CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

CONDICIONES GEOLOGICAS Y POSIBILIDADES DE LA REGION DEL RIO MAULE

Robertt T. Bean

Octubre-Diciembre-1964

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

CONDICIONES GEOLOGICAS Y POSIBILIDADES DE LA REGION DEL RIO MAULE

Rebert T. Bean

Bosquejo

	Pág.
Introducción	1
Investigaciones preliminares t agradecimientos	1
Geología General	3
Geología de agua subterránea	6
Valle Central	6
Parte Norte	7
Parte Sur	8
Análisis hidrlógico	9
Valles intermontanos	11
Terrazas costaneras	12
Costo del desarrollo de agua subterránea	14
Minería	16
Geología Aplicada a la Ingeniería de embalses	19
Programa de Investigación Geológica de Agua Subterránea, Recursos Minerales y Sitios de Estructuras Hidráulicas	20
Resumen de Conclusiones	25
Resumen de Recomendaciones	26

CONDICIONES GEOLOGICAS Y POSIBILIDADES DE LA REGION DEL RIO MAULE

Introducción

Entre el 24 de Octubre y el 17 de Diciembre de 1964, se realizó una breve investigación de reconocimiento relacionada con las condiciones geológicas y de desarrollo del agua subterránea de la cuenca del río Maule, como parte del Programa de Asistencia Técnica Chile-California, Proyecto de Planeamiento Regional.

Las informaciones y conclusiones obtenidas durante la investigación geológica y las proporcionadas por otros especialistas, serán utilizadas en la elaboración de un informe sobre la Fase I del estudio de la cuenca del Maule y en la preparación de un programa más completo de investigación durante la Fase II, que se iniciaría en 1965. En el presente informe se incluye una proposición para el programa relacionado con geología de la Fase II.

Durante esta investigación de reconocimiento fueron revisadas todas las informaciones relacionadas con geología, particularmente las de aguas subterránea. Una asistencia muy valiosa proporcionaron diversas organizaciones, en especial el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) y la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Se efectuaron dos viajes a la región del Maule, en el primero se utilizó una semana y en el segundo tres días, realizándose además un reconocimiento aéreo de la región.

Debido al breve período de ocho semanas empleadas en este reconocimiento, y más aún al corto período de terreno, las observaciones y conclusiones de este informe deben ser consideradas tentativas, esperándose modificaciones y revisiones durante la Fase II de este programa.

Investigaciones preliminares y agradecimientos

Nunca se ha hecho un estudio geológico detallado de la cuenca del Maule; sin embargo existen algunos informes de reconocimiento geológico,

estudios de fotointerpretación y un informe de la Cordillera de los Andes, el que incluye la parte este de la cuenca. Se han publicado varios informes geológicos sobre las condiciones del agua subterránea en el área de Santiago, al norte de la cuenca del Maule y en el área de Chillán hacia el sur. Los estudios que han llamado la atención del autor y que tienen relación con las condiciones geológicas del agua subterránea de esta cuenca y de áreas cercanas, son los siguientes:

"El Agua Subterráneas de Santiago", por Octavio Castillo U., Eduardo Falcón M., William D. Doyel y Manuel Valenzuela M., Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín Nº 15, 1963.

"Geología y Recursos de Agua Subterráneas de los Cuadrángulos Chillán y Coihueco, Chile", por Robert W. Devaul, en preparación.

"Reconocimiento Geológico de la Cordillera de los Andes, entre los paralelos 35º y 38º de latitud sur", por Oscar González F. y Mario Vergara N., Universidad de Chile, Instituto de Geología, publicación 24, 1962.

"Mapa Geológico de Chile", Instituto de Investigaciones Geológicas, 1960.

"Investigaciones Gravimétricas en la Región de Chillán", por Cinna Lomnitz, Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 4,1959.

"Informe Hidrogeológico de los pozos de Agua Potable de Chillán, por Octavio Castillo U. y Eduardo Falcón M., Instituto de Investigaciones Geológicas.

"Antecedentes sobre el Agua Subterránea en Chile", por Hernán Baeza S., Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas, publicación 10, 1963.

Como parte de un proyecto del Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales, se ha realizado un estudio de fotointerpretación del área del Maule. El señor Miguel Ruiz Tagle, Director de ese Instituto, ha proporcionado gentilmente una copia del mapa fisiográfico. El Instituto de Geografía está realizando un estudio de fotointerpretación del

área del Maule, complementando con observaciones de terreno y muestreo; los mapas y la información existente fueron revisados en forma breve.

Los señores José Ayala de la Empresa Nacional de Minería y Leopoldo Goldman G., del Servicio de Minas del Estado, proporcionaron valiosos aunque limitados antecedentes sobre la minería del área del Maule; con los señores Juan Karzulovic y Oscar Gonzáles F., profesores del Instituto de Geología de la Universidad de Chile, se llevó a efecto una reunión sobre geología general y económica de esta área.

Se utilizaron alrededor de 75 tarjetas de registro de pozos del Comité Coordinador de Aguas Subterráneas, en el análisis de las características de los pozos existentes, los que fueron localizados por personal del IIG. El costo calculado para la Fase II de este programa está basado en los costos estimados por el IIC y por el Señor Edgard Kausel, Director del Instituto de Geofísica y Sismología (IGS) de la Universidad de Chile; Ricardo Hucke proporcionó información sobre perforación y costos de pozos, y Maestranza Fiori, lo referente a valores de bombas.

Las siguientes personas merecen una mención especial por sus informaciones y asesoramiento; Carlos Ruiz, Juan Reccius, Octavio Castillo, Hugo Henríquez, Eduardo Falcón, Fernando Alamos, Bernard Bramson, Max Flores, Mangel Valenzuela y numerosos otros.

La colaboración de Octavio Castillo fué muy valiosa tanto en terreno como en la revisión de los originales del presente informe. La participación de los técnicos del Programa Chile-California es también muy apreciada.

Geología General

La región del río Maule incluye la Cordillera de los Andes por el este, el Valle Central y la Cordillera de la Costa por el oeste. Las montañas de la Cordillera de los Andes son escarpadas, elevadas y muestran los efectos de la glaciación. La pendiente de los ríos y arroyos es muy pronunciada. Las rocas que constituyen la Cordillera de los Andes incluyen una gran variedad de tipos y edades. Existe una cantidad mode-

rada de rocas graníticas de edad cretácica, pero la mayoría de las rocas son volcánicas o sedimentos volcánicos, de edades que fluctúan entre el Cretácico y el Cuaternario.

El Valle Central se encuentra al oeste de los Andes y su nivel actual se debe al relleno de los ríos provenientes de la Cordillera de los Andes, en menor extensión a los ríos que nacen en la Cordillera de la Costa, y a materiales volcánicos cuaternarios, tales como depósitos de ceniza, corrientes de barro, etc.. El Valle Central tiene un ancho de alrededor de 20 km. en la localidad de Medina, cerca de 60 km. en las vecindades de Parral angostándose nuevamente al sur de este punto. La proporción de material volcánico cuaternario en el valle, parece decrecer acentuadamente de norte a sur; en el norte predominan los materiales volcánicos y en el sur, los depósitos aluviales de arena, grava, limo y arcilla.

La parte norte del Valle Central, entre el río Maule y el río Claro la constituye un abanico aluvial antiguo interestratificado con material volcánico. La superficie del abanico ha sido disectada por numerosos cauces, dando como resultado un relieve ondulado. En las zonas de poco relieve los materiales cercanos a la superficie han sido fuertemente meteorizados y contienen un alto porcentaje de arcilla.

Hacia el sur del río Maule, al este de la Carretera Panamericana, el valle es fundamentalmente una planicie formada por la coalescencia de los depósitos aluviales recientes de los ríos Maule, Achibueno, Ancoa, Longaví y Perquilauquén. La mayor parte de esta área es casi plana y su superficie compuesta de grava y arena es muy permeable. Localmente el área está disectada en forma similar a la parte norte.

Unos pocos cerros aislados se presentan en el valle; algunos de éstos parecen ser cuellos volcánicos, mientras que otros, particularmente aquellos cercanos a las dos cordilleras, son cerros islas. Ninguno de estos cerros ha sido estudiado en detalle. Hacia el oeste de la Carretera Panamericana los materiales sedimentarios son más finos, presentán-

dose algunos materiales volcánicos.

No existe información respecto de la profundidad del relleno en el Valle Central. Hacia el sur, en el área de Chillán, se efectuó un estudio gravimétrico bajo la dirección del IIG, el que mostró la existencia de un relleno muy profundo en la parte oriental, y un poco hacia el oeste del centro del valle, una falla con un desplazamiento de alrededor de 2.000 m, y una corrida en el sentido del eje longitudinal del valle. No se sabe si esta falla continúa hacia el área del Maule; sin embargo evidencias indirectas sugieren que esto es efectivo. Los temblores tienen generalmente menos intensidad hacia el oeste de una línea que corre a unos 10 a 12 km hacia el oeste de Parral (Fernando Alamos C., comunicación oral), lo cual sugiere que Parral está ubicada sobre un relleno profundo, mientras que el relleno hacia el oeste es menos profundo.

La Cordillera de la Costa, mucho menos escarpada y elevada que la Cordillera de los Andes, cortada por numerosos valles intermontanos, está compuesta de rocas antiguas consolidadas. Las rocas sedimentarias, volcánicas y una franja de rocas graníticas, son de edad preferentemente cretácica. Esta franja se extiende de norte a sur en la parte oriental de la Cordillera de la Costa; hacia el oeste de la cual se continúa otra, formada por rocas metamórficas antiguas, que según el Mapa Geológico de Chile del IIG tienen edad precámbrica.

Los materiales que componen el piso de los valles intermontanos fueron observados en sólo unos pocos lugares, pareciendo que ellos son generalmente limo y otros materiales sedimentarios, de grano fino, o simplemente roca basal meteorizada (residuo). Se puede esperar la presencia de arenas y gravas particularmente a lo largo de cauces activos. En el área de Cauquenes fueron observadas terrazas de grava.

Hay varias terrazas costaneras; la más extensa de ellas se encuentra hacia el norte de la Comunidad de Chanco. Un 40% de la superficie de estas terrazas está cubierta por dunas. El material inferior de estas terrazas es una arena bien clasificada, aparentemente marina, presentándose algunas zonas de limo y arcilla. La profundidad del relleno sedimentario de la terraza no es conocido.

Geología de agua subterránea

Valle Central

El Valle Central de la cuenca del Maule contiene una extensa reserva de agua subterránea, que se encuentra en los intersticios de los materiales sedimentarios y volcánicos que rellenan el valle. La zona saturada está, en la mayoría de los lugares, a unos pocos metros de profundidad; localmente el agua subterránea aflora a la superficie y en el área de Ñiquén, al sur del río Perquilauquén, existen pozos surgentes.

Aunque es necesario efectuar estudios de detalle para investigar cuantitativamente los recursos y movimientos de agua subterránea, es evidente que los principales orígenes del agua subterránea son: infiltración desde cauces provenientes de la Cordillera de los Andes; infiltración del exceso de agua de regadío e infiltración directa proveniente de las precipitaciones. La recarga desde los cauces ocurre principalmente en la parte oriental de los abanicos aluviales y en los canales, ríos y esteros en el piso del valle.

El movimiento de agua subterránea es evidentemente de este a oeste, en la dirección general del drenaje superficial. Las condiciones físicas indican que el agua subterránea es nuevamente descargada en los cauces superficiales en la parte baja del valle; esto puede ser cierto en la parte baja de los ríos Claro y Loncomilla; además, personal técnico familiarizado con esta región, confirma la existencia de un aumento de caudal en estos lugares.

El 24 y 25 de Noviembre de 1964, se efectuó una rápida observación del río Perquilauquén, estimándose un flujo de 6 m3/seg aguas arriba de la junta con el río Catillo, de 15 m3/seg en el puente de la Carretera Panamericana, disminuyendo a alrededor de 8 m3/seg en el puente del camino Parral-Cauquenes. Emilio Donoso (comunicación oral) establece que hay muchas estaciones de bombeo utilizadas para regadío en esta última parte del río.

En la localidad de Villa Seca, donde el río es más ancho y profundo, se efectuó una última observación del caudal, y aunque no se realizó una estimación cuantitativa, éste parece ser mucho mayor que el observado en el puente del camino Parral-Cauquenes.

Parte Norte.- Aunque los actuales recursos de agua superficial son aparentemente suficientes para cubrir las necesidades de la parte del Valle Central, al norte del río Maule, hay disponibilidad de agua subterránea en caso de ser necesario. Como se estableció anteriormente la mayor parte de esta área es un abanico disectado que contienen una alta proporción de materiales volcánicos. Durante el reconocimiento se examinaron muchos tipos de rocas encontrándose que los estratos volcánicos (cenizas, tobas, brechas, arenas tobáceas, etc.), tienen baja permeabilidad. Sin embargo, en casi todos los estratos gruesos se observó a lo menos una capa permeable de arena y grava, que constituyen los acuíferos del área.

En tres pozos perforados en la localidad de Pelarco se encontraron también acuíferos de grava, siendo éstos los únicos pozos con registro disponible al norte de Talca. En ellos se efectuaron pruebas de acuíferos con un bombeo de 25 l/seg y depresiones medios de 12,3 m.

La mayor parte de los terrenos altos en el área norte de la cuenca se encuentran sobre materiales aluviales antiguos o volcánicos meteorizados, los que contienen bastante arcilla y baja permeabilidad, por lo tanto la infiltración de las precipitaciones y regadío es baja. Hay muchos valles cortados por pequeños ríos en los que no se encontrarían materiales arcillosos debido a la meteorización, de tal modo que puede haber infiltración en aquellas partes en que el gradiente del agua subterránea tiene inclinación desde el río hacia el terreno.

En la zona norte del Valle Central se puede obtener agua para regadío, utilizando pozos adecuadamente construídos. Sin embargo, debido a que tanto la permeabilidad horizontal como la infiltración son menores en el norte que en el sur, se sugiere que se continúe con el sistema de regadío actual basado en los aportes de agua superficial.

Parte Sur.- Al Sur del río Maule en el lado oriental del Valle Central los materiales sedimentarios son mucho más gruesos y las permeabilidades horizontal y vertical son aparentemente mayores que en cualquier área de la cuenca. Se visitaron los lechos gravosos de los ríos Maule, Ancoa y Achibueno y mediante fotografías aéreas y mapas se observaron los cauces de los ríos Longaví y Perquilauquén. Todas aquellas zonas donde los ríos desembocan al valle son áreas de mayor recarga, por lo tanto si se desea producir recarga artificial de agua subterránea, los trabajos de esparcimiento de agua podrían ser fáciles y efectivamente construídos en los cauces citados y en las áreas de los abanicos aluviales adyacentes. Asimismo hacia el sureste del Valle Central, en las áreas entre los ríos, los materiales son muchos más permeables y el agua de precipitación y regadío puede infiltrarse más fácilmente.

En el Valle Central, al sur del río Maule y especialmente al este de la Carretera Panamericana, se puede obtener un suministro adecuado de agua para regadío, mediante pozos convenientemente construídos; la permeabilidad horizontal y vertical y la capacidad de recarga son generalmente altas, lo que indica que se podría propiciar el desarrollo de agua subterráneas para regadío.

Al sur del río Perquilauquén, en el área de Ñiquén, hay varios pozos artesianos surgentes. Dos pozos, perforados por Corfo, fueron visitados; uno de ellos tenía el día 6 de Noviembre, una surgencia de alrededor de 30 l/seg; el otro, de mayor surgencia no pudo ser visitado debido a que los terrenos estaban recién regados; según Fernando Alamos de Corfo, este pozo tiene una surgencia aproximadamente el doble del anterior, variando la profundidad de ellos entre 183 y 334 m. Los registros del terreno atravesado por estos dos pozos, indican capas de arcilla a profundidades cercanas a los 60 m, las que actúan evidentemente como capas confinantes de los acuíferos artesianos. El área de recarga está ubicada indudablemente hacia el este. Si es necesario extraer agua subterránea mediante pozos, las evidencias indican que en esta área se puede obtener

un rendimiento superior a 100 l/seg. Mediante pozos habilitados a profundidades menores que 80 m, se lograría un rendimiento más moderado.

En el área comprendida entre el río Perquilauquén por el norte, oeste y sur, y por el río Longaví y la Carretera Panamericana al este, los materiales sedimentarios son más finos y la permeabilidad es menor que aquella del extremo oriental del Valle Central. No hay información sobre pozos perforados; sin embargo, el relleno aluvial parece ser profundo, particularmente en la parte oriental del área, donde la construcción adecuada de pozos suministraría una cantidad moderada de agua para regadío. La recarga sería menor que en el extremo oriental; esto se debe a una menor permeabilidad vertical, menor precipitación y disminución del flujo influente desde los ríos. Un desarrollo intensivo del agua subterránea para regadío produciría probablemente un marcado descenso en los niveles de agua de los pozos, mientras que un desarrollo moderado causaría solamente alguna depresión en los niveles.

Análisis hidrológico.- Se realizó un análisis hidrológico de la parte sur del Valle Central, al norte del río Perquilauquén. Se analizaron las sub-áreas 8 al 12, delimitadas por el río Putagán por el norte, la roca basal de la Cordillera de los Andes por el este y los ríos Perquilauquén y Loncomilla por el sur y oeste. Se escogió esta zona debido a las necesidades de regadío suplementario (Ricardo Edwards, et al.) y porque fácilmente se podría obtener pozos de rendimientos adecuados, especialmente en la parte sur-occidental.

Este análisis es solo preliminar, debido a que muchos de sus items han sido estimados y por tanto en la Fase II del programa se deberá hacer una revisión de él. El análisis está basado en una estracción anual de 693×10^6 m3 de agua subterránea desde el almacenamiento de las sub-áreas 8 al 12. Esta es la cantidad de agua suplementaria para el regadío y potencial (Edwards et al). Se hace notar que este análisis corresponde solamente al almacenamiento de agua subterránea.

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

Disminución de agua subterránea	Metros cúbicos
Extracción por pozos	693×10^6
Descarga de agua subterránea a través de vertientes, hacia ríos (especialmente la parte baja del Perquilauquén y Loncomilla), y uso por freatofitos.	600×10^6
Salida sub-superficial	despreciable

Aumento de agua subterránea

Entrada de agua sub-superficial: Q= TIL

Q= cantidad de agua en m^3/día
T= transmisibilidad en m^3/día/m
I= gradiente hidráulico
L= ancho de la sección normal al escurrimiento de agua
T= 600 (estimado)
I= 0,004 (estimado; después que el desarrollo de agua subterránea se ha establecido).

La entrada subsuperficial ocurrirá solamente desde dos áreas del valle; desde el norte (L = 35 km) y desde el sur (L = 45 km).

Q =600 x 0,004 x 80.000
Q =192.000 m^3/día

El gradiente hidráulico se mantendrá durante toda la estación de regadío y algo disminuido de alli en adelante

Para 250 días : 192.000 x 250 = 48×10^6

Aumento de agua subterránea (Cont.)

Precipitación

El promedio de precipitación para el área es alrededor de 1 m.
Area del valle = 245.000 há
Precipitación = $245.000 \times 1 \times 10^4 =$
$= 2.450 \times 10^6 m^3$
Si un 25% se infiltra hacia el almacenamiento subterráneo, se tendrá :
$2.450 \times 10^6 \times 0,25 =$ 612×10^6

Infiltración desde el regadío

El promedio de regadío es de 1 m. El área de riego es de 197.100 há (Edwards et al). En base a la permeabilidad del terreno se estima un 30% de infiltración, luego :
$1.971 \times 10^6 \times 0,30 =$ 591×10^6

Recarga desde ríos hacia el almacenamiento

La recarga se producirá a lo largo de la parte superior y media de los siguientes ríos :

Achibueno	- 30 km.	ambas riberas
Ancoa	- 7 km.	" "
Longaví	- 45 km.	" "
Perquilauquén	- 22 km.	una ribera

La estimación de la contribución de agua subterránea se hizo usando el método descrito en "Chart for determination of the Percentage of Pumped Water Being Diverted from a Stream or Drain", por C.V. Theis y C.S. Conover, en U.S.G.S. Water Supply Paper 1545-c, "Short cuts and Special Problems in Aquifer Test".

Al bombear un pozo ubicado a una distancia de alrededor de 1.700 m del río, se obtendrá una contribución significativa de agua subterránea.

Recarga anual desde ríos 90×10^6

Resumen

Disminución	Metros cúbicos
Extracción por pozos	693×10^6
Descarga natural hacia la superficie	600×10^6
Salida sub-superficial	despreciable
Total :	1.293×10^6

Aumento	
Entrada sub-superficial	48×10^6
Infiltración desde precipitación	612×10^6
Infiltración desde el regadío	591×10^6
Recarga desde ríos	90×10^6
Total :	1.391×10^6

De este modo bajo condiciones de desarrollo de toda el agua suplementaria necesaria para regadío de las sub-áreas 8 al 12, se estima que una cantidad del orden de 1.300×10^6 m^3 de agua, serían agregados anualmente al almacenamiento subterráneo, la que sería compensada por una cantidad similar de descarga anual.

Valles intermontanos

En los valles intermontanos el agua subterránea se encuentra en la mayoría de los casos, bajo condiciones que harían difícil o imposible su desarrollo intensivo. En el área de Pencahue, a lo largo del río Purapel, y

en el área de Cauquenes, hay evidencia que indican un relleno sedimentario no consolidado, probablemente delgado y de poca continuidad, compuesto de limo y arcilla. En algunos lugares la roca basal está meteorizada hasta profundidades considerables pudiendo obtenerse desde este residuo un suministro de agua subterránea para una vivienda. Bajo estas condiciones, la recarga de agua subterránea es muy limitada, observándose un descenso anual de los niveles de agua, aún en los pozos de uso doméstico.

En los valles intermontanos, las mejores zonas para el desarrollo de agua subterránea estarían ubicadas a lo largo de los ríos, donde exista relleno aluvial grueso y recarga de agua desde los ríos hacia el almacenamiento subterráneo.

El IIG tiene registro de 24 pozos en el área de Cauquenes; uno de estos registros que es lo bastante completo como para informar sobre una prueba de bombeo, indica que este pozo fué bombeado con un gasto de 15 l/seg. Algunos pozos han sido abandonados, y sus registros son incompletos.

El valle de Cauquenes se abre hacia el este al alcanzar el Valle Central; es necesario realizar más trabajos de terreno para localizar y describir la(s) zona(s) de cambio entre los materiales de los dos valles.

En resumen, parecen ser limitadas las posibilidades del desarrollo del agua subterránea en el valle de Pencahue, a lo largo del río Purapel y en el valle de Cauquenes. Se puede utilizar algunos pozos para uso doméstico, pero se produciría una caída de los niveles de agua. Es posible explotar una cantidad limitada de pozos para regadío, a lo largo de los ríos principales. Si desde área vecinas se lleva agua para regadío hacia los tres valles mencionados, se aumentará la recarga natural de agua subterránea. Sin embargo, como la permeabilidad vertical es baja, se presentarían algunos problemas de drenaje de suelos.

Terrazas costaneras

Se observa agua fresca en los pozos existentes en las arenas de las terrazas del área de Chanco. Una persona del lugar informó que hay a lo menos 7 pozos de unos 10 m de profundidad.

A lo largo del piso de una de las quebradas que disectan las terrazas, se observó un área de afloramiento de agua subterránea, y sin duda existen muchas áreas similares. En el lado sur de la localidad de Chanco, en la propiedad del doctor Ricardo Valdés, se visitó un pozo perforado en la arena de la terraza de hasta una profundidad de 34 m. El día 5 de Noviembre el agua estaba a unos 20 m de profundidad; aunque en aquella oportunidad no había instalaciones de bombeo, el dueño estima que el pozo es de gran importancia y planea usarlo en el regadío de la próxima temporada.

A lo largo de la costa norte de Constitución, existen otras terrazas bastante extensas, las que no fué posible visitar siendo solamente observadas desde el aire. Los posibles terrenos de regadío de estas terrazas parecen estar limitados por la presencia de dunas.

Aproximadamente un 40% de las terrazas de Chanco están cubiertas por dunas. Las arenas marinas que se encuentran bajo estas terrazas, parecen ser muy permeables. Un cierto número de factores indican la conveniencia de realizar estudios más detallados para determinar la extensión del posible desarrollo del agua subterránea en estas terrazas. No se conoce el espesor de estas arenas y la profundidad hasta la roca basal. En el pozo antes mencionado, el espesor es a lo menos de 34 m, pudiendo ser considerablemente mayor. Debe tomarse en cuenta el peligro de intrusión de agua de mar en caso de descenso del nivel de agua subterránea, debido al bombeo en los pozos perforados en esta terraza de arena.

Un problema difícil que se presenta en este tipo de terreno consiste en evitar la entrada de arena al pozo; se puede resolver por el uso de una pared de grava o una criba apropiada.

La inflitración proveniente de la precipitación y los ríos, de la Cordillera de la Costa, produce una recarga en la terraza de arena, cuya cantidad no se conoce. Sin embargo, parece ser que la cantidad de esta recarga es mayor aquí, que en los valles intermontanos. Es por tanto evidente la necesidad de efectuar estudios adicionales de hidrogeología, para conoce

las posibilidades de desarrollo de los recursos de agua subterránea en la terraza de Chanco; en caso que ésta tenga un espesor favorable y exista recarga suficiente, será posible explotar una cantidad moderada de agua para regadío. Aparentemente es fácil obtener buenos pozos para uso doméstico.

Si se conduce agua desde áreas vecinas hacia la terraza de Chanco, no habría dificultades de estancamiento en los terrenos altos entre los valles, debido a que la permeabilidad es suficientemente alta. Es posible que en los valles haya agua subterránea en bastante cantidad, lo que permite usar una combinación de agua superficial desde áreas vecinas para los terrenos altos y un desarrollo de agua subterránea en los valles.

Costo del desarrollo de agua subterránea

El costo estimado del desarrollo de agua subterránea para el regadío del Valle Central, fué preparado por Julio Barros y supervisado por Ricardo Edwards, Emilio Donoso y el autor.

Las estimaciones usadas en la preparación de estos costos, aparecen en el resumen siguiente. Naturalmente si se considera que cada pozo abastecerá un área mayor, o si no se requiere un embalse para cada pozo, el costo sería menor.

COSTO DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS

Costos de Inversiones con Plazo de Amortización a 20 años

a) Pozo-Profundidad 70 m a E° 275 m (incluido desarrollo del pozo)	E°	19.250
b) Bomba. Para 40 hás y 25 HP para elevar a 25 m de altura (total equipo moto-bomba + 20%)		12.300
c) Sub-estación de 50 K.V.A. para 2 pozos en promedio E° 3.500/2)		1.750
d) Tranque de noche y caseta		3.500
e) Instalación en baja (global)		750
Total	E°	37.550
Costo anual equivalente al 5% de interés representa una anualidad de 0,08024		
0,08024 x E° 37.550 =	E°	3.013

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

Costo de Inversiones con Plazo

de Amortización a 50 años

a) Línea troncal de la red general al fundo E° 6.000 km para 0,5 km por pozo	E°	3.000
b) Línea de distribución entre pozos E° 6.000 km para 0,9 por pozo		5.400
c) Derechos a Endesa y a Cooperativas 20% sobre líneas y sub-estación 0.20 x E° 10.150		2.030
Total	E°	10.430

Costo anual equivalente al 5% de interés representa una anualidad de 0,05478

0,05478 x E° 10.430 = E° 572

Costos de Operación y Mantenimiento

a) Mantenimiento de la bomba, 3% anual del costo de la bomba : 0,03 x E° 12.300		369
c) Energía 25 m de elevación para 9.000 m^3/há para 40 hás: 33.200 KWH a E° 0,030/kwh		996
TOTAL	E°	1.365

Resumen de Costos Anuales por Pozo

Interés y amortización de inversiones a 20 años	E°	3.013
Interés y amortización de inversiones a 50 años		572
Operación y mantenimiento		1.365
Total	E°	4.950

Cada pozo sirve 40 hás por lo tanto

el costo anual por há es: E° $\frac{4.950}{40}$ = E° 123,75

Minería

La evaluación de la minería y las posibilidades mineras de la región, fué realizado por el señor Emilio Donoso y el autor. La parte que sigue a continuación fue escrita por el señor Donoso.

NIVEL ESTRUCTURA DE LOS SECTORES ECONOMICOS

Sector Minero

Monto y Estructura de los Recursos Físicos Utilizados.

Catastro y Propiedad Minera

No existe un catastro propiamente tal. Sólo hay una nómina de las pertenencias, la que ha sido vaciada en el plano adjunto y cuyo resumen es el siguiente:

PERTENENCIAS MINERAS

	METALICAS			NO METALICAS		
Provincia	Nº de Prop.	Nº de Pert.	Hás.	Nº de Prop.	Nº de Pert.	Hás.
Talca	14	380	1.878	13	541	8.742
Linares	16	2.165	10.800	5	259	2.276
Maule	8	912	4.555	19	474	22.976

Se hace notar que esta nómina no indica de manera alguna potencial debido a que las peticiones se hacen sin que medie un estudio serio de reconocimiento y muchas veces por razones ajenas al interés minero. Esta anomalía resulta de la aplicación de la ley que no exige más que el pago de una pequeña patente (del orden de E° 0.01/há al año) para mantener una pertenencia.

Caracter de la Explotación

1. Volumen de la Producción.

No obstante que cada explotación minera tiene la obligación de informar al Servicio de Minas del Estado de sus ventas anuales, esto sólo se hace en la práctica cuando se necesita realizar alguna operación a través del Servicio. Por esta razón en el año 1963 sólo aparece registrada una venta que es la siguiente:

3.674 ton de arena silícica

515 ton de talco

El valor de esta venta es de US$ 31.800

El monto total de las ventas es evidentemente superior a esta cifra, pero al no existir estadística digna de consideración por las razones citadas, es imposible formarse una idea de su real magnitud. En todo caso se sabe positivamente que esto es muy limitado en la actualidad.

2. Incidencia en el nivel de ocupación y en los otros sectores económicos.

Del punto anterior se desprende que esta incidencia se puede considerar prácticamente mala en la actualidad.

3. Potencial Minero

No se ha realizado una prospección acabada que posibilite evaluar el potencial minero. Sólo existe un reconocimiento geológico de la Cordillera de Los Andes que permite formular algunos juicios aunque estos queden supeditados a su posterior confirmación por medio de un estudio con fines específicos. Sin embargo, avalando la impresión recogida del reconocimiento geológico mencionado, está la opinión de varios ingenieros de minas de prestigio, los cuales coinciden en catalogar la Hoya Hidrográfica del Río Maule como una región relativamente interesante desde el punto de vista minero. Ellos sostienen que la falta de cateos en la zona se debe a la dificultad que representa para esto la capa vegetal y al carácter agrícola de la población región y no a la falta de depósitos minerales. Consideran finalmente que se justifica efectuar una prospección por métodos geofísicos u otros.

4. Existencia de cantera, calizas, etc. y sus posibilidades de explotación.

Respecto de la existencia de canteras, calizas, etc., y en general, minerales no metálicos, se acompaña el siguiente resumen que da una idea de la situación :

Clases de Minerales	Arcilla		Azufre		Caolín		Carbonato de calcio		Cuarzo		Dolomitas	
	Nº de Pert.	Hás.	Nº de Pert.	Hás.	Nº de Pert.	Hás.	Nº de Pert.	Hás.	Nº de Pert.	Hás.	Nº de Pert.	Hás.
Prov.de Talca	-	-	3	150	43	2.150	20	802	-	-	26	1.192
Prov.de Maule	68	3.400	-	-	316	15.548	1	3	66	3.255	-	-
Prov.de Linares	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

En cuanto a las posibilidades de explotación de estas minas sólo se puede dar una impresión emanada de las conversaciones sostenidas con los ingenieros de minas antes mencionados, puesto que no se dispone de un estudio económico que permita dar una respuesta definitiva al respecto. En todo caso, la impresión se puede resumir en que se puede esperar una explotación de cierta importancia especialmente de Carbonato de Calcio con fines de enmiendas agrícolas. También se puede contar con explotaciones económicamente satisfactorias de los depósitos de grava y de arena con fines de construcción, esto en la medida en que se desarrolle esta última actividad.

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

Geología Aplicada a la Ingenieria de embalses

Durante el presente reconocimiento se observaron dos lugares de embalses de los cuales se hacen algunos comentarios geológicos. Durante la Fase II de la investigación, se debería realizar una evaluación más completa de estos y otros lugares.

Guaiquivilo, en el río Melado.- En un reconocimiento áereo efectuado el 17 de Noviembre, se observó brevemente el sitio del embalse de Guaiquivilo. Existen dos lugares, aparentemente muy adecuados, para fundar una represa y que están ubicados en un área de bajo relieve, donde un tributario importante desemboca en el río Melado. No hay inconvenientes serios para la fundación de dicha represa, solamente, hacia la base de un empotramiento de una de las posibles obras, se observa una cubierta algo gruesa, coluvial o morénica.

La roca de ambos lugares parece ser volcánica; su resistencia y permeabilidad deben ser comprobadas en el terreno. Con frecuencia se encuentran zonas permeables en ciertos tipos de rocas volcánicas. Otros factor que debe tenerse presente, es el alto grado de sismicidad que se manifiesta en esta parte de la Cordillera de los Andes.

Río Perquilauquén cerca de Villa Seca.- El río Perquilauquén fué observado en el lugar en que un cable para balsas, cruza el río cerca de la localidad de Villa Seca. No se encontró aquí una verdadera roca basal y es probable que no esté presente. Los empotramientos de una represa en este lugar, serían evidentemente limo aluvial, arena y arcilla con materiales de terraza algo más permeables, compuestas de arena y grava.

Se puede producir filtraciones desde la represa hacia las formaciones vecinas; cuando el nivel del embalse esté bajo , las filtraciones pueden pasar a través de la represa hacia el río. Antes de construir en este lugar debe investigarse el problema de filtraciones ex-

cesivas, siendo la impermeabilización una de las posibles soluciones.

Programa de Investigación Geológica de Agua Subterránea. Recursos Minerales y Sitios de Estructuras Hidraúlicas.

Se recomienda que este programa se realice con la cooperación de CORFO y el IIG, bajo la dirección del programa Chile-California. Para su realización se requiere la participación del personal especializado de ambas instituciones chilenas. Se propone que el IGS efectúe exploraciones geofísicas, en coordinación con CORFO y el IIG.

El programa que se señala a continuación, es el presentado por el IIG, pero algo modificado:

1.- Investigación hidrogeológica (incluye estudios I y III del IIG)
2.- Investigación de recursos minerales (estudios II del IIG)
3.- Investigación de Geología Aplicada a proyectos de Ingeniería (Incluye estudios IV del IIG).

1.- Investigación hidrogeológica.-Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

A) Investigar los límites y características de los almacenamientos de agua subterránea, incluyendo las condiciones geológicas de ocurrencia, recarga, movimiento y descarga de agua subterránea.
B) Determinar la cantidad y calidad del agua subterránea que se pueda utilizar.
C) Describir el desarrollo potencial del agua subterránea y recomendar las áreas adecuadas y procedimientos de desarrollo.

Para la realización del objetivo A) se recomienda el siguiente programa:

a) Estudio geológico y mapeo de los materiales que forman los almacenamientos de agua subterránea; el contacto y relación de estos materiales con las rocas consolidadas. Se debe efectuar estudios fotogeológicos, trabajos de terreno y utilizar los registros de pozos pa-

ra establecer los acuíferos y describir sus características hidrológicas.

b) Realizar un catastro de todos los pozos de la región, recopilando todos los antecedentes posibles, efectuando luego mediciones periodicas del nivel de agua en los pozos.

c) Perforación de pozos en lugares convenientemente elegidos, para realizar pruebas de rendimiento de acuíferos; este programa se efectuaría por CORFO y el IIG, de común acuerdo con los propietarios de tierras. Se recomienda un mínimo de 10 pozos de prueba, de una profundidad media de 100 m.

d) Determinación de la altura sobre el nivel medio del mar de todos los pozos en que se realicen mediciones de niveles de agua y confección de un plano equipotencial del agua subterránea.

e) Donde sea necesario, se efectuarán estudios especiales, con el objeto de obtener toda la información posible en los siguientes aspectos: infiltración de agua superficial al almacenamiento subterráneo; movimiento y descarga del agua subterránea. La información sobre la infiltración y descarga del agua subterránea se obtendrá realizando mediciones en los cauces, después de la estación de riego. La información sobre el movimiento del agua subterránea se logrará efectuando pruebas de bombeo en pozos existentes o en aquellos que se realicen durante el programa.

Para la realización del objetivo B), se recomienda el siguiente programa:

Se determinará el rendimiento específico y la capacidad de almacenamiento de los depósitos de agua subterránea. Se elegirán 50 muestras de los terrenos atravesados por los pozos, especialmente en aquellos de prueba, y se efectuarán análisis granulométricos que servirán para asignar valores de rendimiento específico a los diferentes materiales. Los registros de terreno y toda información geológica posible, será usada para determinar la capacidad de almacenamiento de los acuíferos. Se re-

comienda efectuar una investigación geofísica para conocer la profundidad del relleno. Este programa sería realizado por el IGS.

Se propone investigar la profundidad de los materiales sedimentarios que contienen agua y la configuración de la roca fundamental bajo la terraza de Chanco.

Se recomienda usar el método de refracción sísmica para determinar la profundidad de la roca fundamental en los siguientes valles intermontanos; Cauquenes, Purapel y Pencahue. El IGS tiene dos registradores sísmicos, el más pequeño sería útil para los valles intermontanos. Se efectuarían aproximadamente 140 km de perfiles sísmicos.-

El IGS puede también investigar, mediante refracción sísmica, la profundidad del relleno en el Valle Central, esto no parece esencial por el momento y es omitido para alivianar los costos.

Para determinar la calidad del agua subterránea, se recomienda realizar análisis químicos de 50 muestras.

Para la realización del objetivo C), se recomienda el siguiente programa:

Describir el grado de desarrollo del agua subterránea en varias áreas de la cuenca, con la información obtenida en los programas A) y B). Se utilizará la ecuación hidrológica para estimar cuantitativamente las condiciones de desarrollo de áreas adecuadas.

2.- <u>Investigación de recursos minerales.</u>- Los objetivos de esta investigación serían los siguientes:

A) Realizar un inventario de los depósitos metálicos y no-metálicos.
B) Investigar y describir los depósitos existentes y comparar las ocurrencias minerales con aquellas del resto del país.
C) Evaluar el potencial minero metálico y no-metálico, incluyendo la información obtenida en A) y B) y la evaluación mediante trabajos

de terreno, de aquellos yacimientos existentes en ambas cordilleras. La evaluación de los no-metálicos incluirá arena y grava para construcción. Se recomienda realizar una evaluación mineralógica de las arenas negras de la playa en las vecindades de Donstitución.

Sobre los puntos antes mencionado, se encuentran antecedentes valiosos en los siguientes informes:

"Nivel Estructura de los Sectores Económicos - Sector Minero", pp.21-24 por Emilio Donoso.

"Minería en Zona Río Maule y Afluentes", por Departamento de Fomento, Memorandum Nº 57 (en archivos Chile-California)

3.- Investigaciones de Geología Aplicada a la Ingeniería.- El objetivo de esta investigación sería el siguiente:

Realizar reconocimientos fotogeológicos de lugares propuestos para embalses, túneles, sifones, canales y cualquie otra obra de ingeniería. Estos estudios deben apoyarse en trabajos de terreno.

Los planes actuales requieren la ejecución de alrededor de once proyectos en la Fase II. Los estudios geológicos de reconocimiento de lugares de embalses, incluirían investigaciones de:

a) Condiciones de fundación, incluyendo tipos de roca.

b) Condiciones topográficas

c) Estructuras geológicas: fallas, sistemas de junturas, manteos, etc.

d) Peligros de deslizamiento

e) Condiciones sísmicas

f) Condiciones de sedimentación

g) Filtraciones posibles

h) Ubicación y tipos de materiales disponibles para construcción

i) Adaptabilidad del lugar para diferentes tipos de represas

j) Problemas especiales

Los estudios de canales incluyen muchos de los items antes citados; los más importantes son: condiciones de excavación, estabilidad de pendientes, filtración y problemas especiales tales como arcillas

expansivas.

Las investigaciones de túneles y sifones incluyen también muchos de los items anteriores; los más importantes son: condiciones de excavación, sustentación y revestimiento y problemas especiales tales como temperatura y movimiento de tierra y problemas de agua.

La investigación que se ha propuesto no incluye trabajos de exploración y perforación. Antes de iniciarse los trabajos de construcción de represas u otros trabajos de ingeniería, es esencial realizar trabajos de exploración con costos adicionales.

Informes: Al final del primer año será necesario evaluar todos los datos obtenidos en las tres fases de la investigación geológica, y redactar un informe progresivo que contenga la información necesaria para una evaluación tentativa de los proyectos de la investigación de la cuenca del Maule. En efecto, en cualquier momento de la investigación los datos deben estar disponibles para ser consultados.

Finalmente durante el último año deberá evaluarse toda la información y preparar un informe que cubre todas las fases de la investigación: Hidrogeología, Recursos Minerlaes y Geología Aplicada a la Ingeniería. El informe deberá contener mapas geológicos y perfiles transversales de las zonas de almacenamiento de aguas subterráneas, mapas de la superficie freática, mapas de estudios geofísicos, mapas y tablas de recursos minerlaes, mapas de geología aplicada a la ingeniería y perfiles transversales de lugares de embalse.

Costo de Programa.- Los costos del programa propuesto, están basados en costos estimados por el IIG y el IGS, pero modificado de acuerdo a los cambios sugeridos y se resumen como sigue:

1965	Tiempo (en hombre-mes)	Costo (en E°)
Hidrogeología (Programa IIG)	16	135.000
Perforación (incluye costos de perforación y un geólogo para describir los perfiles)	6 meses	120.000
Estudios geofísicos		
Instituto de Geofísica y Sismología		105.000
Instituto de Inves.Geológica		35.000
Recursos Minerales	6	40.000
Geología Aplicada a la Ingeniería	4	25.000
Equipo adicional		50.000
	TOTAL	510.000

1 9 6 6

Hidrogeología	16	135.000
Perforación	10	200.000
Recursos Minerales	8	55.000
Geología Aplicada a la Ingeniería	6	40.000
Equipo adicional		40.000
	TOTAL	470.000

1 9 6 7

Todos los programas, además del informe final	24	240.000

Resumen de Conclusiones

1. Hay disponibilidad de aguas subterráneas para el regadío en el Valle Central de la cuenca del Maule, particularmente en su parte suroriental.
2. El Desarrollo del agua subterránea para el regadío en el Valle Central tiene un costo anual estimado de E° 124 por Há., asumiendose que cada pozo tenga un embalse, y que abastezca 40 Hás.. Si se

considera demasiado grande el área de abastecimiento por pozo, o si no se requiere un embalse para cada pozo, el costo podría ser reducido

3.- En la terraza costanera de Chanco hay agua subterránea y sería posible realizar su desarrollo para el regadío. Se requiere realizar más investigación para determinar el grado de desarrollo factible.

4.- En las cuencas intermontadas parecen ser limitados los recursos y la recarga de aguas subterráneas.

5.- En la cuenca del Maule no se han realizado investigaciones de hidrogeología, similares a las que el IIG ha efectuado en la Cuenca de Santiago y otras áreas.

6. Tampoco se ha realizado, aparentemente, una evaluación geológica del potencial minero de la ouenca del Maule.

7. Parece que no se han efectuado investigaciones de detalle de geología aplicada a la ingeniería, de lugares de embalses propuestos para el desarrollo de la cuenca.

8. Un reconocimiento aéreo mostró que no existen problemas geológicos particularmente difíciles en la construcción de un embalse en Guaiquivilo en el río Melado, Un reconocimiento del sitio del embalse en el río Perquilauquén cerca de la localidad de Villa Seca, indicó la existencia de un estrato no consolidado, algo permeable en los empotramientos y la posibilidad de alguna filtración.

Resumen de Recomendaciones

1. Se recomienda el desarrollo del agua subterránea para el regadío en el área del Valle Central entre los ríos Putagán y Perquilauquén

2.- Para determinar con precisión el efecto del desarrollo del agua subterránea en esta área, en cualquier parte del Valle Central, en las terrazas costaneras y en los valles intermontanos, se remienda que el programa de investigación hidrogeológica de la región sea realizado en la forma que se describe en este informe.

3. Similarmente, se recomienda el programa de investigación de geología minera y del potencial minero como se describe en este informe.

4. Se recomienda el programa de investigación geológica para obras de ingeniería, como se describe en este informe.

5. Se recomienda que el programa de todos los estudios relacionados con geología sea efectuado por una sola organización.

Sr. Edwards.
35932

— Esc. 1:50.000
— Esc. 1:25.000

LICANTEN
Río Mataquito
CURICO
CUREPTO
MOLINA
LONTUE
CLARO
LIKAY
CONSTITUCION
Río Maule
TALCA
SAN JAVIER
CHANCO
Río LONTUE
LINARES
CAUQUENES
Río PERQUILAUQUEN
PARRAL
SAN CARLOS
Río Itata
CHILLAN
Río Chillán
TOME
TALCAHUANO
BULNES
CONCEPCION
Río Bío Bío
CORONEL
35
36
37
72
71
OCEANO PACIFICO
ARGENTINA

ESCALA 1:1.000.000

Area de estudio hidrogeológico

Area de estudio de Geología Económica

Area de estudio de Geología Regional