

WULF KLOHN

HIDROGRAFIA
DE LAS ZONAS
DESERTICAS DE CHILE

REH - 209

c. 2

Santiago de Chile, 1972

Wulf Klohn

HIDROGRAFIA DE LAS ZONAS DESERTICAS DE CHILE

editado por Jean Burz

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

Contribución al Proyecto CHI-35

Investigaciones de los Recursos Hidráulicos en el Norte Grande

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Santiago de Chile, 1972.

Wulf Klohn
Ingeniero Civil, Universidad de Chile
Experto en Hidrología
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Bogotá, Colombia.

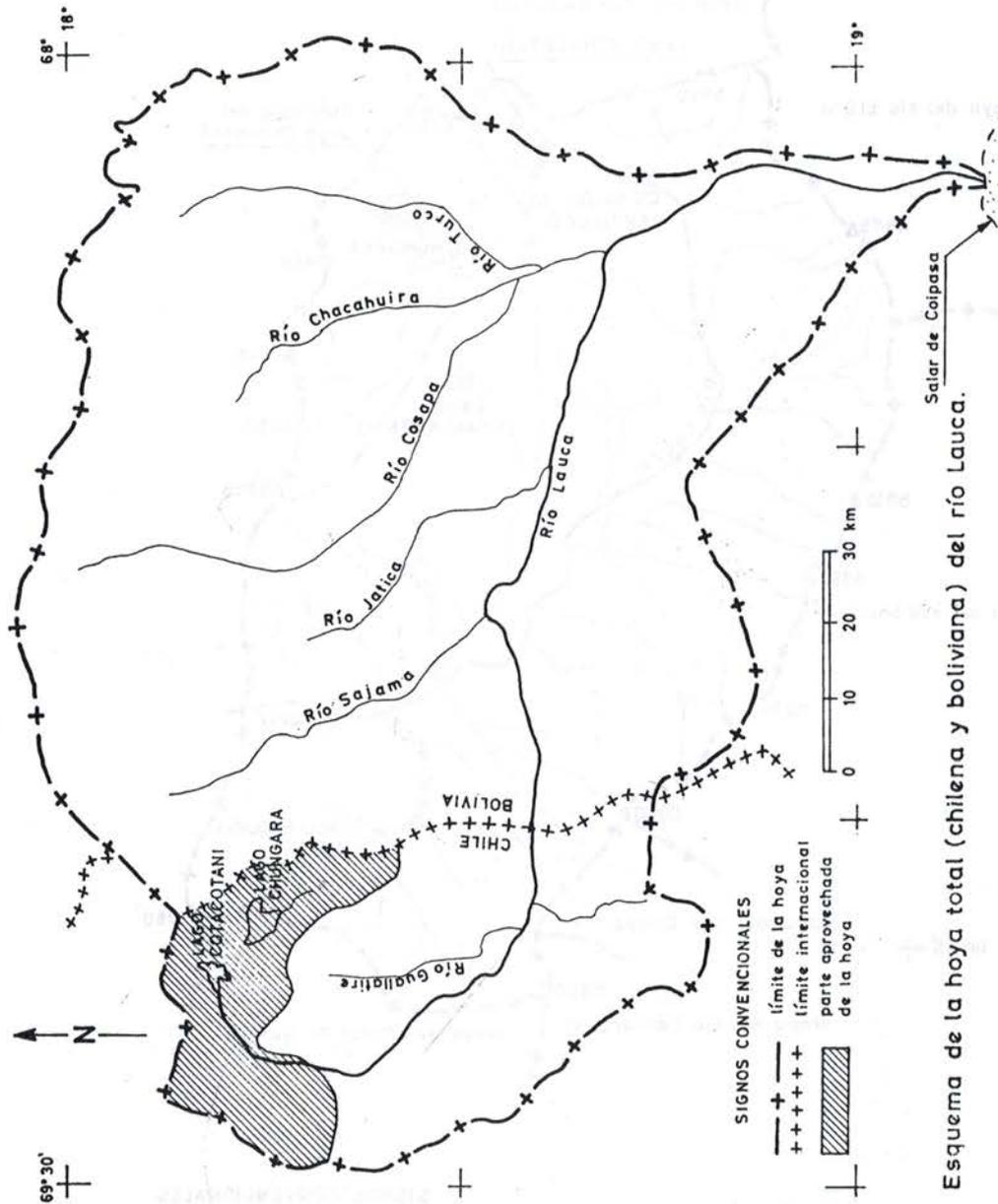
Francisco Javier Domínguez
Profesor de Hidráulica
Universidad de Chile
Santiago, Chile

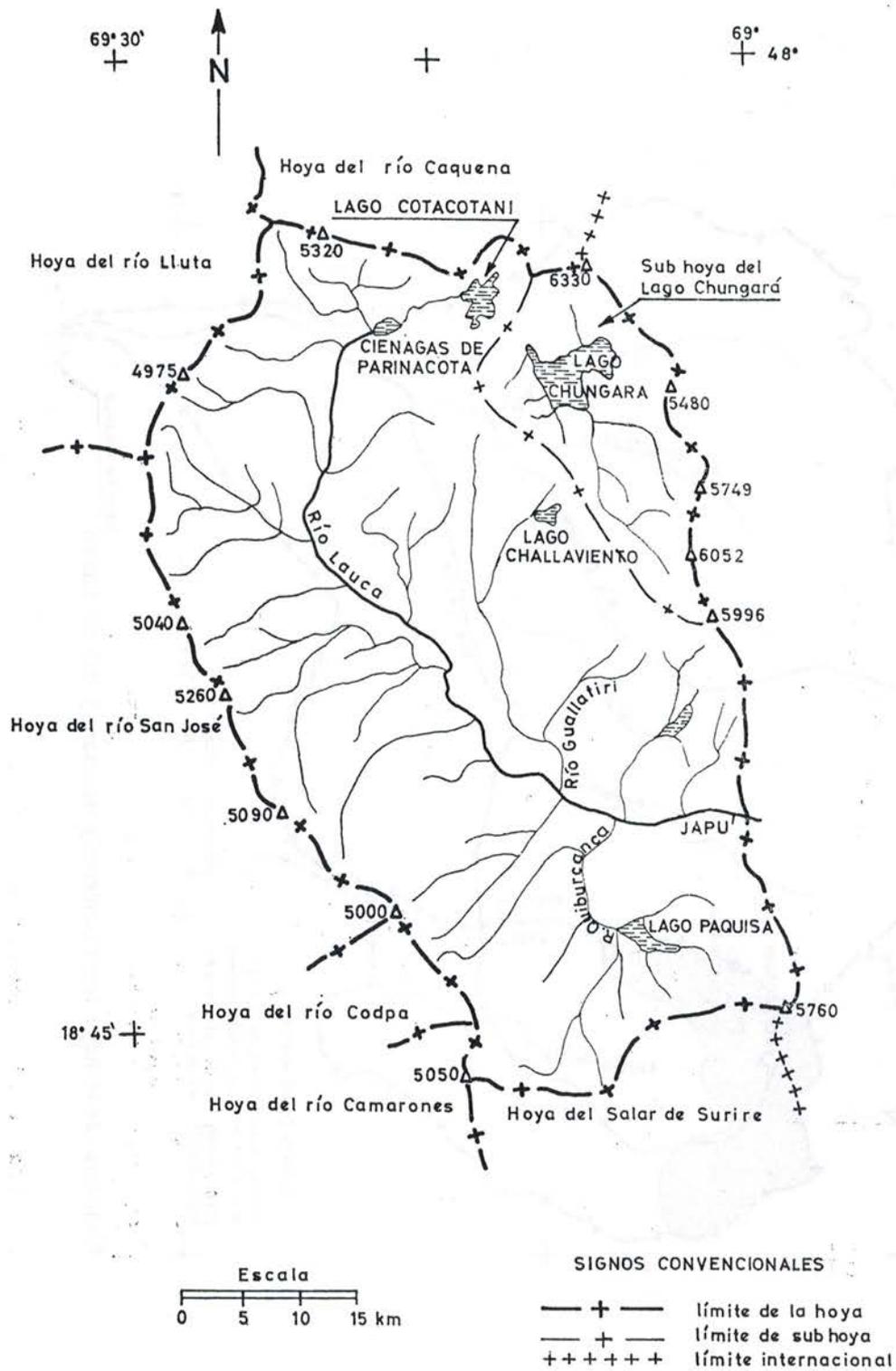
Jean Burz
Doctor en Ciencias Naturales, Universidad de Muenchen
Experto en Hidrometeorología
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Santiago, Chile.

INDICE

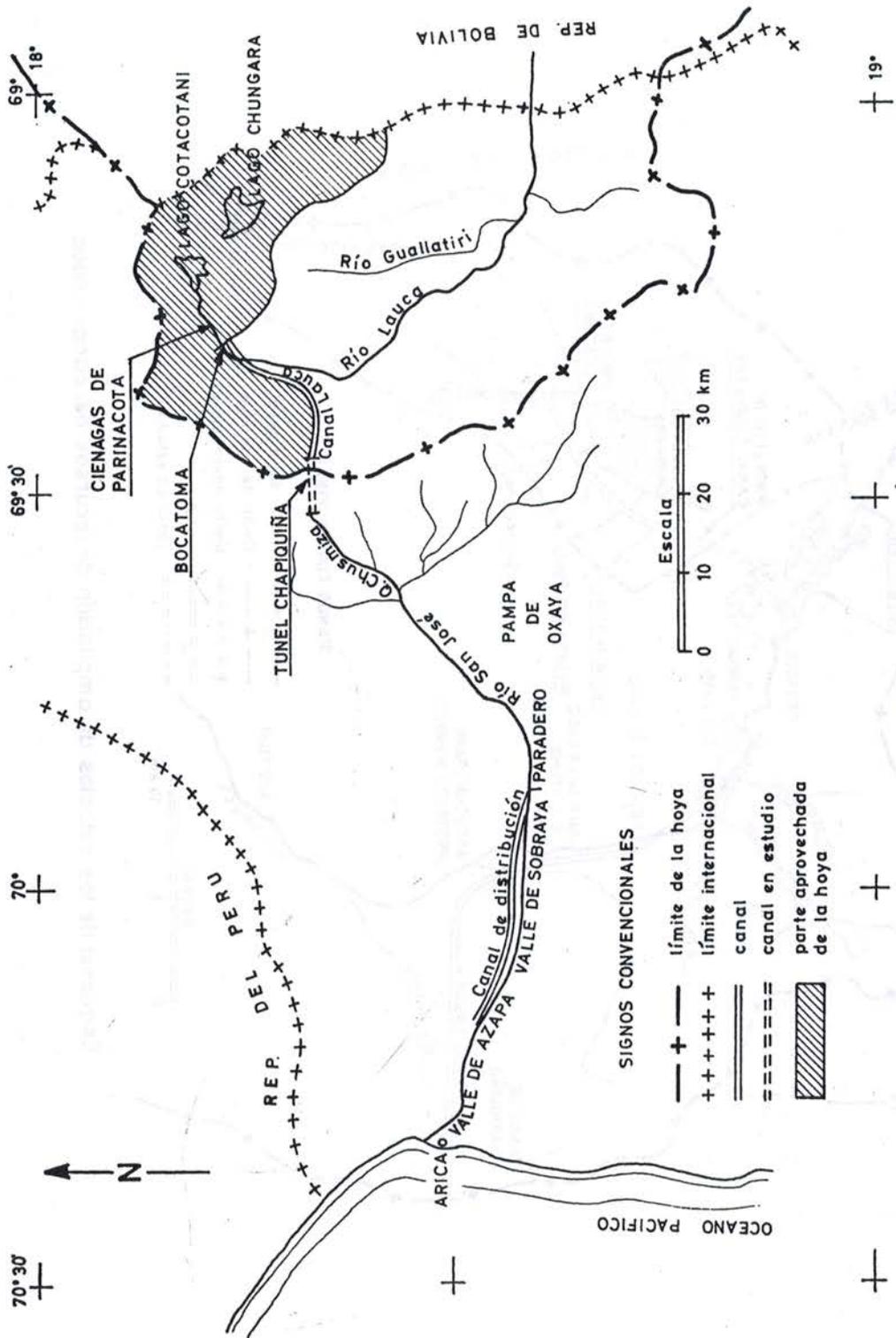
	<i>Pág.</i>
Prólogo	V
1. Introducción	1
1.1. Consideraciones preliminares	1
1.2. Propiedades de los climas áridos	2
1.3. La región de clima desértico en Chile	6
1.4. La evolución del clima y los ciclos	11
1.5. Consideraciones sobre la hidrogeología del área	14
1.6. Proyectos de alcance regional	16
1.7. Antecedentes bibliográficos de índole general	18
2. Sistemas andinos de drenaje interior	20
2.1. Río Uchusuma	20
2.2. Río Caquena	22
2.3. Río Lauca	24
2.3.1. Lago Chungará	31
2.3.2. Río Guallatire	33
2.3.3. Río Quiburcanca	33
2.4. Salar de Surire	34
2.4.1. Río Surire	34
2.5. Río Isluga o Sitani	34
2.6. Río Cariquima	35
2.7. Río Ocacucho o Cancosa	35
2.8. Salar de Huasco	35
2.8.1. Río Piga o Collacagua	37
2.9. Salar de Ascotán	38
2.10. Río Sapaleri	39
2.11. Ríos Quipiaco y Alítar	41
2.12. Lagunas Miscanti y Mifiqués	41
2.13. Salar de Punta Negra	43
2.14. Laguna Verde	43
2.15. Salar de Maricunga	45
2.15.1. Río Valle Ancho	45
2.15.2. Río Lamas	46
2.16. Laguna del Negro Francisco	47
2.16.1. Río Astaburuaga	49
2.17. Antecedentes bibliográficos	49
3. Las grandes quebradas del Norte de Tarapacá	52
3.1. La Concordia	52
3.2. Río Lluta	53
3.3. Río San José	57

	<i>Pág.</i>
3.4. Río Codpa	66
3.5. Río Camarones	69
3.6. Río Tana o Camiña	73
3.7. Antecedentes bibliográficos	78
4. Pampa del Tamarugal	81
4.1. Río Aroma	85
4.2. Río Huasquiña	87
4.3. Río Tarapacá	87
4.4. Río Quipisca	95
4.5. Río Tambillo	95
4.6. Río Quisma o Chintagay y acuífero de Pica	97
4.7. Río Chacarilla	101
4.8. Antecedentes bibliográficos	101
5. Río Loa	103
5.1. Río Loa Alto	110
5.2. Río San Pedro Inacaliri	112
5.3. Río Salado del Loa	113
5.4. Río San Salvador	117
5.5. Antecedentes bibliográficos	117
6. Salar de Atacama	119
6.1. Río Atacama	119
6.2. Río Vilama	123
6.3. Río Sapar	123
6.4. Río Honar	125
6.5. Río Potor	125
6.6. Río Aguas Blancas o Hecar	125
6.7. Río Soncor	126
6.8. Río Socaire	126
6.9. Río Calar o de Peine	126
6.10. Río Tilomonte o Tulán	128
6.11. Antecedentes bibliográficos	128
7. Los sistemas de régimen efímero entre Loa y Elqui	129
7.1. Vertiente occidental de la cordillera de Domeyko	129
7.2. Ríos Totoral y Carrizal	133
7.3. Río Domeyko	135
7.4. Río Choros	138
7.5. Antecedentes bibliográficos	140
8. Ríos de Atacama de régimen permanente	141
8.1. Río Copiapó	141
8.2. Río Huasco	153
8.3. Antecedentes bibliográficos	160
Anexo 1	163
Anexo 2	168
Anexo 3	173
Bibliografía	177



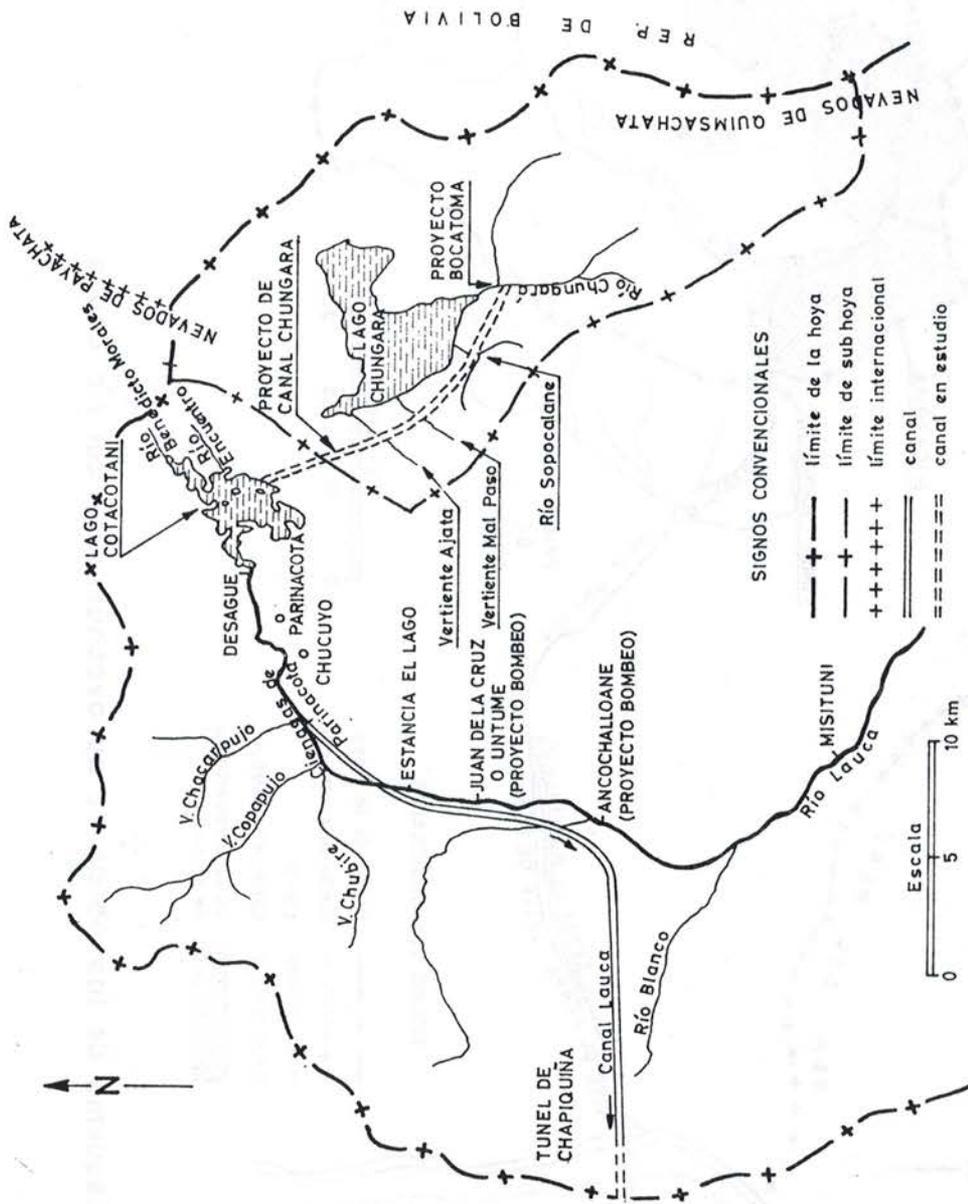


Esquema de la parte chilena de la hoya del río Lauca ($S=2.700\text{km}^2$)



- SIGNOS CONVENCIONALES**
- +— límite de la hoya
 - + + + + + límite internacional
 - ==== canal
 - ==== canal en estudio
 - ▨ parte aprovechada de la hoya

Esquema de las obras de aprovechamiento del río Lauca.



Esquema de los estudios de ampliación de recursos del canal Lauca

más baja que la del lago Chungará. Característico de Cotacotani es la cantidad de islas e islotes que dislocan la laguna, siendo esta morfología debida al campo de lava que ella ocupa. En las vecindades de la laguna principal hay un buen número de otras lagunitas, a veces, en estiaje; la superficie principal se fragmenta, quedando aisladas ciertas depresiones marginales. La profundidad máxima alcanza a 20 m en una fosa céntrica, frente a la desembocadura del río Benedicto Morales, tributario superficial más importante de Cotacotani, que afluye en el extremo noreste de la laguna. El agua proviene sin duda de afloramiento de los escurrimientos subterráneos que descienden del volcán Parinacota. El gasto oscila de 90 a 110 l/s. Un segundo tributario de Cotacotani es el estero Encuentro, de la ribera oriental, que tiene unos 20 l/s. No hay duda que Cotacotani recibe además aportes subterráneos desde Chungará y los volcanes Payachata. La calidad de las aguas de Cotacotani se caracteriza por conductividades de 900 micromhos (C31-S1), siendo los tributarios ligeramente mejores.

La laguna Cotacotani tiene un desagüe superficial hacia la ciénaga de Parinacota a través de un umbral rocoso. Este río, que en realidad es el origen del Lauca, se designa por Desaguadero y recorre unos 5 km por un cauce poco marcado entre los peñascos de lava, salvando un desnivel de 150 m, para finalmente caer con un salto de 5 m a la ciénaga de Parinacota.

La ciénaga de Parinacota es una extensa depresión de 28 km² de superficie, sobre la que el agua escurre con muy escasa pendiente, produciendo meandros y ensanchamientos lagunares, uno de los cuales es la laguna de Parinacota. Se extiende al poniente de la laguna Cotacotani a 4.350 m y está confinada por el norte y el oeste por los cerros de Guaneguane, Larancagua y los nevados de Putre. Hacia el sur se extiende una meseta de origen volcánico, aunque no necesariamente reciente a través de la cual se abre camino, en un verdadero cañón, el río Lauca, que desagua la ciénaga. La hoya hidrográfica que comprende Parinacota es de unos 100 km². Característico de Parinacota es la presencia de pequeñas cadenas de cerrillos de material volcánico similares a los de Cotacotani.

Además del río Desaguadero, las ciénagas de Parinacota son alimentadas por numerosas vertientes. La más importante de ellas es la vertiente Ojos de Agua o Grande Parinacota, que brota próxima al pueblo de igual nombre con un caudal de 150 l/s. La calidad de sus aguas, superior a las de las lagunas Chungará y Cotacotani, prueba que esta vertiente es independiente de ellas. Por el lado sur de las ciénagas se reconocen además otras cinco vertientes, nombradas Tuldune, Pocroco, Apocujo, Untunpujo y Chungarilla, cuyos caudales suman en total unos 40 l/s. Las dos vertientes nombradas en último término son termales y los habitantes del lugar la emplean en el lavado de ropa. La principal de estas vertientes, por su caudal, es la de Apocujo. Todas ellas son de caudales bastante constantes. Por el lado norte de la ciénaga nacen las aguadas Chacarpujo, Copapujo y Chubire, que dan origen a algunas lagunitas por la interposición de una cadena de cerrillos hacia el cauce de la ciénaga.

Todas ellas son sensibles a las fluctuaciones del agua caída en la zona de recarga. La vertiente de Chacarpujo tiene un gasto medio de 40 l/s, la de Copapujo unos 80 a 100 l/s, y la Chubire, que ocupa la posición más occidental, 65 l/s. Aparte de las citadas, nacen en las ciénagas varias otras pequeñas aguadas de origen mal definido, que incrementan el agua de los bofedales.

Todas las aguas de las ciénagas se reúnen en su extremo occidental en una angostura en la que se origina el río Lauca. Los caudales de este río varían entre menos de 300 l/s en estiaje y más de 1.000 l/s en el período de lluvias. Se indica gráficamente la distribución media de gastos obtenida por BENÍTEZ para los gastos del río Lauca en la estación Estancia El Lago, 3 km aguas abajo de la bocatoma, para el período 1946-1960. Antes de 1950, el gasto medio anual oscila entre 1.200 y 1.600 l/s, mientras que después se mantiene entre 650 y 750 l/s. Análogamente, los gastos de la época húmeda bajan de 3.000 a 1.000 l/s y los de estiaje de 500 a 350 l/s. Aguas abajo de la bocatoma, el río Lauca recibe una decena de afluentes en territorio chileno, de los cuales los más importantes son el río Guallatire, con aproximadamente 1.000 l/s y el río Quiburcanca.

La calidad de las aguas del río Lauca se mantiene en general en la categoría C2-S1, alcanzando excepcionalmente a C31-S1, y consideradas en el conjunto de las aguas de la región, se deben considerar excelentes para el regadío. Las aguas más salinas del sistema son aquellas acumuladas en la laguna Chungará, de categoría C32-S1. El boro se mantiene en límites tolerables inferiores a 3 ppm. En su quimismo destaca el exceso de halógenos sobre el cloro, así como el predominio del magnesio sobre el calcio. La abundancia de aniones de carbonato y de cationes alcalino-térreos sugiere la relación de estas aguas con rocas dolomíticas, probablemente de la formación Oxaya; la presencia de iones de sulfato en mayor cantidad que el cloruro se relaciona posiblemente con el volcanismo de la región.

Es notable, por lo demás, que el caudal del Desaguadero es generalmente mayor a los aportes superficiales a Cotacotani.

Las aguas del sistema Lauca superior se captan a la salida de las ciénagas de Parinacota, con una hoya de 495 km², incluida la laguna de Chungará. Un canal revestido de 28 km de longitud las conduce a la cordillera central, atravesando el portezuelo de Chapiquiña en un túnel de 4.500 m. La capacidad de las obras es de 7.750 l/s. A la salida del túnel de Chapiquiña se conecta la central Chapiquiña de ENDESA, con una caída de 1.000 m, cuya capacidad instalada, una vez completada sus tres etapas, será de 32.500 kw. Como los gastos del río Lauca en el lugar indicado, según se dijo, rara vez pasan de 1.000 l/s y a veces no alcanzan a 500 l/s, se han estudiado diversas posibilidades de incrementar los recursos disponibles.

Entre las alternativas para incrementar los recursos de agua del Lauca se cuenta la reducción de la evaporación por depresión del nivel de las lagunas y el drenaje de las ciénagas. Las ciénagas de Parinacota están constituidas, sin embargo, en gran parte, por vegas artificiales destinadas a la alimentación de animales domésticos. Una solución parcial

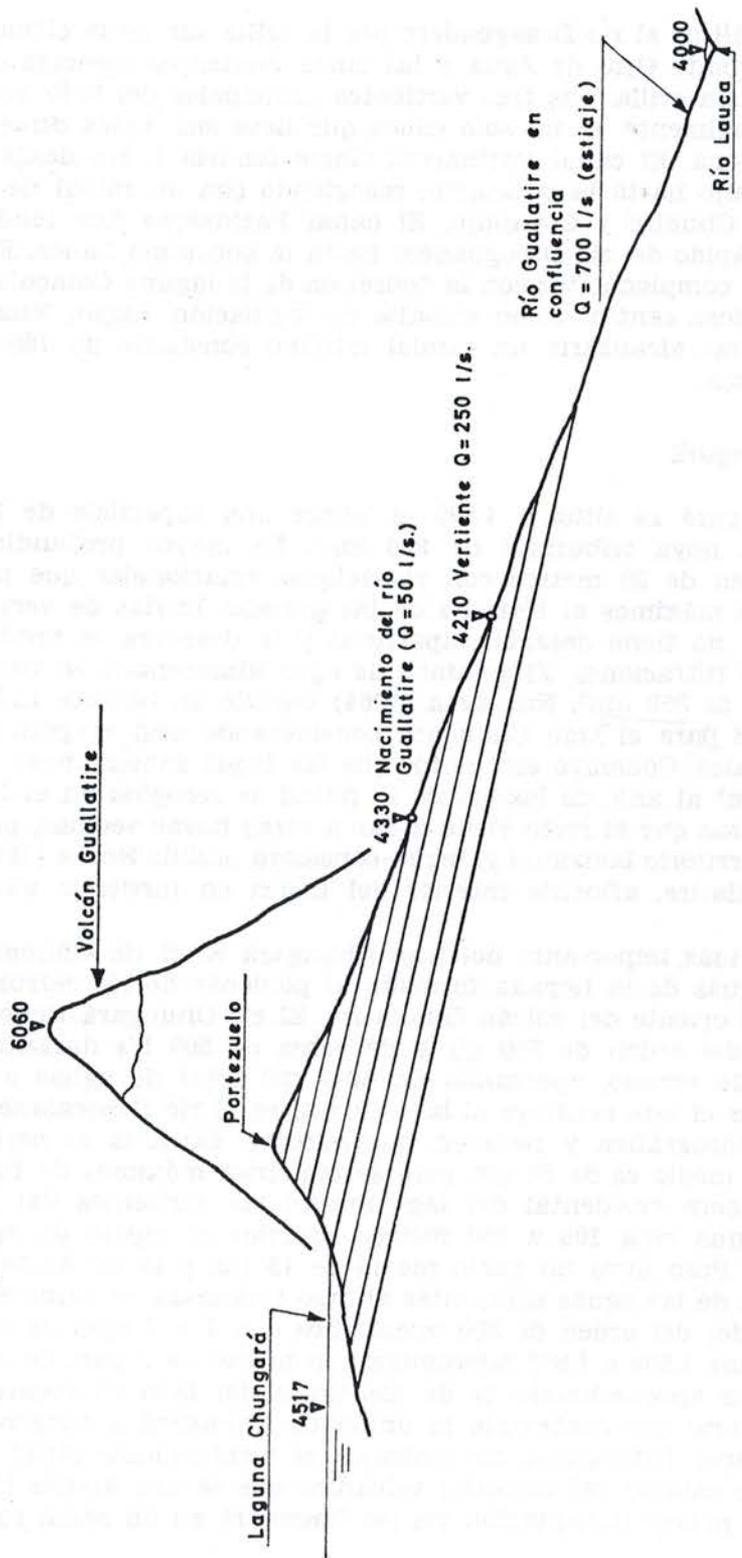
consistiría en canalizar el río Desaguadero por la orilla sur de la ciénaga, recogiendo la vertiente Ojos de Agua y las cinco vertientes menores que se encuentran a esta orilla. Las tres vertientes principales del lado norte podrían reunir igualmente en un solo cauce que lleve sus aguas directamente a la bocatoma. El canal Parinacota Norte tendría 6 km desde la vertiente Chacarpujo hasta la bocatoma, recogiendo con un ramal de 4.3 km las aguas de Chubire y Copapujo. El canal Parinacota Sur tendría 8.340 m desde el rápido del río Desaguadero hasta la bocatoma Lauca. Este proyecto se podría complementar con la depresión de la laguna Cotacotani, aprovechando su fosa central como embalse de regulación. Según NIEMEYER, con estas obras alcanzaría un caudal mínimo constante de 780 l/s para el canal Lauca.

2.3.1. Lago Chungará

El lago Chungará se sitúa a 4.520 m, cubre una superficie de 21.5 km² y tiene una hoya tributaria de 280 km². La mayor profundidad media es del orden de 30 metros con variaciones estacionales que presentan los valores máximos al término de las grandes lluvias de verano. El lago Chungará no tiene desagüe superficial y la descarga se produce por evaporación y filtraciones. El volumen de agua almacenada en Chungará es del orden de 300 hm³. NIEMEYER (1964) calculó un balance hidrológico aproximado para el lago Chungará considerando una evaporación de 1.200 mm anuales. Concluye este autor que las fugas subterráneas son del orden de 6 hm³ al año, de las cuales la mitad es recogida en el lago Cotacotani, mientras que el resto viene a dar a otras hoyas vecinas, posiblemente hacia territorio boliviano y, según considera posible ROJAS (1969), hacia el río Guallatire, afluente interior del Lauca en territorio nacional.

El tributario más importante del lago Chungará es el río Chungará, que recoge las aguas de la hoyada formada al poniente de los cerros de Quimsachata y al oriente del volcán Guallatire. El río Chungará tiene un gasto de estiaje del orden de 300 l/s y de cerca de 500 l/s durante el período lluvioso de verano, aportando un 80% del total de aguas afluyentes al lago. Por el este confluye al lago Chungará el río Sopocalane, de reducida hoya hidrográfica y régimen intermitente. Durante el período húmedo su gasto medio es de 30 l/s, pero se registran máximos de hasta 160 l/s. En la ribera occidental del lago brotan las vertientes del Mal Paso y Ataja a una cota 100 a 150 metros superior al espejo de agua. La vertiente Mal Paso lleva un gasto medio de 15 l/s, y la de Ajata, de 20 l/s. La calidad de las aguas afluyentes al lago Chungará se caracteriza por conductividades del orden de 300 micromhos con 1 a 2 ppm de boro. El lago mismo tiene 1.200 a 1.600 micromhos con menos de 2 ppm de boro.

Para el mejor aprovechamiento de las aguas del lago Chungará se concibió un proyecto que contempla la unión de Chungará a Cotacotani a través de un túnel. Esta unión, sin embargo, es técnicamente difícil por la poco favorable calidad del material volcánico que separa ambas lagunas. Más factible parece la captación del río Chungará en un canal reves-



Perfil esquemático explicativo de la posible descarga de la laguna Chungará hacia el río Guallatire (según ROJAS)

tido de 28 km que, bordeando la orilla suroeste de la laguna, franqueará el portezuelo de Ajata, en un breve túnel e iría a alimentar la laguna Cotacotani. Se estima que por el aprovechamiento de Chungará se obtendrían 160 l/s adicionales para el sistema del Lauca, sin considerar los recursos ganados en forma transitoria por el vaciamiento del lago Chungará por bombeo; el sólo valor de la energía generada adicionalmente en Chapiquiña podría justificar el costo de esta empresa.

2.3.2. *Río Guallatire*

La hoya del río Guallatire comprende 150 km² hasta la confluencia con el Lauca. En este punto la hoya del Lauca es de 2.000 km², unas trece veces más grande que la del Guallatire, a pesar de lo cual los gastos de ambos ríos son del mismo orden de magnitud, de acuerdo a aforos realizados antes de la confluencia:

<i>Fecha</i>	<i>Río Lauca</i> (l/s)	<i>Río Guallatire</i> (l/s)
13 5 48	1.970	4.090
27 5 48	2.600	1.393
9 60	1 500	1.000
7 11 68		623
2 12 68		723

Según ROJAS (1969) para el año 1967/1968 se calcula un gasto en noviembre de 255 l/s, considerando rendimientos iguales a los medidos en el Lauca. El gasto aforado es 2.5 veces mayor e induce a pensar en alimentación foránea de esta hoya, posiblemente desde la laguna Chungará.

El aprovechamiento de las aguas de Guallatire se concibe a través de su captación y conducción hasta el valle de Chaca (río Codpa) a través del portezuelo de Anacorire. Esta obra comprendería un sifón de gran envergadura para cruzar el valle del Lauca. El gasto a captar sería del orden de 200 l/s, aunque depende de las consideraciones económicas que definen la cota de captación más conveniente.

2.3.3. *Río Quiburcanca*

El río Quiburcanca, último afluente importante del Lauca en territorio nacional, tiene un régimen muy inestable de escurrimiento. Su origen se encuentra en las ciénagas y laguna de Paquisa, cuyo desagüe permanece seco la mayor parte del año. Según pobladores locales, sólo hay escurrimiento en este desagüe a fines de la temporada de lluvias, con gastos muy irregulares y de corta duración. La laguna de Paquisa tiene una hoya de 160 km², gran parte de la cual corresponde a la planicie estéril llamada pampa de Paqueri. Al pie de un cordón rocoso que limita la pampa Paqueri aparecen las vertientes de Paquisa, que dan origen a

una laguna de unos 5 km² de extensión, donde la mayor parte de este caudal se evapora. Los aforos realizados en noviembre y diciembre de 1968 en la vertiente Paquisa, dan un promedio de 115 l/s. Calculando con precipitación 80% y los rendimientos de la hoya del Lauca, los gastos deberían oscilar entre 380 l/s en enero y 160 l/s en noviembre, por lo que se estima en 150 a 200 l/s el gasto aprovechable de las vertientes de Paquisa. El aprovechamiento se realizaría a través de una elevación de 80 m para incorporar el agua al canal del portezuelo Anacorire (ROJAS, 1969).

2.4. *Salar de Surire*

La hoya del salar de Surire comprende 570 km², y según las isohietas de FONT, con una precipitación media de 360 mm, dispondría de un caudal anual precipitado de 6.500 l/s. El salar propiamente tal comprende 250 km² donde se evapora el caudal superficial o subterráneo que logra escurrir hacia él. Entre las sales que se han acumulado en el salar parecen ser abundantes los compuestos de boro, antiguamente explotados en las minas de Chilcaya. En forma eventual después de grandes lluvias el salar se cubre temporalmente de agua. En el extremo sureste del salar existen vertientes del tipo geysir, donde surgen las aguas a elevada temperatura. No existen afluentes con escurrimiento superficial permanente, pero en época de crecidas llega al salar el río Surire, proveniente del sur.

2.4.1. *Río Surire*

La hoya del río Surire tiene un área de 80 km² y no comprende nieves eternas. El río Surire en estiaje se desarrolla en aproximadamente un km, perdiéndose luego por infiltración en los sedimentos que rodean el salar. Su origen es una ciénaga que cubre aproximadamente un km², producida al aflorar las aguas subterráneas ante una barrera rocosa. De la ciénaga salen cuatro cursos de agua que terminan por formar uno solo. Los aforos del río Surire realizados en noviembre y diciembre de 1968, época de estiaje, arrojaron un promedio de 65 l/s. Conforme a cálculos de ROJAS (1969), el gasto medio con probabilidad 80% sería 115 l/s, subiendo a 190 l/s en enero y bajando a 80 l/s en noviembre. Para aprovechar las aguas del río Surire, el autor citado propone la construcción de un canal con capacidad de 200 l/s que bordeando el salar podría pasar el portezuelo de Anacorire sin necesidad de perforación. Pasado el portezuelo, las aguas se lanzarían a la quebrada Anacorire, afluente del sistema Codpa. La última parte del trazado antes del portezuelo empalmaría con un canal con agua proveniente de las vertientes de Paquisa, del sistema del río Lauca.

2.5. *Río Isluga o Sitani*

El río Isluga nace del nevado de este nombre en la cordillera de Quimsachata y después de tomar el nombre de Sitani se infiltra en los llanos del salar de Coipasa. Su hoya cubre 680 km² en territorio chileno. En