	Cota (m)
	4.493,50
	4.483,70
	4.481,00



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

CUADRO N°4.1

CUADRO DE BENEFICIOS POR REBAJE
DE LA LAGUNA COTACOTANI **

Alter- nati- va	Rebaje a la cota m	Volu- men extra mill. m3	Aprovechamiento volumen		Benefi- cio volumen extra por re- ducción evapora- ción US\$/año	Benefi- cio futuro actua- lizado US\$ *	Benefi- cio Neto US\$
			Benefi- cio US\$	Costo US\$			
1	4.493,50	4,25	195.180	97.750	18.000	150.000	247.430
2	4.489.70	9,45	238.800	607.750	48.860	257.167	111.783

* tasa de interés 12% anual y período de actualización período seco-hú-
medo de 14 años.

** Origen: Sección A, pto. 4.2 Tomo II Documentos de trabajo Instancia Fi-
nal Plan Maestro de Regadío Valle de Azapa.

IV.4. Estudio de Readequación de Obra de Entrega "B"

Laguna Cotacotani y Presentación Obra Alter-
nativa (Doc. Trab. A-4)

A continuación se presentan las síntesis de los es-
tudios de rehabilitación de la Obra B. Se analizan una
alternativa de rehabilitación y una obra alternativa.

IV.4.1. ALTERNATIVA 1

La Alternativa 1 corresponde a la rehabili-
tación de la obra de entrega "B", teniendo como ideas
básicas las siguientes:

- Aprovechar al máximo la obra existente, realizando
el mínimo de modificaciones.

- Aumentar la seguridad de la obra contra el volcamien-

to, reduciendo las fuerzas del agua que actúan sobre ella; para ello se proyecta un embudo de hormigón armado en el acceso de las aguas a la obra, destinado a conducir el empuje de las aguas hacia las laderas.

- Proveer de un dren y filtro colector de las filtraciones en la zona aguas abajo, llevando las aguas al interior del acueducto.
- Colocación de una compuerta nueva, aguas arriba de la existente, al final del embudo proyectado, a fin de poder trabajar en el interior de la obra en faenas de mantención.

IV.4.2. ALTERNATIVA 2

Corresponde a la evaluación de una obra alternativa a la rehabilitación de la entrega de la Laguna Cotacotani a cota 4993,50.

Consiste en tratar la descarga como si fuese una presa de embalse de 6,5 mts de altura, dotada de un sistema de tubería y válvula.

La principal ventaja que ofrece la construcción de esta alternativa es que no requiere dejar en seco el canal para construir la obra, pues se utiliza como by-pass el tubo que luego constituiría la evacuación de la laguna.

IV.4.3. Conclusiones.

Como resultado del análisis comparativo de ambas soluciones, la Dirección de Riego tomó la decisión

de rehabilitar la obra B (Alternativa 1), vistas la semejanza de los presupuestos y la conveniencia de utilizar una obra existente construída para el fin específico de regular la entrega y que debería ser demolida en el caso de optar por la alternativa 2.

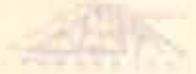
IV .5. Proyecto Definitivo de Rehabilitación de la Obra "B" en la Toma de Laguna Cotacotani (Doc.Trab. A-6)

Una vez decidida la rehabilitación de la Obra "B" por parte de la Dirección a base del estudio de alternativas ya presentado, la oficina de Ricardo Edwards G. realizó el proyecto definitivo de dichas reparaciones.

El detalle de estos diseños constituye la sección A-6 del Tomo II de los Documentos de Trabajo de la Instancia Final.

La rehabilitación permitirá vaciar la laguna hasta la cota 4493,5 y no considera en la primera etapa de trabajo, el rebaje del canal entre la Obra A y la Obra B, ni la necesaria interconexión de las lagunas a la cota 4493,5.

Estos rebajes e interconexiones se realizarán cuando el descenso de la laguna permita efectuarlos a un costo razonable. En las condiciones actuales resulta una obra de difícil ejecución dado que se debería excavar fondos de laguna situados 4 metros bajo el nivel de las aguas.



Las obras a realizar consisten en la confección de una pantalla y un embudo de hormigón armado, inmediatamente aguas arriba de la Obra B; en la colocación de una nueva compuerta, y en la confección de un dren aguas abajo destinado a recoger las filtraciones y que se construirá alrededor del acueducto de salida. Dicho dren tiene la particularidad de estar constituido por un material monogranular protegido por una tela sintética que actúa como filtro y que protege al dren de la colmatación por material fino y al suelo circundante de los posibles efectos del piping.

El presupuesto oficial de esta obra alcanza el valor de \$ 7.847.400 (ver pág . 2 Tomo III, de los Documentos de Trabajo). Dicho presupuesto fue calculado usando el Estudio de Precios Unitarios y Gastos Generales presentados en las secciones E1 y E2 del Tomo II de los Documentos de Trabajo.

Esta obra será construida al mismo tiempo que el peralte de la bocatoma del Canal Lauca.

CAPITULO V. APROVECHAMIENTO DE LA LAGUNA CHUNGARA.

La Laguna Chungará es la receptora de las aguas de una hoya cerrada de aproximadamente 260 Km², cuyas alturas máximas sobrepasan los 6.000 m: Nevados Payachata, Nevados Quimsachata y Volcán Guallatiri. El espejo de agua de la laguna, que tiene alrededor de 20 Km² de superficie, se encuentra aproximadamente a 4.518 m.s.n.m.

La hoya de Chungará está ubicada aproximadamente entre los paralelos 18°10' y 18°29' junto a la frontera chileno-boliviana. Los aportes superficiales se producen a través del río Chungará, que tiene su cauce orientado de Sur a Norte, y de las vertientes de Ajata, Mal Paso y el estero Sopocalane, existiendo además una parte de la hoya, correspondiente al sector oriental de la misma, que no posee una corriente superficial visible. Dado que no existe desagüe superficial de la laguna, la salida de agua de ella se produce por evaporación y por filtraciones subterráneas.

El Canal Chungará fue diseñado para llevar recursos hídricos desde la Laguna Chungará hasta la Laguna Cotacotani. El proyecto inicial consideraba el inicio de aquélen una toma situada en el río Chungará; sin embargo, la construcción sólo fue iniciada desde el Km. 16,0, aproximadamente, del trazado original e instalando una planta de bombas en ese punto para elevar las aguas desde la laguna al canal.

El presente estudio tiene por objeto evaluar diversas alternativas de habilitación del Canal Chungará y de

ubicación de la planta de bombeo.

La evaluación del estado y la recolección de antecedentes en terreno para el canal Chungará, se realizó en dos etapas. La primera de ellas consiste en la descripción del estado del canal Chungará, preparada por la oficina Ricardo Edwards G - INGENIEROS en Noviembre de 1980.

La segunda de éstas se realizó en Mayo de 1981 y consistió en labores de topografía destinadas a representar por tramos las secciones características que se puedan reconocer, y a la confección de planos de situación para sectores como las posibles ubicaciones de las plantas de bombeo, las quebradas que aportan recursos o el portezuelo al final del recorrido, en la descarga hacia Laguna Guacolla.

V.1. Infraestructura del Canal Chungará (Doc. Trab. B-1)

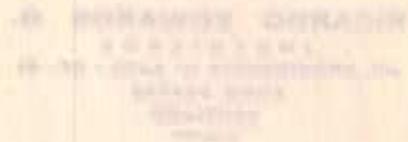
El Canal Chungará está construido en algunos tramos muy cortos, desde 1963 aproxim., faltando realizar la instalación de las bombas que se encuentran adquiridas. Capta además, gravitacionalmente, los aportes de las vertientes Ajata y Mal Paso.

En el capítulo B.1.1 de la Sección B del tomo II de los Documentos de Trabajo, Instancia Final del Plan Maestro del Valle de Azapa, se presenta un análisis cualitativo del estado actual del Canal según su kilometraje.

El estado general entre los kilómetros 16.150 y 27.220, (correspondiente a la totalidad del canal cons-



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



truído), establece(según los siguientes porcentajes referidos a la longitud del canal.), el estado del mismo según sigue:

- Separación de losetas de 0,1 cm a 4,0 cm	80%
- Losetas movidas o muy movidas	70%
- Losetas fuera de línea	25%
- Losetas que se mantienen en forma correcta	5%

Lo anterior se comprende porque el diseño del canal a base de losetas prefabricadas colocadas sobre el terreno natural directamente, no es apropiado para suelos tan inestables como los de la zona. Las losetas, individualmente, no han sufrido mayor deterioro, pero se ha venido rompiendo mucho el mortero que las unía debido al empuje de tierras y a los derrumbes. El trazado del canal se muestra en la figura N° 5.1

El Grupo para elevación desde la Laguna Chungará al Canal, se encuentra en las bodegas del Campamento Chungará de la Dirección de Riego. Los transformadores, cables y todos los elementos necesarios estarían en bodega de la ENDESA (Ver Sección E-3, Tomo II, Doc. Trab.).

La postación (postes de madera) se encuentra colocada en algunos tramos y acopiado a lo largo del camino internacional.

El muelle enrocado que se interna en el lago, frente al Km. 16.150, para instalar la caseta de maniobras, se encuentra bajo un metro de agua.

V.2. Hidrología de la Laguna Chungará
(Doc. Trab. B-2)

Laguna Chungará recibe aguas de una hoya cerrada de aproximadamente 260 Km², cuyas alturas máximas pasan los 6000,0 mts. ubicada entre los paralelos 18°10' y 18°29' junto a la frontera chileno-boliviana. Los afluentes superficiales son el río Chungará, las vertientes Ajata y Mal Paso y el estero Sopocalane. No existen salidas superficiales de la laguna; las salidas de agua se producen por evaporación y por filtraciones subterráneas, en tanto que los aportes, además de los referidos superficiales, provienen de precipitación directa sobre el espejo de aguas, escurrimientos superficiales y probablemente de origen subterráneo.

V.2.1. Análisis General.

De todos los aportes, el que se puede determinar mejor es el correspondiente a precipitación. A partir de ésta, del área de la hoya, de las mediciones de evaporación, del área del espejo de aguas y del estudio de las estadísticas de la cota de la laguna, se intentó determinar el aporte neto de la hoya y la cantidad de agua perdida por filtraciones; finalmente se llegó a definir que el valor promedio del volumen total aportado por la hoya a la laguna es de 21.473.000 m³ anuales, al considerar todo el período en el cual se dispone de antecedentes, valor que varía a 21.349.600 m³ si se descartan valores extremos de la estadística.

Para las fugas desde la laguna se definió la expresión

$$F = 6.500.000 (H - 4517) (m^3)$$

la que permite relacionar el volumen de pérdidas

con la cota del espejo de aguas; en ella se refleja la condición física de la laguna, para la cual, a partir de la cota 4517 aprox., las pérdidas comienzan a ser importantes.

V.2.2 Aportes Superficiales.

Corresponden a los transportados por el río Chungará y las Quebradas Ajata y Mal Paso.

Interesa determinar el caudal específico en cada cauce, a fin de establecer la conveniencia de realizar obras de toma en ellos. Para definirlos se disponía de algunos valores de caudal medio mensual y aforos instantáneos con cierta periodicidad en río Chungará, pero estos valores culminan el año 1973. Para las quebradas sólo se disponía de aforos instantáneos.

Con el propósito de verificar los valores calculados se trazaron gráficos que relacionan dichos valores con la precipitación anual. Se concluyó que existe una relación directa entre los volúmenes aportados por los cauces y la precipitación anual de la hoya.

Con esta última conclusión es posible determinar el valor de los aportes en los años en que no existen estadísticas, conociendo el valor de la precipitación anual.

Sin embargo, se debe destacar que a pesar de la dependencia de los volúmenes superficiales aportados por el río Chungará y las Quebradas Ajata y Mal Paso, con la precipitación del año correspondiente, el aporte total de la hoya de la Laguna Chungará es aproximadamente constante y por lo tanto independiente de la precipitación.

Una probable explicación de este fenómeno puede ser el hecho que las hoyas drenadas por dichos cursos naturales representan alrededor del 50% del total de la hoya aportante de la laguna.

Es probable que el aporte del resto de la hoya sea afectado por otros factores climáticos, además de la precipitación, que provoquen que el aporte total tenga un valor relativamente parejo en los diferentes años. Por otra parte, es posible que los recursos se infiltren y lleguen a la laguna en forma de aporte subterráneo, que por su mayor inercia, no tienen una relación directa con la precipitación del año en que se producen dichos aportes (Véase "Hidrogeología en capítulo III).

V.3. Simulación Hidrológica del Aprovechamiento de la Laguna Chungará (Doc.Trab.B-3).

A fin de apreciar el efecto que tendría en la laguna el bombeo de agua, para ser utilizada en el valle de Azapa, se ha efectuado un balance hidrológico simulado en el cual se ha considerado como pérdida artificial el volumen que se emplearía para suplir el déficit de riego.

En el balance, se consideran como entradas a la laguna el aporte total de la hoya y el aporte directo de la lluvia sobre el espejo de agua, siendo las salidas, la evaporación, las fugas subterráneas y el bombeo del agua requerida en el riego del valle.

Para el aporte de la hoya, se ha considerado el valor promedio de los aportes del período en el cual se conoce este valor, cuadro Nº 3 de la Hidrología Chungará (Doc. de Trab. B-2).

Se efectuaron 2 simulaciones hidrológicas de la Laguna Chungará. En la primera se consideró sólo la demanda del área de riego de 1979 (2221 há); en la segunda se incluye el Alto Ramírez con lo cual el área de riego aumenta a 2.494,3 há.

De la simulación se concluye que:

La simulación que considera sólo las demandas del área de riego de 1979 (2221 has) muestra que la Laguna Chungará es capaz de suplir el déficit de agua para esa superficie de riego, logrando estabilizarse después de 165 años (11 períodos) con un descenso permanente de 3,43 m de su espejo de agua. Esto se produce porque la disminución de la evaporación por efecto de la reducción del espejo de agua es suficiente para suplir este déficit de riego en el valle de Azapa.

Al incluir en las demandas de riego el sector Alto Ramírez (2494,3 Há), la laguna no consigue estabilizarse después de 150 años (10 ciclos consecutivos), habiendo descendido su espejo de agua 10,32 mts en forma permanente. Esto estaría indicando que el recurso de agua representado por el bombeo de la Laguna Chungará y su consiguiente disminución de evaporación no es suficiente para satisfacer el riego del valle de Azapa si se incluye en las demandas el sector del Alto Ramírez, lo que aumenta el área de riego a 2494,3 Há.

V.4. Aporte de los Afluentes Superficiales a la Laguna Chungará para suplir Déficit de Riego

Para definir la factibilidad de captar en forma directa los aportes superficiales a la Laguna Chungará,

construyendo el canal que bordea la Laguna, se comparó anualmente el volumen aportado por estos afluentes, (tanto del conjunto río Chungará más quebradas Ajata y Mal Paso, como de las quebradas por sí solas), con el déficit de riego en Azapa.

Esta comparación permite apoyar la decisión de habilitar o no la parte inicial del canal (Km. 0-16)

CUADRO N° 5.1

DEFICIT DE RIEGO DEL VALLE DE AZAPA

Año Hidrológico	Déficit de riego Azapa x10 ⁶ m ³	Volumen total aportado los 3 afluentes x10 ⁶ m ³	Déficit remanente x10 ⁶ m ³	Volumen aportado por las quebradas Ajata y Mal Paso x10 ⁶ m ³	Déficit remanente descontando el aporte de las quebradas solamente x 10 ⁶ m ³
1964-65	18,68	8,4	10,25	0,92	17,76
65-66	24,24	6,8	17,40	0,42	23,83
66-67	21,02	7,1	13,87	0,48	20,53
67-68	5,73	7,4	-	0,84	4,89
68-69	8,18	8,0	0,12	0,63	7,55
69-70	13,48	8,8	4,62	0,55	12,93
70-71	12,56	9,2	3,31	0,60	11,95
71-72	1,03	12,4	-	0,95	0,08

Del cuadro anterior 5.1 se obtiene como conclusión que los volúmenes aportados por los afluentes son insuficientes, tanto de las quebradas como del conjunto



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
 AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
 FONOS 743732
 SANTIAGO

de afluentes.

Puesto que los aportes no cubren el déficit de riego del valle de Azapa, la construcción de la planta de bombeo debe realizarse de todas formas. Luego, el costo de construir el canal sólo es comparable con el ahorro de bombeo del volumen que éste aporte.

De esta manera, para conocer el máximo ahorro que puede obtenerse, se supone que la totalidad del volumen aportado por el río Chungará puede ser vaciado a través del canal.

En el cuadro Nº 5. 2 se presenta la energía de elevación ahorrada por la construcción del canal entre el Km. 0,0 y Km. 16,0.

(sigue)

CUADRO Nº 5.2

ENERGIA AHORRADA AL UTILIZAR EL AGUA DEL RIO CHUNGARA

Año Hidro- lógico	Volumen aporta- do en Chungará $\times 10^6 \text{ m}^3$	Energía (+) Ahorrada	
		en KWH $\times 10^3$	en pesos $\times 10^3$
1964-65	7,506	756,6	3.783,0
65-66	6,422	647,3	3.236,5
66-67	6,622	667,5	3.337,5
67-68	5,730	577,6	2.888,0
68-69	7,429	748,8	3.744,0
69-70	8,306	837,2	4.186,0
70-71	8,643	871,2	4.356,0
71-72	1,030	103,8	519,0

(+) Para una altura media de elevación dinámica aproximada de 28 mts.

Ahorro promedio anual considerando los años no deficitarios 1.740.000 \$/año (15 años).

Este valor anual obtenido puede ser traducido a la inversión inicial para la construcción de un canal, con una tasa de interés del 12% con una vida útil de 30 años y que asciende a US\$ 360.000. Una inversión en la construcción del canal (Km 0,0 al Km. 16,0) superior a esta cifra, no la hace rentable.

En esta evaluación debe tenerse en cuenta que se ha supuesto la total conducción de un recurso natural no regulado, el cual, en circunstancias normales no entraría

en la capacidad de conducción del canal en su totalidad, siendo aprovechable sólo una parte. Lo anterior indica que la cifra entregada corresponde a un valor máximo, utilizable sólo como comparación de factibilidad.

V.5. Estudio de Alternativas para la Habilitación del Canal Chungará

El estudio de alternativas tiene por objeto evaluar diversas alternativas de habilitación, al nivel de anteproyecto, recomendando la alternativa que resulte más conveniente a través de una comparación de los costos de cada una.

V.5.1. Bases de Diseño.

El Canal Chungará tiene varios tramos en los cuales no existe deterioro, o éste es pequeño; además, dentro de su trazado, se incluye un túnel en buen estado.

Lo anterior constituye una razón para no considerar la construcción de un canal a una cota más baja, por el costo que supone destruir y realizar nuevamente las obras mencionadas.

Otra razón adicional es que el canal se desarrolla en corte. Rebajarlo aumentaría considerablemente la excavación en material común y material rocoso.

Para una mayor comodidad en el desarrollo y presentación del estudio, y aprovechando que el túnel ya mencionado en lo precedente constituye un punto obligado de paso, se han separado los estudios de alternativas para la zona aguas arriba y para la zona aguas abajo del túnel.

V.5.2. Alternativas de Reparación para el Tramo de Aguas Arriba (AR)

Las alternativas para el tramo de aguas arriba son las siguientes:

- AR1 - Instalación de la planta de bombas en el Km. 16,0 y reparación entre el Km. 16,15 y el Km. 23,61 (entrada túnel) del canal actual.
- AR2 Construcción adicional a la reparación mencionada en AR1, del canal Chungará, entre la toma proyectada (Km.0,00) en el río Chungará, y el Km. 16,15, para evitar el bombeo de recursos equivalentes a los disponibles en el río Chungará y quebrada Mal Paso.
- AR3 Reparación del Canal Chungará, desde el Km. 21,44 hasta el Km. 23,161, vale decir, colocando la planta de bombas en el extremo nor-oeste de la Laguna Chungará.

V.5.3. Alternativas de Reparación para el Tramo de Aguas Abajo (AB)

- AB1 Reparación del canal Chungará desde el Km. 24,040, hasta el Km. 27,220, restituyendo el revestimiento.
- AB2 Reparación del Canal Chungará hasta el Km. 24,800 aproximadamente, vale decir, desde el fin del canal de hormigón revestido a la salida del túnel, hasta el canal de sección rectangular que se sitúa sobre el pretil, aguas abajo de la Laguna Medialuna. Desde ese punto se dejarán escurrir libres las aguas, para que se embalsen en la laguna Sin Nombre.

Desde esta laguna se pretende llevar el agua hacia la laguna Guacolla de alguna de las dos siguientes maneras:

- a) Cruzar el portezuelo Guacolla, en la cota del nivel actual de la Laguna Sin Nombre, mediante un túnel.
- b) Paraltar la Laguna Sin Nombre mediante los gastos afluentes, algunos metros, mientras se rebaja el portezuelo hasta permitir el paso de las aguas hacia Laguna Guacolla.

AB3. En esta alternativa no se repara el canal, sino que se permite que las aguas libremente escurran hasta embalsarse en la Laguna Sin Nombre; desde ese punto, las aguas se llevarán a Laguna Guacolla por cualquiera de las dos soluciones (a ó b) presentadas en AB2.

V.5.4. Evaluación Económica de cada Alternativa.

Para la determinación del costo de cada alternativa se utilizaron las informaciones obtenidas previamente respecto a la cubicación del movimiento de tierra en los tramos considerados; la longitud y el tipo de sección a usar en cada tramo a reponer, y los valores unitarios y globales para las obras asociadas que se presentan en la sección B.3.3 del tomo II de los documentos de Trabajo de la Instancia Final del Plan Maestro del Valle de Azapa.

(sigue)

Se presenta a continuación un cuadro resumen con los costos de todas las Alternativas:

Cuadro 5.3

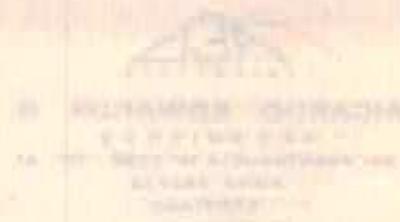
COSTO DE ALTERNATIVAS DE HABILITACION DEL CANAL CHUNGARA.

<u>Alternativa</u>	<u>COSTO US\$</u>
AR1	788.538,88
AR2	2.836.590,00
AR3	961.362,96
AB1	358.950,30
AB2-A	373.242,50
AB2-B	1.359.907,20
AB3-a	273.962,00
AB3-b	1.258.626,70

De donde resulta que la combinación de alternativas de reparación más barata es la AR1-(AB3-a), seguida de AR1-AB1, con costos totales estimados de:

US\$ 1.062.500,88 y US\$ 1.074.911,48 respectivamente.

Se recomienda entonces la construcción de las Alternativas AR1-AB3-a.



V.5.5 Descripción de la Reparación Elegida.

De acuerdo a la comparación ya efectuada en los capítulos anteriores de rehabilitación del Canal Chungará, la reparación económicamente más conveniente consta de los siguientes aspectos:

- a.- Instalación de la planta de bombas en el Km. 16,150, de acuerdo a las modificaciones efectuadas en Enero de 1976 al proyecto realizado por Solano Vega en Mayo de 1970, que consulta la construcción de un pozo o sentina para la colocación de las bombas al borde del espejo de aguas, eliminando la construcción del muelle o pedraplén.
- b.- Reparación del Canal Chungará, entre la planta de bombas y la entrada del túnel (Km. 16,15 a Km.23,61 aprox.), utilizando las secciones elegidas previamente y poniendo en servicio sectores del canal que se encuentren en buen estado dentro de ese tramo.

El detalle de dicha reparación se incluye en el cuadro "Movimiento de Tierras aguas arriba del Túnel", "Cuadro de Cubicaciones por tramo", punto B.3.2 Sección .B, tomo II de los Documentos de Trabajo, Instancia Final.

- c.- Construcción de un túnel para llevar las aguas desde Laguna Sin Nombre a Laguna Guacolla, a la cota 4510 aproximadamente, sin efectuar escarpes ni movimientos de tierra de consideración en las

laderas de la entrada o salida. Este túnel corresponde a aquél más largo estudiado para la comunicación entre ambas lagunas.

De acuerdo a lo anterior, el recorrido del agua será el siguiente:

Desde el lago Chungará, a través de la planta de bombas, hasta el inicio del canal, en el Km. 16,150 aproximadamente; luego por el canal, en secciones abiertas y cerradas según el tipo de terreno, hasta el canal de hormigón en la entrada del túnel (Km. 23,61).

Después del túnel, el agua se supone escurrirá libremente hasta llegar a embalsarse en la Laguna Sin Nombre; desde allí cruzará el portezuelo que separa a ésta de la Laguna Guacolla, por medio de un túnel de sección mínima, y llegará al punto en que estaba la entrega final del Canal Chungará.

La Laguna Guacolla está conectada con Cotacotani, lugar en que se regula la entrega hacia la Ciénaga de Parinacota, en la que está la toma origen del Canal Lauca; de esta manera las aguas se incorporan al regadío de Azapa y a la generación de la Central Chapiquiña.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2350 - OF. 41
FONO 743732
SANTIAGO

- 53 -

V.6 EVALUACION ECONOMICA DE LA REPARACION.

El costo total de la reparación se puede desglosar en tres partes, de acuerdo a los puntos a, b y c señalados en la descripción de sus aspectos relevantes.

Desde ese punto de vista el valor de los dos últimos puntos (el b y el c) ya han sido calculados en la anterior evaluación (Punto 5.5.4) de las Alternativas, y corresponde a:

Costo punto b	US\$ 788.539
Costo punto c	US\$ 273.962

El punto "a" corresponde al costo de la planta de bombeo del Km. 16,0; este costo resulta de la suma de los presupuestos para la planta de bombeo y para la línea de alimentación (sección B-5, tomo II, Doc. de Trab. - Instancia Final). Lo anterior da un total de US\$ 568.764.

Cabe hacer notar que estos valores corresponden al costo directo de construcción y no incluyen gastos generales y utilidades, así el costo directo de la rehabilitación es de:

<u>Item</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidad</u>	<u>Valor</u>
a)	Planta, bombas y líneas	Gl	568.764
b)	Reparación Kms 16,15 - 23,61	Gl	788.539
c)	Túnel sin Nombre-Guacolla	Gl	<u>273.962</u>
	Total General US\$		1.631.265

De donde se concluye que el costo estimado total para la rehabilitación del Canal Chungará, a fin de llevar los recursos del lago Chungará hasta el Valle de Azapa, asciende a US\$ 1.631.265.

V.7 ESTUDIO UNION EN TUNEL CHUNGARA-COTACOTANI.

Resulta interesante comparar la solución ya desarrollada y que incluye una planta de bombas, un canal y dos túneles cortos, con la solución propuesta en varias oportunidades y que consiste en un túnel que conecte laguna Chungará con laguna Cotacotani.

Las condiciones que debe cumplir este túnel serán las siguientes:

- cota de entrada mínima igual a la 4510, impuesta por la cota mínima del lago Chungará calculada en la simulación hidrológica.
- cota de salida mínima igual a la 4493,5, impuesta por la cota de entrega de la obra B en laguna Cotacotani.

Suponiendo una pendiente del 3‰ con el trazado señalado en la figura 5.2 y que deberá ser confirmado y elegido de acuerdo a una prospección geológica adecuada se obtiene una longitud total del túnel de 5.400 metros.

Para la evaluación económica, fué necesario determinar los valores unitarios por metro lineal de túnel.

Se consideró una sección mínima, de medio punto cuyo ancho basal es de 2,2 mts y de 2,5 mts de altura, fortificada y recubierta con hormigón armado y excavado en material de ladera.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 745732
SANTIAGO



CUADRO 5.4

COSTO POR METRO LINEAL DE TUNEL CHUNGARA-COTACOTANI

Item	Unidad	Cantidad	Precio Unitario US\$	Total x item US\$
Excavación en túnel	m ³	5,0	159,0	795
Hormigón C colocado en túnel	m ³	1,5	560,0	840
Armadura	Kg/ml	105	2,6	273
Fortificación	Kg/ml	160	3,8	608
Total General por metro lineal US\$				2516

Luego el costo total de túnel es de US\$ 13.586.400

Los precios del cuadro anterior estan amplificadas en un 50% por concepto de gastos generales y utilidades.

Las principales ventajas del túnel Chungará-Cotacotani son: no depender del suministro de energía eléctrica; servir como dren del terreno entre las lagunas; no tener maquinaria susceptible de fallas; tener una mantención mínima, y estar oculto, lo cual es ventajoso desde el punto de vista de impacto ambiental e incluso político.

CAPITULO VI. MEJORAMIENTO DE LA TOMA DEL CANAL LAUCA.

El Canal Lauca tiene su bocatoma ubicada en las nacientes del río Lauca en las ciénagas de Parinacota; su recorrido total supera los 28 Km hasta el túnel que descarga las aguas en la quebrada Chusmiza, de acuerdo al proyecto de riego.

Las aguas provenientes del canal Lauca pueden ser además utilizadas en la generación de energía en la central Chapiquiña, que tiene su captación en el túnel antes mencionado. Esta agua después de ser utilizada en la Central es descargada en la quebrada Cosapilla, uno de los cauces que dan origen al río San José, para ser empleadas en el riego del valle de Azapa.

Las demandas actuales de aguas para riego del valle de Azapa superarían las disponibilidades del recurso, si se vuelve a producir un ciclo seco similar al período 1964-1971; esto significa que se deben encontrar fuentes adicionales de recursos para suplir dichos posibles déficit.

Una forma de aprovechar recursos que actualmente se pierden es peraltar la bocatoma del Canal Lauca; de esta forma se permite el embalse de las aguas que rebalsan por el vertedero y su posterior aprovechamiento tanto en la generación de energía como en el riego del valle de Azapa.

En el estudio se presentan distintas alternativas de peralte, con sus respectivos análisis de beneficios y costos. Las alternativas consideran diferentes alturas y distintos materiales de construcción del peralte. Los beneficios que producirá el peralte son la mayor seguridad de riego en los períodos secos y la generación adicional de energía; dentro de los costos se considera el daño ecológico provocado por la inundación de los bofedales, que afectan directamente a los animales que se alimentan en dichos parajes, e indirectamente a la población dedicada a la crianza de éstos.

La alternativa elegida es el peralte de la barrera de la bocatoma en 60 cm. junto con la construcción de una pasarela de hormigón sobre la barrera peraltada de la bocatoma Lauca.

El costo de dicha obra asciende a la suma de \$ 1.987.621.

VI .1 Descripción de la Obra Actual
de la Bocatoma del Canal Lauca.

La bocatoma del Canal Lauca es una obra de hormigón armado que cuenta con 4 compuertas accionadas por sistemas de vástago, piñón y cremallera. De estas compuertas, dos desaguan al canal y dos al río Lauca, existiendo además un vertedero de 27,36 m de longitud que permite la descarga del exceso de agua acumulado en tiempos de crecidas.

La obra incluye además, muros laterales de 40 cm de espesor y aproximadamente 2,5 mts de altura, y radieres que se extienden 13 mts aguas abajo y aguas arriba del vertedero.

VI .2 Estudio de Alternativas para el
peralte de la Toma del Canal Lauca.

(Doc. de Trab. G-1)

Las alternativas consideradas para el peralte de la bocatoma procuran elevar el umbral del vertedero en 40, 60 y 80 cm sobre su cota actual.

Este peralte se estudia en dos tipos de materiales: madera y hormigón armado.

VI.3. Evaluación Beneficios para las Alternativas de peralte.

Para evaluar los beneficios que significan los distintos peraltes de la bocatoma, se debe conocer las posibilidades de aprovechar el agua embalsada en cada alternativa de peralte.

En el Cuadro N°6.1 se presenta el déficit de agua para riego en el valle de Azapa, considerando una superficie de riego de 2221 Hás. Estos valores fueron obtenidos utilizando el cuadro N° 5 del Documento de Trabajo 6.2 "Esquemas de Obras Hidráulicas", 1ª Instancia.

En el Cuadro N°6.2 se presenta el déficit de agua para ocupar todos los meses a plena capacidad la potencia instalada de la Central Chapiquiña.

Considerando la tasa de riego determinada por la oficina Ricardo Edwards G., se puede establecer que por cada 21.775 m³ adicionales es posible regar una Há de aquellas que perteneciendo al área de riego de 2221 Hás no podrían ser regadas en un año similar al considerado, por escasez de recurso.

En el Cuadro N°6.3 se evalúan los beneficios económicos para riego de las 3 alternativas de peralte en estudio. Para este análisis se supone que por cada hectárea regada se obtiene el incremento de beneficio neto de \$ 15.970 (estudio Agro-económico, Sección E-2, tomo II, Documentos de Trabajo, Instancia Final).

Para evaluar el beneficio por generación de energía hidroeléctrica en la Central Chapiquiña, se considera que cada m³ aprovechado representa 2,22 KWH de generación

CUADRO N° 6.1

VOLUMEN EQUIVALENTE AL DEFICIT DE RINGO
EN EL VALLE DE AZA.A

(x 10³m³)

Año Hidrológ.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1964-65	1851	2641	1659	257	692	1493	3320	2652	1931	969	1286	1032
65-66	2081	2791	1667	2017	2833	3432	3351	3077	1542	886	1503	967
66-67	1908	2766	1669	2449	3437	2063	2608	2452	648	140	480	430
67-68	1407	2177	1024	1337	694	1869	2115	2646	578	-	-	-
68-69	1327	1428	148	1301	1151	894	1921	1475	417	-	-	-
69-70	1011	1545	734	1060	2180	2346	2532	2094	1083	187	-	49
70-71	1423	2252	1306	1475	2206	-	1903	2211	1047	62	145	365
71-72	1187	2019	822	1115	-	-	-	897	656	-	-	-
72-73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73-74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75-76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76-77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CUADRO N°6.2

VOLUMEN EQUIVALENTE AL DEFICIT PARA GENERACION
DE ENERGIA EN LA CENTRAL CHAPIQUILLA

(x 10³ m³)

Año Hidrológico.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.
1967-68	1477	1452	1452	1426	1309	1439	1555	1763	1659	1115	881	985
68-69	1192	985	1063	1037	1037	1166	1192	1192	1503	1426	1426	1633
69-70	1477	1814	1711	1711	1814	1814	1685	1685	1685	1555	1374	1348
70-71	1685	1866	1996	1788	1685	804	1218	1529	1402	1218	1374	1555
71-72	1555	1788	1711	1685	518	1426	829	1166	1503	1555	1348	1296
72-73	1374	1503	1244	1426	1348	829	700	1115	2022	2255	441	907
73-74	959	1089	1011	985	492	518	441	674	570	544	596	467
74-75	778	829	674	674	192	-	52	648	492	270	316	454
75-76	415	544	443	244	76	156	544	700	456	627	295	161
76-77	433	848	682	570	389	228	518	311	246	215	220	-

1976-10-23

ESTADISTICA DE CHILE
CENTRO NACIONAL DE ESTADISTICA



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



adicional. Para calcular la energía adicional generada se debe considerar que cada KWH generado en Chapiquiña significa un ahorro de generación en la Central Térmica de Arica; por lo tanto cada KWH adicional generado en Chapiquiña significa para ENDESA un ahorro de \$ 5,00 *

CUADRO N°6.3
RESUMEN BENEFICIOS PERALTE BOCATOMA
CANAL LAUCA EN 10 AÑOS

Peralte cm	Prioridad	Volumen aprovechado m ³	Volumen embalsado ³ (miles de m ³)	Beneficio (miles de pesos)
40	Prioridad riego	5.999.000	469,0	100.882,2
	Prioridad energía	9.925.000		111.226,4
60	Prioridad riego	7.440.000	730,0	131.822,2
	Prioridad energía	13.194.000		147.715,9
80	Prioridad riego	8.182.000	1.015,0	155.777,0
	Prioridad energía	15.333.000		171.657,1

* Se debe considerar que cada KWH extra generado en Chapiquiña significa un ahorro de generación en la central Térmica de Arica que utiliza motores Diesel; 1 lito de petróleo sirve para generar 3,5 KWH y su precio en Arica es \$ 17,395 (IVA incluido), por tanto cada KWH extra generado en Chapiquiña significa para ENDESA un ahorro de \$ 5,0.



VI .4. Evaluación de Costos para distintos peraltes Bocatoma Lauca.

Con el objeto de obtener la solución económicamente más factible, se estudia el peralte de la bocatoma en distintos materiales.

Las alternativas estudiadas son el peralte de la bocatoma en madera y el peralte en hormigón armado.

RESUMEN DE COSTOS PERALTE BOCATOMA CANAL LAUCA. *

Peralte cm	Barrera madera pesos	Barrera hormigón pesos
40	367.300	356.800
60	541.900	517.100
80	656.900	615.100

* Estos costos son en Costo Directo no incluyendo gastos generales ni utilidades y se utilizan sólo para la comparación de alternativas de Peralte de la barrera de la Bocatoma del canal Lauca.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

VI.5 Proyecto Definitivo del Peralte
de la Bocatoma del Canal Lauca.

En el capítulo anterior se presentan algunas alternativas para el peralte del vertedero de la Bocatoma como una forma de aprovechar recursos que actualmente se pierden.

Entre las alternativas, la Dirección de Riego aprobó la confección del Proyecto Definitivo de aquella que consideraba un peralte de 60 cm., en hormigón armado y que incluía la construcción de una obra anexa, como es la pasarela sobre el vertedero.

En la Sección C-2 de los Documentos de Trabajo, Tomo II, Instancia Final, se presentan las bases de diseño, memoria de cálculo, planos de proyecto, especificaciones técnicas de construcción y presupuesto estimado de la obra.

El costo de dicha obra asciende a \$ 1.927.528 y se desglosa en el siguiente cuadro de cubicación y presupuesto.

CUADRO N°6.4
PRESUPUESTO DEL PERALTE

Item	Descripción	Uni- dad	Canti- dad	Precio Unít.	Total
1	Hormigón Clase "C"	m ³	57,0	24.116	1.374.612
2	Aceró Refuerzo (A44-28H)	kg	1.428,0	141	201.348
3	Baranda Ø 2"	kg	1.372,0	226	310.072
4	Demolición hormi- gón existente	m ³	13,0	3.192	<u>41.496</u>
TOTAL PRESUPUESTO					1.927.528

CAPITULO VII. RECURSOS POR BOMBEO DESDE EL RIO LAUCA.

Con el objeto de dar mayor seguridad de riego en los períodos secos, se estudia la factibilidad de bombear agua desde el río Lauca al Canal del mismo nombre, en los lugares denominados Juan de la Cruz o Huntume y Ancochalloane.

El estudio de ambas plantas de bombeo se hace como alternativa o complemento de la elevación de aguas del Lago Chungará al Canal Chungará y la reparación de este último.

VII.1. Estudio de una Planta de Bombas en Huntume (Doc. Trab. D-1).

La actualización de los estudios para la construcción de una planta en el sector denominado Huntume o Juan de la Cruz, tiene por objeto establecer ventajas o desventajas que representen la captación de estos recursos como complemento de la elevación de agua desde el lago Chungará al Canal homónimo.

Se ha considerado que los recursos bombeados en Huntume se almacenarán en el acuífero del valle de Azapa, el que actuaría dentro del año como embalse regulador, por lo que la planta funcionaría todo el año bombeando todo el recurso disponible, limitada por su capacidad.

Para establecer el régimen de funcionamiento de la central de bombeo, se determinó elevar todos los recursos que pasen por el río, teniendo como condiciones el satisfa-



cer el déficit de riego y, si los recursos alcanzan, satisfacer también el déficit de energía. Si la capacidad de bombeo de la planta es menor que el déficit de riego, se bombea todo el recurso disponible.

VII.1.1 Estudio de distintas Alternativas de Capacidad de Elevación en Huntume

Con el objeto de determinar la capacidad óptima a instalar en Huntume, se determina el costo total para distintas capacidades de bombeo. Este costo se divide en dos partes:

Costos de Instalación y Costos de Operación.

A) Costos de Instalación.

A fin de obtener una estimación de la inversión inicial necesaria para poner en funcionamiento la planta de bombas, se consideró el esquema general y ubicaciones de la planta de bombas diseñada en 1968 en Huntume.

B) Costos de Operación.

El costo de operación de las plantas de bombeo está dado por el costo de elevación de los volúmenes elevados en el período de 14 años,

Los volúmenes elevados se obtienen, para cada capacidad de planta, considerando para cada mes el caudal medio mensual a no ser que dicho caudal sea:

- a) Mayor que la capacidad de planta, en cuyo caso se considera la capacidad de planta.

b) Mayor que el déficit de riego, en cuyo caso se considera el déficit de riego.

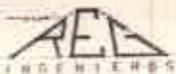
Estos volúmenes se obtienen de los cuadros 4.4.1 al cuadro 4.4.4 del punto 4 del Capítulo D.1 de los Documentos de Trabajo, Instancia Final del Plan Maestro del Valle de Azapa, y se muestran en el Cuadro N° 7.1

CUADRO N° 7.1

CAUDALES ELEVADOS PARA CADA CAPACIDAD DE PLANTA
(lts/s)

Año Hidrológ.	Capacidad de Planta			(l/s)
	541	456	343	223
1963-64	2728	2666	2440	2091
64-65	2207	2207	2098	1826
65-66	1502	1502	1502	1412
66-67	2017	2017	1978	1733
67-68	2442	2302	2070	1663
68-69	1950	1915	1800	1478
69-70	1725	1725	1688	1446
70-71	1914	1868	1761	1554
71-72	923	923	923	923
72-73	-	-	-	-

El costo de elevación actualizado para el período considerado, con una tasa de actualización del 12% anual, se muestra en el cuadro N° 2. El método de cálculo de estos valores se presenta en el punto D.1.4. de la Sección D de los Documentos de Trabajo, Instancia Final del Plan Maestro del Valle de Azapa.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO



CUADRO Nº 7.2

Capacidad de Planta l/s	Costo total de operación actualizado al 12% anual US\$
541	649.696
456	625.913
343	573.480
223	485.948

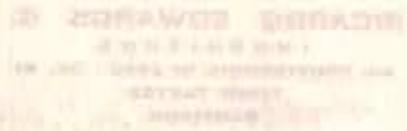
En el cuadro Nº 7.3 se presentan los costos totales (que incluyen instalación y operación), para cada capacidad de planta.

CUADRO Nº 7.3

COSTO TOTAL ACTUALIZADO PARA EL PERIODO DE ESTUDIO

Capacidad de Planta l/s	Costo total US\$
541	1.380.713
456	1.320.492
343	1.221.722
223	1.089.335

Este último cuadro constituye el resumen de costos a considerar.



C) BENEFICIOS OBTENIDOS PARA CADA CAPACIDAD DE PLANTA.

El beneficio que se puede obtener se calcula como una combinación de los mayores ingresos obtenidos por cada hectárea regada en el valle, en los períodos de escasez, y de la economía de energía producida por plantas que utilizan petróleo.

a) Beneficio por Riego del Valle de Azapa.

Considerando la tasa de riego determinada por la oficina Ricardo Edwards G., se establece que por cada 21.775 m³ adicionales en el valle, es posible regar una hectárea de aquellas que perteneciendo al área de riego de 2221 Hás, no pueden ser regadas por escasez de recurso.

Para el análisis de beneficios se supone que por cada hectárea regada se obtiene un beneficio neto de \$ 15.970 (Sección E-2, tomo II, Documentos de Trab. Instancia Final).

El beneficio total por concepto de riego en el valle de Azapa se presenta en el Cuadro Nº 7.4; la obtención de estos valores se explica en el punto D.1.4 de los Documentos de trabajo.

CUADRO Nº 7.4

BENEFICIO ACTUALIZADO POR RIEGO DEL VALLE DE AZAPA

<u>Capacidad de Bombeo</u> <u>l/s</u>	<u>Beneficio por Riego</u> <u>US\$</u>
541	527.382
456	519.035
343	491.541
223	426.367

* Beneficios actualizados para un período de 14 años con una tasa de actualización del 12% anual



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

b) Beneficio por Generación de Energía.

Para evaluar los beneficios que se logran por generación de energía en la Central Chapiquiña, se considera que cada m³ aprovechado representa 2,22 KWH adicionales generados en la Central. Para estimar el beneficio se tiene que por cada KWH generado es posible que ENDESA ahorre \$ 5,0 por concepto de menos generación de la Central Térmica de Arica; todo esto sin costo adicional, por cuanto usa la capacidad instalada de Central Chapiquiña.

En el Cuadro N°7.5 se presentan los caudales utilizados para la generación de energía en la Central.

Estos caudales se obtienen suponiendo que toda el agua elevada y que se utilizará para el riego del valle de Azapa, pasa por las turbinas de la Central Chapiquiña, a no ser que el agua bombeada sea mayor que el déficit en Chapiquiña en cuyo caso se considera sólo el valor del déficit.

La forma de obtener estos caudales se presenta en el punto D.1.5 de los Documentos de Trabajo, Tercera Instancia.

DESCRIPCIÓN	CAUDAL (m ³ /s)
1	100
2	200
3	300
4	400
5	500

CUADRO Nº7.5

CAUDALES UTILIZADOS EN HUNTUME PARA LA GENERACION DE
ENERGIA ELECTRICA EN CHAPIQUINA (l/s)

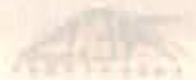
Año Hidrológ.	Capacidad de Bombeo l/s			
	541	456	343	223
1963-64	2728	2666	2440	2091
64-65	2207	2207	2098	1826
65-66	1502	1502	1502	1412
66-67	2017	2017	1978	1733
67-68	2226	2171	2052	1663
68-69	1919	1915	1800	1478
69-70	1725	1725	1688	1446
70-71	1690	1684	1691	1554
71-72	923	923	923	923

El beneficio total por concepto de generación de energía se presenta en el cuadro Nº 6; la obtención de estos valores se explica en el punto D.1.5 de los Documentos de Trabajo, Tercera Instancia.

(sigue)



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

CUADRO N° 7.6

BENEFICIO TOTAL ACTUALIZADO (+)

POR CONCEPTO DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN CHAPIQUINA

<u>Capacidad de Bombeo l/s</u>	<u>Beneficio Energía US\$</u>
541	7.761.522
456	7.694.984
343	7.363.697
223	6.415.639

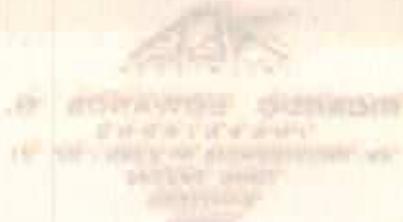
(+) Beneficio actualizado a valor presente
usando una tasa del 12 % en el período
considerado de 14 años (ciclo seco-húmedo)

D. CAPACIDAD DE PLANTA PARA HUNTUME.

Para determinar la capacidad de planta más adecuada para Huntume, se determinó la capacidad de bombeo para la cual los costos marginales se igualan a los ingresos marginales.

La determinación de las ecuaciones de costos e ingresos marginales se encuentra en el Anexo 3, de la Sección D del tomo II de los documentos de trabajo, Instancia Final, y se realizó a base de los Costos e Ingresos presentados en los puntos anteriores.

A base del estudio, se obtiene que la capacidad a instalar en Huntume es de 504 l/s, caudal cuya probabilidad de ocurrencia corresponde a un 12%.



VII.2 Estudio de una Planta de Bombeo en Ancochalloane.

El posible emplazamiento de la Planta de Bombeo Ancochalloane se encuentra ubicado inmediatamente aguas abajo de la confluencia del Estero Ancochalloane con el río Lauca. De tal forma que la planta de bombas aprovecha las aguas provenientes del estero Ancochalloane y los afloramientos que se producen en el río Lauca entre Huntume y la planta de bombeo que se considera ahora.

VII.2.1 Caudales Medios Anuales.

Considerando que en el estero Ancochalloane no existen estadísticas de caudales, la forma usada para estimar el caudal medio anual en Ancochalloane es suponiendo que la producción específica del estero es similar a la producción específica del río Lauca.

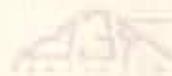
El proceso de obtención de la estadística se muestra en el punto D.2, del Tomo II de los Documentos de Trabajo, Instancia Final.

CUADRO Nº7.7

CAUDALES MEDIOS ANUALES EN ANCOCHALLOANE

<u>Año Hidrológ.</u>	<u>Q_A (u) [l/s]</u>
1964-65	184
65-66	125
66-67	168
67-68	252
68-69	215
69-70	166
70-71	217
71-72	347

Q_A(u) = Caudal en Ancochalloane (útil)



RICARDO EDWARDS G.
 INGENIEROS
 AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 51
 FONOS 743732
 SANTIAGO

RICARDO EDWARDS G.
 INGENIEROS
 AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 51
 FONOS 743732
 SANTIAGO

VII.2.2 Déficit de Riego en el Valle de Azapa.

Considerando que el área de riego se incrementa con el sector Alto Ramírez, en total se tiene una superficie de riego de 2.494,3 Hás. y una demanda de agua potable en Arica de 550 l/s (año 1985).

El déficit de agua es resuelto en parte por los recursos aportados por la laguna Chungará y por los recursos aportados por la planta de bombas de Huntume, quedando un déficit remanente algunos años el cual puede ser aminorado por la planta de bombas de Ancochalloane.

Lo anteriormente expuesto se muestra en el Cuadro Nº 7.8 obtenido del punto D.2 del Tomo II de los Documentos de Trabajo, Instancia Final.

CUADRO N.º 7.8

<u>Año</u>	<u>Superficie (Hás.)</u>	<u>Demanda (l/s)</u>
1981	2.494,3	550
1982	2.494,3	550
1983	2.494,3	550
1984	2.494,3	550
1985	2.494,3	550
1986	2.494,3	550
1987	2.494,3	550
1988	2.494,3	550
1989	2.494,3	550
1990	2.494,3	550

(Fuente: Documentos de Trabajo, Instancia Final)

CUADRO N° 7.8

VOLUMEN AFORCADO POR ANCOCHALLOANE

Año Hidrológ.	Déficit de Riesgo $\pm 1,1$ (x 10 ⁶ m ³)	Volumen requerido en Canal Lauca (x10 ⁶ m ³)	Volumen Chungará (x10 ⁶ m ³)	Huntume (x10 ⁶ m ³)	Aportado por Ancochalloane (x10 ⁶ m ³)
1964-65	21,44	23,02	17,75	5,72	-
65-66	26,33	28,29	23,09	3,89	1,31
66-67	23,49	25,04	20,02	5,23	-
67-68	9,93	10,37	5,46	6,24	-
68-69	12,20	12,93	7,79	5,05	0,09
69-70	17,06	18,16	12,84	4,47	0,85
70-71	15,77	16,56	11,96	4,96	-
71-72	4,32	4,45	0,98	2,39	1,08





RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2380 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO

VII.3. CONCLUSIONES

Dado que los caudales requeridos para absorber el déficit de riego en 1985, considerando una superficie de riego de 2494 Hás y una demanda de agua potable para la ciudad de Arica de 550 lt/seg, pueden ser cubiertos por los recursos disponibles en Ancochalloane, con una capacidad media instalada de 120 lts/seg. (que es la capacidad de proyecto de la planta de bombas en la década del 60) es razonable recomendar la actualización de ese diseño preliminar.

Es por lo anterior que se ha intentado evaluar el costo de instalación de esta planta, utilizando las cubriciones presentes en los planos de la obra y las relaciones entre la capacidad media (120 lts/seg) y los costos obtenidos con anterioridad para el kilowatt de potencia instalado en bombas para elevación.

Dicho costo alcanza a \$ 12.390.144 en pesos de Octubre de 1981.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 • OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



CAPITULO VIII.

COMPARACION DE ALTERNATIVAS Y ESTUDIO DE PRIORIDADES

La definición del Plan Maestro significa establecer la secuencia, la oportunidad, la inversión necesaria y la organización requerida para la construcción y administración de las obras destinadas a proveer nuevos recursos al riego del valle de Azapa.

Para efectuar lo anterior es necesario ordenar y calificar y, por lo tanto, comparar cada alternativa de nuevos recursos con cada una de las restantes. Con este objeto resulta conveniente definir parámetros que se puedan evaluar para todas y que reflejen las bondades y defectos de cada una. Los parámetros seleccionados son:

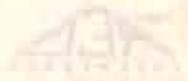
- a) Q_n : Los recursos que aporta, expresados como fracción porcentual del déficit de agua para riego y agua potable definido para el año 1985, con un área de riego de 2221 Hás y con una demanda de agua potable de 550 lts/seg, en un ciclo hidrológico de 14 años.
- b) I : Inversión inicial de la Alternativa.
- c) C_t : El costo total de la alternativa, en el cual se incluye su inversión inicial y un costo de operación actualizado con tasa 12%, durante un ciclo seco-húmedo de 14 años.
- d) B_n : El beneficio neto total actualizado (tasa 12%), obtenido en un período de 14 años, calculado como la suma de los ingresos adicionales que se obtienen por el aumento de los recursos de agua'

e) TIR :

Tasa interna de retorno del Proyecto, es la tasa de actualización que hace el Beneficio Neto Actualizado igual a 0, para el período seco-húmedo de 14 años.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
 AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
 FONO 745732
 SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
 AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
 FONO 745732
 SANTIAGO

COMPARACION DE ALTERNATIVAS Y ESTUDIO DE PRIORIDADES

que provee la alternativa; incluye beneficios agrícolas y de generación de energía.

d) R_e : Rentabilidad específica del proyecto y del período; se calcula dividiendo el Beneficio neto total por el costo total ya calculado.

Para efectuar la selección se necesitan criterios y criterios y, por lo tanto, conviene cada alternativa de nuevos recursos con cada una de las alternativas. Con esta opción, resulta conveniente definir parámetros que se puedan evaluar para todas y que califiquen las bondades y deficiencias de cada una. Los parámetros seleccionados son:

a) Los recursos que afectan, expresados como fracción porcentual del beneficio de agua para riego y agua potable del total del agua en el año 1980, con un área de riego de 1231 HAs y con una demanda de agua potable de 320 l/s, se unen en las siguientes alternativas:

- 1) Inversión inicial de la alternativa.
- 2) El costo total de la alternativa, en el cual se incluye la inversión inicial y un costo de operación actualizado con una tasa de interés de 15%, durante un ciclo económico de 15 años.
- 3) El beneficio neto total actualizado (tasa 15%), obtenido en un período de 15 años, considerando los ingresos adicionales que se obtienen por el aumento de los recursos de agua.

Para el estudio de rentabilidad del proyecto, se la tasa de actualización que tiene el beneficio neto actualizado de 1980 a 0, para el período económico de 15 años.



CUADRO N° 8.1
CUADRO DE EVALUACION DE ALTERNATIVAS

Descripción de la alternativa	Q _n	I US\$	C _o US\$	B _n US\$	R _e	TIR
1. Rehabilitación Obra B. Lag. Cotacotani	7%	201.215	201.215	1.409.513	7,00	610%
2. Construcción Planta bombas y rep. canal Chungará.	75,4%	3.425.659	4.961.483	15.516.330	3,13	150%
3. Peralte y pasarela de la toma Canal Lauca.	10,3%	49.424	49.424	1.463.847	29,62	738%
4. Planta de bombas Huntume	41,7%	1.328.104	1.887.472	4.966.417	2,63	108%
5. Plantas de bombas Ancochalloane.	27,7%	1.264.528	1.684.019	3.785.588	2,25	81%
6. Reparación canal Lauca para Q = 1,5 m ³ /s.	23,1%	398.000	398.000	3.505.435	8,81	180%
7. Túnel Chungará Cotacotani.	75,4%	13.586.400	13.586.400	7.000.702	0.52	29%



Hipótesis en la Confección de la Evaluación de Alternativas.

Para el cálculo de los recursos aportados de cada alternativa, se consideraron los aportes en el período seco del ciclo de 14 años.

Para el cálculo del porcentaje del déficit, se dividen los valores de los recursos aportados de cada alternativa (valores obtenidos del tomo II de los Documentos de Trabajo, Instancia Final) por el valor del déficit total presentado en el Cuadro N°10 del capítulo 6 del tomo III de los Documentos de Trabajo, Primera Instancia.

En el cálculo del costo total de las obras: Rehabilitación Obra "B" Laguna Cotacotani y Peralte Bocatoma Canal Lauca, se consideraron los presupuestos oficiales entregados en el Tomo III de los Documentos de Trabajo.

En las otras alternativas se amplificaron los valores de los presupuestos por 2,10 por concepto de Gastos Generales y se sumaron los costos de operación y mantención actualizados.

En el beneficio neto se considera el beneficio total aportado por concepto de beneficio agrícola y generación de energía, calculado para cada alternativa en los Documentos de Trabajo, Tomo II, menos el costo de inversión y el costo de operación y mantención con una tasa de actualización del 12% anual.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

Del cuadro anterior se puede concluir que las alternativas 1 y 3, que corresponden a la rehabilitación de la Obra B de entrega en Laguna Cotacotani y al peralte de la barrera del Canal Lauca, son los proyectos de mejor relación beneficio-costos y por lo tanto los primeros que deben ser llevados a construcción.

Del resto, tanto la planta de bombas de Chungará y su canal asociado, como las plantas de bombeo en Ancochalloane y Huntume tienen relaciones beneficio-costos muy similares, pero la alternativa Chungará se presenta como mucho más conveniente para su pronta realización por los siguientes aspectos:

1. Chungará resuelve un 75,4% del déficit, contra un 69,38% de Huntume y Ancochalloane combinadas, y su relación beneficio-costos es ligeramente mejor.
2. Chungará provee una regulación interanual sólida y estable; en cambio los ríos Lauca y estero Ancochalloane no ofrecen regularidad en sus aportes.
3. La calidad de la información, según la cual se ha realizado el presente estudio, es de mayor confiabilidad para la laguna Chungará, por lo menos en el aspecto hidrológico, el cual resulta fundamental. Las estadísticas en Ancochalloane y Huntume son incompletas y han sido rellenadas y completadas a fin de poder evaluar su comportamiento, todo lo cual implica un riesgo al decidirse por ellas.

Respecto de la reparación del Canal Lauca, resulta muy poco conveniente desde el punto de vista económico,

por lo cual podría abordarse como parte de las labores de mantenimiento de obras, una vez puesto en marcha el plan y creada una organización apropiada.

Según lo anterior, la secuencia de construcción de obras sería la siguiente:

1. Construcción del peralte de la

Bocatoma Canal Lauca:

Inversión inicial	US\$	49.424
Porcentaje déficit cubierto con la obra		10,3%
Porcentaje déficit cubierto acumulado		10,3%

Plazo: inmediata construcción

2. Rehabilitación Obra "B" de

Laguna Cotacotani:

Inversión inicial	US\$	201.215
Porcentaje y déficit cubierto con la obra		7,0%
Porcentaje y déficit cubierto acumulado		17,3%

Plazo: inmediata construcción

3. Construcción Planta Bombas y

Reparación Canal Chungará:

Inversión inicial	US\$	3.425.659
Costo operación anual promedio en el período seco de 8 años aproxim.	US\$	279.086
Costo operación actualizado al 12% anual en un ciclo de 10 años	US\$	1.535.824



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA N° 2930 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO



Porcentaje déficit cubierto por la obra	75,4%
Porcentaje déficit cubierto acumulado	92,70%
Plazo: según fondos, indispensable en el corto plazo.	

Con las tres obras anteriores se resuelve un porcentaje muy importante (92,7%) del déficit proyectado al año 1985, para 2221 Hás y con 550 lts/seg. de consumo de agua potable; por lo tanto el resto de las obras puede mantenerse en espera de condiciones más desfavorables. En ese caso, el posible orden de construcción sería:

4. Construcción de la Planta de Bombas en Huntume:

Inversión inicial	US\$ 1.328.104
Costo operación anual promedio en el ciclo seco de 8 años aproximad.	US\$ 109.495
Costo operación actualizado al 12% anual en un ciclo de 14 años	US\$ 559.381

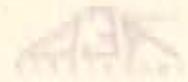
5. Construcción de la Planta de Bombas en Ancochalloane:

Inversión inicial	US\$ 1.264.528
Costo de operación anual promedio en el ciclo seco de 8 años aproxim.	US\$ 110.000

(sigue)



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2350 - OF. 61
FONO 745732
SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2350 - OF. 61
FONO 745732
SANTIAGO

Costo de operación actualizado
al 12% anual en un ciclo
de 14 años. US\$ 546.451

6. Reparación Canal Lauca * :
para $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ US\$ 398.000

* El costo correspondiente a la reparación del Canal Lauca se ha definido a base de un proyecto de mantenimiento del Canal proporcionado por la Dirección de Riego de Arica.

En el transcurso del estudio que definió el Plan se realizó una evaluación para la reparación del canal Lauca, en este estudio el costo de reparación del canal asciende a US\$ 3.522.241.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

CAPITULO IX. PLAN MAESTRO DE ACCION Y ORGANIZACION REQUERIDA

En el capítulo anterior se definió cuál era la mejor secuencia de construcción de las obras para la captación de nuevos recursos de agua que permitieran resolver el déficit previsto en el valle de Azapa.

En el presente capítulo se establecerán cuáles son las fechas apropiadas para realizar estas obras, a medida que aumenta el consumo de agua.

De esta manera se llega a estructurar un calendario de obras según el nivel de consumo que se desea satisfacer. Es así que se presentan dos posibles cronogramas, uno para el caso de 2221 Hás de riego y otro para 2494 Hás.; ambos análisis llegan hasta el año 2000 y consideran el consumo de agua potable.

Dentro de los cronogramas se incluye el tiempo necesario para el desarrollo de los proyectos definitivos de cada obra, así como una recomendación para el estudio hidrológico de los ríos Lauca y Ancocholloane, estudios indispensables para un adecuado diseño definitivo de las plantas de bombeo sobre el río Lauca, y también para una adecuada definición de la fracción de las cuencas del Lauca que se aprovechan en el lado chileno.

En la segunda parte de este capítulo se entregan los criterios fundamentales que se deben considerar al formar la organización que deberá llevar a cabo el Plan, en la secuencia establecida y en las fechas propuestas.

IX .1 Programa de Estudio y Construcción de Obras.

El Plan Maestro debe definir las fechas en las cuales es necesario introducir una nueva obra al sistema de riego del valle de Azapa.

De acuerdo a lo establecido en el capítulo 8, la secuencia lógica de puesta en servicio de nuevas obras es:

<u>Obra Nº</u>	<u>Descripción</u>
1	Peralte bocatoma Canal Lauca
2	Rehabilitación obra "B" Laguna Cotacotani
3	Planta de bombeo y Canal Chungará
4	Planta de bombeo Huntume
5	Planta de bombeo Ancocholloane
6	Mejoramiento del Canal Lauca

A. Análisis para 2221 Hás de riego.

De acuerdo a la figura 9.1 adjunta, para la demanda combinada de riego y agua potable del año 1985, se debe poner en servicio las obras 1, 2 y 3, las cuales cubren el déficit hasta el año 1992.

También, de acuerdo a dicho cuadro, en dicho año 1992 es necesario incorporar la Central de bombeo Huntume. En ese punto el déficit estaría cubierto hasta el año 1998, fecha en la cual se incorpora la Central Ancocholloane, la cual es suficiente hasta el año 2001.

El mejoramiento del canal Lauca debe hacerse por etapas como labor de mantenimiento constante.

FIGURA Nº91
DEFICIT DE AGUA EN EL VALLE DE AZAPA
(AREA DE RIEGO 2221 Has.)

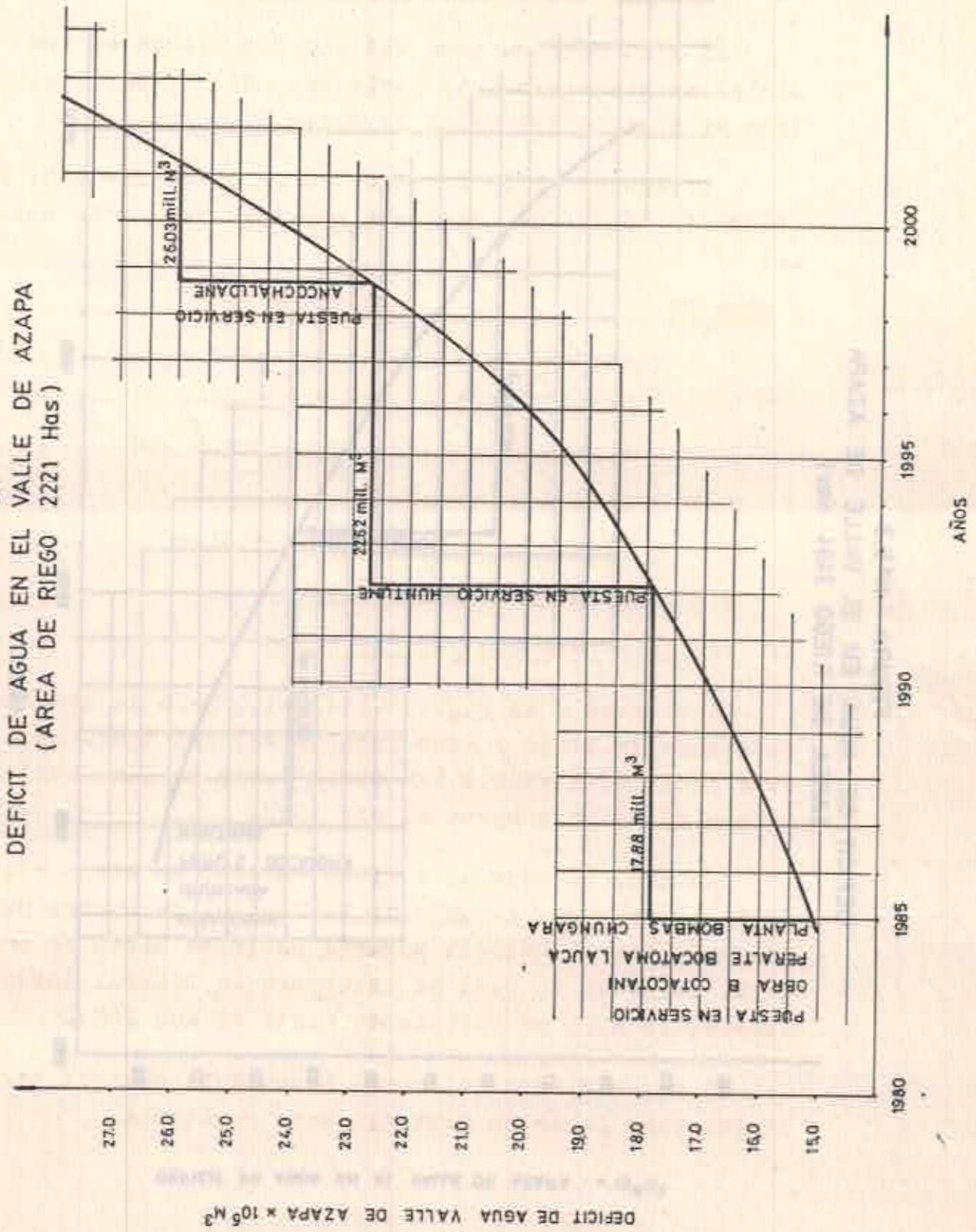
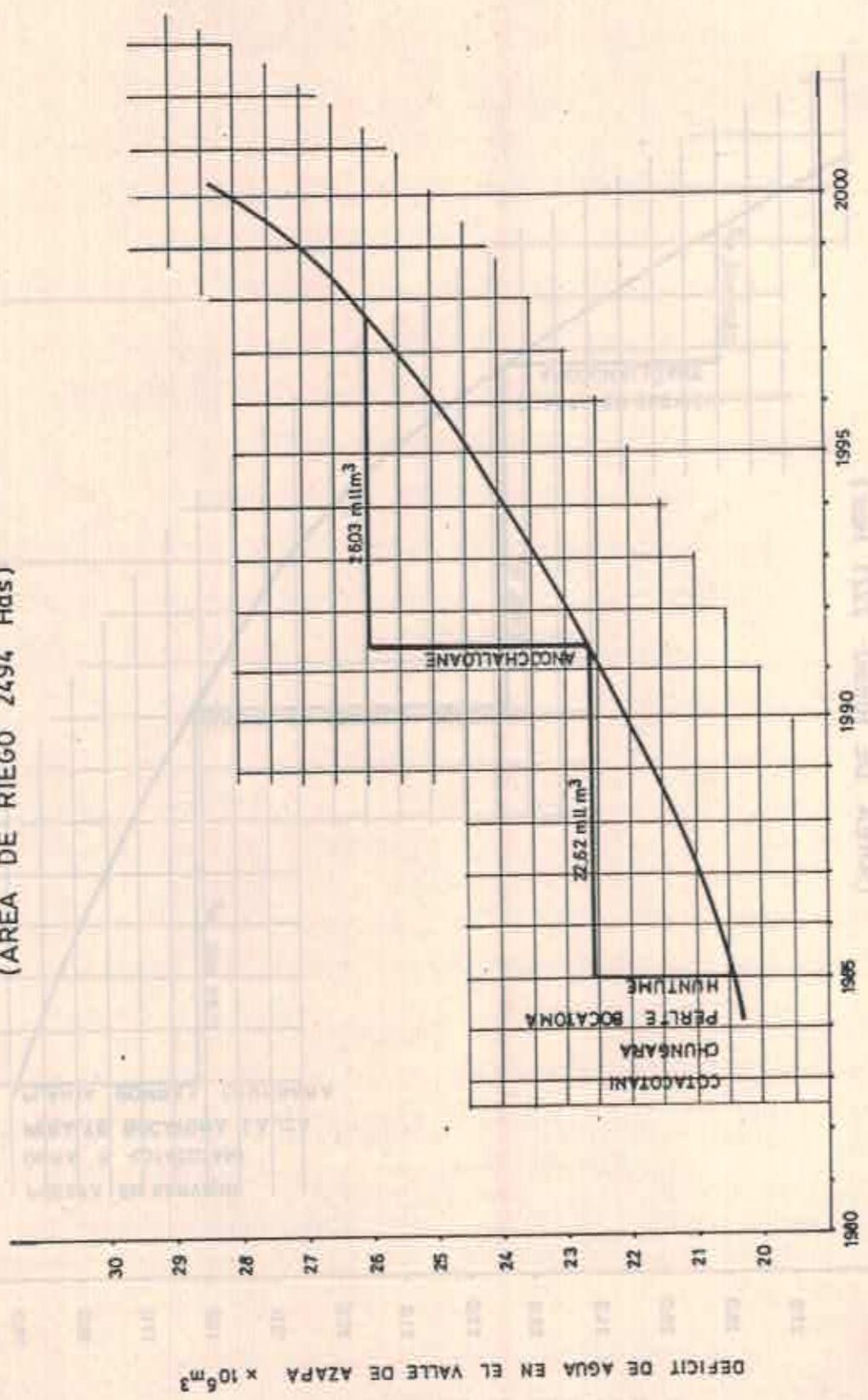


FIGURA Nº 9.3
 DEFICIT DE AGUA EN EL VALLE DE AZAPA
 (AREA DE RIEGO 2494 Has)



VALLE DE AZAPA (333 Has)
 DEFICIT DE AGUA EN EL VALLE DE AZAPA
 AÑOS

DEFICIT DE AGUA EN EL VALLE DE AZAPA x 10⁶ m³



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2550 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2550 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

HIPOTESIS Y METODO DE CONFECCION DE CURVAS DE DEFICIT DE
AGUA EN EL VALLE DE AZAPA

Para la confección de las curvas de déficit de agua en el valle de Azapa se siguió la metodología y se aceptaron las hipótesis que a continuación se detallan.

El déficit de agua en el valle de Azapa se considera como la suma del déficit de agua para riego (2221 Hás o 2494 Hás) más el déficit de agua potable para los años 1985 en adelante.

Para el cálculo del déficit por riego se consideró el déficit promedio del período seco-húmedo de 14 años obtenido en el capítulo VI, punto 6.2 tomo III de los Documentos de trabajo, 1era Instancia del Plan Maestro del Valle de Azapa.

El déficit de Agua Potable se calcula considerando las demandas presentadas en el capítulo VI, punto 6.2 Informe General, Primera Instancia del Plan Maestro del Valle de Azapa.

Las obras a construir necesitan de un proyecto definitivo. La razón anterior obliga a considerar las siguientes actividades (adicionales a la construcción de obras) en la figura Nº 9.2

- 1) Estudio hidrológico e hidrométrico ríos Lauca y Ancocholloane; obtención de estadísticas.
- 2) Proyecto definitivo de la planta de bombas de Laguna Chungará y rehabilitación Canal Chungará.
- 3) Proyecto definitivo Planta de Bombas en Huntume
- 4) Proyecto definitivo Planta de Bombas en Ancocholloane.

En dicha figura Nº 9.2 se entrega una estimación del plazo y la inversión necesaria para cada una.

B. Análisis para 2494 Hás.

De acuerdo a la Figura Nº 9.3 adjunta, deben construirse y ponerse en servicio las obras 1, 2 y 3 inmediatamente, las cuales cubren las necesidades hasta el año 1985, fecha en la cual debe incorporarse la Central de Bombas Huntume.

A partir de esa fecha y hasta 1991, no se necesitan nuevas obras. En 1991 debe incorporarse la Central Ancocholloane y el déficit proyectado estará cubierto aproximadamente hasta 1997.

Al igual que en el caso anterior, es indispensable incorporar al cronograma de obras del Plan, los estudios necesarios para la confección de los proyectos definitivos. Estos se muestran en la figura 9.4 como se hizo en la figura 9.2 para el caso de 2221 Hás.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

IX. 2 Organización requerida. Condiciones.

Dado el destino de los nuevos recursos, vale decir, el regadío, la generación de energía eléctrica y la obtención de agua potable, es lícito suponer que una organización que se cree con el fin de desarrollar y utilizar estos nuevos recursos de agua debe estar compuesta por representantes de cada una de las partes interesadas y que en principio serían OPUCA (Organización Provisional Usuarios Canal Azapa), ENDESA (o Edelnor) y la empresa de agua potable de Arica, y ser integrada por autoridades regionales tales como Serplac, Seremis de O.P. y de Agricultura y CONAF.

La organización que debe crearse y que designaremos O.P.M. (Organización Plan Maestro) deberá encargarse especialmente de promover la ejecución del Plan y servir de interlocutor válido de la Dirección de Riego, quien debe hacer un Convenio previo con Endesa y luego realizar los proyectos definitivos que recomienda el Plan. Para cumplir esta función la O.P.M. debe crearse inmediatamente después que el Plan sea aprobado por el Supremo Gobierno.

Al mismo tiempo O.P.M. deberá poner en práctica el Convenio Dirección de Riego-ENDESA (o Edelnor), que necesariamente deberá hacerse previo a la construcción de las obras de Chungará y del río Lauca, dado que éstas benefician tanto a los regantes como a la empresa de electricidad.

La función de O.P.M. se ofrece como una alternativa a la acción tradicional de la Dirección de Riego, tanto en el ofrecimiento del proyecto a los regantes como en la obtención del financiamiento de las obras.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO



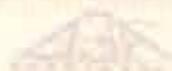
La Dirección de Riego, como gestora del Plan Maestro, y CONAF deberán tener activa participación en la formación de O.P.M. y en la definición de sus estatutos, a fin de que no se desvirtúe el propósito básico de la organización (riego) y se establezcan claramente los límites de explotación de las aguas que provocan daños ecológicos irreparables.

Otras funciones de esta organización podrían ser:

1. Promover los proyectos definitivos de cada obra necesaria para la realización del Plan, incluyendo los estudios previos que son necesarios.
2. Obtener los fondos necesarios para la construcción, en la secuencia establecida de cada proyecto.
3. Realizar las gestiones ante los Organismos Públicos pertinentes, destinadas a obtener mercedes de Agua, permisos o servidumbres y mantener informadas a las autoridades de la marcha del proyecto.
4. Promover el llamado a licitación y controlar la ejecución de las obras.
5. Vigilar el estricto cumplimiento de los términos que convengan la Dirección de Riego y Endesa (o Edelnor) para la explotación de las obras.
6. Administrar los ingresos que provendrían de los usuarios destinándolos a las actividades definidas dentro de los estatutos, como podría ser la educación agrícola de los regan-



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2930 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2930 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

tes. Administración del Estado

7. Evitar el daño ecológico por sobreexplotación de las fuentes de agua, aunque se pretendiera hacerlo con fines de regadío, o de otro orden.

8. Promover la reparación de la red de agua potable de Arica, con el objeto de reducir las pérdidas que actualmente alcanzan a un 40% aproximadamente.

*Se estudió
con Sr. Sandoval*

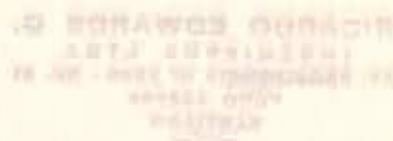
9. Distribuir el recurso para regadío, procurando evitar la incorporación de Alto Ramírez al regadío hasta que se obtengan los nuevos recursos; aún en este caso, los derechos de esa zona deben ser eventuales.

La incorporación de Alto Ramírez debe ser paulatina, a fin de que el lavado de esos suelos no contamine la napa subterránea que abastece de agua potable la ciudad de Arica.

10. Promover el mejoramiento de la red hidrometeorológica entre Arica y laguna Chungará ya que a medida que el recurso se vaya haciendo más escaso, más necesario es el conocimiento preciso de él.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



IX. 3 Administración del Plan. Condiciones

Es factible distinguir claramente entre las actividades de proyecto y construcción de las obras del Plan y las actividades necesarias para su administración y puesta en marcha.

En relación a este último punto se han indicado en la sección precedente las características básicas de una organización dedicada a su promoción y administración futura; existen sin embargo diversas etapas previas o que escapan del marco definido para esta organización.

En la presente sección se analizan y presentan dichas instancias.

Al ponerse en marcha el Plan deberá realizarse como parte de él (según el esquema que se propone) lo siguiente:

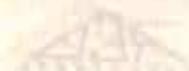
1. Solicitud, por parte de la Dirección de Riego a la Dirección General de Aguas de la modificación a la reserva de aguas asignada ya a la Dirección de Riego, de tal manera que permita la ejecución del plan y las solicitudes de mercedes de agua necesarias.

Un borrador de dicha presentación, así como una copia del decreto de la actual reserva se entrega en el anexo del presente informe.

2. Firma de un convenio entre la Dirección de Riego y ENDESA (o su filial Edelnor) en el cual ambas partes convienen el uso de los nuevos recursos que aporta el Plan Maestro



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



Para la generación de energía eléctrica.

Dicho convenio contendrá en sus partes esenciales:

- la retribución que Endesa pagará a los regantes o su representante por el uso de dicha agua para generación.
- los límites de explotación de las fuentes de agua, según las necesidades de los regantes o el daño ecológico asociado.

Un borrador del contenido de dicho convenio se presenta en el anexo del presente informe.

3. Presentación, por parte de la Dirección de Riego a las autoridades regionales y a los regantes, del Plan Maestro en su formulación actual, procurando la formación de la organización del Plan Maestro ya mencionada antes (cap. IX sección 2) y estableciendo si entre los regantes existe el apoyo mínimo necesario establecido por la ley para la ejecución de las obras.

4. Una vez definido el apoyo al Plan, corresponde a la Dirección de Riego realizar los estudios y proyectos definitivos de cada obra; esto se desarrolla de acuerdo al calendario de estudios y obras definido para el Plan en los cronogramas del capítulo 9 sección 1. Al mismo tiempo la Organización Plan Maestro debe promover a nivel regional el Plan, procurando el apoyo necesario de los interesados y si es posible el financiamiento requerido.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

Una vez definidos los proyectos definitivos se debe redefinir el costo total del Plan y reevaluar las inversiones totales; esto lo realizará la Dirección de Riego.

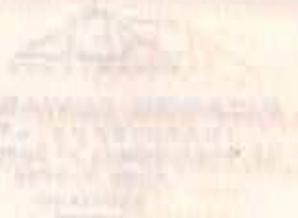
5. Presentación a los regantes representados por su Organización del proyecto definitivo de cada obra, definiéndose su financiamiento y el modo de pago de éste por parte de los regantes.
6. Solicitud de las mercedes de Agua, ya sea por parte de la Dirección de Riego o la Organización Plan Maestro.
7. Construcción de las obras, a través de la Dirección de Riego, siendo ésta una administradora inicial.
8. Explotación de las obras. En esta etapa la Organización Plan Maestro debe tener la madurez necesaria para controlar el recurso, evitando la sobre explotación, y la capacidad de administración para manejar los fondos que provengan de los usuarios en beneficio de la organización y los regantes; en ese momento la Dirección de Riego entregará las obras a la Organización Plan Maestro.

Como se puede apreciar, las etapas o actividades mencionadas en lo precedente resultan indispensables y es necesario hacerlas explícitas, aunque no pertenecen al "calendario de obras" característico del Plan.

Por otra parte, el esquema propuesto permitiría la delegación o traspaso de la responsabilidad, por la ejecución del Plan, desde la Dirección de Riego a la Organización Plan



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

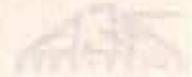


Maestro en cualquiera etapa y en forma progresiva.

Con esta descripción se termina el esquema general del Plan Maestro de riego para el Valle de Azapa; en las secciones siguientes se analiza su impacto ambiental y se sintetizan las conclusiones finales.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO

IMPLICACIONES ECOLOGICAS DEL PLAN MAESTRO DE
ACCION INMEDIATA PARA EL REGADIO DEL VALLE
DE AZAPA



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



CAPITULO X - IMPLICACIONES ECOLOGICAS DEL PLAN MAESTRO DE ACCION INMEDIATA
PARA EL REGADIO DEL VALLE DE AZAPA.

A. INTRODUCCION

El diseño de una obra destinada al servicio del hombre e implantada en el paisaje natural, se ha convertido en una actividad interdisciplinaria del saber humano.

En efecto, las ciencias naturales y otras disciplinas tienden en conjunto a evaluar el impacto ambiental que la obra producirá una vez construida. A este respecto, se atiende usualmente a dos perspectivas diferentes. Una de ellas se designa por "belleza escénica" y es la que considera que la obra proyectada se integre al paisaje o entorno con sus construcciones, sin alterar mayormente a éste ni que sufran sino en una mínima cuantía la flora y la fauna del lugar. Asimismo, hace parte de la conservación de la belleza escénica la mantención de la arquitectura y de los materiales de construcción que son típicos en la zona, evitando la contaminación por cuerpos extraños como letreros, tendidos de cables, instalaciones de los constructores, etc. Estas últimas deben desmontarse completamente al final de la construcción.

El otro aspecto del mayor interés es la evaluación de las implicancias ecológicas de la obra, esto es, definir y en lo posible cuantificar el efecto de ella sobre la vegetación y sobre la fauna existentes en una zona, además de las alteraciones climáticas, del suelo y de las fuentes de agua que pudiera producir.

Es sabido que cada biotipo específico de una zona, ocupa un lugar en una pirámide energética cuya base está en los vegetales, los cuales a su vez obtienen su energía del sol. Además de esa dependencia, toda especie animal se encuentra estrechamente relacionada con otras que habitan su misma área y con las cuales interactúa intensamente, sea devorándose unas a otras, sea manteniendo una simbiosis, o cualquier otro tipo de interacción.

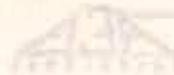
En el presente informe se hará una presentación de las formas vivientes más importantes de las áreas altiplánicas comprometidas en el Plan Maestro, haciendo una leve referencia a las condiciones ambientales de dichas áreas.

En seguida, se analizará, en síntesis, en qué consistirá el eventual cambio que cada obra producirá en la cuenca desde el punto de vista hidrográfico, respecto a su actual situación. Finalmente, se analizará el pro



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 81
FONO 743782
SANTIAGO

- 100 -



SERRAVALLO OCHOAÍN
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 81
FONO 743782
SANTIAGO

blema desde el punto de vista de los cambios que en el ecosistema tales obras podrían producir y de su real significado en el equilibrio general actual.

B. LAS AREAS COMPROMETIDAS

Las tres cuencas o subcuencas comprometidas en el Proyecto, forman parte del altiplano ariqueño y se sitúan al nororiente de la provincia Parinacota, vecinas al límite con la República de Bolivia. Ellas son la cuenca cerrada de la laguna Chungará y las subcuencas de laguna Cotacotani y Ciénaga de Parinacota. Estas dos últimas son las que dan origen al río Lauca y, en definitiva, alimentan en la actualidad al canal Lauca. En ellas se implementarán las obras destinadas a asegurar un nivel normal de recursos hidrológicos a dicho canal en años de escasez.

Estas cuencas se insertan en un paisaje altiplánico, de morfología ligeramente ondulada, a 4200 m de altitud media. De esta altiplanicie emergen los grandes conos de los volcanes pleistocénicos y holocénicos, algunos de los cuales se encuentran activos en la actualidad (v. gr. Guallatire). Priman en ellas una cubierta litológica de lavas de carácter andesítico-basáltico que sobreyace a lavas e ignimbritas más antiguas de carácter riolítico.

El clima de esta área obedece al concepto de estepario frío de altura o de alta puna, caracterizado por pronunciadas oscilaciones térmicas entre el día y la noche. En efecto, las temperaturas nocturnas son habitualmente muy bajas, del orden de -15°C a -20°C , pudiendo descender en pleno invierno hasta -30°C o menos. En el día en cambio, la temperatura es más benigna, y gracias a una atmósfera extraordinariamente límpida y seca, la radiación solar es intensa.

En la Puna, las mayores precipitaciones ocurren en los meses de verano - de noviembre a marzo - y alcanzan valores medios entre 200 y 250 mm anuales. En pleno invierno, sin embargo, suelen caer esporádicas nevazones.

Cuenca de Laguna Chungará (Foto N° 1)

La laguna Chungará, situada a una altitud de 4517 m.s.m., constituye la base de equilibrio de una cuenca endorreica pequeña que se desarrolla en el sector nordoriental de la provincia de Parinacota, limitada por serranías volcánicas de carácter andesítico-basáltico. La cuenca tiene una extensión de 280 km², en tanto que la superficie media del espejo de agua es de 21 km². La profundidad máxima de la laguna es de aproximadamente 32 m en su actual estado, con un volumen almacenado de unos 400 millones de m³.

La principal fuente de alimentación de la laguna es el río Chungará, el cual nace a los pies occidentales de los Nevados de Quimsachata y al pie oriental del Vn. Guallatire. Fluye por unos 15 km en un valle de pendiente suave, tapizado de bofedales, hasta desembocar en el vértice sudoriental de la laguna.



Su gasto promedio estimado en estiaje es del orden de 300 l/s, en tanto que en verano sube a unos 450 a 500 l/s. Tributarios menores de la laguna son las vertientes Ajata, Mal Paso y Sopocolane.

La calidad del agua de la laguna es discreta, con conductividad total que oscila entre 1200 a 1600 μ mhos; pH de valor cercano a 8,0 y contenido de boro inferior a 2 ppm. La calidad de los tributarios es mucho mejor, con conductividades que no sobrepasan los 300 μ mhos.

Importante de destacar en relación al espejo de agua de la laguna es que sufre importantes oscilaciones periódicas de nivel o de cota entre la temporada de lluvias estivales y los estiajes de primavera, y también de un año a otro en conformidad a cómo se haya presentado el año hidrológico.

En efecto, de acuerdo con la información recogida en 18 años de registro limnimétrico, las cotas extremas alcanzadas por el espejo de agua fueron de 4517,60 y 4515,80. La fluctuación entre temporadas, por otra parte, asciende en promedio a 0,44 m.

Laguna de Cotacotani (Foto N° 2)

La subcuenca de la laguna de Cotacotani se desarrolla al Nordoeste de la de Chungará. Ambas lagunas quedan separadas por un portezuelo de unos 4 km de ancho.

La laguna Cotacotani, de la cual propiamente nace el río Lauca con el nombre de río Desaguadero, tiene una superficie aproximada de 6 km² y la profundidad media general asciende a unos 10 m. La cota del espejo de agua es unos 18 m más baja que la de la laguna Chungará.

La característica fundamental de esta laguna - que la distingue de cualquier otro lago chileno - es el elevado número de islas e islotes que interumpen la continuidad de su espejo de agua, morfología debida a que ocupa un inmenso campo de lava.

La capacidad útil de la laguna se ve muy disminuida por esta causa, alcanzando el volumen almacenado un promedio representativo de 30 a 40 millones de m³.

La calidad del agua de la laguna Cotacotani queda reflejada por los siguientes indicadores, obtenidos como promedio de numerosos análisis practicados entre 1960 y 1977: pH = 8,27; conductividad total 818 μ mhos; índice SAR = 1,38; boro = 0,87 ppm. No se encuentra arsénico.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO

- 102 -

INGENIEROS
SANTIAGO

Dos ríos de superficie concurren a alimentar la laguna de Cotacotani: El río Benedicto Morales le cae en el extremo nororiental, con un caudal promedio de más o menos 100 l/s; el otro es el estero El Encuentro, que lleva un gasto del orden de 20 l/s.

Ciénaga de Parinacota

La Ciénaga de Parinacota es una extensa depresión, de 28km² de superficie, cubierta en buena parte de bofedales. Se extiende al poniente de la laguna Cotacotani, a la cota 4.350 m.s.m. Por el norte y el oeste queda confinada por cordones volcánicos, en tanto que hacia el sur la limita una meseta de lavas y tobas riolíticas a través de la cual se ha abierto camino, en un verdadero cañón, el río Lauca que la desagua. Una nota característica en la Ciénaga es la presencia de pequeñas cerrilladas de materiales volcánicos, como bloques de andesita y de basalto, acumulaciones de cenizas y arenas, etc.

En la cabecera de la Ciénaga se levanta uno de los principales pueblos del Altiplano Ariqueño, el pueblo de Parinacota, junto a la principal vertiente de la zona. Pero en otros sectores de la Ciénaga asientan las casas de estancias ganaderas pertenecientes a los naturales.

La principal corriente que alimenta La Ciénaga es el río Desaguadero o Lauca Superior. Pero varias vertientes periféricas contribuyen a mantener la humedad, entre ellas la principal es la de Ojos de Agua o Grande de Parinacota, con un gasto de unos 150 l/s y excelente calidad del agua. Por el lado norte se generan las aguadas de Chacurpujo, Copapujo y Chubire, todas aguas de muy buena calidad. Finalmente, por el flanco sur nacen cinco vertientes menores, todas ellas ligadas al fomento de bofedales.

C. BIOTA

Se pretende en el presente capítulo hacer una reseña sucinta de la Flora y de la fauna del área altiplánica comprometida por el proyecto, sin que en ningún caso quiera dársele alcance de una investigación exhaustiva.

Flora

La cubierta vegetal del área es la propia de la alta puna de estepa fría, la que es sostenida principalmente por las precipitaciones estivales.

En faldeos algo protegidos del viento, en las quebradas resguardadas, prospera la única especie arbórea que logra sobrevivir sobre los 4000 m, cual es la queñoa o queñua. Su nombre científico es *Polylepis incana*. Se trata de un árbol de la familia de las rosáceas relativamente bajo, de 2 a 3 m de altura máxima, pero frecuentemente no alcanza mayor desarrollo que un arbusto. Cre-



ce entre grandes peñascos (Fotos 3 a 9).

Importancia económica tiene la cubierta de gramíneas de pastos duros de los géneros *Stipa* y *Festuca*, llamadas vulgarmente pajonales o paja brava (Guaila o Huaila), cuyos brotes comen los camélidos, tanto silvestres como domésticos, (Foto 10).

La formación del tolar es también una de las más características del área altiplánica, con los géneros *Baccharis* y *Paratrepchia* (Fotos 11 y 12). Son plantas resinosas que alimentan y protegen a una buena cantidad de animalitos.

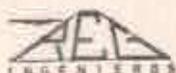
Muchas veces en asociación con la queñoa, entre grandes peñascos, adheridas a ellos, se desarrollan plantas umbelíferas resinosas en forma de cojines compactos. Son las famosas llaretas (*Laretia acaulis*, *Azorella* spp), de importancia primordial como combustible en la zona. En tiempos no muy remotos, la llareta fue masivamente explotada en todo el altiplano del Norte Grande, hasta el punto de poner en peligro su supervivencia. La adopción de otros combustibles por la industria, ha permitido su recuperación.

Una formación vegetal de primera importancia económica por estar íntimamente ligada a la crianza de camélidos - llamas y alpacas - es el "bofedal" (vega) también conocido como "champial". Se trata de una especie de alfombra compacta y a veces aborregada, constituida especialmente de gramíneas (*ichus*), juncáceas y pequeñas compuestas. Son fomentados estos bofedales por el riego artificial que practican los pastores, derivando de las vertientes o de las corrientes naturales pequeñas acequias (Fotos 13 y 14).

Fauna

La fauna en la cuenca de Chungará es la habitual del Altiplano Chileno. Entre los mamíferos silvestres más apreciados puede anotarse en primer lugar la vicuña (*Vicugna vicugna*), el más pequeño de los camélidos; pasa en los faldeos y bofedales. Ha sido preocupación esmerada del Parque Lauca la recuperación de esta especie, que estuvo hasta algunos años atrás en un acelerado proceso de extinción debido a la acción antrópica (cazadores furtivos).

Otro mamífero es el quirquincho de la puna (*Chaetophractus nationi*), que habita suelos arenosos con cubierta vegetal de tola; en la zona en estudio es escaso. Entre los félidos más sobresalientes aunque bastante escasos en la alta cordillera, cabe mencionar al puma (*Felis concolor*), que habita habitualmente solitario en parajes rocosos de difícil acceso y es temido por los pastores por su acción depredadora en los rebaños de camélidos domésticos; y el gato montés (*Felis jacobita*), conocido por los naturales con el nombre de "tite"; es muy escaso y se alimenta de la caza de aves, vizcachas y otros roedores.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO

INGENIEROS
SANTIAGO

El mejor representante de cánido silvestre es el zorro colorado o culpeo (*Dusicyon culpaeus*), también depredador de las crías de los animales domésticos. Carnívoro de escasa frecuencia en el altiplano es el mus télido conocido con el nombre de chingue real (*Conepatus rex*), una de las tres especies de chingues del territorio chileno, cazado por el hombre por su piel.

El cérvido que con cierta frecuencia se encuentra en la precordillera de Tarapacá es el taruca o huemul del norte (*Hippocamelus antisensis*), mas - aunque no en forma habitual - se le puede encontrar a mayores alturas en el área altiplánica, preferentemente entre los matorrales de queñoa. En su aspecto, es parecido al huemul chileno, aunque más pequeño y de pelaje más claro.

Los roedores quedan bien representados en la alta puna por la vizcacha (*Lagidium viscacia*) que habita en abundancia entre riscos y bloques de lavas; en cambio, la chinchilla cordillerana, (*Chinchilla brevicaudata*), como otras chinchillas, está prácticamente extinguida. Otro roedor que habita el altiplano es el ratón chinchilla de cola corta (*Abrocoma cinerea*), también muy perseguido por su piel; suele habitar bajo los llaretales y se alimenta especialmente de tola. Entre los roedores cavícolas, se encuentra la sarteneja, chululo o tucú-tucú de la puna (*Ctenomys opimus*), cuya presencia se acusa por los innumerables hoyos que deja en los suelos blandos de las pampas y faldeos suaves. También roedores de la puna ariqueña son pequeños ratones, como el ratoncito andino (*Akodon andinus*); el lauchón orejudo grande y el lauchón orejudo de Osgood, ambos del género *Phyllotis*; el lauchón orejudo boliviano (*Auliscomys boliviensis*) y otros. De la familia de las caviás o cuyes, el cuy serrano (*Galea musteloides*) es también habitante altiplánico.

La avifauna tiene en el altiplano una rica representación, tanto, que se dice que el Parque Lauca alberga cerca de 150 especies de aves. El ave de hábitos terrestres más notable por su gran tamaño es, por supuesto, el suri o avestruz de Tarapacá (*Pterocnemia pennata tarapacensis*). Sus huevos son apetecidos por los naturales del altiplano.

Un ave notable por la bondad de su carne es la perdiz de la puna o kiula (*Tinamotis pentlandi*), cuyo nombre en aymará deriva de su característico silbido y cuya nidada de ocho huevos de verde oscuro lustroso se encuentra en relación con la paja brava. Aparte de las dos especies nombradas, del cóndor (*Vultur gryphus*), y de las rapaces, el tiuque de la cordillera (*Phalcoboenus megalopterus*), el águila (*Geranoaetus melanoleucus*) y el aguilucho común (*Buteo polyosoma polyosoma*), hay en la puna otras numerosas aves de hábitos terrestres tales como la bandurria del Norte (*Theristicus caudatus branickii*) (de escasa ocurrencia); el huairavo del Norte (*Nycticorax nycticorax tayazu-guira*) (Foto 15); el chorlo de la puna (*Charadrius alticola*); la dormi



lona de nuca castaña del Norte (*Muscisaxicola juninensis*) y la dormilona gigante (*M. albifrons*); el colegial del Norte (*Lessonia rufa oreas*); el churrete cordillerano del Norte (*Cinclodes fuscus albiventris*) y el churrete de alas blancas; el minero cordillerano del Norte (*Geositta cunicularia froberi*). Los fringílicos tienen en la puna varios representantes; el fringilo plebejus (*Phrygilus plebejus plebejus*) y el fringilo boliviano o diuca chica (*Phr. crythronotus*); el jilguero cordillerano (*Spinus atratus*); el chirigüe peruano (*Sicalis olivaceus chloris*); etc. Las columbiformes en la puna cuentan con la tórtola cordillerana (*Metriopelia melanoptera*); la tortolita cordillerana (*Metriopelia aymara*) y la tortolita boliviana (*Gymnopenia ceciliae gymnops*). Una ave notable de la alta cordillera ariqueña de la familia de los loros y pericos, es el perico cordillerano del Norte (*Psilopsiagon aurifrons orbignesi*) que anida en oquedades de barrancos altos.

Pero sin duda que son las aves acuáticas las que más tendrán que ver con la realización del proyecto.

En la Ciénaga de Parinacota, especialmente, aunque también en las áreas riberañas de las lagunas Cotacotani y Chungará habita el ganso silvestre de altura, llamado quayata en aymara y cuyo nombre científico es *Chloephaga melanoptera*. Casi siempre se la ve en parejas, en los bofedales o en lagunas de aguas bajas.

En las lagunas de la zona ha proliferado notablemente el ave quizás más representativa entre las de vida acuática del altiplano ariqueño. Nos referimos a la "ajoya" o tagua gigante (*Fulica gigantea*). Esta ave habita en las aguas bajas riberañas de las lagunas donde construye plataformas de pasto flotantes sobre las cuales pone su nidada. Según el Dr. R.A. Philippi ("Las Aves de Chile", T-II, pág. 187-1951), quien se ha referido a dichos nidos flotantes, la ajoya pone dos veces al año, por agosto y por fines de noviembre o comienzos de diciembre, abandonando el nido después de la saca. La plataforma la reusa en la próxima postura, la que crece con el pasto acuático que le aporta la propia tagua y que llega a tener así hasta 3 m de diámetro máximo (Fotos 16 y 17). Aparte de apoyo al nido, sirven también de paraderos a los padres y a sitios de enseñanza o descanso para la cría.

Otra ave frecuente es la gaviota andina (*Larus serranus*), la que convive muy estrechamente con la anterior (Fotos 18, 19 y 20). Se ha observado que la gaviota andina ataca a la ajoya cuando empolla sus huevos, le rompe éstos y desaloja a la ajoya del nido. Es, entonces, un depredador de la ajoya.

En la ribera norte de la laguna Chungará se solía concentrar - bandadas de parinas grandes (*Phoenicoparrus andinus*) que seguramente no nidificaban allí sino en lugares más tranquilos, en islotes de Cotacotani por ejemplo, lejos de la voracidad del zorro hacia los huevos. La laguna Chungará carece de



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

© BONAVIA INGENIERIA
ASOCIADOS
LA PROVIDENCIA DE SANTIAGO Nº 2330
FONO 743732
SANTIAGO

islas. Una avecita pequeña que suele ocupar el mismo habitat que la tagua y la gaviota andina es una especie de pollollo conocido en aymara con el nombre de chulyumpi. Corresponde a *Colymbus occipitalis juninensis*).

Finalmente - y dentro de las restricciones del presente informe - cabe referirse a la cantidad de patos que pululan en las vegas, y en las grandes y pequeñas lagunas de la zona. Las especies más frecuentes en el altiplano son el pato puna (*Anas puna*); el pato jergón grande (*Anas spinicauda*), que se encuentra distribuido en todo Chile (foto 21); el pato juarjual cordí - llerano (*Anas specularioides alticola*), que es el pato más común de los parajes puneños; el pato jergón chico del Norte (*Anas flavirostris oxypterum*), llamado huancayo en aymara. Probablemente haya otras especies de patos.

Los reptiles tienen en el altiplano escasa representación. Así, es susceptible de encontrarse sólo dos especies de lagartos que tienen la particularidad de ser vivíparos. Nos referimos a *Liolaemus alticolor alticolor*, habitante entre las ramas y oquedades en el piso de los tolares, y *Ctenoblepharis jamesi* que también tiene por principal habitat los tolares. Este último es conocido en aymara por el nombre vulgar de "jararanjo". Consume brotes tiernos de la tola (*Baccharis* sp.).

Los ofidios quedan representados por una sola especie: *Tachymenis peruviana peruviana*, también de reproducción vivípara.

En cuanto a batracios, el clima y la altura del altiplano no son favorables para su existencia. Sin embargo, es factible de encontrar el sapito llamado específicamente *Pleurodema marmorata*. Es escaso, y algún ejemplar ha sido hallado por los científicos en la cordillera del Caquena; pero se supone que habita también en las inmediaciones de Parinacota. Vive en los bofedales. Otra especie de altura aunque de escasa frecuencia es el sapito *Telmatobius peruvianus*, aunque quizás se encuentra sólo en alturas menores, en la precordillera (v. gr. en el valle de Putre), ya que no ha sido descrito para el altiplano propiamente tal.

D. EL APROVECHAMIENTO HIDROLOGICO DE LAS FUENTES DEL LAUCA CON EL PLAN MAESTRO DE ACCION INMEDIATA Y SUS IMPLICANCIAS ECOLOGICAS.

En la Laguna Chungará

En la laguna Chungará el Plan Maestro consulta, en lo esencial, la instalación de una estación de bombeo accionada por motores eléctricos, en la ribera sudponiente de la laguna para suplementar el agua de riego y el agua potable en el valle de Azapa en épocas de escasez.

El proceso de descenso del nivel del agua hacia su nivel de equilibrio será muy lento y paulatino, y se verá interrumpido y revertido durante los períodos de recuperación correspondientes a años lluviosos. De acuerdo a la simulación hidrológica analizada se prevé que al cabo de 165 años el nivel de la laguna se estabilizará unos 3,50 m más bajo que el nivel actual; a partir de este nuevo nivel sufrirá descensos y recuperaciones del orden de 0,40 m a 0,50 m anuales, o sea, de magnitud análoga a las que sufre en la actualidad. El descenso de 3,50 m en la cota en tan largo período significará también una disminución paulatina, prácticamente de tipo lineal, en la superficie del espejo de agua, hasta alcanzar un valor de 17,34 km² que viene a ser el 82% del valor actual.

El descenso anual, si bien va a ser del orden de los descensos que naturalmente se producen todos los años secos, en promedio será de unos 2cm anuales que naturalmente ningún habitante de la laguna va a advertir. Por otra parte, si en algunos períodos dicho descenso anual fuera más acentuado, el que nunca llegará a cifras alarmantes, las aves, específicamente las taguas gigantes, sabrán amoldarse a él con sus nidos sobre plataformas flotantes. Tal vez debería tomarse la precaución de no alterar el nivel en forma significativa en la época de nidificación para no dejar colgados los nidos que se encontraran muy cerca de la orilla, lo que será muy fácil de hacer, armonizando el bombeo en Chungará con la capacidad reguladora de la laguna Cotacotani. No debe olvidarse que causas más importantes de alteración en la reproducción de la tagua gigante son las depredaciones ejecutadas por el hombre, que colecta sus huevos con fines de subsistencia, o el detrimento que sufren con el ataque de sus nidos por la gaviota cordillerana.

Asimismo, el hombre -natural de la zona- colecta para comer los huevos de las parinas, produciendo una alteración mayor que la que puede producirse por descenso del agua.

Se ha pensado que un descenso significativo en el nivel de la laguna Chungará cambiará las condiciones que se dan en la actualidad en las aguas ribereñas y que desaparecerá la plataforma lacustre donde se encuentra la mayor fitomasa que sirve de alimento a las aves.

Si se examinan los perfiles del fondo de la laguna Chungará que se acompañan tomados del plano batimétrico, que es el que se ha usado para obtener las curvas de capacidad y de superficie inundada, se advierte en tres de ellos que la plataforma lacustre se prolonga mucho más al interior y que aunque se reduzca la cota, dentro de los márgenes del proyecto, siempre habrá una zona de aguas bajas. No debe olvidarse que la reducción en superficie a muy largo plazo no superará el 18% , diferencia poco significativa, y que el perímetro ribereño disminuye en el mismo período sólo en un 9%.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743792
SANTIAGO

Por otra parte, el descenso del nivel de equilibrio del río Chungará aumentará el área de bofedales que tiene relación con esta corriente, que es por lo demás, la única zona de bofedales de magnitud importante en relación con la laguna Chungará. Esto viene a compensar cualquier reducción de bofedales que se pueda producir en otra zona del proyecto.

El empleo de motores eléctricos en la planta de bombeo será una garantía de que no habrá contaminación ambiental por ruidos estridentes ni por desechos de petróleo.

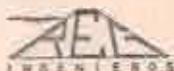
En la laguna de Cotacotani

La laguna de Cotacotani tiene desde hace algunos años una pequeña obra que permite disponer de una capacidad de regulación de sus propios recursos. Dicha obra ha sido manejada con eficiencia y discreción técnica por la Dirección de Riego. Las obras que la Dirección ha decidido construir ahora no incluyen el rebaje del umbral actual como se considera en el capítulo IV, sino aprovecha la misma capacidad para regular, además de las aguas propias, las que recibe de la laguna Chungará, de manera que las fluctuaciones de nivel de su espejo de agua serán muy similares a las actuales. Por lo tanto no se producirán alteraciones en sus condiciones de borde ni en el nivel medio del espejo de agua.

En la Ciénaga de Parinacota.

Como es sabido, la actual bocatoma del canal Lauca está situada en el extremo de aguas abajo de la Ciénaga de Parinacota, donde al fin se reúnen las aguas del río Desaguadero y las aguas que logran drenaje hacia ese punto, y que se originan en las múltiples vertientes que riegan la depresión. Fue construida por el año 1962 con una cota de vertedero muy próxima a 4 349 m. Produce un remanso de las aguas, el que inunda una superficie máxima de 1,09 km² a expensas de una parecida reducción de los bofedales que, para mantenerse, requieren de agua corriente con alto contenido de oxígeno.

El Plan Maestro consulta un peralte de 0,70 m del umbral del vertedero con elementos desmontables con lo cual la superficie inundada temporalmente se incrementará en 0,26 km². Esta representa aproximadamente un 2% de la superficie de bofedales existentes de modo que la disminución de bofedales será insignificante y por lo tanto también la disminución de vegetación que soporta el pastoreo de camélidos. A veces las alteraciones naturales, derivadas por ejemplo de una prolongada sequía o de algún otro fenómeno natural, tienen una muchísima más alta incidencia en la actividad pastoril que la producirá el peralte, de modo que la alteración ecológica de esta obra temporal no alterará en la práctica el medio.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2930 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

- 109 -



E. CONSIDERACIONES FINALES

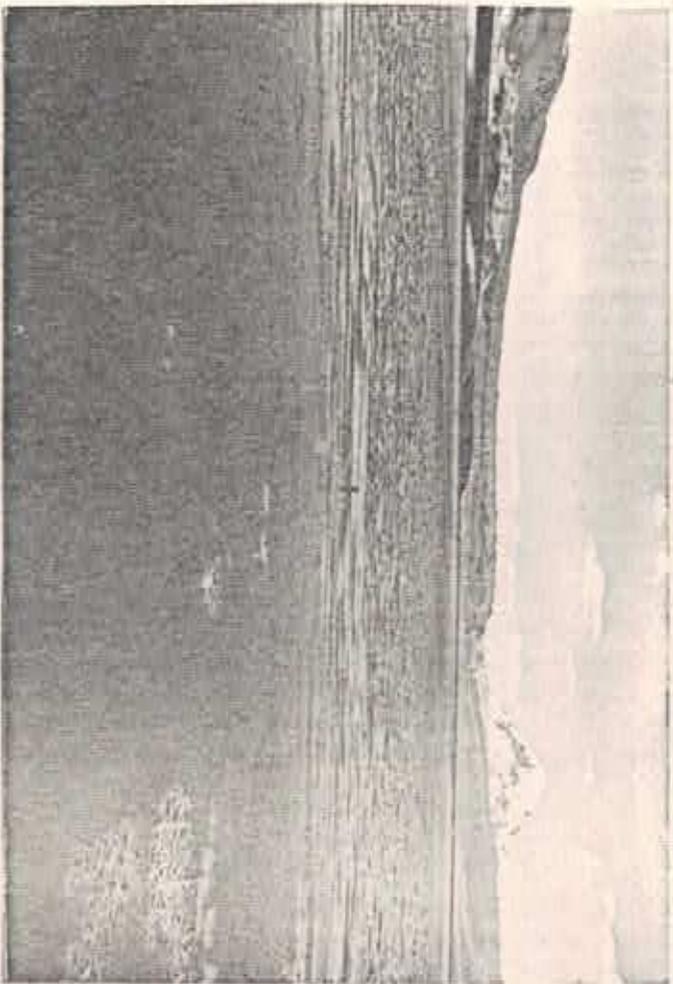
El presente informe permite visualizar que la gran mayoría de las plantas y animales que componen la biota del Parque Lauca no sufrirá en lo más mínimo con las obras del Plan Maestro, por ser de hábitos terrestres.

Una parte de la avifauna, la acuática, queda sin duda involucrada en las obras en Chungará. De ésta, el problema básico se reduce a la ajo ya o tagua gigante (*Fulica gigantea*) que habita en aguas bajas, en un medio más selectivo. Sin embargo, los descensos del nivel serán tan paulatinos que aun cuando la tagua haya construido su nido en las plataformas flotantes de pastos, prácticamente no se producirá perjuicio.

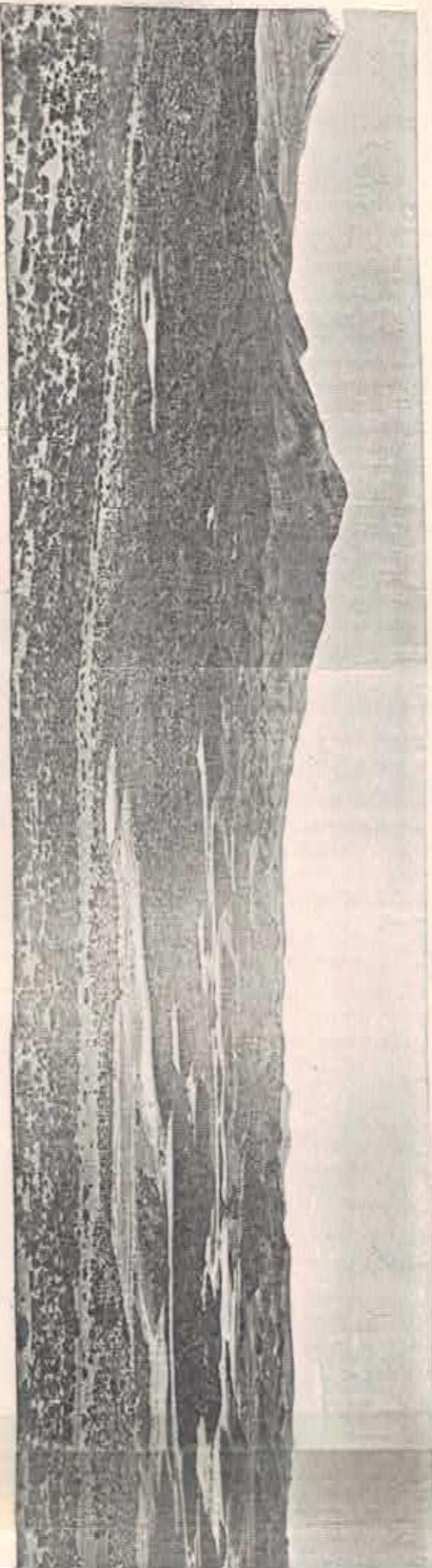
Se ha demostrado, por otra parte, sobre la base de perfiles batimétricos, que en la mayor parte de la laguna reducida habrá una zona ribereña de aguas bajas donde crecerá la vegetación acuática, que sirve de principal alimento a las aves.

En la laguna Cotacotani no se producirán trastornos apreciables respecto a su actual situación. De la misma manera, el peralte del vertedero de la bocanoma no tiene efectos notorios que perjudiquen ni al ganado doméstico de camélidos ni a la fauna silvestre.

Las tres obras descritas están dentro del Parque Nacional Lauca y su ubicación se muestra en la figura 10.1.



1. - Laguna Chungará y volcán Sajama (al fondo).



2. - Laguna Cotacotani.

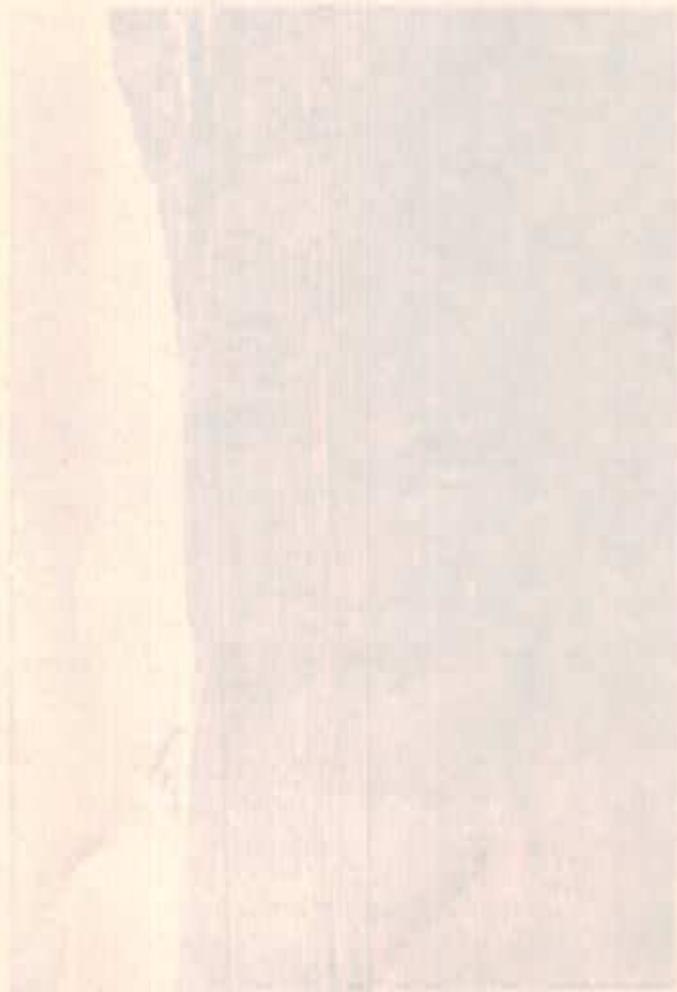


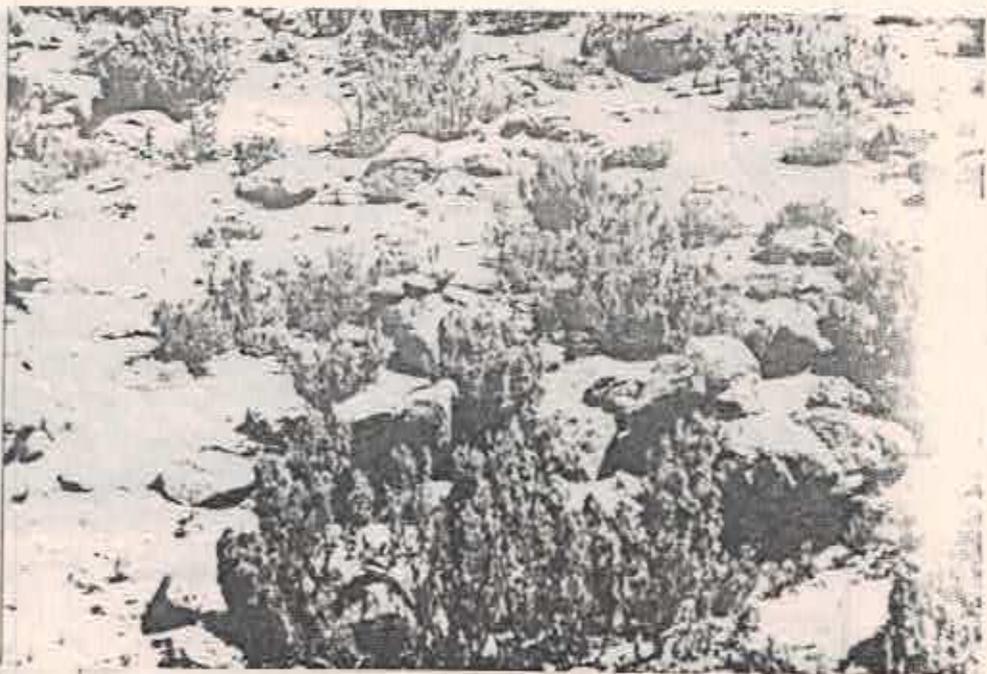
Figure 1. (a) and (b) are the two views of the book cover.



Figure 2. (a) and (b) are the two views of the book cover.



3.- Orilla sur de laguna Chungará. Se observan renovales de queñua entre las piedras.



4.- Renovales de queñua en laguna Chungará.



5.- La queñua a orillas de la laguna Chungará.



6.- Asociación de queñua y llareta en los faldes que rodean la laguna Chungará por el flanco sur.



7.- Asociación de llareta con queñua.



8.- Llarreta asociada a opuntia.



9.- La llareta en la orilla sur de laguna Chungará.



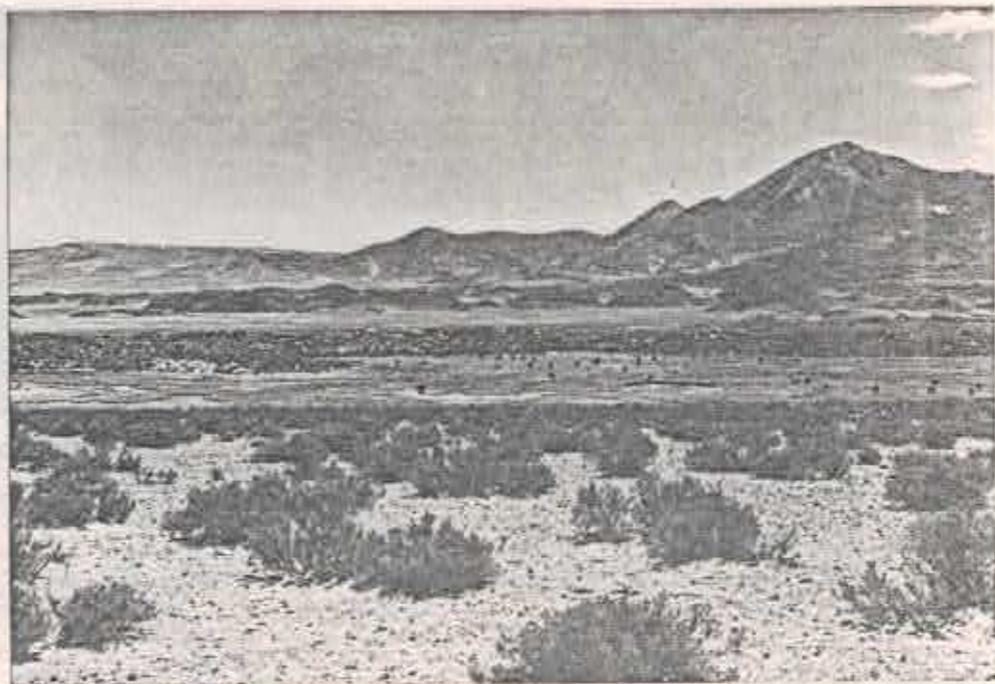
10.- Pueblo de Parinacota en la cabecera de la ciénaga de Parinacota. Paja brava en el primer plano.



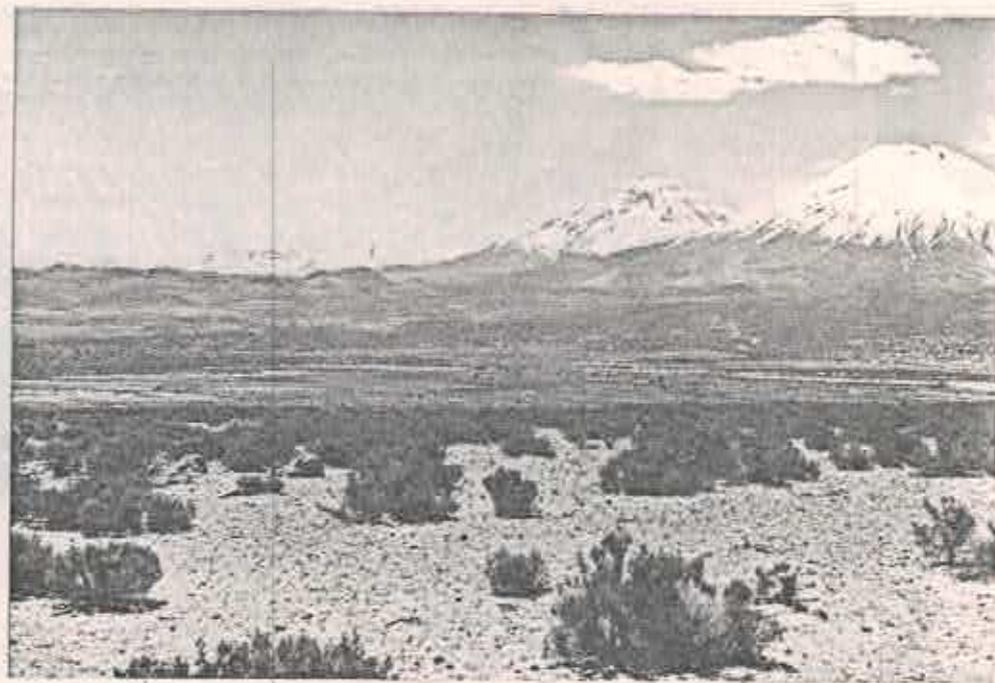
11.- Arbusto del género Baccharis.



12.- Arbusto del género Baccharis entre Chungará y Cotacotani.



13.- Rebaños de llamas y alpacas pastando en los bofedales de la ciénaga de Parinacota.

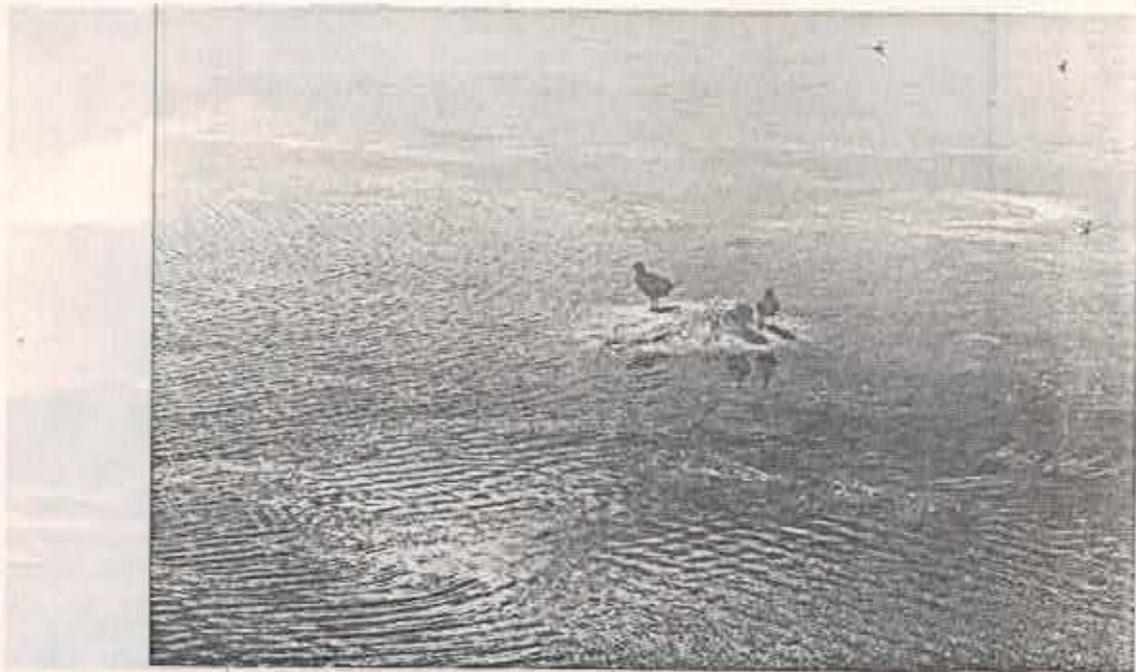


14.- Rebaños de llamas y alpacas pastando en los bofedales de la ciénaga de Pa rinacota.



15.- Huairavo del Norte a orillas de la laguna
Chungará.

Huairavo



16.- Taguas gigantes en un nido-isla de laguna
Chungará.



17.- Una pareja de Tagua gigante en su nido-
isla a orillas de la laguna Chungará.



18.- La gaviota andina en vuelo laguna Chunga-
rá.



19.- Gaviota andina nadando en la laguna Chugará.



20.- Convivencia de tagua gigante o ajoja y gaviota andina.



21.- Pato de cordillera en las playas de laguna Cotacotani.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2350 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

- 111 -



CAPITULO XI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION DEL PLAN MAESTRO DE REGADIO DEL VALLE DE AZAPA.

Los aspectos más relevantes del Plan Maestro y su puesta en marcha se exponen a continuación:

1. El objeto del Plan es construir las obras más convenientes que provean de nuevos recursos de agua para riego y agua potable al valle de Azapa.

Estos nuevos recursos no permiten aumentar el área cultivada, sino sólo el mejoramiento del riego actual.

2. La construcción de obras nuevas para mejorar el riego es rentable, y dicha rentabilidad resulta aumentada notablemente al considerar que el agua adicional que provee el Plan puede utilizarse para generar energía eléctrica, y así lo demuestran los estudios realizados.

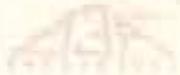
3. La promoción y explotación futura de éstas obras requiere de una organización dedicada exclusivamente a ello, como interlocutor válido de la Dirección de Riego.

Dicha organización deberá estar formada por los usuarios de cada sector interesado, los regantes, ENDESA, Empresa Agua Potable de Arica, por CONAF y las autoridades regionales.

Deberá velar por el cumplimiento del Convenio Riego-Endesa para el aprovechamiento del recurso, el cual debe estar supeditado al impacto ecológico producido por el uso de recursos hasta ahora inexplorados.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LYDA.
 AV. PROVIDENCIA Nº 2329 - OF. 61
 FONOS 743732
 SANTIAGO

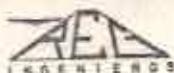


RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LYDA.
 AV. PROVIDENCIA Nº 2329 - OF. 61
 FONOS 743732
 SANTIAGO

La organización deberá promover incluso, los estudios hidrológicos e hidrométricos necesarios para una definición adecuada de los recursos del Río Lauca y las lagunas Chungará y Cotacotani.

4. La puesta en marcha del Plan Maestro está en manos de la Dirección de Riego, quien realizará las gestiones iniciales, (solicitud de reserva de aguas, formulación convenio Riego-Endesa, promoción del Plan a nivel Regional, formación de la organización necesaria) como asimismo del diseño definitivo, construcción y administración de las obras, hasta su entrega a la organización referida en el punto anterior.

5. Las obras, proyectos y estudios se resumen en forma cronológica en los siguientes dos cuadros, en los cuales se indica según el número de hectáreas regadas, la fecha de ejecución y las inversiones necesarias.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 • OF. 61
FONO 742732
SANTIAGO

- 113 -

ESTUDIO DE VIABILIDAD
DE LA OBRA DE RECONSTRUCCIÓN DE
LA OBRA DE RECONSTRUCCIÓN DE
LA OBRA DE RECONSTRUCCIÓN DE
LA OBRA DE RECONSTRUCCIÓN DE

CUADRO 10.1

2.221 Hectáreas de Riego (Situación actual, año 1981)

PLAN DE ACCION

N° Secuencia	Fecha	Descripción	Inversión US\$	Plazo de ejecución
1	Marzo 1982	Construcción peralte bocatoma Canal Lauca	49.424	150 días
2	Marzo 1982	Construcción de la Re habilitación Obra "B" Laguna Cotacotani	201.215	150 días
3	Marzo 1982	Estudio de Impacto Am biental	13.280	2,5 meses
4	Marzo 1983	Estudio y Planta de Bombas y Canal Chunga rá	163.126	12 meses
5	Marzo 1984	Construcción Planta de Bombas y Canal Chungará	3.425.659	8 meses
6	Marzo 1991	Estudio Planta de Bombas Huntume	63.243	6 meses
7	Septiembre 1991	Construcción Planta de Bombas Huntume	1.328.104	6 meses
8	Noviembre 1997	Estudio Planta de Bombas Ancochalloane	60.216	6 meses
9	Mayo 1998	Construcción Planta Bombas Ancochalloane	1.264.528	6 meses

* Como gasto de estudio se considera el 10% del Costo Directo del Proyecto.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO

- 114 -

CUADRO 10.2

2.494 Hectáreas de riego (situación al incorporar Alto
Ramírez)

PLAN DE ACCION

N°Secuencia	Fecha inicio	Descripción	Inversion necesaria	Plazo de ejecución
1	Marzo 1982	Construcción Peralte bocatoma Canal Lauca	49.424	150 días
2	Marzo 1982	Construcción de la Rehabilitación Obra "B" Laguna Cotacotani	201.215	150 días
3	Marzo 1982	Estudio del Impacto Ambiental	13.280	2,5 meses
4	Marzo 1983	Estudios Planta de Bomba y Canal Chungará	163.126	12 meses
5	Marzo 1984	Construcción Planta de Bombas y Canal Chungará	3.425.659	8 meses
6	Enero 1984	Estudio Planta de Bombas Huntume	63.243	6 meses
7	Julio 1984	Construcción Planta de Bombas Huntume	1.328.104	6 meses
8	Septiembre 1990	Estudio Planta de Bombas Ancochalloane	60.216	6 meses
9	Marzo 1991	Construcción Planta de Bombas Ancochalloane	1.264.528	6 meses

* Como gasto de estudio se considera el 10% del costo directo del Proyecto.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 01
FONO 743732
SANTIAGO

- 115 -

ANEXO 1

BORRADOR DE LA SOLICITUD DE MODIFICACION DE RESERVA
DE AGUAS A SOLICITAR POR

LA

DIRECCION DE RIEGO

A LA

DIRECCION GENERAL DE AGUAS

PREPARADO POR

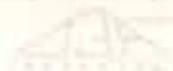
RICARDO EDWARDS G - INGENIEROS

DICIEMBRE 1981



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 81
FONO 743732
SANTIAGO

- 116 -



Faint text in the top right corner, possibly a stamp or header, including the words "BORAWCE OBRADIN" and "ARTI" and "SANTIAGO".

ORD DR N°

MAT: Solicita modificación
decreto Reserva Lauca.

ANT: Decreto 526, 10 de Marzo,
1961.

Stgo ,

DE: DIRECTOR DE RIEGO

A : DIRECTOR GENERAL DE AGUAS

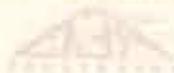
1. Durante 1981 la Dirección de Riego ha terminado la formulación de un Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Regadío del Valle de Azapa, dicho Plan considera un calendario de obras que se inician en 1982 y terminan en 1990 aproximadamente.

Para la construcción de estas obras es necesario realizar una reserva a favor del FISCO de las aguas del río Lauca, laguna Chungará, laguna Cotacotani y la ciénaga de Parinacota.

2. Dicha reserva ya fue concedida en el decreto N°562 del 10 de Marzo de 1961, cuya copia se adjunta y el caudal reservado entonces es suficiente para cubrir las necesidades del Plan, sin embargo, es necesario modificar dicha reserva a fin de que sea posible captar parte de dicho caudal en el curso del río Lauca, más allá de la Ciénaga de Parinacota.



RICARDO EDWARDS G.
 INGENIEROS LTDA.
 AV. PROVIDENCIA Nº 2350 - OF. 61
 FONOS 743732
 SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
 INGENIEROS LTDA.
 AV. PROVIDENCIA Nº 2350 - OF. 61
 FONOS 743732
 SANTIAGO

3. En razón de lo anteriormente expuesto, la Dirección de Riego solicita a Ud. la tramitación de la modificación de los términos de la mencionada reserva (decreto 562), en el sentido de permitir que la captación de las aguas pueda realizarse tanto en el lugar mencionado en el decreto 562 como a lo largo del río Lauca en las zonas de Huntume y Ancochalloane.

Saluda a Ud.

RESERVA A FAVOR DEL FISCO LAS
AGUAS DEL RIO LAUCA

SANTIAGO, 10 de marzo de 1961.

N° 562 / Vistos estos antecedentes y lo informado por oficio
N° 100, de 3 de marzo en curso, de la Dirección de Riego,

D E C R E T O :

1°.- Resérvanse a favor del Fisco, sin perjuicio de los derechos de terceros legalmente establecidos, las aguas del Río Lauca y las que a él se vacien de las Lagunas de Chungará, Cotacotani y Ciénagas de Parinacota, hasta un caudal de 3.500 litros por segundo. Dichas aguas serán captadas en la orilla izquierda del río Lauca en el lugar denominado Ciénagas de Parinacota, y destinadas al regadío del Valle de Azapa.

2°.- Esta reserva se hace con el carácter de provisional, mientras dure la construcción de las obras.

3°.- Publíquese por tres veces en un diario de la ciudad de Arica y por una vez en el Diario Oficial.

Tómese razón, comuníquese y publíquese.

JORGE ALESSANDRI RODRIGUEZ

Ernesto Pinto Lagarrique.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 01
FONO 743732.
SANTIAGO

- 119 -

ANEXO 2

BORRADOR DE LOS PUNTOS MINIMOS

A CONSIDERAR EN UN

CONVENIO DIRECCION DE RIEGO-ENDESA

PARA EL USO DE LOS

NUEVOS RECURSOS

PROVISTOS POR

EL

PLAN MAESTRO DE ACCION INMEDIATA PARA

EL SISTEMA DE REGADIO DEL VALLE

DE AZAPA

PREPARADO POR

RICARDO EDWARDS G - INGENIEROS

DICIEMBRE 1981



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTD.A.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

I. INTRODUCCION.

Durante 1981 la Dirección de Riego ha terminado la elaboración de un Plan Maestro para el regadío del valle de Azapa. Dicho plan considera la construcción de varias obras para la captación de nuevos recursos de agua.

Dentro del aprovechamiento de estos recursos está la posibilidad cierta de generar energía eléctrica al hacerlos pasar por la central Chapiquiña.

Naturalmente la Dirección de Riego y los regantes en general, quienes construirán las obras, comprenden la oportunidad de ofrecer dichos recursos a ENDESA pactando al mismo tiempo las condiciones y límites a la explotación de estas aguas y la retribución que ENDESA debe cancelar por el uso de ellas en generar energía.

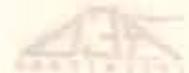
El presente documento se entrega como un borrador del Convenio que necesariamente deberán suscribir la Dirección de Riego y la Empresa Nacional de Electricidad S.A., a fin de señalar algunos puntos considerados indispensables.

Los aspectos o condiciones que se sugieren se han desarrollado en forma de artículos y se entregan en la segunda parte del presente borrador.

Algunos puntos de muy difícil definición se entregan en la tercera parte del borrador, en calidad de comentarios generales.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

II. TEXTO PROPUESTO.

Artículo 1 : Alcances.

El presente convenio se suscribe entre la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas (en adelante la DIRECCION) y la Empresa Nacional de Electricidad (en adelante ENDESA) con el objeto de regular el uso por parte de ENDESA de los nuevos recursos de agua que se obtendrán mediante la aplicación del Plan Maestro de Acción Inmediata para el Sistema de Regadío del Valle de Azapa. Asimismo, el presente Convenio define el monto y modo de la retribución que ENDESA pagará a quien la DIRECCION designe, por el uso de estas aguas para generación.

Artículo 2 : Recursos afectados por el presente Convenio.

Se regirán por las disposiciones del presente Convenio todos los recursos provenientes de la explotación de las siguientes obras:

- Planta de bombas situada en laguna Chungará.
- Planta de bombas situada en el curso del río Lauca, en su ribera derecha, en el lugar denominado Huntume o Juan de la Cruz.
- Planta de bombas situada en el curso del río Lauca, en su ribera derecha, aguas abajo de la confluencia del estero Ancochalloane con el río Lauca.

La Primera de estas obras se construirá en 1982 y las otras dos, en conformidad al Plan.

Sin embargo, estas últimas, de acuerdo a los estudios hidrológicos que se harán y en las necesidades reales que se determinen, podrán modificarse en su ubicación, capacidad y fechas de ejecución; se incluyen en el presente Convenio a título de ilustrativo y por que forman parte del Plan Maestro.

Artículo 3: Vigencia del Convenio.

El presente Convenio tendrá validez mientras dure la



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



explotación por parte de ENDESA de la Central Chapiquiña y ésta use los recursos provenientes de las fuentes mencionadas en el Artículo 2.

En el caso que la DIRECCION deje la administración de las obras del Plan, el presente convenio deberá ser ratificado en los mismos términos entre la organización que se encargue de la administración y ENDESA, entendiéndose que dicha organización reemplazará para los efectos y obligaciones del presente Convenio a la DIRECCION.

Artículo 4: Límites a la Explotación.

Ambas partes, la DIRECCION y ENDESA, convienen en que no sobrepasarán los siguientes límites del volumen de agua proveniente de las fuentes mencionadas en el Artículo 2.

a. Aguas desde laguna Chungará.:

1. límite máximo al volumen bombeado y/o extraído
en un año : $24 \times 10^6 \text{ m}^3$
2. límite máximo al volumen bombeado y/o extraído
en catorce años sucesivos: $103 \times 10^6 \text{ m}^3$

b. Aguas desde el lugar denominado Huntume o Juan de la Cruz.

1. límite máximo al volumen bombeado y/o extraído
en un año : $6,74 \times 10^6 \text{ m}^3$
2. límite máximo al volumen bombeado y/o extraído
en catorce años sucesivos: $36,06 \times 10^6 \text{ m}^3$

c. Aguas desde la confluencia del estero Ancochalloane y el río Lauca.

1. límite máximo al volumen bombeado y/o extraído en un año : $3,78 \times 10^6 \text{ m}^3$
2. límite máximo al volumen bombeado y/o extraído en catorce años sucesivos: $26,5 \times 10^6 \text{ m}^3$

Los límites fijados en b) y c) están basados en los estudios hechos y podrán modificarse si los futuros estudios definieran caudales de bombeo diferentes a los propuestos.

Artículo 5 : Medida y Pago.

La medida de los caudales entregados por cada instalación mencionada en el Artículo 2 se hará en las plantas de bombas en laguna Chungará, Huntume y Ancochalloane, mediante aforador y aparatos automáticos de control, que inscriban el caudal y la energía consumida en el bombeo además de la fecha en forma continua, situados en las descargas a los canales y en las plantas de bombas.

El pago se efectuará tomando como base las mediciones realizadas en los aparatos ya descritos, los que serán controlados por personal de la Dirección de Riego o de la organización que la reemplace para los efectos de la administración de las obras.

Dichos pago se hará de acuerdo a las tarifas establecidas en el Artículo 6 del presente Convenio, tarifas que podrán ser diferenciadas según el origen de las aguas.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

Artículo 6: Tarifas y modo de pago.

ENDESA se compromete a cancelar a la DIRECCION o a la organización que la DIRECCION designe mensualmente, el monto total que resulte de multiplicar los volúmenes controlados en cada fuente por su tarifa correspondiente, las que se definen a continuación:

1. Para laguna Chungará : \$ 4.34 por metro cúbico,
equivalentes a U.F. : 0,003525
2. Para planta Huntume : \$ 4,17 por metro cúbico,
equivalentes a U.F. : 0,003380
3. Para planta Ancochalloane: \$ 5,55 por metro cúbico,
equivalentes a U.F. : 0,004507

Las tarifas 2. y 3. se dan con carácter ilustrativo.

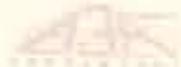
Artículo 7 : Compromiso arbitral.

En caso de dudas o discrepancias en la interpretación de las cláusulas del presente convenio, resolverá administrativamente el Ministro de Obras Públicas, sin perjuicio de las atribuciones que correspondan a la Contraloría General de la República.



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

- 125 -



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

III. COMENTARIOS GENERALES.

1. No es conveniente incorporar al Convenio las obras del Peralte de la bocatoma del Canal Lauca ni la rehabilitación de la Obra B de laguna Cotacotani, debido a la gran dificultad en reconocer cual sería el volumen de "nuevo recurso" que entregue cada obra. Si se incorporasen estas obras al convenio, lo más acertado sería cobrar por todo el recurso entregado por la toma del Canal Lauca y laguna Cotacotani, reconociendo o considerando el hecho que ENDESA ya ocupa esos recursos.
2. El modo de medida propuesto debe ser implementado en forma de tener sólo control mensual y ser automático, con mantención mínima y un sistema de control secundario en caso de fallas, lo cual recomienda utilizar la energía eléctrica consumida como parámetro de control.
3. Es necesario definir el régimen tributario al que estaría afecto el ingreso por el uso del agua por parte de ENDESA para generación y buscar una estructura que resulte favorable a ENDESA en términos de costos finales.

Departamento

Arica

Rio o Aguada *Río Lauca.*

Concesionario *Empresa Nacional de Electricidad S.A. "Central Chapiquina"*

Destino *Generar Potencia.*

	N.º	FECHA	PLAZO	OBSERVACIONES
Informe de la D. O. P.	436	23 agosto 1961		
Decreto de concesión	1941	30 agosto 1961	5 años.	
prórroga presentación proyecto				
" " " "				
" " " "				
aprobación ante proyecto				
" " proyecto	16	4 Enero 1967		
traspaso				
ampliación				
depósito de fondos.				
prórroga iniciar obras				
" " " "				
" " " "				
" " terminación obras				
" " " "	16	4 Enero 1967.		
" " " "	16	4 Enero 1967		
concesión título definitivo				

señala el lugar a donde restaría. *Rail Medina Vergara, inscrito a ff. 1 y 2 del registro de propiedad de aguas de E-1167 de Arica.*

caudal mínimo del río

volumen concedido *m³/de ag. de 2700 lts/seg del río Lauca*

potencia útil

potencia útil *27.744 HP. para la Central Chapiquina*

obra por regar *Hus*

Las aguas se captarán en las obras de desviación de río Lauca dentro del túnel que atraviesa el frontón de Chapiquina aprox. 40ms. antes de la boca occidental.

ubicación bocanoma

ubicación restitución

Las aguas se restituirán a la quebrada de Losapilla afl. de la Hda. de Chuzmiza.

distancia entre toma y restitución

obras principales



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 745732
SANTIAGO

IV. ESTIMACION DEL PRECIO DE VENTA DEL AGUA PROVENIENTE DE LAS PLANTAS DE BOMBEO CHUNGARA, HUNTUME Y ANCOCHA-LLOANE.

A. Planta de Bombeo Chungará.

A.1 Generalidades.

Volumen de agua elevada promedio en el periodo de 14 años = 7.494.285 (Volumen total elevada 104.920.000 m³)

Inversión total de la planta de bombeo y obras de conducción del agua = US\$ 3.425.659.

Para realizar la inversión se supone un préstamo de una entidad financiera por un plazo de 14 años a una tasa de interés de 12% anual.

A.2 Costos de Operación y mantención.

Estos costos se dividen en tres items.

1. Costo de energía de elevación US\$ 159.478 anuales (este costo se calcula como costo US\$ = 0,02128 x V; donde V es el volumen elevado en millones de m³).

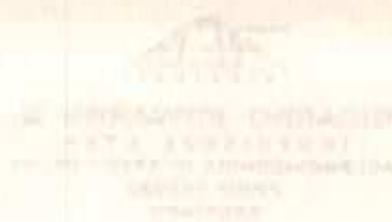
Costo de amortización del equipo de bombas y de reparaciones mayores US\$ 65.800 anuales (estos costos se suponen del orden del 2% anual de la inversión).

2. Costo de reparaciones menores y costos administrativos US\$ 68.400 anuales.

(estos costos incluyen costo de técnicos de mantención,



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO



Ingenieros a cargo de la Producción y reparaciones menores).

A.3 Amortización de la deuda.

Se considera que la deuda contempla 2 años de gracia, esto significa que comienza a ser pagada desde el segundo año de otorgado el préstamo.

Para este año la deuda asciende a:

$$3.425.659 \times (1,12)^2 = 4.297.146 \text{ (US\$)}.$$

La amortización de la deuda se calcula como:

$$A = V.T \left(\frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \right) \text{ donde}$$

i = tasa de interés (12% anual.

n = período de pago (14 años)

$V.T$ = US\$ 4.297.146

A = Cuota anual durante el período de 14 años.

Handwritten notes:
 $\frac{1,12^4}{1,12^4 - 1}$

Handwritten calculations:
 $\frac{0,5864535}{0,1508671}$
 $3,8871123$

$$A = 4.297.146 \times 0,150871 = 648.314 \text{ (US\$)}$$

A.4 Costo anual total

Amortización de la deuda	US\$	648.314
Costo energía de elevación	US\$	159.478
Costo reparaciones mayores	US\$	65.800
Costo reparaciones menores	US\$	<u>68.400</u>
Costo total anual	US\$	941.992



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 745732
SANTIAGO



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA Nº 2330 - OF. 61
FONO 745732
SANTIAGO

A.5 Costo total por m³ elevado en Chungará.

El costo por metro cúbico se calcula como

$$941.992 / 7.494.285 = 0,125 \text{ US\$/m}^3$$

Luego el precio del m³ de agua adicional aportado por la estación de bombeo Chungará tiene un precio de 4,88 \$/m³

B. Planta de Bombeo Huntume

- Volumen promedio elevado en el período de 14 años
38.495.000/14 = 2.749.643 m³ anuales
- Inversión Inicial US\$ 1.328.104
- Amortización anual de la deuda US\$ 200.372
- Costos de elevación US\$ 63.448
- Costos por reparación total US\$ 58.962

Costo total = US\$ 322.782

Luego el Costo por m³ elevado es de 0,12 US\$/m³ = 4,68/m³

C. Planta de Bombeo Ancochailloane.

- Volumen promedio elevado en el período de 14 años
26.490.000/14 = 1.892.143 m³ anuales.
- Inversión Inicial US\$ 1.264.528
- Amortización anual de la deuda US\$ 190.780
- Costo de elevación US\$ 60.140



RICARDO EDWARDS G.
INGENIEROS LTDA.
AV. PROVIDENCIA N° 2030 - OF. 61
FONO 743732
SANTIAGO

- Costo por reparaciones total US\$ 44.490

Costo total US\$ 295.410

Luego el costo por m^3 elevado es de $0,16 \text{ US\$/m}^3 = 6,24 \text{ \$/m}^3$

D. Ponderación de tarifas.

Al evaluar el monto total (en dinero) de los beneficios que reportan los nuevos recursos, considerando que ENDESA pague las tarifas deducidas en lo anterior, resulta que de dicho monto total de los beneficios el porcentaje perteneciente a riego asciende a un 11% en promedio aproximadamente.

En razón de esto se considera necesario prorratear los costos de operación de acuerdo al porcentaje de los beneficios, lo cual lleva a ponderar las tarifas anteriores por 0,89.

Las tarifas así afectadas son:

1. Planta Chungará : $\$ 4,34/m^3$
equivalentes a U.F. : $0,003525/m^3$
2. Planta Huntume : $\$ 4,17/m^3$
equivalentes a U.F. : $0,003380/m^3$
3. Planta Ancochalloane : $\$ 5,55/m^3$
equivalentes a U.F. : $0,004507/m^3$

