

✓ 1524  
Ing. Hans Niemeyer F.



# Aprovechamiento de las aguas de cordillera en **EL NORTE GRANDE**

**I Proyecto de captación del río Caquena**

Separata de Revista Chilena de Ingeniería

N.º 301, Septiembre - Octubre 1963

**Santiago de Chile**

55(83): 51.49  
N672 a

1963

# Aprovechamiento de las aguas de cordillera en EL NORTE GRANDE

En los últimos años ha existido una constante preocupación de parte de nuestras instituciones estatales por el desarrollo del Norte de Chile, la que se ha orientado a la búsqueda de nuevas fuentes de producción en reemplazo de las extinguidas. Uno de estos esfuerzos se ha dirigido a incrementar las pequeñas áreas cultivadas del Desierto de Atacama. Dicha agricultura, en escala siempre reducida, se ejerce desde tiempos prehispánicos en los valles transversales del Norte Grande, (Lluta, Azapa, Chaca, Camarones), en el Loa, y en los pequeños oasis marginales al pie de la precordillera andina, tales como Pica, San Pedro de Atacama, Toconao.

Por Ing. Hans Nlemeyer F.

Tres factores de capital importancia deben conjugarse para que la agricultura sea posible: agua con un contenido salino tolerable por las plantas, calidad aceptable de suelo, y bondad del clima. En el Norte es difícil reunir estas tres condiciones y sólo contados lugares del desierto poseen este don natural. Ejemplos notables de privilegio son el valle de Azapa y los oasis de Pica y Toconao, donde sólo la relativa escasez del agua restringe los cultivos intensivos, de alta calidad.

Para incrementar las disponibilidades de agua se investigan dos fuentes básicas: los posibles embalses y escurrimientos subterráneos de las pampas y de los valles bajos y las aguas corrientes de la alta cordillera. Hemos tenido la suerte de tomar parte activa en estas investigaciones y es propósito de este trabajo dar una reseña de los estudios encaminados al aprovechamiento de la segunda de las fuentes nombradas. La profundidad del esfuerzo alcanzó en algunas ocasiones la etapa de proyecto definitivo o de anteproyecto; en otras, quedó en la de simple reconocimiento.

En la mayoría de los casos, esas aguas corrientes van a dar a depresiones sin desagüe que terminan en salares. Se pierden así por evaporación y sólo a veces, y en ínfima proporción, suelen aprovecharse en el riego de vegas o hofedales para la alimentación de auquénidos y ganado lanar.

El lugar común de estos proyectos,

como se verá más adelante, cuando habremos en particular de cada uno de ellos, es la dificultad para sacar las aguas de las depresiones intercordilleranas y llevarlas hacia la precordillera, desde donde ya es más fácil conducir las hasta el área que se pretende fertilizar. Implica, casi siempre, la construcción de un túnel de tres o más kilómetros, que es determinante en el alto costo de la obra. Además, tratándose de gastos relativamente pequeños, los rigores del clima y las calidades de terreno obligan a pensar en acueductos o canales revestidos que contribuyen al encarecimiento del proyecto.

Abordaremos uno a uno estos estudios proponiéndonos un orden geográfico de norte a sur. Primeramente, trataremos el problema de la posible captación del curso superior del río Caqueña —la más boreal de nuestras fuentes de aguas superficiales— para vaciarlo a la hoya del río Lluta. Se pretende incrementar el gasto normal de este último y mejorar la calidad química de sus aguas. En 1962 se hizo el diseño completo y la evaluación de costos de las obras civiles para pasar de una hoya hidrográfica a la otra, franqueando por medio de un canal y de un largo túnel la Cordillera Central.

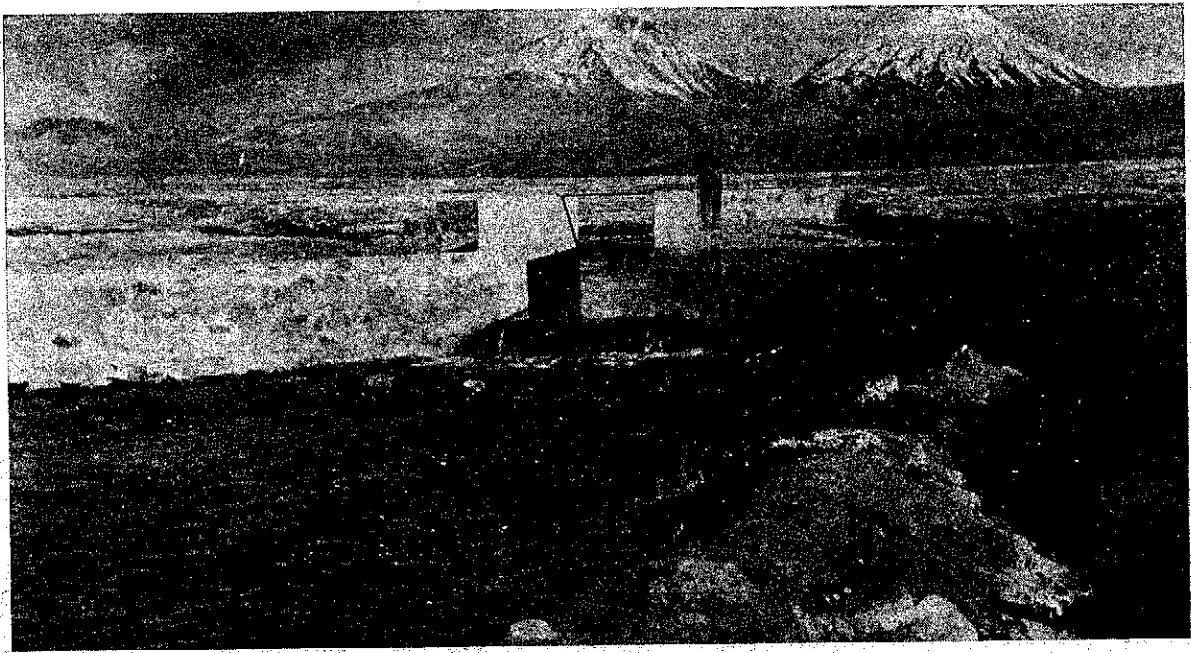
Seguirán en la ordenación geográfica propuesta, los estudios que realizamos por cuenta de la Dirección de Riego de las fuentes de alimentación del curso superior del río Lauca. Se trata del me-

jor aprovechamiento de los sistemas de las lagunas de Chungará, Cotacotani y Parinacota para mejorar los gastos medios mensuales del Lauca en bocatoma y aproximarnos en todo lo posible a la capacidad del actual Canal Lauca. Las expectativas, como se verá a su turno, son poco promisoras.

El próximo estudio, corresponde al de desviación del río Piga desde su cuenca intercordillerana, al interior de Iquique, hacia el Oasis de Pica, a fin de incrementar su área regada. Lo realizamos entre los años 1958 y 1959. El alto costo de las obras y los caudales exigidos del río Piga, han determinado que por ahora el proyecto se postergue, aun cuando el valor comercial de la hectárea regada es el más alto de Chile. En 1959 era de E<sup>2</sup> 15.000.

Más o menos en la misma latitud del proyecto anterior, en plena Sierra de Tarapacá, nos correspondió en 1959 estudiar las nacientes de los tributarios del sistema hidrográfico de Juan de Morales. Se trataba de buscar una solución al grave problema de la escasez de agua para el tratamiento de los minerales de cobre del Establecimiento Sagasca, en la quebrada de este nombre. Las aguadas más importantes son las de Columtuca y de Picuntica, en el faldeo poniente del macizo Yarbicoya. Juntas forman la Quebrada de Tasma, reuniendo un caudal de unos 30 l/seg. de excelente calidad.

En la Puna de Atacama, al oriente del Salar de Atacama, hemos analizado



Sección permanente de aforo en el valle del Río Caquena, la más boreal de nuestras fuentes de abastecimiento de aguas superficiales.

en carácter de reconocimiento, tres fuentes potenciales de agua de cierta importancia. El río Sapaleri, que nace en Bolivia, cruza por territorio argentino y muere en Chile en el Salar de Tara, es la fuente de mayor caudal en la alta Puna de la Provincia de Antofagasta. Serviría para el mejoramiento substancial del regadío de San Pedro de Atacama. La calidad de las aguas del Sapaleri es muy buena y el caudal medio utilizable alcanza a unos 600 l/seg. Sin embargo, la canalización del río con longitud superior a los 100 km., incluyendo un largo túnel, es extraordinariamente cara.

El segundo recurso estudiado es el conjunto de los ríos Alítar y Quipiaco, que tienen por base de equilibrio al Salar de Pujsa. Se proponía con ellos regar el Oasis de Toconao, de reconocidas bondades.

Finalmente, se estudió el posible aprovechamiento de estas aguas frescas para regar la desembocadura de la Quebrada de Algarrobilla, en el Salar de Atacama. Favorecía este proyecto a los agricultores y pastores de los pueblos atacameños de Socaire y Peine. La calidad química de las aguas de la laguna es bastante deficiente, pero se podría esperar que mejorara en un régimen de aprovechamiento por reducción de la evaporación, y con el aporte de varias vertientes de agua dulce que la alimentan. Aún así, el gasto pequeño aprovechable no justifica por ahora la inversión.

Los reconocimientos de los ríos Sapaleri, Alítar y Quipiaco los hicimos en la primavera de 1959, y el de laguna Miscanti, en Octubre de 1961.

## I. PROYECTO DE CAPTACIÓN DEL RÍO CAQUENA

### Introducción

El proyecto comprende dos importantes aspectos: a) la obra de ingeniería civil, de captar el río Caquena y conducir sus aguas hasta la hoya del río Lluta; y, b) la programación del aprovechamiento de la Laguna de Miscanti en el valle mismo de Lluta o en las llanuras desérticas que se extienden por la costa al norte de Arica.

En 1962, la Caja de Colonización Agrícola (hoy Corporación de la Reforma Agraria), asesorada técnicamente por la Dirección de Riego del M.O.P., nos encomendó la realización del primer punto, es decir, el diseño de las obras de captación y la determinación de sus costos. La segunda parte, que involucra entre otros el estudio de los beneficios del proyecto, no ha sido aún abordada.

### Aspecto geográfico

El área que abarca el proyecto, queda situada en el extremo nororiente de la Provincia de Tarapacá, en el Departamento de Arica, a una altitud cercana a los 4.200 m.s.n.m. El valle del Caquena se desarrolla en el sector más boreal del altiplano ariqueño —partici-

pando de las comunas de Putre y General Lagos— y, más adelante, en territorio boliviano.

Por su altitud, que condiciona el clima, la vegetación y la vida humana y animal, y por sus características geológicas y topográficas, el paisaje de esta región se identifica con el llamado de "Puna Brava": una altiplanicie suavemente ondulada, de gran extensión, surcada por ríos y arroyuelos que nacen en vertientes y "bofedales" (vegas) y cubierta de una vegetación xerófila, con predominio de la tola y de pastos duros. De esta meseta surgen los imponentes conos de los volcanes cuaternarios, cuyas cumbres sobrepasan a veces los seis mil metros de elevación.

Dos cordones orográficos de rumbo aproximado norte-sur confinan lateralmente el valle de Caquena. Una tercera cadena transversal —orientada de Oeste a Este y que une los Nevados de Putre a los de Payachata— sirve de cabecera a la depresión, separándola del curso superior del río Lauca y de las fuentes que lo alimentan. En el faldeo norte de ella sitúan sus nacientes los principales tributarios del Caquena.

El cordón del flanco poniente recibe el nombre de Gordillera Central y se extiende desde los cerros de Caracarani, en el extremo norte, hasta el macizo de Orcutungo, un centenar de kilómetros más al sur. Se ubican en ella cumbres y serranías de importancia —con elevaciones muchas veces superiores a 5.000 m— y los diversos portezuelos que dan acceso al Altiplano.

Por el Este, se destaca un elevado cordón que sirve de límite fronterizo con Bolivia. En el sector de nuestro interés, comienza esta cadena con el más alto de los Payachata —el apagado volcán Parinacota (6.330 m)— y va disminuyendo de altitud hacia el norte, para dar lugar a la altiplanicie abierta. Dos portezuelos en él permiten el paso a Bolivia.

El río Caquena nace en los faldeos nor-poniente de los nevados de Payachata, entre los dos conos que constituyen este grupo. Se desarrolla su curso superior en un valle ancho, cubierto de bofedales, cerrada su caja por los taludes de las terrazas adyacentes. Sobre éstas o en las laderas de los promontorios más sobresalientes se ubican las casas de las "estancias", cuyos ganados pastan en el valle.

Recorre el río Caquena en territorio netamente chileno en dirección nort-sur, aproximadamente 25 km; sirve, en seguida, de línea fronteriza por otros 25 km entre Chile y Bolivia, para internarse luego en este país y recorrer en el Altiplano unos 20 km antes de su junta al río Ushusuma. Es éste un tributario importante del Mauri y ambos nacen en la vertiente oriental de las cordilleras del Alto Perú, dirigiéndose hacia Bolivia. El Mauri tributa en el río Desaguadero.

En el sector chileno, el río principal recibe sólo un afluente de cierta importancia. Es el río Colpacagua que le cae por su izquierda, unos seis km aguas abajo del pueblo de Caquena. Drena éste con innumerables quebradas la vertiente nororiental de la cadena transversal que mencionamos. Los otros tributarios del curso superior son pequeños cursos de agua que caen desde el lado derecho, muchos de los cuales sólo aportan caudales en la época de las lluvias.

En el sector en que el río hace de frontera, recibe por el lado chileno el importante aporte del río Cosapilla que es el que drena la vertiente oriental de la cordillera del mismo nombre, cubierta permanentemente de nieve. El aporte del Cosapilla hace cambiar el nombre al Caquena a partir de su confluencia, tomando el de este principal tributario.

La hoya hidrográfica comprometida aguas arriba de la bocatoma es de 440 kilómetros cuadrados.

En el aspecto geológico general, dominan en el valle del Caquena las liparitas, las tobas liparíticas, los sedimentos provenientes de la destrucción de ellas y de otras rocas más antiguas, disponiéndose en mesetas que descienden suavemente hasta el valle. Otra

formación muy conspicua, que se encuentra en especial frente al pueblo de Caquena, está constituida por los cerrillos de lavas basálticas o andesíticas, seguramente de edad cuaternaria, asociada a la antigua actividad de los volcanes apagados de este sector cordillerano. Recuerda en todo a las cerrilladas de lava de la vecina región de Parinacota y de la laguna de Cotacotani.

La fauna silvestre es la habitual en el altiplano chileno. Entre los mamíferos pueden anotarse la vicuña (*Auchenia vicuna*), pastando en los faldeos y quebradas alejados del valle; la vizcachita (*Lagidium viscacia*), escondida entre los riscos más inaccesibles o entre los bloques de lava; la sarteneja (*Clethrionomys sp.*), que acusa su presencia por los innumerables hoyos que deja en los suelos blandos de las pampas. Habitual también es el zorro. La avifauna está bien representada por varias especies de aves acuáticas: patos, taguas y guayatas (*Chloephaga melanoptera*). El suri o avestruz de Tarapacá se ve poco en esta zona del Caquena. Otra ave frecuente, notable por la bondad de su carne, es un tipo grande de perdiz (*Tinamotis pentlandi*), denominada "Kiulla", en aymará, por su característico silbido.

La flora tampoco presenta novedades con respecto a la del resto del Altiplano. La llareta (*Laretia acaulis*) ocupa los altos faldeos, sobre los 4.500 metros, y constituye el más preciado combustible. Casi siempre asociado a ella se encuentra el frondoso árbol —único que crece en estos altos parajes— llamado queñua (*Polylepis incana*), útil para hacer carbón y para las construcciones indígenas. Otro combustible bastante preciado, aunque de inferior calidad, es la tola, profusamente difundido sobre las pampas.

Sobre los 3.800 m aparecen invariablemente diferentes especies de gramíneas o pastos duros con el nombre vernacular de "paja brava", que proporciona talaje al ganado y se usa para techar las casas.

En el valle mismo o en las inmediaciones de las vertientes se encuentran, como verdes alfombras, los llamados bofedales (vegas), formación vegetal muy compacta, característica de las zonas regadas en estas alturas, constituidas especialmente de gramíneas (ishus) y junquillos, de importancia fundamental en el talaje de los rebaños de llamas y alpacas. Son fomentados estos bofedales por el riego artificial que practican los pastores, derivando de la corriente principal pequeñas acequias.

El clima predominante es el estepario de altura. Las precipitaciones son

relativamente abundantes y se producen en los meses de verano, con un promedio anual del orden de 350 mm de agua caída. Las temperaturas son bajas, especialmente en las noches, donde alcanzan mínimas de varios grados bajo cero (hasta  $-30^{\circ}\text{C}$  y frecuentemente en verano hasta  $-15^{\circ}\text{C}$ ). Los inviernos son muy fríos, aun durante las horas de sol.

La escasa población de la zona, de origen colla o aymará, se encuentra diseminada a lo largo del valle en "estancias", donde los pastores viven la mayor parte del año al cuidado de sus rebaños. La población del sector chileno, es decir del curso superior del valle del Caquena, está repartida en veinticuatro de estas estancias, catorce ubicadas al lado izquierdo y diez en el derecho. Calculamos que reúnan entre todas unas diez mil cabezas de ganado. Presumiblemente en el sector fronterizo haya otras diez mil cabezas.

En mitad del curso superior del valle se ubica el pueblo de Caquena, con una treintena de casas distribuidas alrededor de su iglesia. La escasa actividad normal de este pueblo gira en torno de la escuela y al retén de carabineros. Por el 30 de agosto, sin embargo, la aldea cobra inusitada vida y agitación con motivo de la fiesta religiosa en homenaje a Santa Rosa, patrona del pueblo.

Se vive allí de la crianza de auquénidos y de pequeñas artesanías caseras. Un mínimo comercio se suele ejercer con las aldeas de la Precordillera —Putre, Socoroma, Belén— o en las estaciones del ferrocarril de Arica a La Paz, con intercambio de animales, mantas y cuerdas de lana por los productos agrícolas de los valles: papas, maíz, ají.

Dos accesos tiene Caquena para vehículos motorizados. El camino de mayor tránsito es por la ruta de Portezuelo de Chapiquiña y Parinacota, con un recorrido de 60 km desde el primero de los puntos nombrados. A su vez, Portezuelo dista 120 km de Arica. Presenta esta ruta varias difíciles pasadas y se corta en el verano.

El otro acceso se hace desde Bolivia a través del portezuelo de Achuta, difícilmente transitable aun para los vehículos mejor dotados.

#### ASPECTO HIDROLÓGICO

*Gasto del Proyecto.*—No se dispone de una estadística continuada de los caudales del río Caquena, sino de algunos aforos aislados, hechos durante los años 1949 a 1955 por la Dirección de Riego. Felizmente estas mediciones

se hicieron en corridas simultáneas con las de otras corrientes del Altiplano de Arica, entre las cuales se encuentra el río Lauca. Interrumpidas las observaciones en un período de cinco años, se reanudaron sólo en Octubre de 1961, con ocasión del presente proyecto. Desde febrero de 1962 se encuentra en funciones una canalización o sección de aforo permanente (Foto 1), que se lee dos veces a la semana. Los aforos de este último período son también simultáneos con los del Lauca. Esta circunstancia ha permitido establecer una relación entre los gastos de ambos ríos. En la gran mayoría de los casos, el gasto del Caquena resulta superior al del Lauca a la salida de las Ciénagas de Parinacota, con valores para la razón comprendidos entre 1,20 a 2,10. Por otra parte, las hoyas hidrográficas de ambos ríos guardan entre sí la razón 1,60, siendo ambas de características muy semejantes.

Tomando en definitiva 1,60 como factor de multiplicación, hemos reconstituido la estadística de gastos medios mensuales del Caquena a partir de la del Lauca, que cuenta con trece años de observaciones seguras y que ha sido muy bien estudiada por Endesa.

La lista de aforos del Caquena, demuestra que los caudales de este río han experimentado una disminución a partir de 1952, hecho que se ha ido comprobando en casi toda el área del Norte.

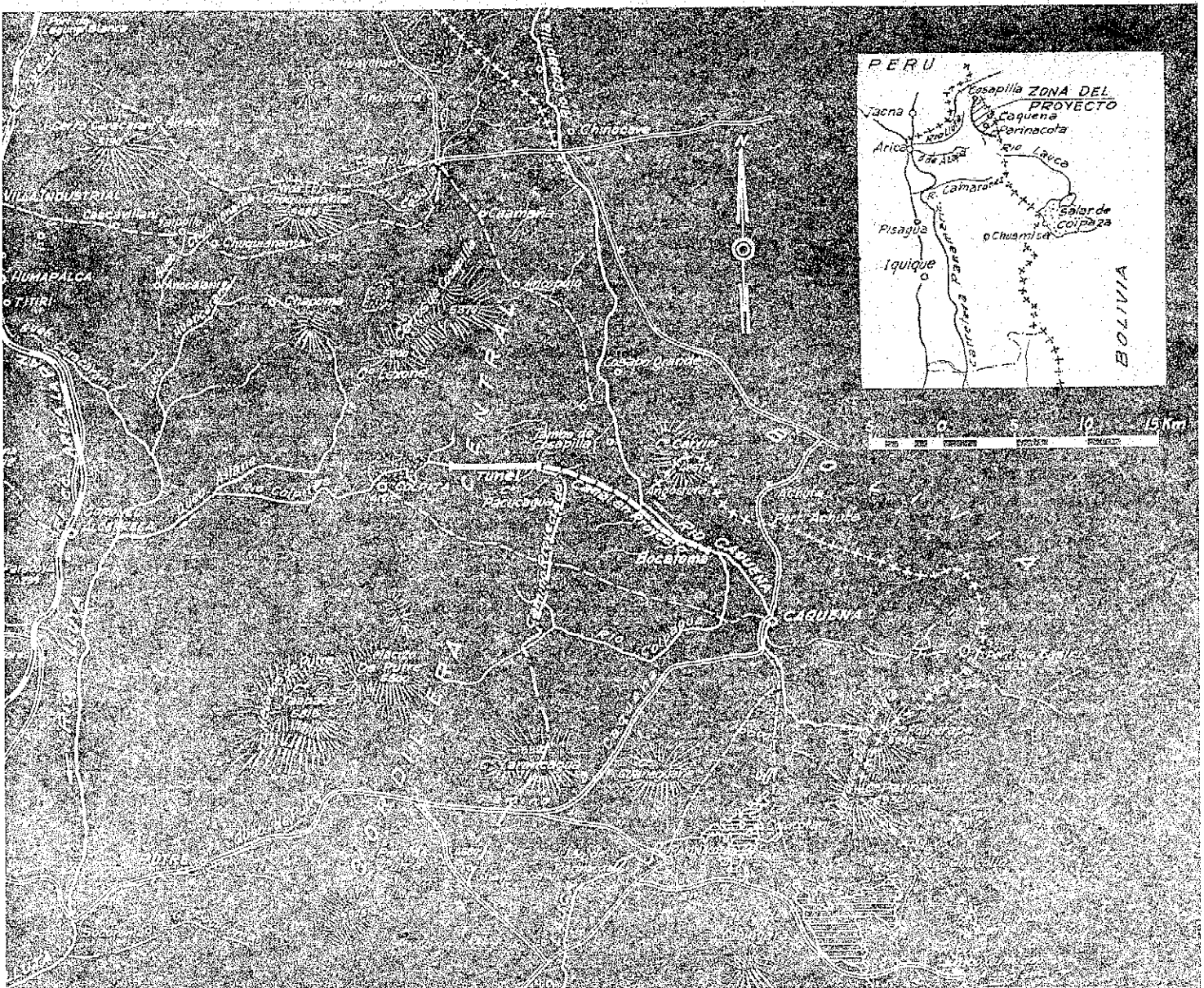
La observación de la estadística, de los aforos directos y de la curva de frecuencia de los gastos, parecería indicar que el gasto de 1,50 m<sup>3</sup>/seg. debería elegirse para el diseño de las obras de captación. Sin embargo, si se considera que el túnel a través de la Cordillera Central, que es la parte más cara del proyecto, debe excavarse con sección mínima de más o menos 4 m<sup>2</sup>, se

justifica seleccionar como gasto del proyecto 2 m<sup>3</sup>/seg., cifra que en definitiva se adoptó.

*Calidad de las aguas.*—Se dispone de una docena de análisis químicos de las aguas del río Caquena, sobre muestras que van desde Julio de 1961 a Mayo de 1962. La conductibilidad promedio resulta de 900 M. Mohs, lo que permite junto con los otros índices calificar el agua de *buena-acceptable*. La reacción pH oscila entre 7,5 y 8, es decir, las aguas son ligeramente alcalinas. El boro se mantiene alrededor de 3 PPM, no presentando inconvenientes de gravedad para el uso del agua en la agricultura.

#### DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

Las obras de captación, que permitirán conducir las aguas del río Caquena hasta un subafluente del río Lluta, se componen de dos partes principales:



un canal revestido de 13,800 km, de rumbo general noroeste, que lleva las aguas desde la bocatoma hasta el pie de la Cordillera Central; la otra, más cara y difícil que aquélla, es el túnel de 5.900 m proyectado bajo el portezuelo entre los cerros Pacucagua y Lexone, destinado a franquear dicha cordillera.

Como obra complementaria, aunque de gran importancia en la instalación

de faena y en la etapa de construcción, se proyectó un camino de 50 km de longitud de acceso a la boca de entrada del túnel.

**Canal.**—El canal se estacó con pendiente uniforme de 0,0008. Su bocatoma se ubica unos tres kilómetros aguas abajo de la junta del río Colpacagua, donde una loma paralela al río provoca un angostamiento del valle, sin llegar a constituir una garganta. En sus

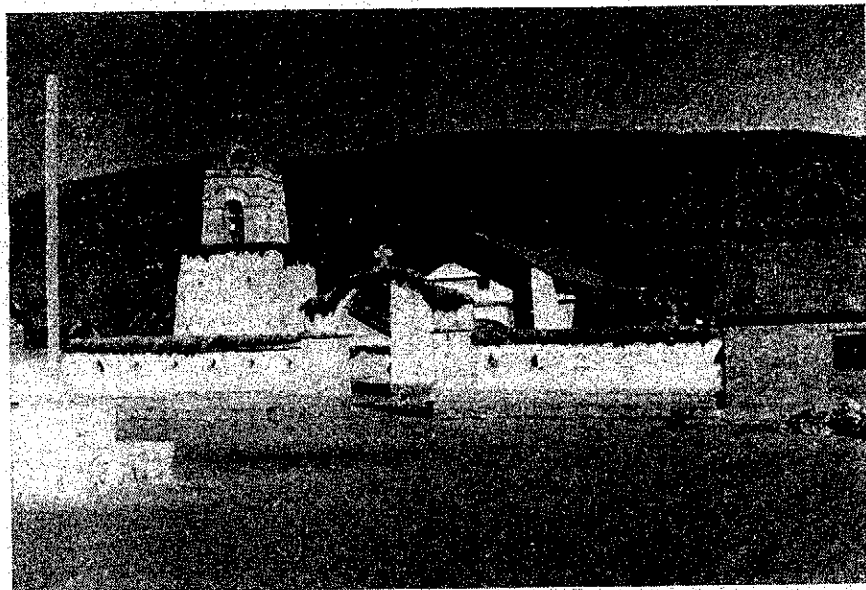
primeros 5.200 m de estacado, se desarrolla el canal en faldeo suave de pocos accidentes topográficos. Más adelante la ladera aumenta bruscamente su pendiente transversal hasta convertirse en un acantilado rocoso entre los kilómetros 5.800 y 6.300. Sigue un terreno de pampa arenosa, suave y sin accidentes, que alcanza hasta el borde mismo de la Quebrada del Chape. El trazado abandona la terraza para dirigirse a la boca de entrada del túnel, en contrapendiente por el talud derecho de la citada quebrada. Antes de la entrada al túnel, atraviesa ésta con un sifón de acero de 75 m de longitud y pequeña carga.

El canal se ha proyectado íntegramente revestido de concreto, en atención a la calidad arenosa de los terrenos y a su conservación futura.

La obra de arte principal del canal es la bocatoma. Se desviarán las aguas del Caquena hacia la margen izquierda del valle. Por dicho costado queda éste confinado por una larga loma rocosa con grandes bloques de lava que el río no puede rebasar ni erosionar. Ha sido proyectada para captar un gasto máximo de 2,0 m<sup>3</sup>/seg, que es la capacidad general adoptada. Se bloquea el curso del río mediante una barrera —vertedero de 15 m de ancho, precedida de un amplio canal de aducción en la dirección del valle. Hacia el lado derecho de la barrera se consulta un muro —cortina de casi 230 m de longitud, destinado a prevenir que el río discorra en otra dirección y a evitar derivaciones furtivas del cauce principal. Dos grupos de compuertas permiten jugar con las aguas, ya sea para derivarlas hacia el canal principal o vaciarlas por el canal de descarga que retorna al río.

La otra obra de arte de cierta importancia en el canal es un sifón de acero de 75 m de longitud, destinado a cruzar la Quebrada del Chape, uniendo el punto extremo del canal con el túnel. Su carga máxima es de sólo 4 m y su diámetro, de 0,80 m.

**Túnel.**—La mayor obra que posee el proyecto de "Captación del río Caquena" es el Túnel Caquena, con que se pretende atravesar la Cordillera Central en el amplio portezuelo que separa los cerros Pacucagua, por el Sur, y Lexone, por el Norte. Representa la parte más onerosa del proyecto y fija su plazo de construcción. Las dificultades derivan de su excesiva longitud, que alcanza a 5.900 m y del excesivo techo, que no permite abrir más que dos frentes intermedios trabajables a través de un pique de 108 m. El techo



Iglesia de Caquena

Bofedales en el valle del Caquena.



máximo alcanza a 260 m y todo el tercio central posee un techo superior a 160 m.

El trazado va desde la boca de entrada en la Quebrada del Chape, pequeño tributario del río Caquena, hasta la Quebrada Minasa, que es afluente del río Colpitas, en la vertiente del Lluta, destino final de las aguas. El trazado se ha elegido de modo que reúna el máximo de ventajas posibles dentro de la dificultad general: es el más corto y de más bajo techo; corta las antiguas fallas del cordón en forma normal; se aleja lo más posible de la formación tobífera que circunda al Pacuagua.

El aspecto geológico fue abordado por el geólogo del Instituto de Investigaciones Geológicas, destacado en Arica, don Raúl Salas Olivares. Hizo un reconocimiento en los primeros días de Abril de 1962. En su informe establece que "las rocas que atravesaría el túnel en su construcción estarán formadas por una toba brechosa en sus primeros metros y luego por una secuencia de conglomerados y areniscas verdes y rojas con intercalaciones de coladas de andesita". Agrega, "que el actual trazado del túnel parece corresponder a una buena solución para la obra y estructuralmente deberá atravesar una zona de discordancia y dos posibles zonas de fallas perpendiculares".

Las perspectivas deducidas de esta visita ocular son favorables. Sin embargo, la certeza sólo se conseguirá haciendo la prospección geológica definitiva con 4 ó 5 sondajes exploratorios.

El trazado se materializó en el perfil del portezuelo, después de ejecutar una triangulación previa de precisión, apoyada en dos bases y en 21 vértices de concreto.

El túnel se ha proyectado sin revestir, con sección mínima de trabajo, en forma de medio punto de 2,0 m de base y 1,0 m de radio.

**Camino de acceso.**—La ejecución del camino de acceso a las obras de captación del río Caquena es previa a la construcción de ellas.

Para llegar al Caquena se adoptó la ruta a través de Portezuelo Chapiquiña que es, a nuestro juicio, la más conveniente. De Arica a Portezuelo hay aproximadamente 120 km de camino con tránsito establecido desde hace algunos años. Desde Portezuelo se puede viajar sin dificultad por unos 35 km en el camino que conduce al pueblo de Putre. La vía estudiada se separa de dicho camino en un punto cercano al lugar denominado Las Cuevas de Putre, donde ubica su kilómetro cero. Desde este em-

palme el camino toma dirección franca al norte, evitando la vuelta inútil por el poblado de Parinacota, que hace la actual huella a Caquena.

La longitud total de la nueva vía es de 50 km y su punto de término es el borde sur de la Quebrada del Chape, donde enlaza con la última parte del trazado del Canal y con la boca de entrada al túnel.

Se proyectó con un perfil tipo de 6,0 m de ancho, que se considera suficiente para una vía de tránsito limitado, de acceso a la construcción de una obra.

Se han aprovechado para el trazado explanadas o faldeos de terrenos suaves cuyo movimiento de tierra será de bajo costo. Las obras de arte más importantes son los pasos de siete quebradas, que se han salvado con tubos de fierro corrugado.

#### COSTO DE LAS OBRAS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO

**Costos.**—En Septiembre de 1962 se hizo un análisis detallado de los precios unitarios aplicables al proyecto, en el que se consideraron todos los factores desfavorables que derivan de la rigurosidad del clima, de la altura y del aislamiento en que éste se desarrolla. Se consideraron jornales más altos y rendimientos más bajos que en otras faenas del país.

Para el efecto de la adquisición de la maquinaria en el extranjero se calculó con el precio oficial del dólar de entonces, de E° 1,10.

El rubro maquinaria, sin embargo, no tiene en este proyecto una influencia demasiado fuerte.

El estudio económico del túnel demandó el máximo de preocupación.

Las condiciones especiales del proyecto, exigieron un cálculo riguroso de los gastos generales, que resultan, en nuestro caso, muy superiores a los de otras obras del país, debido a que la difícil trabajabilidad del túnel exige un plazo largo de construcción.

Las cifras del presupuesto en la fecha indicada eran las siguientes, en grandes partidas:

Costo directo Canal Caquena	E° 390.000
Costo directo Túnel Caquena	1.610.000
Total costo directo	E° 2.000.000
Gastos generales	1.689.420
Camino a Caquena	333.000
Indemnizaciones en el valle Caquena	200.000
Total costo del proyecto	E° 4.222.420

El tiempo de ejecución de la obra sería de 4 años.

**Beneficios.**—Se da una idea muy general y somera de los beneficios que podría reportar para el valle del Lluta la construcción del proyecto. El estudio definitivo de este aspecto económico es delicado y complejo. Implica abordar en forma integral todo el problema agronómico e hidrológico del primer valle de Chile.

A propósito del estudio hidrológico, se dijo que la estadística del Caquena fue reconstituida a partir de la del Lauca. Con ella se puede establecer un gasto representativo promedio anual, que será el término medio de los promedios anuales disponibles de 12 años. Dicho valor es 1,33 m<sup>3</sup>/seg, y representa un volumen anual de 42 millones de metros cúbicos de agua recuperables. Si, por otra parte, consideramos una tasa de riego anual para el valle de Lluta de 18.000 m<sup>3</sup> por Há (similar a la que se usa en cultivos semejantes en San Pedro de Atacama), concluimos que el volumen recuperado al Caquena permitiría regar una superficie nueva de 2.340 Há.

De acuerdo con las cifras de costos, la hectárea regada en el valle de Lluta por concepto de las obras fundamentales de captación del Caquena, tendría un valor de E° 1.800. A primera vista, el costo es alto para las actuales condiciones de producción del valle. Sin embargo, sólo un estudio económico podrá dilucidar en definitiva este asunto.

En cuanto a un posible desarrollo hidroeléctrico, cabe señalar que no se estudió con detenimiento, por cuanto ENDESA no manifestó interés en él. Con la Central Chapiquiña y su futura ampliación, ENDESA espera poder abastecer holgadamente los consumos del Valle de Azapa y de la ciudad de Arica, a lo menos en los veinte años venideros.

En todo caso, las condiciones topográficas a la salida del túnel Caquena no son muy favorables para un aprovechamiento hidroeléctrico, debido a que la Cordillera Central en ese sector descende hacia el Oeste en un plano inclinado de relativa poca pendiente. Contrariamente a lo que sucede en la abrupta precordillera de Chapiquiña donde se consiguen caídas de 1.000 m, en el Caquena no creemos posible superar una altura de 200 ó 250 metros (en la Quebrada de Allane).

Si consideramos el gasto de 1,33 m<sup>3</sup> por segundo como promedio representativo del río Caquena, podemos esperar una generación de 2.600 a 3.300 HP.