

U 1284

27 SET. 1979



ESTUDIO DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE DE CADENA DE BALNEARIOS IV REGION.-

Santiago, Abril de 1978.-



**AGUA
INGENIEROS
CONSULTORES
LTDA.**



ESTUDIO DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE DE CADENA DE BALNEARIOS IV REGION.-

- I.- INTRODUCCION
- II.- SINTESIS
- III.- ANTECEDENTES GENERALES
 - 1. CLIMA
 - 2. VEGETACION
 - 3. GEOMORFOLOGIA
 - 4. RED DE DRENAJE
- IV.- MARCO GEOLOGICO REGIONAL
 - 1. ANTECEDENTES
 - 2. GEOLOGIA
 - 3. ESTRUCTURA
- V.- HIDROLOGIA
 - 1. PRECIPITACIONES
 - 2. EVAPORACION
 - 3. GENERACION DE CAUDALES
- VI.- HIDROGEOLOGIA
 - 1. INTRODUCCION
 - A. TERRAZA COSTERA
 - B. LLANO LAS CARDAS
 - B.1 GEOLOGIA DE SUBSUPERFICIE
 - B.2 ACUIFEROS RECONOCIDOS
 - B.3 RECARGA
 - B.4 MOVIMIENTO-DESCARGA
 - B.5 RECURSOS EXPLOTABLES
 - C. QUEBRADA TONGOY
 - C.1 GEOLOGIA DE SUBSUPERFICIE
 - C.2 RECARGA
 - C.3 RECURSOS EXPLOTABLES
- VII.- HIDROGEOQUIMICA
- VIII.- ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO
- ANEXOS.



I.- INTRODUCCION

Tongoy, Guanaqueros, Morrillos, Las Tacas, Lagunillas y Totoralillo conforman una cadena de balnearios, a lo largo de la costa de la IV Región cuyo crecimiento en algunos casos o su existencia en otros, se ha visto frenado por la carencia de fuentes de abastecimiento de agua potable que satisfagan sus necesidades. Las estimaciones de demanda realizadas señalan que el complejo turístico en pleno desarrollo requerirá de un caudal medio de 99 l/s y un caudal máximo diario de 148 l/s.

Dadas las características de la zona la satisfacción de las necesidades basada en los recursos posibles de obtener en los entornos de cada balneario se considera absolutamente improbable. Ello ha conducido a la búsqueda de una solución única que se fundaría en recursos superficiales de la Quebrada Lagunillas o en su defecto en los recursos subterráneos existentes en el Llano Las Cardas.

Con el objeto de verificar la factibilidad de dichas soluciones, el Servicio Nacional de Obras Sanitarias ha encargado a esta oficina la realización de un estudio que a través de la cuantificación de los recursos tanto superficiales como subterráneos del área, determine el potencial real y su nivel de explotación.

Persiguiendo dicho objetivo el estudio comprende, ante la ausencia de antecedentes directos, una generación sintética de caudales en la Quebrada Lagunillas, único sistema hidrográfico que presenta escurrimiento superficial junto a un exhaustivo análisis de la hidrogeología regional.



II.- SINTESIS

La determinación de la factibilidad de solucionar el deficit de abastecimiento de agua potable que presenta la Cadena de Bañeros situada en las costas de la IV Región, ha llevado a identificar el área situada entre el Estero Tongoy y levemente al sur de la bahía de Coquimbo, como zona susceptible de proporcionar la demanda requerida. El área se enmarca por lo tanto entre los paralelos $30^{\circ} 10'$ y $30^{\circ} 30'$ de latitud sur y los meridianos $71^{\circ} 18'$ y $71^{\circ} 30'$ de longitud oeste, abarcando las unidades hidrográficas de la Quebrada Lagunilla, Estero Tongoy, Cuencas Costeras y Llano Las Cardas.

Geologicamente el área queda caracterizada a grandes rasgos por la presencia de unidades metamórficas y plutónicas paleozoicas en el sector occidental y rocas volcánicas e intrusivas mesozoicas en el sector centro-oriental.

De acuerdo a los antecedentes existentes, es posible visualizar en la zona dos eventos geológicos importantes que han afectado directamente la sedimentación. El primero corresponde a una tectónica distensiva, ocurrida durante el Terciario superior, que es la responsable de las estructuras de horst y graben que se verifican en el área; y el segundo corresponde a una ingresión marina acaecida sincronicamente al evento anterior, que generó depósitos marinos tierra adentro.

Desde el punto de vista geomorfológico se pueden distinguir tres estructuras importantes: la planicie de Las Cardas (Llano de Las Cardas) que corresponde al bloque deprimido de la fosa tectónica allí presente, la superficie casi horizontal que se emplaza al oeste del cordón occidental de cerros del graben de Las Cardas y la amplia explanada ubicada al Sur de la bahía de Tongoy que corresponde al bloque deprimido del graben que allí se observa. La segunda estructura indicada, corresponde a una terraza de abrasión marina que ha sido labrada en las rocas plutónicas que alineadas casi Norte-Sur rematan practicamente en el.

Bajo tales condiciones se han identificado cuatro subsectores o alternativas que han sido sometidas a estudios más profundos.

- a) Recursos subterráneos de la Terraza Costera
- b) Recursos subterráneos del Llano Las Cardas
- c) Recursos subterráneos del Estero Tongoy
- d) Recursos superficiales de la Quebrada Lagunillas



Hidrogeológicamente ha sido descartada la primera de ellas por cuanto sus características sedimentológicas demuestran que éstos no cumplen con las condiciones necesarias como para el abastecimiento requerido. De allí que el sector del Llano Las Cardas ha suscitado la mayor atención de este estudio, por presentar condiciones geológicas favorables. El graben de Las Cardas presenta fuertes potencias de sedimentos continentales que engranan hacia el Norte con sedimentos marinos de fina granulometría que obstruyen el flujo subterráneo y limitan, parcialmente, las expectativas hidrogeológicas del sector producto de su baja permeabilidad y a la fuerte contaminación de sales que infringen a las aguas subterráneas circulantes.

Si bien pese a ello es posible detectar la existencia de un sistema acuífero de interés, este se encuentra en la actualidad sometido a una explotación que rebasa su capacidad de renovación o recarga y que ha provocado un descenso de los niveles estáticos superior a 5 mts. en los puntos críticos y que coloca al sistema en una situación de extrema gravedad. Dicha situación no permite considerar al Llano de Las Cardas como solución al abastecimiento buscado.

Aún cuando el estero Tongoy se consideraba a priori como incapaz de solucionar la demanda conjunta, se analizó como fuente particular del balneario de igual nombre.

El análisis ha concluido señalando la incapacidad del sistema para absorber incrementar en la extracción que ya se realiza y que a su vez se considera críticamente condicionada a la ocurrencia de precipitaciones.

La factibilidad de embalsar los recursos superficiales de la Quebrada Lagunillas condujo a la generación sintética de caudales ante la ausencia de control hidrométrico. Se ha determinado que ella presenta escurrimiento de interés solo durante el invierno, particularmente desde mayo a agosto, alcanzándose el volumen requerido solo en un año 50 % a condición que ocurran precipitaciones concentradas y de gran intensidad. En caso contrario las precipitaciones logran escasamente satisfacer el déficit de humedad del suelo y la escorrentía generada no permite cubrir la demanda requerida. Para un año 85% la escorrentía generada representa solo un 50 % de las necesidades. Dicha situación unida a la mala calidad química que presentan las aguas ha conducido a descartar dicha solución como factible.



La imposibilidad de satisfacer el abastecimiento a través de los recursos existentes en el área de estudio, ha conducido a identificar preliminarmente soluciones calificadas como basadas en recursos externos del área.

Como tales se alzan la conducción de sobrantes de invierno del río Elqui a través de la extensión del Canal Bellavista y su acumulación en un embalse en la Quebrada Lagunillas y la liberación de los recursos subterráneos que abastecen Andacollo a través del traslado del abastecimiento al río Hurtado. La primera de ellas se estima de alto costo y extrema complejidad por comprometer recursos sobre los cuales existiría presión del sector agrícola y la segunda, bajo las condiciones de sobreexplotación del Llano Las Cardas, se visualiza imposible de concretar.



III. ANTECEDENTES GENERALES

1. CLIMA

El área que abarca este estudio, según la clasificación de Koeppen (1948), corresponde al de estepa con nubosidad abundante. En éste el elemento más relevante es la nubosidad nocturna y matinal que se produce por la subsidencia de aire sub-tropical y el mar adyacente que es el que procura la humedad. En la ciudad de La Serena los registros meteorológicos indican que en un año se tendrían como promedio 74,3 días despejados y 113,8 días cubiertos.

El promedio anual de humedad relativa es de 78 a 81% y se ha comprobado que la fluctuación de dicho valor a lo largo del año es bastante pequeña. No ocurre igual cosa con la variación diaria de la humedad. Esta suele ser mayor y sigue el ritmo de la nubosidad, alcanzando los valores máximos en las mañanas y mínimos al mediodía.

Las temperaturas de la zona están fuertemente influenciadas por la nubosidad y por la presencia cercana del océano. De allí que los valores extremos no sean muy pronunciados. Las temperaturas mínimas no pasan los 0° C y las máximas, por lo general, no exceden los 30° C. Todos los meses tienen temperaturas promedio sobre los 10° C lo que sin duda permite definir esta zona como templada.

La media anual para la ciudad de La Serena es de 14,4° C, llegando en Enero a los 18° C de promedio y en Julio a los 11,4° C.

Los vientos en la región, casi invariablemente, provienen del poniente y en los meses de verano estos suelen acrecentarse mucho. En la depresión del graben de Las Cardas éstos comúnmente se encajonan, ocasionándose gran remolinos de aire que alcanzan varias decenas de metros y que son característicos en esta zona.

2. VEGETACION

La vegetación de la zona corresponde, según H. Fuenzalida (1965) a la zona Xeromórfica, específicamente, a la formación Jaral costero. Sin embargo, la presencia de algunas especies propias de la zona Mesomórfica, especialmente del tipo pertenecientes



a la formación estepa con *Acacia caven*, hace pensar en un área transicional. Las especies pertenecientes a la formacional jaral costero dependen, en gran parte, de la humedad atmosférica presente en la zona.

La densidad vegetal en el área es bastante baja en lo que a especies silvestres se refiere; las de mayor difusión son: *Cereus coquimbensis* (copos), *Echinocactus* spp. (sandillones), *Acacia caven* (espino), *Cereus candelaris* (quisco candelabro) y las hierbas *Frankenia*, *Tetragonia* y *Calandrina*.



3. GEOMORFOLOGIA

3.1 Formas Topográficas

En el área existen 3 cordones de cerros claramente diferenciables que se disponen casi paralelos entre sí y que presentan un rumbo Norte-Sur aproximadamente.

El cordón que se ubica en el extremo oriental del área constituye la vertiente este del Llano Las Cardas y por consiguiente el bloque oriental sollevando del graben de Las Cardas. Este cordón tiene una gran extensión en la dirección Norte-Sur y la pendiente de sus laderas es bastante fuerte, llegando en algunos sectores a alcanzar casi 80° respecto a la horizontal. La mayor cota alcanzada por este cordón, en el sector, es de 1.259 en el C^o La Yegua que se encuentra a la latitud de Cerrillos (cf. MAPA GEOLOGICO 1:250.000 adjunto a este informe). La continuidad de este conjunto de cerros se ve interrumpido por numerosas quebradas elongadas más o menos con dirección Este-Oeste, entre las cuales se cuentan de norte a sur las siguientes: Quebrada Cruz de Caña, Quebrada Martínez, Quebrada Cortadera y Quebrada Maitencillo. Las últimas tres constituyen importantes estructuras que conducen las precipitaciones hacia el sector de El Peñon-Lagunillas.

El cordón central que existe en la zona corresponde al bloque occidental del graben de Las Cardas y al bloque oriental de la supuesta fosa tectónica de Tongoy, lo que ciertamente lo transforma en un bloque ascendente de un sistema de horst y graben. Las rocas que afloran en esta cadena son esencialmente intrusivas cretácicas que en parte se encuentran cubiertas por rocas volcánicas. En el extremo Norte del cordón estas rocas volcánicas yacen a modo de roof pendants sobre las rocas plutónicas infrayacentes. Las pendientes de este conjunto de cerros son, en general, menores a las del cordón oriental y sus cotas suelen ser menores aún cuando en el extremo sur del área alcancen hasta 1.239 m.s.n.m. como máximo.

Por último, el cordón extremo occidental del área corresponde a los cerros que constituyen los Altos de Talimay que se emplazan casi en el litoral, rematando hacia el Norte en el sector conocido como Punta Lengua de Vaca. En esta cadena afloran rocas metamórficas e intrusivas paleozoicas y



y rocas plutónicas jurásicas, en general, bastante suavizadas por la erosión, lo que condiciona cotas bastante bajas para este cordón (570 m.s.n.m. como máximo). Lo mismo ocurre con respecto a las pendientes que en este caso resulan mucho más suaves que en los dos casos anteriores. Este cordón constituye el bloque ascendente occidental del probable graben de la Bahía de Tongoy y, al igual que en el caso anterior sería un bloque solventado de una tectónica de tipo horst y graben.

En íntima relación con estas formas topográficas expuestas, existen en la zona dos extensas planicies que separan los cordones indicados. Tal es el caso del Llano Las Cardas que separa en el sector central-norte del área los cordones oriental y central que unos 9 Kms. al Sur de Tambillos se unen. Estas dos grandes explanadas tectónicas presentan en sus extremos Norte 4 niveles de terrazas de abrasión marina donde la superior alcanza los 120 m.s.n.m. aproximadamente. Estas oscilaciones del nivel del mar, acusadas por las terrazas, son los responsables de haber depositado tierra dentro sedimentos marinos finos que empobrecen, en parte, las expectativas hidrogeológicas, por lo menos en el sector de Tongoy.

3.2 Estructuras en los depósitos cuaternarios de Las Cardas y Tongoy.

Los depósitos aluviales del Llano Las Cardas presentan adosados a las vertientes oriental y occidental de la planicie, abundantes materiales tipo escombros de falda que provienen de la denudación de los cordones de cerros que limitan el Llano al Este y Oeste respectivamente. Estos materiales presentan una granulometría gruesa del tipo ripio con una fracción arenosa subordinada, lo que repercute en una buena permeabilidad de estos depósitos. Estos acarreos se ubican formando un cinturón de ancho variable entre 200 y 300 mts. que se extiende a todo el largo de la planicie, sólo interrumpido por los conos de deyección que se presentan a los pies de las quebradas que desembocan al Llano Las Cardas. La presencia de estos depósitos es poco abundante en la vertiente occidental del llano ya que en este cordón son escasas las quebradas de importancia que aportan materiales hacia la planicie.

En la vertiente oriental del relleno de Las Cardas se observa una estructura de pie de monte formada por los numerosos conos de deyección que existen en las desembocaduras de los distintas quebradas. Los materiales de estos conos son de alta heterogeneidad granulométrica, siendo en todo caso gruesos del rango gravas ripiosas. A estos materiales se les



suma los escombros de falda existentes, lo que conforma un conjunto de detritos de alta permeabilidad que constituyen importantes zonas de recarga para el agua subterránea.

Hacia el extremo Norte del Llano Las Cardas se pueden observar sedimentos marinos aterrazados en 4 niveles que engranan hacia el Sur con depósitos continentales que lateralmente a su vez engranan con los depósitos aluvio-torrenciales y tipo escombros de falda descritos.

En el sector Norte de la planicie que se abre hacia Bahía de Tongoy se pueden observar numerosos conos de deyección, producto de las quebradas Pachingo, Salinita, Camarones, Piedras Coloradas, Tongoy y El Romeral que se unen formando un paquete de sedimentos gruesos a medios, elongado en dirección Este-Oeste. En este sector existen también los mismos cuatro niveles de terrazas marinas que existen al Norte de Las Cardas y los depósitos aluviales a que se ha hecho alusión ocupan el nivel aterrazado más bajo.



4. RED DE DRENAJE

Lagunillas

La hoya hidrográfica de la Quebrada Lagunillas presenta una extensión areal de 503 Km². Limita al Norte con la superficie hidrográfica del Llano Las Cardas, aproximadamente a la latitud 30° 04' S y alcanza hacia el Sur hasta la latitud 30° 21' S. Por el oriente alcanza hasta unos 6,0 Kms. al Oeste del mineral de Andacollo y hacia el poniente llega hasta el Océano Pacífico, donde desemboca el esporádico curso superficial de la Quebrada Lagunillas.

Las principales quebradas que conforman este complejo hidrográfico son las siguientes: Quebrada Las Cardas, Quebrada La Cortadera, Quebrada Maitencillo, Quebrada El Sauce, Quebrada Hornitos, Quebrada Martínez y Quebrada Lagunillas. Esta última es la vía por donde se produce la descarga del sistema. De estas quebradas, a lo menos, Las Cardas y Lagunillas presentan un manifiesto control tectónico que puede evidenciarse en los alineamientos existentes, que a su vez coinciden con la ubicación y rumbo de fallas mapeadas por autores como Thomas (op.cit.), Paskoff (op.cit.) y Parraquez (op.cit.).

La pendiente promedio que exhiben las quebradas de la zona asciende a aproximadamente un 3,8 %, mientras que las cadenas de cerros que limitan esta hoya hidrográfica presentan en promedio una pendiente de 16 %.

La principal quebrada de la red hidrográfica de Lagunillas es la Quebrada Las Cardas, a la que tributan las Quebrada Hornitos, Maitencillo y El Sauce. Las Cardas por su parte tributa a La Quebrada Lagunillas, al igual que la Quebrada Martínez y La Cortadera es tributaria de la Quebrada Maitencillo.

La red hidrográfica en cuestión tiene un carácter dendrítico que en algunas zonas se hace marcadamente subparalelo.

Esto se nota de preferencia en la vertiente oriental de la Quebrada Las Cardas, unos 2,0 kms. al Sur de la confluencia con la Quebrada El Sauce y en la vertiente Sur de la Quebrada Lagunillas en su sector poniente. Este fenómeno



se debe principalmente a un control producto del fracturamiento.

La totalidad de las quebradas, que constituyen la red de drenaje, no presentan escurrimiento superficial salvo en épocas en que la precipitación es muy abundante. Según información verbal obtenida de los lugareños, la totalidad de los cursos superficiales están secos desde hace más o menos 10 años, con excepción de la Quebrada Lagunillas que según la misma fuente presenta escurrimiento superficial en forma permanente.

Las Cardas

La hoya hidrográfica del Llano Las Cardas limita hacia el Sur con la de la Quebrada Lagunillas y su extensión alcanza aproximadamente los 145 Kms². Por el Norte la divisoria de aguas corre unos 1,5 Kms. al Norte del Estero Culebrón, en dirección casi Este-Oeste. Los límites oriente y poniente de la hoya hidrográfica son los dos cordones de cerros que limitan el Llano Las Cardas al Este y Oeste.

Las principales quebradas que tributan a este valle tectónico son: Quebrada Cruz de Caña, Quebrada Lonza Grande, Quebrada Agua del Romero y Quebrada El Sauce. Las dos primeras se emplazan en la vertiente oriental del llano y las dos últimos en la vertiente occidental.

La pendiente promedio de estas quebradas asciende a 4,0 % y la de las vertientes oriental y occidental del llano a más o menos 22 % en promedio.

La red hidrográfica de las Cardas tiene un marcado carácter dendrítico y en general es poco densa. La totalidad de las quebradas que conforman esta red se presentan en la actualidad sin escurrimiento superficial. Sólo en las ocasiones de gran precipitación se producen algunos derrames superficiales pero que en todo caso son muy poco comunes.



Las dos hoyas hidrográficas caracterizadas se presentan unidas subsuperficialmente. La evidencia más clara de esto es que el aporte de agua subterránea que confluye al sector Sur del Llano Las Cardas no escurre en totalidad superficialmente por la Quebrada Lagunillas sino, que aflora en un sector pantanoso adosado a la vertiente occidental de dicho llano, desde donde escurre, sin intermitencia el estero Culebrón que remata en Coquimbo.

La tendencia subparalela que muestran las redes de drenaje de Lagunilla y Las Cardas en algunos sectores, se debe a un control que el fracturamiento ha imprimido a las vías ocasionales de escurrimiento superficial y que sin duda tiene un origen tectónico.

Quebrada Tongoy

La Quebrada Tongoy se forma de la confluencia de las Quebradas Camarones y Portugués que se verifica aproximadamente a unos 5,0 kms. al SSE del pueblo de Tongoy.

La Quebrada Camarones tiene sus cabeceras unos 23,0 kms al Suroriente de la desembocadura del estero Tongoy y en su recorrido recibe la tributación de las quebradas: Verde, Chucarillos, El Potrero, Divisadero y Humo Corral. Esta estructura tiene una pendiente promedio de 0,8% y las laderas que la limitan, en general, presentan inclinaciones bastante fuertes.

La superficie hidrográfica del estero Tongoy asciende hasta unos 210 Km² aproximadamente y limita hacia el SW con la hoya del estero Los Almendros, hacia el NE con la de la Quebrada El Romeral y hacia el SE con la hoya de la Quebrada Paihuén. La red descarga hacia el NW por el estero Tongoy que desemboca al Océano Pacífico justamente en el balneario de Tongoy.

Morfológicamente la red hidrográfica del estero Tongoy tiene un carácter dendrítico que en algunos sectores presenta una marcada tendencia subparalela. Esto se debe a que la planicie de depósitos pliocénicos en la cual se emplaza la Quebrada Tongoy presenta una leve inclinación hacia el NNW.



De esta manera todas las quebradas importantes que convergen a la Bahía de Tongoy muestran un marcado alineamiento en este sentido. De allí que los cursos secundarios que conforman la red hidrográfica del estero Tongoy tengan también en algunos sectores una ligera tendencia a alinearse paralelamente entre sí con una dirección NNW y en ocasiones WNW. La baja cementación de los depósitos pliocénicos facilita a su vez estos alineamientos al no ofrecer mayor resistencia a los cursos superficiales esporádicos.



IV. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

1. Antecedentes

Basicamente el Marco Geológico ha sido compilado a partir de los estudios realizados en el área por : Herbert Thomas (1967) a escala 1: 250.000. Roland Paskoff (1970) que estudió geomorfológicamente la zona, presentando mapas a escala 1:250.000, Raymundo Piracés (1977) y Carlos Parraguez D, (Tesis de grado para optar al título de Geólogo, en elaboración) quien ha analizado geológica y estratigráficamente el Llano Las Cardas al nororiente de la zona de estudio.

2. Geología

La descripción geológica de las unidades que afloran en la zona de interés se realizará cronológicamente según las edades asumidas por los distintos autores para las rocas del área.

El mapa geológico adjunto a este informe, resultó de la compilación efectuada a partir de los mapas de Herbert Thomas y Roland Paskoff principalmente.

PALEOZOICO

Basamento Cristalino

Este está constituido por un complejo metamórfico e intrusivo que aflora en una franja adosada a la costa, en la parte meridional del área y que presenta una dirección aproximada Norte-Sur. Las rocas metamórficas son, de preferencia, esquistos micáceos, filitas y gneises con fuerte plegamiento que según Maas y Roeschmann (1971) tendrían una edad ordovícica. A este respecto existe discrepancia debido a que otros autores asimilan este complejo metamórfico a un remanente del Escudo Brasileño de supuesta edad precámbrica.



Las rocas plutónicas que conforman, en parte, el basamento cristalino tienen un carácter por lo general granítico y según H. Thomas (op.cit) tendrían una edad carbonífero-pérmica, obtenida a partir de dataciones realizadas a muestras extraídas algunos kilómetros al Sur de Punta Lengua de Vaca. Estas rocas intrusivas corresponden a lo que se ha dado en denominar Batolito de la Costa.

Los tipos litológicos de mayor difusión, que conforman el complejo intrusivo paleozoico del área, son: granitos, monzogranitos, tonalitas y granodioritas de grano grueso. Por lo general estas rocas se presentan fuertemente alteradas en el sector costero constituyendo relieves suaves. Los detritos provenientes de estas rocas suelen ser de granulometría media tipo areniscas gravosas, que constituyen rellenos de bastante buena permeabilidad, como en el caso de los existentes al Surponiente del Llano Las Cardas.

MESOZOICO

Jurásico

Directamente al oriente de la franja que constituye el basamento cristalino afloran rocas intrusivas graníticas que Thomas (op.cit) data como jurásicas. Este complejo plutónico aparece en forma continua a partir del paralelo 30° 30'S hacia el Sur y hacia el Norte se presenta aisladamente, al nororiente de Tongoy y a unos 18 kms. al Norte de la Quebrada Lagunillas.

El citado autor, en el año 1967, dió a conocer dataciones radiométricas en rocas de este conjunto intrusivo, que arrojaron edades fluctuantes entre 169 y 173 m.a. (Jurásico Medio).

Las rocas de este complejo plutónico son, principalmente, tonalitas y granodioritas de grano grueso y color gris medio a oscuro.

El contacto entre estas rocas intrusivas y las del basamento cristalino es al parecer, esencialmente tectónico y sólo en algunos puntos (al Norte del río Limarí) este es propio de un plutón encajante.



Cretácica

Un variado conjunto de rocas volcánicas y sedimentarias de edad Cretácica afloran en el área de estudio. Estas rocas ocupan, preferencialmente, el sector occidental de la zona de estudio y se encuentran intruidas por rocas plutónicas del Cretácico Superior que a su vez ocupan gran parte del sector central del área de trabajo.

A continuación se procederá a describir estos tipos litológicos, partiendo de los más antiguos, ateniéndose a las unidades formacionales definidas por los distintos autores.

Estratos de Tamaya

Thomas (op.cit.) propone este nombre para la secuencia volcánica que aflora al oeste del meridiano $71^{\circ} 15' W$ y que adquiere su mayor desarrollo en el Cerro Tamaya. Esta secuencia volcánica se ubica en la parte basal del Grupo Ovalle, definido por el mismo autor, y se encuentra constituida por lavas andesíticas con intercalaciones de rocas volcánicas riolíticas y traquíticas, areniscas rojas y andesitas ocoíticas. En algunos puntos es posible observar intercalaciones de lentes de calizas e ignimbritas.

En esta unidad no se han encontrado fósiles, sin embargo, dada su posición estratigráfica Thomas (op.cit.) les ha asignado una edad valanginiana o berriasiana.

Los Estratos de Tamaya se encuentran intruidos por rocas graníticas del Cretáceo superior que provocan, en algunos puntos, efectos de metamorfismo de contacto a los que se asocian fenómenos mineralizadores.

Estratos de Reloj

Bajo este nombre ha sido agrupado un conjunto de rocas volcánicas, sedimentarias marinas y continentales que sobreyacen a los Estratos de Tamaya.



Esta unidad, de carácter informal, está representada por una secuencia de lavas y brechas andesíticas, andesitas ocoíticas, calizas marinas fosilíferas y areniscas rojas. La sección más representativa de este conjunto litológico se ubica a unos 7 Km. al Sur de la ciudad de Ovalle.

El espesor máximo determinado para esta secuencia (CORVALAN, 1966) es de 500 mts. y estratigráficamente se distinguen : un nivel volcánico andesítico de aproximadamente 200 mts. de potencia, que se dispone en el techo de la secuencia; un nivel calcáreo con calizas y coquinas de más o menos 90 mts. de potencia que presentan abundantes fósiles; y un nivel volcánico brechoso andesítico de aproximadamente 210 mts. de potencia que se ubica en la base de la secuencia.

Corvalán (op.cit.) estudió las asociaciones faunísticas presentes en los niveles marinos y sugirió una edad valanginiana para la secuencia.

Formación Arqueros

Esta formación, definida por Aguirre y Egert (1962), comprende una secuencia de andesitas porfíricas y calizas marinas que lleva en su parte superior mantos de manganeso. Las rocas de esta formación afloran en una franja que se dispone con un rumbo aproximado Norte-Sur y ocupan el sector oriental del área de estudio.

En el Norte de la zona de trabajo, H.Niemeyer (1973) caracteriza esta formación, de abajo hacia arriba, como sigue :

- 45 mts. de lavas andesíticas porfíricas y brechas rojizas.
- 30 mts. de areniscas calcáreas y calizas arenosas con fósiles marinos.
- 60 mts. de andesitas porfíricas y brechosas, de colores grises y verdes.
- 85 mts. de ocoitas con intercalaciones delgadas de areniscas rojas y andesitas.
- 80 mts. de andesitas porfíricas y brechosas con intercalaciones de areniscas calcáreas. Espesor observado : 300 mts.



Según Thomas (op.cit), las intercalaciones marinas que se observan en esta formación al Norte del paralelo $30^{\circ} 15' S$ desaparecen hacia el Sur de dicha latitud, siendo reemplazadas por intercalaciones de origen continental.

Los fósiles encontrados han permitido asignar una edad hauteriviana- barremiana para esta formación.

La Formación Arqueros sobreyace concordantemente a los Estratos del Reloj e infrayace concordantemente a la Formación Quebrada Marquesa.

Formación Quebrada Marquesa

Esta formación fue definida por Aguirre y Egert en el año 1962 y se compone de : conglomerados y brechas sedimentarias, lahares y flujos de lava y lavas brechosas andesíticas; todos de origen continental. En la sección basal de esta formación se han encontrado areniscas marinas con fósiles que algunos han asimilado a la parte superior de la Formación Arqueros.

Las rocas de esta formación ocupan el extremo oriente del área de estudio como puede apreciarse en el mapa que se adjunta a este informe.

Los 450 mts. superiores de la Formación Quebrada Marquesa presentan niveles manganesíferos que se encuentran asociados a estratos de areniscas amarillas bandeadas con intercalaciones de calizas y chert negro.

La potencia de esta formación es extremadamente variable. En las inmediaciones de Andacollo, Thomas (op.cit.) estimó espesores de unos 1.200 mts. en cambio, unos cuantos kilómetros más al norte el espesor aumenta en forma violenta alcanzando unos 2.500 mts. según el mismo autor.

Dada la posición estratigráfica de esta formación y los fósiles encontrados en su base, se asigna a este conjunto litológico una edad aptiana-albiana.



Los Estratos de Tamaya, Estratos del Reloj, la Formación Arqueros y la Formación Quebrada Marquesa constituyen un gran conjunto litológico, representativo del Neocomiano y Cretácico medio, que en la zona de estudio se encuentra afectado por un intrusivo granítico de vastas dimensiones. Este gran cuerpo plutónico se dispone, aproximadamente, en una franja Norte-Sur que ocupa el sector oriental del área de estudio.

Según Ruiz y otros (1965) la edad arrojada por una muestra de este plutón, determinada por el método plomo-alfa, sería de 65 ± 10 millones de años. Esto permite asignar un rango cenomaniano-turoniano al batolito.

Las rocas que conforman este cuerpo intrusivo son de preferencia granitos, granodioritas y dioritas.

CENOZOICO

Terciario

Depósitos de origen marino.

En el área de estudio se presentan grandes extensiones aterrazadas que exhiben depósitos arenosos fosilíferos, intercalados con coquinas, que muestran un grado de cementación bastante pobre.

Según estudios sísmicos realizados en el área de la bahía de Tongoy (MEINARDUS, 1961), estos estratos se disponen sobre el basamento granítico y metamórfico y, en parte, sobre posibles conglomerados de origen fluvial.

Estos depósitos marinos están constituidos por una alternación de areniscas y coquinas donde las primeras suelen ser conglomerádicas en los niveles basales para ir disminuyendo en granulometría hacia arriba hasta rematar en limos arenosos y arcillas limosas.



La potencia de estos depósitos es en general fuerte, alcanzando en algunos casos varios centenares de metros. Los estudios sísmicos realizados Meinardus (op.cit.) y Rocroi (1964) acusan una potencia en la bahía de Tongoy de mas o menos 500 mts. Igualmente Parraguez (op.cit.) determinó gravimetricamente potencias de aproximadamente 400 mts. para estos depósitos en el sector norte del Llano Las Cardas.

La fina granulometría de los niveles arenosos, en los cuales siempre existe una abundante matriz limo-arcillosa, acusan ambientes deposicionales de baja energía que se habrían generado con motivo de la transgresión pliocena en abrigadas cuencas como lo fueron el Llano Las Cardas y en menor grado, el sector que se extiende al Sur de Tongoy. La fuerte representatividad de finos en estos sedimentos hace que la permeabilidad de los mismos sea muy baja.

La edad de estos depósitos es aceptada como pliocena aún cuando existen algunos autores como Jordan (1929) que sugirió que en la base podría estar representado el Mioceno, lo que consecuentemente implicaría que la transgresión marina sería miocena superior-pliocena.

Estos sedimentos marinos se encuentran en parte interdigitados en sus sectores terminales con sedimentos continetales terciarios e infrayaciendo a depósitos fluviales cuaternarios recientes.

Depósitos de origen continental.

Existen, en la zona, extensas áreas cubiertas por depósitos fluviales antiguos que Thomas (op.cit.) denomina sedimentos continentales. La edad de estos depósitos sería, presuntivamente, terciaria superior - cuaternaria inferior según insinuaciones hechas por Thomas (op.cit.) y Paskoff (op.cit) al respecto.

Estos sedimentos se caracterizan por una granulometría gruesa del rango ripio y bolones, gran angulosidad y poquísimas esfericidad de los clastos, mala selección y casi ausencia de una fracción fina en la matriz lo que provoca una buena permeabilidad en estos materiales de relleno. Los fragmentos mayores son casi en su totalidad volcánicos y graníti cos provenientes de las unidades litológicas descritas ante riormente.



Paskoff (op.cit.) les asigna a estos depósitos una génesis torrentosa de vías de escurrimiento superficial con alto nivel energético. Afirma, además, que es posible que el clima haya sido fluctuante, lo que hubiera producido variaciones considerables en los caudales de escurrimiento, hecho que necesariamente condicionó de algún modo la depositación de estos gruesos materiales.

Cuaternario

Depósitos marinos.

Coronando la secuencia marina terciaria descrita anteriormente aparece un nivel coquinoso al que Thomas (op.cit.) hace mención como losa, que contiene abundantes fósiles que corresponden a formas actualmente vivientes. Esta capa es considerada de edad pleistocena.

Depósitos continentales.

En el sector de la bahía de Tongoy existen áreas abiertas por depósitos aluviales Cuaternarios que se emplazan en quebradas casi paralelas entre sí, excavadas en los sedimentos marinos Terciario-Cuaternario de la zona. Estas quebradas son, de oriente a poniente, las siguientes : Quebrada El Rome^{ra}l, Quebrada Piedras Coloradas, Quebrada Camarones (las 2 últimas forman la Quebrada Tongoy), Quebrada Salinita y Quebra^{da} Pachingo.

La mayor concentración de depósitos aluviales en la zona se encuentra en el sector nororiental del área desde unos 15 Kms. al Sur de Tambillo hasta unos 5 Kms. al Norte del sector denominado Cerrillos en el Llano Las Cardas.

Estos depósitos aluviales se caracterizan por presentar una heterogeneidad granulométrica bastante alta, variando desde arenas medias a finas hasta sedimentos ripio-gravosos, que en general muestran buena permeabilidad. Estos sedimentos constituidos en su mayoría por detritos de rocas volcánicas y plutónicas provenientes de las unidades litológicas aflorantes en la zona que fueron descritas anteriormente y que aportan materiales de granulometría media a alta. Las fracciones



finas que pueden aparecer en los depósitos deben su origen a rocas sedimentarias detríticas interestratificadas en las secuencias volcánicas; y como en el caso de la bahía de Tongoy a los depósitos areno-limosos pliocénicos poco compactados por lo que circulan las vías de escurrimiento que transportan los sedimentos aluviales en cuestión. Es por esta razón que en el área de Tongoy la concentración de sedimentos finos (limosos) en los depósitos aluviales es mucho más grande que en el sector del Llano Las Cardas.

La fuerte potencia de estos depósitos en algunas áreas está controlada esencialmente por las estructuras tectónicas presentes en la zona. La ocurrencia de fosas tectónicas como la existente en el sector del Llano Las Cardas, sin duda, ha facilitado la gran acumulación de detritos en estas depresiones.

Los rellenos aluviales cuaternarios que existen en los sectores de Tongoy y Las Cardas conforman una serie de estructuras geomorfológicas que se indicaron anteriormente y que obviamente responden a las formas topográficas que la tectónica de la zona a modelado.

Conjuntamente con estos depósitos aluviales, en la zona existen detritos de origen lagunar cuya extensión areal es muy reducida y cuya granulometría es muy inferior a la descrita para los rellenos aluviales. En este caso los sedimentos cuando mucho alcanzan el rango de limos arenosos y por lo general corresponden a limos fuertemente arcillosos. Sedimentos de este tipo aparecen en el sector suroccidental del área de estudio. Suelen encontrarse interdigitados con sedimentos aluviales en las áreas donde antiguamente desembocaban pequeños cursos de escurrimiento superficial a las paleo-lagunas.

En algunos sectores aislados existen también depósitos cuaternarios eólicos que corresponden a paleodunas donde la granulometría de los sedimentos es bastante pequeña, alcanzando como máximos valores del rango arenas finas. Según Paskoff (op.cit.) estos depósitos corresponderían al Cuaternario inferior. La principal acumulación de estos detritos existe al poniente de Tambillos, directamente al Sur del camino que une esta localidad con Tongoy y su extensión areal es muy reducida.



3. ESTRUCTURAS

En el sector suroriental del área afloran rocas paleozoicas que exhiben una alta complejidad estructural producto de un gran número de deformaciones tectónicas que las han afectado.

En general, en la zona se observan dos familias de fallas que afectan a las rocas. La primera de ellas corresponde a un conjunto de fallas de rumbo NNW que usualmente presentan gran recorrido, llegando algunas de ellas a tener varias decenas de kilómetros. Esta familia de fallas es de tipo normal y afectan con mayor intensidad a las rocas volcánico-sedimentarias que afloran al oriente de la zona. El otro grupo corresponde a una familia de fallas de rumbo NNE que es poco numerosa y que se caracteriza por fallas normales de poco recorrido.

La principal estructura de interés hidrogeológico presente en el área corresponde a una fosa tectónica definida por Parraquez (op.cit.) mediante gravimetría en el Llano Las Cardas. La planicie que se extiende desde el C^o Pan de Azúcar hacia el Sur hasta el pueblo El Peñón correspondería al bloque deprimido del graben que se encontraría limitado hacia el oriente y poniente por dos fallas casi Norte-Sur. Según el citado autor esta fosa tectónica estaría también limitada hacia el Sur por una falla casi E-W que correría a lo largo de la Quebrada Lagunillas y la Quebrada Maitencillo. Esta estructura presenta saltos de falla de gran magnitud, estimándose estos en varios centenares de metros ya que la potencia de los sedimentos que rellenan la fosa alcanzan hasta unos 700 mts. en algunos puntos. Al Sur de la falla E-W que corre a la latitud de El Peñón se prolongan las dos fallas N-S que constituyen el graben de Las Cardas, las que tienden a acuñarse unos cuantos kilómetros al Sur de Tambillos. Esta situación permite postular que el relleno Cuaternario que se emplaza desde El Peñón hacia el Sur también reposa en un bloque deprimido que sería la continuación del bloque del Llano Las Cardas; aún cuando en este caso el descenso relativo sea mucho menor que en el anterior. Esto último se puede aseverar ya que se conoce la potencia de este relleno mediante algunos sondeos que acusan magnitudes no superiores a 50 mts.



Un fenómeno análogo al descrito se presenta hacia el Sur de la Bahía de Tongoy. En este sector aparece una extensa planicie limitada al poniente por un cordón de cerros donde afloran rocas metamórficas y plutónicas paleozoicas (este cordón un poco más al Norte de la desembocadura del río Limarí toma el nombre de Altos de Talinay) y al oriente por un cordón de cerros constituido por rocas volcánicas e intrusivas Cretácicas. Esta planicie cuyo eje mayor presenta un rumbo casi Norte-Sur está limitada al poniente por una gran falla normal de varias decenas de kilómetros de longitud que alcanza casi hasta el extremo de Punta Lengua de Vaca. Al oriente de esta planicie los autores que han estudiado la zona no han trazado una falla a todo el largo de la misma, sin embargo el marcado alineamiento del cordón oriental hace pensar en una posible fractura hoy cubierta por los depósitos marinos y continentales que yacen a los pies del cordón indicado. De ser así, la gran explanada que se extiende al Sur de Tongoy correspondería al bloque deprimido de un amplio graben. Las fuertes potencias de sedimento que Meinardus y Rocroi (op.cit.) determinaron gravimetricamente en este sector, hacen más factible aún la posibilidad de que la estructura que contiene los depósitos sea una fosa tectónica.

De acuerdo a estas consideraciones resulta fácil visualizar entonces la importancia que ha tenido la tectónica en la acumulación de estos grandes paquetes sedimentarios que, como en el caso del Llano Las Cardas, presentan buenas expectativas hidrogeológicas dada la alta permeabilidad de los sedimentos.

Estas fosas tectónicas se habrían producido, según los autores, como resultado de una fase distensiva que comenzara a fines del Terciario, sincrónicamente con la transgresión Mio-Pliocénica que afectó el borde occidental del continente. Esto permite suponer que posiblemente bajo los depósitos Cuaternarios aluviales que existen en el sector Sur del Llano Las Cardas, se encuentran sedimentos marinos pliocénicos cuya granulometría, presumiblemente, sería muy fina dadas las condiciones de bajísima energía que habrían existido en estas abrigadas cuencas.



V. HIDROLOGIA

1. Precipitaciones

El régimen pluviométrico, los montos de las precipitaciones y su distribución en el tiempo y en el espacio, constituye el elemento determinante de las condiciones climáticas de la zona : las precipitaciones, gobernadas por la permanente posición del anticiclón del Pacífico, ocurren solamente en forma esporádica cuando pasajeras depresiones del frente polar logran penetrar al área. Dado el mecanismo de ocurrencia de dichas depresiones, estas alcanzan la zona muy debilitadas, reflejándose dicho fenómeno, en los reducidos montos de las precipitaciones y el escaso número de días con lluvia.

Las condiciones señaladas anteriormente conducen a una distribución de las precipitaciones concentradas en los meses de Mayo-Agosto y un monto total anual reducido.

La caracterización del régimen pluviométrico específicamente para la zona de estudio se ha realizado basándose en la estación La Serena que posee un total de registro de 109 años y que a su vez refleja en forma muy satisfactoria el régimen.

El análisis de la estación y su distribución se ha extraído del trabajo realizado por E. Ramirez y publicado por CORFO (+). De esa manera la zona quedaría caracterizada pluviométricamente por :

Estación La Serena (Lat. 29° 54' - Long. 71° 15') Alt. 132 mts.

PROBABILIDAD (%)	5	20	50	85
TOTAL ANUAL (mm)	284,7	140,9	67,5	26,1

La distribución mensual de los totales anuales se ha realizado sólo para los años que poseerán interés en el análisis posterior de recarga (50% y 85%). Las precipitaciones se han concentrado deliberadamente, dado el régimen que las gobierna , en los meses comprendidos entre Mayo y Agosto.

(+) "Precipitaciones máximas en 24 hrs." E. Ramirez, CORFO-Depto. Rec. Hidraulico 1974.



DISTRIBUCION MENSUAL PRECIPITACIONES ANUALES

ESTACION LA SERENA

P (%)	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
50	10.4	13.4	38.9	4.8
85	4.3	4.5	14.3	3.0

Adicionalmente, dada la metodología posterior que se utilizará para el cálculo de recarga y generación de caudales, se analizó el número de días con precipitación en cada mes y su distribución según rangos. La información básica se ha extraído de el trabajo de CORFO (+) y sustentada en ella se ha realizado la siguiente distribución.

DIAS CON PRECIPITACION-DISTRIBUCION EN RANGOS

AÑO 50 %				
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Días c/pp	3.0	3.0	10.0	2.0
PP 1 mm	2.3	2.4	7.7	1.2
PP 10 mm	-	1	1	-

PP MAX en 24 Hrs : 24,0 mm.

AÑO 85%				
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
Días c/pp	1.1	1.2	3.8	1.6
PP 1 mm	0.8	0.9	2.7	1.1
PP 10 mm	-	-	-	-

PP MAX en 24 Hrs : 8 mm.



2. Evaporación

La evapotranspiración potencial imperante se ha calculado en base a la expresión de Thorntwaite. Si bien este parámetro puede sufrir variaciones importantes por condiciones locales, ellas no poseen mayor gravitación sobre la determinación de disponibilidades de agua.

La expresión de Thorntwaite está regida básicamente por la temperatura y la latitud de acuerdo a :

$$\text{EVAPORACION MENSUAL: } 1.6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

donde:

$$I : \sum_{1}^{12} i_m$$

$$i_m : \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

$$a : 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,792 \times 10^{-2} I + 0.49239$$

La evapotranspiración mensual alcanzada debe corregirse por la latitud de acuerdo a tablas standar.

Adoptando la estación La Serena se han utilizado las temperaturas medias mensuales siguientes :

ESTACION LA SERENA

$\bar{T}_m (^{\circ}\text{C})$	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	18	18	16,7	14,5	13,1	11,8	11,4	11,7	12,5	13,7	15,1	16,7

La evapotranspiración obtenida para las condiciones señaladas se detalla a continuación :

ET (mm)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	93,0	88,4	71,8	55,9	44,0	37,4	36,4	36,5	47,6	56,7	71,4	81,4



3. GENERACION DE CAUDALES

Antecedentes

Las diversas alternativas de abastecimiento de la Cadena de Balnearios de la IV Región que se han esbozado a través de diversos estudios, incluye como una de ellas la construcción de un embalse en la Quebrada Lagunillas que almacenaría los recursos superficiales de la hoya, en especial aquellos de invierno.

Con el afán de determinar la factibilidad de dicha solución, este estudio contempla un análisis de los recursos de la hoya y su contraste con las necesidades.

Es necesario señalar que la Quebrada Lagunillas carece de control hidrométrico, situación que ha exigido recurrir a una generación sintética de caudales, basada en morfometría y un balance a nivel del suelo.

La metodología se funda en el análisis de las precipitaciones y su destino. Conceptualmente, al ocurrir una precipitación una fracción de ella se infiltrará dentro de la primera capa del suelo y el exceso sobre esta infiltración escurrirá superficialmente. La separación de ambas dependerá de las características edafológicas del suelo, en especial de su velocidad de infiltración y de la intensidad con que ocurra la precipitación.

Si la intensidad media horaria obtenida a través de Grunsky es superior a la velocidad de infiltración esta última determinará el volumen que se incorpora al suelo y el exceso corresponde a escorrentía. En caso contrario toda la precipitación se utilizará y no existirá escorrentía.

El análisis señalado se ha realizado para cada lluvia y cada mes, considerando separadamente el área de cerros y de valle. Se ha asignado características a los suelos en base al levantamiento aerofotogramétrico realizado por IREN.

Generada la escorrentía en los cerros, esta fluirá a través de la red de drenaje hacia el sistema principal (Quebrada Lagunillas) produciéndose una nueva infiltración en los lechos.

Dicha infiltración se ha determinado a través de asignar al área de inundación características edafológicas.



Finalmente el exceso remanente constituirá escorentía neta y circulará a través de la Quebrada Lagunillas como recurso superficial.

CAUDALES GENERADOS

El análisis de precipitaciones realizado en capítulo anterior ha determinado la distribución de ellas en rangos de ocurrencia y el número de días asociado, que ha habilitado la determinación de intensidades medias diarias (Anexo 1).

Por otra parte se ha determinado la morfometría de la cuenca alcanzándose un área de $343,4 \text{ Kms}^2$ como subcuenca tributaria de cerros, sobre una superficie total de la hoya de 503 Kms^2 . Para determinar la infiltración sobre la subcuenca se ha asignado una velocidad de acuerdo a la siguiente expresión:

$$V_i : 10KT^{-a}$$

V_i : velocidad de infiltración (mm/hora)
 K : constante
 T : tiempo (minutos)
 a : constante

De acuerdo al Proyecto Aerofotogramétrico los suelos atribuibles al sector de la subcuenca corresponden a estratos delgados de composición fundamentalmente arcillosa. Bajo tales características la velocidad de infiltración queda definida por:

$$V_i : 10 \times 19.2 \times T^{-0,25}$$

cuya integración permite calcular la infiltración acumulada en un determinado período.

Apoyados en la metodología esbozada y en las características anteriores los caudales generados tanto para un año 50 % como 85 % de probabilidad de excedencia serían los siguientes:



CUADRO N° V.3.1

CAUDALES QUEBRADA LAGUNTILLAS

AÑO 50 %

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	
Escorrentía (m ³ /s)	0.0	0.009	2.5	0.0	$\bar{Q}_{\text{anual}}: 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$
					Volumen Anual : 7.12 Mm ³

AÑO 85 %

Escorrentía (m ³ /s)	0.021	0.0	0.64	0.0	$\bar{Q}_{\text{anual}}: 0.058 \text{ m}^3/\text{s}$
					Volumen Anual : 1,8 Mm ³

Los caudales generados merecen algunos comentarios. Si bien la metodología utilizada conceptualmente refleja exactamente el fenómeno, las necesarias suposiciones realizadas especialmente en el caso de los suelos puede llevar a ciertas imprecisiones. Pese a ello es notoria la dependencia de la escorrentía de la intensidad con que ocurran las precipitaciones. Dado el régimen pluviométrico que gobierna la zona, escurrimiento superficial de importancia se producirá sólo en el caso de lluvias de corta duración y gran intensidad. Ello queda reflejado en el mes de Julio que para efectos prácticos sería el único mes en que estaría garantizada la escorrentía. Por otra parte la tendencia decreciente que muestran las precipitaciones en el área, reflejada solo por el año 50 % que de acuerdo a G.Wood (+) con una estadística hasta 1968, en Serena sería de 112,5 mm. y de acuerdo a E.Ramirez con estadísticas hasta 1973 es de 67,5 mm., valor que no varía sustancialmente ampliando la estadística hasta 1977, constituye un antecedente decisivo para considerar altamente riesgoso un abastecimiento de la cadena de balnearios a través de recursos superficiales embalsados.

Por otra parte si analizamos los resultados obtenidos, las necesidades estimadas en un volumen embalsado sin contar evaporación en torno a 4.000.000 m³, solo serían satisfechas en un año 50 %, presentándose un deficit superior al 50 % en un año 85 %.

(+) G.Wood - Precipitaciones Copiapó-Aconcagua.CORFO-Depto. Rec. Hidráulicos 1971.



VI. HIDROGEOLOGIA

1. INTRODUCCION

La caracterización de la hidrogeología regional se ha esbozado preliminarmente a través de la geología regional identificándose diversos sistemas susceptibles de representar una alternativa de abastecimiento de los balnearios que nos ocupan.

Basicamente merecen un análisis de mayor detalle tres sistemas:

- A) Unidad De Terrazas Costeras
- B) Estero Pongoy
- C) Llano Las Cardas

A.- Unidad De Terrazas Costeras

Los sedimentos marinos que se ubican al oriente de Coquimbo pueden seguirse hacia el Sur hasta La Herradura donde se ven interrumpidos por un pequeño cordón de cerros que remata en el mar al oeste de dicho balneario.

Desde allí hacia el Sur se observa, adosada al flanco occidental del cordón Oeste del graben de Las Cardas, una franja de ancho promedio 1.000 mts. constituida por materiales marinos y escombros de falda que reposa sobre un zócalo plutónico. La potencia de estos rellenos es bajísima y suelen ocupar depresiones existentes en la roca base que aflora en innumerables puntos a lo largo de dicha franja. Este conjunto de detritos se prolonga hacia el Sur hasta la desembocadura de la Quebrada Lazunillas donde se ve interrumpido por un pequeño espolón rocoso que termina en el mar.

En el área de la desembocadura de la Quebrada Lazunillas se presentan depósitos marinos plio-cuaternarios aterrazados, análogos a los de Coquimbo. Estos sedimentos se internan varios kilómetros hacia el Este y están constituidos por una sucesión monótona de areniscas arcillosas y coquinas. Hacia el Sur estos depósitos alcanzan el balneario de Huanaqueros.

Los sedimentos pliocénicos marinos que se presentan de Lazunillas al Sur hasta Huanaqueros, suelen encontrarse semicubiertos por una delgada capa de detritos arenosos Cuaternarios que no excede los 8.0 mts. de potencia.



Desde el punto de vista hidrogeológico, esta franja discontinua que se presenta directamente en el litoral, se considera carente de interés como alternativa de abastecimiento. Basicamente las razones que obligan a descartarla se resumen en;

- Las acumulaciones sedimentarias que alcanzan cierta potencia son eminentemente finas (del rango limos) y por consiguiente de permeabilidades bajas. Es el caso del sector Lazunillas-Guanaqueros. Ello conduce a rendimientos inferiores a 1 l/seg. para captaciones tipo norias que comprometan todo el espesor saturado.
- El respaldo hidrológico que presenta esta franja es muy reducido y por lo tanto extracciones de cierta magnitud no cuentan con la recarga suficiente.
- La presencia de rellenos preferentemente marinos en este sector hace proveer una mala química en las aguas.

Los argumentos presentados conducen a concluir la imposibilidad de fundar soluciones particulares en esta unidad obligando a la búsqueda de sistemas más amplios que permitan sustentar la demanda planteada.



B. Llano Las Cardas

B.1 Geología de Subsuperficie

El relleno marino-continental del graben de las Cardas ha sido objeto de un gran número de perforaciones realizadas de preferencia por CELZAC Ltda. y por la Dirección de Riego del Ministerio de Obras Públicas, con el objeto de obtener agua subterránea en la zona.

El estudio de subsuperficie de Las Cardas se ha apoyado en un total de 29 perforaciones practicadas en el llano, tres pozos del sector Tambillos (Quebrada Las Cardas) y una columna estratigráfica levantada por Parraquez (op.cit.) en una noria de 14 mts. ubicada en el sector denominado Venus, en el sector centro-oriental del Llano Las Cardas, (cf.Fig.Nº3)

En forma inicial, podemos decir que los sedimentos emplazados en el sector Sur del Llano Las Cardas son eminentemente continentales y que hacia el norte se interdigitan con depósitos marinos de menor granulometría. Estos materiales continentales presentan un tamaño de grano del rango gravas arenosas que en algunos casos alcanza el calibre de ripios gravosos. Estos sedimentos están constituidos fundamentalmente por clastos plutónicos graníticos y volcánicos andesíticos que son aportados por la litología circundante; en poquísima proporción se presentan también clastos de rocas sedimentarias calcáreas, en especial en el sector del Llano Las Cardas. La matriz que suele acompañar a estos depósitos es arenosa fina y volumetricamente se observa fuertemente subordinada a la fracción clástica, salvo en el sector de Quebrada Las Cardas donde esta suele ser alta. Estos sedimentos muestran una esfericidad y redondeamiento bastante pobre, lo que estaría indicando que la etapa de transporte ha sido, por lo general, breve.

En el perfil que se adjunta (fig.Nº 3) podemos observar una sección longitudinal que va desde Tambillos por el Sur hasta Tierras Blancas por el Norte. Los dos pozos que se ubican en el extremo sur del perfil se emplazan en la Quebrada Las Cardas, el más extremo (Nº CZ 1030) a la latitud de Tambillos y el segundo (Nº CZ 324) unos 4,5 Kms. al Norte de dicho pueblo. Luego el resto de las



perforaciones que aparecen en el perfil se ubican en el Llano Las Cardas, a excepción de las tres últimas que se emplazan directamente en las terrazas marinas de Coquimbo y Peñuelas ya fuera de dicho llano.

En total son cuatro las perforaciones que han alcanzado la roca del relleno. Las más australes acusan que el depósito en la Quebrada Las Cardas es ostensiblemente de menor potencia que en el sector del llano y esto se debe a una probable falla Este-Oeste que ha permitido un descenso mucho mayor del bloque Norte (cf. Mapa 1:250.000). Los pozos, que ya en pleno llano acusan la roca basal, sin duda han rematado en apófisis intrusivos análogos a los aflorantes más al Norte como son el C^o Pan de Azúcar, C^o La Greda y el C^o El Encanto. Estos últimos por presentar una mayor cota no alcanzaron a ser cubiertos por los sedimentos de relleno.

Los materiales continentales se presentan entre las perforaciones CZ N^o 1.030 y CZ N^o 631; de esta última hacia el norte se observa a profundidad un claro predominio de sedimentos areno-limosos de origen marino. Incluso el sondeo CZ N^o 631 acusa marcados interdigitaciones marinas continentales (cf. Perfil N^o 3).

Estos sedimentos continentales, como se dijo anteriormente, muestran una granulometría por lo general gruesa acompañada de fracciones finas que en el sector Sur del Llano Las Cardas suelen ser comunes, sobre todo hacia el techo de la secuencia. La participación regularmente alta de fracciones limosas en estos depósitos se debe fundamentalmente a la confluencia de quebradas que se produce en este sector, lo que necesariamente disminuye mucho los grados de energía que las vías ocasionales de escurrimiento presentan antes de llegar a la zona de tributación. En el extremo sur del Llano Las Cardas, sector donde se aprecia esta participación de finos en los depósitos continentales, confluyen las Quebradas Las Cardas, Maitencillo y Martínez. Estos depósitos suelen presentar, además, lentes arenosos y limo arcillosos de varios metros de potencia que se emplazan entre los materiales gravo-arenosos más representativos. La complejidad estratigráfica de estos rellenos, acusada por las perforaciones, no permite correlacionar pequeñas unidades de un pozo a otro, sino sólo unidades mayores que corresponden a gruesos paquetes de sedimento. En el sector sur del llano



Las Cardas la potencia de estos sedimentos continentales es posiblemente muy grande y lo más probable es que estos se presenten sobreyaciendo a depósitos finos de origen marino producto de la transgresión pliocénica experimentada en la zona de estudio. Según los antecedentes gravimétricos de que se dispone (Parraguez, op.cit.) es posible esperar en este sector potencias de varios centenares de metros de sedimento, de los cuales presumiblemente un buen porcentaje sean de tipo continental (cf. Perfil N°3).

Las permeabilidades de estos rellenos continentales son altas y la más clara demostración de esto la constituyen los fuertes volúmenes de agua subterránea que se están extrayendo a partir de los sondeos ubicados un poco al Norte del pueblo El Peñón, entre los que se cuentan aquellos que surten de agua a Andacollo. Además las curvas de agotamiento de los pozos CZN° 1135, CZN° 740, CZN° 631 y CZN° 828 indican que la depresión producida al bombear caudales promedio de más o menos 20 Lts/seg. es muy baja, lo que sin duda implica que las permeabilidades de dichos depósitos son bastante altas.

La continuidad lateral de los depósitos continentales que se emplazan en la Quebrada y Llano Las Cardas es bastante grande y no resulta muy aventurado proyectar estos sedimentos hasta las vertientes oriental y occidental tanto del llano como en el sector Sur de la Quebrada Las Cardas. En sólo algunos puntos esta situación parece no cumplirse, como es el caso del pueblo de Tambillos, donde tenemos sedimentos de fina granulometría (del rango limos) en la confluencia de las Quebradas El Retamo y Las Cardas. En general la continuidad lateral de los rellenos aluvionales gruesos no resulta alta en los sectores de confluencia entre quebradas. En el caso específico de Tambillos, el nivel base de la Quebrada El Retamo corresponde a la Quebrada Las Cardas y la pérdida de energía en la zona de tributación habría sido la causante de la ocurrencia de estos finos sedimentos.

Por otro lado, en superficie, se puede apreciar que los depósitos continentales a que se hace referencia tienden a aumentar en granulometría, levemente, hacia los flancos, debido al aporte de materiales tipo escombros de falla que presentan una fracción clástica de tamaño algo mayor.



En resumen, es posible esperar una buena continuidad lateral en los rellenos, a excepción de las áreas de confluencia o tributación de quebradas secundarias y en las áreas donde se presentan interdigitándose con rellenos de origen marino; sólo presentándose una leve tendencia al aumento granulométrico hacia los flancos tanto oriental como occidental.

Si se observa el perfil longitudinal adjunto (Nº3), se podrá apreciar que a partir del pozo CZ Nº 631 hacia el Norte, los depósitos continentales descritos engranan con sedimentos de fina granulometría (arenas limo-arcillosas) de génesis marina; que a medida que se avanza en ese sentido llegan a ocupar todo el volumen de rellenos existentes. Estos materiales marinos son arenas finas que usualmente presentan una fuerte fracción limo-arcillosa que juega el rol de matriz y que en algunas ocasiones alcanza hasta un 45% del volumen total de los sedimentos. La composición de estos depósitos es principalmente cuarzo-faldestpática y en forma ocasional se presentan líticos de preferencia plutónicos.

Estos sedimentos marinos afloran en los niveles aterrizados en las cercanías de Coquimbo y en la Quebrada Lagunillas, unos 3 a 4 Kms. antes de que ésta llegue al mar. Los depósitos allí expuestos son una sucesión monótona de areniscas finas y coquinas arenosas, que ocasionalmente presentan algunos niveles conglomerádicos finos fosilíferos. Los niveles coquinosos suelen estar formados principalmente por moldes internos y externos de organismos y los restos calcáreos suelen ser poco frecuentes. En las perforaciones realizadas hacia el sector Norte del Llano Las Cardas, donde se ubican estos sedimentos, los perforistas acusan estos niveles como estratos arenosos gravillentos que sobresalen entre los sedimentos arenolimosos que predominan en estos rellenos.

Debida a la fina granulometría de los sedimentos marinos estos presentan permeabilidades muy bajas. La prueba más clara de esto la constituyen los sondeos CELZAC Nº 1089 y Nº 1091, los que teniendo el nivel estático casi a ras de suelo, bombearon caudales máximos de 2,0 lts/seg. produciendo depresiones superiores a 20 mts. Esta baja permeabilidad en los depósitos areno-limosos del sector central-Norte del Llano Las Cardas es la responsable, en parte del afloramiento del nivel estático el surponiente del Cº Pan de Azúcar donde nace el Estero Culebrón. Las aguas subsuperficiales que avanzan



con una dirección aproximada Norte-Sur, se encuentran con una verdadera barrera de sedimentos impermeables que condicionan una suerte de embalse, que aflora en un área pantanosa, dando origen al Estero Culebrón.

La frecuente presencia de niveles lenticulares y la falta de información estratigráfica precisa en las perforaciones, hacen imposible una correlación más precisa en estos sedimentos marinos. Sólo resulta posible correlacionar grandes unidades, al igual que en el caso de los depósitos continentales.

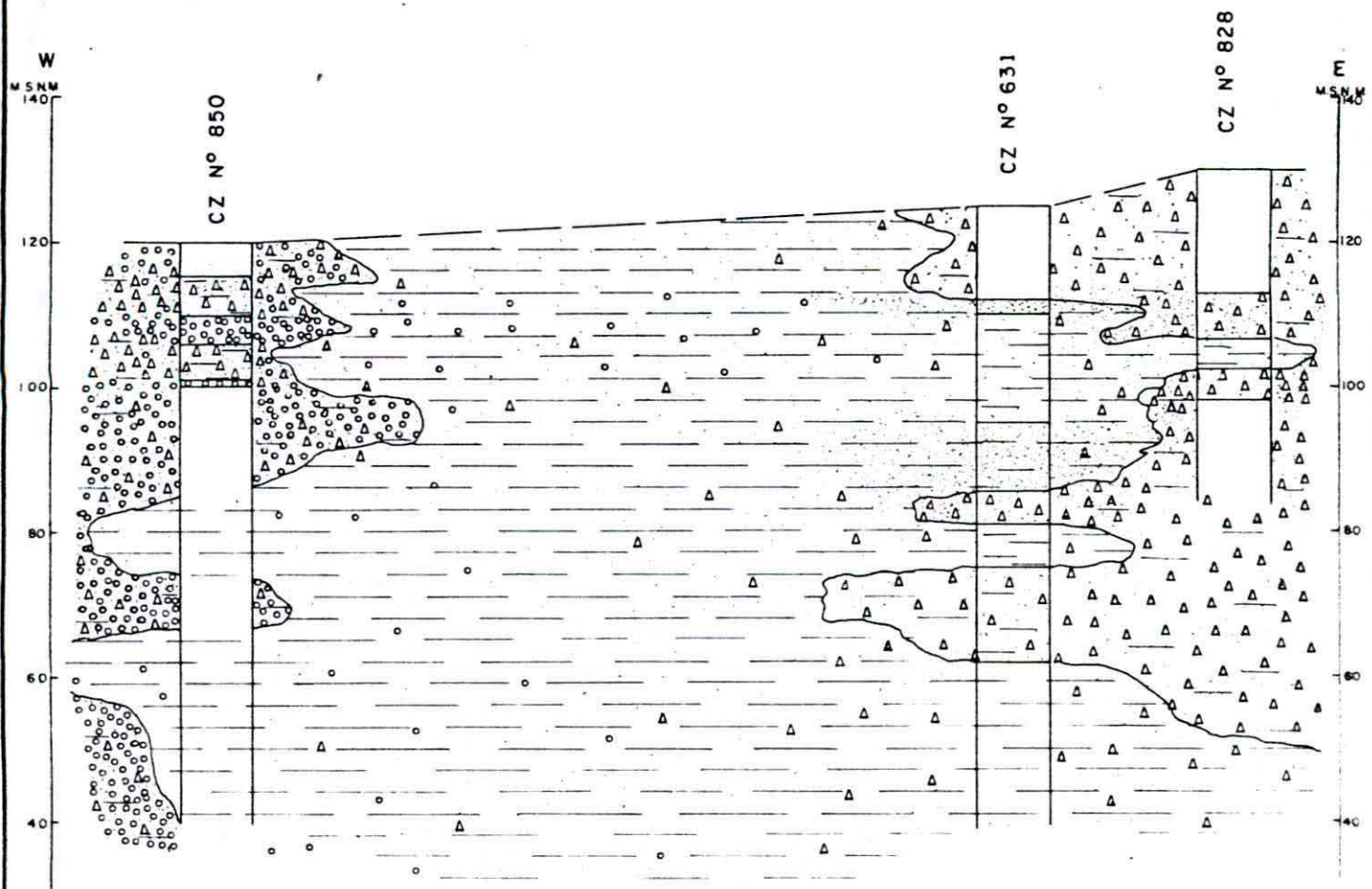
El engrane Norte-Sur de estos depósitos con sedimentos continentales aluviales puede observarse en el mapa N° 2 adjunto a este trabajo. Como muestra dicho mapa el dominio de sedimentos marinos se interna bastante hacia el Sur por el Llano Las Cardas, terminando en una especie de lengua ligeramente elongada hacia el suroriente. A medida que se avanza desde el Sur hacia el Norte se puede apreciar que los depósitos marinos se van adosando, de preferencia, a la vertiente occidental de la planicie de Las Cardas, hasta rematar en contacto con ella un poco más al Sur del C^o Pan de Azúcar.

Los sedimentos adosados a la vertiente oriental del Llano Las Cardas corresponden a sedimentos continentales que se interdizitan hacia el centro del llano.

La continuidad lateral de los sedimentos marinos que afloran a modo de una lengua elongada hacia el Suroriente en el Llano Las Cardas no es muy clara. De hecho en el sector Norte no existen problemas para extender lateralmente los sedimentos marinos hacia la vertiente occidental, pues no se han evidenciado engranes importantes con materiales detríticos provenientes de la denudación del cordón Oeste del Llano Las Cardas sino sólo una parcial cobertura de muy poca potencia de materiales recientes. Sin embargo, hacia el oriente los sedimentos marinos se interdizitan con niveles detríticos continentales como los acusados en la columna estratigráfica de la noria Venus, de Parraguez (op.cit.) donde el nivel arcilloso del sector inferior presumiblemente sea de origen marino. Por desgracia la información de que se dispone en este caso arroja poca luz sobre la zona de

PERFIL TRANSVERSAL W-E LLANO LAS CARDAS

Escala V= 1:1.000
H= 1:20.000



ZONA DE INTERDIGITACIONES LATERALES
MARINO - CONTINENTALES

ZONA DE INTERDIGITACIONES
MARINO - CONTINENTALES

SIMBOLOGIA

-  RIPIO
-  GRAVA
-  ARENA
-  ARCILLA



contacto lateral entre los rellenos marinos y continentales que se ubican en el flanco oriental del Llano Las Cardas, salvo hacia el Sur, a la latitud del C° Bravo (cf. Fig. N° 4).

Lo que sí resulta muy probable es que a profundidades mayores a las alcanzadas por las perforaciones, los depósitos marinos se extiendan lateralmente hasta los mismos flancos de la planicie tectónica de Las Cardas ya que inicialmente la ingresión marina pliocénica sin duda avanzó hasta más al Sur del sector en que se evidencian los engranes superficiales acusados por los pozos. Esto ocasionó que el sector del graben de Las Cardas fuese ocupado en toda su extensión durante la transgresión y por consiguiente es obvio que los depósitos generados durante ese lapso alcancen fácilmente las vertientes de la fosa tectónica.

De este modo resulta consecuente aseverar que presumiblemente los depósitos limosos marinos pliocénicos infrayan haciendo de zócalo impermeable a los rellenos más recientes continentales que se ubican en el sector de Lagunillas.



B.2 Acuíferos Reconocidos

Atendiendo a las características sedimentológicas analizadas en la sección Geología de Subsuperficie se reconocen en la Quebrada Las Cardas dos niveles acuíferos. La participación de materiales finos en los rellenos continentales lleva a un semiconfinamiento al acuífero inferior y condiciona la continuidad lateral de ambos, de preferencia en las áreas de confluencia de quebradas.

El acuífero inferior reconocido en la Quebrada Las Cardas se ubica más o menos a 35 mts. de profundidad del nivel del suelo, en sedimentos areno-gravosos con escasa participación de finos. El acuífero superior se encuentra a una profundidad aproximada de 20 mts. con respecto a la superficie del suelo y se emplaza en sedimentos análogos a los del acuífero más profundo.

Estos dos acuíferos se correlacionan hacia el Norte con un potente acuífero que se ubica en los rellenos continentales del sector sur del Llano Las Cardas. Las perforaciones ubicadas en esta zona acusan potencias mayores de 40 mts. para este y según los antecedentes presentados en la Geología de Subsuperficie éstas podrían alcanzar valores mucho más altos. El potente acuífero del extremo austral del llano se emplaza en materiales gruesos tipo ripios gravosos y presumiblemente podría mostrar variaciones laterales, de preferencia hacia el oriente, tendientes a empeorar sus permeabilidades debido a un incremento de sedimentos finos aportados en las áreas de influencia de las quebradas Las Cardas y Martínez. Dada la granulometría existente en este sector el acuífero en cuestión es libre y sólo localmente podría encontrarse semi-confinado, especialmente hacia la vertiente oriental del graben.

Hacia el Norte este acuífero se ve obstruido por los rellenos limosos marinos que engranan con los sedimentos continentales más australes. Estos últimos gracias a su fina granulometría hacen de barrera el agua subterránea, provocando su afloramiento al suroeste del C^o Pan de Azúcar. Es importante indicar sin embargo que los sedimentos marinos, de la zona de engrane se encuentran saturados pero que dadas sus características granulométricas están absolutamente descartados desde el punto de vista hidrogeológico.



B.3 Recarga

La recarga del sistema hidrogeológico se funda en dos factores: precipitaciones y regadío. Dada la importancia que reviste la definición de la renovabilidad del recurso se ha profundizado en el análisis de cada uno de ellos recurriendo a la utilización de un balance a nivel de suelo.

Basicamente el balance, en ambos casos opera en forma similar diferenciándose sólo en los datos de entrada y su tratamiento.

En el caso de regadío la lámina de agua que ingresa a una determinada superficie, de acuerdo a los derechos de dicha superficie, se separa considerando las características de infiltración del suelo en aquella fracción que corresponde a derrames superficiales de aquel volumen que ingresa al suelo. Establecido este último, dicho volumen debe ser a su vez repartido en función de las necesidades de humedad del suelo y su capacidad de campo para deducir como remanente la percolación hacia el sistema subterráneo.

La identificación del volumen incorporado se logra a través de la ecuación de infiltración acumulada ($D=At^b$, D infiltración acumulada para el tiempo T, A y B constantes) cuya aplicación exige el conocimiento de T, tiempo durante el cual la lámina se encuentra en contacto con el suelo, lo cual a su vez exige determinar el volumen que requiere ser infiltrado.

Considerando conocidos los conceptos de capacidad de campo (C.C) y punto de marchitez permanente (P.M.P) se define como " Humedad Aprovechable (H.A.) a la diferencia de dichos parámetros y corresponde a la humedad que se encuentra disponible en el suelo durante el período que media entre cada riego, para satisfacer la evapotranspiración.

De acuerdo a las experiencias recogidas por diversos Institutos de Investigación Agrícola y a distintas autores, en Chile, la práctica de riego generalizada tiende



a fijar la oportunidad de cada riego, para el momento en que se ha consumido el 75 % de la H.A. Ello supone que para un riego sin pérdidas por derrame ni percolación el tiempo de riego (T en la ecuación de infiltración acumulada) debería ser aquel que permita la infiltración de ese 75 % consumido. Es sabido sin embargo que dicha situación no corresponde a la práctica normal en nuestro país, por ello se ha recurrido a utilizar un tiempo de riego real equivalente a dos veces el tiempo óptimo. A través de la incorporación de dicho tiempo en la ecuación de infiltración es posible deducir el volumen incorporado al suelo.

Este se consumirá en reponer inicialmente el déficit de humedad del suelo y el exceso representará la percolación.

Para el caso de las precipitaciones el balance opera de igual forma con la excepción de ser en esta ocasión la velocidad de infiltración y su comparación con la intensidad media horaria la que determinará la separación entre escorrentía e incorporación al suelo. La metodología ha sido por otra parte extensamente tratada en el capítulo de Generación de Caudales.

RECARGA POR REGADIO

La alimentación producto de la percolación del regadio se ha calculado en base a la metodología anterior y basándose en las siguientes consideraciones.

El área regable en el Llano se ha estimado en 2700 Hás, adoptándose por otra parte una tasa de riego extraída de " Proyecto Embalse Puclaro " Salzgitter Industriebau Gesellschaft, Septiembre 1972. La cual a su vez está referida a "Recursos Hidráulicos del Río Elquí " R.Peralta, 1966. Por otra parte el sector se encuentra regado por el Canal Bellavista cuyos de rechos dependen del caudal existente en la estación Elquí en Almendral, 3a Sección del río de igual nombre.

Para determinar la disponibilidad de recursos se ha recurrido a la estadística de DGA en la sección señalada alcanzándose los siguientes resultados:



Elqui en Almendral
Caudal Medio Anual

m^3/s

P (50 %)	5.63
P (85 %)	3.20

Su distribución mensual se ha realizado en función de los datos históricos. La evapotranspiración se ha extraído de "Estimación de los Recursos Agropecuarios del Valle del Elqui." A.Cartes, F.Herrera, IREN 1967.

Los derechos de aguas sobre la 3a sección del río Elqui alcanzan a 12.007,22 correspondiéndole al C.Bellavista 3.677,03 acciones para regar 6.834,44 Hás lo cual equivale a 0.583 acciones/Hás. Bajo tales condiciones el Cuadro N° B.3.1 muestra las disponibilidades y superficie regada para los años de probabilidad 50 % y 85 %.

Basados en el levantamiento aerofotogramétrico se han distinguido dos clases de suelos básicos en la zona a los cuales se les ha asignado las siguientes ecuaciones de infiltración acumulada:

Suelo 1 : $D: 0.40 T^{0.70}$
Suelo 2 : $D: 0.82 T^{0.41}$

D: infiltración acumulada (cm)
T: tiempo de riego (minutos)

Se ha estimado a su vez el área cubierta por el suelo 1 en 45 % del área total regable y se ha supuesto que ante situaciones de déficit sólo se regarían suelos 2.

Bajo las condiciones y antecedentes anteriores la recarga por regadío se presenta en el Cuadro siguiente:

CUADRO N° B.3.2

Recarga por Regadío

	Mm^3	m^3/s
AÑO 50 %	5,2	0.17
AÑO 85 %	2,15	0.07

CUADRO N° B.3.1



Tasa de Riego (m ³ /Há)	AB	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M
	1210	1190	745	627	1330	1418	1645	1465	1612	1665	1438	1433
Elqui en Almendral (m ³ /s)	8,5	10,6	9,5	8,6	6,0	6,9	5,9	5,4	5,2	4,7	4,6	5,3
	3,2	4,0	4,0	4,3	3,0	3,0	3,4	3,0	2,9	2,6	2,5	2,6
Disp.Llano Las Cardas (m ³ /s)	1,02	1,27	1,14	1,03	0,72	0,83	0,71	0,65	0,62	0,56	0,55	0,64
	0,38	0,50	0,50	0,50	0,52	0,36	0,41	0,36	0,35	0,31	0,30	0,30
Superficie Regada (Hás)	2184	2700	2700	2700	1449	1517	1156	1150	1030	900	925	1196
	814	1125	1740	2221	725	658	668	640	582	500	505	580
Evapotrans piración (mm)	56	44,0	37,4	36,4	66,5	71,0	82,3	73,3	81,4	93,0	88,4	71,8



RECARGA POR PRECIPITACIONES

La recarga por precipitaciones se ha apoyado en la caracterización de la pluviometría realizada en el capítulo de Hidrología la cual permite conocer la distribución y el monto de las precipitaciones tanto para un año 50 % como uno 85 % .

La metodología utilizada ha sido descrita en la introducción de este capítulo y ella se ha aplicado sobre una superficie total de 199,5 Kms² que representa la extensión de sedimentos tanto marinos como continentales del Llano de La Quebrada Las Cardas.

Dados los montos de precipitación y sus intensidades asociadas, si bien se produce una infiltración (anexos), ésta solo permite satisfacer la evapotranspiración no estando remanente alguno para percolación. Dicha situación se altera en el caso de la zona regada al estar ya satisfechas las necesidades de humedad del suelo. Por ello el volumen de percolación producto de las precipitaciones se ha calculado solo sobre la base del área regada. Bajo tales condiciones el cuadro siguiente muestra los niveles que alcanza dicha alimentación.

CUADRO N° B.3.2
Recarga por Precipitaciones

	Mm ³	m ³ /s
Año 50%	1,19	0.038
Año 85%	0,20	0,006

B.4 Movimiento-Descarga

El movimiento y la descarga se han englobado, considerando la mutua interrelación que en este caso se produce.

El movimiento natural del agua subterránea en la zona se ha visto profundamente alterado, producto de la descarga artificial que actualmente se realiza y que dado el ritmo de construcción de sondajes pretende aún incrementarse.

A fin de mostrar las consecuencias que la explotación indiscriminada ha provocado en el sistema hidrogeológico se ha preparado dos superficies piezométricas que reflejan situaciones distintas del sistema en el tiempo.



Las cotas de los sondeos se han obtenido por gentileza del proyecto CHI 69/535 " Investigaciones de Recursos Hidráulicos en la IV Región " al igual que los niveles de Febrero 1978. La situación correspondiente al lapso 1969-1970 se ha construido a partir de antecedentes obtenidos de los registros de CORFO. Se ha seleccionado dicha fecha por estimarse que a partir de ella se ha desarrollado paulatinamente una sobre explotación que ha culminado en la situación actual.

Si se observa la Fig N° 5 correspondiente a la superficie piezométrica existente 9 años atrás, se verifica que el sistema se comporta, con algunas alteraciones puntuales, en forma prácticamente natural. El movimiento presenta una tendencia S-N a partir de la zona media del Llano para rematar en una subdivisión del flujo en la zona de nacimiento del estero Culebrón. Ello está señalando claramente que el origen de las aguas de este Estero es netamente producto del afloramiento de recursos subterráneos. Dicho afloramiento es provocado por el cambio de permeabilidad de los sedimentos, que por otra parte queda evidenciado en la modificación que experimenta el gradiente hidráulico en este sector. Si bien, dicho funcionamiento del sistema, existe un fenómeno adicional que para el año 1969-70, ya indicada las precauciones que debían adoptarse al explotar el sistema. Nos referimos en ese sentido a la alteración del gradiente que se evidencia en el sector Sur del Llano y la existencia ya en esa fecha de un cono de depresión producto de una explotación superior a los recursos renovables del sistema.

La situación del año 1978 puede calificarse sin pecar de exagerados como dramática.

La profunda alteración de los gradientes que se detecta en la zona Sur significa un descenso de la superficie de más de 6 mts. en los puntos álgidos y en general el descenso medio puede estimarse en torno a 1,5 mts. Dichas condiciones no sólo significan una sobreexplotación sin control del sistema sino a su vez entrañan, de mantenerse ella, la perspectiva en un plazo cercano de un gran número de sondeos inoperables por niveles dinámicos excesivos o caudales unitarios rápidamente disminuidos.

A su vez la mala calidad del agua existente en los sedimentos marinos puede a corto plazo, bajo la inversión del gradiente existente, contaminar en forma irreversible el sector Sur.



En forma conservadora puede estimarse que la extracción actual se encuentra en torno a 400 l/s como caudal máximo. Si bien no existen antecedentes de extracción de años anteriores, el drenaje del almacenamiento en un período de 9 años ha bordeado los 60 Mm³. Ello significa que si estimamos el almacenamiento total del sistema al año 1970 en torno a 200 Mm³, producto de un espesor saturado medio de 30 mts. y un coeficiente de almacenamiento a largo plazo favorable de S: 10%, el 30% del volumen almacenado, incluyendo los sedimentos marinos, ha sido ya extraído. Condiciones semejantes son imposibles de sostener por parte del sistema y es imprescindible que las autoridades correspondientes adopten las medidas del caso, constituyendo la primera de ellas la implantación de la prohibición de nuevas extracciones en la zona.

B.5 Recursos Explotables

Bajo recursos explotables se entiende el nivel al que puede ser llevado un sistema hidrogeológico sin alterar su régimen natural. En términos prácticos ello significa que la extracción anual que se realice esta limitada por los recursos renovables, siempre y cuando no se desee alterar el almacenamiento.

El capítulo de recarga ha fijado para años de distinta probabilidad la renovabilidad que presentan los recursos. Si bien en términos exactos debiera establecerse una difra media, dado que precipitaciones y regadio representan para una misma probabilidad condiciones distintas y por lo tanto no es posible una adición directa, ella en nuestro caso se ve largamente superada por la extracción que actualmente se realiza.

Una cifra orientadora situa la recarga total del sistema en un caudal no superior a 150 l/s, cifra que constituiría el límite de explotación. Bajo las condiciones señaladas, el sistema no puede ser sometido a un incremento en su sollicitación sin que ello implique graves consecuencias.



C. Quebrada Tongoy

C.1 Geología de Subsuperficie

La Quebrada Tongoy, como se indicó anteriormente, se forma de la confluencia de las quebradas Camarones y Portugués, hecho que se verifica unos 5,0 Kms. al Sureste del balneario de Tongoy.

La Quebrada Camarones es la principal y sus cabezas se emplazan varias decenas de kilómetros al suroriente del tómbolo de Tongoy.

Todas estas estructuras se encuentran labradas en los sedimentos marinos pliocénicos descritos en el Marco Geológico Regional, que resultan análogos a los de Coquimbo. Las vertientes de estas quebradas suelen ser bastante fuertes y dejan en exposición, la monótona secuencia marina de areniscas limosas y coquinas.

Unos 3 Kms aguas arriba de la desembocadura de la Quebrada Tongoy, nace el estero Tongoy como recuperación de las aguas subterráneas que circulan por los rellenos de la quebrada.

La superficie total cubierta por los depósitos de relleno de la Quebrada Tongoy, desde el sector desembocadura hasta unos 7 Kms aguas arriba, no excede los 2,5 Km². Los materiales depositados en el fondo de la quebrada son esencialmente sedimentos finos del tipo arenas limosas que presentan una fracción clástica mayor, del rango arenas gravosas, subordinada. Los materiales finos son aportados por las areniscas-limo arcillosas marinas que constituyen la caja de los rellenos, en cambio la fracción más gruesa, sin duda, proviene de los niveles coquinosos bien cementados que se interestratifican con las areniscas. Los estratos de coquina, constituidos de preferencia por moldes de organismos, son más resistentes a la erosión y como en este caso el transporte de los detritos es por lo general, breve no alcanzan a ser desmenuzados en muy alto grado. De este modo tenemos en el fondo de la Quebrada Tongoy una fracción detrítica media pero por lo general poco abundante.



Unos 3,0 Kms. aguas arriba de la desembocadura la Quebrada Tongoy experimenta un ensanchamiento bastante marcado que puede deberse a la acción de confluencia entre las Quebradas Camarones y Portugués. Desde este sector hasta la zona de tributación (2,0 Kms al suroriente) tenemos la mayor acumulación de rellenos aluviales. Es probable que en este sector la potencia de los sedimentos sea del orden de 20 mts., alcanzando así mayores espesores que los existentes en el tramo directamente aguas abajo, donde se produce el estrechamiento de la quebrada y donde la potencia no excede los 10 mts.

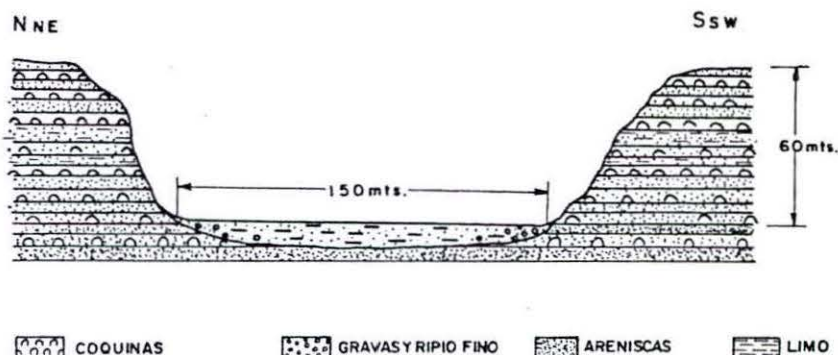
La pendiente de la Quebrada Tongoy es extraordinariamente baja en el tramo de la desembocadura (9 últimos Kms.) alcanzando valores cercanos a un 3 ‰. Sin embargo de allí hacia arriba tenemos valores mayores de aproximadamente 1,3 ‰.

Siendo consecuente con los antecedentes expuestos es posible esperar una buena homogeneidad en los rellenos de la Quebrada Tongoy aún cuando granulométricamente existe una variación en sentido longitudinal a la quebrada. Aguas abajo se observan materiales primordialmente limo-arcillosos que hacia las cabeceras tienden a variar a arenas medias a finas. Esto se debe al cambio de pendiente que existe a lo largo de la quebrada que sin duda provoca cambios en los niveles energéticos de las aguas escurrentes ocasionales. Además, la bajísima pendiente del sector desembocadura provoca la intrusión de aguas marinas por el estero Tongoy hacia el interior lo que sin duda condiciona que los sedimentos emplazados en el último kilómetro del estero sean probablemente muy finos.

La homogeneidad lateral de los rellenos de la Quebrada Tongoy es también bastante alta, aún cuando se evidencian algunos cambios granulométricos hacia los flancos. Adosados a las vertientes de la quebrada Tongoy se observan materiales finos a medios que hacia el centro se hacen cada vez más finos. Es en estos sectores marginales es donde se evidencian fragmentos de moldes de fósiles bien cementados que constituyen la fracción clástica mayor en los rellenos.



El sector que resulta de mayor interés para la captación se ubica a unos 2,0 Kms. aguas arriba de la desembocadura del Estero Tongoy. Esta zona se encuentra en el sector final del estrechamiento que afecta a la quebrada y en el cual se localiza el dren, que junto a una malla de punteras, suministran el agua para el consumo actual del balneario de Tongoy. En esta área el relleno se presenta con muy poca potencia, a lo sumo 10 mts., y su granulometría corresponde esencialmente a arenas limosas con una fracción clástica arenosa media muy escasa.



Como puede observarse en el perfil la continuidad granulométrica lateral del relleno en este sector es bastante alta, tan sólo existiendo un leve aumento hacia los flancos.

En los rellenos de la Quebrada Tongoy específicamente en las inmediaciones del dren, se ha reconocido un acuífero freático de potencia aproximada 6 a 8 mts. La superficie impermeable sobre la cual descansa dicho acuífero está constituida por los sedimentos marinos pliocénicos aterrazados en los cuales se ha labrado la Quebrada Tongoy.

Según los antecedentes sedimentológico indicados anteriormente es muy probable que la continuidad lateral de este acuífero sea total y aún en sentido longitudinal ésta no debiera verse interrumpida mayormente, presentándose en este caso sólo una probable fluctuación en la potencia aguas arriba. El ensanchamiento de la quebrada aguas arriba del dren sin duda condiciona y modifica la geometría del acuífero reconocido en el sector más estrecho, ramificándolo y haciéndolo perder potencia e importancia.



C.2 Recarga

La alimentación del sistema hidrogeológico se apoya exclusivamente en las precipitaciones, dado que para efectos prácticos el área regada puede considerarse nula.

La determinación de la contribución de dicho factor se ha basado en la metodología ya explicada anteriormente y apoyándose en la estación La Serena.

A su vez el reconocimiento de terreno ha permitido detectar la existencia de un suelo de bajo espesor y textura franca.

Dichas características han conducido a asignar una humedad aprovechable no superior a 20 mm y una velocidad de infiltración de V_i : 16,8 T-30. Como área receptora se ha considerado tanto el estero como su extensión hacia la Quebrada de Córdova totalizando una superficie de 16 Kms². Bajo tales condiciones el Cuadro N° C.2.1 refleja los valores obtenidos para las dos probabilidades seleccionadas.

CUADRO N° C.2.1

Recarga de Precipitaciones

	$m^3 \times 10^3$	m^3/s
AÑO 50%	289	0,011
AÑO 85%	-	-

C.3 Recursos Explotables

Basados en similar criterio que en el caso del Llano Las Cardas el nivel de explotación del estero Tongoy se encuentra limitado por la renovabilidad de los recursos. Si bien el caudal de recarga determinado puede sufrir variaciones dadas las hipótesis que han sustentado su cálculo, en todo caso él puede situarse con toda certeza como inferior a 15 l/s, para un año 50 %.

De acuerdo a la información recogida en la zona, el abastecimiento de Tongoy bordea aproximadamente los 22 l/s continuos durante el período de verano (Enero, Febrero) para caer a una cifra muy cercana, pero inferior a la recarga, durante el resto del año.



Semejante situación supone que el abastecimiento del período de verano se encuentra muy condicionado a la pluviometría que presenta el invierno del año anterior lo cual coloca al bastecimiento del balneario en condiciones bastante precarias.

Las obras actuales bajo las condiciones de almacenamiento señaladas no podrán incrementarse. En especial de profundizarse el dren existente, a corto plazo tanto las punteras como la noria que constituyen el sistema habitual de abastecimiento, tenderían a quedar fuera de operación no lográndose por otra parte incrementar el abastecimiento del balneario.



VII. HIDROGEOQUIMICA

La composición química de las aguas subterráneas y superficiales de la zona es principalmente, magnésico-carbonatado, aunque suelen existir variaciones tanto en el anión como en el catión mayoritario. Según la clasificación de Castany (1975) las aguas del Llano Las Cardas son mixtas. Esto se debe a que la diferencia relativa entre los cationes no es fuerte, fenómeno que también afecta a los aniones. Es claro, sin embargo, que los cationes más frecuentes son el Mg^{++} y Na^+ respectivamente y que los aniones de mayor difusión son el $CO_3^{=}$ y Cl .

A grandes rasgos puede afirmarse que la composición de las aguas que se encuentran adosadas a la vertiente oriental del depósito de Las Cardas son principalmente carbonatadas y que las que se encuentran junto a la vertiente occidental del relleno son cloruradas. Del mismo modo, las aguas que se encuentran al Sur del depósito son principalmente magnésicos, en tanto que las que se ubican más al Norte (en los rellenos marinos) son sódicas.

Es así como se puede concluir que las aguas, en su recorrido, (de Sur a Norte) tienden a enriquecerse en sodio y cloruro. La razón de este enriquecimiento es que hacia la parte Norte tenemos aguas que han circulado ya largamente por el relleno que es marino y sería éste el responsable de aportar en Na^+ y Cl^- , elementos con los cuales se enriquecen las aguas. El alto contenido de $CO_3^{=}$ y Mg^{++} , especialmente en aquellos cuya permanencia en el depósito sedimentario ha sido breve, se explica con los siguientes argumentos: a) existe en la vertiente oriental del relleno de Las Cardas una fuerte alteración que incluye la existencia de dolomita secundaria entrecrecida con calcita y sin duda podría ser este primer mineral el que está aportando el Mg^{++} a las aguas al entrar éstas en contacto con las rocas alteradas. b) En la misma vertiente del relleno se tiene rocas carbonatadas tipo calizas de la Formación Arqueros que presumiblemente contengan dolomita primaria además del carbonato cálcico, lo que podría constituir otra fuente de enriquecimiento en Mg^{++} .

Esta variación composicional de las aguas subterráneas se ve ratificada por los cursos superficiales que constituyen la descarga del sistema de Las Cardas. El estero Culebrón que escurre con dirección Norte-Sur, drenando las aguas que han



circulado por el relleno continental y marino presenta una fuerte concentración de Na^+ y Cl^- . Esto puede apreciarse en la tabla adjunta, extraída de Parraguez (op.cit).

Por otra parte, antecedentes del estero Lagunillas señalan una concentración de Mg^{++} muy fuerte y anómala. En este caso resulta importante recalcar que las aguas escurren por la Quebrada Lagunillas son, presumiblemente afloramiento de las aguas que circulan a través de los sedimentos continentales al Sur del Llano Las Cardas y que no han sufrido contaminación de parte de los sedimentos marinos al norte.

En general, la dureza de las aguas subterráneas y superficiales del Llano Las Cardas es alta y suele verse incrementada a medida que éstas circulan por el relleno de la fosa tectónica ubicada al suroriente de Coquimbo. Existen algunos puntos, de preferencia en la zona de gestación del estero Cu-lebrón, donde los valores de dureza son exageradamente altos (cf. Tabla adjunta),

Análisis Químicos de Agua del Llano Las Cardas.-

Nº de Muestra	= SO_4	= Cl	= CO_3	++ Na	++ Mg	++ Ca	°dh
12	75,9	142,2	443,4	83,9	117,5	137,5	802
16	239,2	91,2	345,6	144,9	90,9	95,4	607
30	581,7	611,3	332,7	369,7	182,3	183,8	1,198
31	896,3	2,617,4	138,3	1173,5	311,5	412,0	2,266

+ La ubicación de las muestras puede verse en el Mapa N°2 adjunto a este informe.

++ La concentración de los distintos elementos se encuentra expresada en mg/lt y la dureza en mg/lt de Ca CO_3 .



La potabilidad de las aguas de la zona Las Cardas Lagunillas es, en general, muy baja ya que son numerosos las muestras cuyos análisis indican que se encuentran rebasando los límites máximos tolerables prescritos por la norma chilena. En el sector Norte del Llano Las Cardas los antecedentes que se tienen indican que las aguas tanto subterráneas como superficiales (Estero Culebrón en sus nacientes) se presentan sobreconcentradas de Cl^- . Análogamente ocurre en el sector Sur donde las aguas subterráneas y principalmente las escurrientes en la Quebrada Lagunillas muestran una excesiva concentración de Mg^{++} . Excepciones a esta regla se producen en el área suroriental del Llano Las Cardas donde las aguas subterráneas cumplen con las normas chilenas de potabilidad. Un ejemplo de esto lo constituye la captación de agua para el pueblo de Andacollo.



VIII.- ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO

El abastecimiento de La Cadena de Balnearios de la IV Región se ha analizado identificando inicialmente las zonas y recursos que demostraban un potencial interesante, para posteriormente profundizar en su estudio y determinar la factibilidad de fundar en ellos la solución requerida.

A través del análisis inicial se distinguieron las siguientes alternativas.

- 1.- Abastecimiento de cada balneario a través de recursos subterráneos existentes en la Terraza Costera.
- 2.- Abastecimiento a través de solución única, consistente en embalsar recursos superficiales de la Quebrada Lagunillas.
- 3.- Abastecimiento a través de solución única, basada en la extracción de recursos subterráneos en el Llano Las Cardas.

El interés que supone una solución integral para el conjunto de balnearios, condujo a un análisis exhaustivo en especial de las dos últimas alternativas. Dicho análisis ha concluido que la Quebrada Lagunillas presenta escurrimiento superficial de interés sólo durante el invierno, particularmente desde mayo a agosto, alcanzándose el volumen requerido sólo en un año 50 % a condición que ocurran precipitaciones concentradas y de gran intensidad. En caso contrario las precipitaciones logran escasamente satisfacer el déficit de humedad del suelo y la escorrentía generada no permite cubrir la demanda requerida. Para un año 85 % la escorrentía representa sólo un 50 % de las necesidades. Dicha situación unida a la mala calidad química que presentan las aguas ha conducido a descartar dicha solución como factible.

Concentrado el análisis en el Llano Las Cardas se ha detectado una sobre explotación de recursos subterráneos que compromete gravemente el futuro de la zona. Bajo tales condiciones y considerando que la situación actual del sector alcanzará límites alarmantes que exigen la adopción de medidas inmediatas que impidan incrementar el nivel de extracción actual, se ha deshechado al Llano Las Cardas como alternativas de solución. El abastecimiento considerado en forma independiente para cada balneario se enfrenta, a excepción de Tongoy, a la ausencia absoluta de condiciones favorables dada las características que presenta la Terraza Costera que los circunda.



Tongoy constituye una situación particular y como tal se ha analizado. Dicho análisis sin embargo ha concluido que los niveles de recarga del sistema no permiten incrementar el abastecimiento y señalan mas bien que dicho abastecimiento se encuentra sujeto en forma muy directa a la forma y monto de las precipitaciones.

El breve análisis anterior conduce a concluir que las alternativas estudiadas no constituyen solución al abastecimiento requerido. Semejante situación ha obligado a delinear en forma preliminar alternativas no contempladas en la selección anterior y cuyo estudio sin embargo no corresponde a estos consultores. Las alternativas identificadas pueden calificarse plenamente como basadas en recursos exteriores a la zona. En ese sentido aquella que se alza como más obvia constituye la captación de recursos de invierno del río Elqui su conducción a través del canal Bellavista y su acumulación en un embalse situado en la zona baja de la Quebrada Lagunillas. Si bien dicha solución técnicamente aparece como factible su costo se estima desproporcionado. Son conocidas las deficientes condiciones que presenta el canal en especial en su último tramo, lo cual exigiría su reacondicionamiento añadido a su extensión hasta alcanzar el embalse. Dichos factores unidos a la presión que ejercería la agricultura en especial bajo la situación de sobreexplotación del Llano Las Cardas, inducen a estimar a dicha solución como conflictiva y altamente costosa.

Como alternativa delineada y planteada a nivel regional se presenta el traslado del abastecimiento de Andacollo, fundado en recursos subterráneos del Llano Las Cardas, a la hoya del río Hurtado perteneciente al sistema Limarí. Se entiende que dicha solución busca la liberación de los recursos del Llano Las Cardas y su puesta a disposición para la satisfacción de las necesidades de los balnearios. Sin entrar a un análisis más profundo debe señalarse sin embargo que bajo la situación actual del Llano Las Cardas cualquier descenso en el nivel de extracción debe procurar preservarse. En ese sentido la solución anterior no puede considerarse factible mientras subsista la sobreexplotación en la zona anterior.

Se desprende de lo anterior la ausencia de alternativas de abastecimiento para solucionar los requerimientos de la Cadena de Balnearios de la IV Región, a excepción de la conducción y regulación de excedentes de invierno del río Elqui. Para el actual nivel de desarrollo de dichos balnearios sin embargo se considera que dicha solución entraña costos excesivamente elevados y decisiones de considerable complejidad.



A N E X O S . -



GENERACION DE CAUDALES LAGUNTILLAS

(EJEMPLO TIPO)

A. ESCORRENTIA EN CERROS

MES: MAYO

INTENSIDAD MEDIA DIARIA: 3,5 mm.

INTENSIDAD MEDIA HORARIA : $\frac{\text{MED DIARIA}}{4,9} : \frac{3,5}{4,9} = 0,71 \text{ mm}$

HRS. DE PP. EN EL MES : 4,9 x DIAS CON pp: 4,9x2,3:11,27 HRS.

HUMA: 60 mm

$V_1 : 16,8 \times 10^{-0,55}$

$V_1 : 168 (21600)^{-0,55}$

$V_1 : 0,69 \text{ mm/hora}$

I MEDIA HORARIA - $V_1 : 0,71 - 0,69 = 0$

LUEGO LA PRECIPITACION INFILTRADA ES IGUAL A:

$PPINF : \text{HRS} \times V_1 : 11,27 \times 0,69 : 7,8 \text{ mm}$

DE LA CIFRA ANTERIOR SE DESPRENDE QUE LA ESCORRENTIA SERIA IGUAL A:

$ESCORRENTIA : PPTOTAL - PPINF : 8,0 - 7,8 : 0,2 \text{ mm}$

$VOLUMEN \text{ TOTAL} : \text{AREA} \times \text{ESCORRENTIA} : 343,4 \times 10^6 \times 0,2 \times 10^{-3} : 68.680 \text{ m}^3$

B. INFILTRACION EN LECHOS

AREA INUNDACION : 0,23 Kms^2

ALTURA DE ESCORRENTIA : $\frac{68680}{230.000} : 0,298 \text{ m}$

INFILTRACION ACUMULADA : $10 \times 0,82 \times T^{0,41}$

TIEMPO DE PERMANENCIA: 15 DIAS

INFILTRACION: 490 mm



DISTRIBUCION DE PRECIPITACIONES

AÑO 50 %

	PP. TOTAL	PP 1 mm	PP 1 mm	PP 10 mm	PP Máx	I. Media Diaria
MAYO	10.4	2.4	8.0	-		3.5
JUNIO	13.4	1.5	11.9	-		3.5
JULIO	38.9	0.2	38.7	24	24	2.4
AGOSTO	4.8	0.5	4.2	-		3.5

AÑO 85 %

	PP. TOTAL	PP 1mm	PP 1 mm	PP 10 mm	PP Máx	I. Media Diaria
MAYO	4.3	0.4	3.9	-		3.9
JUNIO	4.5	0.7	3.8	-		3.8
JULIO	14.3	-	14.3	-	8	8
AGOSTO	3.0	-	3.0	-		2.5



INFILTRACION DE REGADIO
(EJEMPLO TIPO)

MES : ABRIL

CASA DE RIEGO : $1210 \text{ m}^3/\text{Ha}/\text{MES}$

HAS REGADAS : 2184

ET : 55.9

TIPO DE SUELO : 1

ECUACION DE INFILTRACION ACUMULADA : $D = 0.4 t^{0.70}$

HUMA : 56 mm

NUMERO DE RIEGOS : 1

TIEMPO DE RIEGO : $\left(\frac{56}{0.4 \times 10} \right)^{1/0.70} : 43,5 \text{ min.}$

TRES : $2 \times 43,5 = 87 \text{ min.}$

INFILTRACION ACUMULADA : $10 \times 0.4 \times (87)^{0.70} = 91.2 \text{ mm.}$

ALTURA DE LAMINA DE RIEGO : 121 mm.

PERCOLACION : INFILTRACION ACUMULADA - HUMA : 35,2 mm

TOTAL PERCOLACION EN EL MES : NUMERO DE RIEGO x PERC : $1 \times 35,2 = 35 \text{ mm}$

VOLUMEN INFILTRADO : $\text{HAS} \times \text{T.PERC} : 699 \times 10^4 \times 35 \times 10^{-3} : \underline{244.650 \text{ m}^3}$

