ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LOS RECURSOS HIDROLOGICOS DE LA REGION DE ALGARROBAL EN LA PROVINCIA DE ATACAMA, CHILE.

Preparado para:

Compañía de Acero del Pacífico

Elaborado por:

Basilio Espíldora C.
Ing. Civil (M.S.)

Juan Karzulovic K.
Ing. Civil de Minas

Oficina Eduardo Infante R.

SANTIAGO, Junio de 1969.-

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LOS RECURSOS HIDROLOGICOS DE LA REGION DE ALGARROBAL EN LA PROVINCIA DE ATACAMA, CHILE.

BIBLIOTECA IREN

Preparado para:

Compañía de Acero del Pacifico

Elaborado por:

Basilio Espíldora C
Ing. Civil (M.S.)

Juan Karzulovic K.
Ing. Civil de Minas

Oficina Eduardo Infante R.

SANTIAGO, [illegible]

INDICE GENERAL

Capítulo 1.-	Introducción	pag. 1
Capítulo 2.-	Ubicación de la zona del estudio. Características Topográficas Hidrológicas y Climatológicas	pag. 1
Capítulo 3.-	Antecedentes Geológicos	pag. 7
Capítulo 4.-	Características de los Acuíferos y explotación actual de las Aguas Subterráneas	pag. 11
Capítulo 5.-	Calidad Química de las Aguas	pag. 15
Capítulo 6.-	Estudio de la Recarga a los Acuíferos y Evaluación Preliminar de los Recursos de Aguas Subterráneas	pag. 18
Capítulo 7.-	Zonificación de áreas para un programa de prospección para estudios detallados futuros	pag. 18
Capítulo 8.-	Conclusiones	pag. 20
Capítulo 9.-	Bibliografía y Antecedentes Utilizados	pag. 22
Anexo:	Gráficos de perfiles de sondajes efectuados por CORFO. (Facilitados por CORFO)	

LISTA DE FIGURAS

Plano N° 1	Provincia de Atacama y Ubicación general de la zona del estudio. Esc. 1:250.000
Plano N° 2	Delimitación de la Región de Algarrobal. Esc. 1:250.000
Plano N° 3	Geología General de la Región de Algarrobal y de Castilla (Tomado del Informe de G. Taylor. 1947) Esc. 1:500.000
Plano N° 4	Zonificación de áreas de prospección de Aguas Subterráneas en la región de Algarrobal, Ubicación de sondajes existentes y propuestos Esc. 1:50.000

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LOS RECURSOS HIDROLOGICOS DE LA REGION DE ALGARROBAL EN LA PROVINCIA DE ATACAMA

CAPITULO 1.-

Introducción.-

El presente estudio fué solicitado a esta Oficina por la Compañía de Acero del Pacifico (CAP) con el encargo de elaborar un informe preliminar que junto con reseñar y analizar la información hidrológica e hidrogeológica de la zona en estudio, permitiera efectuar una evaluación general sobre la existencia y posibilidades de aprovechamiento de sus recursos hídricos, efectuar así un diagnóstico de la situación existente y sentar las bases para una prospección y análisis más exhaustivo del problema, si las conclusiones preliminares así lo aconsejan.

Este informe se basa en los antecedentes bibliográficos que se enumeran en el Capítulo 9, Bibliografía. Se deja constancia que el informe sobre Exploraciones Geológicas, Geofísicas y por Sondajes en el Yacimiento de Hierro "Boquerón Chañar", Provincia de Atacama, Chile, elaborado por el Instituto de Investigaciones Geológicas (Sres. A. Moraga, S.J. Ortiz y M. Rivadeneira) en Enero, 1969, fué facilitado por gentileza de la Compañía de Acero del Pacífico. Así mismo expresamos nuestros agradecimientos a la Sección Aguas Subterráneas del Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO por haber facilitado copia de los perfiles de los sondajes de los pozos efectuados por esta Sección.

Además se han utilizado datos y observaciones propios derivados de viajes a la zona y de nuestros estudios hidrogeológicos en areas relativamente similares y próximos a la región que ahora nos preocupa. (Ver Bibliografía)

CAPITULO 2.-

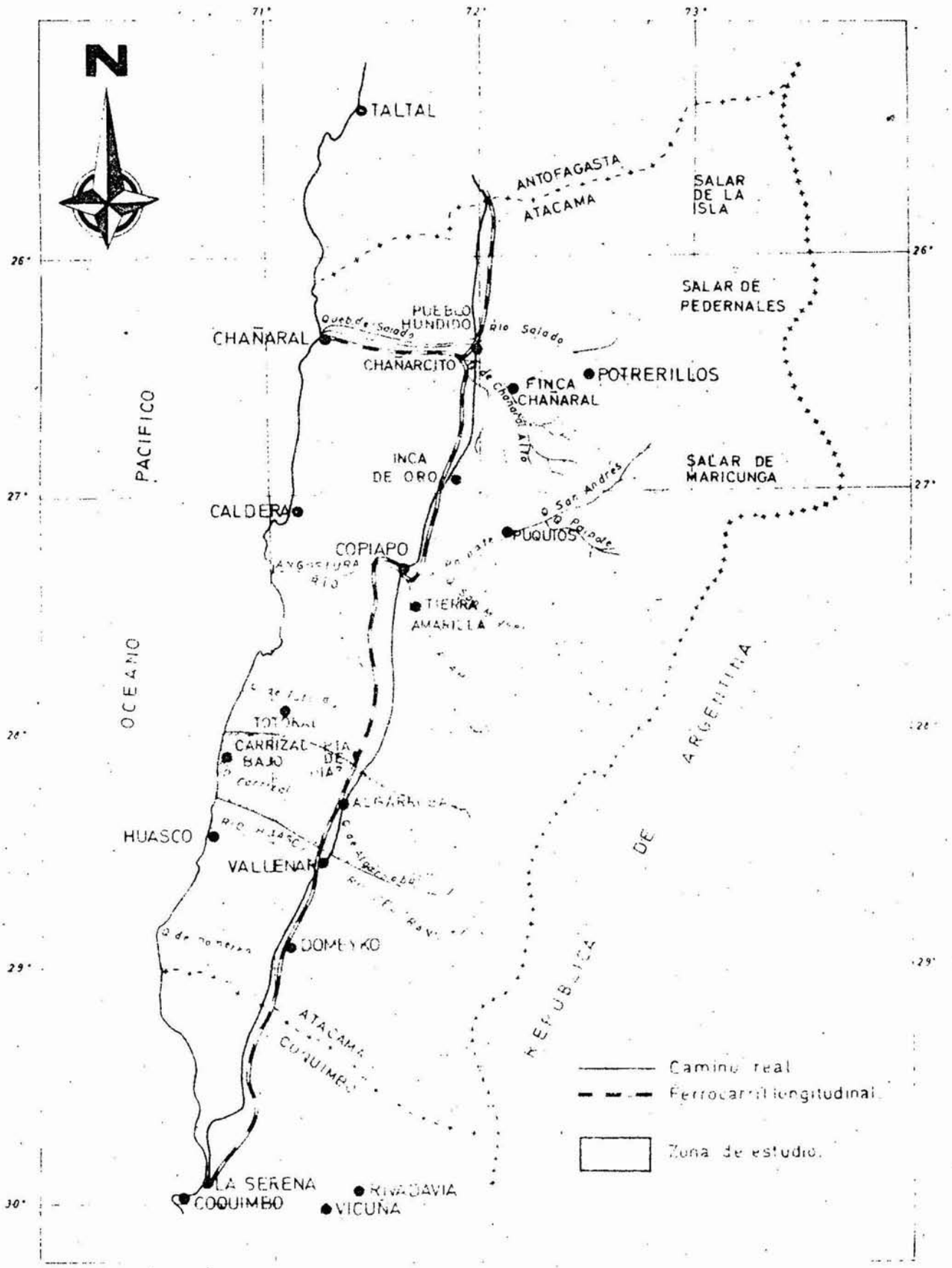
Ubicación de la zona del estudio. Características Topográficas, Hidrológicas y Climatológicas.-

La región de Algarrobal queda ubicada en la parte central de la Provincia de Atacama entre Copiapó y Vallenar a aproximadamente 40 Kms. al norte de esta última ciudad. (Ver Plano N° 1). Se extiende desde el Meridiano 70° W hasta la costa en un sistema de drenaje superficial casi paralelo al de la cuenca del río Huasco.

En el plano N° 2 se han identificado las subcuencas de drenaje superficial del área; en el sentido Est.-Oeste ellas se han denominado subcuenca superior (con letra A), subcuenca intermedia (B) y subcuenca inferior (C). Los puntos de corte de estas subcuencas se han hecho coincidir con puntos singulares y de fácil identificación como lo son la Estación Algarrobal y la localidad Canto del Agua.

FIG. Nº1 PROVINCIA DE ATACAMA Y UBICACION GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

ESCALA 1: 2.500.000



La parte Este de la región, que coincide con la subcuenca superior (A), es bastante montañosa y enmarcada con cumbres que fluctuan entre los 2.000 y 4.000 m.s.n.m., siendo las más altas de 4.653 m. y de 4.450 m. en el Cerro Vaca Seca cerca del portezuelo Chiflón. El punto más bajo de esta subcuenca es Algarrobal con una altitud de 459 m. La precipitación promedio anual es de aproximadamente 55 mm. , distribuyéndose prodominantemente entre los meses Mayo a Agosto. Esta subcuenca, que a la altura de Algarrobal tiene una superficie de 2.430 Km^2, está drenada por un extenso sistema de cauces intermitentes ordinariamente secos, entre los que se distinguen el de la Quebrada Aguada de la Negra, Q. Las Cañas y Q. Algarrobal, que finalmente dan origen a la Quebrada Algarrobal propiamente tal, que desemboca junto a la Estación Algarrobal en el extremo Norte de la subcuenca Intermedia (B). La exposición principal de la subcuenca es hacia el Poniente.

La subcuenca intermedia (B) (ver Plano N° 2), está constituída fundamentalmente por una extensa planicie aluvial de escasa pendiente y rodeada de cerros cuyas alturas fluctúan entre los 600 y 1.000 metros, excepto en su extremo oriental en que los cerros Montevideo y Chehueque alcanzan a 1.554 y 2.256 m.s.n.m., respectivamente. Dentro de la planicie destacan algunos otros cerros como Los Colorados (820), Las Torres (1.006) y Jaula (1.033). La planicie está cruzada por tres sistemas de drenaje superficial constituída por cauces intermitentes y comunmentes secos. El primer sistema, proviene del Sur Este, y está formado por las Quebradas de la Coquimbana, Chehueque y de Calaveras que dan orgen a la Quebrada Tamarico que cruza en su curso inferior por la Pampa Tololo. El segundo sistema tiene dirección Oriente-Poniente y aparentemente proviene del cerro Jaula (1.033 m.) y de excedentes de la Quebrada Algarrobal; está constituído por la por la Quebrada de Los Porotillos.- El tercer sistema de drenaje superficial, escurre junto al Ferrocarril a Carrizal Bajo y a los cerros de la Cordillera de la Costa en el extremo Nor-Oeste de la planicie; se denomina Quebrada Carrizal. Los tres sistemas mencionados dan origen a la Quebrada Carrizal, propiamente tal, junto a la localidad de Chorrillos. Esta Quebrada constituye el principal caucé de drenaje de la subcuenca inferior (Ver Plano N° 2).

La subcuenca intermedia tiene una superficie de drenaje superficial de 1.367 Km^2 y una precipitación media anual de 30 mm. distribuída de Mayo a Agosto fundamentalmente. La pendiente de la planicie aluvial es de Oriente a Poniente en su parte central y de SE a NW en su extremo norte; su magnitud es de aproximadamente de un 0,8%. La sección de salida de la subcuenca intermedia se ha hecho coincidir con el lugar denominado Canto del Agua (230 m. s.n.m.). La cota media de la planicie aluvial central es de aproximadamente 400 m.s.n.m.

Los cauces que disectan la subcuenca intermedia tienen típicamente una disposición anárquica y esencialmente variable a lo largo del tiempo de acuerdo con precipitaciones que ocurren ampliamente espaciadas en el tiempo. Normalmente los cauces dentro de la cuenca permanecen secos por largos períodos y solamente conducen aguas superficiales, a veces por escasas horas, cuando se presentan lluvias anormalmente intensas que ocurren con frecuencia aproximada de uno en 10 o mas años. Estas lluvias de intensidad anormal escurren fácilmente a los cauces secos, a consecuencia de las insignificantes cubiertas vegetacionales que podrían retardar dicho escurrimiento, colmatan rápidamente los fondos de las quebradas en los tramos andinos de éstas y salen como torrentes a la subcuenca intermedia diseminándose a través de los numerosos zanjones

secos que pueden observarse en la planicie aluvial. Así se producen verdaderas corrientes de barro, denominadas aluviones en la zona norte de Chile, que contribuyen al rellenamiento y también a la modelación de un paisaje siempre cambiante, ya que no necesariamente estas corrientes de barro se encauzan siempre en los mismos zanjones.

La subcuenca inferior (C) tiene una superficie de 455 Km.^{2} y está constituída por los cerros de la Cordillera de La Costa. Las cumbres mas características fluctúan entre los 700 y los 1.000 m.s.n.m. destacando el Cerro Chorillos (975 m.), Cerro Negro (930) y el Cerro Molle (975 m.). El curso más importante de drenaje superficial lo constituye la Quebrada Carrizal que recoge la totalidad de los recursos hidrológicos de la subcuenca intermedia y gran parte de la subcuenca superior. La Quebrada Carrizal desemboca finalmente al mar, en la localidad de Carrizal Bajo, después de un trayecto de aproximadamente 5 Km. por un cañón de 200 a 300 metros de corte. La precipitación promedio anual en esta subcuenca es de aproximadamente 40 mm. distribuída fundamentalmente de Mayo a Agosto.

En la parte que corta la Cordillera de la Costa, el cauce principal de la Quebrada de Totoral presenta un valle estrecho y profundo que prepresenta las posibilidades de drenaje hacia el mar de las aguas tanto subterráneas como superficiales. En este tramo costero se observan a menudo depósitos aluvionales antiguos que aparecen a varias decenas de metros sobre el fondo del cauce actual y que atestiguan dos hechos extraordinariamente importantes: uno, la existencia de un nivel de acumulación alto y asociado a un nivel de mar presumiblemente del orden de unos 60 m. por encima del actual; otro la ocurrencia posteriormente de un intenso período de erosión ligado a un nivel de mar bajo y probablemente del orden de 80 a 100 m. por debajo del actual. Estas variaciones de nivel del mar cuaternario, explicadas corrientemente en esta región a base de movimientos tectónicos, estarían controladas en parte importante por oscilaciones estáticas o asociadas a los grandes cambios climáticos del Pleistoceno (glaciaciones e interglaciares), aunque cabe señalar que las épocas glaciares no afectaron directamente la región que nos preocupa.

En la parte central Norte de la región delimitada por las tres subcuencas descritas, se identifica una cuarta subcuenca (Ver subcuenca D en Plano N° 2). Esta subcuenca queda delimitada por algunos puntos fácilmente identificables como el Cerro Las Cuñas (2.530 m.), la Estación Algarrobal, el Cerro El Chañar (1792), el Cerro El Paico (917m.), la Estación Punta Diaz y la Sierra Galena (1.097 m.) Con una superficie de 413 Km.^{2}, esta subcuenca drena parte de la Quebrada Algarrobal por medio de la Quebrada del Boquerón, la Q. Chuschampis y la Q. de la Yerba Buena. Este sistema de drenaje desemboca a través de un angosto portezuelo, frente a la Sierra Pajaritos, hacia la región del Sistema Castilla-Q. Totoral, inmediatamente al Norte del Sistema de la Q. Algarrobal. Lo angosto de este portezuelo y las condiciones geológicas de ese sector parecen inducir a pensar que sólo una pequeña parte de los recursos de la subcuenca Superior de Q. Algarrobal escapan hacia la región de Castilla - Totoral, quedando un gran excedente semiembalsado en la planicie aluvial de la subcuenca intermedia para eventualmente drena por la Q. Carrizal y en parte evapotranspirarse en el sector de Vertientes, Aguadas y Vegas del sector comprendido en la Milla Nueva y Chorrillos junto al ferrocarril a Carrizal Bajo, antes de llegar a la localidad de Canto del Agua.

La precipitación en la región es predominante pluvial, excepto en las altas cumbres de la Subcuenca Superior de Q. Algarrobal en que cae nieve sobre los 3.000 m.s.n.m. Diariamente cae una ligera precipitación en forma de neblinas matinales, denominadas "camanchacas", pero por su escasa magnitud y el fuerte poder evaporante de la atmósfera, sólo aporta a la mantención de la flora esporádica de pequeños arbustos.

Existe solo una estación evaporimétrica en la provincia de Atacama: la de Copiapó, que dispone sólo de dos años relativamente completos de evaporación mensual.

Según las estadísticas consultadas, la evaporación anual es de aproximadamente 2.150 mm. fluctuando las evaporaciones mensuales entre 80 mm. (en Junio o Julio) y 300 mm. (Diciembre, Enero) dentro del año. La evaporación media diaria en el año es de aproximadamente 5,9 mm/dia.-

Las escasas mediciones meteorológicas de la región sólo permiten una caracterización muy somera y cualitativa de su clima, fuera de los antecedentes pluviométricos y evaporimétricos ya anotados.

La región queda ubicada en plena zona de altas presiones subtropicales que constituye el llamo anticiclón del Pacífico. Este regimen de presiones da origen en las zonas litorales a vientos de W, SW y NW sobre los que se superpone un regimen de vientos debidos a diferencias térmicas entre mar y tierra y entre valle y montaña. El regimen anticiclonal, fuera de bloquear las perturbaciones provenientes del Frente Polar hacia el Sur y ocasionar por lo tanto un regimen de precipitaciones escasas y de gran variabilidad (entre 20 y 50 mm. en la región), produce condiciones de extrema estabilidad por subsidencia e incluso inversiones de temperatura.

El regimen de temperatura queda afectado por la acción moderadora del mar, la existencia de corriente fría de Humbolt y la acción de los vientos. En todo caso los efectos marítimos sobre el clima hacia el interior de la región, queda en gran parte bloqueados por la presencia de la Cordillera de la Costa.

La región de la Cordillera de la Costa (corresponde a la subcuenca inferior), tiene un clima desértico con nublados abundantes denominados "camanchas" y gran nebulosidad (6 décimas de cielo cubierto como promedio anual). Los meses de mayor nubosidad son los de Julio, Agosto y Septiembre. En la faja costera se produce también una elevada humedad relativa que en promedio anual es de aproximadamente 75%, alcanzando un máximo en Abril y un mínimo en Noviembre. Las características señaladas se deben prodominantemente al anticiclón del Pacífico y la corriente fría de Humbolt.

A la subcuenca intermedia y a la superior, le corresponde un clima desértico marginal bajo, en que la altitud no actúa como elemento restrictivo de las temperaturas. El regimen de débiles precipitaciones, se ven reforzadas por neblinas y humedades matutinas que se disipan hacia mediodía y alcanzan aproximadamente hasta los 800 m.s.n.m.

Además la humedad relativa es alta. Estos factores de humedad atmosférica son aprovechadas en parte por la vegetación xerofila existente en la región. La temperatura media anual fluctua entre los 15° C y los 16° C en el surtido Norte - Sur y aproximadamente entre 16° C a 18° C en el surtido Este- Oeste. El mes de máxima temperatura es Enero, ocurriendo las menores temperaturas de Junio a Agosto.

CAPITULO 3.-

Antecedentes Geológicos.-

Dado el caracter preliminar del presente estudio, solamente indicaremos a grandes rasgos las características geológicas de la región en estudio. Se hace referencia al Plano N° 3 tomado del informe de G. Taylor (1)

Fundamentalmente la zona que corresponde a la subcuenca superior en la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes, está constituída predominantemente por rocas de edad cretásica y del Jurásico Superior y quedan representadas esencialmente por un paquete estratificado donde predominan las volcanitas de naturaleza andesítica. Estas mismas rocas afloran en los cerros islas de la planicie aluvial de la subcuenca intermedia, pero corrientemente se encuentran aquí macizos graniticos supuestos del Cretásico y que estarían intruyendo el paquete estratificado recién mencionado.

Hacia el Este de la subcuenca intermedia, hacia las cabeceras de las quebradas que hacia allí convergen, se localizan formaciones cretásicas estratificadas con predominio de volcanitas y rocas estratificadas Jurásicas con intercalaciones de rocas sedimentarias marinas. Tanto unas como otras se disponen con rumbo general cercano a Norte-Sur, en un cordón de aproximadamente 10 Km. de ancho. Si bien estas formaciones presentan un intenso grado de fracturamiento, no ofrecen mayores atractivos como acuíferos.

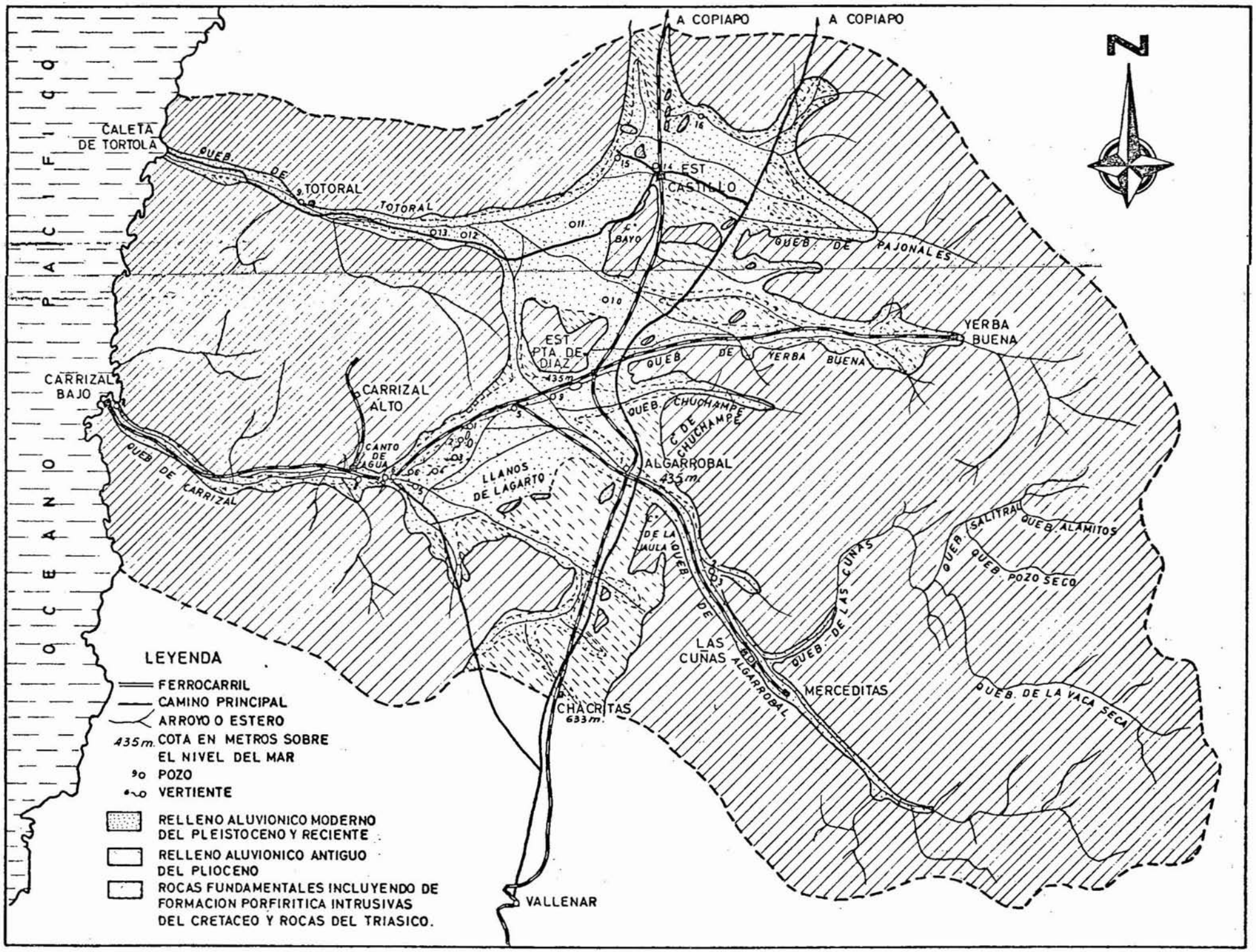
En resumen,la región constituída por la subcuenca superior puede considerarse en principio inadecuada para la mantención y desarrollo de acuíferos aprovechables, aunque existen algunas aguadas y vertientes reconocidas en el sector cordillerano andino, ligadas a fracturas de rocas fundamentales, pero que son de reducido caudal y no tienen mayor importancia.

En la Vertiente oriental de la cordillera de la Costa, aparecen frecuentes cordones graníticos intrusivos que se disponen según una faja de orientación aproximadamente Norte-Sur, ligeramente desplazada hacia el Este. Esta faja seguiría aproximadamente la Depresión Central de la Subcuenca intermedia y de la planicie aluvial de la región de Castilla.

En plena cordillera de la Costa de la Subcuenca inferior, se localizan rocas Jurásicas estratificadas y, en las proximidades de la Costa, rocas Metamorficas atribuídas al Paleozoico. Muy cerca del Mar, en niveles aterrazados que se aprecian muy bien al Norte y al Sur de la Caleta de Carrizal Bajo, aparecen cubiertas de sedimentos marinos del Cuaternario inferior y presumiblemente también del Terciario Superior.

GEOLOGIA GENERAL DE LA REGION DE ALGARROBAL Y CASTILLA

PLANO Nº 3



ESCALA 1:500.000.

(TOMADO DEL INFORME DE G. TAYLOR 1947)

Durante el Terciario y Cretácico Medio las rocas más antiguas de la región fueron dislocadas por movimientos tectónicos, originándose así fallas de orientación prodominante Norte-Sur. Puede en efecto, localizarse una falla en el borde Este de la planicie central de la subcuenca intermedia a 2 Km. aproximadamente de la Carretera panamerican y que corre desde Chacritas a la Q. de Chuschampis. Paralelamente a ella, y a unos 7 Km. hacia el Este, existe otra falla que corta a las rocas sedimentarias marinas ya mencionadas. Existe aún otra falla cercana al contacto aluvio-roca hacia el extremo Poniente de la planicie Central junto al borde Oriental de la Cordillera de la Costa (Ver Plano N° 4).

Como resultado de movimientos tectónicos en torno a este sistema por fallas en la región intermedia entre la Cordillera de la Costa y el borde occidental de la Cordillera de Los Andes, se produjo una fosa depresionaria que cortó la red de drenaje entonces existente. Esta fosa comenzó a rellenarse a comienzos del Plioceno, con materiales detríticos erosionados por las quebradas afluentes a la depresión, formándose así extensos conos aluviales, que, a medida que progresó el proceso aluvicional, se extendieron completamente por toda la cubeta de sedimentación. Conjuntamente, subsidencia del continente provocó una abrasión marina en zonas litorales con las consecuentes plataformas o terrazas marinas, rellenos sedimentarios marinos hacia el interior y aumento del relleno fluvial hacia las partes bajas de la Quebrada de Carrizal; ello permitió el restablecimiento del drenaje externo superficial de la depresión intermedia. Posteriormente, a finales del Plioceno y gran parte del Pleistoceno ocurrió un solevantamiento continental que obligó a los cauces superficiales cercanos a la costa a labrar su lecho cortando los rellenos fluviales y marinos depositados anteriormente, originándose terrazas fluviales y cortes en las terrazas marinas. A finales del Pleistoceno comenzó un nuevo ciclo aluviocional, en que se originaron nuevos conos y rellenos fluviales en la depresión intermedia y nuevos depósitos aluviales en la Q. Carrizal. Este ciclo presumiblemente continuaría hasta el presente.

La fosa depresionaria de la subcuenca intermedia, no puede considerarse, sin embargo, como una fosa regular en cuanto al relieve de las rocas fundamentales que aparecen bajo el relleno sedimentario. En efecto, contiene un gran número de cumbres rocosas sobresalientes y que se destacan en el paisaje a modo de cerros islas. También ocurren portezuelos subterráneos que han sido detectados con los sondajes de prospección minera de Boquerón - Chañar. Lo anterior significa que las posibilidades de acuíferos profundos quedan supeditados a una adecuada apreciación de relieve subterráneo pero, en una primera aproximación parece adecuada la zonificación de áreas de prospección de aguas subterráneas que se discutirá en el Capítulo 7 y que se indican en el plano N° 4.

De los antecedentes recién expuestos se concluye que la zona que hemos denominado "Subcuenca intermedia" constituye una fosa tectónica rellenada por formaciones aluviales recientes y del Pleistoceno y es aquí por lo tanto donde existen mayores posibilidades de un embalse subterráneo con existencia de acuíferos aptos para el aprovechamiento de las aguas subterráneas.

→ y Pliocénicos en?

El espesor de este relleno es variable y puede estimarse, en primer análisis de acuerdo a los antecedentes disponibles en unos 350 m. de potencia máxima, que se alcanzaría hacia el centro de la subcuenca. Hacia las márgenes delimitadas por los cordones rocosos que la rodean, este espesor disminuye gradualmente y el relleno es considerable únicamente en el emplazamiento de antiguos cauces que alguna vez profundizaron el lecho rocoso irregular de la cuenca tectónica de Algarrobal. Es probable, en este aspecto, que el angosto valle con el cual la Quebrada Boquerón cruza desde Algarrobal hacia la cuenca vecina de Totoral en la región de Castilla, localice las rocas fundamentales antes de los 150 m. (en la ubicación del sondaje propuesto N° 1 del Plano N° 4 adjunto). Asimismo, es posible que donde empieza el estrechamiento de la quebrada de Carrizal y en la ubicación del sondaje propuesto N° 3 del Plano N° 4, las rocas fundamentales se encuentran antes de los 200 m. de hondura.

Como se expuso anteriormente, el conjunto del relleno sedimentario de la subcuenca intermedia, deriva fundamentalmente de aluviones o corrientes de barro cuyos depósitos se caracterizan por consistir de una mezcla de gravas a menudo con bloques o bolones de gran tamaño y con abundante porcentaje de finos de arenas, limos y arcillas. Estos aluviones que continúan modelando el paisaje de la subcuenca intermedia, deben estimarse de principal importancia en lo referente al condicionamiento de todo el espesor de relleno cuaternario según lo definido por los sondajes perforados hasta la fecha. Conjuntamente justifican la dificultad para definir las divisiones de aguas tanto superficiales como subterráneas ya que con motivo de crecidas especialmente notables, las quebradas principales han logrado sobrepasar los portezuelos que limitan la subcuenca intermedia de la región de Algarrobal con la planicie de la región de Castilla, a través del portezuelo de la Serranía de Pajaritos.

Estos depósitos aluvionales de permeabilidad poco favorable debido al porcentaje de finos arcillosos que muestran corrientemente, presentan intercalaciones más permeables en la ubicación de antiguos cauces que alguna vez posibilitaron el escurrimiento de aguas superficiales capaces de lavar los finos y dejar in situ los materiales más gruesos del aluvión. Por otra parte, también se encontrarán intercalaciones mucho menos permeables y con predominio franco de limos-arcillas, en sectores marginales a dichos cauces y donde a menudo las grandes crecidas de aguas permitieron el emplazamiento de lagunas temporales.

De acuerdo con todo lo anterior, puede indicarse que los acuíferos de buena permeabilidad y susceptibles de rendir cantidades importantes de aguas subterráneas (según las condiciones de recarga de la cuenca), tendrán típicamente una repartición anárquica y ligada a los antiguos cauces que alguna vez acumularon los materiales favorables; es decir, tales acuíferos tendrán escasa o ninguna continuidad lateral y, longitudinalmente, se presentarán sinuosos de acuerdo al recorrido de los diversos cauces que los acumularon.

Lo anterior no excuye que gran parte de la subcuenca intermedia contenga recursos de aguas subterráneas y es casi seguro que cualquier captación localizará agua subterránea en alguna profundidad; pero, significa que las variaciones de permeabilidad son francamente importantes y que debe procederse a una prospección sistematizada para lograr captaciones que rindan gastos explotables económicamente.

CAPITULO 4.-

Características de los acuíferos y explotación actual de las Aguas Subterráneas

En el Capítulo 3 sobre antecedentes geológicos de la región en estudio, se ha hecho notar que debido a la baja permeabilidad y poca capacidad de absorción de las rocas antiguas y del Plioceno, gran parte de la precipitación que cae en las zonas montañosas de las subcuencas, escurren rapidamente hacia las quebradas y otros cauces menores de drenaje superficial. Dichas quebradas son las fuentes secundarias de recarga de los acuíferos importantes que existen en la planicie de relleno aluvional ya descrita. Por constituir esta planicie el embalse ssubterráneo de mejores posibilidades de explotación de los acuíferos, según los antecedentes geológicos, nos referiremos únicamente a esta zona en las consideraciones y análisis que siguen a continuación.

Los sondajes de CORFO, perforados para el reconocimiento de aguas subterráneas, cuyos registros se acompañan en el Anexo del presente estudio, permiten definir dos zonas acuíferas bastante bien diferenciadas. La primera es de naturaleza relativamente superficial y se localizaría entre unos 30 a 50 m. de hondura en la parte oriental de la planicie aluvial (frente a la Estación de Ferrocarril de Algarrobal); mientras, hacia la región occidental, se localizaría a menos de 20 m. de profundidad y muy próxima a la superficie en la parte más bajas de la cuenca (supuesta ésta limitada entre las vertientes occidental de la Cordillera de los Andes y oriental de la Cordillera de la Costa).

Hacia el Este de la localidad Canto del agua, cerca del contacto noroccidental de la planicie aluvial con los cerros de la Cordillera de la Costa, se ubica una extensa zona de Aguadas y Vertientes tales como las de Chorrillos, Aguadita, Agua de Lazo, Tabalí y Milla Nueve. (Ver Plano N° 4).

Esta área constituye una zona de descarga del acuífero superficial debido a la descarga propia de las vertientes, por evaporación directa del suelo y por transpiración de vegetación freatófita parasitaria que allí crece. En un aprovechamiento integral de los recursos de aguas subterráneas de la región, debe considerarse la posibilidad de minimizar estas pérdidas por una depresión artificial del nivel freático. Apreciaciones contenidas en el informe de G. Taylor (1) se estima que el caudal total de las vertientes de esta área alcanzan a aproximadamente 7 lts/s. Estas vertientes de la región de Canto del Agua son aprovechadas para usos domésticos y para el riego de pequeños y diseminados terrenos agrícolas en que se cultivan frutales, alfalfa y aceitunas.

Existen otras aguadas y norias dentro de la planicie aluvial, que explotan el acuífero superior ya mencionado, con fines domésticos y pecuarios. Las profundidades de estas norias varían entre los 7 y los 70 m. y las más típicas son las de Milla doce, Canto del Agua (abandonada) y Milla Quince. (Ver Plano N° 4).

La segunda zona acuífera es profunda y, desafortunadamente, habría sido definida solamente con uno de los sondajes de CORFO que corresponde al S-706 de Plano N° 4; es decir, no existen antecedentes suficientes para establecer en forma segura sus características y posibilidades. En todo caso, estimamos que esta segunda zona acuífera mantiene una cierta

presión de confinamiento, queda representada por acuíferos muy erráticos en cuanto a su distribución vertical y areal, tiene descarga poco expedita, se recarga solamente con ocasión de grandes lluvias y mantiene una proporción importante de aguas embalsadas subterráneamente que con una explotación intensa disminuirían constantemente y sensiblemente a lo largo del tiempo.

A continuación, se incluye un resumen de las características de algunos de los sondajes efectuados recientemente por CORFO y comentarios sobre ellosque permitan aportar antecedentes importantes a la interpretación de las condiciones hidrogeológicas de la cuenca. De todos los sondajes efectuados por CORFO (ver Anexo A) se han seleccionado los SAS N° s 706; 683 y 644 como los mas típicos e importantes.

Sondaje S.A.S-706

Profundidad total .....97,00 m.
Nivel Estático .....16,61 m. bajo superficie
Capas acuíferas .....24,10 - 39,00 m. (según ranurado habilitación)
81,20 - 96,00 m. (según ranurado habilitación)
Caudal de prueba ..... 5 lt/s
Depresión caudal prueba ..... Casi total (hasta fondo sondaje)
Rendimiento probable acuífero superior ..... 2 lt/s
Rendimiento probable acuífero inferior .....3 "

Perfil geológico resumido (de datos perforista)
0,00 - 38,50 m.- Mezcla de grava, bolones, arena, con poca arcilla o con capitas muy delgadas arcillosas.
- 82,50 m.- Arcilla, arena y poca grava
- 97,00 m.- Arena, grava y arcilla

A nuestro juicio el sondaje S-706 define claramente las dos zonas acuíferas que señalamos anteriormente y su nivel estático queda ligado, en parte, a la presión de confinamiento de la napa inferior; es decir, este nivel sería más alto que el correspondiente en este sector al acuífero superior. Por otra parte, se estima que los materiales cortados por el sondaje corresponden especialmente a depósitos acumulados por la quebrada principal (Algarrobal) durante ocasionales escurrimientos hacia el Norte a través de el valle del la quebrada Boquerón.

Se considera asimismo que durante los períodos en que la quebrada Algarrobal se desarrolló hacia el norte se produjeron grandes avenidas de agua cuyos acarreos, con gran porcentaje de finos, no pudieron ser descargados libremente en dirección a la cuenca de Totoral; en consecuencia, la zona II delimitada en Plano N° 4 se supone en general muy poco favorable o, en todo caso, con recursos evaluables según los resultados de sondaje S.A.S. - 706

Sondaje S.A.S.- 683

Profundidad total .....150,60 m.
Nivel estático .....20,03 m. bajo superficie

Capas acuíferas ..... 21,00 - 32,81 m.(según ranurado de la habilitación)
Caudal de prueba ..... 3,0 lt/s
Depresión caudal prueba ..... 10,0 m (Nivel de trabajo a 30 m)

Rendimiento probable acuífero superior .....3,0 lt/s

Perfil geológico resumido (de datos perforista)

0,00 - 33,50 m.- Arena, grava, bolones chicos, arcilla
- 150,60 m.- Arcilla, limo y arena en capas a menudo compactas o endurecidas. Ocasionalmente estratos delgados con más arena, algunos bolones chicos y algo de grava. No define zonas acuíferas favorables.

Este sondaje no estaría cortando el acuífero inferior de sondaje S.A.S.-706 y de ello derivan dos alternativas de interpretación:

El acuífero inferior tiene escasa continuidad lateral en esta parte y se presenta en otro lugar (posiblemente hacia el N) diferente de la ubicación del sondaje S.A.S.- 683

El acuífero inferior no tiene continuidad en dirección al valle inferior de Quebrada Boquerón (hacia la ubicación del sondaje propuesto N° 1) y marca un cambio de rumbo violento en las proximidades de sondaje S-706 dirigiéndose al suponiente (hacia la ubicación de zona VI en Plano N° 1).

En cuanto al acuífero superior, el sondaje S-683 documenta las pobres posibilidades de explotación de aguas subterráneas en zona II de Plano N° 1.

Sondaje S.A.S. - 644

Profundidad total ..... 60.00 m.
Nivel estático ..... 11,94 m. bajo superficie
Capas acuíferas: 15,00-17.00 m
18.00-19,00
21,00-22,00
22,92-24,00 (Todas según ranurado de la habilitación)
24,92-26,00 (Todas constituyen acupifero
28,00-40,00 superior)

Caudal de prueba ..... 20 lt/s
Depresión caudal prueba ..... 28,00 m (nivel de trabajo en 40 m)
Rendimiento probable acuífero superior ... 20 lt/s

Perfil geológico resumido (de datos perforista)

0,00 - 28,40 m.- Arena, grava, arcilla
- 38,40 m.- Arcilla, arena
- 46,00 .- Arcilla, grava, arena y bolones
- 50,25 .- Arena, grava, arcilla
- 60,00 .- Arena, bolones, arcilla.

Este sondaje representa la mejor captación de aguas subterráneas eventualmente disponible en la región de Algarrobal. A nuestro juicio señala claramente la existencia de un cauce, relativamente reciente, ubicado más o menos según la zona III de Plano N° 4 y ampliamente atractivo para prospecciones más definidas en base a los sondajes propuestos enumerados 2 y 4 en el mismo plano.

Es probable, por otra parte, que la falla indicada esquemáticamente en Plano N° 4 y determinada por el Instituto de Investigaciones Geológicas, tenga alguna relación con el emplazamiento de dicho cauce adosado a los cordones de cerros occidentales.

CAPITULO 5.-

Estudio de la Recarga y Descarga de los Acuíferos y Evaluación Preliminar de las Aguas Subterráneas.-

El origen primario y fundamental de las aguas subterráneas de la región de Algarrobal se encuentra en la percolación profunda de una parte de las precipitaciones que caen en las cuencas afluentes.

En los antecedentes hidrológicos ya expuestos, se mencionó el hecho que el regimen de precipitaciones del lugar se caracteriza por su gran dispersión interanual que origina períodos secos y muy secos de tres, cinco o más años consecutivos y años en que no llueve prácticamente nada. Además los valores anuales y mensuales están constituídos en gran medida por pocos aguaceros (cuatro a seis en el año) de corta duración y alta intensidad. Son estos aguaceros los que aseguran las mayores posiblidades de recarga de los acuíferos, sobre todo aquellos con altos períodos de retorno (más de 1 en 10 años).

Por otra parte, según los antecedentes Geológicos expuestos, es la planicie aluvial moderna, que constituye gran parte de la subcuenca intermedia de la región en estudio, la que presenta las mejores posibilidades de embalse subterráneo y de aprovechamiento de sus acuíferos. Por lo tanto el estudio de recarga se limitará a esta subcuenca y a la que drena hacia ella, que es la subcuenca superior de la Q. Algarrobal propiamente tal.

5.1 Condiciones de Recarga en la Subcuenca Superior de la Q. Algarrobal.-

Esta subcuenca tiene una superficie de 2.430 Km^2. Se tomará como precipitación característica de la zona un promedio de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas de Retén Los Loros en el Valle de Copiapó y de La Pampa en el Valle del Huasco. Se han tomado estas estaciones por cuanto son las únicas confiables que existen en la provincia, a una cota que puede considerarse típica de la subcuenca en cuestión y que corresponden además a regímenes pluviométricos que serían algo inferiores y superiores, respectivamente, a lo que se estima para las condiciones y características de la Q. Algarrobal.

Se considerará además como temporada efectiva de lluvia de recarga la comprendida entre los meses de Mayo a Agosto inclusives, que en promedio constituyen un 85% de la precipitación anual.

Las precipitaciones medias mensuales en el período de observación de cada una de las estaciones pluviométricas anotadas, son las siguientes:

Precipitaciones mensuales promedio en la

Estación Retén Los Loros

Lat = 27° 51' Long 70° 05' W Altura = 948 m.

Período observación 1933 - 1968

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
7,6	10,6	5,8	4,7	28,7

Precipitaciones mensuales promedio en

La Pampa

Lat = 28° 59' Long 70° 15' W Altura = 1.200 m.

Período observación 1918 - 1963

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
17,8	24,3	12,3	14,4	68,8

Luego, se considera una precipitación promedio anual de 48,8 mm. Ahora bien, suponiendo que un 10% de la precipitación anual caída se infiltra, y que de esta cantidad, un 80% se pierda por evapotranspiración, quedaría disponible un 2% para la percolación de recarga, es decir aproximadamente 1 mm. en el año.

Por lo tanto en los 2.430 Km.^{2}, ello representa un caudal medio de de recarga, en un año 50%, del orden de 77 lts/seg.

5.2 Condiciones de recarga en la Subcuenca Intermedia.-

Como precipitación característica de esta sucuenca, se tomará un promedio de las precipitaciones registradas en las estaciones pluviométricas de Vallenar y Copiapó.

Las precipitaciones medias mensuales en los períodos de observación de cada una de estas estaciones, se anotan a continuación para los meses de lluvia efectiva (de Mayo a Agosto)

Precipitaciones mensuales promedio en

Vallenar

Lat = 28°34' Long 70/47' W Altura 469 m.

Perído de observación 1930 - 1968

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
7,1	9,5	6,2	7,0	29,8

Precipitaciones mensuales promedio en

Copiapó

Lat = 27°21' Long 70°21' W Altura = 380 m

Período de observaciones 1900 - 1960

Mayo	Junio	Julio	Agosto	Total
4,0	8,6	6,0	3,6	22,2

La precipitación promedio anual que se considera tipica para el área es de 26,0 mm.

Suponiendo un 30% de infiltración, de la cual se pierda un 80% por evapotranspiración, el porcentaje de la precipitación anual que recarga el acuífero sería del orden de 6%, es decir aproximadamente 1,6 mm. Luego en los 1.367 Km^2 de la subcuenca intermedia el caudal medio de recarga en un año 50% es de aproximadamente 70 lts/seg.

En conclusión, la recarga promedio anual de la planicie aluvial apta para el aprovechamiento de las aguas subterráneas de la región, sería de aproximadamente 150 lts/seg.

Se hace notar que en el cálculo de la recarga media no se ha tenido en cuenta la subcuenca de la Quebrada de Chuschampis (con letra D en plano N° 2) que limita hacia el Norte con la subcuenca intermedia, a la altura de Punta Díaz. La razón de ello es que aunque desde el punto de vista de cuenca subterránea, ambas subcuencas constituirán una misma, desde el punto de vista de drenaje superficial existen antecedentes para separarlas por cuanto la red de drenaje de Chuschampis se conectaría con la región de Castilla a través de la Quebrada Boquerón frente al portezuelo existente en los Cerros de Paico. En todo caso la suposición hecha es conservadora por cuanto el hecho de considerar la subcuenca de Q. Chuschampis significaría una mayor recarga de aproximadamente 20 lts/seg.

En lo que respecta a la descarga de las aguas subterráneas, puede indicarse que ella se produce subterráneamente a través del valle de la quebrada de Carrizal y, en menor proporción, a través del valle de quebrada Boquerón que las conduce hacia la cuenca de Totoral y, finalmente, hacia el mar en ambos casos. Una cantidad importante, que es difícil de precisar con este informe preliminar, se descarga por evapotranspiración en sectores de la región occidental de la cuenca y también a lo largo del curso de quebrada de Carrizal (también de Totoral), donde existen cubiertas vegetacionales de frestófitos. Por último, pueden estimarse del orden de 10-15 lt/s a las cantidades de aguas subterráneas que se descargan por explotación actual dentro de la zona.

Ahora bien considerando que la recarga normal de las aguas subterráneas es del orden de 150 lts/s, con captaciones bien ubicadas y habilitadas, con rendimientos individuales en promedio no superiores a 10 l/s, se supone posible captar aproximadamente un 40% de dicha recarga, es decir podrían extraerse en regimen permanente unos 60 l/s.

A la cifra anterior de 60 lt/s puede agregarse la cantidad susceptible de explotar de acuíferos profundos y donde existirían recursos embalsados, de drenaje poco expedito, acumulados por muchos períodos de precipitaciones. Estos recursos requieren de trabajos de prospección o de estudios más detallados que el presente informe; pero, en principio, puede significar un caudal importante si se acepta la idea de agotarlos durante un número reducido de años de explotación.

CAPITULO 6.-

Calidad Química de las Aguas Subterráneas.-

En base a los escasos antecedentes disponibles a la fecha, puede decirse que la calidad de las aguas subterráneas es en general buena en la parte oriental de la planicie aluvial pero, en la medida de su avance hacia la parte occidental y sobretodo hacia la Costa por la Quebrada Carrizal, incrementan gradualmente su contaminación.

En efecto, en la parte oriental, las aguas deberían resultar de calidad potable, aunque presumiblemente algo duras y con relativamente elevado porcentaje de sulfatos, alrededor de 300 ppm. En la parte occidental, es probable un aumento de la dureza y del porcentaje de Sulfatos (450 ppm) hasta presentar un gusto algo desagradable aunque seguirían siendo potables con normas algo menos rígidas de calidad. En la zona de aguadas y vertientes, al este de Canto del Agua, ocurriría un mayor deterioro por efecto de la continua evapotranspiración del sector y de la consecuente acumulación de sales en la superficie.

En general, de acuerdo a los antecedentes aportados por el informe de G. Taylor (1), las aguas serían ligeramente alcalinas, no existirían o sólo habría trazas de óxidos Férricos y de Aluminio, los óxidos de Calcio y Magnesio fluctuarían entre 130 y 200 partes por millón, los óxidos de Magnesio serían del orden de 50 ppm en los pozos y de 125 ppm en las vertientes, y de Cloruros tendrían aproximadamente 120 ppm en los pozos y como 400 ppm en las vertientes.

Valle abajo de la Quebrada de Carrizal, se produciría un aumento gradual y constante del contenido salino y del porcentaje de Cloruros que finalmente limitarían totalmente su empleo como fuente potable. Taylor cita un análisis de una vertiente costera con 7.112 ppm de Cloruros y 2.231 ppm de Sulfatos, con abundante óxido de Potasio y 1.281 ppm de CaO.

CAPITULO 7.-

Zonificación de áreas para un programa de Prospección para estudios detallados futuros.-

Las condiciones de ocurrencia de los recursos de Aguas Subterráneas en la región de Algarrobal, pueden definirse en base a las áreas delimitadas en el Plano N° 4. Esta zonificación permite también separar y jerarquizar las etapas de un programa futuro detallado de prospección, según se analiza a continuación.

Zona I No es atractiva por la baja permeabilidad del conjunto de relleno y limitarse las mejores expectativas de acuíferos a la ubicación de antiguos cauces de la quebrada Chuschampis. Estos aportes de la quebrada de Chuschampis pueden ubicarse con mayores ventajas en las otras zonas consideradas más favorables.

Zona II Poco atractiva para una prospección de detalle ya que está suficientemente reconocida con las perforaciones de CORFO. Es importante de prospectar con un sondaje en el valle de quebrada Boquerón (sondaje propuesto N° 1) siempre que previamente se confeccione un perfil sísmico que estime la profundidad y variación del lecho rocoso en esta parte (en principio este sondaje sería del orden de 100 m. de hondura).

Zona III Muy atractiva por representar, potencialmente, una región con alta frecuencia de acuíferos favorables. Debería reconocerse con un sondaje profundo en la ubicación N° 4 del plano N° 4 y cuya profundidad se definiría en función de los resultados de prospecciones previas (sondajes propuestos N°s 1-2-3). Se reconocería además con un sondaje de no más de 60 m de hondura en la ubicación N° 2 del Plano N° 4 y previa la confección de un perfil sísmico. (Como se indica en el Plano N° 4.)

Zona IV Muy poco atractiva por estimarse, en principio, condiciones de rellenos muy poco permeables. Se prospectaría eventualmente con un sondaje profundo (N° 8) hacia el término del programa de reconocimiento aquí bosquejado.

Zona V Potencialmente atractiva de prospectar con un sondaje profundo (N° 5) aunque el rendimiento de aguas no se supone especialmente favorable en comparación con la zona III.

Zona VI Extraordinariamente interesante de prospectar con sondajes no superiores a 60 m. en las ubicaciones N°s 6-7 y con un sondaje profundo, previa la confección de un perfil sísmico, en la ubicación propuesta N° 3.

Los reconocimientos por sondajes y perfiles sísmicos ya citados deberían complementarse con los siguientes trabajos que se estiman de especial importancia.

a.- Reconocimiento del relleno cuaternario, con observaciones detalladas de terreno y de fotografías aéreas, en toda la zona cubierta por los sistemas hidrográficos de Quebradas Algarrobal-Carrizal y Totoral.

b.- Catastro detallado de todas las captaciones ossondajes existentes en la zona definida en (a).

c.- Estudio de calidad química e interpretación de acuíferos según la composición química, en base a muestras de aguas de captación y vertientes.

d.- Muestra y registro estratigráfico cuidadoso de los sondajes de reconocimiento establecidos anteriormente según las posibilidades que permite el tipo de maquinaria utilizada.

e.- Estudio detallado de las captaciones explotadas en Estancia Castilla para ponderar las variaciones de caudal a lo largo del tiempo y extrapolarlas hacia la cuenca de Algarrobal.

f.- Ubicación de las captaciones y sondajes existentes, también los que se construyan durante el estudio programado, en planos 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar para establecer correlaciones de tipo regional y siempre que sea posible obtener valores de cota y coordenadas confiables con dichos planos 1:50.000.

CAPITULO 8.-

Conclusiones.-

Las principales conclusiones que se pueden extraer de este informe preliminar, son las siguientes:

1.- Las posibilidades de explotación de aguas subterráneas en la región en estudio, quedan limitadas a la planicie aluvial de la subcuenca intermedia en que es casi seguro que cualquier captación localizará agua subterránea en alguna profundidad. Sin embargo los acuíferos importantes tendrán una repartición anárquica con escasa o ninguna continuidad lateral y longitudinalmente se presentarán sinuosos. Ello implica la necesidad de proceder en el futuro a una prospección sistematizada para lograr gastos seguros explotables económicamente (ver capítulo 7).

2.- En la planicie aluvial de la región de Algarrobal, se pueden definir dos zonas acuíferas bien diferenciadas:

La primera, relativamente superficial se localizaría entre unos 30 a 50 m. de profundidad en la parte oriental de la planicie, a menos de 20 m. de hondura hacia el poniente y prácticamente en la superficie en la zona de vertientes donde comienza a encauzarse la Quebrada de Carrizal.

El segundo acuífero es profundo, y por haber sido detectado sólo por uno de los sondajes existentes (CORFO S.A.S N° 706), no existen antecedentes suficientes para su caracterización. En todo caso estaría bajo los 80 m. de profundidad y mantendría cierta presión de confinamiento, distribución errática, descarga poco expedita y recarga eventual.

3.- En un aprovechamiento integral de los recursos de aguas subterráneas de la región, debe considerarse la posibilidad de minimizar las pérdidas por evapotranspiración de la región de vertientes en el contacto nor-occidental de la planicie aluvial con los cerros de la Cordillera de la Costa.

4.- La recarga media anual de los acuíferos explotables en la región de Algarrobal, es aproximadamente de 150 l/s. Con captaciones bien ubicadas y habilitadas, de rendimientos individuales en promedio no superiores a 10 l/s, se puede suponer una extracción en regimen permanente de aproximadamente unos 60 l/s.

5.- En caso de requerirse dotaciones mayores de 60 l/s, puede pensarse en una sobre explotación de los acuíferos profundos que constituyen un verdadero embalse subterráneo. Como estos acuíferos tienen una recarga muy eventual, ello constituiría "minar" dicho recurso embalsado que podría prácticamente desaparecer en un cierto lapso de tiempo. Sin embargo podría pensarse en amortizar en ese mismo plazo las instalaciones que requerirían de dicha dotación, por lo que económicamente podría justificarse. La determinación del lapso de agotamiento indicado y de la magnitud de dicho embalse subterráneo requieren, sin embargo, un trabajo de prospección y estudios detallados que quedan fuera de los objetivos de este informe preliminar.

6.- En general, la calidad química de las aguas subterráneas es buena, aunque algo duras en la parte oriental de la planicie aluvial, pero en la medida de su avance hacia la parte occidental, incrementan gradualmente su contaminación y se produce un desmejoramiento en especial de dureza, del porcentaje de sulfatos y Cloruros. Ello puede hacerse crítico en la región costera de la Quebrada de Carrizal. Se requeriría un estudio mas detallado de la calidad química e interpretación de acuíferos según su composición química.

7.- De acuerdo al programa de prospección futura que se recomienda en el Capítulo 7 de este informe, se concluye que las zonas más interesantes y atractivas de reconocer más detalladamente, por constituir las de mejores potecialidades de explotación económica de los recursos hídricos, son las denominadas Zona III y Zona VI en el plano N° 4. Dicho programa de prospección, que se considera indispensable, debe complementarse con un reconocimiento detallado de terreno y fotografíar áreas del relleno cuaternario, no sólo de la región de Algarrobal, sino que de la de Castilla-Totoral. Conjuntamente debe hacerse un catastro detallado, muestras y registro estratigráfico de captaciones, sondajes y vertientes existentes en estas dos regiones, especialmente en la de Castilla-Totoral, para poder ponderar las variaciones de caudal a lo largo del tiempo y extrapolarlas hacia la región de Algarrobal.

CAPITULO 9.-

Bibliografía y Antecedentes Utilizados.-

1.- "Ground-Water Studies in the Province of Atacama, Chile". G.C. Taylor, Jr., para Corporación de Fomento, Santiago, Chile 1947.

2.- "Exploraciones Geológicas Geofísicas y por Sondaje en el Yacimiento de Hierro "Boquerón-Chañar". Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile, Enero 1969.-

3.- "Estudio Hidrogelógico de la Región de Chañaral". J. Karzulovic K. Santiago, Chile, 1961.

4.- "Estudio Hidrogeológico de la Región de Domeyko". J. Karzulovic K. Santiago, Chile, 1962.

5.- "Estudio Hidrogeológico de la Región de Vallenar". J. Karzulovic K. Santiago, Chile, 1963.-

6.- "Estudio Hidrogeológico de la Región de Copiapó." J. Karzulovic K. Santiago, Chile, 1967.-

7.- "Informe de la Visita Técnica a la Región de Castilla". B. Espíldora C. (Informe Inédito), Santiago, Chile, 1963.-

8.- Perfiles de los Pozos S.A.S N°s 432, 433, 425, 644, 683 y 706 efectuados por la Corporación de Fomento

9.- Registros pluviométricos de las estaciones de Freirina, Vallenar, La Pampa, Copiapó, Los Loros y Embalse Lautaro. Oficina Meteorológica de Chile.

10.- Registro de Evaporaciones en Copiapó. Oficina Meteorológica de Chile

11.- Carta preliminar a escala 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar. Planchetas N°s 2871, 2870, 2771 y 2770.

12.- Planos N°s 2800-7100; 2800-7047 y 2800-7030 a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar.

--------oooo--------

BIBLIOTECA IREN