

REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

MAPA HIDROGEOLOGICO DE CHILE
Escala 1: 2.500.000

TEXTO EXPLICATIVO

Contribución del Comité Chileno para el Programa Hidrológico
Internacional, al Mapa Hidrogeológico de América del Sur.

Santiago de Chile, Diciembre 1986

INDICE GENERAL

	Pág.
1.- Introducción	1
1.1 Objetivo del mapa	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Metodología del trabajo	2
1.4 Equipo ejecutivo y agradecimientos	2
2.- Características Generales del País	2
2.1 Geología	3
2.2 Fisiografía	4
2.3 Clima y Vegetación	5
2.4 Suelos	7
2.5 Hidrología	8
3.- Contenido del Mapa: Hidrogeología	9
3.1 Leyenda del Mapa	9
3.2 Definición de provincias hidrogeológicas	12
3.3 Descripción general de los sistemas acuíferos por provincia	13
3.3.1 Provincia Altiplánica	13
3.3.2 Provincia Andina Vertiente Pacífico	13
3.3.3 Provincia Cuencas Costeras	16
3.4 Información Complementaria	16
3.4.1 Islas del Pacífico	16
3.4.2 Actividad geotérmica	17
4.- Identificación de áreas según el grado de explotación de aguas subterráneas	17
4.1 Situación general	17
4.2 Grado de explotación de los acuíferos chilenos	18
4.2.1 Areas de explotación intensiva a crítica	18
4.2.2 Areas de equilibrio	19
4.2.3 Areas subexplotadas	19
4.2.4 Acuíferos con peligro de intrusión salina	19
5.- Conclusiones y Recomendaciones	19
6.- Bibliografía	20
7.- Anexo: Cuadro y Figuras	22

1.- INTRODUCCION

1.1 Objetivo del Mapa

El Mapa Hidrogeológico de Chile a escala 1:2.500.000 ha sido elaborado como una contribución al Proyecto del Mapa Hidrogeológico de América del Sur. Dicho proyecto se ha desarrollado con el apoyo de la UNESCO, en el ámbito del Programa Hidrogeológico Internacional (PHI), en todo el continente sudamericano, en base a los acuerdos adoptados en la reunión de Miembros de los Comités Nacionales del PHI de América del Sur (Buenos Aires, 1976), y en diversas reuniones posteriores de coordinación para la elaboración de los mapas nacionales.

El Mapa Hidrogeológico de Chile, ciñéndose al objetivo general del Mapa de América del Sur, pretende entregar una visión sintética de la naturaleza, existencia y ubicación del recurso hídrico subterráneo en Chile, y presentar algunas de sus propiedades relevantes.

1.2 Antecedentes

La versión del Mapa de Chile a escala 1:2.500.000 se ha obtenido fundamentalmente en base al estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional a escala 1:1.000.000, el cual estuvo concebido como un documento base o índice que integró, en forma útil y accesible para cualquier usuario, toda la información existente acerca del recurso subterráneo en el país, y que permitió visualizar sus características principales.

Dicho estudio ha proporcionado un elemento de guía e inventario tanto en los estudios disponibles como de los acuíferos conocidos, lo que facilitará la planificación preliminar del uso del recurso y/o la programación de estudios hidrogeológicos específicos.

La realización del Mapa Hidrogeológico de Chile ha sido posible gracias a una extensa labor hidrogeológica y de estudios diversos, realizada durante muchos años especialmente en las siguientes entidades: Dirección General de Aguas, Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG), actualmente Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN); Departamento de Recursos Hidráulicos de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO); Instituto de Recursos Naturales de CORFO (IREN-CORFO); Comisión Nacional de Riego; Servicio Nacional de Obras Sanitarias del Ministerio de Obras Públicas (SENDOS) y Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas.

La información en que primordialmente se basó la elaboración del Mapa Hidrogeológico de Chile, ha sido del siguiente tipo:

- Mapa Geológico de Chile a escala 1:1.000.000
- estudios geológicos
- estudios generales de recursos hídricos en algunas regiones del país
- estudios de balance hidrológico nacional
- estudios hidrogeológicos realizados para diversas cuencas
- estudios hidrogeológicos locales con fines de abastecimiento de agua potable
- estudios geológicos e hidrogeológicos de exploración
- catastro de pozos y pruebas de bombeo
- historias de niveles estáticos subterráneos
- análisis de calidad química de aguas superficiales y subterráneas.

Una selección de los estudios considerados se presenta en la bibliografía del Capítulo 7.

La bibliografía exhaustiva de la información existente acerca de la hidrogeología en Chile se encuentra en el texto explicativo del Mapa Nacional a escala 1:1.000.000, y alcanza un total aproximado de 800 documentos.

1.3 Metodología del Trabajo

La metodología empleada para el desarrollo del mapa ha estado estrechamente ligada a los requerimientos de información que impone la leyenda común para todos los países sudamericanos. Naturalmente, la leyenda ha sido adaptada para el caso de Chile.

Se utilizó como mapa base una reducción del Mapa Físico de Chile a escala 1:1.000.000 del Instituto Geográfico Militar, cuya proyección es la policónica modificada de Lallemand.

En primer lugar, se incluyó las principales referencias geográficas e hidrológicas; a continuación, y en base al Mapa Geológico Nacional (Ref. 31), se identificó las diversas zonas del país en función de la posibilidad de existencia de recursos hídricos subterráneos; finalmente se agregó la información hidrogeológica específica para los sectores en que se disponía de ella.

El detalle del proceso metodológico seguido y sus resultados, se desprenden de los capítulos posteriores.

1.4 Equipo Ejecutivo y Agradecimientos

La ejecución del Mapa Hidrogeológico de Chile a escala 1:1.000.000 y 1:2.500.000 fue contratada con la empresa consultora Ingeniería y Planificación IPLA Ltda., y se realizó bajo la dirección y supervisión de la Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas), Departamento de Hidrología, Sub-Departamento Estudios Hidrológicos, actuando como Coordinadora y Supervisora General la Ing. Civil Sra. Damaris Orphanópoulos.

La versión a escala 1:2.500.000 que se presenta como contribución al Mapa Hidrogeológico de América del Sur, fue revisada y adaptada en la Dirección General de Agua, donde se preparó también el presente texto.

Se desea expresar especial agradecimiento a la Dirección de Riego y al Servicio Nacional de Obras Sanitarias, ambos del Ministerio de Obras Públicas, por su amplio aporte en cuanto a información de pozos y calidad de aguas; a las empresas CODELCO (Corporación del Cobre de Chile) y ENAP (Empresa Nacional del Petróleo), y a la empresa constructora de pozos CELZAC, por toda la información generosamente facilitada, y al Geólogo del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Sr. Arturo Hauser, por su desinteresada y oportuna asesoría.

2.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PAIS

La ubicación de Chile dentro del continente sudamericano se presenta en la Fig. 1.

El territorio chileno tiene un área continental de 756.626 km², con una extensión latitudinal de 4.329 km. (entre los paralelos 17° 30' y 56° 30' L.S.), y una extensión transversal media de 180 km (entorno al meridiano 70° L.W.).

Tal configuración física, un tanto peculiar, es la responsable de la gran heterogeneidad en cuanto a climas, suelos, tipos de vegetación, características hidrológicas e hidrogeológicas del país, que se reseñan en este texto.

La Antártica Chilena, de 1.250.000 km², aunque se incluye en el mapa, no presenta actualmente interés hidrogeológico.

La población de Chile alcanza en la actualidad aproximadamente 12 millones de habitantes, de los cuales más de la tercera parte está radicada en Santiago y sus alrededores. La población y la densidad poblacional a lo largo del país se presentan en la Fig. 2.

Las principales actividades económicas están vinculadas a la minería, especialmente la del cobre, a la agricultura, a la explotación de recursos del mar, y, en menor escala, a la industria y el turismo.

2.1 Geología

Chile ocupa el activo margen continental de la zona de convergencia entre las placas de Nazca y Antártica, por el oeste, y la placa Sudamericana, por el este. Ello ha controlado la evolución geológica del territorio chileno desde el Paleozoico hasta la actualidad; sus rasgos geológicos, estructurales y morfológicos se relacionan con diversos procesos de convergencia y subducción que han tenido efectos "constructivos" o "destructivos".

Geológicamente, el territorio chileno es el resultado de una amplia gama de procesos asociados a intrusiones marinas y episodios continentales, que habrían tenido lugar principalmente durante los últimos 570 millones de años (Paleozoico Inferior hasta nuestros días).

La Fig. 3 presenta, esquemáticamente, las unidades geológicas más relevantes del país, que se caracterizan brevemente a continuación.

En cuanto a la era paleozoica (570 a 230 mill. años), su expresión más antigua está constituida por rocas volcánoclasticas de extensión local en sectores del Norte Grande (Fig. 10). Hacia el sur, parte importante de la Cordillera de la Costa de Chile Central y de la región archipelágica austral, están constituidas por rocas plutónicas (granitos, granodioritas) y sedimentitas severamente metamorfizadas (pizarras, filitas), del Paleozoico Medio y Superior.

Con respecto a la era mesozoica (230 a 70 mill. años), el Triásico (230 a 180 mill. años) acusa una distribución restringida. El Jurásico (180 a 135 mill. años) está representando por significativos paquetes de rocas estratificadas, generalmente muy dislocados o plegados, que se componen de rocas sedimentarias marinas y continentales, con intercalaciones de estratos volcánicos. En la porción andina de Chile Central, la secuencia jurásica incorpora frecuentes niveles yesíferos. El Cretácico (135 a 63 mill. años) alcanza repartición muy destacada en el territorio chileno, particularmente en la porción central (27° a 36° LS). Incluye rocas sedimentarias marinas y continentales, como también volcanitas con predominio de especies andesíticas. Durante este período se desarrollaron severas fases intrusivas representadas por importantes batolitos de tipo granítico, que participan del modelado en extensas porciones territoriales del país.

El Terciario (63 a < 1 mill. años) está representado, por un lado, por exposiciones discontinuas de sedimentos marinos con abundantes fósiles, entorno al borde litoral entre los 24° y 42° LS, y en la XII Región, con amplio desarrollo en Tierra del Fuego. Localmente, la secuencia terciaria engloba importantes estratos carbonosos. Por otro lado, rocas terciarias correspondientes esencialmente a materiales de naturaleza volcánica a volcánoclastica (lavas andesíticas y basálticas, flujos liparíticos y

riolíticos) participan significativamente en la constitución de la Cordillera de Los Andes.

A comienzos del Cuaternario (Pleistoceno Inferior) se produce un fuerte tectonismo que afecta todo el territorio, y que consiste principalmente en el alzamiento diferencial de bloques a lo largo de grandes fallas. Se originan en esta forma los tres rasgos fisiográficos característicos del territorio chileno:

- Cordillera de la Costa
- Depresión Intermedia
- Cordillera de Los Andes.

Durante el Cuaternario (Pleistoceno y Reciente), los fenómenos depositacionales son controlados fundamentalmente por procesos endógenos (tectonismo, volcanismo) y exógenos (procesos climáticos, por ejemplo glaciaciones, que ha favorecido fuertemente los procesos erosionales y depositacionales a los largo de todo el país).

La Antártica Chilena, geológicamente puede considerarse como una prolongación de los cinturones plegados circumpacíficos, (Cordillera de Los Andes). Presenta un complejo basal, tentativamente precámbrico, con depósitos volcánicos y sedimentarios, y plutonismo paleozoico y cretácico-terciario.

2.2 Fisiografía

Un esquema de los principales rasgos fisiográficos de Chile (Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de Los Andes), se presenta en la Fig. 4. La Fig. 5 muestra el relieve en forma de curvas de nivel.

En la zona norte del país (18° a 27° LS), los tres rasgos están bien desarrollados. La Cordillera de Los Andes presenta predominantemente rocas volcánicas; los conos volcánicos determinan allí las mayores alturas (aprox. 6.000 msnm). El intenso volcanismo cordillerano ha ocultado el relieve plegado, formándose longitudinalmente un altiplano desarticulado entre dos cordones de cumbres más altas, que son la Cordillera Prealtiplánica (Cordillera del Medio y Cordillera de Domeyko), y la Cordillera Oriental (Fig. 4). (La Cordillera Prealtiplánica se establece como divisoria entre la Provincia Hidrogeológica Altiplánica y la Provincia Andina Vertiente Pacífico). Por su naturaleza, las planicies altiplánicas tienen drenaje pobre o nulo, debido a lo cual suelen formarse salares.

La Depresión Intermedia en la región nortina tiene un amplio desarrollo. Se presenta rellena con material de arrastre grueso a fino, terciario y cuaternario, de tipo avenidal, proveniente de la Cordillera de Los Andes. Este relleno constituye las pampas, que hacia el oeste quedan limitadas por la Cordillera de la Costa, frecuentemente formando salares. Presenta alturas de 1.400 m frente a Arica y de 700 m al norte del río Loa, crecientes hacia la Cordillera de Los Andes. La Cordillera de la Costa, con alturas de 2.000 y hasta 3.000 msnm, transige suavemente hacia la planicie interior, pero cae en forma abrupta hacia el mar, a lo largo de un frente de fallas.

Entre los 27° y 33° LS desaparece la Depresión Intermedia. Los rasgos predominantes los constituyen una región montañosa interna, surcada por valles transversales producto de la erosión hídrica desde la Cordillera, y una región costera, con grandes planicies de abrasión marina, más o menos disectadas por la erosión desde el interior, y con desarrollo de dunas.

Entre Santiago y Puerto Montt (33° a 42° LS) reaparecen las tres unidades principales. La Cordillera de Los Andes, con alturas de casi 7.000 msnm frente a Santiago, se deprime hacia el sur, no sobrepasando, salvo excepciones, los 2.000 msnm al sur del paralelo 37°. La Depresión Intermedia constituye el área principal de acu-

mulación de sedimentos cuaternarios, representados por depósitos fluviales, fluvio-glaciales y glaciales. Presenta alturas medias de 300 a 500 msnm, y hacia el sur se observa fuertemente ondulada e incluso desarticulada, debido a la depositación de materiales de acarreo y afloramientos de rocas fundamentales. La Cordillera de la Costa, de alturas mayores que 2.000 msnm frente a Santiago, se deprime bruscamente (a menos de 1.000 m) desde los 34° al sur, se desarticula e incluso desaparece totalmente en algunos sectores. En su vertiente occidental se desarrollan varios niveles de terrazas, que presentan espesores variables de rellenos cuaternarios y terciarios superiores, de tipo sedimentario marino.

Entre los 42° y 47° (Isla Chiloé a Península de Taitao) continúa la misma estructura de fajas longitudinales del país, pero parcialmente sumergida. La Cordillera de la Costa se manifiesta en islas y archipiélagos, la Depresión Intermedia está completamente cubierta por el mar, y la Cordillera de Los Andes alcanza alturas de no más de 2.000 msnm. La fuerte acción modeladora de la última glaciación, en que los ventisqueros andinos llegaron hasta el mar abierto desde el sur de Chiloé, se refleja en el complejo sistema de canales y fiordos.

Desde el paralelo 47° hasta el extremo sur, desaparecen la Cordillera de la Costa y la Depresión Intermedia, y la Cordillera Andina se presenta subdividida en dos sectores: uno occidental archipelágico y uno oriental cordillerano, que localmente sobrepasa los 3.000 m y presenta amplias extensiones cubiertas por glaciares. La acción glacial cuaternaria ha formado profundos fiordos en el sector cordillerano y ha despojado de sus suelos al sector archipelágico, dejando al desnudo el basamento rocoso.

Al sur de los 52° LS, Chile se extiende hacia el oriente de la Cordillera de Los Andes, abarcando las llamadas pampas magallánicas, que son una prolongación de las mesetas patagónicas de sedimentación terciaria. Algunos relieves de esta pampa son de naturaleza morrénica subandina.

La Antártica Chilena se extiende desde los 60° LS hasta el polo Sur, entre los 53° y 90° LW. Presenta una parte peninsular (Tierra de O'Higgins), de carácter montañoso, con rasgos similares a los de la cordillera patagónica, casi íntegramente cubierta de hielo, y una parte continental, montañosa y muy poco accesible, que culmina en una meseta polar de 4.000 m de altura.

2.3 Clima y Vegetación

La variedad de climas que se observa en Chile, y por consiguiente, la variedad vegetacional, está estrechamente ligada a la extensión latitudinal del país y a su fuerte relieve transversal.

La Fig. 6 muestra los tipos de clima que se han identificado en Chile, de acuerdo a la clasificación de Koeppen. Esta clasificación no se basa en la generación de cada tipo de clima, sino en sus efectos sobre la corteza terrestre, especialmente en cuanto a vegetación. La distribución regional de la vegetación natural en Chile se presenta en la Fig. 7.

En todo el sector norte de Chile (18° a 33° LS) predominan los climas áridos (desérticos a esteparios), con vegetación xerófila. El Norte Grande (18° a 27° LS), que se encuentra bajo la influencia permanente del anticiclón del Pacífico, se caracteriza por una ausencia casi total de precipitaciones en los sectores costero e interior. Una abundante nubosidad en la franja costera (camanchaca) permite, sin embargo, el desarrollo de una débil vegetación desértica del tipo hierba y subarbutoso, que se ubica en las laderas de las quebradas. En la Depresión Intermedia, el clima desértico es muy severo (temperatura media de 18° C), humedad de 40%, precipitaciones menores que 10 mm/año, evaporación potencial de casi 2 m/año, nubosidad escasa). La vegetación está representada por las freatófitas que logran aparecer en

el fondo de los pocos cauces del extremo norte y de las quebradas preandinas, por algunas asociaciones de tamarugos que se alimentan del agua subterránea, y por alguna vegetación cactácea, jaral y tolar hacia las elevaciones preandinas. Hacia mayores alturas se desarrollan los climas esteparios de altura con precipitaciones estivales. El régimen altiplánico de precipitaciones estivales, determinado por la circulación de la baja térmica continental, es de naturaleza convectiva y alcanza localmente hasta 400 mm/año. La vegetación altiplánica predominante es la estepa andina (3.000 a 4.000 m), con jaral, tolar, gramíneas xerófitas y hierbas perennes (pajonales), que permiten la ganadería; por sobre los 4.000 m aparecen los llaretales.

Hacia el sur (Norte Chico o sector de los valles transversales), el clima desértico presenta paulatinamente un aumento de pluviosidad invernal, pasando a estepario seco. Los cauces de los valles transversales son permanentes gracias a las precipitaciones cordilleranas, y dan lugar a angostas áreas de riego y vegetación freatófita. La vegetación natural adquiere caracteres claramente mesomórficos a los 32° LS., en la estepa de espinos o Acacia Caven. Cobra importancia la vegetación natural costera, compuesta por arbustos, cactáceas y una rica cubierta herbácea, debido a la elevada humedad ambiental.

Desde los 33° hasta los 42° LS., se desarrolla, de norte a sur, toda la variedad de climas templados cálidos a lluviosos, de influencias anticlonales y ciclónicas alternadas, con una estación lluviosa invernal cada vez más prolongada, precipitaciones crecientes desde 350 hasta 2.500 mm/año, temperaturas medias anuales decrecientes entre 15° C y 10° C, y evaporación potencial decreciente de 1 a 0.5 m/año. La vegetación, predominantemente mesomórfica en esta zona, en la Cordillera de la Costa se caracteriza por un matorral que hacia el sur adquiere caracteres arbóreos hasta terminar en la selva valdiviana, ya francamente hidromórfica. En la Depresión Intermedia, la estepa de espino se intensifica, cediendo el paso a una vegetación de tipo parque a los 39° LS., y luego a un bosque mixto. El sector precordillerano presenta abundante vegetación boscosa favorecida por el aumento orográfico de la precipitación. La cordillera andina misma tiene clima de hielo por efecto de la altura, con temperaturas medias entre 4° C y 8° C, y vegetación de estepa arbustiva.

Hacia el sur de los 42° LS., se observan los climas de influencia netamente ciclónica.

Entre los 42° y 47° predomina el clima marítimo templado-frío lluvioso de costa occidental, que se caracteriza por elevadas precipitaciones (2.000 mm/año) temperaturas medias anuales de 9° a 10° C, amplitudes térmicas bajas y un intenso viento de oeste durante los meses estivales. La vegetación predominante es la selva de Chiloé, hidromórfica, muy tupida y rica en especies. Hacia la cordillera y en el sector transandino de estas latitudes, el clima se hace menos lluvioso y más continental, adquiriendo características de un clima estepario frío. La vegetación natural es el bosque transandino, progresivamente mesomórfico, y la vegetación xeromórfica en la estepa.

El sector archipiélagico al sur de los 47° LS., presenta en su primer tramo (47° a 52°) un clima templado frío lluvioso, con temperaturas medias de 9° C, oscilación térmica reducida, precipitaciones sobre 4.000 mm/año y fuertes vientos del oeste, que impiden el desarrollo extenso de vegetación arbórea. En las zonas más protegidas cunde el bosque magallánico siempre verde. En los sectores andinos se desarrollan grandes extensiones de glaciares (clima de hielo). Entre los 52° y 56° LS, en el sector isleño, se observa un clima de margen occidental o de tundra, isoterma. Las temperaturas medias muy reducidas (6° C) y las elevadas precipitaciones (sobre 2.000 mm/año) dan origen a la vegetación característica de musgos y líquenes. Hacia el oeste, donde Chile se extiende a sectores transandinos (pampa magallánica), existe un clima de estepa fría. Dada la acción de divisoria climática de la cordillera, este clima es cada vez más seco, alcanzando incluso características de aridez. Las precipitaciones se reducen a menos de 400 mm/año en la vertiente oriental de Los Andes; la vegetación natural consiste en matorrales y praderas permanentes de

gramíneas que se usan para el pastoreo de las ovejas.

En la Antártica Chilena se encuentra el llamado clima polar verdadero, con influencias ciclónicas frías en su parte peninsular, y anticiclónicas frías en su parte continental.

2.4 Suelos

A pesar de la gran variedad que presentan los suelos de Chile, tienen algunos rasgos generales comunes, que son los siguientes:

- todos son relativamente jóvenes y, en consecuencia, tienen importancia las características heredadas de los materiales originales;
- ninguno de los procesos exhaustivos formadores de suelos logra extremarse demasiado, debido a las moderadas temperaturas.

Geográficamente se distinguen dos grandes grupos de suelos:

- los suelos áridos, que se extienden desde el extremo norte de Chile hasta los 37° LS, en que los procesos formativos están inhibidos por la deficiencia de agua;
- los suelos húmedos, desde los 37° al sur, donde el agua es suficiente o abundante.

Las principales formaciones de suelo se presentan en la Fig. 8.

En el norte, las condiciones de aridez y la consiguiente ausencia de vegetación y materia orgánica, hacen que el principal factor pedogenético sea directamente el clima. En las zonas desérticas de altura (Andes Chilenos) predomina el suelo desértico gris de cubierta delgada, muy mineralizado, donde la baja temperatura inhibe la oxidación. En los sectores bajos del desierto chileno, se encuentran los entisoles, sin desarrollo de horizontes, consistentes en una delgada capa pardo-rojiza de piedras y arena, muy salinos y desprovistos de materia orgánica. A este suelo subyace, en grandes extensiones, una capa de alto contenido calcáreo y salino (mirabilita). En los salares aflora una gruesa capa de sales, entre las que predominan el NaCl y el CaSO₄.

Entre Copiapó y La Serena (27° a 30° LS) se desarrollan los suelos rojos desérticos típicos (aridisoles), que muestran la influencia incipiente de la vegetación producto de un leve aumento de las precipitaciones. Más al sur, la humedad francamente creciente da origen a los suelos pardo-cálcicos, alcalinos en su horizonte superior. En los valles transversales mismos, se encuentran formaciones que permiten la agricultura al ser regados.

A partir de los 30° LS hacia el sur, empieza a cobrar importancia la meteorización química y el ciclo orgánico en la formación de suelos.

Entre los 30° y 37° LS se encuentra, especialmente en la Depresión Intermedia, un suelo de transición, llamado pardo-no-cálcico o alfisol, neutro, que se genera a expensas de la estepa. Este suelo establecido sobre aluviones, tiene buen drenaje, es de textura liviana y de alta productividad al ser regado y fertilizado. La faja costanera, favorecida por las precipitaciones, presenta los suelos de pradera costanera (molisoles). En la franja precordillerana, donde las precipitaciones son abundantes y las temperaturas reducidas, se encuentran suelos más nuevos (inceptisoles), llamados pardo-forestales, generalmente neutros, cuyo espesor disminuye con la altura.

Hacia el sur (37° a 42° LS), se desarrollan los suelos húmedos, entre ellos los de pradera costanera y los pardo-forestales precordilleranos. Sobre la Cordillera de la Costa, la elevada humedad permite una fuerte meteorización y lixiviación de los

suelos, encontrándose aquí los ultisoles. En las regiones de la Depresión Intermedia, cobran gran importancia y extensión los suelos generados a expensas de cenizas y lavas volcánicas (trumaos, ñadis). Son inceptisoles, en general muy oscuros, fuertemente ácidos, muy ricos en materia orgánica y materiales férricos y pobres en fosfatos. Dada la naturaleza de los substratos y su interacción con el material volcánico fino, presentan en general mal drenaje, pero la topografía permite el escurrimiento superficial. Se usan intensamente con fines agrícolas.

En la isla de Chiloé y la región central de la Patagonia (42° a 44° LS), donde hay precipitaciones de 4.000 mm/año con frecuentes nevazones, se encuentran los podzoles (espodosoles) y suelos de pradera alpina, ambos muy ricos en materia orgánica (descompuesta a humus en el caso del podzol).

En toda la costa patagónica y el sector isleño al sur de Chiloé, las condiciones son particularmente adversas para la formación de suelos, y en general aflora la roca base, que en esta zona es granítica. Sólo se forman localmente en las zonas bajas, suelos de tundra rocosa, donde proliferan los musgos y líquenes, generando los turbales, que son podzoles fuertemente lixiviados.

En las regiones magallánicas de vertiente oriental de la Cordillera Andina, los bosques siempre verdes y la abundante vegetación tipo pasto aportan gran cantidad de materia orgánica, dando origen a los suelos podzólicos de pradera fría.

2.5 Hidrología

La hidrología puede comprenderse como el resultado, en cuanto a la existencia de recursos hídricos superficiales y subterráneos, de la conjugación de los fenómenos climáticos, actuales y pretéritos.

Dado que los capítulos siguientes están destinados a la hidrogeología, en este subcapítulo se presentará un somero esquema con énfasis en la hidrología superficial de Chile. La Fig. 9 presenta la distribución de cuencas hidrográficas en el país.

En la zona identificada como Norte Grande (Figs. 4, 10), la unidad fisiográfica de la Cordillera Prealtiplánica (Cordillera del Medio, Cordillera de Domeyko) genera en el Altiplano un régimen hídrico endorreico, alimentado por precipitaciones estivales, que se caracteriza por la formación de salares en los puntos terminales del escurrimiento. Las infiltraciones mantienen además un recurso subterráneo no despreciable.

Entre los 18° y 20° LS, las precipitaciones cordilleranas permiten la existencia de ríos permanentes, con caudales de 2 a 3 m³/seg, que llegan hasta el mar. Hacia el sur (20° a 22° LS), algunas quebradas que nacen en la Cordillera, alimentadas por las precipitaciones nivales y pluviales altiplánicas, definen un régimen claramente endorreico, al desaparecer por infiltración llegando a la Depresión Intermedia (Pampa del Tamarugal). Sólo el río Loa alcanza a llegar al mar, con un caudal de casi 3 m³/seg.

Al sur del río Loa, y hasta los 26° LS, se extiende una zona completamente arreica (Desierto de Atacama), en que el único recurso superficial lo constituyen numerosas vertientes y aguadas, las cuales, sin embargo son muy limitadas en caudal y, frecuentemente, en calidad.

El resto del país presenta un régimen claramente exorreico.

A los 27° LS desaparece el relieve altiplánico. Entre los 27° y 33° LS, el escenario hidrológico lo constituyen los angostos valles transversales, los más importantes de ellos de alcance cordillerano, con ríos en torrente de régimen mixto aunque funda-

mentalmente nival, y caudales naturales crecientes, de 2 hasta 30 m³/s. En esta zona se ha construido numerosos embalses para regularizar y aprovechar los escurrimientos superficiales.

En la zona central de Chile (33° a 36° LS), las cuencas de los ríos se amplían considerablemente, al adquirir importancia el desarrollo de la Depresión Intermedia. La Cordillera de Los Andes, muy alta en este sector, tiene gran importancia como acumulador de nieves, por lo que la alimentación de los ríos se debe primordialmente al derretimiento de primavera-verano. Se tiene en esta zona régimen de torrente, con caudales medios de 100 a 600 m³/seg. aumentando los rendimientos específicos con la latitud.

Entre los 36° y los 42°, con un primer sector de transición, los ríos se presentan tranquilos y cada vez más caudalosos (caudales medios de 600 a 800 m³/seg.). Debido al aumento progresivo de las precipitaciones y al descenso de la Cordillera de Los Andes, cobra importancia el régimen pluvial, con valores mensuales máximos en invierno. En el último tramo (40° a 42°) ejerce alguna influencia regularizadora el sistema de los lagos precordilleranos producto de la última glaciación.

Todo el sector exorreico anteriormente descrito (27° a 42° LS) presenta, además de las grandes cuencas con alcance cordillerano, una cadena de cuencas costeras, que nacen en la Cordillera de la Costa y dan origen a arroyos o ríos menores, de régimen pluvial.

En la región austral o patagónica, gran parte de los ríos importantes que drenan hacia el Pacífico, nacen en la vertiente oriental de Los Andes, recorren zonas transandinas y cruzan la Cordillera por valles desfiladeros en los lugares donde ella no está cubierta de glaciares. En general, la parte inferior de tales ríos corresponde a anti-guos fiordos, posteriormente rellenados con acarreo. Los caudales de estos ríos son muy altos; presentan régimen glacio-pluvial, vale decir, una fuerte alimentación por derretimiento de los hielos andinos. El sector archipelágico, por su naturaleza, presenta un drenaje totalmente localizado, sin desarrollo de cuencas.

El sector magallánico (52° a 56° LS), modelado igualmente por una intensa acción glacial, tampoco presenta desarrollo de grandes hoyas hidrográficas. Como, por otra parte, hacia el oriente disminuyen considerablemente las precipitaciones, en general sólo se forman arroyos o chorrillos.

3.- CONTENIDO DEL MAPA: HIDROGEOLOGIA

3.1 Leyenda del Mapa

La Leyenda del Mapa Hidrogeológico de Chile se ciñe a la acordada para el Mapa de América del Sur. Sin embargo, ha debido ser adaptada a las características propias del país, y a las posibilidades de representación que éste ofrece a la escala 1:2.500.000, lo cual en general ha significado una simplificación de la leyenda acordada.

La leyenda utilizada para la elaboración del mapa de Chile es la siguiente:

I. Hidrogeología

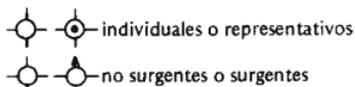
1. Provincias y subprovincias hidrogeológicas de Chile (mapa índice y Fig. 10).

2. Cantidad de pozos construidos en Chile hasta 1975 (mapa índice)
3. Ocurrencia de aguas subterráneas.
Este punto está esquematizado en el Cuadro Nº 1.
4. Productividad de los pozos; (achurado color anaranjado):

	> 10 m ³ /h/m, muy elevada
	4-10 m ³ /h/m, elevada
	1-4 m ³ /h/m, elevada a media
	0.13-1 m ³ /h/m, media a baja
	< 0.13 m ³ /h/m, muy baja
	sin información

5. Otra información obtenida de pozos (color rojo):

- a) Ubicación de pozos:



- b) Datos por pozos:



- 1 : Unidad acuífera captada
 2 : Profundidad del pozo (m)
 3 : Profundidad del nivel estático (m)
 4 : Productividad (m³/h/m)
 5 : Calidad del agua subterránea (mg/l TSD)

6. Perfiles hidrogeológicos esquemáticos (color y achurado según Cuadro Nº 1):

Identificación	Q		300	Espesor de
de los	TQ		200	los estratos
estratos	T		400	atrave-
atravesados	Pz		300	sados (en m)

7. Información hidrogeológica general (color morado):
-  límite entre provincias hidrogeológicas (también en mapa índice).
 límite entre subprovincias hidrogeológicas (también en mapa índice).

	sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas
	zonas de aguas surgentes
	zona de explotación intensiva a crítica.

II. Información referencial

1. Datos geográficos (color negro):

	límite internacional
	capital
	ciudades importantes
	elevaciones mayores

2. Datos hidrográficos:

	límite entre cuencas hidrográficas (azul)
	cursos permanentes (azul)
	cursos permanentes salados (anaranjado)
	cursos intermitentes (azul o anaranjado)
	lagos, lagunas (azul)
	salares (anaranjados)
	embalses (azul-rojo)
	glaciares (celeste)
	región pantanosa o sujeta a frecuentes inundaciones (azul)
	vertientes calientes y geysers (azul)

3. Hidrología superficial (color azul)

	isohietas promedio período 1951-1980 (mapa índice)
	caudal (m3/s) y área aportante (km2) en puntos representativos de las principales cuencas del país (en general en desembocadura).

4. Geología (color negro)

	líneas de contacto entre formaciones
	fallas importantes

Períodos o eras geológicas:

Q	Cuaternario no consolidado
Qv	Cuaternario volcánico

TQ	Terciario-Cuaternario generalmente volcánico
T	Terciario sedimentario, volcánico-sedimentario
C	Cenozoico volcánico
K	Cretácido mixto sedimentario-volcánico
Kg	Cretácido plutónico
KTg	Cretácido-Terciario plutónico
J	Jurásico sedimentario-volcánico
JKg	Jurásico-Cretácido plutónico
JTg	Jurásico-Terciario plutónico
M	Mesozoico volcánico - sedimentario
Mg	Mesozoico plutónico
PzM	Paleozoico-Mesozoico mixto sedimentario-volcánico
Pzg	Paleozoico plutónico
Pz	Paleozoico metamórfico

3.2 Definición de provincias hidrogeológicas

En la Fig. 10 se presenta la división del territorio chileno en provincias y subprovincias hidrogeológicas.

La división entre las tres provincias representadas (altiplánica, andina vertiente Pacífico y cuencas costeras), responde a los patrones de escurrimiento que a grandes rasgos se observan en el continente sudamericano.

La provincia altiplánica chilena es parte constitutiva de una extensa zona endorreica que abarca además sectores de Perú, Bolivia y Argentina. Dentro del territorio chileno es posible distinguir un primer sector (18° a 20° LS) de drenaje compartido, especialmente con Bolivia. Hacia el sur se desarrolla una cadena de cuencas menores, de drenaje muy local, y, por lo menos superficialmente, cerradas e independientes de los países vecinos.

La provincia de las cuencas costeras abarca todas aquellas cuencas que no tienen alcance andino.

La provincia andina de vertiente al Pacífico se extiende por todo el resto del país, el cual, según se desprende del capítulo anterior, es sumamente heterogéneo en todo sentido, incluidas sus características hidrogeológicas. Por ello se estimó conveniente subdividir esta provincia en 5 subprovincias hidrogeológicas (Fig. 10), fundamentalmente en base a los siguientes criterios:

- existencia de formaciones con características de acuíferos
- naturaleza de tales formaciones
- características de los procesos de recarga (clima)
- características de los procesos de descarga (naturales y artificiales).

Las 5 subprovincias hidrogeológicas así definidas se describen con mayor detalle en el subcapítulo siguiente.

En forma muy general se puede decir que en Chile los acuíferos conocidos se encuentran en los rellenos cuaternarios no consolidados (volcanoclásticos, sedimentarios fluviales, fluvio-glaciales, aluviales, aluvionales, lacustres, eólicos y laháricos). Dada su naturaleza, ellos son mucho más productivos que los acuíferos que muy localmente se conocen en formaciones no cuaternarias (p. ej. terciarias volcánicas, terciarias sedimentarias consolidadas).

3.3 Descripción general de los sistemas acuíferos por provincia

3.3.1 Provincia Altiplánica

La potencialidad hidrogeológica en el sector chileno de la provincia altiplánica está esencialmente ligada al clima y a la litología de la zona. El hecho de existir precipitaciones (estivales), unido a una cubierta terciario-cuaternaria volcánica con permeabilidad secundaria debida al fracturamiento, permite la infiltración del recurso y su transmisión hacia sectores más bajos. Estos sectores, generalmente provistos de un relleno cuaternario no consolidado, volcanoclástico, de tipo fluvial o aluvial, almacenan el recurso y permiten el acceso a él a través de pozos. Según la información obtenida en tales pozos, el espesor del relleno puede ser de 100 o más metros; la productividad es en general elevada ($> 10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) y la calidad del agua por lo general buena (aprox. $500 \text{ mg}/\text{l TSD}$), mientras el flujo no alcanza las zonas terminales del escurrimiento, que suelen estar constituidas por salares. Frecuentemente se detecta la presencia de elementos como el arsénico (aparentemente ligado a la actividad volcánica) y el boro, en las aguas tanto superficiales como subterráneas.

Actualmente existen suposiciones fundadas de que los sistemas de escurrimiento superficial "cerrado", subterráneamente estarían interconectados a través del escurrimiento en ciertas rocas volcánicas fracturadas.

Se estima que el recurso renovable de estos sistemas cerrados de la provincia altiplánica estaría limitado a las descargas naturales que se producen por evaporación desde los salares.

Las necesidades de agua de la escasísima población altiplánica, en general la supe el recurso superficial. Sólo ocasionalmente se destina el agua subterránea al uso doméstico. El principal interés por el recurso subterráneo altiplánico proviene, por un lado, del sector minero y, por otro lado, del sector industrial, que aprovecha los compuestos químicos contenidos en las salmueras de los salares. Actualmente existe además la idea de explotar el recurso hídrico altiplánico de buena calidad para abastecer de agua potable las necesidades crecientes de algunas ciudades costeras.

3.3.2 Provincia Andina Vertiente Pacífico

a) Subprovincia Norte Grande.-

Se extiende desde el extremo norte de Chile hasta el paralelo 27° LS; corresponde a una zona desértica neta, por lo que el recurso hídrico subterráneo ha sido aquí siempre de gran interés.

Se distinguen tres sectores, claramente diferenciables en cuanto a la naturaleza de sus acuíferos. En el primero (18° a 19° LS), se presenta cauces transversales con respaldo altiplánico y salida al mar (Fig. 9), los acuíferos están constituidos principalmente por los rellenos cuaternarios fluviales de los lechos de los ríos. Estos acuíferos albergan napas libres, tienen espesores no superiores a 200 m, productividades de pozos variables (entre 1 y $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) y calidad igualmente variable (entre 600 y $2400 \text{ mg}/\text{l}$). La alimentación está directamente relacionada con los ríos. El recurso se destina al uso doméstico y a la actividad agrícola que se desarrolla en los valles.

En el segundo sector de esta subprovincia, el principal sistema acuífero es el de la Pampa del Tamarugal (19° a 22° LS, Fig. 4). Almacena

do en el potente y extenso aunque muy heterogéneo relleno aluvial terciario y cuaternario de la depresión intermedia, este embalse subterráneo ha sido uno de los primeros explotados en el país, especialmente en favor de la antaño floreciente industria salitrera. Actualmente abastece de agua potable algunos pueblos interiores y las ciudades costeras de la región. Una gran cantidad de pozos, construidos con fines de observación e investigación, han permitido caracterizar el acuífero. Se estima que tiene un espesor variable entre 300 y 700 m, de los cuales los primeros 100 a 300 m corresponden al relleno aluvial cuaternario. Es de naturaleza libre a semi-confinada, presenta transmisibilidades en general menores que 1000 m²/d y productividades de pozos muy variables (entre 1 y 20 m³/h/m). La calidad del agua está estrechamente ligada al origen de la alimentación. Una de las fuentes la constituyen los aportes de las quebradas de alcance cordillerano o precordillerano, que recorren sus cauces labrados en roca volcánica hasta su llegada a la Pampa, donde infiltran. Estas aguas presentan, en su recorrido subterráneo, un deterioro notorio en dirección NE-SW, desde aprox. 2000 mg/l hasta 10.000 mg/l TSD, o más, en los sectores de los salares, donde se produce la descarga natural por evaporación. Por otra parte, existiría una alimentación de aguas provenientes del Altiplano, las cuales se supone que escurren a través de ignimbritas fracturadas y serían incorporadas al relleno a través de la acción de fallas en el basamento, dando lugar a zonas restringidas de aguas de mejor calidad.

El tercer sector de esta subprovincia lo constituye el llamado Desierto de Atacama (22° a 27° LS, Fig. 4). A excepción del río Loa, que escurre de cordillera a mar y presenta algunos sistemas acuíferos asociados, este sector es arreico.

Sólo existen, entre los 25° y 27° LS, una cantidad de "aguadas" o vertientes, que a veces dan lugar a vegas, cuya alimentación probablemente provenga del sector volcánico altiplánico. Sin embargo, los caudales aflorantes son muy reducidos, y su calidad es variable (800 a 2000 mg/l). Estas aguas son destinadas a cubrir las necesidades domésticas de la escasísima población local. Algunos pozos existentes en sectores con mayor relleno en general sólo se han perforado con fines de investigación.

b) Subprovincia Valles Transversales

En este sector (27° a 33° LS, Fig. 10), la existencia de acuíferos está directamente ligada a los rellenos cuaternarios fluviales de las cajas de los ríos. La alimentación proviene de la infiltración de los recursos superficiales.

Los acuíferos tienen espesores variables de pocos metros hasta aprox. 200 m, y son libres. Se explotan con fines de abastecimiento de agua potable doméstica e industrial, y con fines de riego en la medida que el agua superficial no da abasto. La calidad del agua se presenta en general buena en la cabecera de los ríos (< 500 mg/l), y sufre hacia aguas abajo un deterioro gradual por salinización, llegando hasta 1000 y 2000 mg/l en los sectores vecinos a la costa. La productividad de los pozos es bastante elevada (> 10 m³/h/m).

c) Subprovincia Central-Sur

En esta zona (33° a 42° LS, Fig. 10), la ocurrencia de acuíferos está ligada al desarrollo de la unidad fisiográfica de la Depresión Intermedia (Fig. 4). Las napas subterráneas, alimentadas por los cauces superficiales, derretimiento e infiltración directa de lluvias, ya no están limitadas a los cauces de los ríos, sino que ocupan amplios

sectores del relleno cuaternario no consolidado de la depresión. Dicho relleno es muy heterogéneo, y está constituido esencialmente por material de acarreo fluvial, y más al sur, fluvio-glacial, proveniente de la Cordillera de Los Andes. El escurrimiento de estas napas se produce fundamentalmente en forma paralela al escurrimiento superficial, en dirección Cordillera-Mar. Es de naturaleza libre a semiconfinada, y localmente confinada debido a la existencia de importantes depósitos impermeables arcillosos y/o volcánicos.

Los rellenos presentan espesores variables, de pocos metros en los sectores precordilleranos hasta algunos cientos de metros en el centro de la depresión, y decrecientes hacia la Cordillera de la Costa, donde el agua subterránea tiende a aflorar. Las productividades de los pozos son en general muy elevadas ($> 10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$), y la calidad del agua es excelente ($\leq 500 \text{ mg}/\text{l}$).

En la zona norte de esta subprovincia, que es la zona de mayor densidad poblacional del país, el recurso subterráneo se destina primordialmente al uso potable e industrial, y para el riego como complemento importante del recurso superficial. Hacia el sur, el clima se va haciendo más lluvioso, por lo que el uso predominante pasa a ser el agua potable. Sin embargo, como la población disminuye en forma considerable hacia el sur, la importancia del recurso subterráneo y su nivel de explotación son cada vez más reducidos.

d) Subprovincia Zona de los Canales

Esta subprovincia abarca la zona comprendida entre los 42° y 56° LS. Como se ha dicho antes, esta es la zona más lluviosa del país; sin embargo, es la más pobre en cuanto a acuíferos, puesto que afloran las rocas metamórficas y plutónicas del Paleozoico y Mesozoico, impermeables y carentes de permeabilidad secundaria.

Sólo existen localmente algunos pozos construidos en lugares con pequeñas acumulaciones de depósitos glaciofluviales cuaternarios no consolidados, que alumbran aguas de buena calidad, las cuales se destinan al uso doméstico. Estos depósitos no consolidados se presentan especialmente en la zona transandina (46° a 47° LS), donde Chile alcanza a abarcar una pequeña porción de la pampa patagónica este-paria.

e) Subprovincia Pampa Magallánica

Es el sector en el que Chile se extiende hacia el oriente de la Cordillera de Los Andes; el drenaje superficial se orienta principalmente hacia el Océano Pacífico y el Estrecho de Magallanes.

La Pampa presenta desarrollo de formaciones cuaternarias y terciarias. Los depósitos cuaternarios explorados hidrogeológicamente, corresponden a depósitos fluvio-glaciales y fluviales muy heterogéneos, con capas permeables de poca extensión, lo que en general limita fuertemente la productividad de los acuíferos que ellos albergan. Sólo localmente algunos pozos presentan altas productividades. Los acuíferos son superficiales, de buena calidad y su fuente de recarga son las escasas lluvias correspondientes al clima estepario. Se explotan especialmente para el uso doméstico de la población y para la mantención de la ganadería.

Los acuíferos contenidos en las areniscas terciarias estudiadas entorno al Estrecho de Magallanes y en Tierra del Fuego, son más productivos. Estas areniscas se encuentran a profundidades de 300 a 400 m.

Son recargadas en sus puntos de afloramiento, a mayores alturas, más al sur, de modo que entorno al Estrecho los acuíferos son fuertemente surgentes.

El agua es en general de buena calidad (≤ 700 mg/l); se usa predominantemente con fines domésticos y como bebida para el ganado.

3.3.3 Provincia Cuencas Costeras

Incluye las cuencas de vertiente al Pacífico que no tienen respaldo andino. Este tipo de cuencas está directamente relacionado con la presencia de la Cordillera de la Costa, por lo que sólo se encuentra desde el Norte de Chile hasta Puerto Montt (42° LS). Las cuencas costeras de la zona de los canales y de la Pampa Magallánica se desarrollan en plena cordillera andina, por lo cual han sido tratadas en el subcapítulo 3.3.2 (Figs. 9 y 10).

a) Subprovincia Costeras Arreicas

Se encuentran en el sector del Norte Grande, no presentan ningún tipo de escurrimiento en la actualidad, debido a la ausencia casi total de recursos hídricos en el sector; están definidas en general por patrones de escurrimiento antiguos, y no presentan interés hidrogeológico.

b) Subprovincia Costeras Exorreicas

Frente al sector de los valles transversales, en la zona litoral, existen algunos acuíferos en los rellenos aluviales de las cuencas costeras. Estos acuíferos en general libres, tienen espesores que no superan los 100 m. La explotación es muy restringida; la productividad de los pozos es variable, pero no supera los 10 m³/h/m. La calidad del agua es regular (500 a 1000 mg/l TSD), y el uso predominante es el doméstico. Se estima que el recurso subterráneo de estas cuencas costeras provendría principalmente de recargas locales (precipitaciones y ca-manhacas).

Frente al sector Central-Sur del país, también ofrece posibilidades en cuanto a la explotación del recurso subterráneo, la franja de cuencas costeras. Sus rellenos, en general más finos que los rellenos de la Depresión Intermedia, tienen espesores de hasta 100 m, y son alimentados por las precipitaciones de la Cordillera de la Costa. Los pozos tienen productividades medianas (1 a 4 m³/h/m). La calidad del agua es buena, salvo excepciones donde se produce intrusión salina, y se usa casi exclusivamente con fines domésticos, con un bajo grado de explotación.

3.4 Información complementaria

3.4.1 Islas del Pacífico

Se cuentan entre éstas principalmente las islas San Félix, San Ambrosio, Sala y Gómez, el archipiélago Juan Fernández y la Isla de Pascua (Fig. 1). Sólo para la más grande de ellas, que es la Isla de Pascua (con 180 km² y 1.600 hab.), existe algún conocimiento acerca del recurso subterráneo.

La isla es de edad cuaternaria reciente, y está constituida enteramente por conos volcánicos. Los suelos son pedregosos y muy permeables, y favorecen fuertemente la infiltración de las aguas meteóricas (1.000 mm/año),

de modo que superficialmente sólo hay escurrimiento esporádico. Los estratos acuíferos, alimentados por las lluvias, están predominantemente compuestos de cenizas volcánicas y brechas de lava porosa; son muy permeables y dan lugar a un extenso acuífero freático de agua dulce. El recurso aflora hacia la costa. Las productividades de los pozos son elevadas ($> 10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$), pero la explotación es escasa, y se destina al uso doméstico y a la actividad pecuaria. La calidad del agua es buena hacia el centro de la isla. Cerca de la costa y en pozos muy profundos hay contaminación salina.

3.4.2 Actividad geotérmica

La hidrogeología en Chile acusa claramente la acción geotérmica de la cadena volcánica activa presente a lo largo de todo el territorio nacional. En efecto, además de las innumerables vertientes cordilleranas frías, existen numeroso acuíferos de agua caliente y vapor saturado, que han sido explotados turísticamente a través de la creación de baños o termas en sus puntos de afloramiento. Entre los más espectaculares se cuentan los geysers de El Tatío, en la Provincia Altiplánica, que han hecho pensar en su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica.

4.- IDENTIFICACION DE AREAS SEGUN EL GRADO DE EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

4.1 Situación general

Según se desprende de los capítulos precedentes, Chile tiene necesidad de sus recursos hídricos subterráneos para su desarrollo. La escasez del recurso superficial, que afecta en mayor o menor medida aproximadamente la mitad del territorio nacional, ha hecho reconocer el recurso subterráneo como una importante fuente alternativa, complementaria y reguladora, que permite abastecer poblaciones crecientes y desarrollar en mayor grado las potencialidades agrícolas y mineras del país.

Sin embargo, en las regiones donde es más escasa la hidrología superficial (subprovincias hidrogeológicas Norte Grande y Valles transversales, 18° a 33° LS), mayores son los requerimientos a que es sometido el recurso subterráneo, el cual, a su vez, es pobremente alimentado, y además, frecuentemente, presenta problemas de calidad. De este modo, fácilmente se puede llegar a estados críticos de explotación.

Por lo anterior, en las zonas áridas de todas maneras se interpone al desarrollo la limitación del recurso hídrico, lo que se refleja claramente en las bajísimas densidades poblacionales de esas zonas (Fig. 2).

El sector central de Chile presenta una hidrología más generosa, por lo cual se concentra aquí la mayor cantidad de población del país. Las importantes demandas de agua que genera esta población a través de sus diversas actividades económicas, encuentra en los embalses subterráneos un importante elemento regulador. Sólo en casos puntuales se presentan síntomas de estados críticos de explotación.

En las zonas húmedas, donde el recurso superficial y subterráneo es abundante y de excelente calidad, la población disminuye considerablemente, y la agricultura, principal actividad económica, se abastece con el recurso superficial.

La zona patagónica se ha mantenido prácticamente despoblada. Sólo existe alguna población en las pampas transandinas. Aunque en estas zonas el recurso hídrico no

abunda (precipitaciones de aprox. 400 mm/año), el abastecimiento de agua no es crítico.

4.2. Grado de explotación de los acuíferos chilenos

Del subcapítulo anterior se desprende que el grado de explotación a que se ve sometido el recurso subterráneo en Chile es muy diverso, variando desde muy intenso en los sectores del norte hasta muy escaso hacia el sur del país.

Se ha calificado como áreas de explotación intensiva a crítica, aquéllas que han presentado o presentan una tendencia mantenida de descenso de los niveles por largos períodos (15, 20 o más años), como consecuencia de un desequilibrio entre la recarga y la descarga.

Se califica como áreas de equilibrio (a mediano plazo) aquéllas en que la explotación subterránea se realiza aprovechando la capacidad de regulación a corto plazo de los acuíferos. La descarga artificial prácticamente reemplaza la descarga natural y los descensos de los niveles son fundamentalmente estacionales.

Las áreas subexplotadas son aquéllas que no reflejan en sus niveles ninguna alteración atribuible a la explotación, ni siquiera en el corto plazo.

Existe otra situación crítica que se puede alcanzar a través de la explotación, que es la del deterioro cualitativo del agua subterránea. Se presenta especialmente en zonas costeras, donde el bombeo ha favorecido el fenómeno de la intrusión salina.

A continuación se hace una reseña de los sectores correspondientes a cada grupo, y se indica la forma en que se está enfrentando cada situación.

4.2.1 Áreas de explotación intensiva a crítica

Los casos más claros de explotación intensiva de acuíferos se observan, de norte a sur, localmente en la Pampa del Tamarugal (Norte Grande), en el valle del río Copiapó (27° LS) y en la subcuenca Chacabuco-Polpaico, cercana a Santiago (33° LS). Para todos los casos se han realizado diversos estudios que van desde la evaluación de los recursos disponibles hasta la modelación detallada del comportamiento de los sistemas, tanto superficiales como subterráneos.

En cuanto a las extracciones del acuífero de la Pampa del Tamarugal existe la intención de complementarlas con recursos subterráneos almacenados en los rellenos y estratos volcánicos de las cuencas altiplánicas.

En las cuencas de Copiapó y Chacabuco-Polpaico, largos períodos de "sobre-explotación" (descenso sistemático de niveles) han culminado recientemente con una rápida y significativa recuperación de los acuíferos debido a una sucesión de varios años húmedos, lo que hace pensar en propiciar un manejo interanual, a largo plazo, de tales sistemas acuíferos.

El valle del río Copiapó ha sido oficialmente declarado área de restricción para la explotación del recurso subterráneo, debido a que el interés por intensificar las extracciones, especialmente en favor de la actividad agrícola, fuertemente creciente, no guarda ninguna relación con las recargas naturales medias. La medida adoptada permite al Estado suspender la concesión de nuevos derechos definitivos de aprovechamiento de aguas subterráneas, y obliga a los usuarios a organizarse en comunidades para administrar el bien escaso.

4.2.2 Áreas de equilibrio

Entre éstas se cuentan el valle de Azapa, en el extremo norte del país, los valles transversales, exceptuando el del río Copiapó, y la cuenca del río Maipo (Santiago) con sus cuencas costeras vecinas. El agua subterránea es utilizada fundamentalmente con fines de abastecimiento de la población, y para el riego en forma complementaria al recurso superficial. Los estudios más recientes están enfocados, por un lado, a evaluar los recursos subterráneos de las cuencas en cuestión, y por otro, a conocer y reproducir la dinámica de los procesos hidrológicos e hidrogeológicos (derretimiento de nieves, escorrentía superficial, comportamiento de acuíferos) a través de modelos de simulación. El objetivo es integrar el aprovechamiento del agua dentro de un esquema de optimización técnico-económica del uso de los recursos.

4.2.3 Áreas subexplotadas

Entre éstas se encuentran las cuencas altiplánicas del norte de Chile (salvo algunas en que la explotación de aguas para usos mineros es importante), los acuíferos de la depresión intermedia, hacia el sur de Santiago, las cuencas costeras del sector centro-sur del país y los acuíferos de la Pampa Magallánica. En todos estos lugares sólo se hace uso del recurso subterráneo en forma muy localizada, por la comodidad que ofrece para abastecer a la población en la medida en que ésta exista. Dado el respaldo de la recarga natural, los sistemas acuíferos son insensibles a la escasa descarga artificial, por lo cual la explotación de este recurso en general no requiere de estudios hidrogeológicos especiales ni de mayor planificación, salvo la constatación de su calidad química.

4.2.4 Acuíferos con peligro de intrusión salina

Esta situación se presenta en algunos acuíferos costeros, explotados con el fin de dotar de agua potable las zonas urbanas adyacentes. El problema se ha presentado en la ciudad de Arica, en la zona costera central frente a Santiago, y en la ciudad de Concepción. También se ha detectado en las explotaciones para abastecimiento minero en los bordes de algunos salares de las cuencas altiplánicas.

Aunque no hay estudios específicos al respecto, más allá de un diagnóstico de la situación, el problema se ha tratado de evitar desplazando las captaciones hacia aguas arriba.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo del recurso hídrico subterráneo presenta gran interés dentro de cualquier esquema de progreso del país. Esto es especialmente válido para la zona de escasos recursos superficiales (de Santiago al norte). La necesidad de agua subterránea se ve reflejada en la tendencia fuertemente creciente de construir pozos de explotación, que se observa durante los últimos 30 años. En la actualidad, el uso cada vez más intensivo de este recurso, y el descenso mantenido observado durante períodos poco húmedos de casi 20 años en algunos sectores, muestran la necesidad de planificar más cuidadosamente las extracciones en el futuro.

Lo anterior explica el interés de diversas entidades públicas (Ministerio de Obras Públicas, Comisión Nacional de Riego) y académicas (Universidades) por profundizar los estudios hidrogeológicos, especialmente en las zonas más críticas. La Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas ha programado la modelación de diversos sistemas subterráneos en estado crítico para el futuro próximo, en apoyo a los usuarios de estos sistemas. El objetivo central de tales estudios, como de los ya efectuados, es el de conocer y representar matemáticamente la dinámica de los acuíferos, de modo de aprovechar al máximo su capacidad de regulación tanto interestacional como, especialmente, interanual, con un costo razonable.

Para cumplir en la mejor forma posible con tal objetivo, la Dirección General de Aguas del MOP está poniendo énfasis en regularizar las mediciones de niveles, en registrar la construcción de pozos en forma centralizada y en recopilar la información técnica básica (perfiles estratigráficos y pruebas de bombeo), no sólo para los sistemas críticos, sino que a nivel nacional.

Para el caso de los sistemas de explotación crítica, el Código de Aguas de Chile contempla la posibilidad de declararlas áreas de restricción para el aprovechamiento en base a la petición de los usuarios y un criterio técnico que la fundamente. En tales casos, la administración del recurso subterráneo pasa a ser responsabilidad directa de una comunidad de aguas constituida por todos los propietarios de derechos de aprovechamiento. Dicha comunidad puede decidir intensificar el control del uso del recurso, encargar estudios, etc.

Como comentario final a la elaboración del Mapa Hidrogeológico Nacional, se considera que constituye un documento de interés, no sólo por su valor técnico, sino igualmente por su carácter informativo y educativo.

6.- BIBLIOGRAFIA

1. Baeza, H. 1963. Antecedentes sobre el agua subterránea en Chile. (Características generales. Catastro de pozos). Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento. Publicación Nº 10. Santiago. 63 p + anexos.
2. Baeza, H.; Hansen, N.; Parker, J. 1962. Recursos de agua subterránea entre Aconcagua y Puerto Montt. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento. Santiago.
3. Campillo, R.; Hojas, A. 1975. Hidrogeología de la Pampa del Tamarugal. Corporación de Fomento de la Producción, Departamento de Recursos Hidráulicos. Santiago. 60 p + mapas.
4. CEDEC Profesionales Consultores. 1977. Estudio integral de riego de la cuenca del río Maule (Prefactibilidad). Tomo 2: Estudio de recursos básicos. Comisión Nacional de Riego. Santiago. 9 tomos.
5. CEDEC Profesionales Consultores. 1982. Estudio integral de riego del valle del río Huasco. Tomo 2: Hidrogeología. Comisión Nacional de Riego. Santiago. 11 tomos + 1 álbum planos.
6. CICA Consultores Asociados; B & P; HTS. 1978. Estudio Integral de riego de la cuenca del río Mataquito (Prefactibilidad y Factibilidad). Tomo 7: Hidrogeología. Comisión Nacional de Riego. Santiago. 14 tomos + álbum planos.
7. CICA Consultores Asociados; B & P; HTS. 1982. Estudio Integral de riego de los valles Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca (Factibilidad). Tomo 2: Recursos Físicos. Comisión Nacional de Riego. Santiago. 7 tomos + álbum planos.

8. Corporación de Fomento de la Producción. 1965. Geografía Económica de Chile. Santiago. 885 p.
9. Corporación de Fomento de la Producción. Instituto de Recursos Naturales. 1967. Hidrogeología de las hoyas de los ríos Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito, Maule, Itata, Bío-Bío, Imperial, Toltén. Proyecto aerofotogramétrico 1962-63 OEA/Chile/BID. Santiago. 2 tomos.
10. Corporación de Fomento de la Producción; Dirección General de Aguas MOP; Compañía del Cobre Chuquicamata; Organización Naciones Unidas. 1978. Investigación de los recursos hidráulicos en el Norte Grande. II Región. Proyecto CHI-69/535. Informe final: 2 tomos.
11. Díaz, G.; Hojas, A.; Orellana, J. 1972. Recursos de Agua y su aprovechamiento en el valle de Azapa. Corporación de Fomento de la Producción, Departamento de Recursos Hidráulicos. Santiago. 106 p.
12. Donoso, J.; Dingman, R. 1962. Contribución de la Corporación de Fomento al desarrollo del agua subterránea en Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín Nº 11. Santiago. 21 p + Catastro pozos.
13. Falcón, E. 1976. Análisis Hidrogeológico de la IV Región. Instituto de Investigaciones Geológicas. Informe interno, inédito. Santiago. 12 p + 1 mapa.
14. Falcón, E.; Castillo, O.; Valenzuela, M. 1970. Hidrogeología de la cuenca de Santiago. Corporación de Fomento de la Producción, Departamento de Recursos Hidráulicos. Publicación Especial Nº 3. Santiago. 46 p + 21 láminas.
15. González, E. 1969. Aguas subterráneas en Magallanes. Empresa Nacional del Petróleo. Punta Arenas. 20 p + 3 mapas.
16. Hammer, Uri y Asociados. 1980. Plan maestro de acción inmediata para el desarrollo de los recursos de agua y suelo del valle de Copiapó. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. Santiago. 250 p.
17. Henríquez, H.; Falcón, E. 1975. Síntesis del potencial hidrogeológico de la I y II Región. Instituto de Investigaciones Geológicas. Informe inédito. Santiago, 28 p + 1 mapa.
18. INA Ingenieros Consultores. 1982. Estudio Integral de riego valle de Elqui. Tomo 4: Recursos de Agua. Comisión Nacional de Riego. Santiago. 7 tomos.
19. Instituto de Investigaciones Geológicas; Corporación de Fomento de la Producción. 1966. Hidrogeología del Departamento de Arica. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago. 35 p.
20. Instituto Geográfico Militar. 1985. Geografía de Chile. Tomos: Biogeografía, Suelos, Hidrografía y Climas. Santiago.
21. Karzulovic, J.; García, F. 1979. Evaluación recursos hídricos Provincia de Iquique I Región. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas; Intendencia I Región; Servicio de Planificación y Coordinación Iquique. Santiago. 205 p. + mapas.
22. IPLA Ingenieros Consultores. 1975. Política Nacional de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago 900 p + anexos.
23. IPLA Ingenieros Consultores. 1984. Proyecto Maipo, estudio hidrogeológico (5 tomos) e hidrológico (5 tomos). Comisión Nacional de Riego. Santiago. 10

tomos + álbum planos.

24. IPLA Ingenieros Consultores. 1985. Estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional Escala 1:1.000.000 y 1:2.500.000. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago. 395 p. + álbum mapas.
25. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 1976. Informe para la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Agua. Santiago. 39 p + anexos.
26. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 1984. Catastro de pozos por región (actualizado a 1975). Santiago. 290 p + mapas.
27. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 1984. Niveles de agua subterránea (actualizado a 1980). Santiago. 3 tomos.
28. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Planeamiento. 1962. Recursos de aguas subterráneas de la zona norte. Publicación Nº 7. Santiago. 89 p.
29. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Riego. 1984. Informe preliminar posibilidades de regadío en Isla de Pascua. Santiago. 70 p.
30. Ministerio de Obras Públicas, Servicio Nacional de Obras Sanitarias; Banco Interamericano de Desarrollo. 1976 a la fecha. Desarrollo del Programa SENDOS-BID para Agua Potable Rural. Aprox. 350 informes hidrogeológicos locales en todo el país.
31. Sánchez, J.; Falcón, E. 1974. Estudio hidrogeológico preliminar de Puerto Harris y alrededores, Isla Dawson, Provincia de Magallanes. Instituto Investigaciones Geológicas; Armada de Chile. Informe inédito. Santiago. 9 p + 3 mapas.
32. Servicio Nacional de Geología y Minería, Departamento de Geología General. 1980. Mapa Geológico de Chile escala 1 : 1.000.000. Santiago.
33. Secretaría Planificación y Coordinación IV Región - Dirección General de Aguas, MOP - Organización de Naciones Unidas - Corporación de Fomento de la Producción. 1979. Investigación de los recursos hidráulicos IV Región. Proyecto CHI-69/535.

7.- ANEXO : CUADRO Y FIGURAS

Tipo de permeabilidad	Símbolo	Importancia hidrogeológica relativa	Principales formaciones interesadas	Litología general	Características generales	Observaciones
PRIMARIA (en formaciones porosas)		Alta a media	Q Qv T	Depósitos no consolidados. Rellenos sedimentarios fluviales, glaciales, aluviales, lacustres, aluviales, eólicos. Lavas porosas (localmente, en Isla de Pascua).	Acuíferos de extensión variable, generalmente estratificados. Napas libres a semi-confinadas; se captan a profundidades en general no mayores que 100 m. Permeabilidad variable; calidad química variable.	Los acuíferos en los más conocidos plotados en el p...
	Color: celeste		Baja	T	Depósitos consolidados o rocas sedimentarias. Areniscas, lutitas, limolitas y arcillolitas de deposición lacustre o marina, localmente presenta intercalaciones de carbón.	Acuíferos de extensión variable. Generalmente subyacen a depósitos cuaternarios, y se captan a 300-400 m de profundidad. En la Pampa del Tamarugal albergan agua de deficiente calidad química. En la Pampa Magallánica, el agua es surgente y de buena calidad química.
SECUNDARIA (en roca)		Media	T	Pocas carbonatadas, calizas areniscas y lutitas calcáreas.	Acuíferos semi-carstificados sin explotar, calidad química deficiente.	Cuenca de Calama.
Color: verde		Alta a Baja	TQ T C	Rocas volcánicas fracturadas. Coladas, tobas y brechas andesíticas con intercalaciones de sedimentos clásticos continentales. Ignimbritas riolíticas y dacíticas.	Acuíferos poco explorados, de extensión e importancia poco conocidas.	Se atribuye características de acuífero a formaciones volcánicas del Altiplano Chileno
MUY BAJA A AUSENTE (en roca)		Muy baja	Qv TQ T C	Rocas volcánicas. Coladas y depósitos piroclásticos riolíticos, dacíticos, andesíticos y basálticos, asociados a volcanes antiguos bien conservados o activos.	En general no presentan características acuíferas.	Cordillera de los Andes.
		Muy baja	Q, Q JKT	Afloramientos de rocas mixtas sedimentario-volcánicas con cubierta discontinua de depósitos no consolidados.	En general no presentan características acuíferas, más por falta de recarga que por su naturaleza litológica.	Norte Grande.
		Muy baja	T K J M PzH	Rocas mixtas sedimentario-volcánicas. Coladas, brechas e ignimbritas con intercalaciones de lutitas, areniscas y conglomerados.	En general impermeables. Se consideran basamento de los rellenos acuíferos.	Constituyen zonas cordilleranas.
		Nula	Kg, Kfg, JKg, Jfg, Mg, Pzg	Rocas plutónicas e hipabissales. Intrusivos graníticos y granodioritas.	Se considera basamento impermeable	Cordillera de la C Cordillera de los
		Nula	Pz	Rocas metamórficas. Metaareniscas, pizarras, filitas, esquistos, gneises, anfíbolitas.	Se considera basamento impermeable.	Cordillera de la C Cordillera Antina gónica.

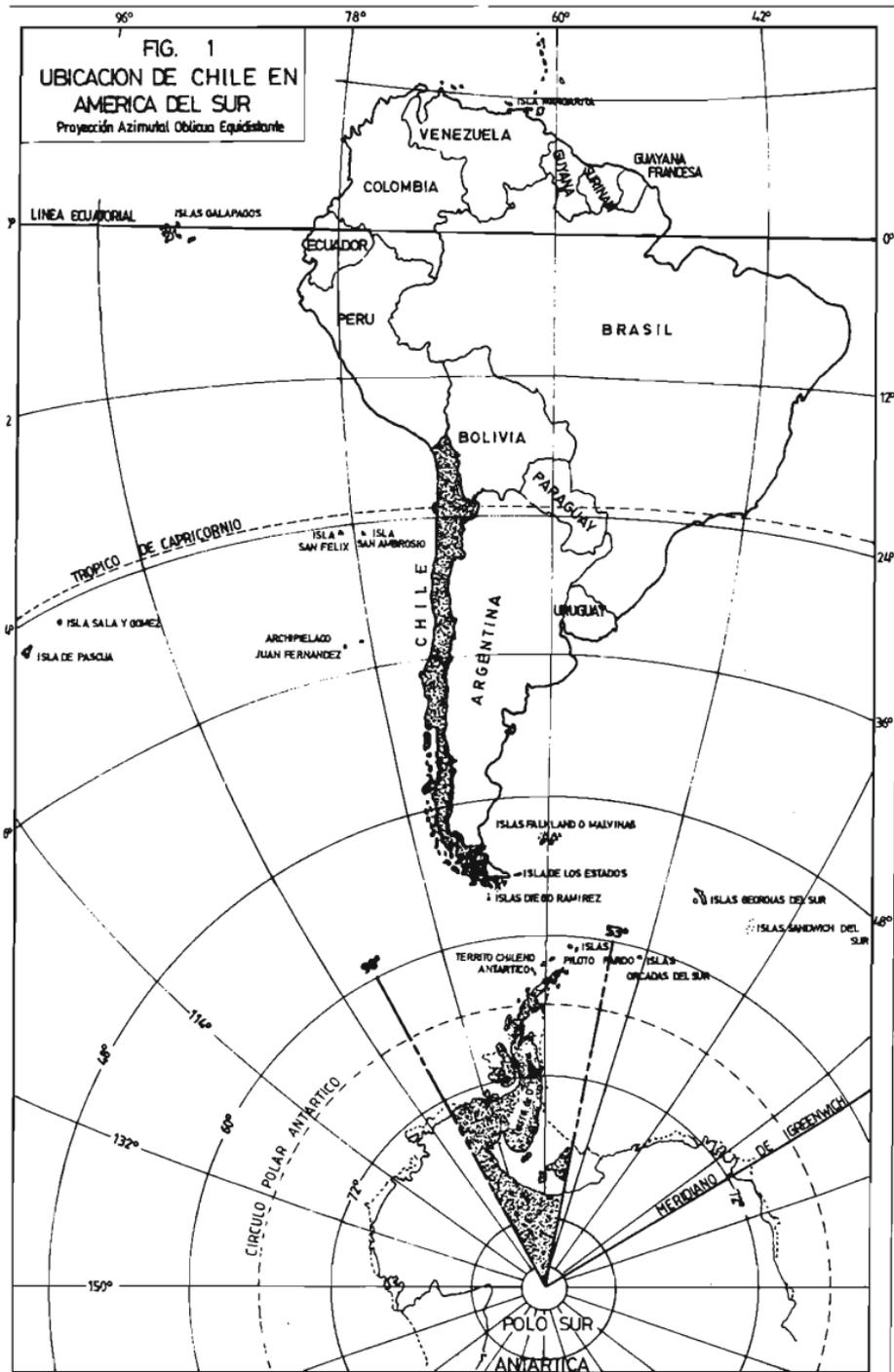


FIG. 2
POBLACION APROXIMADA Y
DENSIDAD POBLACIONAL FOR
REGION ADMINISTRATIVA
EN CHILE 1979

ESCALA 1:12 500 000
0 100 200 300 400 500 Km

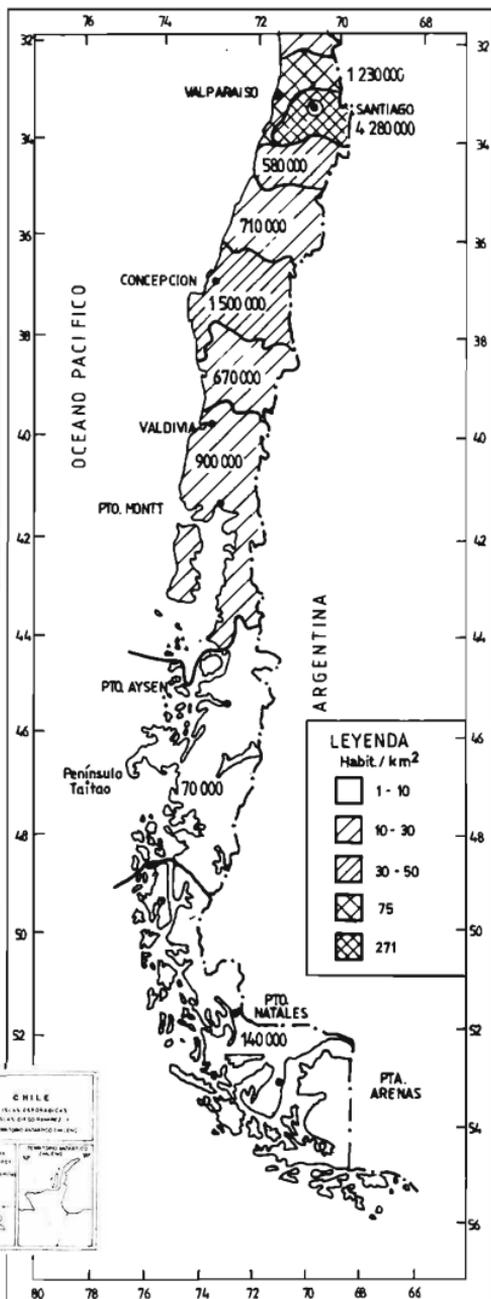
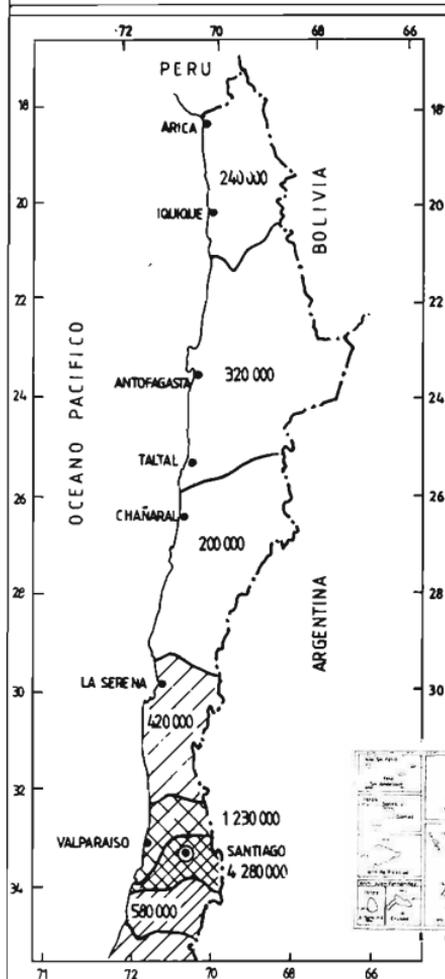


FIG. 3
ESQUEMA GEOLOGICO DE CHILE
 (SINTETIZADO DEL MAPA GEOLOGICO
 NACIONAL 1:1000 000, 1980)

ESCALA 1:12 500 000
 0 100 200 300 400 500 Km.

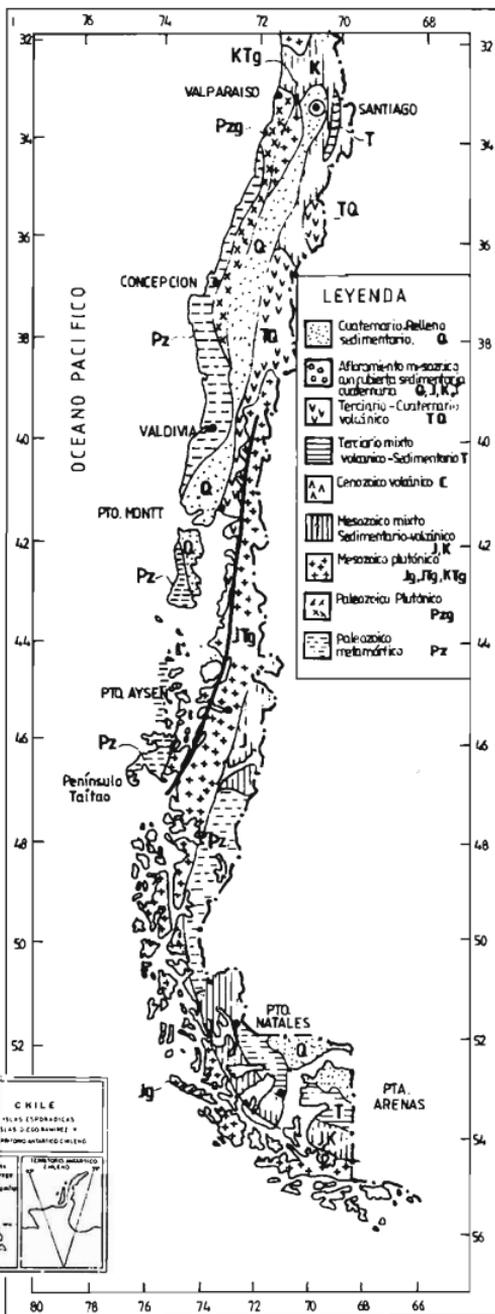
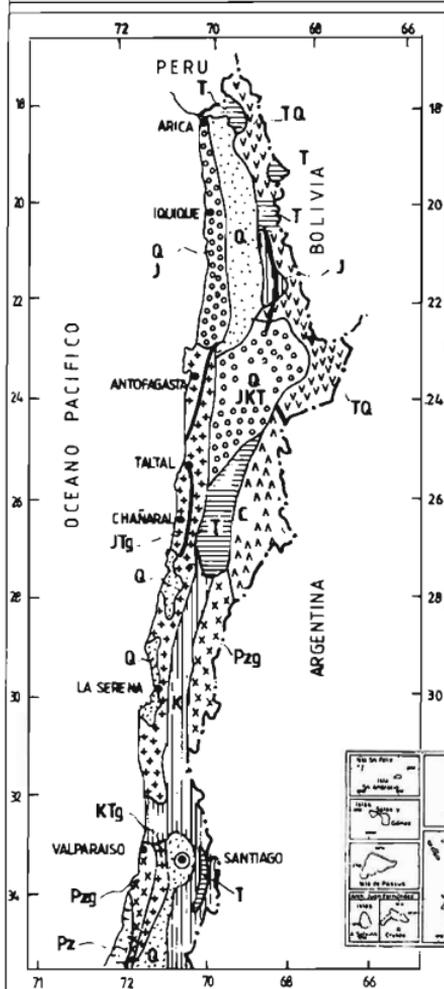


FIG. 5
RELIEVE DE CHILE
CURVAS DE NIVEL

EXTRACTADO DE ATLAS REGIONALIZADO DE CHILE
I.G.M. 1981

ESCALA 1:12 500 000
0 100 200 300 400 500 Km

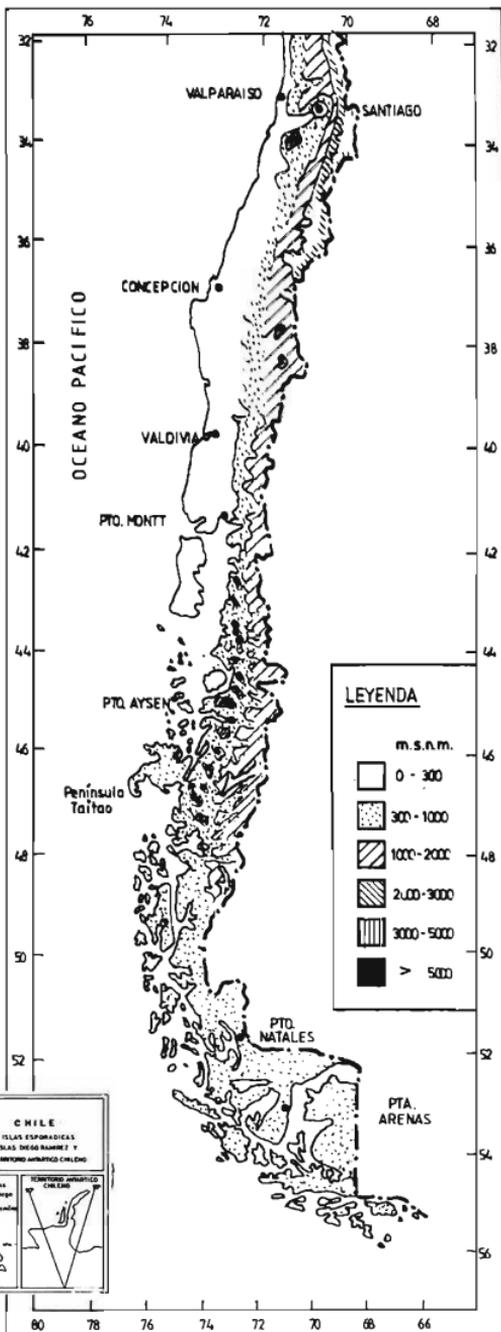
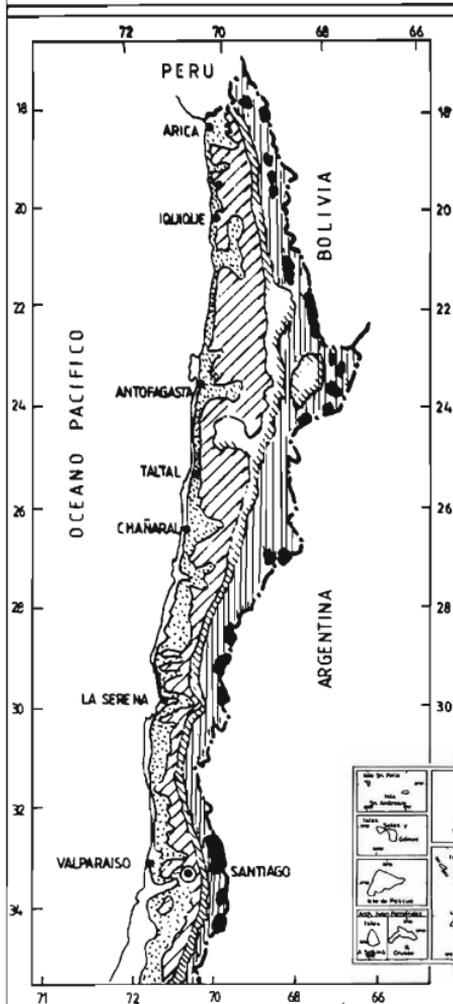


FIG. 6 ZONIFICACION CLIMATICA DE CHILE

SINTETIZADO DE GEOGRAFIA ECONOMICA CHILE (ORFO/1966

Y GEOGRAFIA DE CHILE / I.G.M. / 1985.

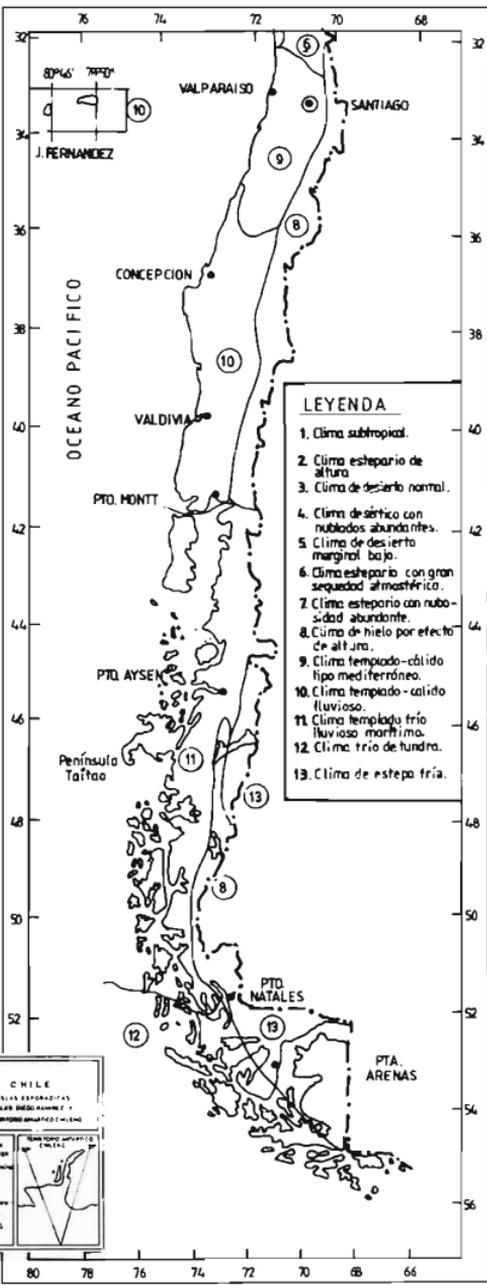
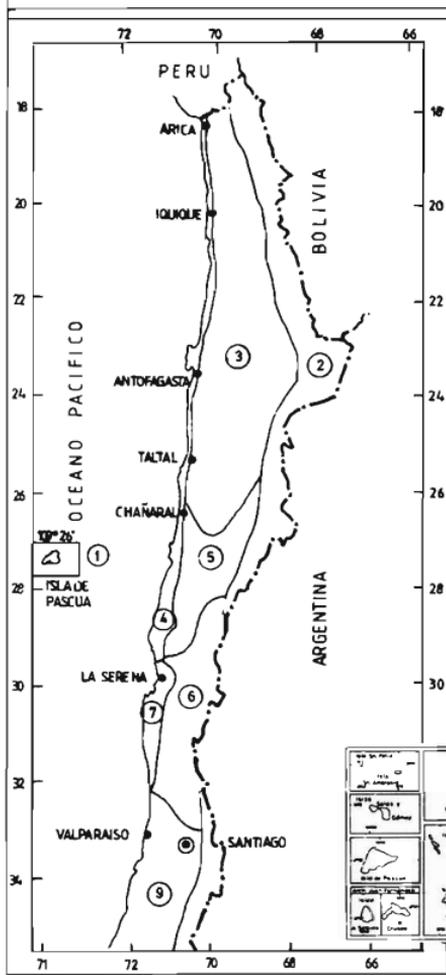
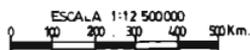
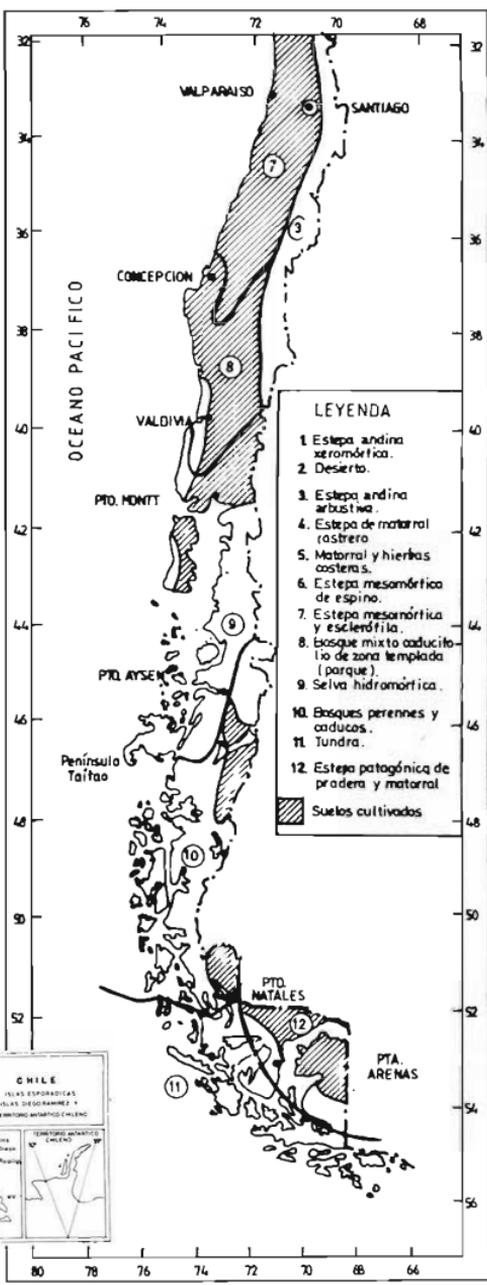
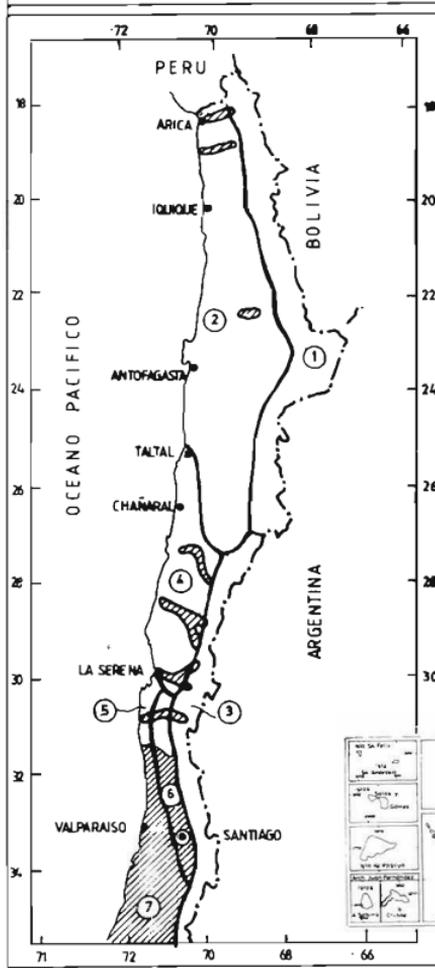
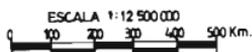


FIG. 7
DISTRIBUCION DE LA VEGETACION
NATURAL EN CHILE

SINTETIZADO DE GEOGRAFIA DE CHILE / I.G.M. / 1985



LEYENDA

1. Estepa andina xeromórfica.
 2. Desierto.
 3. Estepa andina arbustiva.
 4. Estepa de matorral rastrero.
 5. Matorral y hierbas castreras.
 6. Estepa mesomórfica de espino.
 7. Estepa mesomórfica y esclerófila.
 8. Bosque mixto caducifolio de zona templada (parque).
 9. Selva hidromórfica.
 10. Bosques perennes y caducos.
 11. Tundra.
 12. Estepa patagónica de pradera y matorral.
- Suelos cultivados



FIG. 8
DISTRIBUCION DE LOS TIPOS
DE SUELOS EN CHILE

EXTRACTADO DE GEOGRAFIA DE CHILE / I.G. M. / 1965.

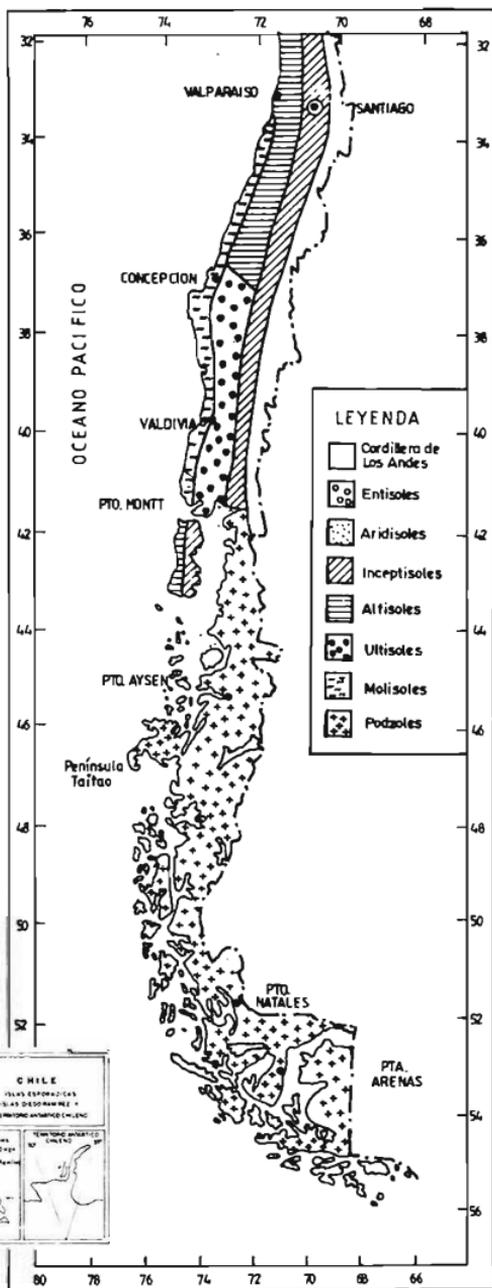
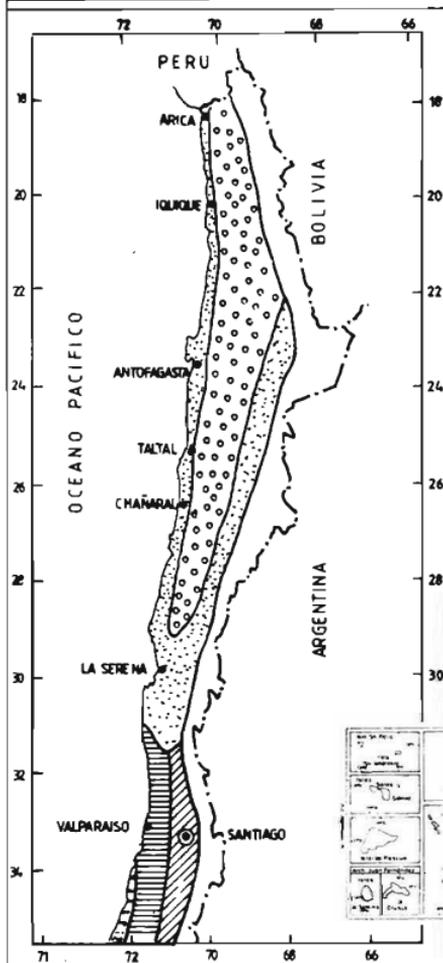
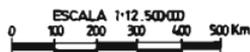
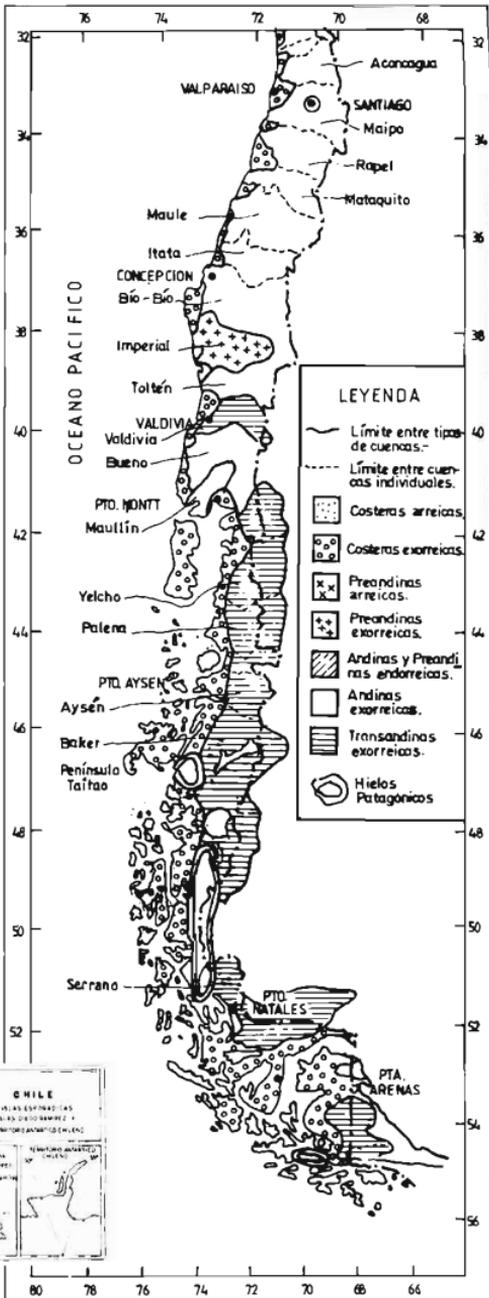
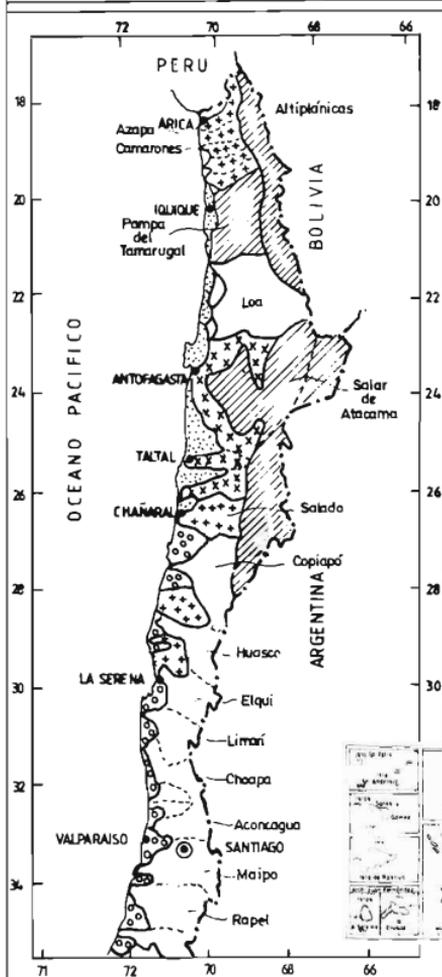
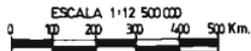


FIG. 9
SISTEMAS HIDROGRAFICOS Y TIPOS
DE CUENCAS EN CHILE

SINTETIZADO DE GEOGRAFIA DE CHILE / I.G.M. / 1985



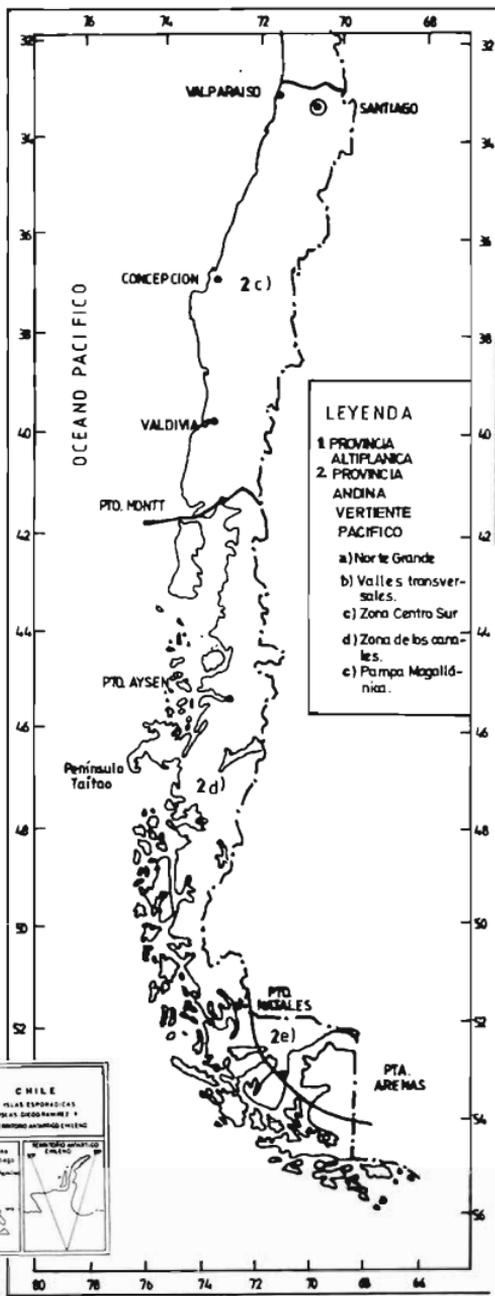
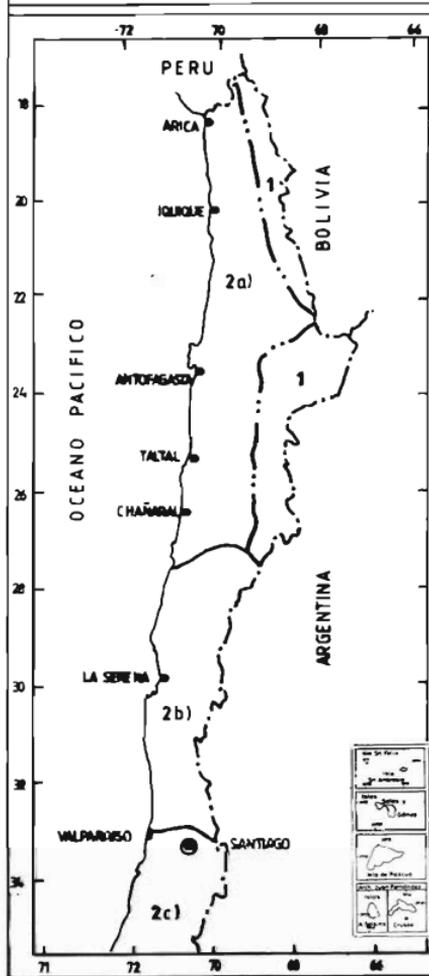
LEYENDA

- Límite entre tipos de cuencas.
- - - Límite entre cuencas individuales.
- [Dotted pattern] Costeras arreicas.
- [Cross-hatched pattern] Costeras exorreicas.
- [X pattern] Preandinas arreicas.
- [+ pattern] Preandinas exorreicas.
- [Diagonal lines] Andinas y Preandinas endorreicas.
- [Horizontal lines] Andinas exorreicas.
- [Vertical lines] Transandinas exorreicas.
- [Circle with dot] Hielos Patagónicos



FIG. 10
 PROVINCIAS Y SUB-PROVINCIAS
 HIDROGEOLOGICAS

ESCALA 1:12 500 000
 0 100 200 300 400 500 Km.



LEYENDA

- 1 PROVINCIA ALTIPLÁNICA ANDINA
- 2 PROVINCIA VERTIENTE PACÍFICO
- a) Norte Grande
- b) Valles transversales.
- c) Zona Centro Sur
- d) Zona de los canales.
- e) Pampa Magallánica.

CHILE
 PLAN ESPECIAL DE LAS ESPERANZAS PARA DESARROLLAR Y TRANSFERIR LA TÉCNICA DEL AGUAS SUBTERRÁNEAS

Este Plan Especial tiene por objeto:

- 1. Definir las zonas de mayor potencialidad para el desarrollo de las aguas subterráneas.
- 2. Definir las zonas de mayor potencialidad para la transferencia de la técnica del agua subterránea.

Este Plan Especial se divide en:

- 1. Zona de mayor potencialidad para el desarrollo de las aguas subterráneas.
- 2. Zona de mayor potencialidad para la transferencia de la técnica del agua subterránea.

