

BIBLIOGRAFIA

Investigaciones de Geología aplicada a la Ingeniería *10/163-11)*

Provincia de Concepción

Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke

Instituto de Investigaciones Geológicas
Chile

BIBLIOTECA NACIONAL



0444939

Boletín N.º 13

1963

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

MAPA GEOLOGICO DE CHILE

1960. Escala 1:1.000.000. Trastelado, E° 25,00; sin trastelar, E° 20,00.

CARTA GEOLOGICA DE CHILE

(Hojas cuadrangulares)

- Vol. I, N° 1. Cuadrángulo Los Loros, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom, 1959, 36 pp., 2 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. I, N° 2. Cuadrángulo Cerrillos, Prov. de Atacama, Kenneth Segerstrom y R. L. Parker, 1959. 36 pp., 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. II, N° 1. Cuadrángulo Quebrada Paipote. Prov. de Atacama. Kenneth Segerstrom, 1960. 35 pp., 1 gráfico, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. II, N° 2. Cuadrángulo Llampos. Prov. de Atacama. Kenneth Segerstrom, 1960, 41 pp., 2 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. II, N° 3. Cuadrángulo Chamonate, Prov. de Atacama. Kenneth Segerstrom, Beatriz L. de Valenzuela y Sonia Mehech, 1960. 42 pp., 2 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 2,00.
- Vol. III, N° 1. Cuadrángulo Copiapó. Prov. de Atacama. Kenneth Segerstrom y Carlos Ruiz F. 1962. 115 pp., 11 gráficos, 1 mapa a escala 1:50.000. E° 4,00.
- Vol. III, N.os 2, 3, 4 y 5. Cuadrángulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla. Prov. de Tarapacá. Carlos Galli Olivier y Robert J. Dingman, 1962. 125 pp., 11 Tablas, 12 figuras, 11 láminas y 4 mapas a escala 1:50.000. E° 6,00.

BOLETINES

- N° 1. El Agua Subterránea de Santiago (Informe Preliminar). Robert J. Dingman y Lorenzo Barraza S., 1958. 13 pp., 2 tablas, 1 plano. E° 0,50.
- N° 2. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga. Herbert Thomas B., 1958. 86 pp., 1 cuadro, 2 mapas. E° 2,00.
- N° 3. El Titoniano de Río Leñas (con una revisión del Titoniano y Neocomiano de la parte chilena del Geosinclinal Andino). José Corvalán D., 1959. 65 pp., 8 grabados y 7 láminas. E° 1,65.
- N° 4. Investigaciones gravimétricas en la región de Chillán. Cinna Lomnitz, 1959. 19 pp., 2 mapas, 2 gráficos. E° 0,65.
- N° 5. El agua subterránea en el norte de la Pampa del Tamarugal. Octavio Castillo Urrutia, 1960. 107 pp., 3 cuadros, 14 gráficos. E° 2,50.
- N° 6. Observaciones Geológicas en la Cordillera de la Costa de Tarapacá. Giovanni Cecioni y Floreal García, 1960. 28 pp., 2 gráficos. E° 2,00.
- N° 7. Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos, con una discusión acerca de su relación con la orogénesis. Carlos Ruiz, Kenneth Segerstrom, Luis Aguirre, José Corvalán, H. J. Rose Jr. y T. W. Stern, 26 pp., un mapa. E° 1,00.
- N° 8. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central (provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó). Carlos Klohn Giehm, 1960. 95 pp., 3 gráficos, 1 mapa. E° 3,00.
- N° 9. Geología de los Andes de Chile Central (provincia de Aconcagua). Luis Aguirre Le Bert, 1960. 68 pp., 6 gráficos, 1 mapa. E° 2,50.
- N° 10. Yacimientos de cobre tipo manto. Su distribución en fajas mineralizadas. Provincia de Aconcagua. Chile Central. Williams D. Carter, 1961, 30 pp., 6 gráficos. E° 1,50.

(Pasa a la penúltima página).

10/163-11)

Investigaciones de Geología aplicada a la Ingeniería

Provincia de Concepción

*Carlos Galli Olivier** y *Richard W. Lemke***

Instituto de Investigaciones Geológicas
Chile

El presente trabajo ha sido ejecutado en colaboración con la United States Agency for International Development Mission en Chile y el United States Geological Survey

* Instituto de Investigaciones Geológicas.
** U. S. Geological Survey.



35193

Instituto de Investigaciones Geológicas

creado por

CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN

y

DEPARTAMENTO DEL COBRE

AGUSTINAS 785 - CASILLA 10465 - SANTIAGO DE CHILE

CARLOS RUIZ FULLER

DIRECTOR

© Instituto de Investigaciones Geológicas. 1963

Inscripción N° 24.521

Impreso en Chile

Prensas de
Editorial Universitaria, S. A.
San Francisco 454
Santiago de Chile

Printed in Chile

PROLOGO

Geología Aplicada a la Ingeniería es una rama de la Geología Aplicada. Específicamente es la aplicación del conocimiento geológico a la solución de problemas de Ingeniería Civil. Los datos, técnicas y principios geológicos se aplican a los estudios de suelos y de rocas, con el propósito de que los factores de orden geológico que afectan el planeamiento, proyecto y la operación de estructuras de ingeniería, sean considerados de manera que se construya mejor, con el mínimo de dinero y de tiempo.

Las estructuras proyectadas por el hombre se construyen sobre, dentro de y con muchos tipos de materiales naturales, ya sean rocas o suelos. Cada tipo de material tiene características propias que deben ser estimadas en lo referente a la selección del área para construir, al proyecto y a la utilidad que prestará la estructura. Además de las características físicas, mecánicas y químicas de los materiales, hay otros aspectos propiamente geológicos que deben ser considerados. Esos aspectos, entre muchos otros, son los siguientes:

- 1) una determinación de la posición en el espacio y de las relaciones estructurales de los materiales, como son las fallas, pliegues y discordancias;
- 2) un conocimiento de aspectos primarios y secundarios, como planos de estratificación, foliaciones y diaclasas;
- 3) una estimación de si materiales naturales de construcción adecuados pueden obtenerse a distancias económicas, y
- 4) un estudio detallado de la topografía del área en estudio y las clases de materiales superficiales, especialmente en relación con áreas de derrumbes activos o potenciales y con otros problemas de estabilidad.

Geología Aplicada a la Ingeniería es un campo de la Geología relativamente nuevo, que ha alcanzado su mayor desarrollo durante las últimas décadas. Ese desarrollo se produjo por el revolucionario crecimiento de las actividades de la construcción, cada vez más complejas y más variadas. Ejemplos muy notables de fallas de estructuras, tales como embalses, puentes, caminos, túneles, aeropuertos y grandes edificios, directamente atribuibles a condiciones geológicas, señalaron amargamente la necesidad de adecuados estudios de Geología Aplicada a la Ingeniería, previos a la construcción de las estructuras. Como consecuencia, muchas instituciones gubernamentales y compañías privadas de todo el mundo incorporaron geólogos a sus personales. Los más grandes servicios geológicos nacionales cuentan con grupos de geólogos de Ingeniería, dedicados exclusivamente al estudio de proyectos de construcción. El Instituto de Investigaciones Geológicas (IG), en cooperación con el United States Agency for International Development (USAID/Chile) y el Bundesanstalt für Bodenforschung de Hannover,

Alemania Federal, realiza un programa de Geología Aplicada a la Ingeniería que se inició poco después de los terremotos de mayo de 1960, en el sur de Chile.

El programa de Geología Aplicada a la Ingeniería del IIC, arriba mencionado, así como otras investigaciones proyectadas para el futuro, en relación con tipos variados de construcción, pueden ayudar al ingeniero civil y al urbanista. Esas investigaciones geológicas, eventualmente, se integran con sus campos de conocimientos. Por estas razones, el ingeniero civil, el urbanista y el geólogo de Ingeniería deben trabajar juntos en estrecha relación. Cada uno debe comprender el lenguaje de los otros, lo cual requiere clara comunicación oral y escrita. Por ello, es particularmente importante que el geólogo reúna observaciones útiles a esos profesionales y escriba informes que puedan ser claramente comprendidos y transformados rápidamente en acción. Los datos geológicos que no sean directamente aplicables a estos fines, aun cuando hayan sido obtenidos con mucho esfuerzo o sean una contribución para la ciencia de la Geología, no deben formar parte de este tipo de informes.

El ingeniero y el geólogo de Ingeniería deben comprender las responsabilidades y las limitaciones de ambos. Estas responsabilidades y limitaciones han sido muy bien expuestas por R. F. Leggett, de Canadá, quien es, a la vez, ingeniero y geólogo (1939, p. 69):

“El geólogo analiza las circunstancias tal como las encuentra; el ingeniero considera de qué modo podrá cambiarlas para que sirvan a sus planes; el geólogo muestra los problemas existentes y pronostica los trastornos que pueden ocurrir; la labor principal del ingeniero consiste en resolver esos problemas y en superar las dificultades. La última responsabilidad por las decisiones corresponde siempre al ingeniero, pero para sus conclusiones irá guiado y probablemente de acuerdo con los datos que le haya dado el geólogo”.

De lo anterior es evidente que, en la mayor parte de los casos, la decisión acerca de si una estructura puede o no ser construida es responsabilidad del ingeniero. Esto debe necesariamente ser así porque los problemas geológicos son solamente uno de los muchos factores limitantes que deben ser considerados por el ingeniero, al determinar las posibilidades de cualquier proyecto. Esta idea se hace aún más evidente si se considera que, técnicamente, la mayor parte de las estructuras pueden ser construidas, no importa cuáles sean las condiciones geológicas, siempre que estén adecuadamente proyectadas y que no importen los costos. Pero la práctica demuestra que es muy probable que los costos sean el factor más limitante. Por ello es que los autores consideran que el geólogo de Ingeniería eventualmente puede y debe hacer recomendaciones, en relación con la solución de problemas geológicos, que ayudarán al ingeniero a concretar sus decisiones.

INDICE

PROLOGO	3
INTRODUCCION	7
Propósitos y alcance de las investigaciones (1 figura)	7
Métodos usados en las investigaciones	8
Agradecimientos	11
LUGAR PROPUESTO PARA LA REUBICACION DEL PATIO DEL FERROCARRIL DE CONCEPCION (1 figura)	12
<i>Richard W. Lemke y Carlos Galli Olivier.</i>	
LUGAR PROPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL MATA-DERO INTERCOMUNAL EN CONCEPCION (1 figura)	16
<i>Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke.</i>	
GEOLOGIA DEL AREA DE SAN VICENTE EN RELACION CON EL PROYECTO DE CONSTRUCCION DE UN PUERTO (2 figuras)	21
<i>Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke.</i>	
FAJA DE TERRENO PROPUESTA PARA LA UBICACION DE UN CABLE SUBTERRANEO DE ALTA TENSION, CARRIEL SUR, REGION DE CONCEPCION (1 figura)	43
<i>Carlos Galli Olivier.</i>	
DERRUMBES RECIENTES RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCION DE UN CAMINO EN EL AREA DE HUALQUI, REGION DE CONCEPCION (2 figuras)	48
<i>Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke.</i>	
GEOLOGIA Y SUELOS DE UNA FAJA DE TERRENO EN RELACION CON LA CONSTRUCCION DE UNA AUTOPISTA ENTRE CONCEPCION Y TALCAHUANO, PROVINCIA DE CONCEPCION (2 figuras)	55
<i>Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke.</i>	
REFERENCIAS	78

INVESTIGACIONES DE GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA EN LA REGION DE CONCEPCION

p o r

Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke

INTRODUCCIÓN

PROPÓSITOS Y ALCANCE DE LAS INVESTIGACIONES.

Los terremotos de mayo de 1960 motivaron las primeras investigaciones de Geología Aplicada a la Ingeniería realizadas por el IIC. En esas investigaciones los geólogos del IIC trabajaron en cooperación con geólogos de Ingeniería del United States Geological Survey (USGS). Las investigaciones consistieron en el estudio geológico y la confección de los mapas de las ciudades más severamente afectadas por los terremotos y maremotos. Los informes correspondientes se refieren a la geología de las ciudades de Concepción y alrededores (Galli y Sánchez, 1960 a), Valdivia (Doyel *et al.*, 1960), Puerto Montt (Dobrovlny *et al.*, 1960), Ancud (Galli y Sánchez, 1960 b) y Castro (Galli y Sánchez, 1960 c). Pese a que las investigaciones son preliminares, suministraron mucha información a instituciones del Gobierno de Chile y a grupos técnicos asociados al programa de reconstrucción. El resultado más importante fue la conclusión de que en muchos lugares hubo una indudable relación entre los daños producidos por los terremotos y las condiciones geológicas. Además, se señaló la necesidad de información geológica adicional para ayudar a determinar en cuáles áreas de esas ciudades sería más aconsejable reconstruir, desde el punto de vista de la actividad sísmica, así como para otros propósitos donde la construcción tuviese alguna relación con la geología. Se sugirió que la obtención de información geológica adicional debía ser proyectada por el IIC, a través de un programa integral de Geología Aplicada a la Ingeniería.

El actual programa de Geología Aplicada a la Ingeniería fue comenzado en 1961. En un principio consistió en estudios geológicos detallados de las ciudades de: 1) Concepción, Talcahuano, Penco y áreas intermedias; 2) Valdivia, y 3) Puerto Montt. Para cada uno de ellos se designó un geólogo de Ingeniería del IIC como jefe de proyecto. Richard W. Lemke, geólogo de Ingeniería del USGS, fue el asesor técnico.

Como consecuencia del estudio de la región de Concepción, se realizaron algunas investigaciones geológicas especiales. Durante el lapso de

trabajo en terreno, entre octubre de 1961 y abril de 1962, varios grupos de profesionales requirieron información geológica de algunos puntos del área en relación con el planeamiento y la reconstrucción. Muchas de estas solicitudes fueron hechas por urbanistas del Plan Intercomunal de Concepción. Otras solicitudes provinieron de la Dirección de Vialidad, la Empresa Nacional de Electricidad, S. A. (ENDESA) y el USAID/Chile. Los informes correspondientes, en la mayor parte de los casos, fueron presentados en versión mimeográfica en tiradas entre 80 y 100 ejemplares. Algunos fueron traducidos al inglés y se distribuyeron a las personas y organizaciones interesadas.

Seis de esos informes geológicos especiales (Fig. 1) integran esta publicación. Cada uno de ellos cubre un campo diferente dentro de la Geología Aplicada a la Ingeniería y, en consecuencia, esta publicación presenta diversos métodos de trabajo en terreno y una información geológica variada, en los textos y en las ilustraciones. Uno de los propósitos de los autores es ayudar a programar estudios similares y, particularmente, a presentar a la consideración de los profesionales asociados a la construcción de obras de ingeniería y al planeamiento, la utilidad de investigaciones de Geología Aplicada a la Ingeniería que, eventualmente, pueden asistir en la solución de sus problemas.

MÉTODOS USADOS EN LAS INVESTIGACIONES.

Los estudios se hicieron con la ayuda de fotografías aéreas y mapas topográficos a varias escalas. Las fotografías pertenecen al Proyecto de Aerofotogrametría de la Organización de Estados Americanos (OEA), obtenidas a escalas 1:10.000 y 1:20.000 por la Aero Service Corporation en enero y febrero de 1961. En el área de Hualqui se usaron las fotografías aéreas 1:50.000 tomadas por la Hycon-Fairchild en 1955. Sobre las fotografías se marcaron los contactos y otros aspectos geológicos en sistemáticos recorridos sobre el terreno.

Los mapas topográficos usados son el 1:20.000 de la Fuerza Aérea de Chile, el 1:5.000 del Plan Regulador de Talcahuano y el 1:2.000 de la OEA, donde está incluida la región de Concepción.

Las mediciones de ángulos y distancias se hicieron con brújula Brunton y huincha de acero, respectivamente. Los colores de las rocas, sedimentos y suelo, en casi todos los casos, se estimaron por comparación con la Carta de Colores de las Rocas, del Rock-Color Chart Committee (segunda edición, 1951).

En la región de Concepción se efectuaron 40 perforaciones con un taladro mecánico rotatorio Mobile Drill, modelo B 40 Explorer, de la Mobile

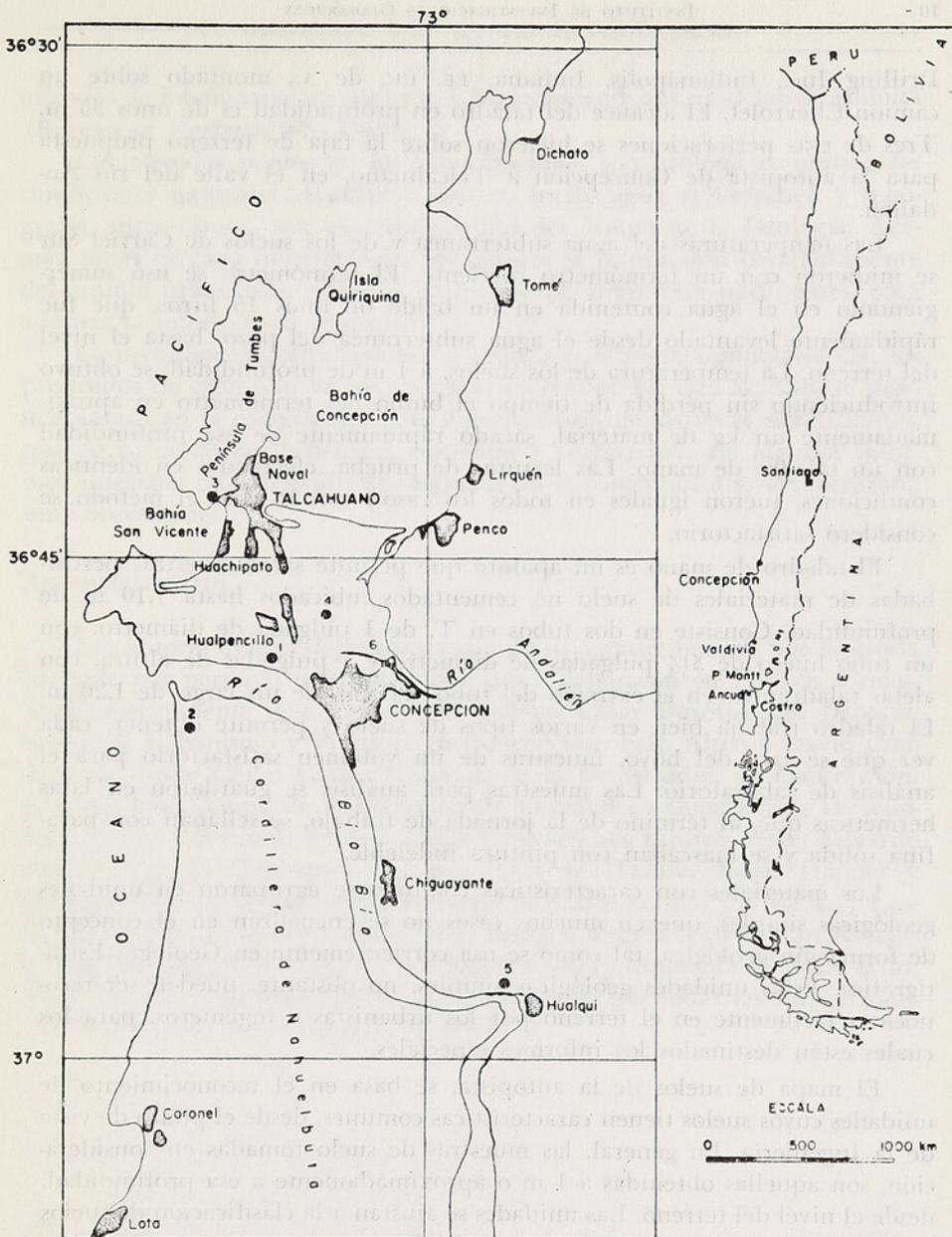


FIG. 1 CROQUIS DE UBICACION

ESCALA

0 5 10 15 km

EXPLICACION

Ubicación aproximada de las áreas estudiadas

- 1.- Patio del ferrocarril
 - 2.- Matadero intercomunal
 - 3.- Puerto de San Vicente
 - 4.- Faja de terreno para el cable subterráneo
 - 5.- Derrumbes de Hualqui
 - 6.- Autopista de Concepción a Talcahuano
- Ciudades y poblaciones

Drilling Inc., Indianápolis, Indiana, EE. UU. de A., montado sobre un camión Chevrolet. El alcance del taladro en profundidad es de unos 35 m. Tres de esas perforaciones se hicieron sobre la faja de terreno propuesta para la autopista de Concepción a Talcahuano, en el valle del río Andalién.

Las temperaturas del agua subterránea y de los suelos de Carriel Sur se midieron con un termómetro corriente. El termómetro se usó sumergiéndolo en el agua contenida en un balde de unos 15 litros, que fue rápidamente levantado desde el agua subterránea del pozo, hasta el nivel del terreno. La temperatura de los suelos, a 1 m de profundidad, se obtuvo introduciendo sin pérdida de tiempo el bulbo del termómetro en aproximadamente un kg de material, sacado rápidamente de esa profundidad con un taladro de mano. Las lecturas de prueba, efectuadas en idénticas condiciones, fueron iguales en todos los casos, con lo cual el método se consideró satisfactorio.

El taladro de mano es un aparato que permite sacar muestras perturbadas de materiales de suelo no cementados, ubicados hasta 1,10 m de profundidad. Consiste en dos tubos en T, de 1 pulgada de diámetro, con un tubo hueco de $3\frac{1}{4}$ pulgadas de diámetro y 7 pulgadas de altura, con aletas taladrantes en el extremo del tubo vertical, de un largo de 1,20 m. El taladro trabaja bien en varios tipos de suelo y permite obtener, cada vez que se saca del hoyo, muestras de un volumen satisfactorio para el análisis de laboratorio. Las muestras para análisis se guardaron en latas herméticas que, al término de la jornada de trabajo, se sellaban con parafina sólida y se marcaban con pintura indeleble.

Los materiales con características comunes se agruparon en unidades geológicas simples, que en muchos casos no se encuadran en el concepto de formación geológica, tal como se usa corrientemente en Geología Estratigráfica. Estas unidades geológicas simples, no obstante, pueden ser reconocidas fácilmente en el terreno por los urbanistas e ingenieros, para los cuales están destinados los informes especiales.

El mapa de suelos de la autopista, se basa en el reconocimiento de unidades cuyos suelos tienen características comunes, desde el punto de vista de la Ingeniería. En general, las muestras de suelo tomadas en consideración, son aquellas obtenidas a 1 m o aproximadamente a esa profundidad, desde el nivel del terreno. Las unidades se ajustan a la clasificación de suelos (Unified Soil Classification System) inicialmente propuesta por Casagrande (1942; Abdun-Nur, 1950; Bureau of Reclamation, 1960). Los materiales de las unidades se clasificaron por medio de análisis de laboratorio que determinaron, según los tipos de materiales, el contenido de humedad en porcentaje, el límite líquido, el límite plástico y la granulometría. Los

métodos de laboratorio se ajustaron a los recomendados en el Earth Manual (Bureau of Reclamation, 1960).

Los métodos usados en las investigaciones son geológicos, porque las condiciones naturales estudiadas —rocas, suelo, agua subterránea y topografía, entre otras—, son aspectos propios del campo de la Geología. Además, antes de cada investigación, los autores se informaron detalladamente del estudio urbanístico o de los problemas de Ingeniería pertinentes, para adecuar la información geológica.

La investigación estratigráfica se redujo al mínimo compatible con los propósitos de cada uno de los informes especiales. En este aspecto, se puso más énfasis en la composición y la meteorización de las rocas estratificadas, que en su modo de formación, secuencia y correlación. En algunos informes especiales estos tres últimos aspectos no se comentan o se los menciona muy brevemente.

AGRADECIMIENTOS.

Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento por la ayuda prestada por personas o instituciones, que colaboraron en diversas formas. Muy especialmente mencionan a los señores César Burotto, del Departamento de Urbanismo y Vivienda en Concepción; Iván Alten y David Condon, del USAID/Chile; Carlos Guzmán, de la Universidad de Concepción; Homero Van Camps, de la Dirección de Vialidad en Concepción; las señoritas Gloria Valenzuela y Sonia Vogel y los señores Ernesto Pérez, Eduardo Falcón y Hugo Henríquez, del IIC; John de Marinis, Louis Hooper y William Meade, de Meissner Engineers de Chicago (EE. UU. de A.); Leonardo Alvarez, Rolando Barozzi, Juan Benítez, Kurt Grimme, Juan Reccius y Kenneth Segerstrom, del IIC, por haber leído críticamente el manuscrito; Víctor Acuña y Antonio Oliva, que prepararon casi todas las ilustraciones y el USAID/Chile que imprimió la figura 7.

LUGAR PROPUESTO PARA LA REUBICACION DEL PATIO DEL FERROCARRIL DE CONCEPCION

p o r

Richard W. Lemke y Carlos Galli Olivier

CONTENIDO

	Págs.
INTRODUCCION	12
GEOLOGIA	12
Depósitos del nivel 1	13
Depósitos del nivel 2	13
Depósitos del nivel 3	14
Arena de dunas	14
CONCLUSIONES	14
RECOMENDACIONES	15

INTRODUCCIÓN.

El día 24 de octubre de 1961 se efectuó una investigación geológica del área propuesta por los urbanistas del Departamento de Urbanismo y Vivienda, en Concepción, para la reubicación del patio del ferrocarril, en el área de Concepción (Fig. 1). El informe y el mapa (Fig. 2)* que se acompañan, son los resultados de una investigación que se considera preliminar y que puede ser objeto de revisión y de trabajos complementarios.

El área propuesta está situada a aproximadamente 6 Km hacia el noroeste de la Plaza de Armas de Concepción y entre 100 y 500 m de la ribera del río Bío Bío. El área está en un sector con dunas ubicadas en las inmediaciones de un camino secundario que conecta la planta de Huachipato, de la Compañía de Acero del Pacífico (CAP), con la estación de bombeo sobre el Bío Bío, de la misma Compañía.

GEOLOGÍA.

El área está cubierta por depósitos fluviales, en su mayor parte arena, sedimentados por el río Bío Bío y por arena depositada por la acción del viento. Los depósitos fluviales se han dividido en tres unidades, principalmente en base a la topografía y se describen desde el nivel más bajo (nivel

*La figura N° 2 va en el sobre de la tapa posterior.

1) hasta el nivel más alto (nivel 3). La arena depositada por el viento se describe como arena de dunas.

DEPÓSITOS DEL NIVEL 1.

Los depósitos fluviales del nivel 1 forman las islas del río Bío Bío y la faja aterrizada, baja y llana, que bordea la ribera. Muchas islas, durante parte del año, están cubiertas por los niveles más altos del río. En el lapso de la investigación, el área que bordea el río estaba a aproximadamente un metro sobre la superficie del agua. La resaca, que se observó en los matorrales que crecen al borde del río, indica que durante las inundaciones recientes, probablemente de este año, el río alcanzó una altura suficiente para inundar parcialmente la faja aterrizada y baja. La observación de cursos de inundación abandonados, algunos de ellos pantanosos o con cuerpos de agua claramente visibles en las fotografías aéreas, indica que por lo menos hasta tiempos sumamente recientes el nivel 1 ha formado parte de la planicie aluvial (o de inundación) del río Bío Bío. Es muy probable que durante las inundaciones periódicas extraordinarias de cada varios decenios, esta faja baja es invadida por el agua.

Los depósitos del nivel 1 consisten mayormente en arena mediana (0,25 a 0,50 mm), limpia y permeable, de color gris oscuro. Intercaladas en la arena, se observan capas de limo arcilloso, de un espesor de 1 a 3 cm. En las áreas más pantanosas puede observarse un barro rico en materia orgánica, que probablemente tiene alta compresibilidad y baja capacidad de soporte. La profundidad de la superficie freática (plano superior de la zona saturada por agua subterránea), fluctúa entre 0,75 m en primavera y 3,50 m en otoño, en los pozos de agua próximos a la estación de bombeo. Árboles bajos y arbustos cubren parte del área. Pastos bajos cubren las áreas intermedias.

DEPÓSITOS DEL NIVEL 2.

El nivel 2 está situado a aproximadamente 1,50 m más arriba del nivel 1, del cual está separado por una faja de dunas compuestas por arena. El nivel 2 probablemente no sufre inundaciones del río y no está marcado por meandros abandonados ni por áreas pantanosas, tal como se observó en el nivel 1. El área tiene una superficie moderadamente llana cubierta por pastos bajos o por cultivos.

Los depósitos del nivel 2 consisten en arena limpia, mediana a gruesa (0,25 a 1 mm), permeable, de color gris oscuro. Se observan algunos rodados pequeños (de más de 4 mm). La superficie en algunos lugares está

formada por un suelo inmaduro limo arcilloso, de pocos centímetros de espesor. La profundidad de la superficie freática no se determinó, pero es probable que esa superficie fluctúe durante las estaciones del año entre 1,50 y 2 m debajo del nivel del terreno. Sin embargo, los canales sugieren que algunas áreas del nivel 2 deben ser drenadas y ello puede ser indicación de niveles freáticos muy altos.

DEPÓSITOS DEL NIVEL 3.

El nivel 3 está a 2 y 3 m sobre el nivel 2. Es un área de superficie llana, bien drenada, sin pantanos, cubierta por pastos bajos o bajo cultivo. Los depósitos consisten en su totalidad en arena gris oscura, gruesa con grava fina y permeable. La superficie del terreno está cubierta por un suelo limo arcilloso de 20 cm de espesor.

La superficie freática está a alrededor de 1,80 m debajo del nivel del terreno al final del verano y a comienzos del otoño.

ARENA DE DUNAS.

La arena de dunas separa al nivel 1 del nivel 2, al nivel 2 del nivel 3, o se distribuye en otras partes del área. Las crestas de las dunas alcanzan una altura relativa máxima de aproximadamente 7,50 m. El relieve de las dunas es abrupto. En la actualidad las dunas están estabilizadas y parcialmente cubiertas por árboles y arbustos.

Las dunas están constituidas por arena mediana, gris oscura, limpia y permeable. Los granos están bastante redondeados y consisten en su mayor parte en fragmentos de lava escoriácea castaño oscura y negra. Se observaron también granos de cuarzo y otros no identificados. La profundidad de la superficie freática está probablemente entre 1,50 y 2 m debajo de la altura del piso arenoso donde se apoyan las dunas.

CONCLUSIONES.

- 1) El nivel 1 es la planicie aluvial (o de inundación) reciente del río Bío Bío y está amenazado por inundaciones periódicas.
- 2) Los niveles 2 y 3 no están amenazados por inundaciones periódicas y constituirían áreas estables y moderadamente bien drenadas para propósitos de construcción.
- 3) El área de las dunas de arena en la actualidad está estabilizada con respecto a la acción del viento, pero puede ser erosionada en el caso que se elimine la vegetación autóctona o que sea nivelada.

RECOMENDACIONES.

1) Se recomienda no construir sobre el nivel 1, salvo que se rellene hasta una altura superior al nivel de las inundaciones extraordinarias. Sin embargo, aun cuando se rellene hasta esa altura, el área no se recomienda para ubicar grandes construcciones por la naturaleza pantanosa de gran parte de ella y por su susceptibilidad a daños que se producirán, eventualmente, por futuros terremotos. Esto último ya fue observado en muchas otras áreas del sur de Chile después de los terremotos de 1960. La destrucción fue especialmente notable en aquellos edificios u otros tipos de construcción, ubicados sobre relleno artificial emplazado sobre materiales saturados de áreas bajas, debido a la tendencia de éstos a compactarse, fracturarse y derrumbarse lateralmente.

2) Tal como se observan en la actualidad los niveles 2 y 3 parecería que, eventualmente, pueden constituir áreas estables para la construcción. Sin embargo, si esos niveles se cubren con arena acarreada desde el área de dunas, la arena debe ser compactada hasta su máxima densidad y estabilizada contra la erosión del viento.

3) Los depósitos de las dunas deberían ser nivelados para formar una superficie llana hasta aproximadamente la altura del nivel 2, antes de la construcción. La superficie así formada, debería ser compactada hasta su máxima densidad y sobre ella deberían plantarse pastos bajos y arbustos o tomarse otras medidas preventivas adecuadas para protegerla de la acción erosiva del viento.

Santiago, 24 de octubre de 1961

0,0	Plaza Marina
3,0	Boca del río Bío-Bío
9,0	Plaza de Armas de Concepción
3,0	Puente caminero del río Bío (existente sin)
22,0	Plaza de Armas de Concepción
1,0	Línea del r. c. y camino pavimentado

El lugar propuesto está en un área baja, al sur del río Bío (Fig. 8)

LUGAR PROPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL MATADERO INTERCOMUNAL EN CONCEPCION

p o r

Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke

CONTENIDO

	Pács.
INTRODUCCION	16
GEOLOGIA	18
Depósitos del piso arenoso	18
Arena de dunas	19
CONCLUSIONES	19
RECOMENDACIONES	19

INTRODUCCIÓN.

El propósito de este informe es describir aspectos geológicos y efectuar recomendaciones acerca del lugar propuesto por los urbanistas del Departamento de Urbanismo y Vivienda en Concepción y del USAID/Chile, para la construcción del matadero intercomunal en la Boca Sur del Bío Bío, comuna de Coronel, región de Concepción. El matadero, según los urbanistas, serviría a las ciudades y pueblos regionales, entre ellos a Concepción, Talcahuano, Coronel, Lota, Penco, Tomé, Lirquén, Dichato y Chiguayante. El estudio del lugar fue realizado por los autores el día 27 de octubre de 1961, en compañía del señor Iván Alten, urbanista del USAID. El informe es preliminar y puede ser objeto de revisión y estudios complementarios.

Se dan a continuación las distancias aproximadas del lugar, en línea recta desde varios puntos, en kilómetros (Figs. 1 y 3):

Playa marina	0,6
Boca del río Bío Bío	3,0
Plaza de Armas de Concepción	9,0
Puente caminero del Bío Bío (extremo sur)	5,0
Plaza de Armas de Coronel	22,0
Línea del F. C. y camino pavimentado	1,6

El lugar propuesto está en un área baja, al sur del río Bío Bío (Fig. 3).

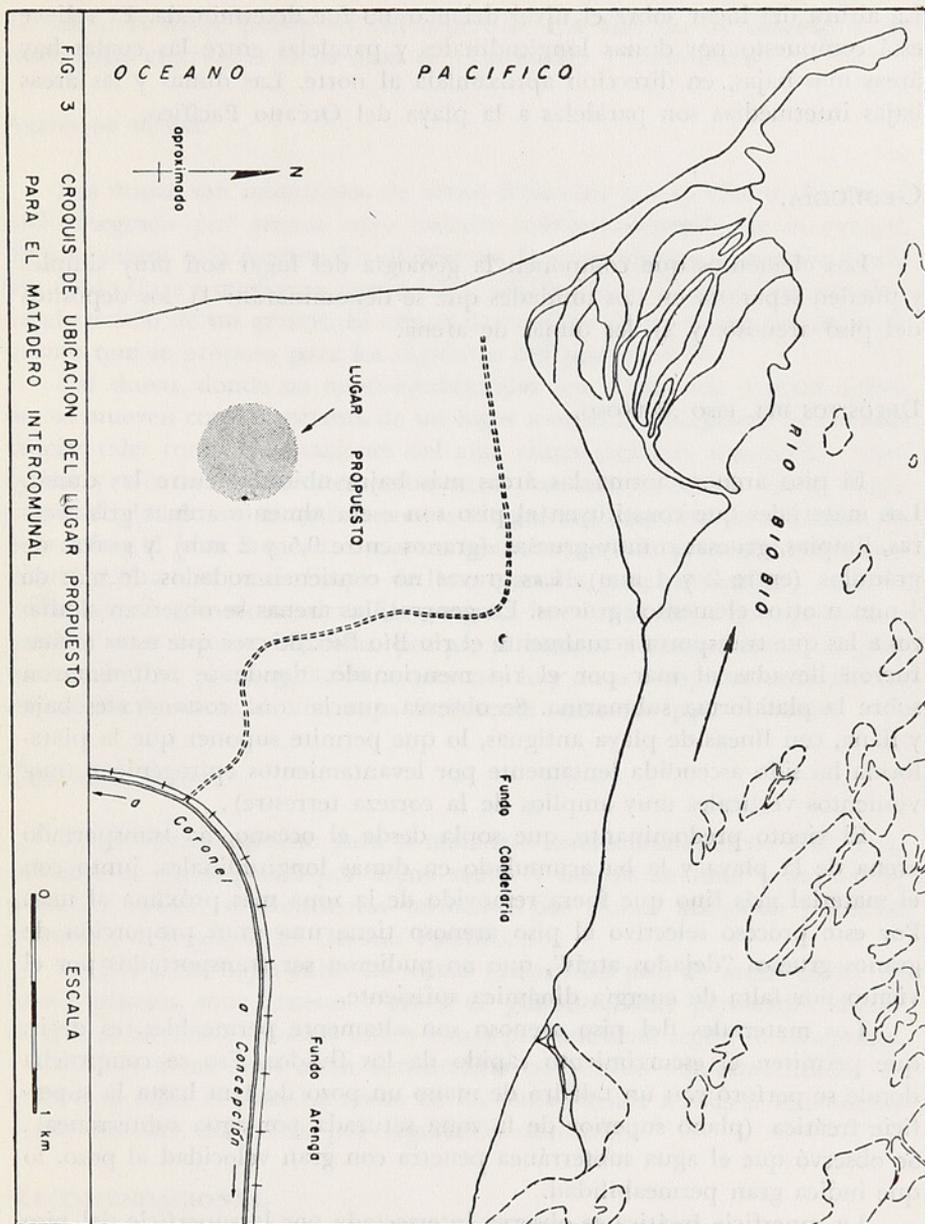


FIG. 3 CROQUIS DE UBICACION DEL LUGAR PROPUESTO PARA EL MATADERO INTERCOMUNAL

La altura del lugar sobre el nivel del mar no fue determinada. El relieve está compuesto por dunas longitudinales y paralelas entre las cuales hay áreas más bajas, en dirección aproximada al norte. Las dunas y las áreas bajas intermedias son paralelas a la playa del Océano Pacífico.

GEOLOGÍA.

Los elementos que componen la geología del lugar son muy simples y pueden separarse en dos unidades que se denominarán: 1) los depósitos del piso arenoso, y 2) las dunas de arena.

DEPÓSITOS DEL PISO ARENOSO.

El piso arenoso forma las áreas más bajas ubicadas entre las dunas. Los materiales que constituyen el piso son esencialmente arenas gris oscuras, limpias, gruesas o muy gruesas (granos entre 0,5 y 2 mm) y gravas de gránulos (entre 2 y 4 mm). Las gravas no contienen rodados de más de 4 mm u otros elementos gruesos. En general, las arenas se observan similares a las que transporta actualmente el río Bío Bío. Se cree que estas arenas fueron llevadas al mar por el río mencionado, donde se sedimentaron sobre la plataforma submarina. Se observa que la zona costanera es baja y llana, con líneas de playa antiguas, lo que permite suponer que la plataforma ha sido ascendida lentamente por levantamientos epirogénicos (movimientos verticales muy amplios de la corteza terrestre).

El viento predominante, que sopla desde el océano, ha transportado arena de la playa y la ha acumulado en dunas longitudinales, junto con el material más fino que fuera removido de la zona más próxima al mar. Por este proceso selectivo el piso arenoso tiene una gran proporción de granos gruesos "dejados atrás", que no pudieron ser transportados por el viento por falta de energía dinámica suficiente.

Los materiales del piso arenoso son altamente permeables, es decir, que permiten el escurrimiento rápido de los fluidos. Eso se comprueba donde se perforó con un taladro de mano un pozo de 1 m hasta la superficie freática (plano superior de la zona saturada por agua subterránea). Se observó que el agua subterránea penetra con gran velocidad al pozo, lo que indica gran permeabilidad.

La superficie freática se observa intersectada por la superficie del piso arenoso, en varios lugares próximos. La superficie freática está a 1 ó 2 m de profundidad, en algunos lugares o sobre la superficie, en otros. La fluctuación de la superficie freática en el invierno y en el verano, respecto

de un nivel dado, puede ser del orden de 1 a 1,50 m, de acuerdo a las mediciones efectuadas en la zona de Concepción y Talcahuano.

ARENA DE DUNAS.

Las dunas son montículos de arena formados por el viento. La arena está integrada por granos cuyo tamaño máximo depende de la energía de los vientos más fuertes. En el área de Concepción las arenas de dunas son desde finas a medianas (entre 0,125 y 0,50 mm) y de gran uniformidad en el tamaño de sus granos. El origen de la arena de las dunas puede ser el mismo que se propuso para los depósitos del piso arenoso.

Las dunas, donde no están estabilizadas por vegetación u otras defensas, se mueven constantemente de un lugar a otro. Ello depende de circunstancias tales como las estaciones del año, clima regional, topografía, vegetación y vientos dominantes, entre otros factores naturales. En el lugar estudiado las dunas muestran crestas irregulares, con alturas máximas de 8 m sobre el piso arenoso. La arena constituyente es principalmente mediana (0,25 a 0,50 mm), limpia de limo o arcilla, muy permeable y de gran uniformidad granulométrica. En general, las dunas del lugar propuesto parecen estar semiestabilizadas, porque si bien se observan áreas en gran parte cubiertas por vegetación autóctona, hay otras completamente desnudas donde la arena de dunas es fácilmente removida por el viento.

CONCLUSIONES.

1) El lugar propuesto para el matadero intercomunal es un área baja, cubierta en todas partes por arena suelta y limpia de limo y arcilla. Se observan colinas o montículos formados por dunas alargadas paralelas entre sí y a la playa del Océano Pacífico.

2) Las áreas bajas entre las dunas forman un piso de arena suelta de granos gruesos, muy gruesos y grava de gránulos, muy permeable, donde el agua subterránea aflora o está a escasa profundidad, según la topografía.

3) Las áreas altas están constituidas por dunas semiestabilizadas de hasta 8 m sobre el piso. La arena de las dunas tiende a migrar lentamente donde no está defendida por vegetación autóctona.

RECOMENDACIONES.

1) El matadero debería ser construido en el área baja o piso arenoso, hacia el este de la segunda fila de grandes dunas longitudinales, que se observan desde la playa hacia el interior. En esa área las construcciones

se apoyarán sobre un piso estabilizado por la naturaleza, presumiblemente de baja compresibilidad y alta capacidad de soporte. Las construcciones no sufrirán el embate del viento marino por estar protegidas por las dunas. Por otra parte, si las dunas se rebajasen de altura y sus materiales se distribuyesen para hacer una plataforma artificial, surgirían problemas de compactación y de fijación de las arenas.

2) Deben estabilizarse las áreas de las dunas donde en la actualidad no hay cubierta vegetal autóctona suficiente. En el futuro, toda área de donde se elimine la vegetación debe estabilizarse rápidamente con medidas adecuadas. En caso contrario, la arena será removida por el viento, especialmente en épocas secas y así se modificará la topografía, las dunas avanzarán sobre los edificios y la arena en suspensión penetrará en su interior dañando la maquinaria de precisión del matadero.

3) El corral donde permanezcan los animales que serán sacrificados, deberá tener un pavimento permanente o una cubierta de arcilla y grava compacta. En caso contrario, la arena del piso será removida por los animales y fácilmente transportada por el viento.

4) El camino de acceso y el desvío del ferrocarril tendrán una distancia de aproximadamente 1,6 Km y atravesarán un área similar a la descrita para el lugar propuesto. El futuro camino deberá tener una base de arcilla y grava que se apoye sobre los materiales arenosos regionales, para evitar la erosión del viento y los derrumbes laterales de la arena no consolidada. También debe plantarse una vegetación protectora o adoptarse otras medidas adecuadas, a ambos lados del camino, para evitar el relleno de los canales de drenaje laterales por arena transportada.

Santiago, 17 de noviembre de 1961

GEOLOGIA DEL AREA DE SAN VICENTE EN RELACION CON EL PROYECTO DE CONSTRUCCION DE UN PUERTO

p o r

Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke

CONTENIDO

	PÁGS.
INTRODUCCION	22
Propósitos del estudio y ubicación del área	22
Relieve y drenaje	23
GEOLOGIA	24
Rocas metamórficas	24
Distribución	24
Litología	24
Contactos	25
Meteorización	25
Edad	25
Rocas intrusivas	25
Rocas sedimentarias	26
Distribución	26
Litología	26
Contactos	27
Meteorización	28
Edad	28
Depósitos fluviales	28
Distribución	28
Litología	28
Edad	29
Depósitos de materiales derrumbados y coluvio	29
Distribución	29
Litología	30
Movimiento	30
Edad	31
Derrumbe del 12 de noviembre de 1961	31
Depósitos de suelo	32
Depósitos de relleno artificial y de playa	32
ESTRUCTURA	33
Estructura regional	33
Estructura del área de San Vicente	33
Falla de San Vicente	34
Falla del Cementerio	35
CARACTERISTICAS DE LOS TERREMOTOS	36

EFFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN LA MORFOLOGIA	37
EFFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS POR EL HOMBRE	38
CONCLUSIONES	39
RECOMENDACIONES	41

INTRODUCCIÓN.

PROPÓSITOS DEL ESTUDIO Y UBICACIÓN DEL ÁREA.

El propósito del estudio es el de dar a conocer la geología del área de San Vicente, departamento de Talcahuano, provincia de Concepción, en relación con la construcción de un puerto proyectado en San Vicente (Fig. 1). El área se halla a unos 13 Km de la Plaza Independencia de Concepción y a unos 2,5 Km de la Plaza de Armas de Talcahuano, en línea recta. El presente texto está acompañado de dos mapas geológicos y de dos secciones geológicas (Figs. 4 y 5)*. El texto y las figuras reemplazan a un breve informe (Lemke y Galli, 1961) que suministró información geológica preliminar del área de San Vicente.

A fines de junio de 1961 los señores César Burotto, Jefe del Departamento de Urbanismo y Vivienda de Concepción, y David Condon, asesor en urbanismo del USAID/Chile, solicitaron a los autores un informe preliminar acerca de la geología del área de San Vicente, que en ese momento era necesario para completar los antecedentes que sirven de base al Plan Intercomunal de Concepción, que están realizando. El informe preliminar, además de describir brevemente la geología, recomendó que se hiciesen estudios detallados sobre la geología, ingeniería e hidrología, antes de aprobarse esa área para construir las instalaciones portuarias. Como resultado de la recomendación, a principios de noviembre de 1961 llegó a Concepción una comisión de profesionales enviada por Meissner Engineers Inc., de Chicago (E.E. UU. de A.), integrada por los Sres. William Meade, geólogo contratado; Louis Hooper, ingeniero de suelos, y John de Marinis, ingeniero de proyectos. Los autores colaboraron en varias oportunidades con esos profesionales cuando realizaron un trabajo de campo, en el cual se basó un informe de geología y suelos (Hooper y Meade, 1961) que la firma Meissner presentó al Gobierno de Chile. Esos profesionales, a quienes se agradece su colaboración, dieron generosamente a los autores valiosa información relativa a perforaciones, excavaciones, geofísica y geología general.

* Las figuras 4 y 5 van en el sobre de la tapa posterior.

Los autores del presente estudio fueron comisionados por el IIG para elaborar un informe con el fin de que el Ministerio de Obras Públicas, además del informe de los profesionales de Meissner Engineers, tenga en su poder información geológica detallada proporcionada por geólogos de este Instituto chileno.

El mapa de la figura 4 abarca una superficie de aproximadamente 1,5 Km², de los cuales, alrededor de 1 Km² está levantado geológicamente y aproximadamente 0,5 Km², está ocupado por el mar. El mapa muestra las seis unidades geológicas reconocidas. Cuatro unidades están compuestas por depósitos cuaternarios constituidos por sedimentos que se apoyan sobre rocas bien consolidadas y mucho más antiguas. Estas rocas se han separado en dos unidades constituidas por: 1) rocas sedimentarias cretácicas, y 2) rocas metamórficas precámbricas o paleozoicas. El mapa de la figura 5 presenta solamente las dos unidades de rocas antiguas o fundamentales. Este mapa abarca una superficie de aproximadamente 0,75 Km². La base topográfica de los dos mapas es la carta a escala 1:5.000, con curvas de nivel equidistantes 5 m, del Plan Regulador de Talcahuano. La carta es excelente, pero desafortunadamente no abarca la totalidad del área de interés geológico. La costa al oeste de la península de Tumbes, que figura en los mapas geológicos, fue completada por los autores y su dibujo es aproximado.

Durante el trabajo de campo se utilizaron las fotografías aéreas de la OEA, a escalas 1:10.000 y 1:20.000.

RELIEVE Y DRENAJE

El relieve del área estudiada está formado por dos unidades morfológicas bien definidas que se llamarán: 1) el extremo sur de la península de Tumbes, y 2) la llanura baja.

El extremo sur de la península de Tumbes está formado por serranías bordeadas por el mar hacia el oeste, sud y sudeste y por la llanura baja hacia el este. Sobre la costa del mar y el límite con la llanura, la serranía termina en escarpas o barrancas abruptas y pedregosas, en partes muy cubiertas por vegetación, de alturas entre 50 y 100 m. La barranca tiene una pequeña saliente hacia el mar en la península San Vicente, así denominada por los autores para una mejor comunicación escrita. La parte superior de la serranía tiene un relieve ondulado de suaves pendientes hacia el borde de las barrancas y las quebradas que drenan el área. Las alturas máximas de la península de Tumbes en el área estudiada son de 115 m sobre el nivel del mar.

La llanura baja se observa en el sector oriental del área. Está limitada

por una playa de arena y barrancas pedregosas. El relieve subhorizontal y muy regular de la llanura está ocupado por construcciones casi en su totalidad. Las mayores alturas de la llanura baja son de unos 5 m sobre el nivel del mar.

El drenaje del área alta estudiada es hacia el sudoeste en el extremo surponiente de la península de Tumbes y hacia el sur en el sector nor-oriental. Las quebradas pueden estar muy cubiertas por vegetación y se ahondan hacia la desembocadura, parte en que pueden alcanzar hasta 40 m de profundidad. Durante el tiempo del estudio se observó que en las quebradas mayores el agua subterránea descarga a través de numerosas vertientes. La llanura baja tiene un drenaje poco definido y en ciertos sectores hay aguas estancadas.

GEOLOGÍA.

ROCAS METAMÓRFICAS.

Distribución. Las rocas metamórficas pueden observarse en muchas partes de las barrancas abruptas o en las quebradas que drenan el área. En otras partes las rocas metamórficas pueden estar ocultas por unidades más jóvenes (Fig. 4). Sin embargo, hay indicaciones suficientes para considerar que la totalidad del extremo sur de la península de Tumbes tiene un zócalo o núcleo formado por rocas metamórficas a profundidades variables (Fig. 5).

Litología. Las rocas metamórficas son en su mayor parte filitas duras y muy tenaces que probablemente son de la facies de esquistos verdes. Presentan un color gris oscuro en la roca fresca. Las filitas se caracterizan por tener planos de foliación paralelos, cuya superficie brillante y satinada está suavemente ondulada en muchas partes. En sección transversal los planos de foliación se observan como bandas paralelas de un espesor de 0,5 a 1 mm. En algunas localidades las bandas se observan muy plegadas. El rumbo de la foliación es variable (Fig. 5), pero en su gran mayoría los rumbos están orientados entre N 35° E y N 65° E. Las inclinaciones de los planos de foliación son también variables, aunque en su mayor parte se observaron entre 35° E y 50° E. Sólo en localidades afectadas por derrumbes o en las proximidades de la falla San Vicente, se observaron rumbos e inclinaciones en la foliación que pueden diferir mucho.

Las rocas metamórficas contienen cuarzo cristalino o lechoso en lentes. Los lentes tienen espesores que pueden variar entre menos de un milímetro y 30 ó 40 cm, en partes separados por pocos metros medidos a lo largo de un mismo lente. En el área estudiada los lentes son paralelos (*lit*

par lit) a los planos de foliación de las filitas, aunque en algunas partes pueden observarse lentes diagonales. En ciertas localidades pueden observarse lentes con fuertes pliegues ptigmáticos.

Debajo del cementerio y a orillas del mar se observan bancos duros y concordantes con la foliación, de metacuarcitas de color gris azulado claro que se meteorizan con color blanco azulado. Estos bancos sobresalen por su gran resistencia a la erosión.

Contactos. Las rocas metamórficas están cubiertas por rocas más jóvenes. Los contactos se observan con mucha claridad en las barrancas abruptas, donde sobre las filitas fuertemente inclinadas y erosionadas, se apoyan las rocas sedimentarias y los materiales derrumbados. Los ángulos entre los planos de foliación y los planos de sedimentación de las rocas sedimentarias son de alrededor de 45° .

Las rocas metamórficas están intruidas por un dique andesítico paralelo a la foliación.

Los contactos de falla han colocado a las rocas metamórficas adyacentes a las rocas sedimentarias (Figs. 4 y 5) y se describen en el capítulo Estructura.

Meteorización. La zona meteorizada de las rocas metamórficas puede observarse en sitio en muchas localidades. En ciertas partes las rocas de esta zona se han derrumbado e integran los depósitos de materiales derrumbados y coluvio. Es probable que en algunas partes el espesor de la zona meteorizada sea de unos 30 m. Los materiales que constituyen la zona son principalmente amarillo verdoso pálidos con pintas rojizas y manchas rojizas y anaranjadas, y fácilmente excavables. La transición entre las rocas metamórficas frescas y las meteorizadas es gradual.

Edad. La edad de las rocas metamórficas no se conoce con precisión, pero puede variar desde precámbrica hasta paleozoica. En la región de Concepción las rocas sedimentarias más antiguas conocidas son cretácicas superiores. En Quilacoya y Santa Juana (Provincia de Concepción) se han observado rocas sedimentarias triásicas sin metamorfismo. Las rocas sedimentarias de ambas localidades, al no presentar el metamorfismo regional que se observa en las rocas metamórficas del área estudiada, indican que estas últimas pueden ser consideradas por lo menos más antiguas que triásicas.

ROCAS INTRUSIVAS.

Las rocas intrusivas son materiales magmáticos que se han emplazado y solidificado dentro de las rocas metamórficas del área de estudios. Las

rocas intrusivas están representadas por un dique andesítico que se observó en las proximidades de la punta sur de la península de Tumbes, a orillas del mar. La roca andesítica es tenaz, de color gris medio, alterada, que meteoriza con colores amarillento y verdoso. El dique tiene unos 3 m de espesor y es paralelo a los planos de foliación de las filitas. El dique aparentemente está cortado y desplazado unos 5 m por una falla, no indicada en los mapas, cuya traza se orienta aproximadamente al este. Es probable que algunos islotes del extremo sur de la península de Tumbes estén compuestos por rocas andesíticas similares.

La edad mínima del dique no puede estimarse con mayor aproximación que precretácica superior porque no atraviesa las rocas sedimentarias cretácicas superiores. La edad máxima del dique es menor que la de las rocas metamórficas, que se considera precámbrica o paleozoica.

ROCAS SEDIMENTARIAS.

Distribución. Las rocas sedimentarias se distribuyen en el área estudiada desde alturas inferiores al nivel del mar hasta los 115 m. Los afloramientos más extensos de estas rocas están en las barrancas abruptas al sudoeste de San Vicente y en las inmediaciones del cementerio. En otras partes las rocas sedimentarias pueden estar ocultas por sedimentos cuaternarios (Fig. 4).

Litología. Las rocas sedimentarias están constituidas mayormente por capas de arenisca fina y mediana, y por conglomerado subordinado, de origen litoral marino. En algunas capas se observa gran contenido fosilífero. El conglomerado más notable es el de la parte inferior de la secuencia, que se denominará conglomerado basal. En las partes en que el conglomerado basal no se observa, la arenisca se apoya directamente sobre las filitas. El conglomerado basal tiene un espesor máximo de alrededor de 1 m y consiste en una matriz de arenisca cuarzosa, generalmente fina a mediana, muy tenaz, de color gris verdoso. Los fenoclastos que predominan son de dos variedades:

- 1) pedernal o cuarzo, que en general son de 1 a 10 cm de diámetro, aunque en partes se han observado bloques de cuarzo de 60 x 30 x 20 cm. Los fenoclastos de pedernal o cuarzo están casi todos muy redondeados y algunos son casi esféricos.
- 2) filitas, que provienen de las rocas metamórficas de la base. Estos fenoclastos se observan angulares y subangulares y con una esfericidad muy baja. En general, tienen un diámetro máximo de 10 cm.

Se observan fenoclastos de cuarcitas y de andesitas, bien redondeados y en porcentajes muy subordinados a las dos variedades anteriores.

La parte superior del conglomerado basal en muchas partes pasa en transición a arenisca fina y mediana gris verdosa con rodados muy redondeados y dispersos. La arenisca es fina a mediana, de granos angulares de cuarzo teñidos por óxidos de hierro y otros oscuros de minerales ferromagnesianos. Los granos de glauconita son abundantes y tal vez su alto porcentaje en el total de los granos sea la causa del color verdoso oscuro de la arenisca. Sobre la cantera de San Vicente el espesor de la arenisca glauconítica puede variar entre 0 y 3 m.

Sobre la orilla de la bahía San Vicente la abrasión de las olas marinas ha formado una plataforma de erosión (*wave-cut bench*) que es en gran parte tapada por la marea alta. Sobre esta plataforma se proyecta construir gran parte del puerto. Las areniscas que forman la plataforma son finas y medianas, de color gris oliva claro en la fractura fresca, muy duras y de granos angulares. Las capas están inclinadas en partes 30° W y en partes están horizontales. Sobresalen bancos más duros, muy cementados por sílice, glauconíticos, que en la superficie están labrados por dibujos caprichosos, producto de la erosión diferencial. En cortes verticales se destacan bancos duros entre otros menos tenaces que permiten observar estratificación cruzada.

La superficie de la plataforma se observa atravesada por diaclasas cuyo relleno, más resistente, sobresale unos 20 ó 30 cm sobre la superficie de las capas de arenisca. Las diaclasas, o fracturas de origen tectónico, tienen dos sistemas principales orientados N 10° W y N 80° E, con inclinación vertical.

Las rocas sedimentarias en diversas localidades intercalan capas delgadas de lutita. Sobre el conglomerado basal y más hacia arriba en la secuencia, a alturas que no pudieron determinarse, la arenisca contiene gran cantidad de fósiles marinos, algunos de los cuales fueron identificados por Ernesto Pérez (1966). Los fósiles son tan abundantes en ciertas capas, que la arenisca que los contiene puede considerarse coquinoide. Las capas fósíferas no fueron observadas en la península San Vicente.

Contactos. Las rocas sedimentarias están sobre las rocas metamórficas. En la península San Vicente no se observa el contacto entre ambas unidades geológicas ya que las rocas metamórficas deben estar ocultas a una profundidad no determinada.

En la parte superior de la secuencia, las rocas sedimentarias están en contacto gradual con depósitos de suelo y en contacto sin transición con depósitos de materiales derrumbados y coluvio, relleno artificial y de playa.

Meteorización Las rocas sedimentarias no descompuestas por la acción de agentes meteóricos son duras y resistentes al golpe del martillo. Sin embargo, en las laderas y en las partes altas, estas rocas se meteorizan o descomponen, formando materiales friables amarillo rojizos constituidos por una mezcla de rodados de cuarzo o perdernal, algo de arcilla y principalmente arena fina y mediana, y limo. Debido a su estado de descomposición, estos materiales pueden derrumbarse en los lugares con pendientes fuertes. Los materiales meteorizados pueden ser plásticos cuando tienen humedad suficiente.

Sobre la cantera de San Vicente se observan 7,15 m de rocas sedimentarias meteorizadas. La presencia de rocas meteorizadas puede ser una de las causas de los frecuentes derrumbes en ese sector.

En la península San Vicente las rocas meteorizadas son de color gris oliva claro y gris oscuro medio. Las areniscas se observan con separación o disyunción esferoidal en la superficie meteorizada. La roca tiende a romperse en trozos pequeños, con lados planos donde controla la estratificación y con lados concéntricos donde predomina la partición esferoidal.

Edad. La edad de las rocas sedimentarias, probablemente con la excepción de las rocas de la península San Vicente, es cretácica superior. Ernesto Pérez (IG) identificó (comunicación oral) *Cardium acutecostatum* d'Orb. y *Trigonia obtusa* Hupé, fósiles marinos que son característicos del Cretácico superior.

DEPÓSITOS FLUVIALES.

Distribución. Los depósitos fluviales integran una gran planicie costanera regional. En el área de estudios los depósitos se distribuyen en la llanura baja al este de la península de Tumbes y al norte de la playa de la bahía San Vicente. En su mayor parte los depósitos fluviales están cubiertos por un manto más o menos delgado de relleno artificial. Es probable que los depósitos fluviales afloren en otros sectores poco extensos, que en la figura 4 no han sido indicados.

Litología. Los depósitos fluviales se componen de arenas no consolidadas de granos finos a medianos de cuarzo, plagioclasa, minerales ferromagnesianos y fragmentos subangulares y redondeados de lavas basálticas oscuras. Entre los granos no se observan materiales cementantes ni cantidades apreciables de limo o arcilla. Las arenas no son plásticas, poseen una permeabilidad muy alta, baja compresibilidad y alta capacidad de soporte (Martínez Serrano, 1961).

Los depósitos fluviales son en parte de tipo deltaico y fueron incorporados al continente por levantamientos verticales lentos de la corteza, que expusieron a parte del fondo litoral marino a la acción subaérea. Una gran proporción de los materiales de los sedimentos que se han acumulado sobre la plataforma que bordea al continente, en esta región, proviene de rocas eruptivas basálticas de la Cordillera de los Andes, cuyos productos de erosión son transportados por las aguas del río Bío Bío.

La llanura baja es barrida por los vientos, que transportan parte de sus materiales superficiales y los acumulan en dunas. Al este de la planta COPEC hay sectores más bajos, con agua estancada donde la superficie freática intersecta la superficie del terreno. Es probable que las pequeñas lagunas hayan sido creadas por el hombre, ya sea cavando para extraer arena para construcción o cerrando con edificaciones y relleno, el drenaje natural de esos sectores. El agua estancada de las lagunas crea condiciones insalubres que podrían eliminarse sin mayores gastos.

Edad. La edad de los depósitos fluviales puede estimarse pleistocena. En las investigaciones que los autores están realizando en la región de Concepción, observaron que las arenas fluviales gris oscuras, finas y medianas, en algunas localidades contienen grandes bloques angulosos y subangulosos de rocas graníticas de hasta 1 m de diámetro. Los autores explican el transporte de los bloques hasta su posición actual considerando que en el Pleistoceno el río Bío Bío pudo haber transportado desde los campos de hielo pedemontanos del valle longitudinal, grandes masas de hielo flotantes que incluían bloques y fragmentos de rocas cordilleranas. Al llegar al mar, las masas de hielo se fundían y los bloques se precipitaban al fondo del mar, incorporándose a las arenas del delta del Bío Bío. En Europa y América del Norte se ha estimado que los hielos de la última gran glaciación comenzaron a retirarse hace aproximadamente 10.000 años. Esta hipótesis permite suponer que por lo menos parte de los depósitos fluviales tiene esa cantidad de años como edad mínima y que, por lo tanto, son pleistocenos.

DEPÓSITOS DE MATERIALES DERRUMBADOS Y COLUVIO.

Distribución. Los depósitos de materiales derrumbados y coluvio se distribuyen sobre las barrancas de la península de Tumbes. Los depósitos de mayor extensión y espesor se observan sobre las barrancas situadas en el centro del sector noreste del área estudiada. Es probable que depósitos de coluvio cubran o reemplacen depósitos de suelo en algunas partes de pendiente fuerte, no indicadas en la figura 4.

Litología. Los depósitos son materiales compuestos por una mezcla sin selección de elementos de diversos orígenes. Sobre la Escuela de Pesca se observa que los depósitos de materiales derrumbados y coluvio están constituidos por fragmentos angulosos de filita, arena, limo, materiales de suelo, raíces y troncos de árboles. El espesor de los depósitos es muy irregular, desde cero hasta probablemente 10 ó 15 m. Los depósitos se apoyan sobre rocas metamórficas o sedimentarias en sitio, según las localidades. Entre los materiales derrumbados, situados más arriba de la Escuela de Pesca, se observan pequeñas áreas de rocas metamórficas que no pudo establecerse si están en sitio o si han sido deslizadas desde su posición original.

La población Cerro La Unión está ubicada sobre depósitos de derrumbes y coluvio. Los materiales de los depósitos pueden observarse con las características litológicas ya descritas, en las barrancas de 2 a 4 m de alto excavadas por los vecinos, para ubicar casas livianas sobre pequeñas plataformas artificiales. En ciertas partes se observan afloramientos de filitas descompuestas, fácilmente separables en lajas con el martillo. En algunos lugares las filitas son duras y se ignora si están en sitio. La delantera de los depósitos de materiales derrumbados y coluvio sobre la Avenida Almirante Latorre, ha sido excavada. Los paredones así formados crean un peligro potencial de derrumbes, porque están verticales y con unos 20 m de alto.

En las proximidades de la intersección de las avenidas Almirante Latorre y España, las barrancas presentan zonas deslizadas con bloques rotados, con escarpas traseras de hasta 10 m. Este tipo de derrumbe (*slump*) originó las plataformas subhorizontales que están siendo ocupadas por nuevos pobladores. La delantera de esta zona deslizada también crea un peligro, porque ha sido excavada al costado de la Avenida Almirante Latorre.

Los depósitos de materiales derrumbados y coluvio, que cubren parcialmente la península San Vicente, son de menor extensión y probablemente de menor espesor. Los materiales derrumbados y el coluvio provienen mayormente de rocas sedimentarias meteorizadas y de suelo. El espesor máximo del coluvio, observable en las excavaciones que hicieron los profesionales de Meissner Engineers, es de 4 m.

Movimiento. Los materiales derrumbados y el coluvio han sido transportados hacia abajo por efectos de la gravedad, desde los lugares en que tenían una posición estable. Sobre esos materiales crecen árboles y arbustos que indudablemente afirman el suelo y retardan los derrumbes. Algunos de los árboles, al estar inclinados hacia la parte baja, indicarían un arrastre lento hacia abajo (*soil creep*) de los materiales donde están enraizados.

Otros árboles muestran las raíces semidescubiertas por la erosión de aguas torrenciales o están muy inclinados y próximos al colapso.

Edad. Los depósitos de materiales derrumbados y coluvio se han formado en tiempos sumamente recientes. En la actualidad hay indicaciones de terreno que demuestran que sigue su movimiento hacia abajo, porque persisten las condiciones de inestabilidad en las laderas.

Derrumbe del 12 de noviembre de 1961. En el día indicado, se produjo un derrumbe de características muy peligrosas, a unos 100 m al este de la cantera, que pudo haber causado una catástrofe en un gran sector del barrio de pescadores de San Vicente. La parte delantera de los materiales derrumbados afortunadamente no alcanzó hasta las casas más próximas, que quedaron a una distancia de 3 m (Fig. 4).

El sargento 1º, señor Marcial Neira Barros, de la Armada de Chile, informó que a las 5:30 AM del día 12 de noviembre observó la caída de la primera parte de los materiales. El señor Sergio Mella, de San Vicente, informó que a las 8:00 y 10:20 AM cayó la mayor parte de los materiales del derrumbe. Los informantes observaron que desde las 5:30 AM hubo casi constantemente caída de fragmentos de roca o aludes menores. El primer autor visitó el sitio del derrumbe a las 12:00 de ese día y pudo comprobar que seguían cayendo fragmentos de roca y materiales inconsolidados, en forma interminante. En ese momento la delantera del depósito tenía 55 m de frente y el cono aproximadamente unos 30 m de altura. Los materiales derrumbados provienen de la zona meteorizada de las rocas metamórficas, de las rocas sedimentarias meteorizadas, del suelo y de depósitos antiguos de materiales deslizados de la parte alta de la barranca. Los fragmentos derrumbados más grandes son de filitas. Los materiales, incluso los de grano fino, estaban secos en el momento de la observación y sumamente teñidos por óxidos de hierro, característicos de las zonas meteorizadas y del suelo. Entre los materiales se observaron arbustos, raíces y otros elementos orgánicos, derrumbados desde la parte más alta. Los informantes observaron que ni ese día ni en días anteriores percibieron temblores ni se produjeron lluvias.

Este derrumbe es muy ilustrativo porque demuestra la inestabilidad de las barrancas que bordean a la península de Tumbes. Aunque las causas del derrumbe se desconocen, aparentemente ellas no pueden referirse a movimientos sísmicos o a lluvias persistentes. Durante el próximo invierno pueden esperarse fuertes derrumbes provocados por las lluvias, que pueden producir considerables daños a una gran parte del barrio de pescadores.

DEPÓSITOS DE SUELO.

La estabilidad de la parte alta y ondulada del extremo sur de la península de Tumbes ha permitido la formación de materiales de suelo, en amplios sectores. Estos materiales son fundamentalmente una mezcla de arcilla, limo y arena. Sobre la cantera de San Vicente se observaron entre 2 y 6 m de suelo castaño rojizo, compuesto por arcilla limosa con textura en bloques.

En las proximidades de la intersección de las avenidas Almirante Latorre y España, se está excavando para construir una escalera de acceso a la parte alta de la serranía. A lo largo de la excavación han quedado en descubierta rocas metamórficas descompuestas debajo de depósitos coluviales y de derrumbe, en la parte más baja y de suelo, en la parte alta (Fig. 4). El perfil que se observa en el suelo es el siguiente, de arriba hacia abajo:

	<i>Metros</i>
Horizonte A : Suelo, castaño amarillento moderado, muy arcilloso, textura en bloques, penetrado por raíces y mezclado con otros materiales orgánicos	0,25
Horizonte B : Suelo, castaño moderado, muy arcilloso, textura en bloques; pocos fragmentos de cuarzo y rodados muy dispersos, granos de arena, partículas de limo y cristales de mica. En la parte inferior hay mayor cantidad de arena, castaño grisácea y naranja grisácea, con fragmentos angulares y subangulares	1,45
Horizonte C : Filita, amarillo verdoso pálida con pintas rojizas; muy descompuesta, friable; limo rojizo entre los fragmentos de roca	0,10
TOTAL	1,80

Los paredones recientemente excavados en esta localidad, se mantienen en posición vertical. En otras localidades, suelos similares tienen tendencia a deslizarse, como se observa en varios sectores de la parte más alta de la cantera de San Vicente (Fig. 4).

DEPÓSITOS DE RELLENO ARTIFICIAL Y DE PLAYA.

Los depósitos de relleno artificial se distribuyen sobre casi toda la llanura baja, donde han sido colocados por el hombre sobre los depósitos fluviales. Los espesores del manto de relleno artificial pueden ser muy variables. Parece ser que el espesor del relleno artificial, en los sectores situados al este del puerto pesquero, está condicionado a las alturas máximas de la zona saturada por agua subterránea. Los pobladores más antiguos de San Vicente han informado (Hooper, comunicación oral) que el

relleno artificial, sobre el cual se asienta el barrio de pescadores, está compuesto en su mayor parte por fragmentos de rocas metamórficas de las inmediaciones, arrojados desordenadamente. Es probable que los materiales excavados de la delantera de los depósitos de derrumbes y coluvio hayan sido utilizados para rellenar en San Vicente y en otros sectores próximos.

Los depósitos de playa bordean la mayor parte de la bahía San Vicente. Debajo de las barrancas, en el sector sudoeste del área estudiada, los depósitos de playa están compuestos por materiales muy gruesos, entre los cuales hay enormes bloques caídos desde la parte alta. En las inmediaciones de la planta COPEC los depósitos de playa consisten en arenas finas a gruesas, gris oscuras, con conchas marinas trituradas. Estas arenas son similares a las que se observan en la llanura baja.

ESTRUCTURA.

ESTRUCTURA REGIONAL.

La estructura de la región de Concepción, en la cual está ubicado San Vicente, está compuesta por varios bloques de origen tectónico limitados por fallas de rumbo aproximadamente norte. El bloque más oriental bordea a Concepción por el este y forma los faldeos occidentales de la Cordillera de la Costa.

Entre la Cordillera de la Costa y la península de Tumbes se extiende una llanura baja y casi horizontal. En la llanura se levantan cerros cuya presencia, dirección y litología sugieren otras fallas de menor rechazo, de dirección aproximadamente norte.

Estas fallas pueden ser numerosas, pero la falta de investigaciones adecuadas del subsuelo permiten suponer, con cierta seguridad, solamente las que limitan por el este a los bloques tectónicos de los cerros Amarillo-La Pólvara y Chepe-Chacabuco, en el área de la ciudad de Concepción. Estos bloques tectónicos están rotados, porque las capas de rocas sedimentarias que sobremontan el granito, se observan con inclinaciones al oeste.

La llanura baja está limitada al oeste por la península de Tumbes. La península se levantó en bloque a lo largo de los planos de la falla San Vicente, al este, y de otra inferida de gran rechazo, sobre la costa del Océano Pacífico, al oeste.

ESTRUCTURA DEL ÁREA DE SAN VICENTE.

Los aspectos estructurales principales del área estudiada son la falla

San Vicente, la falla inferida del Cementerio y los bloques tectónicos asociados.

Falla San Vicente. La falla San Vicente es una falla normal que se extiende desde por lo menos la península San Vicente, al sudoeste, hasta más allá del borde noreste del área estudiada. El plano de falla se expone a la observación directa únicamente al sudoeste de la península San Vicente. Observaciones directas, en esa parte e indirectas, en otros sectores, indican que el plano de la falla pone en contacto las rocas sedimentarias y metamórficas. La traza se extiende al pie de la barranca, en la mayor parte de su recorrido, con rumbo N 55° E. En los mapas la traza se dibujó proyectada al nivel del mar. En el único punto en que pudo observarse la inclinación del plano de falla, en una excavación al sudoeste de la península San Vicente, se midieron 80° E. Se desconoce el rechazo o separación de los bloques sobre el plano de la falla. El rechazo mínimo, en la península San Vicente, es de 15 m. Sin embargo, el rechazo máximo se supone superior a 60 m por consideraciones morfológicas y estratigráficas.

Las observaciones directas e indirectas, que indican la falla San Vicente, son las siguientes:

- a) *Observaciones directas:* contacto expuesto en una excavación hecha por Meissner Engineers al sudoeste de la península San Vicente, en la base de la barranca. La excavación tiene unos 3 m de alto y unos 2 m de ancho, con una penetración hacia el cerro de unos 3 m. La excavación descubrió el plano de contacto de falla, muy regular, con un rumbo N 60° E y una inclinación 80° E, sobre el bloque levantado de las filitas.

Entre las filitas y las rocas sedimentarias se observa una zona de roca finamente triturada de 1 m de espesor. El material parece corresponder mayormente a filitas y es de color gris medio oscuro estando saturado por agua.

El bloque descendido de la falla San Vicente está constituido por areniscas verde oscuras, saturadas por agua, de la unidad geológica de las rocas sedimentarias. En este punto no pudo observarse la posición estructural de las capas de arenisca, pero inclinaciones medidas en puntos próximos demuestran que su inclinación general es de unos 3° W.

Las filitas expuestas en la excavación tienen planos de foliación de rumbo norte e inclinación 50° E. El rumbo de la foliación, en ese punto, se considera aberrante. Probablemente ello se deba a perturbaciones estructurales locales derivadas del movimiento relativo de los bloques tectónicos.

b) *Observaciones indirectas:*

1. En el bloque occidental de la punta sur de la península de Tumbes afloran capas de arenisca, algunas de ellas con fósiles, que no tienen indicaciones que permitan correlacionarlas con las areniscas subhorizontales sin fósiles de la península San Vicente.
2. El contacto inferior y el conglomerado basal de las rocas sedimentarias del bloque occidental, no se han observado en la península San Vicente, que es parte del bloque oriental. El conglomerado basal está probablemente a una profundidad no determinada, debajo del nivel del mar, en el bloque oriental.
3. La geomorfología de la barranca escarpada, que se observa entre la punta sur de la península de Tumbes y la base naval de Talcahuano, sugiere una falla regional importante. El bloque oriental, que está formado por rocas sedimentarias, ha sido muy erosionado por la abrasión marina hasta épocas geológicas relativamente recientes. La península San Vicente y el cerro David Fuentes, de Talcahuano, son restos del bloque oriental, que no fueron eliminados por la erosión marina. Por otra parte, el bloque occidental se observa como una serranía.
4. Sobre la península San Vicente se observa una terraza de 50 x 30 m. La terraza está en la parte superior del bloque oriental (Fig. 4, sección AA') y 14 m más baja que la parte alta y aterrizada del bloque occidental de la punta sur de la península de Tumbes. La diferencia de altura de ambas terrazas, que se supone formaron un nivel continuo, puede indicar movimientos relativos descendentes del bloque oriental a lo largo de la falla, en épocas geológicamente recientes.

Falla del Cementerio: no hay observaciones de campo directas que prueben la existencia de la falla. Sin embargo, su presencia se basa en observaciones indirectas. La falla dividiría el extremo sur de la península de Tumbes en dos bloques tectónicos, de los cuales el sudoccidental estaría descendido respecto al nororiental. La traza del plano de la falla inferida se dibujó en los mapas sobre la superficie del terreno, con un rumbo N 63° W. El rechazo y la inclinación del plano de falla se desconocen. En dos excavaciones efectuadas por los profesionales de Meissner Engineers, al oeste del barrio de pescadores, a unos 30 m de altura sobre la barranca, no se observó el contacto directo de los bloques, roca triturada u otros aspectos que pueden estar asociados a las zonas próximas a los planos de falla. Las excavaciones son de 5 x 2 m y de una profundidad de 3 a 4 m. Están separadas

por un lomo de 2 m de ancho. El pozo ubicado al noreste descubrió filita, debajo de unos 3 m de coluvio rojizo. El pozo situado al suroeste permitió observar arenisca verdosa glauconítica, debajo de unos 4 m de coluvio.

Las observaciones indirectas que permiten inferir la falla del Cementerio son las siguientes:

1. A una altura de 40 m sobre la ladera, al sur de la cantera, se observa que la continuidad hacia el sudoeste de una capa de arenisca glauconítica de 2,60 m de espesor, del conglomerado basal de las rocas sedimentarias y de las filitas de la base, está truncada, como si estuviese interrumpida por una falla.
2. Poco al norte del Cementerio y en la vega próxima al sureste, el probable movimiento relativo de los bloques de la falla inferida habría puesto en contacto las filitas del bloque nororiental con las rocas sedimentarias del bloque sudoccidental.

CARACTERÍSTICAS DE LOS TERREMOTOS.

El área de San Vicente y la región de Concepción están ubicadas en un territorio de gran sismicidad. Saint-Amand (1961, p. 40 y tabla II) anota que entre Santiago y Castro (Chiloé), en un período de 426 años, a contar desde el año 1520, ha habido 47 terremotos fuertes, sin considerar millones de temblores de dimensiones no destructoras. De estos 47 terremotos, 7 han sido de magnitud aproximadamente comparable a la sacudida principal de mayo de 1960 y 8 han estado asociados con maremotos o alteraciones similares del mar. Según Saint-Amand, debería ser obvio que puede esperarse en alguna parte del sur chileno un terremoto destructor cada 10 años y un terremoto catastrófico, con maremoto, cada lapso del orden de 60 años.

En la región estudiada, la mayor serie de grandes terremotos de los últimos tiempos ocurrió en el mes de mayo de 1960 (Ruiz y Saint-Amand, 1961). El día 21 de ese mes se produjo el primer gran movimiento sísmico, aproximadamente a las 6:03 AM hora local, con epicentro localizado en la península de Arauco, a unos 100 Km al sur de San Vicente y con magnitud $7\frac{1}{2}$ (escala de Richter). El terremoto afectó una región de una longitud de unos 100 Km y un ancho de alrededor de 40 Km, con intensidad de grado VII a VIII, escala de Mercalli. El foco del terremoto pudo estar ubicado a unos 50 o más kilómetros bajo la superficie de la tierra. Las ciudades de Talcahuano, Concepción, Coronel, Lota y de la provincia de Arauco, fueron las más afectadas. El sismógrafo de Concepción se destruyó por completo.

En ese día 21 y en el siguiente continuaron las réplicas. A las 2:55 PM se sintió en todo el sur de Chile una fuerte sacudida. A las 3:15 PM sobrevino un terremoto silencioso de una duración de tres y medio minutos y de una magnitud de $8\frac{1}{2}$ (escala de Richter). El epicentro estuvo tal vez bajo el océano. La intensidad en la zona comprendida aproximadamente entre Puerto Saavedra y la parte austral de la Isla de Chiloé, pudo variar entre VII y IX de la escala de Mercalli (Ruiz y Saint-Amand, 1961).

Pocos días después, luego de numerosas réplicas, se sintieron fuertes movimientos en la península de Taitao. En total, el territorio del sur chileno que fue afectado es de una longitud de 1.600 Km y un ancho de unos 150 Km.

Los maremotos o tsunamis, que tan catastróficamente afectaron la costa del sur de Chile y regiones alejadas como Hawaii y Japón, en 1960, repercutieron sin destrucción en la zona de San Vicente y Talcahuano. El Departamento de Navegación e Hidrografía (1961, p. 81), informa que en Talcahuano las ondas alcanzaron una altura de 3 m sobre el nivel medio del mar, especialmente en el último tercio del día 22 de mayo. El maremoto comenzó a las 4:09 PM, es decir, 59 minutos después del terremoto. Por otra parte, Saint-Amand (1961, tabla II) anota que los grandes terremotos en Concepción de los años 1570, 1657, 1751 y 1835, estuvieron acompañados de maremotos violentos. Según Darwin (1839, p. 370), quien llegó a Talcahuano pocos días después del terremoto de 1835, las grandes olas sísmicas marinas asolaron Talcahuano. Harrington (1944, p. 220) informa que frente a Concepción las olas alcanzaron 6 m de altura.

El primer autor estaba en la zona el 18 de octubre de 1961 cuando ocurrió un fuerte movimiento sísmico que, según los periódicos, por información del Laboratorio Sismológico de Pasadena (EE. UU. de A.), tuvo una magnitud de 6,7 (escala de Richter) y una intensidad de VI (escala de Mercalli), en Concepción. El movimiento produjo una víctima, escasos daños y gran pánico en la población.

EFFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN LA MORFOLOGÍA.

Los terremotos de mayo de 1960 afectaron la morfología del sur chileno. El volcán Puyehue entró en erupción el 24 de mayo de 1960, hubo cambios positivos y negativos en el nivel del mar en muchas localidades, se registraron inundaciones en la costa y en algunos ríos, y se produjeron catastróficos derrumbes, especialmente en el Riñihue, como efectos principales (Weischet, 1960). Sin embargo, en ninguna parte del territorio hubo desplazamientos visibles de fallas, asociados a los terremotos (Ruiz y Saint-

Amand, 1961, p. 124). Según Jordan (1961), la gran profundidad de los focos de los terremotos puede haber atenuado los cambios en la morfología.

La región de Concepción fue estudiada unos 25 días después de producidos los terremotos de mayo de 1960. Este estudio dio origen a un informe preliminar (Galli y Sánchez, 1960 a) que entre otros aspectos abarcó los efectos de los terremotos en la morfología de la región de Concepción. Esos autores (*op. cit.*, p. 20) observaron que en los depósitos de la barra de arena en la Boca Sur del río Bío Bío, los materiales se habían deslizado lateralmente a lo largo de fracturas de 80 m de largo y de 1,60 m de profundidad visible. En zonas empinadas de los cerros Chepe, La Pólvara y en el barrio Lo Pequén, se observaron zonas deslizadas y desprendimientos de rocas. En la Boca Sur del Bío Bío se observaron túmulos de fango asociados a fracturas de deslizamiento y agua subterránea ascendente (Segerstrom, 1960; Watanabe y Karzulovic, 1960). En varios sectores de Concepción y Penco se notó una compactación del terreno manifestada por desplazamientos verticales.

En el área estudiada en San Vicente, aparentemente, no se produjeron cambios morfológicos como consecuencia de los terremotos más recientes. Por otra parte, Brüggén (1950, p. 324) informa que Fitzroy, capitán del Beagle, midió en Talcahuano, poco después del terremoto de 1835, un levantamiento de 4 a 5 pies en la costa. Después de dos meses el levantamiento disminuyó a 2 pies. En la zona de la cantera de San Vicente hubo caída de algunas rocas durante los terremotos de mayo de 1960. La falla San Vicente y la falla inferida del Cementerio no registraron un desplazamiento visible a lo largo de sus trazas superficiales. El primer autor visitó el área de San Vicente un día después del sismo del 18 de octubre de 1961 y no pudo observar ningún efecto en la morfología. Un vecino de San Vicente informó que ese sismo causó la caída de piedras pequeñas de la ladera del sector de la cantera.

EFFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN LAS ESTRUCTURAS CONSTRUIDAS POR EL HOMBRE.

Los terremotos de mayo de 1960 produjeron en todo el sur chileno daños evaluados en más de US\$ 417.000.000, por la Corporación de Fomento de la Producción. En la región de Concepción, Galli y Sánchez (1960 a, p. 22) estudiaron algunos aspectos de los efectos de los terremotos en las estructuras construidas por el hombre. Las conclusiones están expuestas en las tablas N.os 3 a 7 y en el gráfico N.º 1 (*op. cit.*) y se refieren mayormente a los edificios de Concepción y a las instalaciones de la Compañía de Acero del Pacífico y de la Refinería de Azúcar de Penco. Un

censo de 544 casas de Concepción, a lo largo de 4 recorridos que cubrieron diversas áreas de la ciudad, demostró que los daños en las construcciones de adobe y ladrillos, unidos con un mortero muy pobre en cemento o con barro, fueron catastróficos en un porcentaje muy alto (Duke, 1960). Por otra parte, las casas y grandes edificios que mejor resistieron los movimientos sísmicos son los construidos con concreto armado y con madera. Aquellos edificios construidos después de 1939 y con estudios previos acerca de la mecánica de los suelos sobre los cuales se asientan, resistieron bien (*op. cit.*, p. 1802). Una de las conclusiones más importantes del estudio preliminar de Galli y Sánchez es que, después de los terremotos, se observó una relación directa entre los materiales empleados en la construcción de las casas y edificios, y el tipo y porcentaje de daños. Por otra parte, no se pudo establecer si hubo relación entre la geología y los daños porque gran parte de los terrenos sobre los cuales está construida Concepción, son arenas muy uniformes con la zona saturada por agua subterránea muy próxima a la superficie (*vide* Watanabe y Karzulovic, p. 42, 1960). Sin embargo, en Puerto Montt, Valdivia, Ancud y Castro, se comprobaron estrechas relaciones entre la geología y los daños (Schott, 1960). En esas localidades, donde pudieron diferenciarse varias unidades geológicas, la destrucción fue muy grande en las construcciones ubicadas sobre relleno artificial o sobre depósitos aluviales saturados de áreas bajas (Duke, 1960).

Las conclusiones de Sánchez y Galli, para la región de Concepción, acerca de la poca resistencia de ciertos tipos de edificios ante el paso de las ondas sísmicas, coinciden con las de Saint-Amand (1961, p. 44), que se refieren a todo el territorio del sur chileno afectado por los terremotos.

Estas conclusiones son válidas, asimismo, en el área estudiada en San Vicente y en Talcahuano. El tipo de construcciones y la geología de esa área son aproximadamente las mismas que las de la ciudad de Concepción y sus alrededores.

En la traza del plano de la falla San Vicente, sobre la península San Vicente, se alzan los cimientos de un antiguo fuerte construido por la Armada de Chile. A unos 50 m al noroeste hay otras fortificaciones abandonadas. Hooper y Meade (1961) informan que los fuertes sufrieron daños en los terremotos de 1920 y 1939, pero ellos al parecer no fueron mayores que los de otras construcciones similares, no ubicadas sobre la falla. Apparentemente, gran parte de los daños de los fuertes deben atribuirse a defectos de cálculo y de los materiales de construcción (Hooper y Meade, 1961).

CONCLUSIONES.

1) En esta etapa del proyecto se consideran suficientes los estudios

geológicos de los autores y de ingeniería de suelos y geología, realizados por los profesionales de Meissner Engineers Inc., referentes al área sobre el nivel del mar propuesta para construir un puerto en San Vicente.

2) La geología de las rocas y depósitos que se hallan debajo del nivel del mar no ha sido estudiada por los autores. Su conocimiento está limitado a los datos de las perforaciones suministrados por Meissner Engineers Inc.

3) Las rocas de la plataforma elaborada por la erosión de las olas, que circundan la península San Vicente, son areniscas bien consolidadas en capas horizontales o subhorizontales, circunstancia que es muy favorable para servir de base a materiales de relleno sobre los cuales se asentarían las instalaciones portuarias.

4) Una gran parte de las areniscas que forman la península San Vicente está muy descompuesta. Esta circunstancia reduciría los costos de las labores de excavación.

5) Las filitas, que forman el zócalo o núcleo del extremo sur de la península de Tumbes, son rocas duras y muy tenaces que requerirán el uso de explosivos para su excavación.

6) La inclinación de los planos de foliación de las rocas metamórficas, que bordean la bahía San Vicente, coincide aproximadamente con la inclinación de las barrancas actuales y puede favorecer la formación de planos de deslizamiento de materiales que, eventualmente, pueden derrumbarse desde la zona meteorizada.

7) Las pendientes fuertes de la barranca se observan en gran parte cubiertas por materiales derrumbados y coluvio que están en equilibrio inestable y que, eventualmente, pueden deslizarse. En muchas partes la delantera de esos materiales está peligrosamente excavada o modificada.

8) Se ha confirmado la existencia de una falla regional importante (falla San Vicente), paralela y muy próxima a la barranca abrupta que bordea la bahía San Vicente y se infiere otra falla (falla del Cementerio) que intersectaría a la anterior en un ángulo de 63° . Es una circunstancia favorable para el proyecto de construcción que, a pesar de ser las fallas planos de debilidad de la corteza terrestre, no se hayan podido reunir evidencias de desplazamientos relativos de los bloques tectónicos en tiempos geológicamente muy recientes.

9) La historia sísmica de la región de Concepción, conocida desde el año 1520, demuestra que hay muchas posibilidades que en el futuro se registrarán otros terremotos muy violentos. Algunos de ellos estarán, probablemente, acompañados con avances repentinos del mar sobre San Vicente y Talcahuano —como ocurrió en el pasado—, que en su mayor parte

están contruidos en un área baja y sin adecuada protección natural o hecha por el hombre (Horikawa, sin fecha).

RECOMENDACIONES.

1) Las condiciones geológicas son sólo uno de los muchos factores que deben considerarse al estudiar las posibilidades de cualquier proyecto de construcción. Otros factores, tales como el tipo de proyecto y los costos, son por lo general más limitantes que los geológicos. Por lo tanto, los autores no pueden hacer recomendaciones generales acerca de si las instalaciones del puerto que se ha propuesto en San Vicente pueden ser construidas o no. Esta recomendación debe ser formulada por los ingenieros que adopten las decisiones finales. Se recomienda a ellos la consideración de los aspectos geológicos informados en el presente trabajo, porque pueden ayudar en la preparación y el análisis del proyecto final.

2) Se recomienda que en el cálculo de todas las instalaciones portuarias contempladas en el proyecto, se tome en consideración que en el futuro hay muchas posibilidades que se produzcan terremotos y maremotos violentos, como lo demuestra la historia sísmica de más de 400 años. Pese a que el estudio de las fallas del área de San Vicente no ha demostrado que hayan estado activas, por lo menos en los últimos 50 años, o que su presencia contribuya a agregar peligro a una región de gran sismicidad, las fallas son planos de debilidad de la corteza terrestre que deben considerarse al diseñar las instalaciones portuarias.

3) Los depósitos de materiales derrumbados y coluvio distribuidos al noreste de la cantera de San Vicente, especialmente su parte inferior o delantera, no se deben excavar o modificar. Tampoco deben construirse sobre ellos vías de acceso al puerto u otras obras de Ingeniería. Los depósitos se hallan en la actualidad en un equilibrio inestable que no debe alterarse, excepto tomando medidas preventivas cuidadosamente estudiadas. En el momento actual, las construcciones sobre o cerca de la barranca abrupta cubierta por depósitos de materiales derrumbados y coluvio, están en peligro potencial. El peligro puede incrementarse en el futuro si las vías de acceso al puerto, que soportarán un tránsito de vehículos pesados, se construyen muy cerca de la delantera de esos depósitos.

4) La parte trasera de las instalaciones portuarias estará aparentemente en las proximidades de las barrancas abruptas actuales, ubicadas en la zona de la cantera y bordeando el mar en el extremo sur de la península de Tumbes. La parte superior de las barrancas, constituidas por materiales meteorizados y suelo, tiene tendencia a deslizarse. Se recomienda que en el proyecto se estudie, con anticipación adecuada, si la firma

constructora del puerto debe tomar medidas definitivas que eliminen el peligro de derrumbes sobre partes de las instalaciones portuarias, que incrementarán el costo inicial, o si en el futuro la administración del puerto deberá realizar tareas de mantenimiento cada vez que se produzcan derrumbes de los materiales en equilibrio inestable.

5) Se recomienda que durante la construcción del puerto sean continuados los estudios geológicos del área de San Vicente, ya que las excavaciones, perforaciones u otras obras permitirán descubrir problemas geológicos que, eventualmente, deberían resolverse y que ampliarán el conocimiento actual de la geología.

Santiago, 27 de diciembre de 1961

FAJA DE TERRENO PROPUESTA PARA LA UBICACION DE UN CABLE SUBTERRANEO DE ALTA TENSION, CARRIEL SUR, REGION DE CONCEPCION

p o r

Carlos Galli Olivier

CONTENIDO

	Págs.
INTRODUCCION	43
GEOLOGIA	44
Arena fluvial	44
Arena de dunas	44
TEMPERATURAS DE LAS ARENAS Y DEL AGUA SUBTERRANEA FREATICA	46
CONCLUSIONES	46

INTRODUCCIÓN.

En los días 9 y 12 de marzo de 1962 se efectuó una investigación geológica de la faja de terreno ubicada a lo largo de la línea de alta tensión que cruza Carriel Sur, departamento de Talcahuano, en la región de Concepción. El informe y el mapa adjuntos son los resultados de esa investigación, que se considera preliminar y que puede ser objeto de revisión y de trabajos complementarios. La faja de terreno está situada a aproximadamente 5 Km hacia el noroeste de la Plaza de Armas de Concepción.

Probablemente, durante el año 1962 se iniciará la construcción de un moderno aeropuerto en Carriel. Por esa causa, la línea de alta tensión que cruza actualmente en el aire la zona referida (Fig. 1), tendrá que reemplazarse por un cable subterráneo que debería ubicarse aproximadamente a 1 m de profundidad en el suelo. Para poder dar las especificaciones y características del cable subterráneo, ENDESA necesita conocer la temperatura del suelo a la profundidad mencionada. La investigación geológica preliminar ha permitido conocer:

- 1) Los diferentes materiales a excavar, su morfología y su temperatura en determinadas condiciones, y
- 2) La superficie freática o plano superior de la zona saturada por agua subterránea, su profundidad respecto de la superficie del terreno y la temperatura del agua. Se estima que estas variables de orden geológico

gico pueden ayudar a proyectar la instalación del cable subterráneo de alta tensión.

GEOLÓGIA.

La faja estudiada (Fig. 6) está cubierta por depósitos fluviales constituidos por arena sedimentada por el río Bío Bío y por arena depositada por la acción del viento. La arena fluvial forma dos terrazas que se describirán en conjunto. La arena depositada por la acción del viento se describe como arena de dunas.

ARENA FLUVIAL.

La arena fluvial se dispone en dos niveles de terrazas de erosión modelados por el río Bío Bío en tiempos geológicos pre-recientes. El nivel más alto está situado a aproximadamente 5 m más arriba que el nivel más bajo. Los dos niveles forman superficies llanas que están semicubiertas por pastos bajos o cultivadas. Las partes de mayor altura del nivel más alto están bien drenadas. Otros sectores de este nivel y el nivel más bajo, en verano tienen un drenaje algo impedido después de lluvias ocasionales y en invierno se anegan (Fig. 6).

La arena fluvial es mediana a gruesa (0,25 a 1 mm), con algunos fragmentos de más de 4 mm, más o menos limpia de limo, según el drenaje local y fácilmente excavable.

En el nivel más alto, la superficie freática está a aproximadamente 2,50 m de profundidad en verano, en el área mejor drenada y a unos 70 cm en verano, en las áreas de drenaje deficiente. Estos datos se obtuvieron interpolando las observaciones en pozos de agua a 300 m al norte y 1.200 m al sur de la faja estudiada o por medición directa en las excavaciones A y B (Fig. 6), efectuadas con un taladro de mano.

En el nivel más bajo, el plano superior del agua subterránea está entre 20 cm y 1 m debajo de la superficie, en verano.

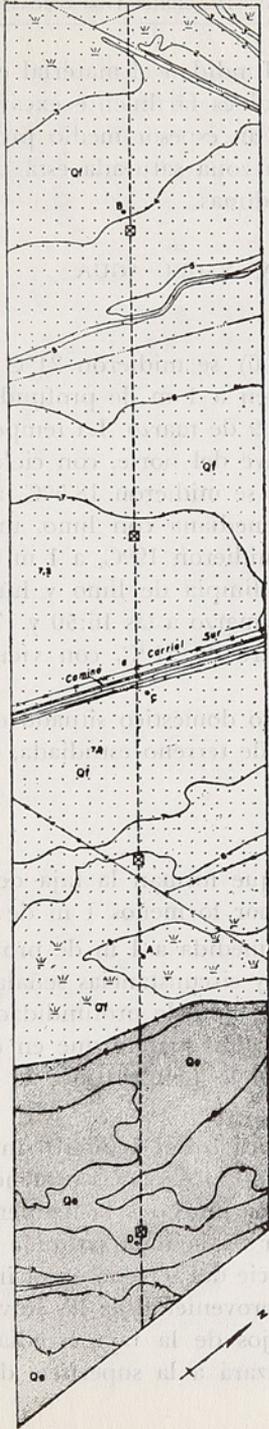
ARENA DE DUNAS.

La arena de dunas forma un depósito superficial moderno que se distribuye en el sector este y más al oriente de la faja de terreno estudiada (Fig. 6). Las dunas son montículos que tienen alturas máximas de alrededor de 2,50 m sobre el piso de arena fluvial, están semiestabilizadas y cubiertas casi totalmente por pastos bajos y arbustos.

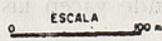
La arena es mediana (0,25 a 0,50 mm), con algo de limo y está seca

FIG. 6

GEOLOGIA DE LA FAJA DE TERRENO EN CARRIL SUR



Geología simplificada



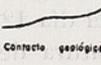
EXPLICACION



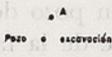
Arena de dunas



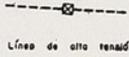
Arena blanda



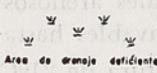
Contacto geológico



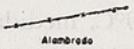
Pozo o excavación



Línea de alto tenalido



Área de drenaje deficiente

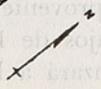


Alambreado



Canal

TOPOGRAFIA DE PROYECTO AEROFOTOGRAMETRICO-CHILE DE LA OEA 1961



en la superficie. A 60 cm de profundidad el material está húmedo y tiene muy poca plasticidad. El material es fácilmente excavable.

Las arenas de dunas tienen un espesor medio probable de alrededor de 2 m. El plano superior de la zona saturada está probablemente poco debajo del piso donde yacen las dunas.

TEMPERATURAS DE LAS ARENAS Y DEL AGUA SUBTERRÁNEA FREÁTICA.

En la excavación C (Figura 6) se midieron 21°C de temperatura en las arenas fluviales secas que yacen a 1 m de profundidad. La lectura se efectuó a las 17:45 horas del día 9 de marzo. La temperatura del aire era de 15°C y soplaban un viento suave del norte, con cielo cubierto.

En la excavación D (Fig. 6) se midieron 18,5°C, a 1 m de profundidad, en arena de dunas fina a mediana con limo, muy poco plástica y húmeda. En la excavación B se midieron 19°C, a 1 m de profundidad, en arena fluvial mediana a gruesa, limpia de limo y húmeda. Las lecturas en D y B se hicieron el día 12 de marzo a las 16:50 y 17:30 horas, respectivamente, con temperatura del aire de 21°C, con viento algo fuerte del suroeste y cielo claro.

En el agua de un pozo de uso doméstico situado en el fundo Carriel Sur, a 300 m al norte de la faja de terreno estudiada, se midieron 16°C.

CONCLUSIONES.

1) Los materiales arenosos que forman la faja de terreno estudiada son fácilmente excavables hasta por lo menos 1 m de profundidad.

2) La temperatura de 21°C, medida a 1 m de profundidad, en materiales arenosos secos, en la fecha y circunstancias señaladas y las temperaturas de 18,5°C y 19°C, medidas a 1 m de profundidad en materiales húmedos, en las circunstancias señaladas, sugiere que en el verano el mayor contenido de humedad disminuye la temperatura de los materiales arenosos.

3) El agua subterránea freática o del acuífero sin presión tiene una temperatura de 16°C. Esta temperatura será más o menos constante durante todo el año, porque se aproxima mucho a la temperatura media anual de la localidad. El plano superior de la zona saturada por agua subterránea estará más cerca de la superficie del terreno en el invierno y la primavera, debido a la mayor recarga proveniente de las lluvias invernales y de los ríos. En los sectores más bajos de la faja estudiada, la fluctuación positiva del plano superior alcanzará a la superficie del terreno o hasta

pocos cm de ella. En los sectores más altos, el plano superior subirá de nivel, saturando los sedimentos hasta 1 ó 1,50 m debajo de la superficie del terreno. Este cambio positivo de nivel del agua subterránea producirá variaciones en la temperatura de los materiales que se saturan y en la zona capilar húmeda inmediatamente arriba del plano superior.

4) Puede estimarse que a 1 m de profundidad, las partes relativamente secas del nivel más alto y del área de dunas, tendrán una temperatura que reflejará aproximadamente los cambios de temperatura de la atmósfera. La temperatura a 1 m de profundidad, en los sectores saturados, será de alrededor de 16°C durante todo el año.

Santiago, 14 de marzo de 1962

DERRUMBES RECIENTES RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCION DE UN CAMINO EN EL AREA DE HUALQUI, REGION DE CONCEPCION

p o r

Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke

CONTENIDO

	Págs.
INTRODUCCION	48
Derrumbe Hualqui N° 1	49
Aspectos generales	49
Conclusiones	51
Derrumbes Hualqui N° 2	51
Aspectos generales	51
Conclusiones	52
RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE LOS DERRUMBES HUALQUI N° 1 y N° 2	52

INTRODUCCIÓN.

El propósito de este informe es describir aspectos geológicos y efectuar recomendaciones acerca de dos sectores con derrumbes recientes, relacionados con la construcción de un camino en el área de Hualqui, región de Concepción (Fig. 1).

El equilibrio de las laderas se ha alterado en algunas partes de la margen norte del valle del río Bío Bío, donde se han efectuado cortes laterales. Muy probablemente como consecuencia de las excavaciones, en algunos sectores del camino, se han producido deslizamientos y derrumbes de diversos materiales de la ladera, que han causado graves inconvenientes en el tránsito y fuertes inversiones en tareas de mantención. Los sectores deslizados que se describen y otros también inestables, pueden seguir creando problemas de ese tipo en el futuro.

El día 26 de octubre de 1961, los autores estudiaron las áreas deslizadas en compañía del ingeniero de caminos de la Dirección de Vialidad, señor Homero Van Camps, quien indicó las localidades de su mayor interés e inquirió acerca de las posibles medidas para solucionar eventualmente algunos problemas en relación con la geología. El 31 de octubre, los autores estudiaron nuevamente esos sectores en compañía de los urbanistas

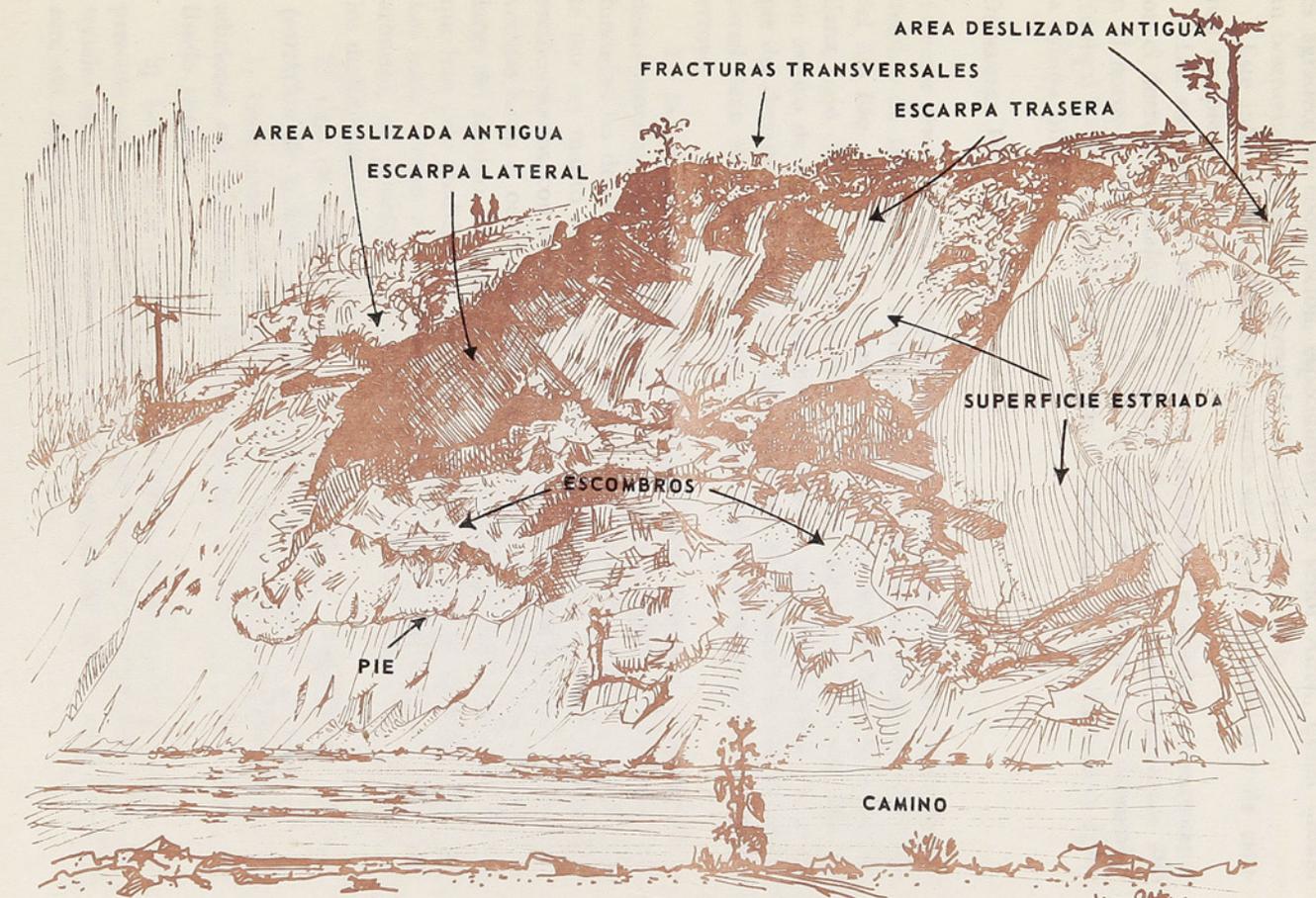


Fig. 7. Derrumbe Huaiqui N.º 1

10m Alt
31 de 1961 Hualqui

señores César Burotto e Iván Alten. A los profesionales mencionados se les agradece su cooperación, especialmente al señor Alten, quien dibujó un bosquejo a pluma del derrumbe Hualqui N° 1 (Fig. 7).

Este informe es preliminar y puede ser objeto de revisión y de estudios complementarios.

Los sectores más importantes de materiales deslizados recientemente son el derrumbe Hualqui N° 1, a una distancia de aproximadamente 800 m al noroeste, en línea recta desde la plaza de Hualqui y los derrumbes Hualqui N° 2, a alrededor de 2,2 Km al oestenoeste, en línea recta desde la misma plaza.

DERRUMBE HUALQUI N° 1.

Aspectos generales. El derrumbe Hualqui N° 1 ocurrió a mediados de septiembre de 1961. El área afectada está en una ladera empinada del valle del Bío Bío. Al pie de la ladera se extiende una terraza baja de superficie llana, bajo cultivo y de unos 250 m de ancho. La terraza está surcada por un arroyo de unos 8 m de ancho, que pasa a unos 40 m hacia el sur del pie del derrumbe, en el punto más próximo. El camino y la vía del ferrocarril están situados entre el pie, a pocos metros al norte y el mencionado arroyo.

La ladera del valle está formada por rocas graníticas meteorizadas o descompuestas y desintegradas por los agentes meteóricos, hasta una profundidad no determinada. Las rocas graníticas están cubiertas parcialmente por un manto superficial moderno de depósitos de talus o coluviales arcillo-limosos, con hojuelas de mica. El derrumbe Hualqui N° 1 y las áreas vecinas hacia el oeste, presentan un paredón inclinado de unos 750 m a lo largo del camino. El paredón tiene una morfología característica de laderas que han sido modificadas por deslizamientos, en épocas geológicas pasadas. Las áreas vecinas al derrumbe están parcialmente cubiertas por árboles y arbustos, en posición vertical, cuya edad indicaría una edad mínima de los deslizamientos antiguos.

El tipo de deslizamiento corresponde al de escurrimiento de talus (*earthflow* de la literatura inglesa), cuyas características generales son:

1) Gran contenido de agua en el período de escurrimiento, cuyo peso adicional tal vez provoca el deslizamiento. La masa se mueve como un fluido viscoso.

2) La masa se compone principalmente de materiales de talus y no presenta superficies de deslizamiento visibles dentro del material. Los materiales están inconsolidados y se apoyan en la roca sobre la cual se deslizan, sin afectarla mayormente.

3) Movimiento entre lento y muy rápido.

La superficie de deslizamiento o ruptura tiene la forma clásica de cuchara inclinada (Figs. 7 y 8). El largo de su eje longitudinal es de 50 m

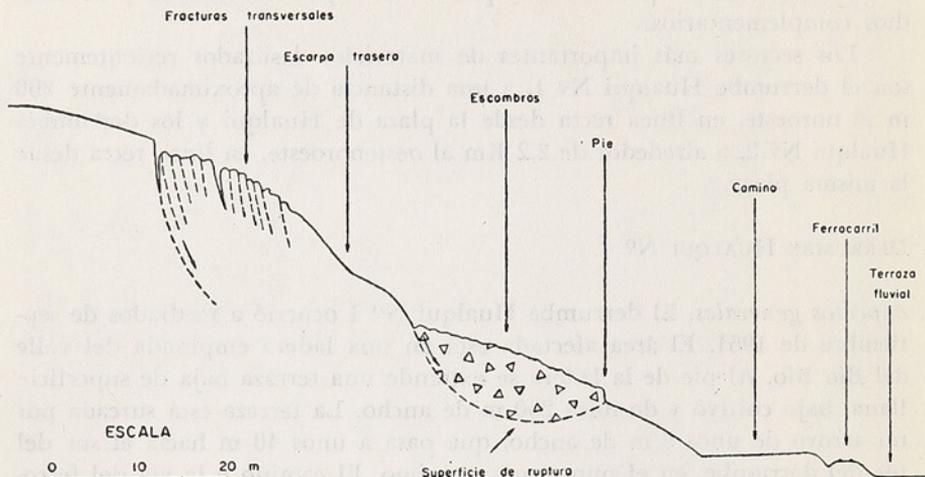


FIG. 8 SECCION LONGITUDINAL DEL DERRUMBE HUALQUI N° 1

y la distancia vertical desde el pie (cerca de la actual posición del camino), hasta la parte alta de la escarpa trasera, es de 30 m (Fig. 8). La parte frontal del derrumbe, medida horizontalmente sobre el camino, es de 32 m. La escarpa trasera, de una inclinación de 45 grados, tiene una altura vertical de 14 m y un ancho de 24 m en su base. La escarpa trasera o principal está limpia de escombros. Las escarpas laterales están parcialmente cubiertas por ellos. En todas las escarpas se observan estrías, en su mayor parte paralelas, y superficies pulidas, originadas por el movimiento hacia abajo de la masa deslizada.

Entre el pie de la escarpa trasera y el pie del derrumbe, yacen unos 23 m de escombros, medidos a lo largo de la línea longitudinal. Se estima que los escombros tienen un espesor máximo de 8 m (Fig. 8). Los materiales son una mezcla sin selección de arcilla y limo, con gran cantidad de hojuelas de mica parcialmente descompuesta. Los materiales son suaves al tacto, muy resbaladizos cuando húmedos y probablemente tienen una gran capacidad de retener agua.

Más arriba de la escarpa trasera, se observan unas 15 fracturas frescas paralelas al borde de la escarpa y que se extienden en una zona de unos 20 m, medidos sobre el eje longitudinal del derrumbe. Muchas fracturas

están abiertas y algunas dividen bloques que han tenido movimiento hacia abajo, por desplazamientos laterales.

Conclusiones: 1) El derrumbe Hualqui N° 1 es un derrumbe activo que casi seguramente fue provocado por la construcción del camino a lo largo de la parte basal de la ladera.

2) La remoción del detrito que cayó sobre el camino en septiembre de 1961, no terminará con los derrumbes. Esa labor probablemente ha aumentado el peligro, por haberse eliminado la parte que servía de apoyo a la gran masa de escombros. Los escombros no removidos caerán hacia el camino y posiblemente sobre la vía del ferrocarril. El área de las fracturas, que bordea la escarpa trasera, caerá. Nuevas fracturas se abrirán hacia arriba y los lados de la cuchara, creando nuevas áreas de derrumbes potenciales. En las condiciones presentes ésta sería la evolución normal del fenómeno. El peso adicional del agua durante el invierno, en las fracturas abiertas y el material permeable, acelerará el proceso.

3) Las áreas deslizadas antiguas a ambos lados del derrumbe Hualqui N° 1, en la actualidad inactivas, son potencialmente peligrosas y casi seguramente serán reactivadas en las próximas épocas lluviosas, como resultado de la construcción del camino. Pueden esperarse otros derrumbes, en cualquier parte, a lo largo de la ladera en unos 600 m hacia el oeste y unos 100 m al este del derrumbe Hualqui N° 1.

DERRUMBES HUALQUI N° 2.

Aspectos generales. Los dos derrumbes Hualqui N° 2 se observan en una ladera empinada de unos 35° y de una altura de aproximadamente 300 m, que bordea abruptamente la margen norte del Bío Bío (Fig. 1). La corriente fluvial cambia de dirección, en las cercanías de Hualqui, en un ángulo de aproximadamente 135° y erosiona la margen norte con mucho mayor energía que la margen sur. El camino está en la parte inferior de la ladera y a unos 45 m, medidos verticalmente sobre el río. La vía del ferrocarril está situada al pie de la ladera y a 7 m sobre el nivel del río, en enero.

Las laderas están formadas por rocas metamórficas meteorizadas hasta una profundidad que no se determinó. En otras partes próximas, se observan rocas metamórficas relativamente poco descompuestas. Un manto de depósitos de coluvio y talus cubre las rocas metamórficas. Es muy probable que estas laderas hayan sufrido frecuentes modificaciones en el pasado, originadas por derrumbes provocados por la erosión de su base, expuesta a la acción del río. Las laderas están cubiertas totalmente por arbustos, pero las áreas deslizadas recientemente están desnudas.

Los dos derrumbes Hualqui N° 2 tienen la forma de triángulos muy alargados, con los vértices agudos hacia arriba. La inclinación del plano de los derrumbes es de 35°. Las escarpas traseras o principales, tienen una altura de 60 m y una inclinación de 45°. La superficie de las escarpas es lisa, en partes pulida por los deslizamientos y está formada por rocas metamórficas descompuestas. El derrumbe de más al este comienza en un punto ubicado a unos 250 m sobre el río y tiene un ancho de 35 m, donde el camino cruza sobre su superficie. El derrumbe de más al oeste se inicia a unos 200 m sobre el río y tiene un ancho de 60 m, sobre el camino. Los materiales de ambos derrumbes alcanzaron el río durante el pasado invierno. Como resultado, el camino quedó bloqueado y la vía del ferrocarril estuvo en peligro de ser afectada.

Los derrumbes pueden clasificarse como torrentes de barro. Sus materiales son una mezcla desordenada de arcilla, limo y arena, principalmente, que aglutinan fragmentos angulosos y de todo tamaño de rocas metamórficas y restos vegetales. La mezcla aglutinante es dura y tenaz en estado seco, debido a su contenido de arcilla, pero cuando está húmeda es muy resbalosa y tiene tendencia a deslizarse.

Los materiales del derrumbe de más al oeste, están retenidos en el costado norte del camino por una pared de piedra de 2 m de altura, en buen estado de conservación. La parte basal de los materiales retenidos por la pared tiene una superficie convexa. Paralela a la vía del ferrocarril hay otra pared de retención. Debajo de las vías hay canales de unos 2 m de ancho, destinados a drenar los derrumbes de barro y piedras hacia el río.

Conclusiones: 1) Los derrumbes Hualqui N° 2 están en equilibrio inestable y continuarán su movimiento hacia el camino. Las áreas derrumbadas seguirán extendiéndose hacia arriba y aportarán nuevos materiales que se deslizarán hacia el camino, especialmente en invierno.

2) Los materiales tienen una alta porosidad y, por lo tanto, son capaces de retener un gran volumen de agua de lluvia. El peso adicional del agua y la gran inclinación de la ladera, acelerarán los derrumbes.

3) La pared de retención del derrumbe occidental está colmada de detritos y no podrá evitar nuevos derrumbes sobre el camino y, posiblemente, la vía del ferrocarril.

RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE LOS DERRUMBES HUALQUI N° 1 Y N° 2.

1) Debido a la inestabilidad de los materiales del derrumbe Hualqui N° 1 y de las laderas próximas, que bordean el camino por el norte y a la

posibilidad de que a través de un largo período ocurran otros derrumbes de difícil o tal vez imposible control con medidas preventivas, se recomienda que los ingenieros consideren la posibilidad de abandonar ese tramo del camino y reemplazarlo por otro. El nuevo tramo puede ser posible construirlo sobre la terraza del río Bío Bío, próxima al actual camino, hacia el sur (Fig. 1), donde no se observan problemas geológicos mayores.

2) Se recomienda la consideración de un nuevo trazado para evitar los derrumbes Hualqui N° 2. En razón de la gran inclinación de las laderas, los derrumbes probablemente no podrán controlarse totalmente con medidas preventivas. Por otra parte, la excavación de un nuevo camino a otra altura sobre el río no resolverá el problema actual, sino que, por el contrario, tal vez lo aumentará. Por lo tanto, se recomienda la elaboración de un anteproyecto para construir un nuevo camino entre las vías del ferrocarril y el río. Esto implicaría el desvío parcial de la corriente, para evitar la fuerte erosión y el relleno de la margen norte con fragmentos de roca. Si las recomendaciones de los puntos 1) y 2) fueran aceptadas, el futuro camino tendría un trazado como se muestra en la figura 1. Sin embargo, antes de aprobarse el nuevo trazado, deberían estudiarse a fondo los problemas derivados del desvío de la corriente y del material de relleno.

3) Si se decide no abandonar el camino próximo al derrumbe Hualqui N° 1, se recomienda eliminar los escombros del centro de la cuchara, antes que comiencen las lluvias intensas. De no efectuarse su eliminación, los escombros muy probablemente se deslizarán sobre el camino y, posiblemente, la vía del ferrocarril, en el próximo invierno. La eliminación de los escombros no evitará el derrumbe de la zona de fracturas abiertas de la parte más superior, pero ayudará a disminuir el volumen de la masa que se deslizará.

4) Si los actuales tramos en Hualqui N° 1 y N° 2 se abandonan al tránsito, se recomienda conservarlos como plataformas destinadas a acumular los materiales derrumbados, de donde serán fácilmente removidos cada invierno con maquinaria adecuada. Esta medida ayudará a impedir que los escombros se deslicen hacia las vías.

5) Si se decide mantener el actual camino que cruza los derrumbes Hualqui N° 2, deberían ensayarse todas las medidas preventivas posibles. Algunas medidas a ensayar serían: a) Instalar varias líneas de estacas a través de las áreas derrumbadas, más arriba del camino. Las estacas deberían ser colocadas profundamente para en lo posible alcanzar los planos de ruptura; b) Plantar arbustos de raíces profundas en las áreas desnudas, para retardar los derrumbes y para prevenir la extensión de las áreas derrumbadas, y c) Aumentar la altura de la pared de retención para acu-

mular más escombros y disminuir el ángulo de inclinación de la base del área derrumbada sobre el camino.

6) Se recomienda que los ingenieros a cargo de las medidas preventivas estudien los controles experimentales ensayados más arriba del canal de la planta hidroeléctrica de la ENDESA, cerca del lago Laja. En esa parte se han ensayado sistemáticamente numerosos métodos, muchos de ellos exitosos, cuyo estudio serviría para adoptar las medidas más convenientes de los derrumbes Hualqui N° 1 y N° 2.

Santiago, marzo de 1962

GEOLOGIA Y SUELOS DE UNA FAJA DE TERRENO EN RELACION CON LA CONSTRUCCION DE UNA AUTO- PISTA ENTRE CONCEPCION Y TALCAHUANO, PROVINCIA DE CONCEPCION

p o r

Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke

CONTENIDO

	Págs.
INTRODUCCION	56
Ubicación del área y propósitos del estudio	56
Relieve y drenaje	58
GEOLOGIA	59
Rocas graníticas descompuestas	59
Distribución	59
Morfología y drenaje	59
Litología	59
Contactos	59
Meteorización	60
Suelo	60
Rocas sedimentarias descompuestas	60
Distribución	60
Morfología y drenaje	60
Litología y espesor	60
Contactos	61
Meteorización	61
Características físicas	61
Suelo	62
Depósitos fluviales	62
Distribución	62
Morfología y drenaje	62
Litología, espesor y contactos	63
Características físicas	63
Depósitos eólicos	64
Depósitos de dunas de arena	64
Distribución	64
Morfología y drenaje	64
Litología y espesor	64
Características físicas	64
Depósitos de limo	65
Distribución	65
Morfología y drenaje	65

Litología	65
Características físicas	65
Depósitos de pantanos y de otras áreas mal drenadas	65
Distribución	65
Litología	65
Características físicas	66
Depósitos de aluvio y coluvio indiferenciados	66
Distribución	66
Litología	66
Depósitos de la planicie aluvial del río Andalién	66
Distribución	66
Morfología y drenaje	66
Litología y espesor	66
Características físicas	67
Depósitos de relleno artificial	67
CLASIFICACION DE SUELOS	67
MATERIALES DE CONSTRUCCION	69
TALUDES Y OTRAS EXCAVACIONES ASOCIADAS A LA CONSTRUCCION DE LA AUTOPISTA	70
CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DEL RIO ANDALIEN	73
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES	75
APENDICE	76

INTRODUCCIÓN.

UBICACIÓN DEL ÁREA Y PROPÓSITOS DEL ESTUDIO.

El propósito de este informe es describir, desde el punto de vista de la ingeniería, la geología y los suelos de una faja de terreno situada en las comunas de Concepción y Talcahuano, en la provincia de Concepción, en relación con el estudio seccional de una autopista. La faja de terreno donde se fundaría la autopista, de un largo de 6 Km, se extiende desde la Avenida Collao, en un punto a aproximadamente 4 Km al este, en línea recta desde la Plaza de Armas de Concepción; atraviesa el barrio Chillancito, bordea la subestación de la ENDESA, el barrio Nueva Pampa y la laguna Lo Méndez y termina empalmando con la nueva autopista de puente Perales al Cerro Chacabuco, en un punto situado a aproximadamente 3,5 Km al norte de la Plaza de Armas (Fig. 1).

La investigación se hizo por requerimiento del señor César Burotto, jefe del Departamento de Urbanismo y Vivienda en Concepción, dependiente del Ministerio de Obras Públicas. La información geológica y de suelos, recogida en la faja de terreno propuesta por el señor Burotto y por los urbanistas del USAID/Chile, señores Iván Alten y David Condon, puede

complementar el estudio seccional y eventualmente ayudar en la elaboración del proyecto final y en la construcción de la autopista. En la oficina del Departamento de Urbanismo y Vivienda en Concepción, los detalles del estudio seccional pueden consultarse en el plano "Autopista de Concepción a Talcahuano (tramo comprendido entre acceso a Concepción y aeropuerto Carriel Sur)", escala 1:5.000.

La autopista, según los autores del estudio seccional, permitiría un acceso más rápido a Concepción y especialmente a Talcahuano y otros puntos intermedios, atravesando un mínimo de sectores poblados. En la actualidad, el acceso a Concepción desde el oeste debe hacerse a través de la Avenida Collao, vía que por su ancho, por su densidad de población y por el incremento eventual del tránsito que creará el nuevo Estadio Deportivo, entre otras causas, no reúne las características de una vía de acceso moderna. El acceso a Talcahuano desde el este demanda atravesar la ciudad de Concepción por calles que sólo en ciertos tramos permiten un tránsito moderadamente rápido. Una autopista de primera clase aumentaría la seguridad en el tránsito y la rapidez del acceso.

El estudio seccional contempla una autopista de doble vía a lo largo de aproximadamente 6 Km, con un ancho entre 35 y 40 m y una franja de expropiación de 100 m. Los accesos laterales se proyectan por medio de dos hojas de trébol, una de ellas ubicada en las proximidades de la Escuela Industrial y la otra en el extremo noreste de la calle Irrarázabal. En esas partes y en los parques proyectados al noreste del barrio Nueva Pampa y al este de la laguna Lo Méndez, la franja de expropiación alcanza un ancho máximo de 500 m. La construcción de la autopista se realizaría en dos etapas. La primera contempla la construcción de la doble vía y la reserva del espacio de la franja de expropiación. La segunda etapa incluiría la construcción de las hojas de trébol, pasos elevados, parques y otras obras adicionales.

Según el proyecto, la autopista se extenderá a lo largo de 2,8 Km sobre la planicie aluvial del río Andalién. En esta parte, el estudio seccional propone construir la autopista sobre una plataforma artificial o terraplén con una altura y ubicación que permitan una canalización adecuada de las aguas del río Andalién. El río Andalién inunda su planicie aluvial (o de inundación) durante ciertos períodos invernales, en que se producen grandes precipitaciones sobre la Cordillera de la Costa. Las inundaciones han afectado repetidamente en el pasado a populosos sectores próximos a la Avenida Collao y del barrio Chillancito.

La base topográfica de las figuras 9 y 10 es el plano a escala 1:20.000, con curvas de nivel equidistantes 20 m, preparado por la Fuera Aérea de Chile. El relieve mostrado por la sección longitudinal (Fig. 9) se basa

en las curvas equidistantes 1 m de las hojas 1:2.000 de la OEA. El trabajo de terreno se llevó a cabo con las fotografías aéreas, escala 1:10.000, tomadas por la Aero Service Corporation en enero y febrero de 1961, para el Proyecto de Aerofotogrametría de la OEA.

En el texto se describen 9 unidades geológicas, desde la más antigua hasta la más moderna.

En la explicación del mapa de suelos se describen 8 unidades. El texto está acompañado de un mapa geológico con una sección longitudinal (Fig. 9)* y de un mapa con la clasificación de suelos basada en Casagrande (Fig. 10)*. La sección muestra la probable geología de la subsuperficie. Está basada en el mapa geológico, en dos perforaciones de alrededor de 30 m y en una de 10 m. El relieve se muestra en escalas vertical y horizontal muy diferentes (20 a 1). Los mapas no incluyen muchos detalles urbanísticos del estudio seccional para no interferir con la presentación de la geología y los suelos.

RELIEVE Y DRENAJE.

El relieve del área estudiada está caracterizado por tres unidades morfológicas, que se describen como: 1) planicie del Andalién; 2) cerros, y 3) áreas interserranas bajas.

1) La planicie del Andalién es una llanura que ocupa el fondo del valle del río homónimo. El valle está excavado hacia el noroeste entre laderas de pendientes moderadas, cubiertas por vegetación. La planicie tiene una superficie desprovista de accidentes topográficos mayores, en parte cultivada, de fácil acceso, sólo interrumpida por construcciones en algunos sectores, por afluentes del río (Nonguén), por cursos abandonados del río, anegados y con vegetación de pantanos, por lechos estacionales y por el lecho actual del Andalién. El lecho del Andalién, en el verano, tiene un cuerpo de agua de alrededor de 10 m de ancho, que corre entre barrancas de unos 2,50 m de altura y en partes entre riberas bajas. La pendiente del lecho desciende hacia el oeste a razón de aproximadamente 1 m vertical cada 300 m horizontales, ó 3,3 por 1.000 (al norte de la Escuela Industrial). Hacia el este y sobre todo hacia el oeste del sector que ocupará la autopista, la planicie se extiende por varios kilómetros, con parecidas características morfológicas. El ancho máximo de la planicie, en las proximidades de la zona estudiada, es de alrededor de 1,5 Km.

2) Los cerros, en las partes que cruzaría la autopista, tienen una altura relativa máxima de 42 m sobre las áreas circundantes (cerro de Lo

* Las figuras 9 y 10 van en el sobre de la tapa posterior.

Galindo). Los cerros La Pólvara (18 m de altura relativa) y de Lo Galindo, tienen formas alargadas aproximadamente hacia el noreste, con faldeos moderados, especialmente hacia el oeste, en gran parte cubiertos por vegetación. Los cerros de Nueva Pampa y Lo Méndez tienen 18 m y 14 m de altura relativa, respectivamente. Los faldeos de estos cerros, son muy suaves y en partes están cultivados.

3) Las áreas interserranas bajas, cruzadas por la faja de terreno, son pequeños valles interiores de superficie moderadamente llana y casi horizontal. En partes de la faja de terreno o muy próximas, las áreas interserranas pueden estar modificadas por dunas (al norte y al noroeste de la laguna Lo Méndez) u ocupadas por lagunas (Lo Galindo y Lo Méndez).

El drenaje es eficiente en los cerros. En la planicie del río Andalién el drenaje es eficiente, pero puede ser muy deficiente en ciertos períodos del invierno.

Las áreas interserranas bajas tienen drenaje deficiente en parte de su superficie. En esas partes se forman pantanos estacionales, por ejemplo al oeste de la subestación de la ENDESA. Las lagunas Lo Méndez y Lo Galindo son cuerpos de agua permanentes. La primera, descarga en la segunda y ésta en el río Andalién, por medio de canales artificiales.

GEOLOGÍA.

ROCAS GRANÍTICAS DESCOMPUESTAS.

Distribución. Las rocas graníticas descompuestas están distribuidas en el cerro La Pólvara y en los cerros de Lo Galindo.

Morfología y drenaje. Las áreas graníticas tienen una morfología de cerros suaves, de una altura relativa sobre el área circundante de 18 m en La Pólvara y 42 m en Lo Galindo.

El drenaje es muy eficiente, ya que la ubicación topográfica alta permite un escurrimiento superficial rápido de las aguas de lluvia.

Litología. Las rocas graníticas están compuestas por una asociación mineral totalmente cristalina, integrada principalmente por cuarzo, feldespatos y mica. Las rocas graníticas no descompuestas, que no se observan en la faja de terreno estudiada sino en otras localidades de la región de Concepción, son de color gris claro, de grano grueso, duras y tenaces.

Contactos. El granito descompuesto está cubierto, en los cerros La Pólvara y Lo Galindo, por capas de las rocas sedimentarias descompuestas. La superficie erosionada del granito, en contacto con esas capas, tiene una inclinación aproximada de 25° W.

El granito puede estar cubierto por mantos poco extensos de coluvio que no se indican en el mapa geológico como una unidad diferente.

Meteorización. En la faja de terreno estudiada, la descomposición del granito está muy avanzada y la roca puede excavarse fácilmente y en partes desintegrarse entre los dedos. En medio de la roca granítica meteorizada pueden observarse grandes trozos redondeados de granito menos descompuesto, de mayor tenacidad y con tendencia a exfoliarse esferoidalmente. El producto final de la desintegración del granito es el material conocido con el nombre de maicillo, formado por los cristales originales con diversos grados de alteración, según su composición mineralógica. En cortes naturales y artificiales de algunas partes de la región de Concepción, fuera de la faja de terreno, se ha observado que el manto de granito descompuesto tiene espesores muy variables. El espesor máximo observado es de 50 m. La transición entre el granito fresco y el descompuesto es gradual.

Suelo. Las rocas graníticas están cubiertas, en las partes poco inclinadas, por suelo castaño moderado, similar a los suelos de las rocas sedimentarias, compuesto principalmente por arcilla y limo. La muestra C-F8-N8 se recogió con un taladro de mano sobre el cerro La Pólvora, en los terrenos de la ENDESA, a 80 cm de profundidad. La humedad es de 26,4 por ciento; el límite líquido (LL) 43; el límite plástico (LP) 14,4 y el índice de plasticidad (IP) 28,6. En el cerro La Pólvora el suelo tiene un espesor de aproximadamente 2 m. Cuando seco, el material del suelo puede ser separado en fragmentos bastante duros de romper con los dedos (resistencia seca). Con humedad suficiente, son suelos de plasticidad mediana a moderadamente alta.

ROCAS SEDIMENTARIAS DESCOMPUESTAS.

Distribución. Las rocas sedimentarias descompuestas se distribuyen en el cerro La Pólvora, en el cerro de Nueva Pampa, en el cerro de Lo Galindo y en el cerro de Lo Méndez.

Morfología y drenaje. Las áreas con rocas sedimentarias descompuestas son serranías bajas, en partes alargadas y de formas suaves. En el cerro La Pólvora esas áreas tienen una altura de 18 m, en el cerro de Nueva Pampa 18 m, en el cerro de Lo Galindo 42 m y en el cerro Lo Méndez 14 m, sobre el área baja circundante. El drenaje es eficiente.

Litología y espesor. Las rocas sedimentarias descompuestas son principalmente: 1) areniscas finas a medianas, grises y amarillentas, que en las cercanías del contacto con el granito (cerros La Pólvora y Lo Galindo) tienen

una mayor proporción de rodados de cuarzo de 4 mm a 10 cm. En esas capas se observan animales invertebrados fósiles, que habitaron en un medio ambiente litoral marino, donde se sedimentó el material; 2) lutitas (rocas arcillosas y limosas de partículas muy finas) grises y amarillentas, tobas (cenizas consolidadas de origen volcánico) gris claras y areniscas arcillosas amarillentas.

Se intercalan mantos de carbón, en ciertas partes. Estos materiales se sedimentaron en ambiente terrestre. En algunas localidades, fuera de la faja de terreno, capas correlacionables contienen plantas fósiles.

Se estima que los afloramientos de las rocas sedimentarias en el cerro La Pólvara no exceden de 8 m, medidos verticalmente; en el cerro Nueva Pampa exceden los 15 m; en el cerro Lo Galindo tienen unos 10 m y en el cerro Lo Méndez exceden los 15 m.

Contactos. Las rocas sedimentarias están encima de las rocas graníticas en los cerros La Pólvara y Lo Galindo. En los cerros de Nueva Pampa y Lo Méndez se presume que están sobre rocas graníticas, a profundidades no determinadas, pero posiblemente de más de 15 m.

El contacto superior es gradual con depósitos de suelo (no indicados en el mapa geológico) y sin transición con depósitos fluviales, eólicos, de pantanos y de otras áreas mal drenadas, y aluvio y coluvio indiferenciados.

Meteorización. La descomposición de las rocas sedimentarias está avanzada en las localidades de la faja de terreno estudiada. El material descompuesto puede excavar fácilmente con herramientas livianas y, en ciertas partes, aun desmenuzarse entre los dedos. Las capas mejor conservadas son aquellas con menor contenido de materiales feldespáticos. Los materiales feldespáticos, al descomponerse, forman productos de tipo arcilloso, en general bastante plásticos con humedad suficiente. Las rocas sedimentarias descompuestas tienen en general un color amarillo rojizo característico. Se considera que los espesores verticales, estimados más arriba, abarcan en su totalidad rocas sedimentarias más o menos descompuestas. En un talud hecho 1 Km al noroeste de la laguna Lo Méndez, como parte de la nueva autopista entre puente Perales y el cerro Chacabuco, se observaron 15 m de rocas sedimentarias descompuestas. Se estima que en esa localidad y en general en las áreas de rocas sedimentarias descompuestas de la faja, el manto meteorizado puede tener aún mayor espesor vertical.

Características físicas. Las capas de esta unidad tienen estratificación bien definida. El tamaño de los clastos de las rocas es uniforme en las capas de arenisca y en las de lutitas. Sin embargo, en la parte inferior pueden observarse conglomerados marinos pobremente seleccionados. Hacia la parte superior de la secuencia, algunas capas terrestres se componen de mate-

riales más permeables y otras de materiales menos permeables, según su granulometría y otras características.

La muestra C-Ell-NI-B se obtuvo de capas equivalentes a las descritas, que afloran en los cerros de rocas sedimentarias descompuestas de los alrededores de la laguna Redonda, en el lado norte del camino de Concepción a Talcahuano. La humedad es de 25,5 por ciento, el LL es 35,7, el LP es 25,5 y el IP es 10,20. La muestra C-Ell-NI-C tiene una humedad de 28,4 por ciento, el LL es 41,2, el LP es 28,4 y el IP es 12,8.

Suelo. Las rocas sedimentarias están en gran parte cubiertas por un suelo castaño moderado, compuesto por arcilla limosa con escasa arena. La muestra C-F8-NII se obtuvo con taladro de mano en el cerro de Nueva Pampa, a 1 m de profundidad. La humedad es de 26,7 por ciento, el LL es 61, el LP es 29,2 y el IP es 31,8. El espesor del suelo no se determinó. El material puede separarse en fragmentos que cuando secos son muy duros de romper (resistencia seca). Con humedad suficiente el material tiene una plasticidad muy alta.

La muestra C-F8-N9 se obtuvo en la divisoria de aguas del cerro Lo Galindo, a 1 m de profundidad, en la barranca baja de paredes verticales que bordea a la senda principal. Se observa un suelo rojizo, arcilloso, de plasticidad mediana a alta, con maicillo disperso en el material. La humedad es de 11,7 por ciento, el LL 37, el LP 22,4 y el IP 14,6.

DEPÓSITOS FLUVIALES.

La denominación de depósitos fluviales, en la faja de terreno estudiada, incluye solamente las arenas gris oscuras sedimentadas en tiempos pleistocenos por el río Bío Bío. Los depósitos fluviales recientes del río Andalién se describen separadamente. El río Bío Bío formó un delta, construido principalmente por arenas limpias, que hoy se expone en gran parte sobre el nivel del mar.

Distribución. Los depósitos fluviales pueden observarse en las áreas interserranas bajas de la región de Concepción. En la faja estudiada a lo largo del valle del Andalién, están debajo de relleno artificial y de los depósitos aluviales recientes de la planicie de inundación (Fig. 9 y perforaciones N.os 1 y 3, en el apéndice).

Morfología y drenaje. Los depósitos fluviales forman una superficie más o menos llana y subhorizontal en los valles interserranos.

El drenaje de los depósitos fluviales es moderadamente eficiente en las cercanías de la ENDESA y en los campos cultivados de Lo Méndez. Donde

el drenaje es deficiente, hay algunas lagunas (Lo Galindo y Lo Méndez) o pantanos estacionales (200 m al noroeste de la ENDESA).

Litología, espesor y contactos. Los depósitos fluviales consisten en arena gris oscura, limpia de limo o arcilla, compuesta por granos finos a medianos de plagioclasa, cuarzo y minerales ferromagnesianos, con fragmentos subangulares y redondeados de lavas basálticas oscuras. La perforación N° 1 (ver apéndice) y otras perforaciones (no detalladas en este trabajo) han atravesado limos y arcillas, en partes fosilíferos, asociados a las arenas gris oscuras.

En las áreas interserranas bajas de la faja, los depósitos fluviales están mezclados con materiales coluviales, más finos (limo y arcilla), que provienen del "lavado" de las laderas, o con materiales transportados por el viento.

Los depósitos fluviales se apoyan sobre las rocas antiguas de la región, a profundidades variables. En las áreas interserranas bajas, el espesor máximo no se determinó, pero es probable que sea de unos 10 ó 15 m. En el valle del Andalién la perforación N° 1 (ver apéndice) atravesó los depósitos fluviales hasta los 30 m. La base de estos depósitos no pudo reconocerse. En la perforación N° 3 (ver apéndice) los depósitos fluviales están debajo de relleno artificial.

Los depósitos fluviales pueden estar cubiertos por depósitos superficiales (de pantanos y de otras áreas mal drenadas, de aluvio y coluvio indiferenciados y de la planicie aluvial del río Andalién). Los depósitos fluviales se observan frescos, sin indicaciones de descomposición.

Características físicas. La estratificación de las arenas fluviales no está bien definida y es muy cercana a la horizontal. Los planos entre capas pueden observarse poco definidos en cortes que han estado expuestos un cierto tiempo a la intemperie. Con excepción de capitas muy delgadas (1 mm más o menos) de limo gris claro, observadas en algunas partes, los cortes en arenas fluviales se presentan con gran uniformidad vertical y horizontal. Las arenas fluviales tienen baja compresibilidad y alta capacidad de soporte (Martínez Serrano, 1961), no son plásticas, no están cementadas y son permeables.

La muestra C-E9-N 3, del área de Lo Méndez, puede representar un suelo de depósitos fluviales con elementos más finos agregados secundariamente (menores de 62 micrones: limo y arcilla; entre 62 y 125 micrones: arena muy fina), incorporados por el transporte eólico del material más liviano de las dunas situadas al noroeste y del lavado de los cerros próximos. El 40 por ciento de los granos es arena fina. El coeficiente de uniformidad es:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2,3$$

donde D_{10} y D_{60} son los diámetros de los tamaños de grano correspondientes al 10 y 60 por ciento, respectivamente, en la curva acumulativa de tamaño de grano. El coeficiente de uniformidad indica un sedimento bien seleccionado (mal graduado). El material no tiene plasticidad. La muestra se tomó con taladro de mano a 1 m de profundidad y su humedad es de 35,4 por ciento.

DEPÓSITOS EÓLICOS.

Los depósitos eólicos incluyen las acumulaciones superficiales de materiales clásticos transportados y depositados por el viento. Por consideraciones sedimentológicas y morfológicas, los depósitos eólicos pueden dividirse en: 1) depósitos de dunas de arena, y 2) depósitos de limo.

DEPÓSITOS DE DUNAS DE ARENA.

Distribución. Los depósitos de dunas de arena se observan inmediatamente al norte y a unos 300 m al oeste de la laguna Lo Méndez.

Morfología y drenaje. Las dunas son montículos agrupados irregularmente, de una altura relativa máxima de unos 2 m, respecto del terreno circundante. Las dunas, al oeste de Lo Méndez, están estabilizadas debajo del bosques de pinos y semiestabilizadas bajo la cubierta de arbustos. La migración de las dunas, en ambas áreas, está impedida por cerros de rocas antiguas que las bordean por el este.

La buena permeabilidad de las arenas de las dunas permite la rápida percolación del agua de lluvia, hacia el interior del depósito.

Por lo tanto, el escurrimiento superficial es mínimo y sólo cuando las arenas superficiales están muy saturadas.

Litología y espesor. Las arenas de las dunas consisten en arena gris oscura, con escaso contenido de limo o arcilla, no cementada, sin plasticidad y permeable, constituida por granos finos a medianos de plagioclasa, cuarzo, minerales oscuros y basalto. El espesor máximo de las dunas es de aproximadamente 2 m. Las arenas de las dunas no presentan indicaciones de descomposición.

Características físicas. Las arenas de las dunas no están estratificadas en capas definidas. En los cortes, la arena presenta uniformidad vertical y horizontal.

La muestra C-E9-N2, de las dunas inmediatamente al norte de la laguna Lo Méndez, tiene un 76 por ciento de arena fina a mediana, con otros tamaños de grano muy subordinados. El coeficiente de uniformidad igual a 2,1, indica graduación muy pobre y excelente selección. La arena carece de plasticidad. La muestra se obtuvo con taladro de mano, a 1 m de profundidad y su humedad es de 7 por ciento.

DEPÓSITOS DE LIMO.

Distribución. Los depósitos de limo eólico se distribuyen en el cerro de Nueva Pampa, a sotavento de las áreas de dunas sobre las cuales se está construyendo la población de ese nombre.

Morfología y drenaje. Los depósitos de limo cubren probablemente como un manto, cuya superficie configuraría el relieve suavemente ondulado de las rocas sedimentarias sobre las cuales se apoyan. El drenaje de los depósitos de limo es eficiente.

Litología. Los depósitos de limo consisten en limo y arena muy fina, de color castaño amarillento oscuro, sin cemento entre las partículas y granos, de plasticidad muy baja, compuestos por clastos muy finos de cuarzo y minerales oscuros. El material puede definirse como loes. El espesor máximo de los depósitos no se determinó. El material se observa sin descomposición.

Características físicas. Los depósitos de limo no presentan estratificación. La muestra C-F8-N12, obtenida sobre el cerro Nueva Pampa, a 1 m de profundidad, es un suelo compuesto por aproximadamente 59 por ciento de limo y alrededor de 28 por ciento de arena muy fina. La humedad es de 12,8 por ciento, LL 30,2, LP 28,4 e IP 1,8. El coeficiente de uniformidad 4, indica una graduación pobre.

DEPÓSITOS DE PANTANOS Y DE OTRAS ÁREAS MAL DRENADAS.

Distribución. Estos depósitos se observan en algunos sectores de drenaje deficiente o impedido de las áreas interserranas bajas, entre la ENDESA y el cerro de Nueva Pampa y en la laguna permanente de Lo Galindo. El sector cercano a la ENDESA puede tener una superficie seca en verano, pero en invierno está anegado. Los dos sectores tienen vegetación acuática o freatófitos (vegetales asociados a la zona saturada por agua subterránea).

Litología. Los depósitos consisten en limo y arena, desde muy fina a gruesa, en partes con fragmentos de cuarzo hasta de 4 mm, de color castaño

amarillento desde mediano a oscuro, de plasticidad moderadamente baja y con material orgánico. El espesor máximo de estos depósitos no se determinó.

Características físicas. La muestra C-F8-N7, obtenida a 1 m de profundidad, en un punto situado a unos 200 m al oeste de la ENDESA, tiene 44 por ciento de humedad, LL 30,1; LP 28,8 e IP 1,3. El barro orgánico del fondo de la laguna Lo Galindo, tiene 85 por ciento de humedad, LL 36,2; LP 23,7 e IP 12,5.

DEPÓSITOS DE ALUVIO Y COLUVIO INDIFERENCIADOS.

Estos depósitos superficiales modernos se originan por procesos de erosión normal de las laderas. Los materiales resultantes son transportados intermitentemente hacia abajo por la fuerza de la gravedad, con movimiento entre lento a rápido. El aluvio considerado aquí, rellena las pequeñas quebradillas y el coluvio enmanta las laderas y el pie de los cerros. Estos materiales se indican en el mapa sólo donde se consideran importantes para los propósitos del informe.

Distribución. Los depósitos están ubicados en los faldeos orientales del cerro de Nueva Pampa y entre la laguna Lo Galindo y el cerro de Lo Galindo.

Litología. Los depósitos se componen principalmente de una mezcla de arena y limo con algo de arcilla. Al pie del cerro de Lo Galindo pueden estar intercalados fragmentos de granito, maicillo y restos de troncos y raíces.

Los espesores máximos no han sido determinados. Sin embargo, se estima que el espesor en los faldeos a 200 m al oeste de la ENDESA puede ser del orden de 3 m y al oeste de la laguna Lo Galindo, del orden de los 5 m.

DEPÓSITOS DE LA PLANICIE ALUVIAL DEL RÍO ANDALIÉN.

Distribución. Los depósitos ocupan la planicie del valle del río Andalién.

Morfología y drenaje. Los depósitos cubren una llanura baja y llana. El drenaje es eficiente durante la mayor parte del año. Durante ciertos períodos del invierno, los depósitos de la planicie aluvial pueden estar cubiertos por agua proveniente de los desbordes del lecho permanente del río Andalién.

Litología y espesor. Los depósitos consisten en limo con arena fina y arcilla.

lla, de color castaño amarillento moderado, fácilmente removible con el martillo, con plasticidad mediana a baja, según las localidades. Está compuesto por granos en su mayor parte provenientes de rocas graníticas (cuarzo, feldespatos y mica muy abundante). En el lecho actual del río puede observarse gravilla angular y subangular. Entre las capas de arena castaña amarillenta pueden intercalarse capas de unos 5 cm de espesor, compuestas por arenas limpias, gris oscuras.

El espesor de los depósitos de la planicie aluvial probablemente no excede de 3 m. Estos depósitos se apoyan (ver apéndice y figura 9) sobre los depósitos fluviales (perforación N° 1) y en partes sobre granito (perforación N° 2).

Características físicas. Los depósitos de arena castaño amarillenta se observan con estratificación definida en capas de 1 a 10 cm de espesor, en paredones en posición aproximadamente vertical, de unos 2,50 m de altura. Las arenas de estos depósitos están poco seleccionadas y contienen mucho limo y arcilla. La muestra C-H11-N3, obtenida a 1 m de profundidad, en un punto de la barranca del lecho actual del río, tiene 20 por ciento de humedad, LL 45, LP 27,6 e IP 17,4. La muestra C-H11-N4, tomada a 90 cm de profundidad sobre la barranca, en otra localidad, tiene 22 por ciento de humedad, LL 45, LP 33 e IP 12.

DEPÓSITOS DE RELLENO ARTIFICIAL.

El relleno artificial cubre algunas áreas de la planicie del Andalién, especialmente en el barrio Chillancito, entre las cercanías del lecho del río y el cerro La Pólvora (ver perforación N° 3 en el apéndice y figura 9). El relleno artificial se hizo con el propósito de dar mayor altura a las áreas urbanas y a sitios del Ejército, para ponerlos a cubierto de las inundaciones normales del río Andalién. El espesor se estima en 2 m como máximo. El relleno consiste mayormente en escombros, basura y arena.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS.

La figura 10 es un mapa que muestra la distribución de los suelos de la faja de terreno. Los suelos se han dividido en unidades que agrupan materiales con características comunes. Las características del suelo que se toman en consideración, para proceder a la clasificación, son las propuestas por el Bureau of Reclamation (Abdun-Nur, 1950; Bureau of Reclamation, 1960). El sistema de clasificación, basado en las investigaciones de Casagrande (1942), toma en consideración las propiedades de los suelos, desde el punto de vista de la Ingeniería y se apoya en el reconocimiento

del tipo y predominio de los elementos constituyentes, como también en el tamaño de grano, graduación de tamaños, plasticidad y compresibilidad. El sistema divide los suelos en tres grandes grupos: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos muy orgánicos o turbosos. En el terreno, la identificación se hace por examen visual de los granos gruesos y por algunos ensayos simples a mano de los suelos de partículas finas o de la fracción fina. En el laboratorio, se usan la curva granulométrica y los límites de Atterberg. La curva granulométrica o acumulativa es un método gráfico de representar los resultados del análisis mecánico, que consiste en marcar, en un sistema de coordenadas cartesianas, los grados de tamaño o escala granulométrica sobre el eje de las abscisas y en el de las ordenadas el porcentaje total (acumulativo) en peso del material mayor (o menor) que un diámetro dado, uniéndose luego los puntos así obtenidos con una curva. Esta curva suele construirse en escala semilogarítmica.

Los límites de Atterberg describen el contenido de agua como tres puntos precisos en la transición entre cuatro estados de consistencia del suelo: líquido, plástico, semisólido y sólido. Los contenidos de agua, determinados por procedimientos de desecamiento al horno, se llaman límite líquido, límite plástico y límite de contracción. El límite líquido (LL) se define como el porcentaje obtenido de la razón entre el peso de agua y el peso de la muestra seca, en el estado en que el suelo comienza a mostrar una pequeña pero definida resistencia tangencial luego de una serie de golpes.

Al reducirse el contenido de agua, debajo del LL, la masa no se escurre como un líquido y tiene plasticidad. El límite plástico (LP) se define como el porcentaje obtenido de la razón entre el peso de agua y el peso de la muestra seca, en el estado en que la masa deja de ser plástica y se hace quebradiza.

El índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre los límites líquido y plástico ($LL - LP = IP$) y representa la variación de humedad, dentro de cuyos límites el suelo es plástico. Los limos tienen bajos índices de plasticidad, en tanto que las arcillas tienen índices más altos. El índice de plasticidad, en combinación con el límite líquido, indica la sensibilidad de un suelo a los cambios de humedad.

Debajo del límite plástico, el suelo se hace semisólido, es decir, puede ser deformado, pero se requiere una fuerza considerable y el suelo se quiebra. Si el suelo pierde más humedad, alcanza el estado sólido, en el cual la contracción termina. El contenido de agua necesario para llenar los espacios en la masa de suelo, en esta condición, se llama límite de contracción (LC). Los valores del límite de contracción, junto con otros valores de índices, son útiles para identificar los suelos expansivos.

En la explicación adjunta al mapa de suelos (Fig. 10) se describen las características fundamentales de las unidades reconocidas y se acompaña el símbolo del grupo, basados en Casagrande (Abdun-Nur, 1950; Bureau of Reclamation, 1960).

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Entre los materiales que se utilizarán en la construcción de la autopista hay algunos que pueden extraerse de las unidades geológicas reconocidas, en localidades de la faja de terreno u obtenerse en las canteras comerciales de la región. La ubicación de algunos materiales en o próximos a la faja de terreno permitirá reducir los costos. Los datos proporcionados por el señor Homero Van Camps, que se incluyen en este capítulo, posibilitan una mejor selección de los materiales a adquirirse en las canteras comerciales.

Los materiales naturales que pueden considerarse en este informe son: 1) la piedra en fragmentos grandes, 2) los materiales arcillosos ligantes, 3) el agregado para el concreto, y 4) las arenas.

1) La piedra en fragmentos grandes dispuesta sobre un talud para defenderlo de la erosión, se conoce con el nombre de mampostería de piedra en seco o piedra botada y corresponde al término *riprap* de la literatura inglesa. *Riprap* es un manto relativamente fino de fragmentos de roca especialmente seleccionados y clasificados según tamaño. El manto tiene el propósito de proteger taludes de tierra de la erosión producida por el agua corriente y las olas. El *riprap* generalmente no se compacta sino que se bota o coloca para obtener una mayor resistencia al corte, que proviene de la trabazón de los fragmentos angulosos. Este material puede obtenerse de las canteras comerciales de la región, que explotan rocas graníticas. Es recomendable utilizar trozos de granito fresco. Sin embargo, se ha observado en la región, que los fragmentos de granito algo descompuesto (de color gris amarillento) pero con gran dureza y tenacidad, pueden ser utilizados. Es muy probable que al excavar los cerros La Pólvora y de Lo Galindo puedan obtenerse muchos fragmentos de granito algo descompuesto. Una cuidadosa selección de los más duros, densos y durables, puede reducir los costos del *riprap*.

2) Los materiales arcillosos ligantes deberían utilizarse para mejorar las cualidades mecánicas de algunas arenas, sobre todo las depositadas por el viento. Estas arenas, por su tamaño de grano y falta de cohesión, tienen tendencia a ser fácilmente erosionadas por el viento, a ser rápidamente arrastradas por las aguas torrenciales con la formación de zanjas en las partes inclinadas y a deslizarse lateralmente. Arenas eólicas de un tipo

similar al de la faja de terreno, suelen mezclarse con un 10 por ciento de arcilla. Sin embargo, las proporciones en que debería mezclarse la arena con el material arcilloso, pueden ser determinadas en el IDIEM, de la Universidad de Chile. Asimismo, puede utilizarse una mezcla adecuada de arcilla y arena, como sub-base del camino en las partes en que se construya sobre áreas de arena y limo.

Los terrenos situados inmediatamente al sur de la laguna de Lo Galindo son los que contienen una mayor proporción de material arcilloso. Pueden explotarse otros puntos próximos a la faja de terreno, para localizar otras fuentes de estos materiales. En general, los suelos castaño rojizos, de fragmentos duros cuando secos y plásticos cuando húmedos, que cubren las rocas sedimentarias de la región, ofrecen las mejores posibilidades para explotarlas.

3) El agregado para el concreto no podrá obtenerse de las excavaciones a realizarse en la faja de terreno. Las canteras comerciales pueden proveer de agregado de excelente calidad siempre que se componga de roca granítica fresca. Se recomienda no utilizar fragmentos de roca granítica descompuesta. La roca intrusiva gris oscura, de grano muy fino, que atraviesa el granito en algunas partes, no tiene calidad constante y no se recomienda.

4) Las arenas regionales que han dado mejor resultado son las que se explotan en el lecho del río Bío Bío. Arenas muy similares son las que se explotan en la cantera del cerro Verde, en el camino de Concepción a Talcahuano. Estas arenas son uniformes, de grano "duro" y están limpias de limo o arcilla.

Las arenas del río Andalién, por otra parte, son "blandas" y están mezcladas con una gran proporción de limo y arcilla. Esto puede ser indeseable para ciertos usos. El señor Van Camps comunicó que una mezcla de un 30 a 50 por ciento de arena del lecho del río Andalién, con arena del lecho del río Bío Bío, ha dado buenos resultados.

TALUDES Y OTRAS EXCAVACIONES ASOCIADAS A LA CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOPISTA.

La construcción de la moderna autopista requerirá la excavación de una parte de los cerros ubicados en el trazado propuesto. En esas partes, la autopista estará bordeada por taludes o cortes artificiales que deben proyectarse de acuerdo a la resistencia al corte o resistencia interna, ofrecida por los materiales naturales, a la fuerza tendiente a provocar deslizamientos. La resistencia al corte está en relación con la naturaleza de los materiales del terreno y con la inclinación de las capas, entre otros factores.

En ninguna parte las excavaciones se harán en roca fresca. Es muy probable que el movimiento de material no requerirá el uso de explosivos, tal vez con excepción de una o dos capas de arenisca tenaz sobre el contacto con el granito. En los últimos meses, al excavar el cerro Chacabuco, para proseguir el tramo de puente Perales a la calle Paicaví, se usaron explosivos para remover una tenaz arenisca verdosa. La constitución geológica de ese cerro es muy similar a la de los cerros La Pólvara y de Lo Galindo.

El material a excavar estará inconsolidado o semiconsolidado y podrá ser removido, seguramente en su mayor parte, con equipos comunes de excavación. Los taludes pondrán al descubierto un manto superior de suelo residual castaño rojizo. El suelo residual tiene una particular tendencia a deslizarse lateralmente, en parte porque sobreyace a capas de arenisca y arcilla de muy diferente permeabilidad y a granito con un alto contenido de mica. Este tipo de suelo se erosiona fácilmente y se desmorona cuando se satura de agua.

Debajo del suelo se excavarán rocas sedimentarias descompuestas y granito descompuesto, que tienen poca resistencia al corte y tendencia a deslizarse.

A continuación se describirán brevemente algunos taludes en los cuales se observaron, según los casos, dos o tres de las unidades geológicas que habrán de excavar en el trazado de la autopista. Algunos de estos taludes presentan derrumbes y otros no. Su conocimiento puede ayudar a un mejor cálculo de las pendientes de los taludes de la autopista.

1) A unos 100 m al este del término del puente sobre el Andalién, hay un talud que bordea el camino de Concepción a Penco. El talud tiene una altura vertical de aproximadamente 15 m y fue excavado en un manto de suelo residual de unos 2 m de espesor, parcialmente cubierto por vegetación, y en roca granítica muy descompuesta. La roca granítica de la base ha sido excavada hace poco tiempo, probablemente para obtener maicillo. La escarpa trasera está en la parte más alta del talud y tiene entre 70 y 90° de inclinación. Los materiales deslizados desde la escarpa son suelo y granito descompuesto, que forman los escombros de la base. La superficie de los escombros tiene unos 32° de inclinación y está parcialmente cubierta por vegetación. La delantera de los escombros está excavada en partes. Las excavaciones incontroladas al pie de esta zona derrumbada deberían prohibirse, porque aceleran y aumentan la peligrosidad de los deslizamientos. Este es un derrumbe activo y casi todos los inviernos se desliza, obstruyendo total o parcialmente el camino. La antigüedad de este talud es de 8 años como mínimo.

2) Unos 200 m al este del límite oriental de la zona urbana de Con-

cepción, en el camino de Concepción a Chiguayante, se observa un talud de aproximadamente 12 m de altura, excavado en granito de grano grueso, regularmente descompuesto. En la parte inferior, entre la masa de granito regularmente descompuesto, se destacan bolones de 0,50 m de diámetro de granito más fresco. El talud tiene unos 45° y no presenta evidencias de derrumbes. La antigüedad de este talud es de por lo menos 15 años.

3) A 1,6 Km al norte del puente sobre el Andalién, hay un talud de unos 8 m de altura vertical, excavado en unos 2 m de suelo y en rocas sedimentarias. La pendiente del talud es de 66°. Las rocas sedimentarias son areniscas finas, gris oscuras, descompuestas pero bastante consolidadas, en capas aproximadamente horizontales, con algunas concreciones duras. El talud tiene una antigüedad de aproximadamente 19 años y no presenta evidencias de derrumbes. Este tipo de arenisca fina, gris oscura y con concreciones, se excavará en los cerros La Pólvara y de Lo Galindo.

4) En las inmediaciones de puente Perales, en el costado sur del camino de Concepción a Talcahuano, se observa un talud de unos 45° de inclinación y de unos 20 m de altura vertical. Está excavado en un manto superior de suelo residual, de aproximadamente 4 m de espesor y en rocas sedimentarias similares a las descritas en el talud del camino de Concepción a Penco (talud 3). Las capas están inclinadas unos 15° hacia el interior del cerro. El talud tiene aproximadamente 24 años de antigüedad y está bien conservado. Sin embargo, en el mes de abril de 1962 se observaron rocas recientemente desprendidas, a un costado del camino.

5) A un costado de la vía del ferrocarril que pasa por las cercanías del antiguo basural del barrio La Pólvara, a unos 200 m al oeste del crematorio, hay un talud de unos 15 m de altura vertical y de unos 35° de inclinación, que está excavado en rocas sedimentarias muy descompuestas. Las capas sedimentarias están inclinadas unos 25° hacia el interior del cerro. En la parte superior se observa el manto de suelo de 50 cm de espesor. Este talud tiene una antigüedad de 50 años y a pesar del estado avanzado de descomposición de las rocas sedimentarias, no presenta derrumbes mayores. Solamente el manto superficial de coluvio, que cubre parcialmente el talud, aparece deslizado en algunos sectores.

6) La calle del crematorio atraviesa el cerro La Pólvara en sentido este-oeste, bordeada por taludes a ambos lados. El talud oriental tiene una altura vertical de unos 8 m, una inclinación entre 75° y 90° y en un punto está excavado en suelo de 1 m de espesor, en rocas sedimentarias (areniscas finas, gris oscuras, con concreciones) de 5 m de espesor y en granito descompuesto (unos 2 m, medidos verticalmente). Los espesores de las rocas sedimentarias y la altura de los cortes en granito son mayores hacia el este y menores (hasta cero) hacia el oeste, a lo largo de la calle, debido

a que las capas están inclinadas unos 25° W. No se ha podido reunir información acerca de la antigüedad del talud. El talud está bien conservado en partes. En un sector situado en el interior de los terrenos de la ENDESA, hay una parte derrumbada. Este talud es muy ilustrativo porque la autopista pasará a unos 200 m hacia el noreste de este punto y la excavación se hará en rocas muy parecidas a las descritas, principalmente en granito descompuesto.

Además de los taludes a excavarse en los cerros, el trazado de la autopista demandará otras excavaciones. A unos 500 m al norte de la Escuela Industrial, el estudio seccional contempla la desviación del curso de un meandro del río Andalién. La desviación, si bien aprovecharía parte de un lecho abandonado por el río, implicaría la excavación de materiales de la planicie aluvial. Casi seguramente las excavaciones a lo largo del lecho abandonado no interceptarán rocas duras sino materiales moderadamente blandos, que podrán removerse con equipo convencional.

A unos 200 m al oeste de la subestación de la ENDESA hay un área con drenaje deficiente, sobre la cual sería indeseable fundar el camino. Es probable que se deba excavar el material superficial hasta llegar a la arena gris oscura, de baja compresibilidad y limpia de limo y arcilla, que le sirve de base. El material podrá removerse con equipo convencional.

La autopista deberá cruzar la laguna Lo Galindo. En el fondo hay un barro limo-arenoso con material orgánico, de espesor no determinado. Una de las soluciones propuestas en las recomendaciones, al final del texto, demandaría excavar el material barroso, de ser posible, para asentar el relleno de la autopista sobre las arenas grises oscuras y limpias de limo y arcilla, que están debajo. La naturaleza parcialmente orgánica del material sugiere una compresibilidad alta. Si el relleno se apoya directamente sobre el fondo de la laguna, su peso puede producir hundimientos diferenciales y el deterioro de la autopista. El material podrá ser excavado con equipo convencional.

CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DEL RÍO ANDALIÉN.

El río Andalién nace en la Cordillera de la Costa y desemboca en las cercanías de Penco. Su hoya hidrográfica ocupa unas 60.000 Hás y los afluentes principales son el Poñén y el Curapalihue, con hoyas hidrográficas de 20.000 Hás cada uno. Los dos afluentes en conjunto, según el Ing. Carlos Guzmán, proporcionan el 80 por ciento del caudal del Andalién. La alimentación del Andalién es pluvial y, por lo tanto, el caudal es muy variable. En el verano el caudal es de unos 10 m^3 por segundo; en las crecidas frecuentes del invierno es de 300 m^3 por segundo; en las creci-

das cada 5 años es de 700 m^3 por segundo y en las crecidas de aproximadamente cada 30 años es superior a 1.500 m^3 por segundo.

Debido a la moderada hasta muy pequeña pendiente del curso entre Agua de la Gloria y la desembocadura, los caudales superiores a 300 m^3 por segundo provocan inundaciones. Los caudales de aproximadamente 1.500 m^3 por segundo elevan el nivel de las aguas hasta cubrir la calzada de la Avenida Collao y orillar la base de los cerros ubicados al sur de la avenida. La altura de la calzada de la avenida, sobre el lecho del Andalién, en las proximidades de la Escuela Industrial, es de unos 5 m. Durante las crecidas la velocidad máxima de la corriente es de unos 2 m por segundo. Las crecidas máximas duran de 4 a 5 días, debido a que sobre la hoya hidrográfica caen lluvias de hasta 140 mm en 24 horas, dentro de un período de 3 a 4 días. La precipitación acumulativa puede sobrepasar los 400 mm.

Según el señor Carlos Guzmán, la gran variación del caudal haría necesario canalizar el río desde Concepción hasta la desembocadura. La canalización, para que sea efectiva, debería permitir la descarga de un caudal constante, que Guzmán estima entre 50 y 100 m^3 por segundo. De esta manera los eventuales depósitos que puedan producirse serían permanentemente arrastrados por el agua. Para conseguir un caudal constante, Guzmán propone la construcción de un embalse regulador con capacidad de 60 millones de m^3 , en cada uno de los dos afluentes principales. La canalización del río, Guzmán la estima de un ancho de 50 m.

CONCLUSIONES.

- 1) En la faja de terreno estudiada en relación con la construcción de una autopista, no hay problemas geológicos mayores.
- 2) El caudal del río Andalién es extraordinariamente variable debido a una alimentación pluvial muy irregular. El caudal mínimo es de 10 m^3 por segundo, en verano, y el máximo conocido es superior a 1.500 m^3 por segundo, en las inundaciones invernales extraordinarias de los últimos decenios.
- 3) Los taludes o cortes artificiales, asociados a la autopista, deberán construirse en cerros formados por rocas graníticas descompuestas, rocas sedimentarias descompuestas y suelo. Estos materiales tienen tendencia a deslizarse lateralmente y a erosionarse con las aguas torrenciales.
- 4) Los depósitos de pantanos y de otras áreas mal drenadas tienen una composición parcialmente orgánica que sugiere alta compresibilidad.
- 5) Las arenas eólicas son materiales sin cohesión con tendencia a ser fácil-

mente erosionadas por el viento y el agua torrencial, y a deslizarse lateralmente.

- 6) Las arenas fluviales son materiales de baja compresibilidad y alta capacidad de soporte.
- 7) El relleno artificial se compone de materiales no compactados constituidos por escombros de edificios, arena y basuras.

RECOMENDACIONES.

- 1) El terraplén, que se construiría en la planicie del río Andalién, debería tener una altura calculada de acuerdo a las máximas alturas de las aguas en las inundaciones excepcionales. En estos casos la altura máxima conocida sobre el lecho del río es de unos 6 m. En caso de regularse el caudal del río Andalién mediante embalses, el ancho mínimo del canal debería tener 50 m y la altura del terraplén unos 5 m.
- 2) El talud del lado norte del terraplén, sobre la planicie del Andalién, debería ser cubierto por un manto de fragmentos (*riprap*) de granito fresco, de un tamaño mínimo de 20 cm de diámetro, considerando que la máxima velocidad registrada del agua durante las inundaciones es de unos 2 m por segundo. El manto de rocas evitará la erosión de los materiales finos del terraplén durante las inundaciones.
- 3) El relleno de la autopista, independientemente de los materiales que se utilicen o de la unidad geológica de donde se lo obtenga, debe compactarse en capas, a su máxima densidad en condiciones óptimas de humedad, para una máxima estabilidad.
- 4) Los taludes o cortes artificiales en los cerros deberían tener un máximo de 45° de inclinación (1:1) y aun menos en las partes francamente inestables. Medidas preventivas adicionales de derrumbes podrían contemplar la remoción parcial de los inestables mantos de suelo y la excavación de escalones sobre los taludes, cada 5 ó 7 m de altura.
- 5) Debería darse especial consideración a las áreas pantanosas y otras pobremente drenadas, sobre todo a la laguna Lo Galindo, para prevenir el hundimiento de los terraplenes debido a la alta compresibilidad de depósitos con apreciable cantidad de material orgánico. Las cualidades indeseables de este material sugieren a los autores algunas soluciones, acerca de las cuales habrán de decidir los ingenieros a cargo del proyecto final, a saber: a) la construcción de un puente; b) la fundación del camino sobre pilotes clavados hasta el punto de rechazo, y c) la eliminación de los depósitos del fondo de la laguna hasta interceptar las arenas gris oscuras de baja compresibilidad, a lo largo del trazado de la autopista y su reemplazo por un relleno de grandes fragmentos de roca fresca.

- 6) Se recomienda fijar las dunas con especies vegetales de raíces largas y de fácil adaptabilidad. Asimismo, deberían mejorarse las cualidades mecánicas de las arenas y limos, en las áreas debajo de o asociadas a la autopista, con una mezcla adecuada de arcilla. Con estas medidas preventivas se eliminará o reducirá la erosión del viento y del agua torrencial y los deslizamientos laterales, en los materiales con poca o ninguna cohesión.
- 7) Se recomienda no fundar la autopista directamente sobre el relleno artificial de Chillancito y otras partes. El relleno artificial no compactado es un mal material de fundación que debe ser reemplazado por relleno apropiadamente compactado o por grandes fragmentos de roca fresca.

APÉNDICE.

PERFORACION Nº 1.

Fecha perforación	:	30 de enero de 1962.
Ubicación	:	20 m al noreste del Estadio Atlético, al nivel del río Andalién.
Profundidad total	:	30 m.
Profundidad nivel freático	:	surgente.

PERFIL:

Intervalo en metros	Descripción del material	Unidad geológica
0,00 a 8	Arcilla limosa, gris oscura, con escasa arena fina, micácea; plástica.	Depósitos fluviales (?)
8 a 27,5 ±	Arena, gris oscura, mediana a muy gruesa y cuarzo muy abundante; granos oscuros, escoria y mica abundantes. Invertebrados fósiles y capitas de arcilla en varios niveles. Madera carbonizada a los 24,3 m.	Depósitos fluviales
27,5 ± a 30	Arena, con arcilla limosa, fina, granos verdes (¿glauconita?) y bastantes de cuarzo; moderadamente plástica; fósiles.	

Observaciones: 8 a 27,5 m: agua muy abundante en la parte superior de esta sección. 10 m más duro.

A 5 m hacia el sur del sitio perforado se observa una barranca de 1,7 m de alto, compuesta por capas de limo micáceo castaño amarillento de los depósitos de la planicie aluvial del río Andalién.

PERFORACION N° 2.

Fecha perforación	: 30 de enero de 1962.
Ubicación	: extremo noreste, calle Irarrázabal, sobre ribera sur del río Andalién.
Profundidad total	: 30,5 m.
Profundidad nivel freático	: no pudo medirse; húmedo desde 1,83 m de profundidad.

PERFIL:

Intervalo en metros	Descripción del material	Unidad geológica
0,00 a 2,7	Limo con arena fina, castaño moderado (seco), muy micáceo; parece ser granito descompuesto transportado.	Depósitos de la planicie aluvial del río Andalién.
2,7 a 4	Granito, gris, grano fino; descompuesto, <i>in situ</i> .	Rocas graníticas.
4 a 30,5	Granito, grano grueso; principalmente granos de cuarzo; descompuesto, <i>in situ</i> .	

Observaciones: La máquina perforó con facilidad, salvo a los 18,3 m, donde el granito está algo más duro.

PERFORACION N° 3.

Fecha perforación	: 9 de febrero de 1962.
Ubicación	: intersección de calles Andalién y Santa Clara.
Profundidad total	: 10 m.
Profundidad nivel freático	: 3,05 m.

PERFIL:

Intervalo en metros	Descripción del material	Unidad geológica
0,00 a 0,6 ±	Escombros y arena.	Relleno artificial.
0,6 ± a 10	Arena, gris oscura, fina a mediana, con algo de limo; capitas finas de arcilla.	Depósitos fluviales.

Santiago, junio de 1962.

REFERENCIAS.

- ABDUN-NUR, E. A., 1950. *A Standard Classification of Soils as Proposed by the Bureau of Reclamation, in Symposium on the Identification and Classification of Soils*. American Society for Testing Materials, Special Technical Publication N° 113, Filadelfia, EE. UU. de A.
- BRÜGGEN M., J., 1950. *Fundamentos de la geología de Chile*. Santiago, Instituto Geográfico Militar.
- BUREAU OF RECLAMATION, 1960. *Earth Manual*. Washington, Government Printing Office, EE. UU. de A.
- CASAGRANDE, A., 1942. Clasificación de suelos in Proc. Highway Research Board, vol. 22, p. 154-173, EE. UU. de A. (reimpresión de los capítulos xx y xxi del *Engineering Manual*, War Department, EE. UU. de A.).
- DARWIN, CH., (1839), 1952. *Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Various Countries Visited by H. M. S. Beagle*. New York, Hafner Publishing Co., EE. UU. de A.
- DEPARTAMENTO DE NAVEGACIÓN E HIDROGRAFÍA DE LA ARMADA, 1961. *El maremoto del 22 de mayo de 1960 en las costas de Chile*. Publicación N° 3.012, Valparaíso.
- DOBROVOLNY, E.; LEMKE, R.; BOWES, W.; THOMAS, H. y BRAVO, N., 1960. *Relación entre la geología y el daño producido por el terremoto del 22 de mayo de 1960, en Puerto Montt, Chile* (informe preliminar). Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- DOBROVOLNY, E. y LEMKE, R. W., 1961. *Engineering Geology and the Chilean Earthquakes of 1960*. U. S. Geological Survey, Prof. Paper 424-C, short paper 276, Washington, EE. UU. de A.
- DOYEL, W. W.; MORAGA B., A. y FALCÓN M., E., 1960. *Relaciones entre la geología de Valdivia (Chile) y los daños causados por los terremotos del 22 de mayo de 1960* (informe preliminar). Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- DUKE, C. M., 1960. *The Chilean Earthquakes of May 1960*. Science, vol. 132, N° 3.442, p. 1797-1802, EE. UU. de A.
- GALLI O., C. y SÁNCHEZ R., J., 1960a. *La geología y los efectos de los terremotos de mayo de 1960 en Concepción y alrededores* (informe preliminar). Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- 1960b. *Relación entre la geología y los efectos de los terremotos de mayo de 1960, en la ciudad de Ancud y alrededores, Chiloé* (informe preliminar). Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- 1960c. *Relación entre la geología y los efectos de los terremotos de mayo de 1960, en la ciudad de Castro y alrededores, Chiloé* (informe preliminar). Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- HARRINGTON, H. J., 1944. *Volcanes y terremotos*. Buenos Aires, Editorial Pleamar, Argentina.

- HOOPER, L. y MEADE, W., 1961. *Soils and Geological Study. Proposed Harbor Facility, Bay of San Vicente, San Vicente, Chile*. Meissner Engineers, Inc., Chicago, EE. UU. de A.
- HORIKAWA, K., sin fecha. *Final Report to the Compañía de Acero del Pacifico*. Universidad de Tokio, Departamento de Ingeniería Civil, Tokio, Japón.
- JORDAN, J. N., 1961. *Some Aspects of the Chilean Earthquakes of 1960*. Geotimes, vol. V, Nº 5, Washington, EE. UU. de A.
- LEGGET, R. F., 1939. *Geology and Engineering*. New York, McGraw-Hill, EE. UU. de A.
- LEMKE, R. W. y GALLI, C., 1961. *Preliminary Engineering Geology Report on Proposed Port and Harbor Site at San Vicente, Concepción area*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.
- MARTÍNEZ S., F., 1961. *Informe previo sobre el subsuelo de la ciudad de Concepción* (inédito). Santiago.
- RUIZ F., C. y SAINT-AMAND, P., 1961. *Observations Concerning the Chilean Earthquakes of May 1960*. Reimpresión del informe del Congreso Geológico Internacional, Sesión XXI, Norden, 1960, Parte XXVI, p. 1-21, Copenhague, Dinamarca.
- SAINT-AMAND, P., 1961. *Observaciones e interpretación de los terremotos chilenos de 1960*. Comunicaciones de la Escuela de Geología, Año 1, Nº 2, Fac. de Ciencias Físicas y Matemáticas, Univ. de Chile, Santiago.
- SCHOTT, W., 1960. *Informe geológico sobre los terremotos de mayo de 1960 en Chile central*, in Comisión de Asesoramiento Alemana para la Reconstrucción de la zona asolada por los terremotos en Chile central, *Informe sobre los resultados de las investigaciones hechas por la comisión de expertos alemanes enviada a Chile después del terremoto de 1960*. Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover, Alemania Federal.
- SEGERSTROM, K., 1960. *Eruption of Water, Sand, and Clay Resulting from the Earthquake of May 21, 1960, near Concepción, Chile* (resumen). Geol. Soc. America Bull., vol. 71, Nº 12, parte 2, p. 1972, EE. UU. de A.
- WATANABE, T. y KARZULOVIC K., J., 1960. *Los movimientos sísmicos del mes de mayo de 1960 en Chile* in Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Instituto de Geología, vol. 17, publicación Nº 14, Santiago.
- WEISCHET, W., 1960. *Contribuciones al estudio de las transformaciones geográficas en la parte septentrional del sur de Chile por efecto del sismo del 22 de mayo de 1960* in Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Instituto de Geología, vol. 17, Publicación Nº 15, Santiago.

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

(de la tapa 2)

BOLETINES

- Nº 11. Contribución de la Corporación de Fomento al Desarrollo de Agua Subterránea en Chile. Jaime Donoso R. y Robert J. Dingman. 1962. 43 pp. 2 grabados. E° 2,00.
- Nº 12. Edades Radiométricas y Petrografía de Granitos Chilenos. Muestras Chile 13 a Chile 36. Beatriz Levi, Sonia Mechech y Fernando Munizaga, 1963. 42 pp., 5 grabados. E° 2,00.
- Nº 13. Investigaciones de geología aplicada a la Ingeniería. Provincia de Concepción. Carlos Galli Olivier y Richard W. Lemke. 1963. 82 pp., 10 grabados. E° 3,50.

MANUALES

- Nº 1. Fósiles Guías Chilenos (Titoniano-Neocomiano). José Corvalán D. y Ernesto Pérez D. 1958. 48 pp., 16 láminas. E° 0,65.

APARTADOS

(Tirada reducida)

1956

Galli O., C.*

Nota sobre el hallazgo del Paleozoico Superior en la provincia de Tarapacá. *Revista Minerale*s, Año XI, N.os 53-54, pp. 30-31, Santiago de Chile.

Klohn G., C.*

Estado actual del estudio geológico de la "Formación Porfirítica". *Revista Minerale*s, Año XI, Nº 55, pp. 49-60, Santiago de Chile.

Corvalán D., J.*

Über Marine Sediments des Tithon und Neocom der Gegend von Santiago. *Geologischen Rundschau*, Band 45, Heft 3, pp. 919-926, Stuttgart, Alemania.

1957

Galli O., C.*

Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Punta de Atacama, Sector de Pica, Tarapacá. *Revista Minerale*s, Año XII, Nº 56, pp. 14-26, Santiago de Chile.

1960

Aliste T., N., Pérez d'A., E. y Carter, W. D.

Definición y edad de la Formación Patagua, provincia de Aconcagua, Chile. *Revista Minerale*s, Año XV, Nº 71, pp. 40-51, Santiago de Chile.

Carter, W. D.

Origin of "Manto-Type" copper deposits of the Cabildo mining district Central Chile. *Reports XXI International Geological Congress*, Part XVI, pp. 17-28, Copenhagen, Dinamarca.

*Estos artículos se incluyen por pertenecer a personal de la Sección Geología de la CORFO, núcleo que dio origen al IIG.

Segerstrom, Kenneth.

Structural geology of an area east of Copiapó, Atacama Province, Chile. *Reports XXI International Geological Congress*, Part XVIII, pp. 14-20, Copenhagen, Dinamarca.

1961

Dedios A., P.

Fluorita en la región de Paihuano, provincia de Coquimbo. *Revista Minerale*s, Año XVI, N° 73, pp. 23-32, Santiago de Chile.

Pérez d'A., E. y Levi de Valenzuela, B.

Relación estratigráfica entre la Formación Moctezuma y el granito subyacente, Calama, provincia de Antofagasta. *Revista Minerale*s, Año XVI, N° 74, pp. 39-48, Santiago de Chile.

Ruiz F., C., Aguirre L-B., L., Corvalán D., J., Rose, H. J., Segerstrom Kenneth and Stern, T. W.

Ages of Batholithic Intrusions of Northern and Central Chile. *Geological Society of America Bulletin*, v. 72, pp. 1551-1559, EE. UU.

Ruiz F., C.

Exploración por métodos geofísicos, aéreos y terrestres de las anomalías ubicadas en la región de cerro Chañar-Boquerón, con una discusión sobre las génesis de los yacimientos de hierro de Atacama. *Revista Minerale*s, Año XVI, N° 75, pp. 23-30, Santiago de Chile.

Ruiz F., C. and Saint-Atmand, Pierre, ed.

Observations concerning the Chilean earthquakes of May 1960. *Reports XXI Internatioanl Geological Congress*, Part XXVI, pp. 116-133, Copenhagen, Dinamarca.

1962

Aguirre L-B., L. y Egert R., E.

Las formaciones manganíferas de la región de quebrada Marquesa, provincia de Coquimbo. *Revista Minerale*s, Año XVIII, N° 76, pp. 25-37, Santiago de Chile.

Ruiz F. C. and Eriksen, G. E.

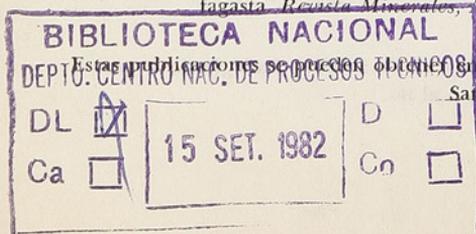
Metallogenetic provinces of Chile, S. A. *Economic Geology*, v. 57, pp. 91-106, EE. UU.

Segerstrom, Kenneth.

Geología de la Pre-Cordillera de Copiapó. *Revista Minerale*s, Año XVII, N° 76, pp. 11-16, Santiago de Chile.

García A., F., Pérez d'A., E. y Ceballos S., E.

El Ordovícico de Aguada de la Perdiz, Puna de Atacama, provincia de Antofagasta. *Revista Minerale*s, Año XVII, N° 77, pp. 52-61, Santiago de Chile.



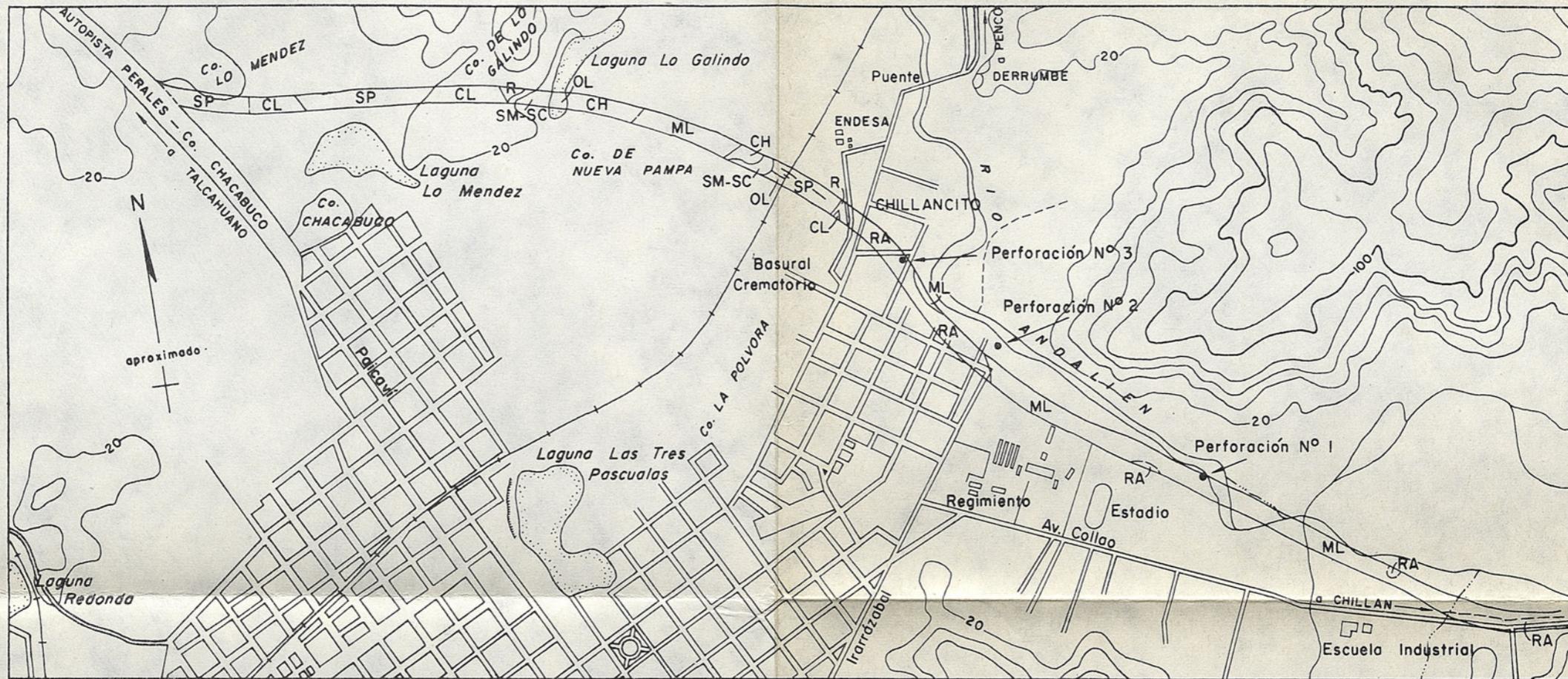


FIG. 10 MAPA DE SUELOS DE LA FAJA DE TERRENO DE LA AUTOPISTA

Equidistancia altimétrica = 20 m

ESCALA 0 1000m

EXPLICACION

- RA**
Depósitos de relleno artificial (principalmente arena, escombros y basura)
- SP**
Arena; gris oscura; relativamente limpia de limo y arcilla; en las partes bajas de las proximidades de los cerros con limo y arcilla coluviales; granos angulares, finos a medianos; permeable; sin cohesión; seca; arena aluvial y eólica
- SM-SC**
Arena limo-arcillosa con fragmentos de roca; castaño grisácea; granos angulares desde muy finos a muy gruesos; poco permeable; poco compactada; seca; coluvio y aluvio indiferenciados
- ML**
Limo inorgánico arenoso; castaño amarillento moderado a oscuro; en el loes plasticidad muy baja; el aluvio del río Andalién es muy micáceo, con plasticidad baja a mediana; en el aluvio clastos de hasta 4 mm de diámetro; ninguna resistencia en fragmentos secos en el loes; poca a moderada resistencia en fragmentos secos del aluvio; seco; aluvio del río Andalién y loes

- CL**
Arcilla con maicillo; castaño moderada (húmeda); plasticidad mediana; fuerte resistencia en fragmentos secos; clastos de grava subangulosa hasta de 1 cm de diámetro; seco; suelo de rocas sedimentarias y de granito
- OL**
Limo orgánico muy arenoso; gris a castaño oscuro (húmedo); plasticidad baja; algunos fragmentos de cuarzo de hasta 4 mm de diámetro; sin cohesión; húmedo hasta muy saturado en laguna Lo Galindo; fondo de laguna o de área con drenaje deficiente
- CH**
Arcilla limosa; castaño moderada (húmeda); plasticidad alta; muy fuerte resistencia en fragmentos secos; seco; suelo de rocas sedimentarias
- R**
Roca descompuesta; poca a moderada consolidación; seca; rocas graníticas y sedimentarias

--- Contacto (segmentos donde es aproximado)
 - - - - - Lecho estacional o curso abandonado

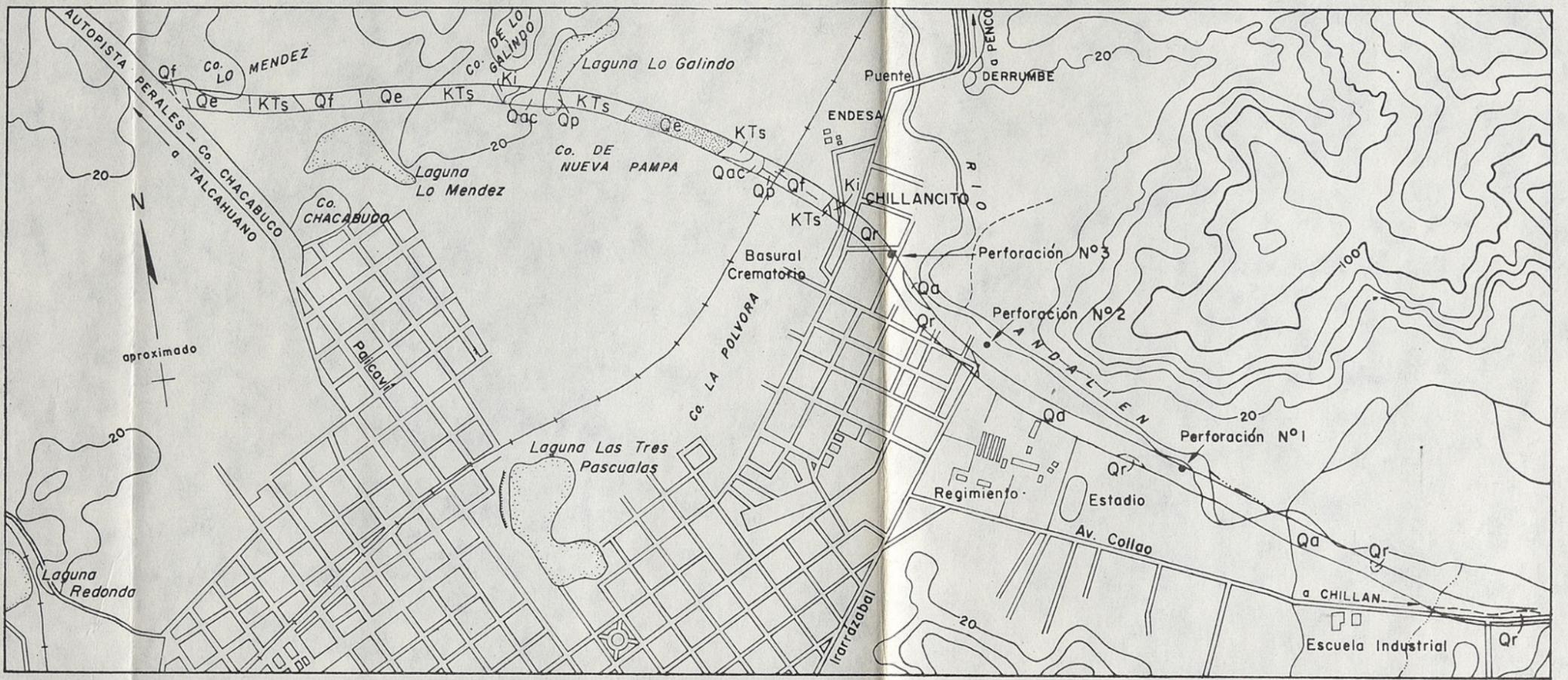
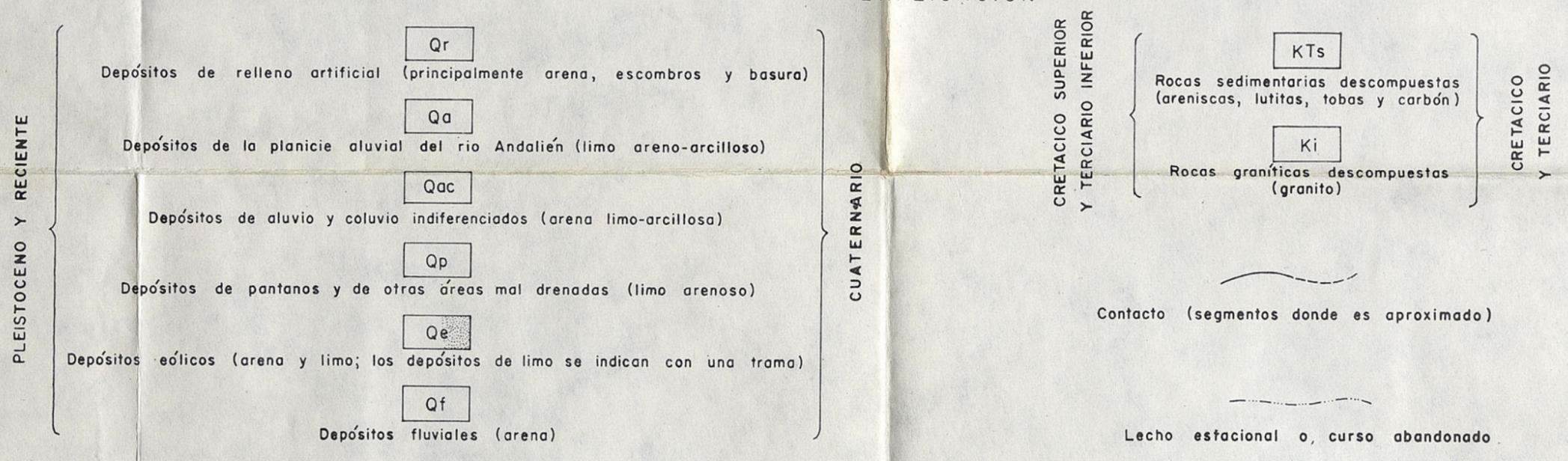
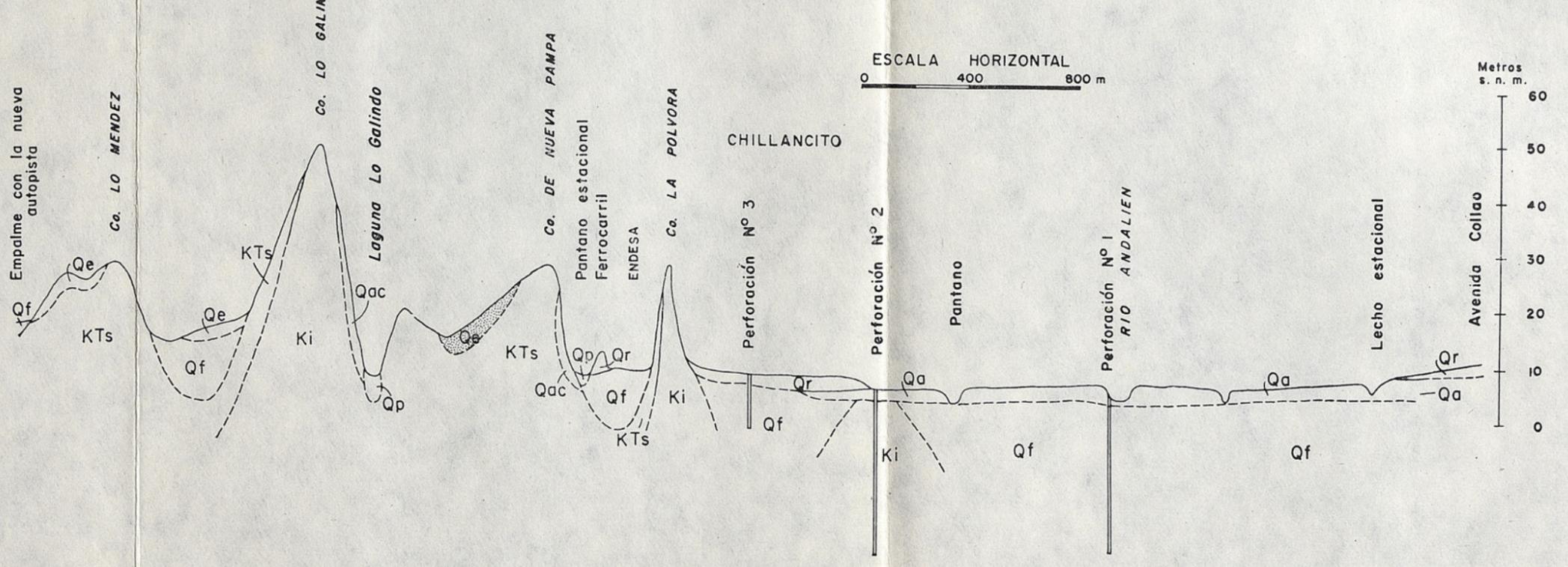


FIG. 9 MAPA GEOLOGICO DE LA FAJA DE TERRENO DE LA AUTOPISTA ESCALA 1000m
 Equidistancia altimétrica = 20 m



SECCION LONGITUDINAL DE LA FAJA DE TERRENO



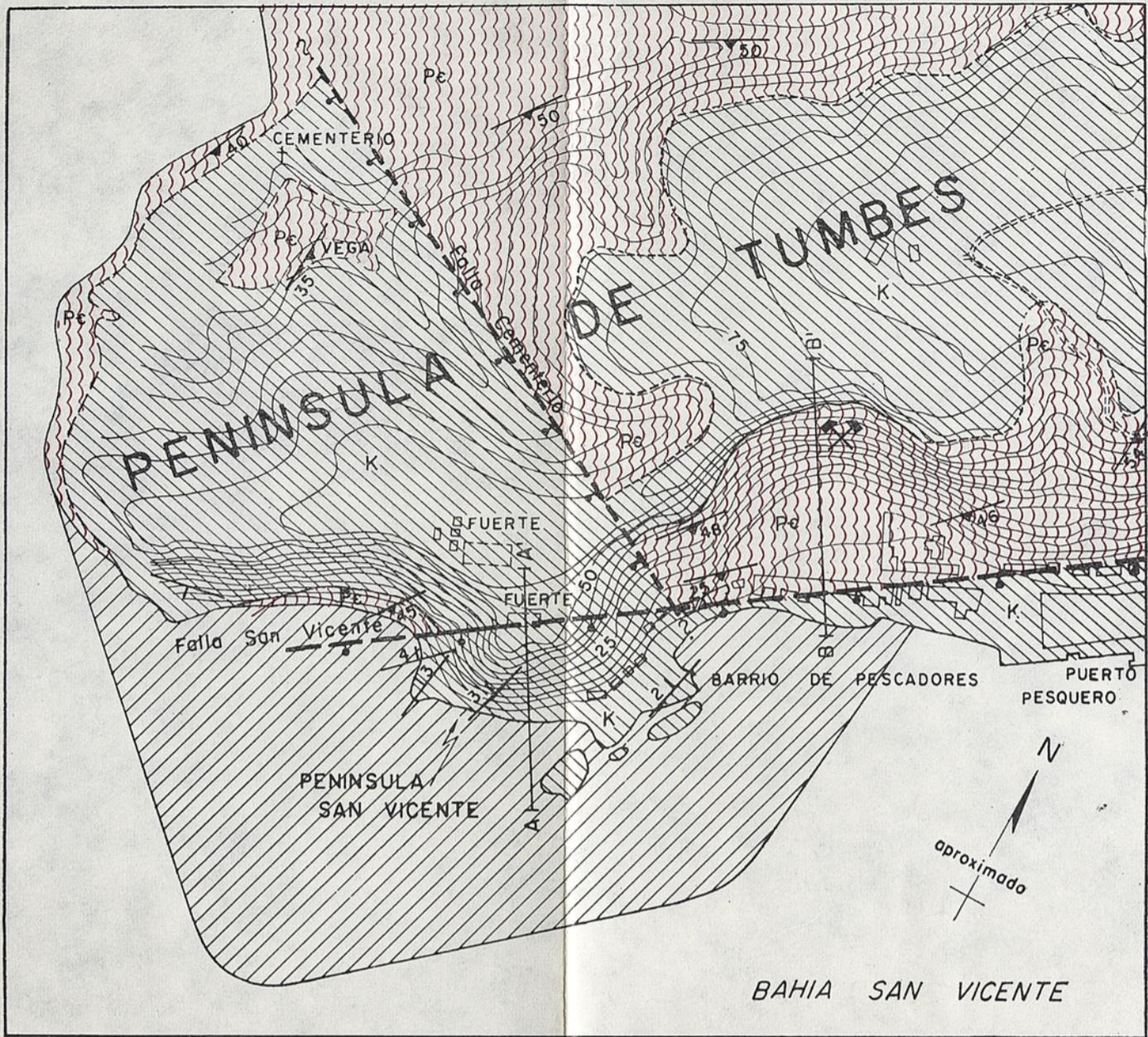
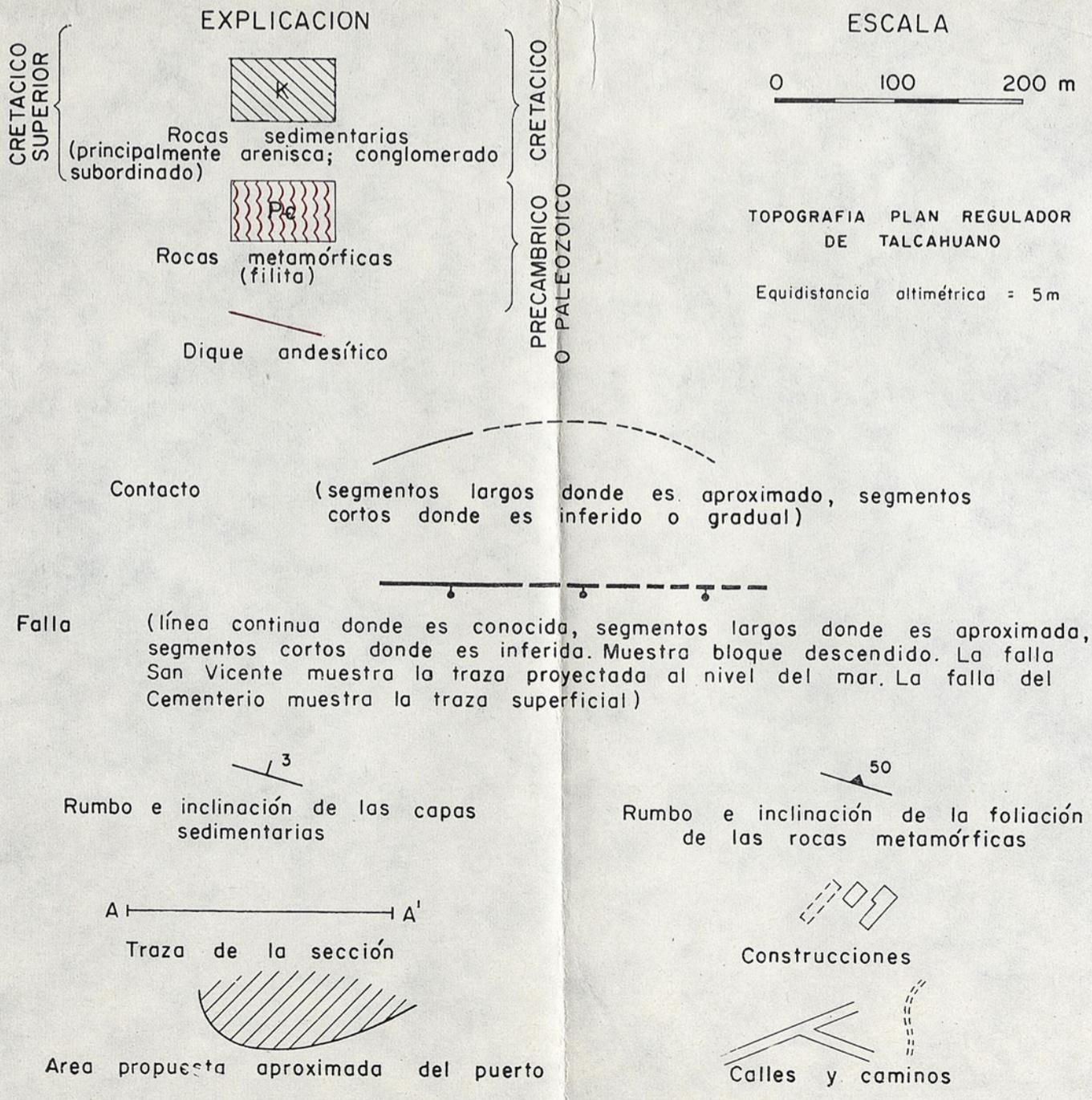
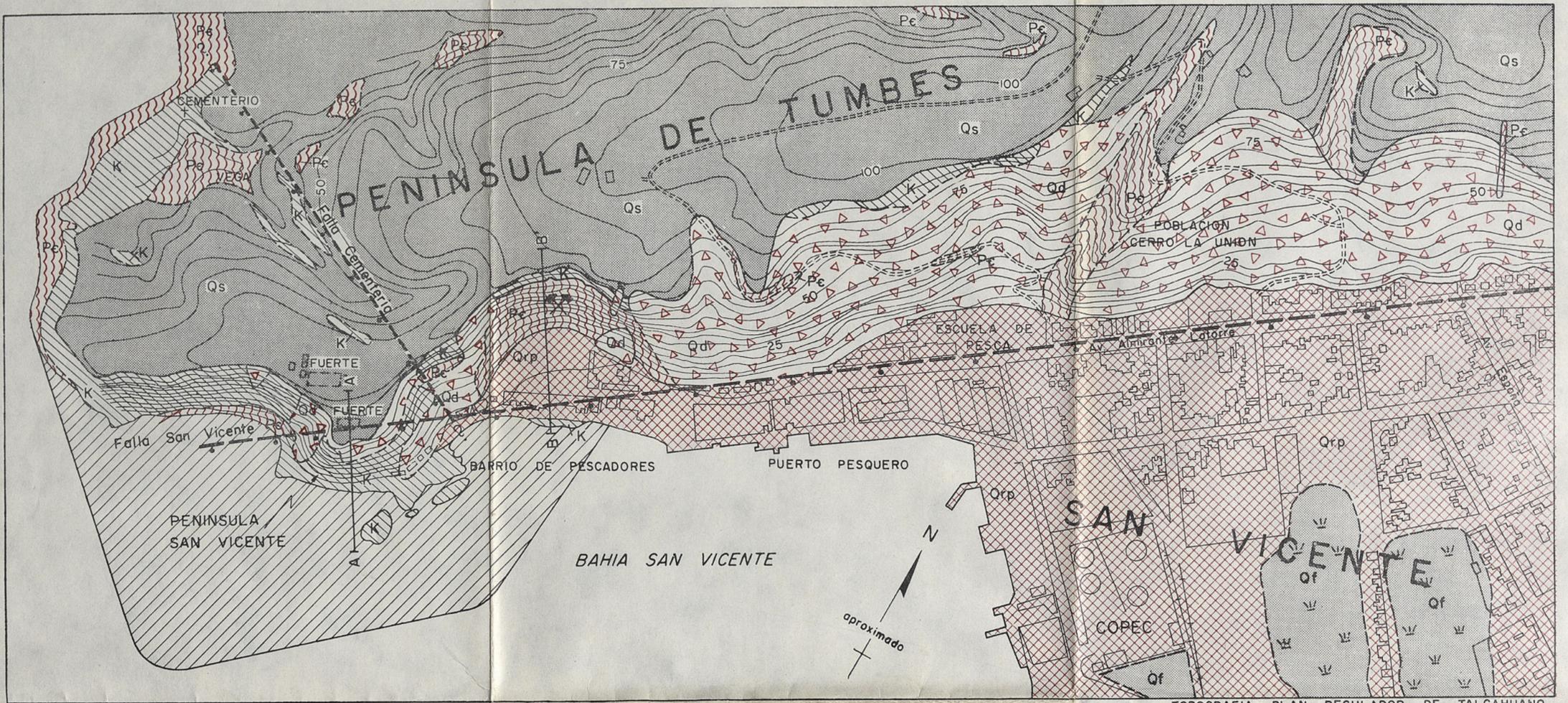


FIG. 5 MAPA GEOLOGICO DE LAS ROCAS FUNDAMENTALES DEL AREA DE SAN VICENTE





TOPOGRAFIA PLAN REGULADOR DE TALCAHUANO

FIG. 4

MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE SAN VICENTE

Equidistancia altimétrica = 5 m

ESCALA
0 100 200 m

EXPLICACION

Contacto (con segmentos donde es aproximado)

Falla (línea continua donde es conocida, segmentos largos donde es aproximada, segmentos cortos donde es inferida. Muestra bloque descendido. La falla San Vicente muestra la traza proyectada al nivel del mar. La falla del Cementerio muestra la traza superficial)

Traza de la sección

Areas anegadas

Construcciones

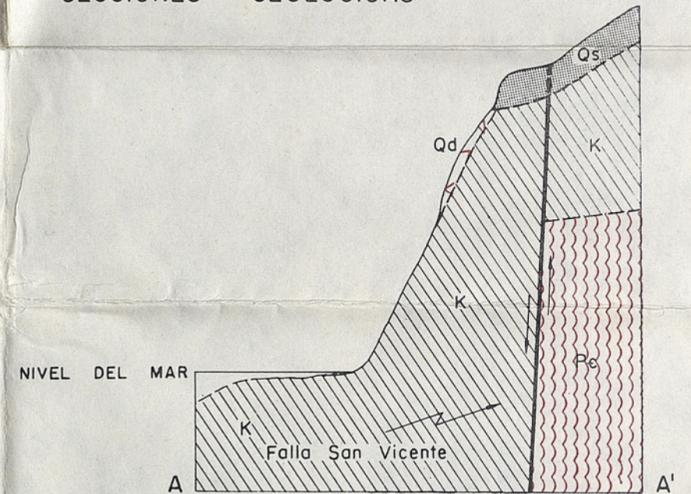
Cantera

Calles y caminos

Ferrocarril

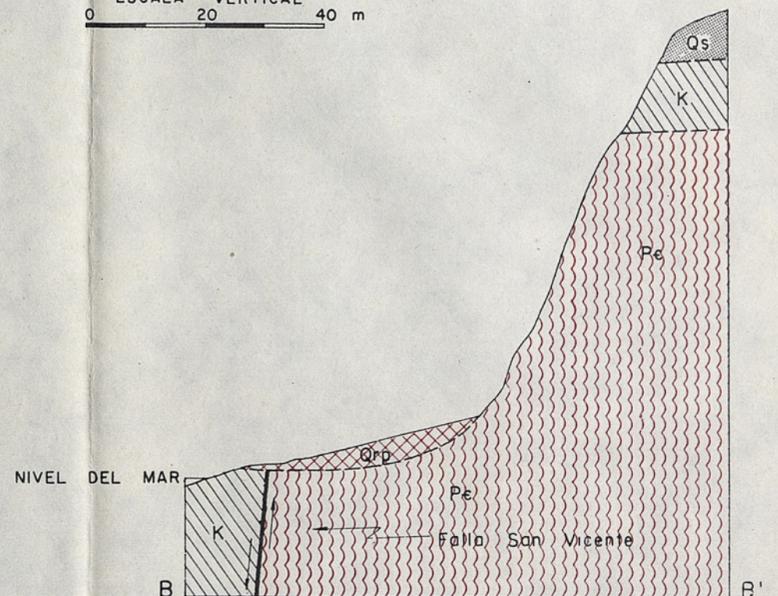
Area propuesta aproximada del puerto

SECCIONES GEOLOGICAS



ESCALA HORIZONTAL
0 50 100 m

ESCALA VERTICAL
0 20 40 m



PLEISTOCENO Y RECIENTE

- Depósitos de relleno artificial y de playa (principalmente arena, roca, limo y arcilla)
- Depósitos de materiales derrumbados y coluvio (fragmentos de roca, arena, limo y arcilla)
- Depósitos de suelo (principalmente arcilla, limo y arena)
- Depósitos fluviales (principalmente arena mediana)

CRETACICO SUPERIOR

- Rocas sedimentarias (principalmente arenisca; conglomerado subordinado)

CRETACICO

PRECAMBRICO O PALEOZOICO

- Rocas metamórficas (filita)

Dique andesítico

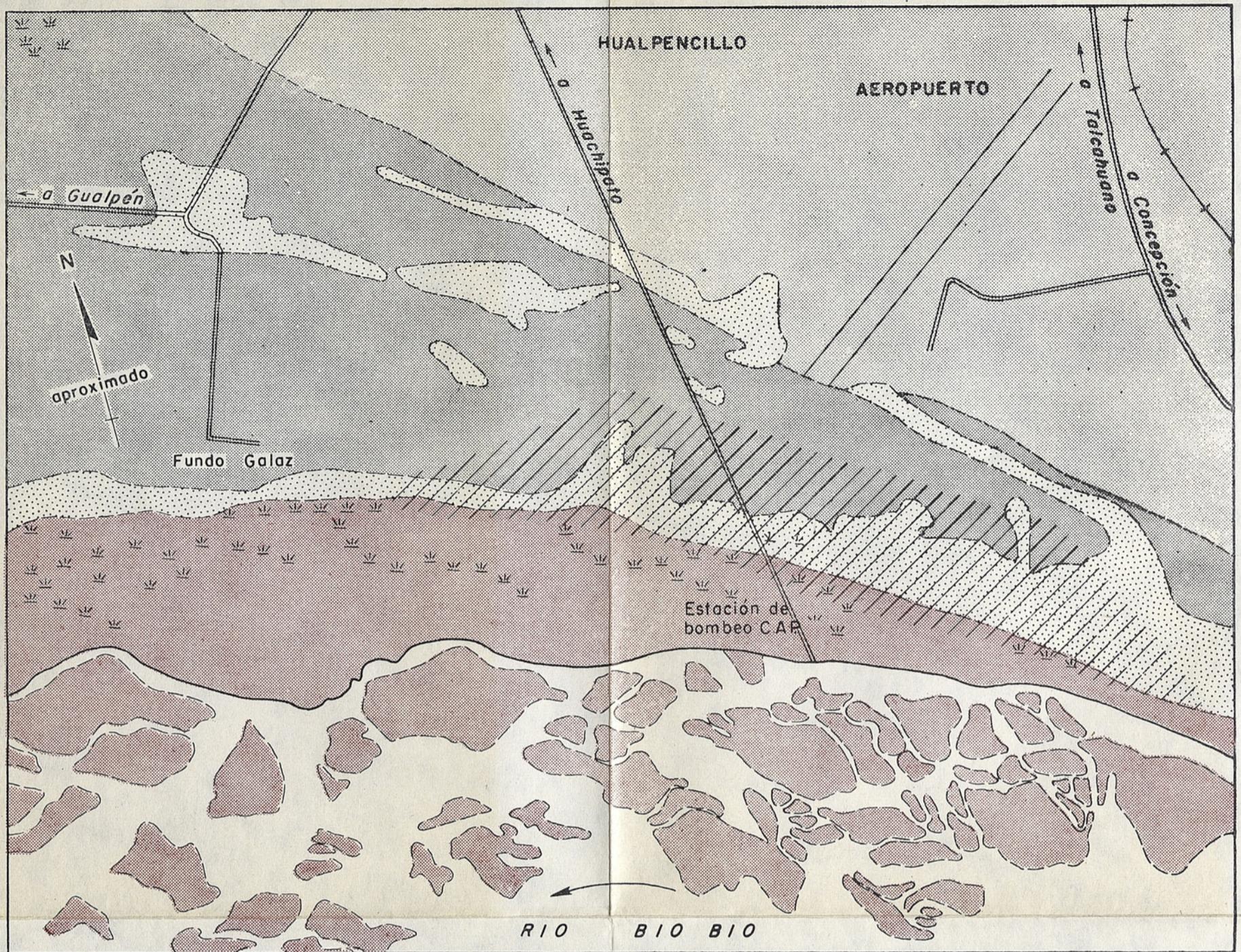


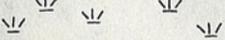
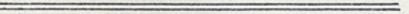
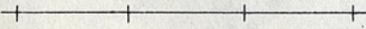
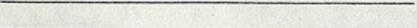
FIG. 2 MAPA GEOLOGICO PRELIMINAR DEL SECTOR PROPUESTO PARA LA REUBICACION DEL PATIO DEL FERROCARRIL

ESCALA

0 500 1000 m

EXPLICACION

-  Arena de dunas
-  Arena fluvial (nivel 1)
-  Arena fluvial (nivel 2)
-  Arena y grava fina fluviales. (nivel 3)

-  Contacto (segmentos donde es aproximado)
-  Areas pantanosas o con drenaje deficiente
-  Caminos
-  Ferrocarril
-  Pista de aterrizaje
-  Lugar propuesto para el patio del ferrocarril

