



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**FACTIBILIDAD GEOTÉCNICA DEL PROYECTO
EMBALSE EL ROSARIO
PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL
LITORAL CENTRAL
CORDILLERA DE LA COSTA DE CHILE CENTRAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

RICARDO E. PINILLA DEL CANTO

PROFESOR GUÍA
SOFIA REBOLLEDO LEMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SERGIO SEPULVEDA VALENZUELA
RICARDO THIELE CARTAGENA

SANTIAGO DE CHILE

2016

TABLA DE CONTENIDO

	Página
RESUMEN	IV
AGRADECIMIENTOS	V
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Ubicación del área investigada y vías de acceso.	1
1.2 Descripción socio-económica de la Zona Costera Central.	1
1.3 Situación actual y futura de los abastecimientos de agua.	4
1.4 Objetivos y metodología del presente estudio.	6
1.5 Hidrografía	8
2. GEOLOGÍA REGIONAL	12
2.1 Marco geológico	12
2.1 Estructura	12
2.2 Caracterización geotécnica de las unidades regionales	17
3. FACTIBILIDAD GEOTÉCNICA DEL EMBALSE EL ROSARIO	20
3.1 Geología local	20
3.2 Ubicación eje muro	26
3.3 Caracterización geotécnica de terrenos comprometidos	32
3.4 Elección tipo de muro	34
3.5 Fuentes de empréstito para rellenos y enrocados	34
3.6 Obras de desviación y entrega	36
3.7 Vertedero	36
3.8 Programa de estudios geotécnicos adicionales	37
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
4.1 Conclusiones	40
4.2 Recomendaciones	41
5. BIBLIOGRAFIA	43
ANEXOS	49
Anexo N° 1 Diagramas de Distribución de Fracturas	49
Anexo N° 2 Cálculo del Índice RMR de las Unidades Comprometidas	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1	Mapa de Ubicación
FIGURA N° 1.1	Vista General del Área
FIGURA N° 2	Red de Drenaje y Cuencas Hidrográficas
FIGURA N° 3	Marco Geológico Regional
FIGURA N° 3.1	Marco Geológico Estructural
FIGURA N° 5	Distribución del Fracturamiento
FIGURA N° 5	Geología del Valle de El Rosario
FIGURA N° 6	Programa de Reconocimientos y Exploraciones
FIGURA N° 6.1	Vista Embalse El Rosario

FACTIBILIDAD GEOTÉCNICA DEL PROYECTO EMBALSE EL ROSARIO PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DEL LITORAL CENTRAL CORDILLERA DE LA COSTA DE CHILE CENTRAL

RESUMEN

Este Proyecto fue iniciado a mediados de la década del 70'. Originalmente consideraba el estudio del emplazamiento de por lo menos, cuatro embalses pequeños, en los valles de mayor relevancia del área, como una forma de poner fin al déficit en el abastecimiento de agua potable de los balnearios del Litoral Central, cuya administración estaba a cargo entonces, de la Dirección de Obras Sanitarias (DOS) y posteriormente del organismo que la sucedió, el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS), dependientes del Ministerio de Obras Públicas. Con posterioridad, el Proyecto perdió prioridad, una vez que se privatizó el sistema sanitario, considerando la inversión que significa un proyecto de esta envergadura.

Considerando la ubicación central en el área, se escogió el estero El Rosario, en la comuna de El Tabo, que presenta una hoya hidrográfica relativamente importante y que sería el punto de partida del mejoramiento general.

Este trabajo, iniciado hace 40 años, comprende el estudio de la Geología y las características geotécnicas del valle del estero El Rosario, orientado a definir las características de la roca de fundación del muro del embalse.

El área se encuentra compuesta fundamentalmente por rocas intrusivas, principalmente tonalitas, constituidas en un gran plutón, el Batolito de la Costa, de edad paleozoica. Estas rocas presentan buena calidad geotécnica.

Con este fin se ha escogido un sitio, situado al interior del valle del estero del Rosario, a una cota de alrededor de 75 m s.n.m., y a unos 5.000 m desde la costa, junto al lugar denominado La Capellanía, que corresponde a un sector de gargantas angostas, con características sinuosas, una gradiente de 0,1 %, que se sitúa unos 1.000 m aguas abajo de la confluencia de los esteros del Rosario y de Carvajal. El valle presenta una sección de 80 m en el sector y está constituido por roca fresca en la base, con espesores variables de roca meteorizada (maicillo), en las laderas.

El Proyecto considera la construcción de un muro de enrocado, de hasta 20 m de altura, con lo que se cubrirá una superficie de 2 Km², que podrá llegar a contener 6 millones de m³ de agua, a lo largo de 2 Km del valle.

Desde el punto de vista de la Geología y la Geotecnia, el sector se presenta estable, considerando la buena calidad de la roca granítica y que no se observa reactivación de las fallas que han afectado a las rocas postmiocénicas.

AGRADECIMIENTOS

Quiero iniciar estos agradecimientos a quienes fueron mis mentores en esta área; especialmente a don Juan Karzulovic Kokot, quien, siendo mi profesor guía, intentó llevarme a concluir este trabajo; al Profesor Juan Varela Barbaghelatta, cuyos consejos y correcciones a los borradores fueron siempre acertados; a Gloria Mancilla Délano, mi jefa en el SENDOS, siendo yo un estudiante; también a don Jaime Vivanco Piñeiro, quien fuera nuestro jefe en ese servicio y me apoyó en la elaboración de este trabajo, a Ximena, quien hizo las primeras dactilografías y revisó la redacción de mis borradores y, por supuesto, a mi padre, de quien no me parece necesario decir más.

Hoy, cuando ya no es posible entregarles mi gratitud personalmente, quisiera hacer para ellos un homenaje, recordando la importancia que ellos tuvieron en mi formación y en la elaboración de este trabajo.

Es relevante establecer que este trabajo se inició hace ya varios años, cuando yo era funcionario del Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS), del MOP, servicio hoy desaparecido, desde donde se originaron las actuales empresas sanitarias.

Importante también ha sido la labor y el empuje que me han dado una serie de personas que han jugado un papel destacado en mi vida; entre ellos, mi hijo Camilo, quien me ha impulsado a terminar este trabajo y ha sido de gran apoyo, así como también, el grupo encabezado por mi hermana Olga, más Heidi y Ana María quienes me han forzado a poner fin a algo que hacía tanto que había iniciado. Para todas y todos, mi mayor gratitud.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Ubicación del área investigada y vías de acceso

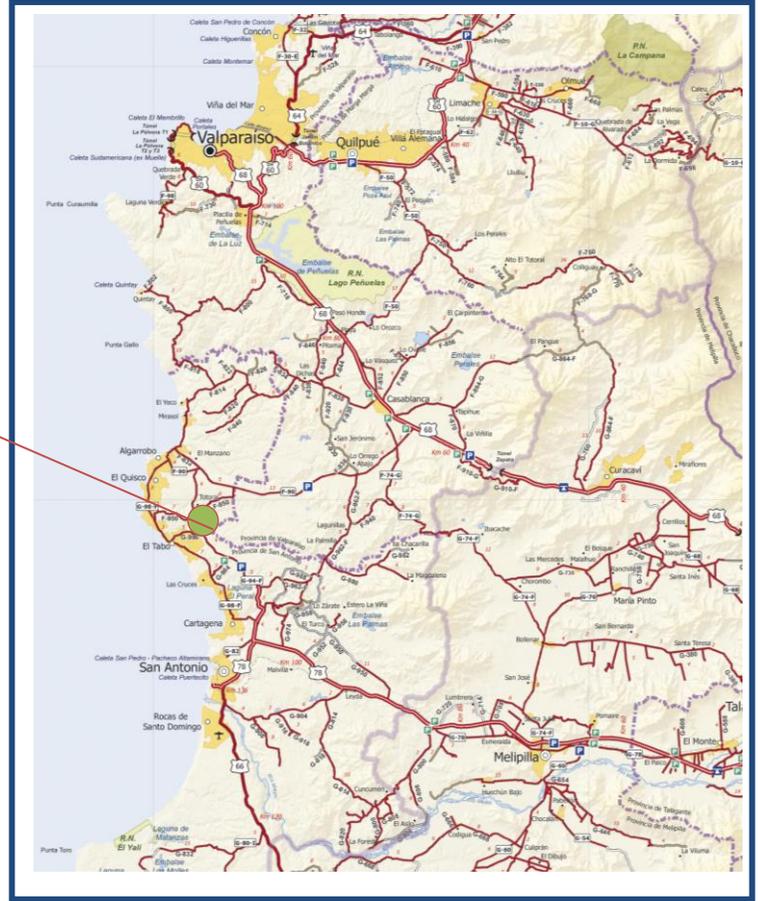
El Litoral Central, objeto de este estudio, se sitúa en la V Región, provincia de San Antonio y comprende la cadena de balnearios que se desarrolla entre Las Cruces en el sur y Mirasol en el norte, entre los paralelos 33°15' y 33°30' de latitud sur, al poniente del meridiano 71°30' de longitud oeste, según se puede observar en el mapa de ubicación de la Figura N° 1.

Se llega al Litoral Central a través de un sistema de carreteras pavimentadas, transitables todo el año, que lo unen, tanto al puerto de San Antonio, la cabecera provincial, como al pueblo de Casablanca y, desde éstos, a Santiago y Valparaíso. A través de estas vías el área dista unos 120 Km de Santiago y 30 Km de San Antonio.

1.2. Descripción socio económica de la Zona Costera Central

La zona costera central está constituida por una serie de balnearios, todos muy próximos entre sí, enmarcada entre Las Cruces, por el sur y Mirasol en el norte, que se extiende hasta Tunquén, en el borde norte de la provincia e incluye un grupo de poblados veraniegos pequeños, desarrollados al norte de Mirasol. Destacan, por su mayor densidad habitacional, los balnearios de Algarrobo, El Quisco, El Tabo y Las Cruces.

Siendo lugares de veraneo, prácticamente toda la actividad del área está orientada hacia el turismo de la estación calurosa. Por esta razón, existe aquí una importante red hotelera, de residenciales y de comercio de alimentos.



Plano de Ubicación
Figura N°1



Figura N° 1.1

Vista General del Área

La población veraniega, en estos lugares, es varias veces mayor que la que los habita en forma permanente y aún, presenta índices de crecimiento impredeciblemente altos. Este crecimiento poblacional se ve reflejado en las altas tasas de desarrollo habitacional, que han tendido a la configuración de una gran ciudad costera, entre Lolleo y Mirasol, que aún tiende a seguir creciendo, con edificaciones en altura y desplazándose hacia el norte, al oriente y a los sectores más altos y alejados de la playa.

Este desarrollo habitacional ha obligado a un acelerado crecimiento de los servicios, que suelen pasar por períodos de franca insuficiencia.

El agua potable ha mantenido una situación crítica cuya solución requiere de una fuerte inversión financiera y de un ordenamiento en el desarrollo inmobiliario. Dentro de las alternativas de solución propuestas, se ha considerado la construcción de embalses en los valles de mayor envergadura, que atraviesan el área, partiendo por el estero de El Rosario o de Córdoba.

1.3. Situación actual y futura de los abastecimientos de agua potable

Durante la primera mitad del siglo XX, las pocas casas que existían en la zona se abastecían de agua, para su uso doméstico, desde pozos de baja profundidad, excavados a mano, ubicados en el lecho de las numerosas quebradas o cercanas a ellas. Estas quebradas, a pesar de su corto recorrido y escasa hoya hidrográfica, podían, sin embargo, alimentar esos pozos con caudales suficientes para el abastecimiento de algunos grupos familiares y aún, sustentaban algunos sectores de vegas y pantanos cercanos a la costa.

A medida que creció la población, especialmente la de verano o temporal, las norias se hicieron insuficientes, llegando a secarse en gran número, por la mayor extracción de agua que este aumento poblacional significaba.

Hacia 1940 se iniciaron trabajos orientados a proporcionar agua potable, en forma regular y bien establecida, creándose así pequeños servicios autónomos para cada uno de los balnearios. Para esa fecha, el único que contaba con servicio de agua potable era El Tabo, que se abastecía desde una captación en el estero El Rosario, mientras se proyectaban otras similares para Algarrobo, El Quisco, Isla Negra y El Seminario.

En un intento por encontrar una fuente adecuada, que sirviera a todos a la vez, se pensó entonces en construir un embalse. Para esto se estudió tres alternativas, en los esteros: El Rosario, El Totoral y San Jerónimo.

Esta solución fue rápidamente desechada al prospectar aguas subterráneas, dado que la construcción de nuevos pozos permitió paliar el déficit de la época.

Para entonces (1947), Algarrobo se abastecía, según Brügger, desde un dren de 8 m de profundidad, excavado en una antigua zona de vega, situada al sur del pueblo, al mismo tiempo que se intentaba captar, por medio de norias, el agua subterránea en el estero San Jerónimo. Éstas tuvieron su máxima expresión en la “Noria de los Médicos”, cuya explotación se prolongó hasta fines de los ‘70s.

El Quisco obtenía el agua desde norias excavadas en forma particular por los veraneantes, que producían cantidades limitadas de agua, por lo que debían ayudarse con aljibes, situación que aún hoy es frecuente, especialmente hacia los sectores más altos.

Al comienzo de los años 50’s, a través de CORFO, se perforó el primer pozo en la zona. Éste se ubicó junto al costado sur del estero San Jerónimo, en el lugar llamado Casa Alessandri, desconociéndose su ubicación exacta y demás antecedentes, ya que fue abandonado por su escaso rendimiento.

Este primer sondaje dio la partida para que la Dirección de Obras Sanitarias del MOP comenzara a estudiar la zona en forma relativamente racional, perforando un número apreciable de pozos en los diferentes valles y fundando en ellos el abastecimiento de la población de estos pueblos.

A finales de los '50s, ante una nueva crisis, al bajar el rendimiento de las captaciones en uso y al aumentar en forma desmedida la población veraniega, nuevamente se estudió la posibilidad de construir un embalse en el estero El Rosario, idea que no fructificó al construirse nuevos pozos en los esteros El Rosario y San Jerónimo y lograr, con éstos, restablecer el abastecimiento en forma relativamente normal.

Con posterioridad, se construyó un ducto, a lo largo de todo el litoral, que lleva agua desde captaciones ubicadas en el río Maipo (una planta de filtros y pozos). A través de éste se distribuye agua hasta Algarrobo, mientras las poblaciones de los balnearios situados más al norte: Algarrobo Norte, Mirasol, El Yeco, Tunquén, continúan abasteciéndose desde plantas de pozos locales y/o definitivamente por medio de camiones aljibes.

1.4. Objetivos y metodología del presente estudio

Este trabajo tiene por finalidad definir las condiciones geológico-geotécnicas existentes en el área, donde se podría ubicar un embalse de agua, de pequeñas dimensiones, en el Estero El Rosario.

Este embalse podrá constituirse en el punto de partida que generará una nueva solución para el abastecimiento de agua potable de la zona costera central. Su construcción se ha dilatado, pero se considera que en el mediano plazo, se deberían reiniciar los estudios que conduzcan a su construcción.

En tal sentido, se ha ejecutado estudios en los cursos de agua de mayor importancia en el área entre Las Cruces en el sur y Tunquén, en el norte.

En una primera selección, se consideró el estudio de los valles de los esteros de Casablanca, El Membrillo, San Jerónimo y El Rosario, todos valles pequeños, que tienen su origen en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa.

En esta primera etapa se escogió el estero de El Rosario, que por su ubicación en el centro del área y por el tamaño de su superficie hidrográfica, había sido objeto de observaciones y discusiones para el emplazamiento de un posible embalse, al interior de la Dirección de Obras Sanitarias (DOS).

Con este fin, se inició los estudios de los antecedentes geológicos del área, por medio de la bibliografía existente, complementada con información obtenida de fotografías aéreas y de satélite y de visitas de terreno.

El sitio del muro se caracterizó por medio de una monografía, considerando la escasez de bases topográficas del área, la que se traspasó, posteriormente, a una ampliación local de la carta 1:50.000 y a la ampliación de la Carta Geológica 1:100.000 (Gana et al, 1996), cuyos detalles se entregan en los planos de la Geología Local.

1.5. Hidrografía regional

Tal como se puede apreciar en la Figura N° 2, la red de drenaje varía su trama a todo lo ancho de la región, pudiendo relacionarse esas diferencias a las distintas unidades fisiográficas y morfológicas que la conforman.

La Cordillera de la Costa muestra, entre los ríos Aconcagua y Maipo, una red hidrográfica en la que es posible reconocer dos sectores fácilmente diferenciables y que guardan relación con la subdivisión morfológica realizada por Corvalán y Álvarez (1966), Sabaj (2008, resumido de Gana et al, 1996 y de Wall et al, 1996).

De esta forma, el área oriental, denominada Cordillera de la Costa, presenta un relieve abundante en valles pequeños y profundos que muestran un acusado subparalelismo. Estos valles drenan hacia otros de mayores dimensiones, generalmente emplazados a lo largo de fallas y/o depresiones de origen tectónico (Corvalán y Alvarez op.cit., Borde 1967) por lo que se presentan rectilíneos, relativamente anchos, profundos y con bruscos cambios de dirección, situación que se ve claramente expuesta en los valles de los ríos Aconcagua y Maipo.

Estos valles tienden a ensancharse y a suavizar su pendiente al ingresar a las Planicies Litorales, igualmente definidos sus rumbos por un acentuado control estructural, que les provoca cursos rectilíneos, con bruscos cambios de dirección.

Los valles principales ubicados en los sectores septentrional y meridional del área, como por ejemplo los esteros de Limache y de Puangue así como aquéllos que drenan hacia el Este, corresponden a tributarios de los cursos de origen andino, los ríos Aconcagua y Maipo respectivamente; mientras que aquéllos que se desarrollan en el sector central de esta unidad, se continúan hacia el Oeste en las Planicies Litorales y desembocan

directamente en el Océano Pacífico. En este último caso se encuentra la mayor parte de los cauces mayores del área que tienen su nacimiento en el sector central de la unidad oriental, como es el caso del Estero Margamarga o de Viña y el de Casablanca. Estos dos esteros presentan valles rectilíneos, orientados hacia el Nor-Oeste.

El estero del Rosario presenta un valle orientado NW-SE, que cambia de curso a prácticamente EW desde su confluencia con el estero de Carvajal. En este último tramo, el valle se pone profundo y sinuoso, con variaciones bruscas entre EW y NW-SE, sugiriendo un fuerte control estructural.

Los ríos Aconcagua y Maipo, por otra parte, se introducen en la Cordillera de la Costa a través de valles profundos y amplios, de 3 a 5 km. de ancho, emplazados a lo largo de una depresión de origen tectónico (Borde, op.cit.), de orientación Este-Oeste en el Maipo.

La Planicie Costera, por otra parte, muestra valles exigüos, de escasa expresión morfológica, los cuales presentan un ancho de alrededor de 50 m. y en general, son profundos, con laderas de pendiente pronunciadas, las que excepcionalmente se suavizan, permitiendo un ensanchamiento del valle, situación que es común en las zonas adyacentes o sus desembocaduras, aunque no es observado en algunos sectores alejados de la costa.

Estos ensanchamientos van acompañados, normalmente por una disminución de la pendiente de escurrimiento, la cual de valores de alrededor de 2,5 %, desciende a otros del orden de 0,6 a 0,5% y aún, de 0,1 a 0,2 en las áreas cercanas a la desembocadura.

Producto del ensanchamiento de los valles, así como también de la baja pendiente que tienen en sus desembocaduras, son frecuentes, en ellos, las

intrusiones del mar durante temporales o mareas anormalmente altas. Esta situación ha permitido que se formen, en estos lugares, pequeños sectores de playas, los cuales, en algunos casos, han desarrollado pequeñas lagunas detrás de la barrera de arena depositada por el mar.

Prácticamente todos los valles que cruzan la Planicie Costera en estas áreas, tienen sus nacientes en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, pero, en general presentan su mayor desarrollo sobre la Planicie Costera, aún, cuando, morfológicamente presentan una expresión más acentuada en la unidad oriental, probablemente consecuencia de la mayor pendiente de esta última.

En general, estos valles se presentan sub-paralelos, rectilíneos y orientados hacia el Nor-Oeste, aunque, en algunos sectores, se observan acusados cambios de dirección, reflejos del referido control estructural.

Todos los cauces de la Cordillera de la Costa y de la Planicie Costera, presentan un régimen de escorrentía exclusivamente pluvial, de modo que, por lo general mantienen escurrimiento superficial solamente durante el invierno, careciendo de éste durante la estación estival.

ZONIFICACION HIDROGEOLOGICA DE LAS CUENCAS COSTERAS SUR, V REGION



Red de Drenaje

Figura N°2

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1 Marco geológico

Tal como se muestra en los mapas de la Figura N° 3 y Figura N° 3.1, la Cordillera de la Costa está formada principalmente por rocas plutónicas que cubren el lapso paleozoico superior a cretácico, con edades decrecientes hacia el este.

Las rocas más antiguas son rocas metamórficas (Complejo Metamórfico Valparaíso) y granitoides del paleozoico superior. La zona está afectada por fallas NW y NE, posiblemente pre-jurásicas, que habrían controlado en parte, el emplazamiento de los plutones jurásicos, que posteriormente fueron reactivadas como fallas normales después del mioceno-plioceno (Gana et al., 2000).

La Cordillera de la Costa en la región de estudio se puede dividir en un dominio occidental y uno oriental según sus características morfológicas y geológicas.

El dominio occidental presenta una morfología de relieve suave, caracterizado por varios niveles de terrazas que han sido interpretados como terrazas de abrasión marina de edad plioleistocenas (Gana et al., 1996) con elevaciones que fluctúan entre los 100 y los 500 m s.n.m. (Farías, 2007), que han sido denominadas Planicies Costaneras (Corvalán et al, op. cit.).

Está formada principalmente por un basamento cristalino y metamórfico cuya edad varía entre paleozoico y jurásico medio.

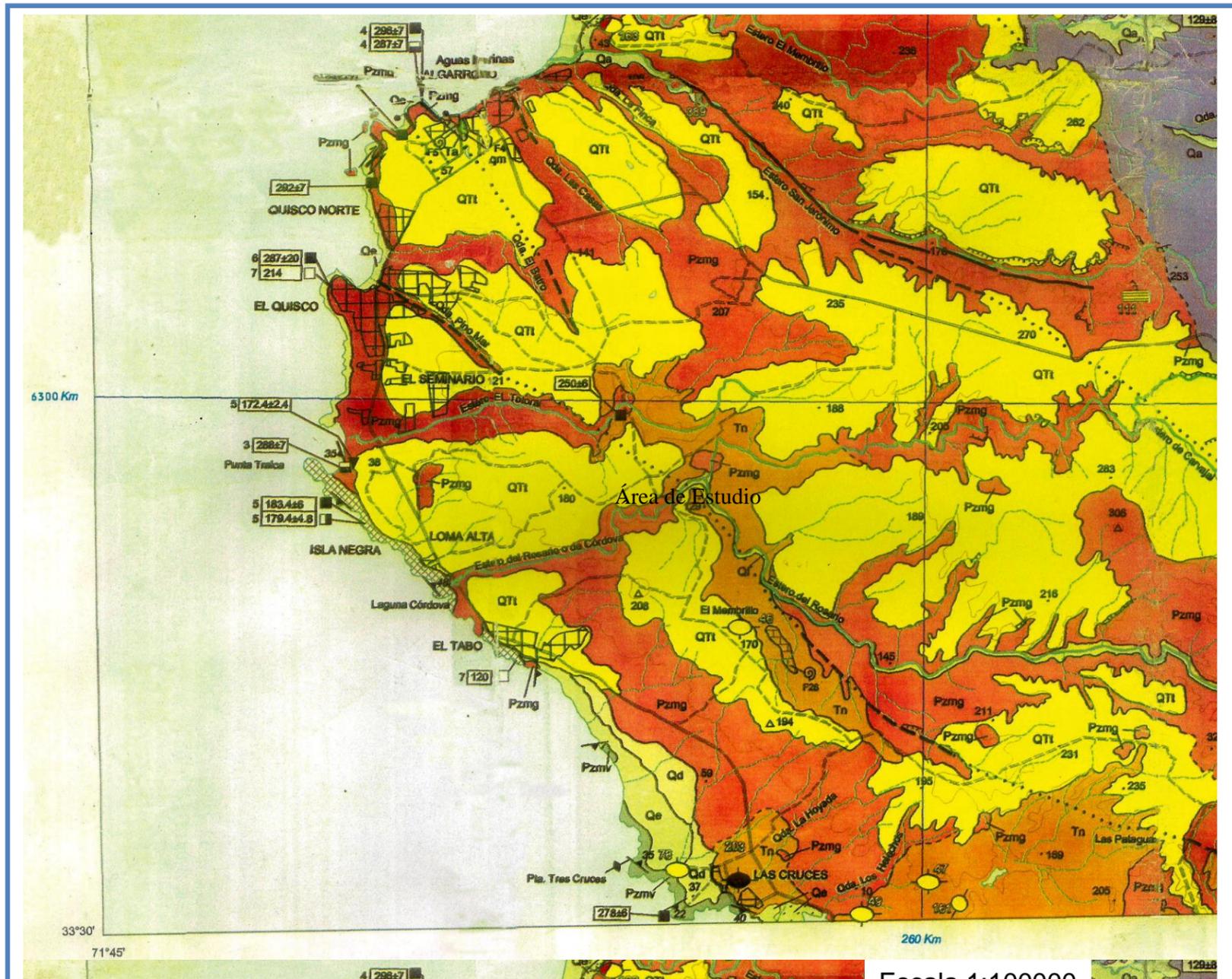
En las proximidades de la actual línea de costa, cubriendo a los intrusivos, se encuentran remanentes de rocas sedimentarias marinas del cretácico

superior-paleógeno (Estratos de la Quebrada Municipalidad y Estratos de Algarrobo) y depósitos marinos y continentales del neógeno y, en parte, del pleistoceno (Formación Navidad y Estratos de Potrero Alto). La relación de contacto entre el basamento cristalino-metamórfico y las secuencias estratificadas es fundamentalmente por medio de una amplia discordancia de erosión (Thomas, 1958).

Predomina un sistema de estructuras en bloques, limitados por fallas noroeste y noreste, de desplazamiento vertical post-plioceno, sobreimpuestas a un movimiento de rumbo, con rotación de bloques, que en parte, afectan a las rocas cretácicas de la Cordillera de la Costa (Gana et al., 1996).

Hacia el sur, la estructura de mayor importancia regional, corresponde a la Falla Melipilla que se extiende con rumbo oeste-noroeste a lo largo del valle del río Maipo. Otras fallas de importancia regional corresponden a la Falla Puangue, que se encuentra interrumpida en el sector de la Cuesta Lo Encañado por otra falla paralela al curso inferior del Río Maipo (Falla Río Maipo). Ambas limitan un bloque alzado (bloque Leyda) que expone rocas básicas y graníticas deformadas y que actuó como barrera topográfica para el avance de depósitos de flujo piroclástico cuaternarios (Ignimbrita Pudahuel) (Gana et al., 1996, Wall et al., 1996).

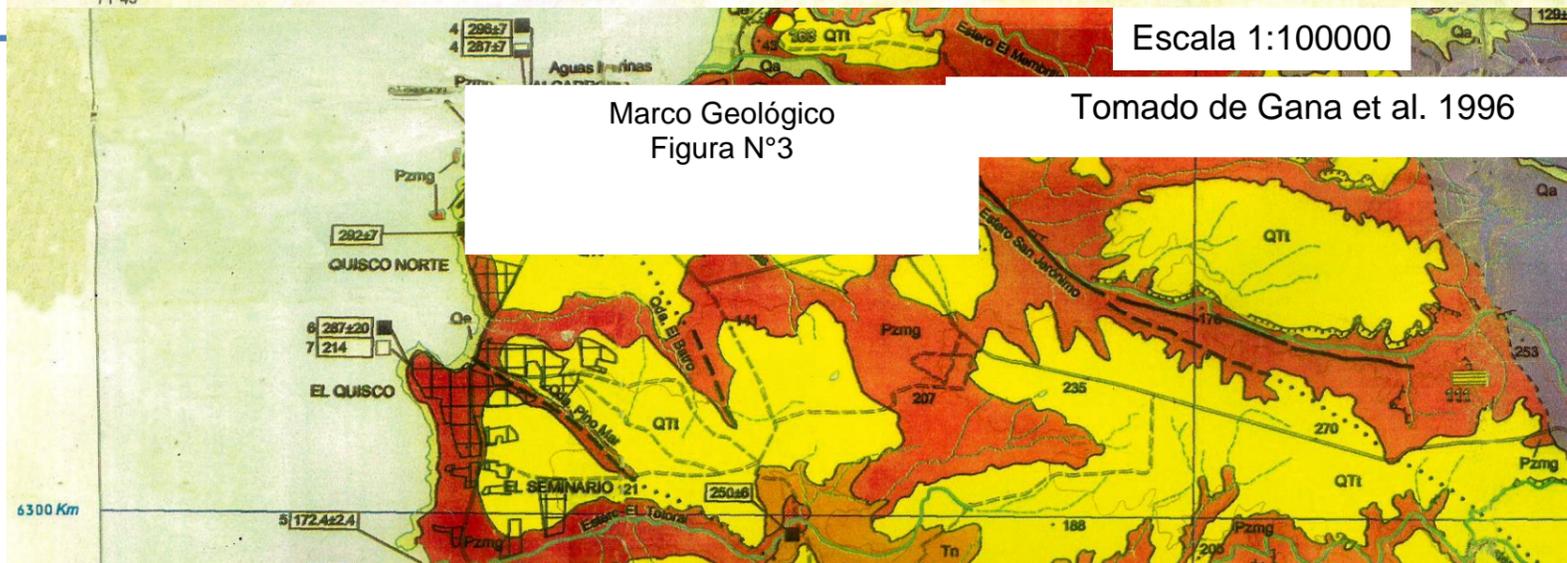
El dominio oriental de la Cordillera de la Costa presenta un relieve abrupto y montañoso con cimas que superan los 2000 m.snm, disectado por valles encajonados de dirección predominante noroeste. Está formado por rocas intrusivas del Batolito Central, de edad cretácico, en parte jurásico y secuencias volcano-sedimentarias del jurásico al cretácico inferior (formaciones Ajial, Cerro Calera, Horqueta, Lo Prado y Veta Negra), que constituyen un bloque monoclinado inclinado hacia el este.



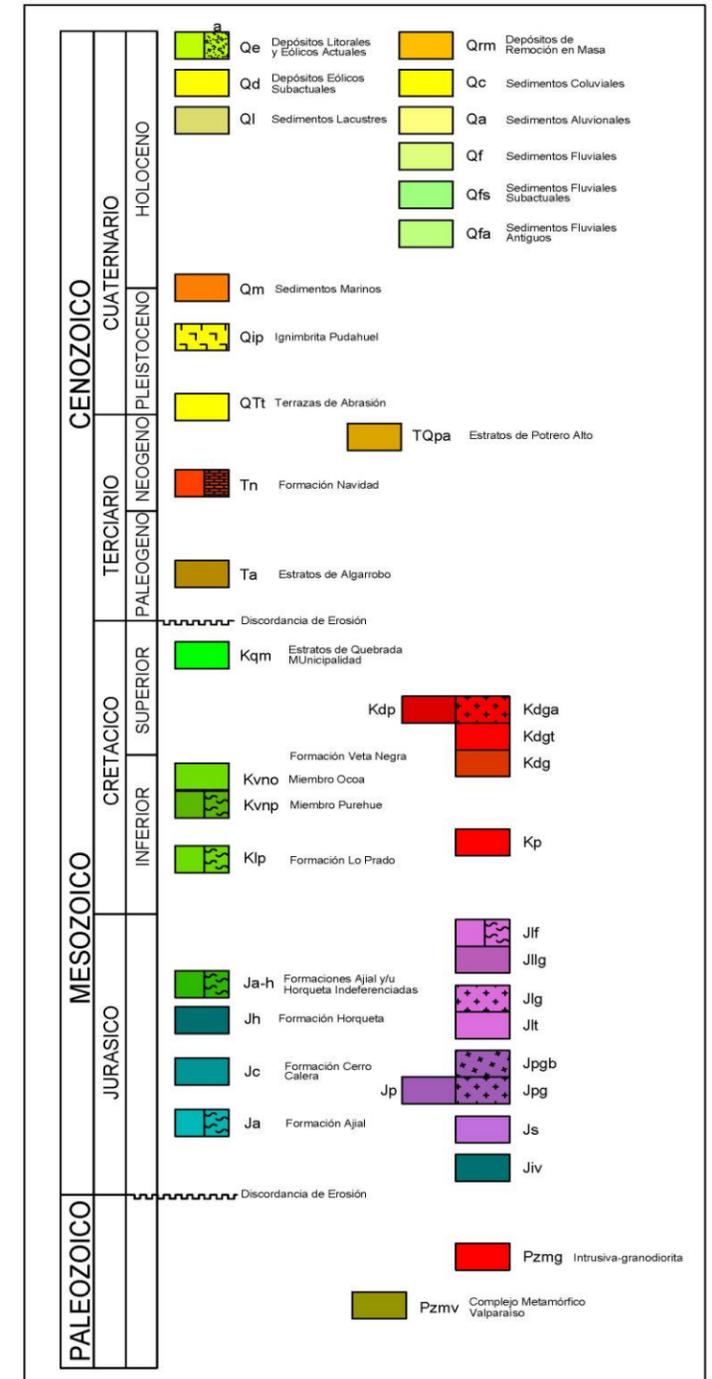
Escala 1:100000

Marco Geológico
Figura N°3

Tomado de Gana et al. 1996



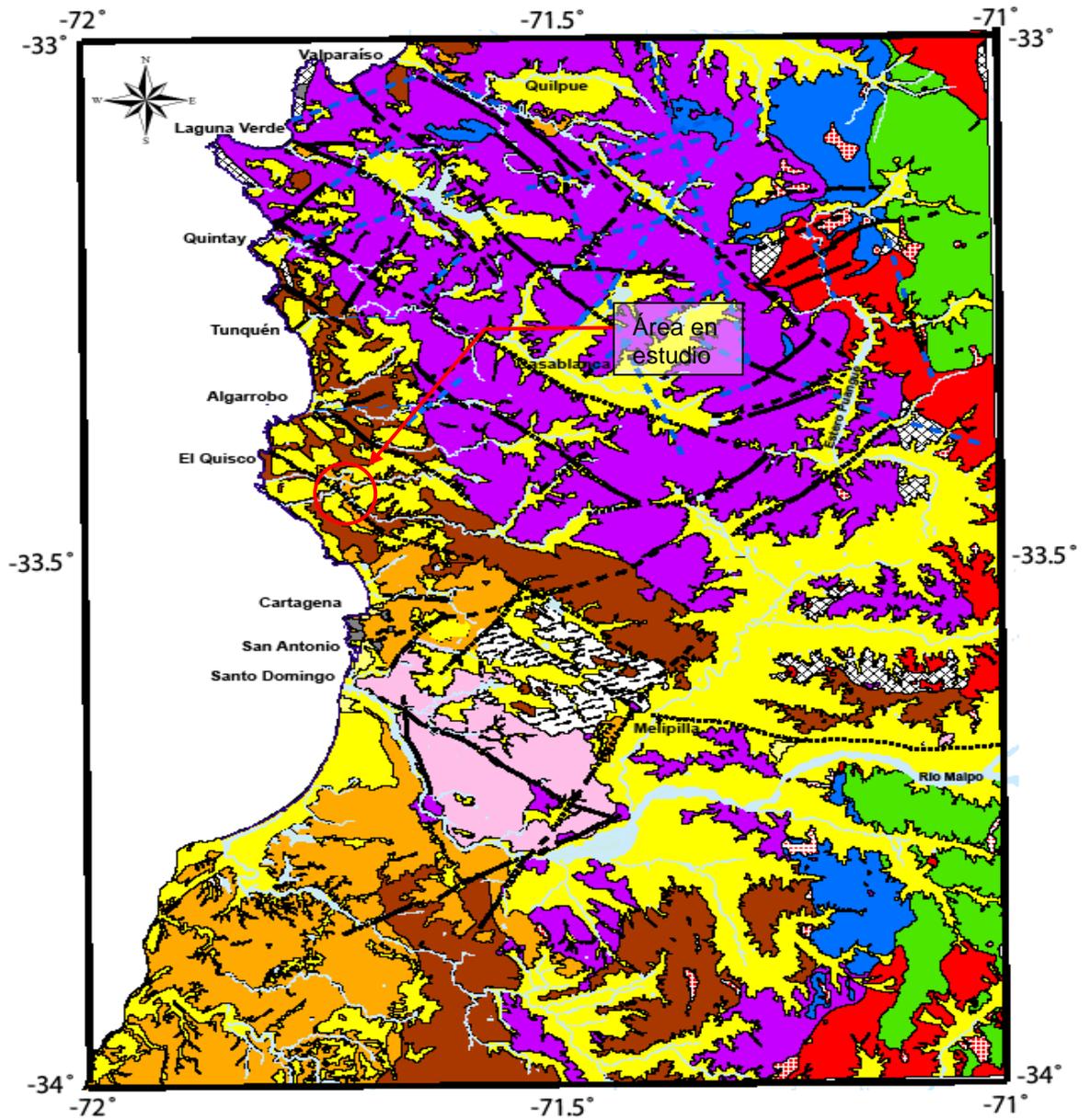
LEYENDA



Las estructuras principales consisten en fallas nor-noreste a noroeste y norte-sur, que en parte coinciden con la dirección de los valles encajonados, con pequeños desplazamientos de rumbo que sólo se reconocen cuando esas fallas afectan a las secuencias estratificadas.

Estructuras menores, lineamientos y fallas inferidas se orientan con rumbo noreste y noroeste.

Movimientos tectónicos, posiblemente post-pliocénicos, se manifiestan en inversiones hacia el este de la red de drenaje, como en el caso del estero Puangue (Gana et al., 1996 y Wall et al., 1996).



Leyenda

- | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Depósitos holoceno-pleistocenos | Intrusivos jurásicos | Zonas de alteración hidrotermal |
| Rocas paleógeno-neógenas | Intrusivos triásicos | Zona de inclusiones magmáticas |
| Rocas estratificadas cretácicas | Intrusivos paleozoicos | Zona de deformación milonítica |
| Intrusivos cretácicos | Rocas metamórficas paleozoicas | Zona Urbana |
| Rocas estratificadas jurásicas | | Lagunas y embalses |

Estructuras potencialmente activas

- Fallas Cartografiadas (Gana et al., 1996; Wall et al., 1996)
- Lineamientos y fallas inferidas cartografiadas (Gana et al., 1996; Wall et al., 1996)
- Fallas cubiertas
- Lineamientos aportados en este trabajo

Marco Geológico Estructural

(Sabaj, 2008)

Figura N°3.1

2.2. Estructura

En general, toda el área muestra evidencias de haber sido sometida a procesos tectónicos prolongados en los cuales se habrían alternado fases de tipo compresivo con fases distensivas (Charrier y Vicente, 1970), ambas con una marcada polaridad hacia el Este (Charrier y Vicente, op. cit.).

De este modo, las fases compresivas habrían provocado la formación de pliegues, de distintos tamaños y tipos, los cuales presentan su mejor expresión en las rocas metamórficas del paleozoico así como en las rocas sedimentarias mesozoicas, pudiendo observarse también que en algunas zonas de migmatitas, las rocas graníticas paleozoicas han sido afectadas por pliegues moderadamente cerrados como ocurre en el sector de San Antonio. (Corvalán et.al, op.cit.).

Es así como las rocas metamórficas de la Formación Quintay presentan pliegues isoclinales de corto período, cuyo plano axial es subvertical con buzamiento fuerte hacia el Nor-oeste (Corvalán et tal, op cit.). Estas rocas muestran, en algunas áreas, como en San Antonio, pliegues de más de 1 m. de amplitud, en que se distinguen, frecuentemente, pliegues menores incluidos que afectan, en forma notoria, la esquistocidad y el bandeamiento de esas rocas.

Asimismo, las rocas volcánicas y sedimentarias de la Formación Lo Prado se muestran plegadas en una orientación general N7-30E/50SE (Charrier, 1973), aunque en algunos sectores se encuentran formando sinclinales de orientación Este-Oeste, como es el caso del cerro La Esperanza al Norte de Las Cabras (Charrier, op.cit). lo que hace sugerir al autor que esta unidad sufrió intensas sollicitaciones, cuyos efectos se dejan ver en la deformación de los niveles incompetentes, las cuales, probablemente, estarían asociadas a la intrusión granítica del Batolito Central, durante el cretácico superior. (Charrier, Corvalán et al op.cit.).

Por otra parte según se puede ver en el Figura N°3.1, todas las rocas pre-cenozoicas existentes en el área se muestran frecuentemente fracturadas, a través de sistemas de fallas normales de rumbo variable entre Norte-Sur, Este-Oeste y Noroeste-Sureste, reflejos de las fases de extensión que habrían precedido a las compresivas (Charrier, op.cit.).

Según las trazas observables a través de las imágenes satelitales, estas fallas presentan, por lo general, corridas de varias decenas de kilómetros, continuándose, especialmente los sistemas de orientación Norte-Sur y Noroeste-Sur este, aún a lo largo de más de una centena de kilómetros.

Estos sistemas parecer ser los más modernos por cuanto se los ha encontrado desplazando bloques que contienen sedimentos marinos de edad Mioceno, como se puede observar en el sector de Tunquén (Corvalán et al, op.cit.) y en el extremo Norte del área de estudio; sin embargo y aunque se puede inferir la existencia de estos sistemas de fallas, en la mayor parte de los casos no existen evidencias claras de terreno que indiquen su presencia, de manera que se puede concluir que no han sufrido reactivación.

En general, las fases extensivas se presentan acompañadas de abundante efusión de material volcánico calco-alcalino (Charrier, op.cit), situación que, aunque no se presenta claramente expuesta en el área, se puede observar bastante bien en la región más oriental (Cordillera de Los Andes), (Charrier, op. cit), mientras que, las fases de compresión habrían sido acompañadas por un extenso plutonismo de carácter ácido, el cual, al igual que el volcanismo, muestra una polaridad acentuada hacia el oriente.

Es importante hacer notar que el área presenta una alta sismicidad, que se ve reflejada en que, aproximadamente cada 10 años, se ve afectada por

movimientos telúricos de carácter destructor, cuya magnitud varía entre 7 y 8 en la escala Richter (Greve, 1956; Sabaj, op.cit.).

Los estudios sismológicos ejecutados en las últimas décadas, han concluido que estos movimientos tienen su hipocentro a una profundidad variable entre 60 y 160 Km en la corteza oceánica o en la fosa. Sin embargo, trabajos posteriores, relacionados con los sismos de los años 1985 y 2010, indican la existencia de focos situados a una profundidad de 10 a 30 Km, que están afectando directamente a la placa continental (Sabaj, op.cit.)

Con cierta frecuencia y dependiendo de su magnitud, estos movimientos han sido precedidos de tsunamis, que pueden representar un efecto destructor similar a los sismos, aunque más localizado en la franja costera, de modo que en ocasiones, han devastado las costas del área con olas de 20 a 30 m de altura, según lo refieren las crónicas.

3. FACTIBILIDAD GEOTÉCNICA DEL PROYECTO DE EMBALSE EL ROSARIO PARA AGUA POTABLE.

3.1. Geología local

El área, en torno al estero del Rosario, se encuentra enmarcada fundamentalmente en rocas intrusivas, de composición tonalítica, de edad paleozoico (Pzmg en Figura N° 3) intruidas por diques dioríticos a microdioríticos, que en parte forman migmatitas que se observan como jirones de rocas oscuras incluidas en la tonalita.

En algunos sectores, definidos como pequeñas ensenadas litorales antiguas, existen depósitos de arenas, en parte fosilíferas, con intercalaciones de ripio y arcilla, que muestran estratificación cruzada y características propias de los depósitos marinos litorales, a los que se ha datado con una edad pleistoceno-holoceno, en base a la fauna fosilífera que contienen. Estos depósitos, escasamente consolidados, se sitúan en algunos sectores aislados, que han quedado protegidos de la erosión, a una cota que no supera los 25 m. snm, con espesores de alrededor de 10 m (Corvalán y Dávila, Gana op cit).

Morfológicamente, el área corresponde a una extensa llanura ondulosa, suavemente inclinada hacia el Oeste, que se incluye en la unidad definida como terrazas litorales (Corvalán y Dávila, Gana op cit) labrada sobre la roca tonalítica o en los depósitos marinos pleistoceno-holoceno y se encuentra disectada por los numerosos valles pequeños que drenan el área, entre ellos, el estero del Rosario, todos con su origen en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa.

Estos esteros han desarrollado, en su curso intermedio bajo, valles estrechos, encajonados, sinuosos, de fondo plano, con muy baja pendiente y nulo a escaso espesor de sedimentos aluviales, de modo que frecuentemente aflora la roca granítica en su piso. Estos valles presentan

escasa pendiente de escurrimiento, paredes altas y abruptas, de manera que se puede observar la existencia de pozas en las que el agua tiene un desplazamiento prácticamente imperceptible..



Fotografía N° 1: Tonalita con fracturas selladas N40E y ojos microdioríticos



Fotografía N°2: Tonalita intruida por microdiorita, con fracturas cerradas, en piso del valle



Fotografía N°3: Tonalita intruida por dique microdiorítico en fondo del valle.
Se observa una poza de agua casi sin escurrimiento



Fotografía N°4: Roca fresca en el fondo del valle; roca meteorizada en ribera derecha



Fotografía N°5: Tonalita fresca intruida por dique diorítico y poza en fondo del valle.



Fotografía N° 6: Tonalita meteorizada en ribera izquierda (sur), se observan fracturas subverticales y subhorizontales.



Fotografía N° 7: Tonalita meteorizada en ribera izquierda (sur), se observan fracturas subverticales y subhorizontales. (detalle de Fotografía N° 6)



Fotografía N° 8: Tonalita fresca, con fracturas subhorizontales y subverticales, siguiendo la orientación de pequeña falla N30E/70W



Fotografía N° 9: Tonalita con fracturas subhorizontales y subverticales



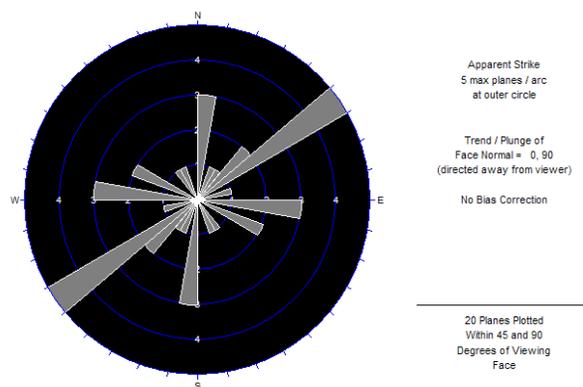
Fotografía N° 10: Valle de El Rosario, aguas arriba del sitio del muro

3.2. Ubicación eje muro

El lugar seleccionado para ubicar el eje de la represa está situado adyacente al lugarejo llamado La Capellanía, a unos 5.000 m desde la costa, aproximadamente a 1 km aguas abajo de la confluencia del estero de Carvajal con el estero principal y a una cota de 75 m s.n.m., según se puede observar en el mapa de la Figura N° 4 y en la imagen de Google Earth que se incluye como Figura N° 6.1.

A lo largo de este sector el valle ha sido excavado, en gran medida, en tonalita meteorizada, intruida por diques dioríticos, situación que se observa con claridad en el fondo, donde aflora la roca fresca, mientras las riberas están constituidas en gran medida, por maicillo, como se puede ver claramente en las fotografías N° 1, N° 6 y N° 7, así como también, en el plano y perfil esquemático de la Figura N°5.

En el área se ha reconocido cinco sistemas de diaclasas, que afectan principalmente a las rocas graníticas paleozoicas con una frecuencia variable entre 5 y 10 diaclasas por metro, que han sido agrupadas en un sistema principal orientado NE-SW, más un par de sistemas de orientación NS y EW y, en menor proporción, un sistema NW-SE y otros fracturamientos menores, según se ve en los diagramas de la Figuras N° 4.



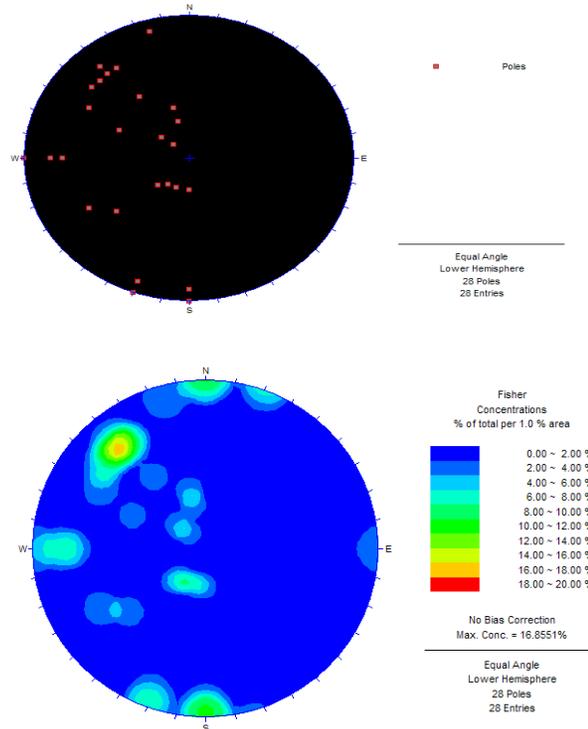


Figura N° 4
Distribución del Fracturamiento

En general, el fracturamiento presenta inclinaciones subverticales, con una frecuencia de 5 a 10 fracturas por metro. Las diaclasas subhorizontales se disponen con un espaciado de entre 0,50 y 1 m entre sí.

De acuerdo con lo descrito, se ha estimado una frecuencia de fracturamiento de 8 a 12 por metro cúbico.

La roca presenta entonces, un RQD de 82%, de manera que presenta buena calidad, de acuerdo al Índice de Calidad de Deere.

Una importante proporción de estas diaclasas se presenta rellena con material silíceo o feldespático, en parte arcilloso, conformando vetillas pequeñas y sólo se puede observar fracturas abiertas en superficie, relacionadas a la zona de meteorización de la roca, de manera que en los

sectores donde aflora la roca fundamental fresca, en las laderas y en el fondo de los valles, las fracturas se encuentran selladas.

En superficie, las fracturas se presentan levemente rugosas, con relleno de limonitas algo arcillosas y poca pirolusita.

En este lugar, el valle se ha desarrollado en dirección nor-este – sur-oeste, y sufre un fuerte angostamiento, quedando con una sección de aproximadamente 80 m de largo, como se presenta en el perfil a lo largo del eje de la Figura N° 5.

Aproximadamente 100 m aguas abajo, el valle sufre una serie de cambios, que se ven reflejados en su profundidad, angostamiento y en su dirección, de modo que se desplaza hacia el Sur, orientándose Norte-Sur y posteriormente, Noreste-Suroeste y Este–Oeste, en tramos relativamente cortos, generando meandros acentuados, reflejos del acentuado control estructural que le afecta.

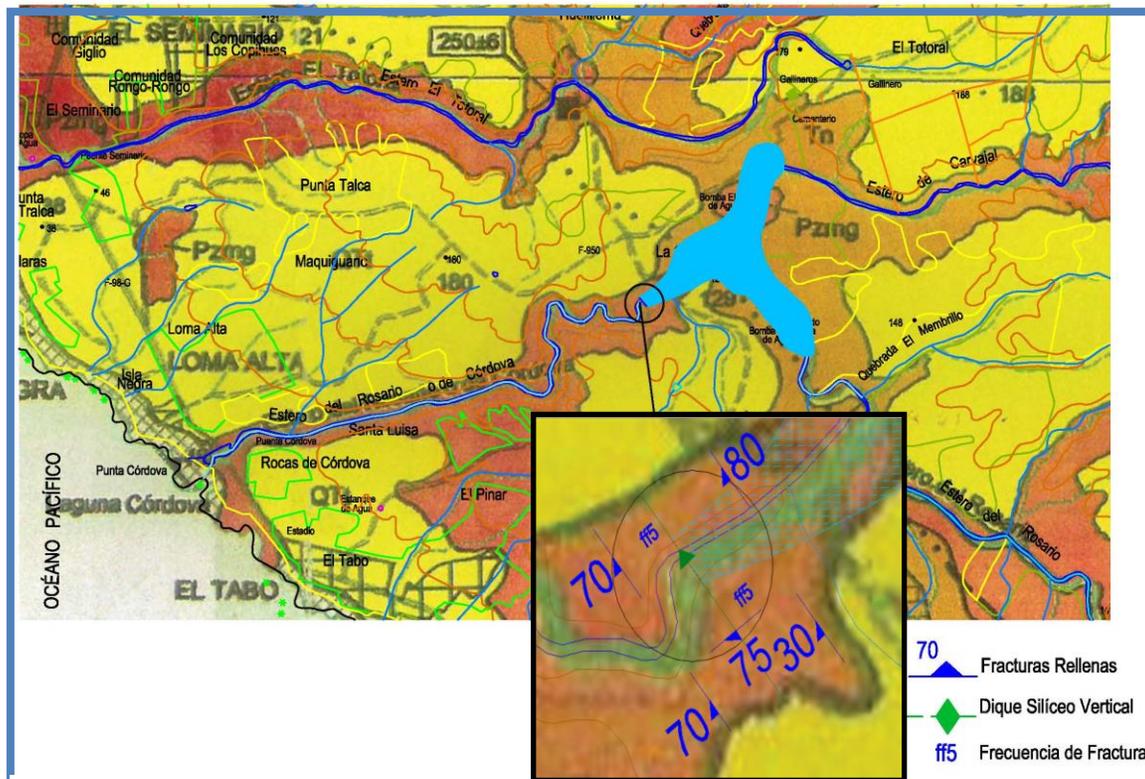
En general, a partir de unos 100 m aguas arriba del lugar seleccionado, el valle del estero El Rosario se angosta notoriamente con respecto al sector que le precede, y al mismo tiempo se encajona, quedando limitado a Norte y Sur por paredes abruptas, sub-verticales, que generan un desnivel de más de 50 m con respecto al fondo.

La gradiente de escurrimiento del estero en el sector alcanza, a lo largo de un extenso tramo hacia aguas arriba, una pendiente de 0,1%. de manera que se puede observar la existencia de pozas en las que el agua tiene un desplazamiento prácticamente imperceptible, aunque se observa la roca granítica impermeable, aflorando en el fondo, prácticamente sin cubierta sedimentaria aluvial.

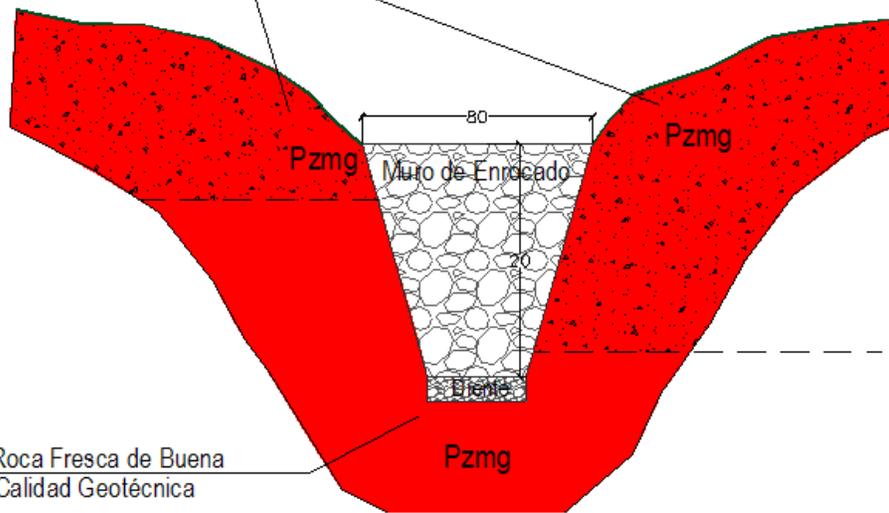
Según la clasificación de Bieniawski, el macizo que alojaría el muro del embalse, en la ribera derecha y en el fondo del valle, corresponde al tipo II, Roca Buena, con un RMR de 86, considerando que se trata de una roca granítica fresca, seca y muy dura, con una resistencia a la compresión uniaxial >250 , que presenta alrededor de 8 discontinuidades por m^3 , una frecuencia de fracturamiento de 6 por m, con fracturas rugosas, altamente selladas, que persisten más de 1 m.

En la ribera izquierda o sur, donde la roca presenta un alto nivel de meteorización, sin presencia de agua, con una resistencia a la compresión uniaxial <100 , con 8 discontinuidades por m^3 , una frecuencia de fracturamiento de 6, fracturas lisas, abiertas que persisten más de 1 m, el RMR sumó 49, Roca Regular a Mala, aunque se ha considerado que la meteorización corresponde a una cubierta de algunos metros de espesor, que está cubriendo la roca fresca, de calidad similar al apoyo derecho.

En Anexos se entrega el cálculo del índice RMR de Bieniawski, en base a las características observadas en terreno.



Roca Medianamente Meteorizada
Regular Calidad Geotécnica



(Ampliado de Gana et al, 1996, sin escala)

Geología Embalse El Rosario
Figura N°5

En este sitio se ha proyectado construir un embalse de 20 m de altura, que cubriría una superficie de alrededor de 2 Km², en una longitud de unos 3 Km y podría acumular un volumen de aproximadamente 6 millones de m³ de agua, con lo que se podría solucionar, al menos parcialmente el problema de agua potable del litoral central.

Es necesario señalar que la altura máxima del muro se encuentra acotada porque el valle del estero de Carvajal, a unos 500 m de la confluencia con el valle principal, presenta un portezuelo en su ladera occidental, cuya cota máxima es de aproximadamente 112 m s.n.m. Este portezuelo está limitando la altura máxima del embalse del estero El Rosario, que, si tuviera una cota de aguas máximas superior a 110 m s..m. (30 m de altura de muro), debería incluir un pretil en ese sector, para evitar que el agua se vacíe hacia la quebrada de Huallilemo o El Total.

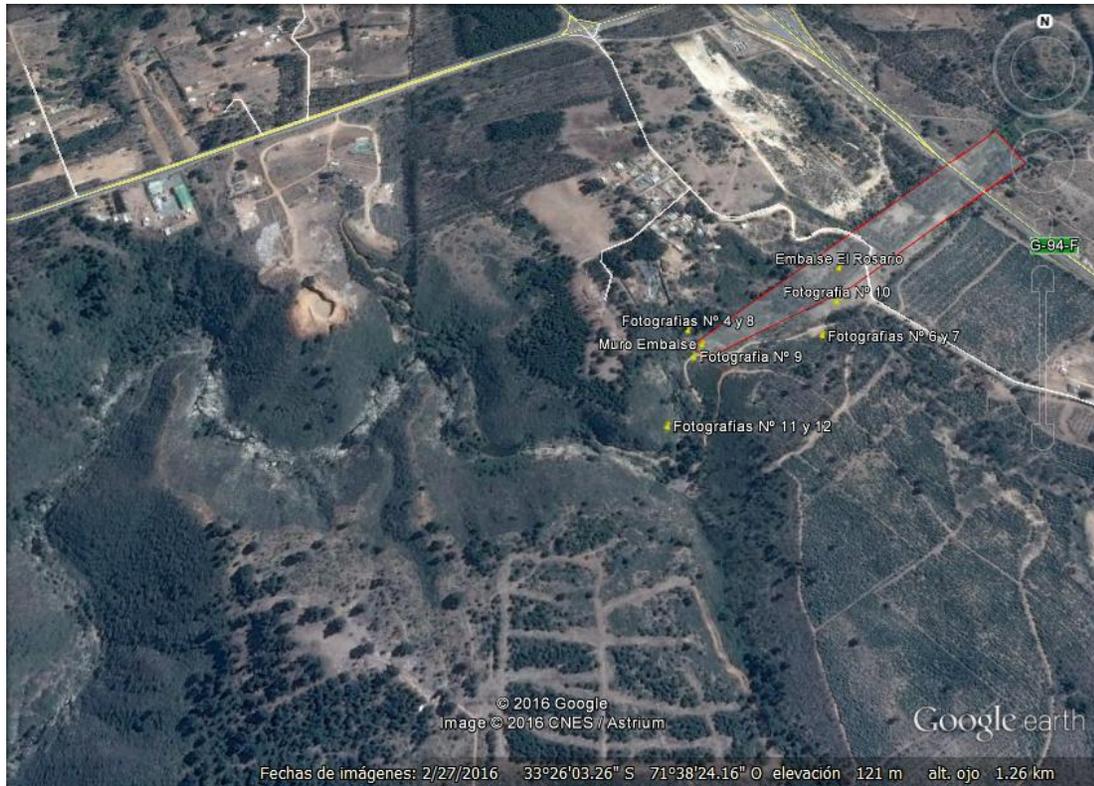


Figura N° 6.1

Vista Embalse El Rosario

3.3. Caracterización geotécnica de terrenos comprometidos.

El área se presenta compuesta esencialmente por rocas de composición tonalítica intruida por diques dioríticos y microdioríticos. Este tipo litológico es el que existe, exclusivamente, en el sector donde se ubicará el muro.

Unos 5 km aguas arriba del sitio del muro, en el Estero El Rosario, afloran sedimentos marinos de edad Mioceno-Plioceno que sobreyacen a la roca granítica y que están compuestos por una capa de coquina dura en la base, subyaciendo a depósitos arenosos masivos poco cohesionados, con un espesor de aproximadamente 10 m.

El fondo del valle del estero El Rosario presenta, junto a la confluencia del estero Carvajal, una cubierta sedimentaria aluvial, cuaternaria y moderna, de espesor variable entre 27 y 72 m, reconocida a través de los sondajes

que allí se perforaron para el abastecimiento de agua potable del Litoral, actualmente en desuso. Estos sedimentos se presentan compuestos principalmente por arenas con algunas ínterestratificaciones lenticulares de arcillas y limos, y se encuentran restringidos al sector que rodea la confluencia citada, disminuyendo su espesor hacia aguas arriba, en tanto que 500 m aguas abajo de esta confluencia, su espesor es insignificante hasta desaparecer completamente.

Como se ha visto, según la clasificación de Bieniawski, el macizo que alojaría el muro del embalse, en la ribera derecha y en el fondo del valle, corresponde al tipo II, Roca Buena, con un RMR de 86, considerando que se trata de una roca granítica fresca, seca y muy dura, a la que se ha estimado una resistencia a la compresión uniaxial >250 , con alrededor de 8 discontinuidades por m^3 , una frecuencia de fracturamiento de 6, con fracturas rugosas, altamente selladas, que persisten más de 1 m.

En la ribera izquierda el RMR alcanzó 49, Clase III, Roca Regular a Mala, con un nivel de meteorización medianamente alto, aunque sin presencia de agua, con una resistencia a la compresión uniaxial estimada <100 , con 8 discontinuidades por m^3 , una frecuencia de fracturamiento de 6, con fracturas lisas, abiertas que persisten más de 1 m.

Este resultado permite asegurar parcialmente la estabilidad futura de la presa, la que podrá ser construida con un enrocado de graduación adecuada extraído desde las canteras que se podrían habilitar en las cercanías del eje del muro.

Por otra parte, el área se presenta atravesada por una gran cantidad de diaclasas rellenas con material silíceo y feldespático, así como también por algunos filones y diques dioríticos, microdioríticos y cuarcíferos, que están

conformando una intrincada red de venillas, de rumbo preferencial Noreste–Suroeste y Noroeste–Sureste.

El muro estará fundado en roca granítica sana y dura, sin embargo deberá considerarse todos los factores de riesgo que pueden generarse, en especial, la alta sismicidad que afecta a la zona.

En este sentido, hay que tener presente que el área presenta alta sismicidad, reflejada en sismos de magnitud sobre 6,5 con focos superficiales, ubicados a una profundidad entre 10 y 30 Km., que se repiten aproximadamente cada 10 años (Sabaj, op.cit.).

3.4. Elección tipo de muro.

Considerando que dadas las características del área, el muro quedará fundado sobre roca granítica de alta capacidad soportante, en un sector del valle cuya sección mide aproximadamente 80 m y con abundancia de rocas graníticas altamente impermeables, parece altamente recomendable un muro de enrocado con membrana de alta compactación.

3.5. Fuentes de empréstito para rellenos y enrocados.

En el caso de que se construyera un muro de enrocado, se necesitará de un lugar desde donde extraer los trozos de roca que lo conforman.

Prácticamente toda el área, excepto aquellos sectores ya descritos, está compuesta por rocas graníticas de muy buena capacidad soportante, de modo que no es gran problema habilitar una cantera para la extracción del material.

Se sugiere que esa cantera quede ubicada sobre el flanco septentrional o derecho del valle, a unos 200 m aguas abajo del eje del muro, sector que se indica en la imagen de la Figura N° 4.1 y en la Fotografía N° 11 y N° 12. El lugar se encuentra próximo a la faena, pero a una distancia prudente

que permita tomar las medidas de seguridad apropiadas para no provocar accidentes por efecto de su explotación.



Fotografía N° 11: Tonalita fresca, aguas abajo del sitio del muro, posible cantera de empréstito.



Fotografía N° 12: Tonalita intruida por dique diorítico, posible cantera de empréstito para construcción del muro

Por otra parte, el agregado estabilizado, necesario para la pared sujetora de la membrana impermeable, podrá ser extraído del maicillo existente en el mismo sector y/o de las acumulaciones arenosas eocénicas que existen en el lugar llamado El Membrillo, a corta distancia aguas arriba del eje del muro. Desde este mismo sector habría que extraer el material de agregado pétreo, en el caso en que se decidiera la construcción de otro tipo de muro.

3.6. Obras de desviación y entrega.

Se ha considerado necesario construir, dada la magnitud de la faena, obras auxiliares para desviar el agua que llegue al lugar, producto del escurrimiento superficial del estero, durante la época de lluvias.

Estas obras estarán compuesta por un ataguía rústico, de unos 5 m de altura, ubicado a unos 100 m aguas arriba del diente del muro, complementado con un canal de desviación.

El canal se podrá ubicar en la ribera izquierda del valle, de manera de aprovechar el cambio de dirección que sufre éste, aguas abajo del eje del muro, para no dañar el talón de aguas abajo con las obras de descarga.

En esta ubicación, el canal podría tener una longitud de aproximadamente 250 m.

3.7. Vertedero.

El vertedero de crecidas y excesos consistirá en un canal, excavado en la roca granítica, junto al apoyo derecho o norte del muro y a una distancia tal de éste, de modo que este apoyo quede a salvo de la posible erosión que pueda producir el agua en el vertedero.

El vertedero deberá quedar fundado preferentemente en roca granítica inalterada, de modo que deberá extraerse toda la cubierta meteorizada. Sin embargo, en caso de que la roca sana se encuentre a una cota inferior a la de aguas máximas, se tendrá que construir un canal-vertedero revestido de cemento para asegurar la estabilidad del apoyo del muro.

Este canal evacuador deberá dimensionarse de modo que a través de él pueda salir el caudal de crecida máxima para un lapso de 24 horas.

De este modo, el vertedero entregará su descarga en el sector orientado Norte-sur del valle, aguas abajo del muro del embalse, de ese modo se asegura la estabilidad de éste.

3.8. Programa de estudios geotécnicos adicionales.

Continuando este trabajo, previo a la elaboración del proyecto propiamente del embalse, corresponderá ejecutar los estudios orientados a definir en detalle las características del sector y las situaciones particulares que puedan existir. Estos trabajos deberán iniciarse a partir de la confección de una base topográfica del sector del valle que será cubierto por el embalse.

Se sugiere la ejecución de un levantamiento a escala 1:10.000, para todo el área de inundación y los sectores aledaños, con ampliaciones a escala 1:1.000 del área inundada y 1:500 del sitio del muro.

Además, tanto en la ubicación del eje del muro, como a lo largo de la zona de inundación, resulta recomendable y necesario perforar un conjunto de sondajes, de acuerdo a la ubicación relativa y profundidad que se presenta en el plano de la Figura N° 6.

Se ha estimado perforar 4 sondajes, 2 sondajes de 30 m cada uno, en las hombreras del muro, uno, de 20 m de profundidad, en el centro del muro y otro, de 30 m, en la zona de inundación.

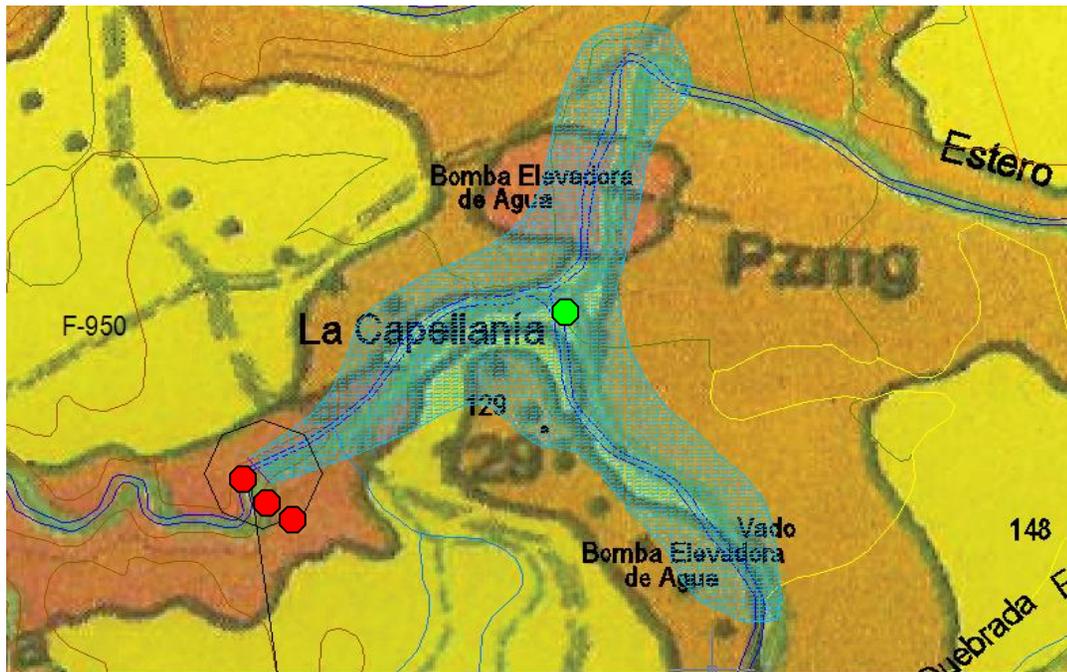
Estos sondajes estarán orientados a reconocer las características de la roca de fundación, en lo que se refiere a su calidad geotécnica y asimismo, para determinar el espesor de la cubierta de material meteorizado.

Se considera necesario ejecutar pruebas de infiltración (Lugeon y/o Le Franc Mandell) para determinar su permeabilidad, así como también, ensayos para determinar la resistencia a la compresión simple y, asimismo, por medio de esas pruebas de presión de agua, detectar las eventuales pérdidas que podrían afectar al embalse y las mejores soluciones para impermeabilizarlo.

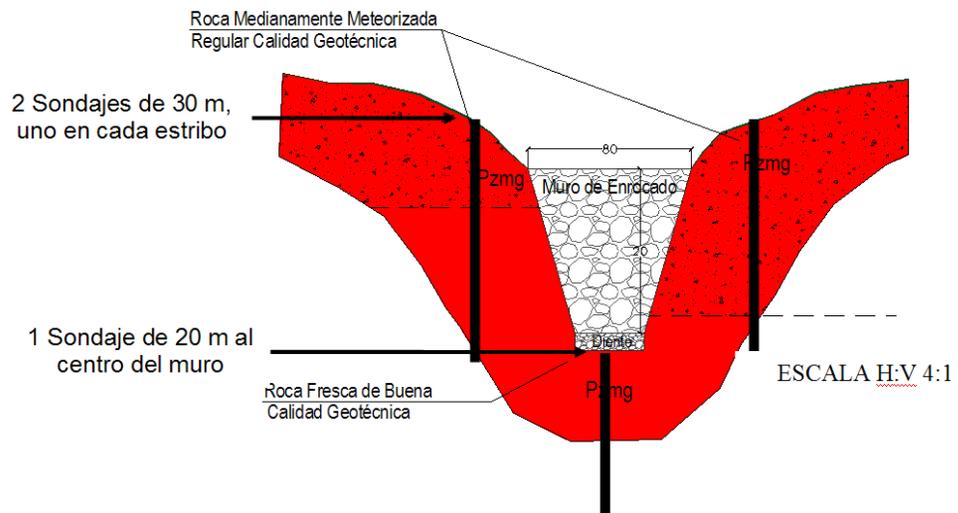
También parece recomendable, realizar perfiles sísmicos, tanto a lo largo del eje del muro, como también por ambas laderas del embalse. En ambos casos se trata de determinar el espesor de la cubierta de material meteorizado y las características de la roca, para determinar las mejores condiciones de impermeabilización de la zona de embalse y evitar el vaciamiento subterráneo hacia los valles vecinos.

Se considera que para definir el volumen de aguas muertas del embalse se debería realizar estudios de sedimentación, con mediciones periódicas, a lo largo de todo el año.

Por último, se deberá complementar el programa con estudios de las posibles fuentes de empréstito, a través de calicatas, estocadas y galerías, para definir el volumen de material meteorizado a retirar de cada lugar y, en el caso de las canteras de arena, determinar la calidad de éstas, a través de un muestreo sistemático y ensayos de laboratorio.



- : Sondajes ubicados en el sector del muro del embalse.
- : Sondaje en el área de inundación de 30 m de profundidad.



Programa de Exploraciones

(Ampliado de Gana, op.cit)

Figura N° 6

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Desde finales de los años '60s se ha planteado la posibilidad de construir un embalse en el valle del estero de El Rosario, para mejorar el abastecimiento de agua potable del Litoral Central; sin embargo, ha pasado el tiempo y el Proyecto nunca se ha concretado, fundamentalmente porque se ha optado por otro tipo de soluciones que requieren de menor inversión.

Se considera que el valle del estero del Rosario ofrece excelentes expectativas para ubicar un embalse pequeño, con las características que se ha definido: un muro de 80 m de largo y 20 m de altura, que acumula un volumen de 6 millones de m³ de agua y genera una zona de inundación que cubre un área de 2 Km² a lo largo de 3 Km de valle.

Se ha definido el sector adyacente al lugar denominado La Capellanía, situado a unos 5.000 m de la desembocadura, a una cota de 75 m s.n.m. y a 1.000 m, aguas abajo de la confluencia de los esteros de El Rosario y de Carvajal, lugar en que el valle se caracteriza por presentar un curso sinuoso, angosto y de paredes escarpadas, donde la roca fresca se encuentra expuesta en el fondo del valle, con una gradiente de 0,1 %.

El muro estará fundado en roca granítica, de composición tonalítica, correspondiente al Batolito de la Costa, de edad paleozoico. Asimismo, la zona de inundación se desarrollará sobre el mismo tipo de roca. La roca presenta alta resistencia a la compresión simple, con un RMR de 86, lo que asegura una roca buena, según la clasificación de Bienawski. Ésta presenta una cubierta de meteorización de espesor y características variables, que se observa fundamentalmente a lo largo de las laderas, principalmente en la ribera izquierda, donde el RMR descendió a 49.

Se sugiere que el muro se construya de enrocado, dadas las características geotécnicas y la abundancia de la roca de fundación en el área, aunque no se descarta un muro en arco.

4.2 Recomendaciones

Se considera necesario desarrollar un conjunto de exploraciones orientadas a conocer en profundidad las características de la roca, tanto en la zona de fundación del muro, como a lo largo de la zona de inundación.

Como primera medida, se debería hacer un levantamiento topográfico detallado de toda el área en que se circunscribe el embalse, de manera de contar con planos a escala 1:10.000, 1:1.000 y 1:500, para caracterizar detalladamente cada uno de los sectores del embalse y definir, con mayor exactitud, la ubicación del eje del muro

Contando con la Topografía, se deberá hacer levantamientos geológicos de detalle de la zona del eje del muro y del dentellón o plinto (diente de impermeabilización).

De acuerdo con los resultados de la Geología de detalle, se deberá programar la perforación de alrededor de 6 sondajes de unos 30 m de profundidad cada uno, tanto a lo largo del eje del muro, como de los estribos y del diente, además de hacer perforaciones, en ambas riberas, a lo largo de la zona de inundación.

Se considera necesario ejecutar análisis de resistencia a la compresión simple y pruebas de infiltración (Lugeon y/o Lefranc Mandell) en los sondajes, para determinar las características hidráulicas de la roca a diferentes profundidades y contar con valores de permeabilidad.

Se deberá hacer calicatas en la zona del eje del muro y a lo largo de la zona de inundación, que permitirán reconocer las características y la calidad del relleno sedimentario y/o del material de meteorización existente, lo que permitirá determinar la probabilidad de su uso como material de empréstito.

Hacer un mapeo geológico detallado, con Topografía de detalle, en las zonas definidas como de empréstito. En función de estos resultados, ubicar calicatas para analizar, en laboratorio, las características de este material y definir su probable utilización.

Se deberá hacer estudios hidrológicos y pruebas de sedimentación, que permitirán determinar los caudales de escurrimiento y el volumen de aguas muertas.

5. BIBLIOGRAFIA

Aguirre, L., 1960 Geología de Los Andes de Chile Central, Provincia de Aconcagua. Boletín N°9 IIG.Santiago.

Almeida y Sáez, 1958. Recopilación de Datos Climáticos y Mapas Sinópticos Respectivos. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile

Bieniawski, Z. T., 1989. Engineering Rock Mass Clasifications. John Wiley and Sons.

Borde, J., 1966. Les Andes de Santiago et leur Avantpays. Étude de Geomorphologie. Thèse de Doctoral. Union Francaise d'Impresion. Bordeau, France.

Brüggen, J., 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Editorial dellnstituto Geográfico Militar, Santiago.

Bureau of Reclamation, 1968. Diseño de Presas Pequeñas. CECSA, México.

Bureau of Reclamation, Department of Interior, USA. 1968. Earth Manual

Celedón, E., 1968. Estudio Hidrogeológico del Estero El Rosario en la Región de El Tabo. Universidad de Chile, Departamento de Obras Civiles, Santiago.

Charrier, R. y Lillo, F. 1973. Geología Regional y Geoquímica del Drenaje, de las Provincias de O'Higgins y Colchagua. IREN, CORFO.

Charrier, R., Farías, M., Comte, D., Pardo, M., 2004. Active tectonics in the southern Central Andes, a Recent example: the 28 August 2004 shallow Mw=6.5 earthquake. Eos. Trans. AGU, 85 (47), Fall Meeting Suppl. Abstract S43C-1015.

Cordani, F., Munizaga, F., Hervé, F. y Hervé, M., 1976. Edades Radiométricas Provenientes del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa de las Provincias de Valparaíso y Santiago. 1^{er} Congreso Geológico Chileno. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

CORFO, Departamento de Recursos Hidráulicos, 1969. División Hidrográfica N°120. Interfluvio 4 Aconcagua-Maipo, Santiago.

CORFO, Departamento de Recursos Hidráulicos, 1970. Mapa Hidrográfico de Chile. Santiago.

CORFO, Departamento de Recursos Hidráulicos, 1973. Producción Específica de las Cuencas Hidrográficas de Chile. (S. Haddad). Santiago.

Corvalán, J. y Álvarez, L., 1966. Geomorfología de Valparaíso y Regiones Adyacentes. III Encuentro Nacional de Geografía, Universidad Católica de Valparaíso.

Corvalán, J. y Dávila, A. 1964. Mapa Geológico de la Hoja Valparaíso-San Antonio. (En Corvalán y Munizaga 1972. Boletín N°28 IIG), Santiago.

Corvalán, J. y Dávila, A. 1964. Geología de la Cordillera de la Costa entre los ríos Aconcagua y Mataquito. Resúmenes N° 9. Sociedad Geológica de Chile.

Corvalán, J., Hervé, F. y Godoy, E., 1977. Estudio Geológico del Área Quintay, Punta Gallo, Provincia de Valparaíso, V Región. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Informe inédito para ENDESA.

Corvalán, J.y F. Munizaga, 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. Instituto de Investigaciones Geológicas, Bol. 28.

Cunill, R., 1970. Geografía de Chile. Editorial Universitaria, Santiago.

D.G.A, Ministerio de Obras Públicas, 1986. Estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional.

Díaz, G., 1970. Estudio Hidrogeológico de la Hoya del Estero de Casablanca. Universidad de Chile, Departamento de Geología. Memoria de Título.

Faiguenbaum, I., 1964. Agua Potable de Algarrobo y Balnearios Vecinos, Proyecto de Embalse El Rosario. Dirección de Obras Sanitarias, Santiago, Chile. Informe inédito.

Gana, P., Wall, R., Gutiérrez, A., 1996. Geología del área Valparaíso-Curacaví: Regiones de Valparaíso y Metropolitana, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN, Mapa geológico N°1).

Gana, P., Zentilli, M., 2000. Historia termal y exhumación de intrusivos de la Cordillera de la Costa de Chile Central. Actas IX Congreso Geológico Chileno, Vol. 2, p. 664-668. Puerto Varas. 91

González, I., 1976. Sedimentología Litoral de la Provincia de Valparaíso, Chile. 1^{er} Congreso Geológico Chileno, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Educación. Madrid. 744 p.

Greve, F. 1964. Historia de la Sismología en Chile. Universidad de Chile, Departamento de Geofísica y Geodesia. Santiago

GSHAP, 1999. Global Seismic Hazard Assessment Program.

Haddad, S., 1973. Producción Específica de las Cuencas Hidrográficas de Chile

Hervé, F., 1976. Petrografía del Basamento Cristalino en el Área Laguna Verde – Quintay, Provincia de Valparaíso, Chile. 1^{er} Congreso Geológico Chileno. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago de Chile.

Hidrosan-Chile, 1976. Racionalización del Agua Potable en el Litoral (San Juan de Lillo-Algarrobo). DOS-MOP. Santiago. Informe inédito.

IIG. 1968 Mapa Geológico de Chile 1: 1.000.000. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago.

Karzulovic, J. y Campillo, R. 1968. Estudio Hidrogeológico de la Región del Balneario Algarrobo y Áreas Vecinas, Provincia de Valparaíso. Sección Geología Aplicada, Departamento de Obras Civiles, Universidad de Chile. Santiago.

Karzulovic, J. 1971. Caracterización Geomorfológica y Geológica de Chile y su Aplicación a la Evaluación y Aprovechamiento de Recursos de Agua. 1^a Etapa de la Jornada de Trabajo Profesional: La Planificación de los Recursos Hidráulicos en Chile. CEPLA-CAI-Departamento de Industrias Universidad de Chile. Publicación N°71/13/C, Santiago.

Lomnitz, C., 1971. Grandes Terremotos y Tsunamis de Chile Durante el Período 1535 – 1955. Revista Geofísica Panamericana, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Comisión Geofísica. Año 1, N°1, La Paz, República de Bolivia.

Mancilla, G. 1979. Estudio Hidrogeológico Geotécnico del Valle Inferior del Río Maipo. Proyecto a Nivel de Prefactibilidad de la Captación Isla de Maipo. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago.

Muñoz Cristi, J., 1950. Geología. Geografía Económica de Chile. Volumen 2. CORFO, Santiago.

Muñoz Cristi, J., 1964. Estudios Petrográficos y Petrológicos sobre el Batolito de la Costa de las Provincias de Santiago y Valparaíso. Universidad de Chile, Instituto de Geología, Publicación N° 25, Santiago, Chile.

Muñoz Cristi, J., 1970. Geología de Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.

Naciones Unidas, 1960. Los Recursos Hidráulicos de América Latina. I Chile. CEPAL, México.

Norma NCh 433.Of 96, (1996), Diseño sísmico de edificios, Instituto Nacional de Normalización. INN Chile, 42 p, Santiago.

Pariseau, W., 2008. Solutions Manual to Design Analysis in Rock Mechanics. Taylor and Francis e Library.

Sabaj, R.A., 2008. Identificación y caracterización de estructuras potencialmente activas en la cordillera de la costa entre los 33° y 33°45' s. Memoria de Título Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago.

Valenzuela, M. 1994. Reconocimiento Hidrogeológico de la Zona Costera Litoral Central Vª Región. Memoria de Título, Universidad de Chile.

Vladilo, I., 1977. Caracterización del Terremoto del 13 de Mayo de 1647 y Estudio del Comportamiento de la Iglesia de San Francisco de Santiago de Chile.

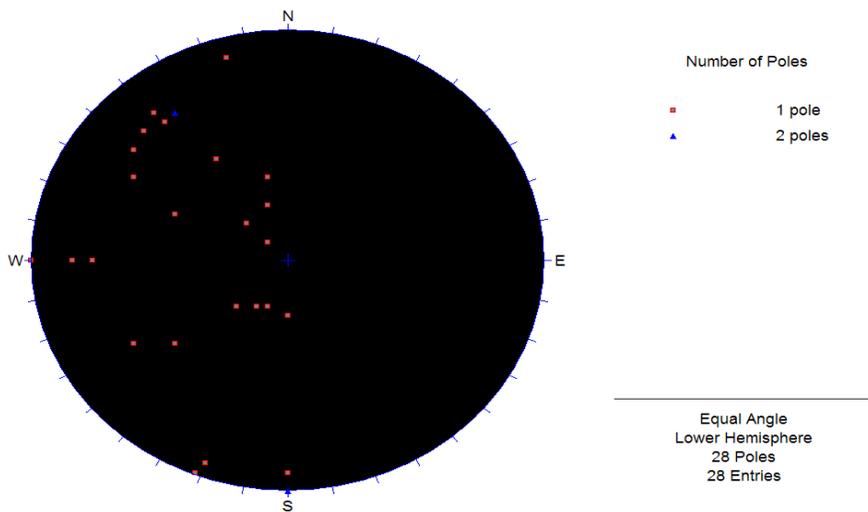
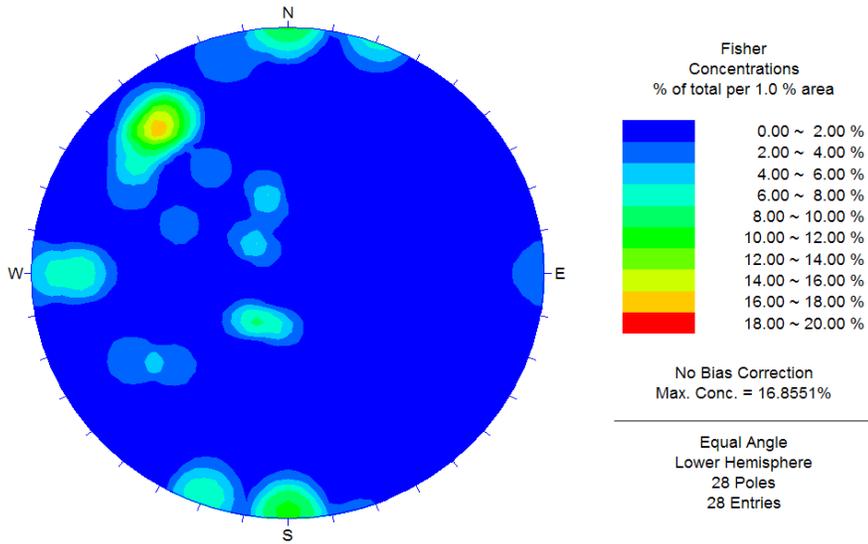
Memoria de Título. Universidad de Chile, Departamento de Obras Civiles. Santiago.

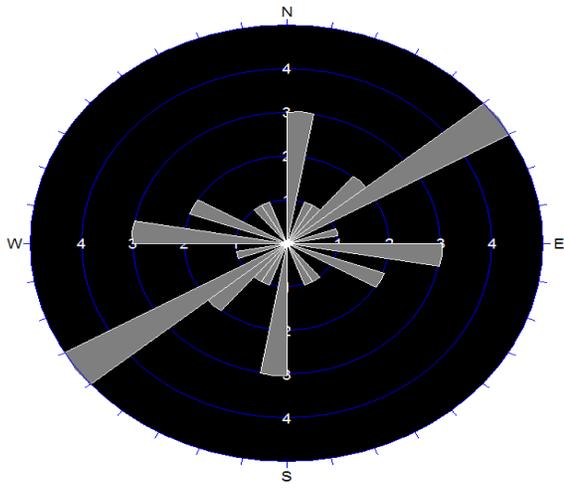
Wall, R., Gana, P., Gutiérrez, A., 1996. Geología del área San Antonio-Melipilla: Regiones de Valparaíso, Metropolitana y Del Libertador Bernardo O'Higgins, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN, Mapa Geológico N°2.

ANEXOS

ANEXO N° 1

Diagramas de Distribución del Fracturamiento





Apparent Strike
5 max planes / arc
at outer circle

Trend / Plunge of
Face Normal = 0, 90
(directed away from viewer)

No Bias Correction

20 Planes Plotted
Within 45 and 90
Degrees of Viewing
Face

ANEXO N° 2

Cálculo del Índice RMR de Bieniawski de las Unidades Comprometidas

1. Tonalita fresca y sana del fondo del valle y estribo Norte:

- resistencia a la compresión libre (250 MPa) : 15
- RQD (82) : 16
- Distancia entre fracturas (15 cm) : 10
- Condición de fracturas (cerradas, rugosas) : 30
- Agua: fracturas secas : 15
- **TOTAL** : **86**

Roca de Buena Calidad

2. Tonalita meteorizada del estribo Sur:

- resistencia a la compresión libre (100 MPa) : 8
- RQD (82) : 16
- Espacio entre fracturas (15 cm) : 10
- Condición de fracturas (abiertas, lisas) : 0
- Agua subterránea (secas) : 15
- **TOTAL** : **49**

Roca de calidad Regular a Mala