

**LOS MOVIMIENTOS SISMICOS DEL MES
DE MAYO DE 1960 EN CHILE**

Por

Takeo Watanabe y Juan Karzulović Kokot

CONTENIDO

RESUMEN	43
ABSTRACT	43
INTRODUCCION	44
Objeto del Informe	44
Extensión del reconocimiento	45
Fuentes de información	45
Agradecimientos	46
Limitaciones	46
ESQUEMA GEOLOGICO	46
Fisiografía	46
Geología	48
Consideraciones Tectónicas	54
LOS TERREMOTOS	55
Generalidades	55
Intensidad y magnitud	56
<i>Sismo del 21 de mayo de 1960</i>	58
Estimación del epicentro	58
Area de influencia	58
Efectos regionales sobre la Topografía	58
Efectos locales sobre la Topografía	59
El sismo en relación con las Características Geológicas	59
Areas locales afectadas por el sismo del 21 de mayo	60
<i>Sismo del 22 de mayo de 1960</i>	64
Estimación del epicentro	64
Area de influencia	64
Efectos regionales sobre la Topografía	64
Efectos locales sobre la Topografía	65
El movimiento en relación con las Características Geológicas	65
LOS TSUNAMIS	66
Areas locales afectadas por el sismo del 22 de mayo	68
CONCLUSIONES	81
SUGERENCIAS	85
BIBLIOGRAFIA	89
ANEXO:	
Descripción de fotografías	89
Reproducción Carta Geológica de Chile.	
Croquis de Estimación de los Epicentros.	

LOS MOVIMIENTOS SISMICOS DEL MES DE MAYO DE 1960 EN CHILE

RESUMEN

Se estudian los fenómenos relacionados con los sismos que asolaron Chile, durante los días 21 y 22 de mayo de 1960, en la región comprendida entre los paralelos 36° 30' y 44°.

Queda descrita, de un modo general, la constitución geológica de la zona y se concluye que los mayores daños están ubicados en terrenos con sedimentos más modernos y donde los niveles de aguas subterráneas aparecen próximos a la superficie.

Resalta el muy deficiente comportamiento de las construcciones asentadas sobre relleno artificial.

Los sismos modificaron la topografía regional y ello se aprecia en la costa al tomar como referencia la situación del mar y de las mareas. A lo largo de la costa de Lebu se observa un solevantamiento de 1.20 metros que, en Isla Guafo, sería del orden de 1 a 3 metros. Desde Puerto Saavedra hasta Isla de Chiloé se apreciaría un hundimiento que sería más notorio junto a Valdivia.

Al Este de la zona costera no se observan, superficialmente, cambios regionales ni tampoco desplazamientos a lo largo de líneas de fallas geológicas.

La intensidad de los sismos es mayor en las localidades vecinas a la costa.

Se describen los maremotos o tsunamis que siguieron a los movimientos del 22 de mayo. La violencia de los tsunamis aparece ligada a la situación topográfica de la costa. Se destaca la protección que otorga, contra este tipo de fenómenos, una plantación de árboles.

Son descritas, con cierto detalle, las localidades de Concepción, Puerto Saavedra, Puerto Toltén, Valdivia y Puerto Montt.

En Concepción los mayores daños están asociados a terrenos bajos con niveles de aguas subterráneas cercanos a la superficie.

En Puerto Saavedra y Puerto Toltén los mayores perjuicios fueron ocasionados por los tsunamis; se concluye que los cambios de ubicación de estos lugares no serían ventajosos y requieren de mayores estudios.

Se destaca, en Valdivia, el catastrófico daño sufrido por la edificación asentada en relleno artificial y se concluye que los terrenos naturales de esta ciudad no presentan condiciones que los inhabiliten para fundar, sobre ellos, grandes edificios.

Con respecto a Puerto Montt se establecen diferencias notables entre los daños de la parte baja, o zona con relleno artificial, y aquellos mucho menores de las partes altas. Se concluye que es recomendable llevar los edificios importantes a la zona alta y destinar la región baja a las construcciones portuarias y otras de carácter ligero.

Se acompaña un croquis de estimación de los epicentros de los movimientos; una reproducción de la Carta Geológica de Chile en la zona afectada; una reproducción de un plano municipal de la ciudad de Concepción con indicación de la situación geológica general; un bosquejo de Puerto Saavedra en relación a los tsunamis y dos reproducciones de planos de la ciudad de Valdivia, que permiten una estimación de la extensión del relleno artificial.

Se incluyen algunas fotografías, tomadas por los autores, con breve indicación de su significado.

Se entregan, finalmente, las conclusiones y sugerencias que se desprenden del trabajo.

ABSTRACT

This study is of the phenomena related to the earthquake shocks which devastated Chile on May 21 and 22, 1960, in the area between parallels 36° 30' and 44° S.

The geology of the area is described in a general way, and it is concluded that the greatest damages are located on ground with more recent sediments and where ground-water levels appear near the surface.

A very faulty behaviour of structures constructed on artificial fill is emphasized.

The regional topography was modified by the shocks. This modification is most evident along the coast line. Along the shore in Lebu, an uplift of 1.20 meters in relation to sea level was observed. At Isla Guafo the uplift is of the order of 1 to 3 meters. A subsidence of the coast can be seen from Pto. Saavedra to Isla de Chiloé. The subsidence is greatest in the vicinity of Valdivia.

In the eastern part of the coastal zone neither regional changes of a superficial natura nor displacements along geologic fault lines are observed.

Shock intensity was higher at localities near the coast.

Tsunamis following the shocks of May 22 are described. Tsunami damage seems to be related to the topography of the coast. The protection given by a tree plantation against that type of phenomenon is described.

Localities of Concepción, Puerto Saavedra, Puerto Toltén, Valdivia and Puerto Montt are described in some detail.

At Concepción greatest damages are related to low grounds with ground-water levels near the surface.

Tsunamis have produced most damage at Puerto Saavedra and Puerto Toltén. It is concluded that changing the location of these places is not profitable, therefore implying a larger investigation.

It is important to note that at Valdivia the catastrophic damage was suffered by buildings constructed on artificial fill. Natural ground in this city, however, is able to support large buildings.

In Puerto Montt, remarkable differences are established among damages in the lower part, or zone of artificial fill, and those which are much less severe, in the higher part. It is concluded that it would be profitable to place important buildings on the higher zone and to designate the lower zone for port structures and other light buildings.

An estimate of shock epicenters is attached in addition to a reproduction of the Geological Map of Chile of the damaged zone; a reproduction of a municipal plan of Concepción with references to the general geologic situation; an outline of Puerto Saavedra, related to tsunamis; and two city maps of Valdivia, which allow an estimate of the extent of artificial fill.

Several photographs, taken by the authors, are included, with a brief indication of their significance.

Finally, conclusions and suggestions rising from work are given.

INTRODUCCION

Objeto del informe.

El presente estudio pretende analizar los efectos de los últimos movimientos sísmicos sufridos por Chile, en base a la experiencia acumulada por los científicos japoneses sobre este tipo de fenómenos y, además, en relación con los conocimientos de que disponemos, en nuestro país, acerca de la constitución geológica del territorio nacional.

De acuerdo con la idea anterior, el profesor Watanabe prolongó por un mes su permanencia en Chile, mientras los otros componentes de la Misión Japonesa de Cooperación Técnica* debían viajar a Japón por compromisos cien-

*Enviada por el Gobierno de Japón como expresión de Ayuda Técnica al Gobierno de Chile e integrada por los siguientes miembros:

Doctor Ryutaro Takahashi, Jefe de la Misión, profesor y Director del Instituto de Investigaciones Sísmicas de la Universidad de Tokio.

Doctor Takeo Watanabe, profesor y miembro del Instituto de Geología de la Universidad de Tokio.

Doctor Hajime Umemura, profesor y miembro del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Tokio.

tíficos ineludibles. Por su parte, la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile dispuso que el Instituto de Geología de la Facultad trabajara en amplia colaboración con el profesor Watanabe y ello de acuerdo con el programa general de estudios, que actualmente desarrolla la Universidad de Chile, en relación con todos los fenómenos asociados a los movimientos sísmicos recientes.

Debe entenderse, entonces, que la presente información es una continuación de los trabajos de la Misión Japonesa de Cooperación Técnica y forma parte de los trabajos que efectúa la Universidad de Chile, a contar desde los primeros días de ocurridos los sismos, como contribución de los Organismos Científicos Nacionales.

Extensión del reconocimiento.

La Comisión visitó, a lo largo de veinte días y a contar del 19 de julio de 1960, algunos de los lugares más fuertemente afectados comprendidos entre Concepción y Puerto Montt. Por no disponer de tiempo para reconocer con suficiente detalle la región de Chiloé, se dejó fuera del itinerario de viaje esta importante zona que fuera tan severamente afectada por los fenómenos sísmicos.

Las áreas recorridas con mayor atención corresponden a:

Concepción-Lebu-Lota-Coronel.
Temuco-Puerto Saavedra-Puerto Toltén.
Valdivia-Lago Riñihue.
Osorno-Río Negro.
Región del Lago Llanquihue.
Puerto Montt.

Además de las áreas enumeradas, se realizó un reconocimiento muy rápido de todos los lugares poblados que acceden a los caminos recorridos; el viaje se efectuó por tierra, que permitió reunir valiosos antecedentes de carácter general.

Fuentes de información.

Conjuntamente con la apreciación personal de los componentes de la Comisión, se efectuaron numerosas entrevistas con autoridades locales y con toda clase de personas que han vivido integralmente la tragedia chilena.

En la ciudad de Concepción se obtuvo valiosa información proporcionada por el señor ingeniero Carlos Veyl y que fuera compilada por el Instituto de Geología de la Universidad de Concepción, al cual pertenece el señor Veyl. Esta información se refiere a las características geológicas generales de la ciudad de Concepción y lugares inmediatos.

En Valdivia el profesor señor Weichett, Director del Instituto de Geografía de la Universidad Austral, proporcionó algunos de los antecedentes que él ha logrado reunir acerca de la situación geológica de Valdivia. En esta misma ciudad se obtuvo, de los señores arquitectos que confeccionan el Nuevo Plano Regulador, información muy útil acerca de los daños causados por los sismos y la relación directa de aquéllos con la calidad de los terrenos de fundación.

En la región del Lago Riñihue fue entregada, por los señores ingenieros de ENDESA, amplia información acerca de la naturaleza de los fenómenos que produjeron el represamiento del río San Pedro y también de los trabajos desarrollados por ENDESA que lograron, como es de público conocimiento, el éxito completo de los fines perseguidos.

Al término del viaje, ya en la tarea de preparación de este Informe, se lograron inapreciables antecedentes a través de la Oficina de Hidrografía y Navegación de la Armada con sede en Valparaíso, del Departamento de Fotogrametría de la Fuerza Aérea y del Instituto Geográfico Militar.

Respecto de las características geológicas de toda la región asolada por los sismos, se contó en todo momento con la asesoría del Director del Instituto de Geología de la Universidad de Chile, ingeniero señor Jorge Muñoz Cristi, quien entregó toda su amplia documentación relativa a este aspecto.

De los científicos chilenos, que han recorrido la zona por encargo de la Universidad de Chile, se recibió valiosa información y ello especialmente de los personeros del Instituto de Geofísica y Sismología y del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Agradecimientos.

Los autores agradecen las innumerables facilidades recibidas de parte de las Universidades de Concepción y Valdivia; de las distintas ramas de las Fuerzas Armadas de Chile; de las autoridades locales en cada lugar visitado; de los funcionarios del Ministerio de Obras Públicas destacados en la zona sur y, muy especialmente, de las numerosas personas que fueron entrevistadas y siempre respondieron en magnífica forma a cualquier tipo de requerimiento.

Limitaciones.

El alcance de este Informe queda limitado por el hecho de que, para comprender en toda su magnitud las proyecciones científicas de los sismos recientes, sean ellas en relación con las características geológicas, topográficas o de cualquiera otra índole, se requiere una labor de años y el concurso de numerosos investigadores.

Los autores consideran el presente trabajo como una modesta contribución a la tarea emprendida por tantos organismos en relación con la misma materia.

ESQUEMA GEOLOGICO

Para comprender mejor la reseña geológica que se entrega más adelante, resultan útiles algunos comentarios sobre los rasgos fisiográficos de la zona considerada.

Fisiografía.

Al sur del paralelo 36°, hasta la región de Puerto Montt, aparecen tres unidades fisiográficas bien marcadas y que son las siguientes:

Cordillera de la Costa.

El límite occidental de esta unidad queda representado por la línea de la costa y, el oriental, por la región denominada Valle Longitudinal. Este límite oriental no sigue una línea regular; en partes se acerca a la costa y, en otras, se extiende hacia el Este mostrando un estrechamiento del Valle; de aquí resulta que, en sentido Este-Oeste, la Cordillera de la Costa tiene un ancho variable entre 20 y 90 kilómetros.

Los cordones de la Cordillera de la Costa presentan un relieve suave con frecuentes niveles aterrazados y donde se destacan algunos cerros de mayor altura relativa. Junto a la desembocadura del río Bío-Bío se inicia una cadena de cerros la cual se prolonga, según dirección aproximadamente Norte-Sur, hasta frente a Isla Mocha; esta cadena está intercalada dentro de la Cordillera de la Costa, alcanza una altura de hasta 1.340 metros s.n.m. y constituye la llamada Cordillera de Nahuelbuta.

Al Sur y al Norte de la Cordillera de Nahuelbuta, dentro de la parte considerada en este estudio, solamente se encuentran en forma ocasional cordones destacados sobre el plan general de relieve suave y con alturas que varían entre 950 y 500 metros s.n.m.

Valle Longitudinal.

El límite occidental de esta unidad fisiográfica queda señalado por el borde oriental de la Cordillera de la Costa y, el oriental, por el borde occidental de la Cordillera de los Andes que conforma la tercera unidad fisiográfica y la cual también muestra avances de los cordones de cerros, hacia el Poniente, que estrechan el Valle. En sentido Este-Oeste, la amplitud del Valle varía entre 90 y sólo pocos kilómetros de ancho.

Desde la región del paralelo 36° al sur, hasta aproximadamente el paralelo 39° 30', el Valle se observa amplio y uniforme; aquí se estrecha, notablemente, por un avance de los cordones de la Cordillera de la Costa y luego, más al Sur, se abre nuevamente y sigue amplio y uniforme hasta Puerto Montt. En esta forma, el Valle Longitudinal aparece prácticamente dividido en dos grandes cuencas o valles separados a la altura del Lago Calafquén.

En algunos sectores el relieve del Valle es bastante plano y se encuentran extensas planicies; pero, en otras regiones, muestra un relieve suavemente ondulado con numerosas colinas y depresiones de pequeña diferencia de altura.

Con cierta frecuencia se encuentran, a lo largo del Valle, cordones de cerros aislados y de no mucha altura relativa que se muestran rodeados por el relleno sedimentario. Ellos constituyen verdaderos cerros islas y están compuestos por rocas graníticas o bien por rocas basálticas con aspecto de lavas.

Cordillera de los Andes.

Se extiende entre el límite oriental del Valle Longitudinal y la República Argentina. En esta zona el relieve es acentuado y rápidamente se sobrepasan alturas de 2.000 metros s.n.m.

El contacto entre esta unidad y el Valle no sigue una línea regular aunque es aproximadamente Norte-Sur con un desplazamiento leve, hacia el Oeste, en la medida que se avanza hacia Puerto Montt. Este desplazamiento aparece muy marcado al observar la situación de los grandes lagos del sur de Chile y al considerar que el borde occidental de los mismos corresponde al Valle, mientras el borde oriental pertenece a la Cordillera Andina. Análogas consideraciones se deducen al ubicar los volcanes chilenos; en efecto, hacia el Norte los volcanes aparecen en las proximidades de la línea fronteriza en tanto que, más al sur, se acercan notoriamente al Poniente y se ubican muy próximos al Valle Longitudinal.

Geología.

Dentro de las unidades fisiográficas enumeradas anteriormente se encuentran diversos tipos de rocas y su ubicación en el terreno queda indicada en la reproducción de la Carta Geológica de Chile que se acompaña.

De acuerdo a los conocimientos existentes a la fecha, puede establecerse la siguiente reseña geológica de la zona en estudio:

Cordillera de la Costa.

Al sur del paralelo 36° se han diferenciado las formaciones geológicas que se indican a continuación:

Basamento Metamórfico.

Triásico.

Batolito de la Costa.

Cretáceo.

Senoniano.

Terciario.

Cuaternario.

El Basamento Metamórfico representa las rocas más antiguas conocidas en Chile y consiste en un complejo sedimentario muy potente que, corrientemente, exhibe un metamorfismo muy acentuado. Incluye especialmente pizarras arcillosas, filitas, micacitas y gneises; a veces estas rocas muestran una tectónica sencilla pero, a menudo, presentan un plegamiento intenso. En la zona de nuestras referencias se encuentran esencialmente filitas y micacitas que reciben el nombre popular de Piedra Laja, por la forma en que estas rocas se quiebran.

El Basamento alcanza una amplia repartición y, en la Provincia de Valdivia, se extiende a los primeros contrafuertes cordilleranos.

Las rocas del Basamento se atribuyen corrientemente a la Epoca Prepaleozoica, es decir, su origen se remontaría a más de 500 millones de años; sin embargo, es probable que se incluyan aquí algunas regiones con rocas de edad Paleozoica y cuyo origen se ubicaría a unos 230 a 500 millones de años.

El Triásico no alcanza gran desarrollo y el afloramiento más destacado se localiza en la región de Quilacoya junto al valle del río Bío-Bío. Aquí se en-

cuentran sedimentos continentales, los cuales incluyen pequeños mantos de carbón, y también sedimentos marinos con fósiles. El Triásico consiste fundamentalmente de lutitas, areniscas y conglomerados bien cementados. Se conocen otros afloramientos pequeños de rocas triásicas en las cercanías del pueblo de Quirihue y en la prolongación norte del cerro Nielol de Temuco.

El Batolito de la Costa ocupa la mayor extensión, después de las rocas del Basamento Metamórfico, en la región en estudio. Consiste en rocas graníticas plutónicas, en el amplio sentido de la palabra, que han intruido las formaciones más antiguas y cuya edad, en esta parte, se atribuye al Cretáceo Medio a Superior.

Hasta poco más al sur del paralelo 38°, las rocas graníticas se muestran en afloramientos bastante continuos y ocupan, preferentemente, la parte oriental de la Cordillera de la Costa, mientras la zona occidental de la misma queda cubierta por las rocas del Basamento Metamórfico o por sedimentos del Terciario y Senoniano, como ocurre en las provincias de Concepción y Arauco.

Más al sur del paralelo 38°, las rocas graníticas aparecen sólo en afloramientos esporádicos, dentro de la Cordillera de la Costa, y alcanzan amplia extensión las rocas del Basamento Metamórfico.

Cretáceo, correspondiente a la llamada Formación Porfirítica, aparece en forma restringida en esta parte de la Cordillera de la Costa y solamente se localiza un afloramiento, consistente de rocas andesíticas presumiblemente intrusivas, en las cercanías del pueblo de Quirihue.

El Senoniano (o Cretáceo Superior) se muestra en forma de sedimentos esencialmente marinos, en una faja restringida a la región costera y con especial desarrollo en las provincias de Concepción y Arauco. Consiste de lutitas, areniscas y conglomerados finos.

El Terciario ocupa, en la zona considerada, la mayor extensión después de las rocas del Basamento Metamórfico y del Batolito de la Costa. Se presenta en forma de mantos arcillosos, areniscas y conglomerados donde se intercalan sedimentos continentales, los cuales llevan capas de carbón y sedimentos marinos con fósiles. En las provincias de Arauco y Concepción alcanza gran desarrollo y en ellas se encuentran los mejores yacimientos de carbón de Chile.

Al sur de Cañete los afloramientos de rocas terciarias son menos frecuentes y, corrientemente, corresponden a sedimentos continentales ubicados a cierta distancia al Este de la costa y que llevan mantos de carbón. Cerca de Valdivia se explotan los yacimientos de carbón de Pupunahue y Catamutún; este último incluye algunos sedimentos terciarios marinos con fósiles.

Hasta la región de Maullín continúan estos afloramientos de carácter local que, por lo general, semejan verdaderos islotes dentro de las otras formaciones geológicas; más al sur, en la región de la Isla de Chiloé y especialmente a lo largo de su costa occidental, se encuentran nuevamente extensos afloramientos de sedimentos terciarios marinos.

Es digno de destacar que, durante el viaje de la Comisión, se obtuvo una muestra de sedimentos terciarios, con abundantes fósiles marinos, correspondiente a una localidad ubicada a unos 35 kilómetros al Este de la ciudad de Temuco. Este descubrimiento, señalado por el señor Bascur, ingeniero de Vialidad de Te-

muco, es de gran importancia para el mejor conocimiento de los acontecimientos geológicos ocurridos durante el Terciario en Chile y por esta razón el Instituto de Geología de la Universidad pretende realizar, a la brevedad, un reconocimiento detallado de esta nueva área fosilífera.

El Cuaternario de las regiones inmediatamente vecinas a la costa lleva en partes fósiles marinos que se han identificado como del Plioceno, o parte superior del Terciario, y también como del Cuaternario Inferior, ya que es difícil poder separar los fósiles de ambos períodos.

Sedimentos marinos del Plioceno a Cuaternario son bastante abundantes en las provincias de Arauco y Concepción.

A lo largo del cauce de todos los ríos que atraviesan la Cordillera de la Costa, se observan los sedimentos correspondientes al arrastre de tales ríos y que deben considerarse como recientes o modernos. Estos sedimentos consisten de materiales de granulometría gruesa, ripio o grava fluvial, en el curso superior de los cauces o donde los ríos presentan velocidades de escurrimiento fuertes mientras, en el curso inferior de los mismos, se encuentran arenas que disminuyen de granulometría con la menor distancia a la desembocadura en el mar.

Como sedimentos recientes deben estimarse las dunas costaneras y lo mismo los cordones litorales que inhiben a veces la desembocadura de los ríos más pequeños y forman lagunas antepuestas a la costa; estos cordones litorales algunas veces, como en el caso de Puerto Saavedra y Puerto Toltén, conforman verdaderas penínsulas que separan el río del mar, por largo trecho, junto a la línea de la costa.

En ciertos puntos de la Cordillera de la Costa, especialmente junto al borde oriental de la misma y en las cercanías de los ríos actuales, se localizan sedimentos continentales bastante cementados, y con fuerte meteorización, que corresponden a los materiales Cuaternarios antiguos de amplia extensión dentro del Valle Longitudinal.

Cabe agregar, finalmente, que todas las formaciones geológicas de la Cordillera de la Costa muestran un grado de meteorización acentuado y que la superficie de los afloramientos presenta, por lo general, el aspecto de un suelo rojizo, de textura arcillosa, el cual se prolonga a veces más de tres metros de hondura. En partes este suelo rojizo, cuyas tonalidades de color van desde el pardo amarillento al francamente rojizo, deriva de la meteorización de rocas graníticas o de las rocas del Basamento Metamórfico; en partes, de las formaciones restantes y también, con relativa frecuencia, de cenizas volcánicas que han sido arrastradas desde la Cordillera de los Andes por el viento o por los cursos actuales de aguas superficiales.

Valle Longitudinal.

En la región anteriormente considerada se encuentran, con cierta abundancia, cortes del terreno que permiten apreciar la naturaleza de las rocas del subsuelo; pero, dentro del Valle, estos cortes no son muy abundantes y se producen dificultades para interpretar el origen y la cronología de los diferentes sedimentos cuaternarios que ocupan el Valle.

Esta zona está cubierta con un potente espesor de sedimentos cuaternarios en el cual sobresalen, como cerros islas, algunos cordones compuestos de rocas graníticas y también, hacia el borde oriental de la Cordillera de la Costa, por sedimentos terciarios generalmente de carácter continental.

Numerosos de los cerros islas se componen de rocas basálticas que, de acuerdo con MUÑOZ CRISTI, señalarían la existencia de centros volcánicos activos entre el Plioceno y Cuaternario Inferior dentro del Valle Longitudinal.

Aquí pueden diferenciarse dos grandes grupos de sedimentos cuaternarios continentales: uno queda constituido por los acarreo modernos de los sistemas fluviales actuales y, el otro, por los sedimentos más antiguos que se ubican en los cortes profundos de los ríos actuales y también fuera del cauce de los mismos.

Los sedimentos modernos corresponden a ripios o gravas fluviales en los cursos superiores de los ríos y a materiales de arenas o limos arcillosos en los cursos inferiores. Se caracterizan, en general, por su aspecto fresco materializado en un pobre desarrollo de suelo y por una alta porosidad que favorece, en los más gruesos, la existencia de importantes caudales de aguas subterráneas.

Los sedimentos más antiguos consisten en depósitos con características que los asimilan, en ciertos lugares, a depósitos de glaciares; en otros, a sedimentos fluviales y, muy frecuentemente, a materiales de depositación lacustre o lagunar.

Los depósitos con características de sedimentos glaciares se pueden separar, más o menos claramente, en dos unidades de acuerdo al contenido petrográfico y a su edad relativa.

Los más antiguos se muestran como un material brechoso, cementado por cenizas volcánicas de color gris ceniciento, con clastos de muy diversos tamaños y compuestos, en su gran mayoría, por rocas basálticas.

En partes, estos sedimentos aparecen muy concrecionados y semejan concreto; pero, en otros lugares, están afectados fuertemente por la meteorización y muestran un desarrollo de suelo. Desde el paralelo 36° al sur se van extendiendo, gradualmente, hasta el borde oriental de la Cordillera de la Costa y así resulta que, mientras en la región septentrional no avanzan mucho más allá de los primeros contrafuertes de la Cordillera Andina, al sur del paralelo 39° pasan a ocupar prácticamente todo el Valle Longitudinal y engranan con los cordones de la Cordillera de la Costa. Esta situación se observa claramente en Osorno donde, salvo los acarreo modernos de los ríos actuales, los terrenos se presentan como una serie de lomas bajas compuestas por estos materiales que contienen, frecuentemente, trocitos de piedra pómez. Estos materiales corresponderían a sedimentos de glaciares y, según MUÑOZ CRISTI, son contemporáneos de los sedimentos de glaciares que en la zona de Talca aparecen limitados al borde occidental de la Cordillera de los Andes y que el mismo autor ha denominado *Morrena de la Montaña*.

En la región de los lagos del sur de Chile se encuentran aquellos sedimentos más nuevos con claras características de glaciares. Allí aparecen como cordones de relieve suave y ondulado que limitan la ribera occidental de los lagos; estos cordones están compuestos por acarreo, con netas características de morrenas, que muestran un aspecto muy fresco. Llevan abundantes bloques de rocas gra-

níticas y se continúan, al Poniente, en materiales de características fluviales que se habrían derivado de los mismos depósitos glaciares.

Los materiales fluviales antiguos pueden asociarse a la actividad de los sistemas hidrográficos, entre períodos glaciares consecutivos, y también a los acarreos glaciofluviales originados aguas abajo de la línea de término del hielo en el transcurso de cada época glaciaria.

Las planicies aluviales, que se extienden al Poniente de los lagos del sur de Chile, quedan ligadas a los acarreos derivados de los cordones de morrenas que rodean la ribera occidental de tales lagos. Ellas consisten de ripio grueso, con abundantes rodados de rocas graníticas, con intercalaciones de materiales de arenas y limos.

En los numerosos sondajes perforados al sur del paralelo 36°, para captar aguas subterráneas, se localizan frecuentemente acuíferos constituidos por materiales fluviales o de apariencia fluvial que se componen, en su mayor parte, de rocas basálticas. Estos materiales deben asociarse, entonces, a los acarreos que hemos descrito como aquellos más antiguos de características glaciares claras.

Los materiales de depositación lacustre aparecen en numerosos puntos del Valle Longitudinal en forma de potentes depósitos de sedimentos finos, con granulometría que varía desde arenas a limos arcillosos, los cuales generalmente muestran un cierto grado de cementación.

Las arenas, o areniscas según el grado de cementación, corresponden a los acarreos de cursos fluviales de poca velocidad de arrastre y, los materiales más finos, a depósitos de origen netamente lacustre o lagunar.

En el río Mininco, ubicado a media distancia entre los pueblos de Mulchén y Collipulli, MUÑOZ CRISTI ha descrito la existencia de estos sedimentos y señala que ellos llevan en algunas localidades, como en Angol, capas de arcillas carbonosas. Por su parte, BRUGGEN ha descrito los materiales que componen el Salto del Laja e indica que, por debajo de un banco muy duro que conforma la parte superior del Santo y compuesto de dos a tres metros de una brecha con clastos de rocas basálticas, aparecen sedimentos lacustres que encierran algunas capas carbonosas.

Los sedimentos recién descritos posiblemente corresponden a materiales preglaciales, según MUÑOZ CRISTI, y ellos se habrían localizado en varios sondajes de la zona sur; especialmente en aquellos más profundos de la zona de Chillán que, con cerca de 300 metros de hondura, no han cortado las rocas fundamentales.

En la región de los lagos del sur de Chile, por debajo de los materiales morénicos más nuevos, aparecen también areniscas y limos arcillosos fuertemente compactados con estratificación horizontal. Estos acarreos han sido ampliamente conocidos a raíz de los deslizamientos de tierras en la zona del Lago Riñihue y también son esencialmente lacustres o lagunares; llevan, en algunos niveles, restos de plantas algo fosilizadas o carbonizadas. La relación de estos materiales con aquellos de Mininco y Salto del Laja no aparece todavía muy clara y solamente se puede adelantar que los descritos en la zona de los lagos serían más nuevos.

Más al sur, en la región de Puerto Montt y más precisamente junto a la playa Pelluco, MUÑOZ CRISTI y CALDENIUS han encontrado arcillas lacustres con desarrollo en Varves y que serían netamente glaciales. Los varves de tales arcillas lacustres se asocian a variaciones estacionales de depositación y que, usualmente, se relacionan con el acceso de aguas de glaciares a zonas lacustres. Durante el verano, cuando se produce un gran flujo de agua a lagos en estas condiciones, hay un gran arrastre de materiales y se presenta una rápida depositación que permite cierta clasificación; así resultan capas de granulometría diferente y que varían desde arenas a limos y arcillas. En invierno, cuando disminuye notoriamente el flujo de agua, los arrastres de material son menores y consisten especialmente de acarreo muy finos que permanecen largo tiempo en suspensión y adquieren cierto grado de oxidación; en esta forma, los depósitos invernales resultan de colores algo más oscuros.

En la región del Lago Riñihue y más propiamente en el Valle del río San Pedro, se han constatado también arcillas con varves.

Otros Depósitos Cuaternarios Antiguos han sido observados, además de los ya nombrados, en la zona del Valle Longitudinal y sus orígenes no resultan todavía muy claros.

En algunos cortes de los caminos, especialmente entre Mulchén y Victoria, se han encontrado depósitos muy meteorizados y con características de sedimentos de glaciares; ellos son muy notorios por cuanto contienen clastos de variados colores, generalmente claros, que están descompuestos a material arcilloso. Es muy probable, si acaso estos materiales son glaciares, que ellos correspondan a una glaciación más antigua que las descritas anteriormente. En las cercanías de los mismos depósitos se encuentran otros, también fuertemente meteorizados y del mismo aspecto, cuyos clastos son redondeados y dejan la impresión de ser acarreo fluviales muy antiguos.

En la región del Salto del Laja, en la parte superior del Salto, se encuentra una brecha muy dura y fuertemente cementada con ceniza volcánica que ha sido denominada Banco del Laja por BRUGGEN y descrita como material glacial por el mismo autor. El Banco del Laja tiene dos a tres metros de espesor en esta parte, consiste casi exclusivamente de clastos de rocas basálticas y descansa, en posición horizontal, sobre arenas y limos arcillosos lacustres que continúan más abajo.

Materiales similares a los del Banco del Laja han sido ubicados por uno de los autores en el lecho del río Llellehue junto a La Unión; también aparecen en otros puntos de la zona en estudio. Es posible que ellos correspondan a corrientes o flujos volcánicos y su verdadero origen constituye una de las incógnitas del relleno sedimentario del Valle Longitudinal.

De todo lo que antecede es fácil comprender que, pese a los innumerables antecedentes que se tienen del Valle Longitudinal, no es posible entregar todavía una información definitiva sobre el origen y la cronología de los distintos sedimentos cuaternarios que lo ocupan en gran extensión. Sin embargo, puede adelantarse que el Instituto de Geología de la Universidad de Chile pretende completar, en el transcurso de los próximos dos años, los estudios que viene desarrollando desde hace tiempo sobre esta materia.

Cordillera de los Andes.

Al sur del paralelo 36° la Cordillera Andina está constituida especialmente por rocas del Cretáceo y que consisten en lavas, conglomerados, brechas y tobas de naturaleza esencialmente volcánica. Estas rocas conforman la llamada Formación Porfirítica que, en el transcurso de los últimos tiempos, ha sido dividida en una serie de otras formaciones.

Además de las rocas de la Formación Porfirítica, se encuentran rocas graníticas del denominado Batolito Andino y cuya edad, en esta parte, se atribuye corrientemente al Cretáceo Medio a Superior lo mismo que el Batolito de la Costa ya descrito. Hasta la región de Temuco el Batolito Andino muestra afloramientos relativamente poco frecuentes pero, al sur de Temuco, ocupa parte importante de la Cordillera de los Andes. De la observación del Mapa Geológico de Chile se desprende que, al sur de Temuco, el Batolito se desplaza desde la Cordillera de la Costa hacia la Cordillera de los Andes.

Junto con las vulcanitas y rocas graníticas del Cretáceo, predominan en esta región materiales volcánicos originados en el Terciario Superior y Cuaternario y que consisten especialmente de rocas basálticas y andesíticas. Es digno de destacar que durante la última actividad del Volcán Puyehue, originada dos días después del movimiento sísmico del 22 de mayo, se produjeron pequeñas coladas de lavas basálticas a través de grietas ubicadas en el faldeo del volcán (Información verbal del profesor señor Weichett de la Universidad Austral de Valdivia).

Además de las formaciones anteriores se encuentran, dentro de la Cordillera de los Andes, afloramientos esporádicos de sedimentos terciarios continentales y de los cuales, el más conocido corresponde a la región de Lonquimay.

Junto con los materiales volcánicos cuaternarios se tienen también aquí sedimentos de la misma época y correspondientes a los acarreo de los ríos actuales. Los sedimentos cuaternarios más antiguos y que pueden asociarse con los descritos anteriormente para la región del Valle Longitudinal, son relativamente poco conocidos y, a menudo, ellos están sepultados por los materiales de la actividad volcánica posterior.

Es interesante indicar que MUÑOZ CRISTI ha señalado posibles formaciones Paleozoicas en la región de Pullinque, junto al Lago Calafquén, donde aparecen pizarras muy duras con metamorfismo incipiente. Según el mismo autor es discutible si estas rocas de Pullinque son Paleozoicas o Precámbricas y se observan las mismas dudas que para el Basamento Metamórfico de la Cordillera de la Costa.

Consideraciones Tectónicas.

De la división tripartita de la región que estamos analizando, resalta la depresión del Valle Longitudinal comprendida entre ambas cordilleras y que BRUGGEN ha considerado como el resultado de fallas que se ubican en los bordes, de las dos cordilleras, que acceden al Valle. Sin embargo, MUÑOZ CRISTI ha destacado el hecho de que, más al Norte del paralelo 36°, el Valle no corresponde a una depresión continua sino que muestra una serie de cubetas o cuencas de deposición dispuestas una a continuación de la otra y separadas por el avance de los cordones de cerros de las dos cordilleras. Estas observaciones han indu-

cido, a MUÑOZ CRISTI, a suponer que tales depresiones se han originado por movimientos de encorvamiento de la antigua superficie del territorio chileno y que habrían alcanzado gran desarrollo durante el Plioceno y Cuaternario Inferior. El mismo autor hace presente que, por efecto de la flexura provocada por tales movimientos, se sobrepasó la fatiga de ruptura de las rocas y se originaron fallas de saltos progresivos; sin embargo, destaca que se encuentran fallas de larga corrida que acompañan cierto trecho el Valle Longitudinal y penetran luego en la Cordillera de la Costa e indica también la falla ubicada por LOMMITZ en el Valle Longitudinal cerca de Chillán.

Al Norte del paralelo 36° se reconocen, dentro de la Cordillera de la Costa, ciertos niveles con sedimentos cuaternarios continentales en los cuales parece evidente la existencia de dislocaciones tectónicas que solevantaron algunos bloques de la corteza y hundieron otros. Tal situación se presenta junto a la región del río Rapel en las cercanías del paralelo 34°. Estas fallas o dislocaciones serían bastante recientes, en el sentido geológico, y ellas también se presentarían en la Cordillera de la Costa de la zona afectada por los sismos del mes de mayo; a este respecto BRUGGEN cita posibles hundimientos y solevantamientos, de edad cuaternaria, para las regiones de Valdivia y Maullín.

En la región del Lago Riñihue, y más precisamente en la región del río San Pedro afectado por grandes deslizamientos de tierras, los sedimentos de limos y arcillas lacustres, ya citados, muestran numerosos plegamientos cuyo origen debe buscarse en dislocaciones tectónicas posteriores a la depositación de tales materiales y, por consiguiente, muy recientes en el sentido geológico.

En las formaciones terciarias de las provincias de Concepción y Arauco, los trabajos de las minas de carbón han permitido localizar numerosas fallas que producen dislocaciones en los mantos de carbón. También se reconocen dislocaciones semejantes dentro de los sedimentos senonianos de la misma región.

Para la Cordillera de los Andes debe considerarse, la zona a lo largo de los volcanes del sur, como una zona débil de la corteza. Dentro de la misma cordillera, el examen de las fotografías aéreas permite reconocer numerosos alineamientos que sugieren la existencia de fallas y muchas de ellas han sido ubicadas también por los reconocimientos geológicos superficiales.

Resulta, de todo lo anterior, que al sur del paralelo 36° se tienen fallas geológicas o zonas débiles de la corteza en las tres unidades fisiográficas y en las distintas formaciones de rocas que ellas contienen.

LOS TERREMOTOS

Generalidades.

Según informaciones oficiales del Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile, durante los días 21 y 22 de mayo de 1960 asolaron a Chile movimientos sísmicos, con características de terremotos fuertemente destructores, que fueron registrados en la Estación Santa Lucía del citado Instituto en la forma siguiente:

El 21 de mayo de 1960, a las 06 : 02 de la madrugada, hora de Chile, un terremoto de magnitud aproximadamente 7,75 de la Escala de Richter y cuyo epicentro, se supone, se ubica cerca de la Península de Arauco.

El 22 de mayo de 1960, a las 15 : 10 de la tarde hora de Chile, se captó un terremoto de magnitud 7,50 en la Escala de Richter y cuyo epicentro se supone ubicado cerca de la Isla de Chiloé. Treinta segundos más tarde se habría captado otro terremoto, esta vez de magnitud aproximadamente 8,75 en la Escala de Richter, cuyo epicentro quedaría ubicado en las proximidades de Valdivia.

Los sismogramas del o de los movimientos del 22 de mayo de 1960, presentan complejidades de interpretación que han inducido a suponer la ocurrencia de los dos sismos que se anotan en el párrafo anterior.

Además de los registros anteriores, la Estación Santa Lucía ha captado numerosos sismos menores, o réplicas, cuyos epicentros se ubican alternativamente en la región de la Península de Arauco y en las latitudes de Valdivia y Chiloé. Estos sismogramas están siendo analizados actualmente y se espera entregar la información correspondiente en breve plazo; especialmente provechosos en este sentido han resultado los instrumentos donados por el Gobierno de Japón y que ya prestan servicios, en la zona sur, reemplazando a las estaciones destruidas por los movimientos sísmicos.

Es del caso anotar que después de los grandes sismos y a lo largo de un período de treinta días, las réplicas han resultado excepcionalmente fuertes.

Intensidad y magnitud.

El concepto de magnitud se refiere a la energía de un movimiento sísmico y la comparación de sismos diferentes se basa en el empleo de la Escala Richter de Magnitud.

El concepto de intensidad se refiere a la fuerza de los sismos en relación con los daños que ellos provocan o en relación con la aceleración del movimiento. Para comparar la intensidad de sismos diferentes se emplean Escalas de Valores que describen los tipos de daños o señalan la aceleración de cada grado; las más conocidas son las de Rosi-Forel y Mercalli en relación únicamente con los daños y las de Cancani y Omori en relación únicamente con la aceleración. Sieberg pretendió conjugar las ventajas de las escalas de Cancani y de Mercalli y creó una escala modificada, de amplio uso internacional, que es denominada de Cancani-Mercalli-Sieberg. Esta última será utilizada para dar una idea, siquiera aproximada, de la intensidad de los sismos del sur de Chile.

La escala de Cancani-Mercalli-Sieberg comprende 12 grados que podemos describir someramente en la forma siguiente:

- | | |
|-----------|--|
| GRADO I | Aceleración 2,5 mm/seg ² . Imperceptible al hombre. |
| GRADO II | Aceleración entre 2,6 y 5 mm/seg ² . <i>Muy ligero</i> . Perceptible en personas nerviosas. |
| GRADO III | Aceleración entre 6 y 10 mm/seg ² . <i>Ligero</i> . Perceptible en pocas personas. |
| GRADO IV | Aceleración entre 11 y 25 mm/seg ² . <i>Moderado</i> . Perceptible en el interior de las casas y notado sólo por algunas personas en el aire libre. |
| GRADO V | Aceleración entre 26 y 50 mm/seg ² . <i>Algo fuerte</i> . Perceptible por toda clase de personas. |

- GRADO VI Aceleración entre 51 y 100 mm/seg². *Fuerte*. Algunas personas creen ser derribadas al suelo y se producen daños ligeros cayendo los objetos de las estanterías.
- GRADO VII Aceleración entre 101-250 mm/seg². *Muy fuerte*. Se caen objetos muy pesados, se producen daños de consideración en casas de mala construcción y las chimeneas se agrietan.
- GRADO VIII Aceleración entre 251 y 500 mm/seg². *Ruinoso*. Se producen daños aun en casas de buena construcción y caen chimeneas y torres de iglesias.
- GRADO IX Aceleración entre 501 y 1.000 mm/seg². *Destructor*. Las construcciones viejas se desploman por entero y se observan daños apreciables en muchas casas de sólida construcción.
- GRADO X Aceleración entre 1.001 y 2.500 mm/seg². *Muy destructor*. Las mejores construcciones sufren desperfectos; el pavimento se agrieta y se abren hendiduras en el suelo algo incoherente y se observa amplio movimiento en el agua de los ríos, lagos, etc.
- GRADO XI Aceleración entre 2.501 y 5.000 mm/seg². *Catástrofe*. Nada queda en pie de todas las construcciones de mampostería. Los rieles de las vías férreas se curvan y amontonan. Los suelos blandos y ricos en agua sufren dislocaciones intensas en sentido vertical y horizontal.
- GRADO XII Aceleración sobre 5.000 mm/seg². *Gran catástrofe*. Nada queda en pie de las obras construidas por el hombre.

Para algunos de los lugares visitados se tienen las siguientes estimaciones de intensidad en la Escala de Cancani-Mercalli-Sieberg.

21 de mayo

Concepción-Talcahuano-Lota-Coronel	GRADO IX
LEBU	" IX a X
Tomé-Penco	" VI a VII
Salto del Laja	" VI
Los Angeles	" VII a VIII

22 de mayo

Temuco	" VI a VII
Puerto Saavedra	" VII a VIII
Puerto Toltén	" VIII a IX
Victoria	" VI a VII
Traiguén	" VII a VIII
San José de la Mariquina-Lanco	" VII
VALDIVIA	" X
Osorno	" VII a VIII
Río Negro	" IX a X
Puerto Varas-Frutillar-Llanquihue	" VII a VIII
Puerto Montt Bajo	" X a XI
Puerto Montt Alto	" VII a VIII

Sismo del 21 de mayo de 1960.

Estimación del Epicentro:

Aunque debe considerarse solamente como una tentativa muy poco segura, se estima que el epicentro quedaría ubicado al Poniente de la Península de Arauco, dentro del Océano Pacífico, a unos 80 kilómetros de la costa de Lebu.

Para el epicentro del gran movimiento del 22 de mayo y supuesto el caso que este movimiento originó los maremotos o tsunamis, se han hecho estimaciones en base al tiempo que demoró, a contar de la hora del sismo, el primer tsunami en arribar a diversos puntos de la costa. Para el epicentro del terremoto del 21 de mayo, los valores del tiempo de arribo de los tsunamis son meras tentativas ya que los cambios de las mareas fueron entonces muy poco significativos; sin embargo, se agregan a estas tentativas las consideraciones sobre los daños en las distintas ciudades y, especialmente, en la costa de Lebu.

Area de Influencia:

La acción destructiva queda más o menos restringida a la región comprendida entre los paralelos $36^{\circ} 30'$ y 38° y, dentro de ella, con mayor intensidad en la zona costera entre Concepción y Lebu.

Directamente al Este de la ciudad de Concepción, la destrucción disminuye rápidamente y ya a unos 15 kilómetros al Este de la ciudad de Concepción los efectos son poco notables. Sin embargo, al Este de la ciudad de Lebu, se registraron daños de consideración en un tramo de casi 120 kilómetros de ancho en sentido Este-Oeste y así se han comunicado fuertes perjuicios en los pueblos de Nacimiento y Los Angeles, ubicados a unos 85 y 120 kilómetros de la costa de Lebu.

Efectos Regionales sobre la Topografía:

El fenómeno más llamativo en relación con este movimiento, es un sollevamiento del terreno observado en la costa de Lebu y estimado en 1,20 metros. Testigos oculares confirmaron en Lebu que, después del movimiento, se produjo un retroceso del mar desde la playa y que fue estimado en unos 300 a 500 metros; luego el mar recuperó lentamente su antiguo lecho y quedaron en descubierto playas de arena nunca observadas anteriormente, lo mismo que nuevos afloramientos de las rocas costeras. En el muelle de Lebu los autores constataron la diferencia entre la línea de la alta marea actual y aquella que era normal antes del terremoto. De acuerdo a lo informado por un pescador que preparaba sus avíos de pesca aquella madrugada, el retroceso del mar ocurrió aproximadamente una hora después del sismo del 21 de mayo.

Informaciones verbales permiten suponer que a lo largo de la costa, según dirección aproximadamente Norte-Sur que pasaría por Lebu, se observan sollevamientos similares. No se tienen, hasta la fecha, noticias fidedignas de lo ocurrido en Isla Santa María e Isla Mocha para precisar la extensión de este sollevamiento en sentido Norte-Sur. Sin embargo, la Oficina de Hidrografía y Navegación de la Armada ha informado que en Isla Guafo, ubicada a la latitud de $43^{\circ} 40'$ y más o menos en la línea Norte-Sur anterior, se ha observado un sollevamiento

tamiento estimado del orden de 1 a 3 metros y que se habría originado con los sismos del 22 de mayo de 1960.

Efectos locales sobre la Topografía:

En la desembocadura del río Bío-Bío, y junto a la ribera sur del mismo, se observó la existencia de numerosos conitos de barro que se presentan dentro de una zona de dunas costaneras y también en las extensas vegas pantanosas que se ubican en las riberas del Bío-Bío. Los conos de barro aparecen más o menos alineados en la zona de dunas y lo mismo en las vegas; en estas últimas son normales a los alineamientos de los conos de las dunas y paralelos al cauce del río. Los conos de barro, los cuales han prácticamente desaparecido con la acción de las lluvias, se formaron a raíz de los sismos del 21 de mayo y alcanzaron un diámetro de hasta cinco metros con 40 a 60 centímetros de altura en la parte central. El suelo es aquí de textura arenosa pero los conos consisten mayormente de limos arcillosos que han irrumpido desde las capas inferiores; corrientemente, ellos muestran una especie de cráter o vórtice desde los cuales fluyó agua subterránea. Deben considerarse como el resultado de la compactación de suelos ricos en agua subterránea.

De los derrumbes y deslizamientos que acompañaron este movimiento, los cuales no son muy significativos, se destaca la situación de la Estación de FF. CC. de Pehuén por su significado económico. Pehuén se localiza unos 25 kilómetros al Este de Lebu y sobre el camino que conduce a Curanilahue; es un pequeño caserío situado sobre un nivel de meseta que cae, poco más al Sur, en un barranco de unos 20 a 30 metros de desnivel con la meseta. Los movimientos sísmicos provocaron derrumbes que cortaron aproximadamente 40 metros de la antigua terraza; es decir, el barranco ha retrocedido hacia el Norte y compromete, en estos momentos, dos a tres casas y una línea de distribución de ENDESA que entrega fuerza eléctrica al pueblo de Lebu y a la mina de carbón Victoria de Lebu. Los derrumbes de Pehuén se han producido a través de grietas verticales, algunas de larga corrida, desarrolladas en terrenos con materiales del Plioceno de textura arenosa y fuertemente afectados por meteorización en esta parte. En las cercanías del nuevo barranco se observan numerosas de tales grietas que deben producir, en un futuro cercano y sin el auxilio de nuevos sismos, otros derrumbes salvo que se tomen las medidas de prevención adecuadas.

El Sismo en relación con las Características Geológicas:

Las rocas precuaternarias no señalan comportamiento especial, ante el movimiento sísmico del 21 de mayo, cuando no existen condiciones topográficas peculiares como las recién citadas en Pehuén.

En las formaciones sedimentarias cuaternarias sí se observan comportamientos diferenciales y ellos resultan notables en los sedimentos más modernos o poco consolidados y poco acentuados en aquellos sedimentos más antiguos con cierto grado de consolidación.

En relación con la influencia de fallas geológicas que magnifiquen los daños a lo largo o dentro de ellas puede expresarse que, de acuerdo a lo observado por los autores y de acuerdo también a lo expresado por los señores ingenieros

a cargo de las minas de carbón de Lota y Schwager, no fue notada ninguna influencia especial sobre las grandes fallas que se reconocen en dichas minas.

Al Norte de la ciudad de Concepción, en ciudades tan cercanas como son las de Penco y Tomé, los daños son notoriamente menores y lo mismo acontece directamente al Este de la ciudad de Concepción; esto excluiría la posibilidad de activamiento de fallas, con rumbo Norte-Sur, que pasen al Este de Concepción.

Al Este de Lebu, se tienen considerables daños en los pueblos de Curanilahue, Nacimiento y Los Angeles. En Curanilahue los daños son francamente mayores junto a las riberas del río que pasa por el lugar y donde se presentan materiales cuaternarios poco consolidados. No se visitó la ciudad de Nacimiento; pero es posible que los daños tengan su justificación en terrenos sedimentarios nuevos como son los que constituyen gran parte de este pueblo. En Los Angeles se tiene un subsuelo potente de materiales cuaternarios antiguos; sin embargo, las capas superiores están constituidas por arenas poco consolidadas semejantes a las observadas junto a la desembocadura del río Bío-Bío y, además, el relieve es suavemente ondulado y se presentan zonas depresionarias con niveles de aguas cercanos a la superficie. A todo lo anterior puede agregarse que el epicentro probablemente se ubique frente a Lebu y de allí resulta que no existen antecedentes visibles que justifiquen, en esta área de daños, la activación de alguna falla con corrida Este-Oeste.

Es posible que el solevamiento observado en Lebu quede ligado a alguna falla geológica activada por el movimiento. El solevamiento solamente se hace evidente al tomar como referencia la situación del mar y, hacia el Este, no han podido establecerse cambios o desplazamientos del terreno que permitan identificar tal posibilidad de falla que, supuesta de corrida Norte-Sur como parece evidente, podría a lo mejor ser localizada a través de nivelaciones de precisión capaces de comparar la situación del terreno antes y después del movimiento. Muñoz CRISTI ha informado sobre la existencia de una gran falla, de corrida aproximadamente Norte-Sur, situada en las cercanías de Lebu y deducida de sus reconocimientos geológicos en la región carbonífera.

En la zona afectada por el sismo del 21 de mayo y dentro de la región limítrofe entre el Valle Longitudinal y Cordillera de la Costa, se reconocen posibilidades de fallas de corrida Norte-Sur, las cuales, probablemente, tengan cierta relación con los daños sufridos por el pueblo de Nacimiento y también Angol. El problema, sin embargo, merece las mismas consideraciones que para el caso de Lebu y, dado que no se observan desplazamientos significativos a simple vista, únicamente un control cuidadoso de niveles permitiría apreciarlos.

AREAS LOCALES AFECTADAS POR EL SISMO DEL 21 DE MAYO

Concepción.

Situación Fisiográfica y Geológica.

La ciudad de Concepción, tal como se observa en la reproducción del plano municipal que se acompaña, muestra una región bastante plana donde se desarrolla el grueso de las edificaciones y una serie de cerros aislados que la rodean periféricamente. Dentro del plan se reconocen algunos niveles depresionarios y

lomajes muy suaves que se han esbozado en el citado plano; en partes, las depresiones quedan ocupadas por lagunas. Junto a la ciudad corren el río Bío-Bío, el cual presenta uno de los cauces más anchos de los ríos chilenos, y el río Andalién, de magnitud considerablemente inferior al anterior.

Los cerros que rodean la ciudad consisten de rocas graníticas y también de sedimentos marinos del Cretáceo Superior (Senoniano) que, como se observa en el cerro la Pólvora, indicado en el plano de referencia, se apoyan algunas veces sobre dichas rocas graníticas. Además, en las proximidades de la ciudad, se ubican sedimentos terciarios y también rocas del Basamento Metamórfico.

La zona plana de la ciudad está ocupada por un espesor de arenas negras, de textura relativamente gruesa, compuestas esencialmente de fragmentos de rocas basálticas y cuyo origen debe buscarse en materiales volcánicos de la Cordillera Andina que han sido llevados por los ríos hasta esta región. De acuerdo con un sondaje perforado para captación de aguas subterráneas en las cercanías del río Andalién, junto al camino que conduce al pueblo de Bulnes y dentro de la zona abarcada por el mapa municipal que se incluye, el espesor de arenas negras alcanza aquí unos 10 metros con una delgada cubierta superficial, de no más de 30 centímetros, de suelo areno-arcilloso. Más abajo, en el mismo sondaje, se cortaron hasta la profundidad de 70 metros arenas finas con fósiles marinos de edad Pliocena a Cuaternaria según determinación de TAVERA (paleontólogo del Instituto de Geología de la Universidad de Chile). El sondaje termina dentro de estas arenas y es posible que, hacia abajo, se encuentren sedimentos terciarios apoyados sobre sedimentos marinos del Cretáceo o sobre rocas graníticas o del Basamento Metamórfico.

Por debajo de las arenas negras superiores no se puede indicar una columna estratigráfica uniforme para el subsuelo de Concepción, ya que las capas terciarias se apoyan, según lo observado en reconocimientos geológicos anteriores, sobre una superficie geológicamente irregular.

De acuerdo con la descripción del sondaje citado, se estima que el plan de la ciudad presenta un espesor considerable de sedimentos marinos del Plioceno a Cuaternario y, sobre ellos, un espesor variable de arenas negras depositadas por la acción de los ríos Bío-Bío y Andalién. Este espesor de arenas negras debe alcanzar mayor potencia junto a los cauces actuales o antiguos de tales ríos donde, probablemente, se intercalan algunas capas de materiales más gruesos. Se habla de cauces más antiguos, porque la región de las calles Las Heras-Carrera-Maipú, conforma una zona depresionaria que habría sido ocupada y trabajada, en tiempos relativamente recientes, por creces de agua que comunicaron en esta parte los ríos Bío-Bío y Andalién. Además, hacia la zona de la bahía de San Vicente se reconocen potentes espesores de sedimentos fluviales depositados por el Bío-Bío y lo mismo ocurre junto al camino que conduce desde Concepción a Talcahuano; esta última zona, en la cual se estudia la posibilidad de construir el Aeropuerto de Carriel Sur, señala más o menos claramente la existencia de un antiguo cauce del río que desemboca en la bahía de Talcahuano.

En la ciudad de Concepción, según información del ingeniero señor Carlos Veyl, los niveles de aguas subterráneas se localizan entre 6 o poco más metros de profundidad y muy próximos a la superficie. Estas diferencias de nivel quedarían ligadas a los cambios de niveles topográficos.

Extensión de los daños.

Concepción recibió en toda su fuerza el impacto del terremoto del 21 de mayo y prueba de ello son las destrucciones totales o considerables de los antiguos edificios de ladrillos, tal como la construcción del Seminario, ubicado en calle Irarrázaval; la caída de numerosas paredes cortafuegos; el corrimiento de los techos de tejas; la caída de chimeneas; la destrucción notoria de algunos edificios de la Ciudad Universitaria; las grietas de algunos edificios de concreto; la destrucción de la edificación más débil del Cementerio, etc.

Relación de los daños con la situación Fisiográfica y Geológica.

Al margen del tipo de edificación, en algunas áreas de la ciudad se han concentrado los mayores daños. Así se destacan, entre otros, los fuertes perjuicios sufridos por la zona comprendida entre las calles Las Heras-Maipú-Carrera; la calle Chacabuco, especialmente la parte más próxima al río y la zona de la Ciudad Universitaria.

La edificación de los cerros próximos a la ciudad, pese al hecho de que esta edificación es de madera y de pobre calidad, no ha sufrido grandes perjuicios y a este respecto puede señalarse que una gran cruz, construida sobre el cerro Chepe, frente al Cementerio, no acusa perjuicios visibles.

En la reproducción del mapa municipal se incluyen, estimativamente y según información del señor Carlos Veyl, las zonas más bajas de la ciudad. Tales áreas han resultado las mayormente dañadas y de aquí se desprende, más o menos nítidamente, el mal comportamiento de los terrenos poco consolidados donde los niveles de aguas subterráneas se aproximan a la superficie. Una idea de la forma de comportarse de tales terrenos la señala claramente la existencia de los conos de barros, de la desembocadura del río Bío-Bío, indicados anteriormente.

Con respecto a la topografía, los mayores daños se asocian con las zonas depresionarias y éstas quedan ligadas, a su vez, a los materiales más nuevos originados por las creces de los ríos y con niveles de aguas subterráneas muy superficiales.

Sugerencias con respecto al futuro de Concepción.

De lo anterior resulta que la calidad del suelo ha influido sobre la magnitud de los daños sufridos por ciertas áreas de la ciudad; también resulta que la naturaleza geológica del subsuelo es conocida, en sus rasgos generales, y que las formaciones de rocas precuaternarias se comportan relativamente bien con respecto a los sismos. En base a esto los autores se permiten las siguientes sugerencias:

- 1.—Acentuar el control sobre el cumplimiento de normas antisísmicas en la edificación futura.
- 2.—Autorizar la edificación de nuevas construcciones con el requisito previo de estudios, realizados por cuenta de los propietarios de tales construcciones, sobre la calidad del suelo de fundación y las condiciones del agua subterránea en el mismo. Naturalmente, estas exigencias serán mayores según la importancia de la construcción.

Talcahuano.

Presenta daños muy similares a los de la ciudad de Concepción.

Es interesante destacar que, en el camino de Concepción a Talcahuano y junto a la planicie fluvial del antiguo curso del río Bío-Bío, se tienen comparativamente muy pocos daños; esto indicaría la existencia de un relleno de acarreos fluviales de cierto espesor, bien asentado y el cual, pese a su edad relativamente nueva, se comporta muy bien ante los movimientos sísmicos. Esta planicie constituye una de las ubicaciones estudiadas para el nuevo aeropuerto de Concepción.

Tomé-Penco.

Muestran daños considerablemente menores a los de Concepción.

Lugarejo de Coliumo (*Cercano a Dichato*).

Prácticamente sin daños causados por el terremoto pero asolado por los maremotos producidos con posterioridad al movimiento del 22 de mayo.

Coronel y Lota.

Con daños similares a los de la ciudad de Concepción. En las minas de Lota y Schwager los daños, bajo la superficie, se limitan a las construcciones de ladrillos y a caídas poco notables de pequeños bloques de rocas.

Lebu.

Con daños similares y, aparentemente, mayores que los de la ciudad de Concepción. La mina Victoria de Lebu, la cual lleva labores muy cercanas a la superficie, sufrió compresiones laterales y del techo que redujeron la sección de las galerías.

El puente carretero sobre el río de Lebu presenta desplazamiento de los rodillos que asientan la parte superior sobre los machones; el puente es de concreto, de cierta extensión, y no muestra otros daños significativos o que lo inhabiliten para el tránsito de vehículos.

En Lebu hay dos edificios nuevos y de construcción, al parecer, antisísmica, ellos son los de la Escuela y Tesorería y presentan daños únicamente en las juntas de las paredes; señalan la resistencia de este tipo de construcción contra los sismos.

Aunque las construcciones de los cerros cercanos a Lebu son muy pobres, no se observan daños en ellas ni tampoco deslizamientos de tierras.

Curanilahue.

Sufrió daños apreciables pero la construcción es muy vieja y de mala calidad. Se observan mayores perjuicios en las zonas ribereñas del río que pasa por la localidad.

Pehuén.

Lo más notable son los derrumbes provocados por la topografía local y que fueron descritos anteriormente en la página 39.

Pilpilco.

Con daños poco perceptibles y motivados por la construcción que es de madera nueva y de muy buena calidad. Sin embargo, un 30% de las chimeneas quedó fuera de servicio.

Sismo del 22 de mayo de 1960.

Estimación del Epicentro:

El movimiento sísmico del 21 de mayo no produjo grandes perturbaciones oceánicas y los mareogramas, obtenidos de la Oficina de Hidrografía y Navegación de la Armada, muestran cambios de relativa consideración únicamente para los registros de Talcahuano.

Sin embargo, los sismos del día 22 fueron seguidos de grandes marejadas y de allí se ha intentado, en forma aproximada, una estimación de la zona epicentral. Para esto se ordenaron los tiempos de llegada del primer tsunami a diversos puntos de la costa, a contar de la hora de origen del sismo, y se consideró una velocidad de propagación del tsunami del orden de los 750 kilómetros por hora. Los resultados se indican en el croquis "Estimación de los Epicentros" que se incluye; en dicho croquis se anota la altura máxima de la ola y las áreas costeras donde se produjeron sollevamientos y hundimientos.

Según una muy aproximada estimación, el epicentro del sismo más violento del día 22 se ubica en el Océano Pacífico, frente a la ciudad de Valdivia y a unos 150 kilómetros de ella. La zona epicentral quedaría localizada al Poniente de la curva 3.000 metros de profundidad y junto a fosas marinas de más de 4.000 metros de hondura.

Area de Influencia:

El sismo afectó la región comprendida entre los paralelos 38° y 44°. Lo mismo que el del día 21 de mayo su violencia fue mayor en las localidades próximas al mar donde, en numerosos lugares, fue seguido de maremotos o tsunamis tanto o más destructores que el terremoto.

Efectos regionales sobre la Topografía:

Por las observaciones realizadas en Puerto Saavedra, Puerto Toltén y Valdivia, especialmente en esta última localidad, y de acuerdo con informaciones fidedignas logradas para otros puntos de la costa resulta más o menos evidente que el movimiento provocó una hundimiento de toda la región costera afectada.

La magnitud del hundimiento es de difícil apreciación por cuanto se materializa en la inundación, por el mar, de extensas áreas de terreno; pero estos terrenos consisten de materiales sedimentarios poco consolidados, de alta porosidad y con fuerte contenido de aguas subterráneas que, en muchas partes,

muestran haber sido fuertemente compactados por los movimientos. Además, los terrenos inundados tenían, antes del terremoto, diferencias de nivel pequeñas con respecto al nivel medio del mar que fueron rebajadas por la compactación de los sedimentos. Sin embargo, al margen de lo anterior, se aprecia evidentemente un hundimiento de carácter regional como lo atestigua la inundación, por el mar, de parte del valle del río Angachilla cercano a Valdivia.

Las dificultades para interpretar en sus verdaderas proporciones el hundimiento de la costa, el cual se presentaría desde Puerto Saavedra hasta Isla de Chiloé, nacen del hecho de que no se disponen de hitos de referencia adecuados que hayan resistido la violencia de los últimos terremotos.

Es interesante citar nuevamente la información, obtenida de fuentes responsables de la Oficina de Hidrografía y Navegación de la Armada, acerca de un solevantamiento en Isla Guafo ascendente de 1 a 3 metros.

Al Este de la región costera afectada no se observan, a simple vista, cambios topográficos regionales y valen las mismas consideraciones hechas anteriormente, de que tales cambios podrían ser investigados con nivelaciones de precisión comparativas.

Efectos locales sobre la Topografía:

En las cercanías de la desembocadura en el mar de los ríos de la región, donde los sedimentos son de naturaleza fina y de alta porosidad, se han producido asentamientos que han bajado el lecho del río y, posiblemente, han expulsado cierta cantidad de aguas subterráneas.

Las regiones afectadas por maremotos o tsunamis muestran el lavado de bancos de arenas que han sido arrastrados al mar y originado profundas modificaciones, de carácter local, en la topografía. Tal es el caso de Puerto Saavedra indicado gráficamente en el bosquejo que se incluye y denominado "Croquis de situación de Puerto Saavedra". A veces, los tsunamis han provocado la depositación de capas de arenas marinas, con alto contenido de cloruros, en terrenos agrícolas y tal ocurre en el lugarejo de Coliumo, cercano a Dichato. El flujo y reflujo de las grandes mareas ha eliminado también la existencia de ciertas barras de arenas, como es el caso de Corral, y creado mayores profundidades del lecho del mar en tales lugares.

Dentro del campo de acción propio de los terremotos, las modificaciones de tipo local más acentuadas consisten en derrumbes y deslizamientos de tierras para los terrenos naturales y corrimientos o asentamientos para los terrenos de relleno artificial.

El movimiento en relación con las Características Geológicas:

Respecto del comportamiento de las diversas formaciones geológicas con relación a los sismos del día 22, caben las mismas consideraciones establecidas para los terremotos del día 21. Esto es, las formaciones precuaternarias se comportan en forma más o menos uniforme y sufrieron comparativamente pocos daños las estructuras asentadas en ellas, mientras los terrenos con sedimentos cuaternarios, presentan el cuadro de mayores daños; destacándose los sufridos en terrenos de sedimentos más nuevos, con niveles de aguas subterráneas próximos a la superficie.

Párrafo aparte merecen los catastróficos perjuicios sufridos por todas las obras asentadas en relleno artificial, como sucede con las edificaciones de Puerto Montt-Valdivia y con los terraplenes de vías férreas y camineras.

Respecto de la influencia de fallas geológicas sobre la magnitud de los daños en ciertas áreas, resultan consideraciones semejantes a las establecidas en relación con el sismo del día 21 de mayo. Esto significa que, si bien se conocen numerosas fallas dentro de la región afectada, no aparece muy clara la relación de las mismas con la intensidad de daños y menos su activamiento a raíz de los sismos. Es del caso anotar, por ejemplo, que dentro de la zona débil señalada por la ubicación de los volcanes del sur de Chile solamente se produjo actividad, y ello dos días después de los sismos, en la región del volcán Puyehue.

Con relación a los numerosos deslizamientos de tierras, comunicados para la región de la Cordillera Andina, cabe anotar que tales deslizamientos son el resultado de ciertos desequilibrios de masas de rocas, corrientemente sedimentarias, originados por factores diversos, entre los cuales se incluyen: pendientes pronunciadas, ligadas muchas veces a la erosión de aguas lluvias acentuada por el roce o tala de bosques; cambios en las condiciones del agua subterránea; planos de agrietamiento debidos a fallas o deslizamientos más antiguos, etc. Los fuertes movimientos provocados por un sismo son suficientes para aumentar estos desequilibrios y producir los derrumbes o deslizamientos; así, se reconoce que los terremotos van frecuentemente acompañados de este tipo de fenómenos.

Los autores desean destacar, sin embargo, que lo anterior no excluye la existencia de fallas geológicas asociadas o activadas por los últimos sismos. Pero, sí pretenden destacar que, salvo la presencia de desplazamientos superficiales como los observados a lo largo de la famosa Falla San Andrés de California, es muy difícil pronunciarse en forma categórica y con fundamentos a este respecto. Solamente cabe intentar aquí nivelación de precisión, y reconocimientos geológicos muy detallados, que permitan comparar la situación anterior y posterior a un sismo. Este es el camino seguido en Japón cuyas características geológicas son, en muchos puntos, notablemente similares a las de Chile.

Se desea establecer, por último, que los epicentros de los movimientos del sur de Chile aparecerían ligados a fallas geológicas ubicadas dentro del Océano Pacífico y en las fosas marinas que se presentan al Poniente de la costa chilena, como se muestra en el croquis "Estimación de los Epicentros".

Los Tsunamis.

Antes de entrar a exponer con cierto detalle la situación de algunas áreas locales afectadas por el sismo del día 22 de mayo, se desean establecer breves comentarios en torno de este tipo de fenómenos.

Los tsunamis consisten en una serie de ondas oceánicas originadas a partir de movimientos sísmicos localizados en el mar y que son ampliamente conocidos por los habitantes de las costas del Pacífico. El término tsunami es de origen japonés y él ha sido adaptado para señalar lo que en Chile se conoce como maremoto. No todos los sismos submarinos originan tsunamis, pero sí se asocian todos los tsunamis conocidos a tal tipo de fenómenos previos.

Las velocidades de propagación de las ondas son del orden de los 600 a 900 kilómetros por hora y, basándose en cálculos de carácter teórico que han sido comparados con el tiempo controlado prácticamente durante el transcurso de los tsunamis, el Coast and Geodetic Survey ha trazado cartas de tiempos de pro-

pagación de estas ondas y organizado un sistema de alarma para todo el Pacífico. Una de tales cartas tiene como centro a las Islas Hawaii y ello por ser estas islas frecuentemente azotadas por tales fenómenos; además, en Hawaii se encuentra el organismo central del Sistema de Alarma, al cual pertenece Chile por intermedio de la Oficina de Hidrografía y Navegación de la Armada.

Se ha podido observar que el tsunami consiste de una serie de tres a diez ondas con un período de 10 a 20 minutos y su llegada va antecedita, generalmente, por un recogimiento de las aguas que puede descubrir grandes extensiones del fondo marino.

Después de los tsunamis, tal como se ha observado en los mareogramas recibidos por la Oficina de Hidrografía y Navegación de la Armada, con posterioridad al 22 de mayo, se producen violentos oleajes que duran varios días y que abarcan grandes extensiones de la costa; esta situación se observó en los mareogramas recibidos desde Arica al Sur.

Cuando las ondas oceánicas se acercan a islas o continentes, el efecto combinado de la disminución del fondo marino y las complejidades de la topografía costera, concentran la enorme energía cinética de estas ondas en algunas áreas y las disminuyen en otras. Se observa, entonces, cómo puntos relativamente cercanos sufren con muy diversa intensidad el fenómeno.

Efectos secundarios son el de producir, por simpatía, oscilaciones en agua más o menos encerrada como en bahías de boca muy estrecha o ríos que desembocan en el mar. En este caso las aguas encerradas pueden alcanzar grandes alturas, mayores que las de las olas originales, y avanzar encauzadas a lo largo de los ríos o de las bahías de boca estrecha.

De los tsunamis ocurridos en los últimos diez años, el que más afectó la costa chilena corresponde al del 4 de noviembre de 1952 y que tuvo cierta intensidad en el puerto de Talcahuano, donde las olas alcanzaron una altura de 3,60 metros.

El tsunami producido por los sismos del 22 de mayo de 1960 causó muy severos daños en algunos lugares como Coliumo, cerca de Dichato; Puerto Saavedra, Puerto Toltén, Mehuín, Corral, Maullín, Ancud, etc, para la costa de Chile; además, él causó fuertes daños en las Islas Hawaii y también en algunas regiones costeras de Japón, donde hubo numerosas pérdidas de vidas, junto con innumerables daños materiales, por la circunstancia infortunada de que el sistema de alarma no funcionó, por razones imprevisibles, en la misma y efectiva forma que para Hawaii.

De la observación de Coliumo, Puerto Saavedra y Toltén se desprende una estrecha relación entre la violencia del tsunami y la topografía costera local. Esto es especialmente notorio en Coliumo que puede considerarse como una bahía o entrada de mar, de boca muy estrecha, que se prolonga hacia el continente en un largo valle encauzado entre dos cordones ribereños. En Coliumo los efectos propios de los sismos fueron insignificantes; pero, a continuación del terremoto del día 22 de mayo, se produjo una serie de avances y retrocesos del mar que prácticamente asolaron todo el vallecito. El avance máximo del mar fue de unos 2.500 metros hacia valle arriba y los terrenos quedaron cubiertos con una delgada capa de arena, seguramente con abundante contenido de cloruros que han de inhabilitar, por algunos 3 a 4 años, el aprovechamiento agrícola de dichos terrenos. Coliumo también habría sido muy fuertemente afectado por el terremoto del 4 de noviembre de 1952 y citado más arriba.

AREAS LOCALES AFECTADAS POR EL SISMO DEL 22 DE MAYO

Puerto Saavedra.

Situación Fisiográfica y Geológica.

Según se observa en el "Croquis de Situación de Puerto Saavedra", que se acompaña al informe, Puerto Saavedra se ubica dentro de una extensa planicie de materiales fluviales finos depositados por el sistema hidrográfico del río Imperial. El rasgo fisiográfico más característico lo constituye el cordón litoral que encauza, por largo trecho, el río Imperial y lo separa del mar junto a la línea de costa; el origen de este cordón, compuesto de arenas finas, se debe a los sedimentos que arrastra el río y que son redepositados por corrientes marinas, las cuales actúan cerca de la costa y contribuyen también con su propia carga de sedimentos, y remodelados por el viento en forma de dunas.

De acuerdo con lo anterior es un hecho cierto que en el futuro, presumiblemente cercano, se vuelvan a depositar tales arenas en las partes actualmente arrasadas por el mar y se llegue a una situación muy semejante a la conocida antes del 22 de mayo de 1960.

Hacia el sur, Puerto Saavedra está limitado por un cordón de cerros bajos y que en su parte más alta muestra niveles de terrazas o mesetas. Estos cerros, los llamados Huilqui y Maule, como también los niveles de mesetas, están compuestos de arcillas compactas que superficialmente se presentan muy descompuestas por meteorización; ellas encierran algunas capas arenosas y corresponden a materiales del Plioceno a Cuaternario Inferior. Deben aparecer, por debajo del relleno fluvial, en la parte plana de Puerto Saavedra.

Hacia el Norte, continúan los terrenos planos conformados por el relleno sedimentario del río Imperial y, más al Norte, siguen cordones de cerros que, junto a la Costa, están constituidos por los mismos materiales del cordón austral y, más al Este, se prolongan en las rocas del Basamento Metamórfico.

Extensión de los daños.

Dentro de la construcción de Puerto Saavedra, la cual es fundamentalmente de madera, los terremotos causaron comparativamente pocos daños; pero, éstos fueron magnificados a un grado increíble por los tsunamis posteriores.

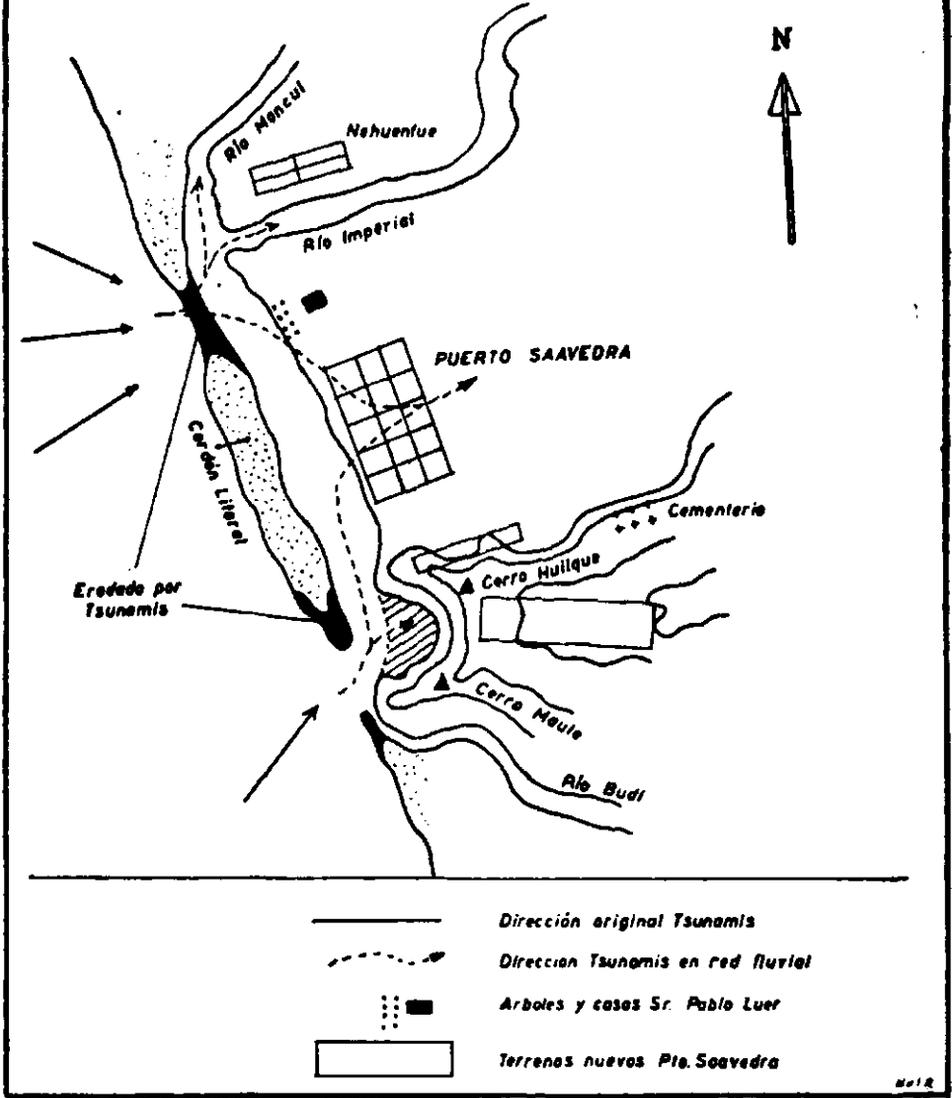
Relación de los daños con la situación Fisiográfica y Geológica.

El plan de la localidad es de composición bastante uniforme y, salvo una especie de malecón construido junto al río donde existe algo de relleno artificial, los daños causados por el terremoto son también bastante uniformes.

Respecto de los perjuicios causados por los tsunamis, ellos son catastróficos en la parte central del pueblo y se relacionan con el encauzamiento de las olas a lo largo del río, como se indica en el croquis ya citado. En Puerto Saavedra se habrían presentado tres grandes oleajes sucesivos; el primero arrasó el cordón litoral y el tercero, el más violento, arrasó el pueblo llevando algunas casas a cerca de 3 kilómetros tierra adentro.

Es importante destacar en este informe que una casa de Puerto Saavedra resistió casi incólume el impacto de los tsunamis; ella pertenece al señor Pablo

CRDQUIS DE SITUACION DE PUERTO SAAVEDRA



Ma 12

Lüer y se ubica un poco al Norte del pueblo junto a la ribera del río Imperial. Está situada en terreno un poco más alto que el resto del pueblo y muestra una corrida de árboles antepuesta a la ribera del río; es evidente que esta corrida de árboles, la cual es de pequeña magnitud, disminuyó en forma efectiva y notable la fuerza del tsunami protegiendo la casa de una destrucción cierta. En esta misma casa el mar alcanzó una altura del orden de 60 centímetros sobre los fundamentos mientras, en las casas restantes, el mar alcanzó un sobrenivel de varios metros.

Sugerencias con respecto al futuro de Puerto Saavedra.

Es conocido el hecho de haberse proyectado la reconstrucción de Puerto Saavedra junto a los cerros que la limitan por el sur y, más precisamente, en las laderas y niveles aterrizados de los mismos.

La mayor altura en relación al mar eliminaría el peligro de pérdidas de vidas por efecto de los tsunamis dentro de la nueva ubicación. Respecto de movimientos sísmicos, es discutible las ventajas de construcciones asentadas sobre las laderas compuestas de materiales fuertemente meteorizados y por ello de muy mala calidad; sin embargo, es posible que las edificaciones ubicadas en las terrazas resistan con mayor éxito que las del plan antiguo.

Lo anterior señala las ventajas de los nuevos terrenos. Pero, los materiales naturales de la nueva ubicación son de muy baja permeabilidad y de muy difícil drenaje para ciertos tipos de necesidades, inherentes a localidades pobladas, tales como eliminación de aguas servidas y de aguas lluvias. El mismo material natural está, superficialmente, muy fuertemente descompuesto y se transforma rápidamente en un lodazal que requiere considerar, dentro del nuevo pueblo, costos adicionales para la habilitación de calle o caminos de acceso.

Los terrenos de la parte alta son relativamente de poca extensión y no se comparan, para las necesidades de desarrollo futuro, con aquellos ubicados en el plan antiguo. Por otro lado, los nuevos terrenos no tendrían ningún aprovechamiento agrícola y no se comparan tampoco con las tierras bajas, de reconocida buena calidad en este sentido, que con toda seguridad seguirán siendo explotadas por sus propietarios reacios a abandonar tales predios.

En base a lo anterior, los autores se permiten señalar las siguientes sugerencias.

- 1.—Reconstruir Puerto Saavedra en el mismo plan antiguo.
- 2.—Destinar una cierta cantidad de los terrenos que enfrentan al río Imperial y al mar, a plantaciones de árboles que protegerán efectivamente contra nuevos tsunamis.
- 3.—Observar, a lo largo de un tiempo prudente, la reconstrucción natural del cordón litoral que ahora aparece cortado en gran extensión y favorable para un proyecto de Puerto Marítimo.
- 4.—Construir, a lo largo de la ribera del río Imperial, un malecón de buena calidad que proteja las tierras de Puerto Saavedra contra la acción erosiva del río Imperial y que ahora, con la acción del flujo y reflujos del mar, aumentada por la nueva boca marina, alcanza proporciones considerables y dignas de ser analizadas a la mayor brevedad.

Puerto Toltén.

Situación Fisiográfica y Geológica.

Las características de Puerto Toltén son muy similares a las de Puerto Saavedra y se encuentra también, como rasgo más característico, un cordón litoral antepuesto a la costa que separa por largo trecho el río Toltén del Océano Pacífico. El sistema hidrográfico del río Toltén es de mayor magnitud que el del río Imperial y se tienen planicies fluviales bastante más extensas que en el lugar anterior.

El plan de la ciudad se encuentra a mayor distancia del mar y queda limitado hacia el Norte y el Sur por cordones de rocas del Basamento Metamórfico que son especialmente notorios junto a la ribera sur del río. Algunos cortes del terreno permiten suponer que también aquí se encontrarían, por debajo del relleno sedimentario del río Toltén, sedimentos finos de edad Pliocena a Cuaternaria Inferior.

Extensión de los daños.

Puerto Toltén muestra mayores destrozos causados por el terremoto que Puerto Saavedra y menores destrozos que el lugar anterior en relación con los tsunamis. Lo primero se justificaría por una menor distancia a la zona epicentral y, lo segundo, porque la localidad poblada se encuentra a mayor distancia del mar y también porque el tsunami habría sido aquí menos violento. Esto se manifiesta en el hecho de que el cordón litoral fue solamente rebajado de altura en algunos puntos y erodado únicamente junto a la desembocadura del río.

Relación de los daños con la situación Fisiográfica y Geológica.

Con relación a los terremotos los daños resultan bastante uniformes y se observan compactación y asentamientos de materiales naturales en las zonas ribereñas con niveles de aguas muy próximos a la superficie. Respecto de los tsunamis, se encuentran menores daños en las construcciones cercanas a los cordones de cerros de la parte sur del pueblo y, al igual que en Puerto Saavedra, en aquellas que tenían cierta protección forestal.

Sugerencias con respecto al futuro de Puerto Toltén.

También se conoce el hecho de haber sido proyectada una nueva ubicación del pueblo de Toltén a unos cinco kilómetros aguas arriba de su ubicación actual. Respecto de esto se permiten las siguientes consideraciones:

La nueva ubicación deja detrás cinco kilómetros de extensión de terrenos agrícolas de muy excelente calidad; hacia aguas arriba desde la línea costera, el valle del río Toltén se estrecha y no presenta la misma considerable superficie plana que aparece cerca de la costa. Finalmente, cabe repetir nuevamente que las plantaciones forestales constituyen una efectiva defensa contra tsunamis.

Según lo anterior, los autores desean sugerir:

- 1.—Estudiar la reconstrucción de Puerto Toltén en las cercanías inmediatas del plan antiguo.

- 2.—Destinar terrenos próximos a la costa a la plantación de árboles.
- 3.—Arbitrar medidas para controlar las inundaciones que todos los inviernos se presentan en Toltén y lo mismo es válido para Puerto Saavedra.

Carahue.

Este lugar fue reconocido en forma muy somera pero se señala porque indica claramente la influencia de la topografía local en los daños causados por los sismos.

Carahue se ubica en una serie de niveles aterrazados que bajan hasta el río que pasa por el lugar y están compuesto de rocas del Basamento Metamórfico, muy fuertemente meteorizadas, y por sedimentos fluviales cuaternarios antiguos.

Los daños son comparativamente muy leves en las terrazas y bastante acentuados en los cambios de pendientes de las terrazas o laderas de las mismas.

Camino San José de la Mariquina-Valdivia.

Este camino, conjuntamente con el que conduce desde Puerto Varas a la ciudad de Puerto Montt, resulta altamente significativo para apreciar la gran intensidad de los daños en los terraplanes artificiales.

El camino se ubica sobre un terreno compuesto por arenas y ripio finos fluviales que, en partes, llevan materiales más finos y al parecer de origen lacustre. El relieve del terreno es bastante suave pero se intercalan algunas lomas y pequeñas depresiones; éstas últimas presentan, corrientemente, pequeños cursos de aguas y han obligado a construir numerosos terraplanes artificiales para pasarlas con el camino.

Poco al sur de San José de la Mariquina, que muestra comparativamente muy pocos daños, el camino se encuentra sistemáticamente destruido, en todos los terraplanes o depresiones del terreno, con grandes grietas o, francamente, hundimientos de la faja pavimentada. La situación anterior hace crisis en el río Pichoy donde el puente fue totalmente destruido por el sismo.

Valdivia.

Situación Fisiográfica y Geológica.

La ciudad de Valdivia se ubica sobre terrenos de suaves ondulaciones y cuyas alturas varían entre los 3 y los 15 metros sobre el nivel del mar. Está recorrida por una de las redes fluviales de mayor magnitud en Chile y que se compone fundamentalmente de los ríos Calle-Calle y Cruces; la confluencia de ambos constituye el río Valdivia que desemboca en el mar.

En las cercanías inmediatas de Valdivia, dentro del sistema fluvial del río principal, se encuentran una serie de islas y de ellas la más conocida es Isla Teja donde se ubican los edificios de la Universidad Austral de Chile.

Respecto de la situación geológica, predominan aquí las rocas del Basamento Metamórfico; ellas afloran en algunos cordones de Isla Teja y alcanzan gran desarrollo al Poniente de la misma. Aguas arriba del río Calle-Calle, por ambas riberas, se encuentran también las rocas metamórficas. Además de las rocas del Basamento, existen pequeños afloramientos de sedimentos terciarios

con fósiles y de ellos el más conocido es el situado junto al lugar denominado Santo Domingo en el camino Valdivia-La Unión. Algunos trabajos geológicos realizados por la Universidad Austral, señalan la existencia de otros afloramientos terciarios en Isla Teja y también al Poniente de la misma; en los trabajos citados se anotan algunos pequeños afloramientos de rocas graníticas que aparecen en las cercanías de Corral.

El plan de la ciudad de Valdivia está compuesto por un relleno sedimentario cuaternario que, en algunos puntos, alcanza una profundidad de 130 metros, como ha sido constatado en sondajes para captación de aguas subterráneas. Al Este de la ciudad, el relleno sedimentario disminuye en la medida del alejamiento de las riberas de los ríos y así las rocas fundamentales se localizan, cerca del límite oriental de la ciudad, a una profundidad de 96 metros. Aguas arriba del río Calle-Calle, las rocas del Basamento se acercan a la superficie y un sondaje ubicado cerca del lugar denominado Cuesta Soto, en las terrazas fluviales inmediatas al río, cortó tales rocas a la profundidad de 67 metros.

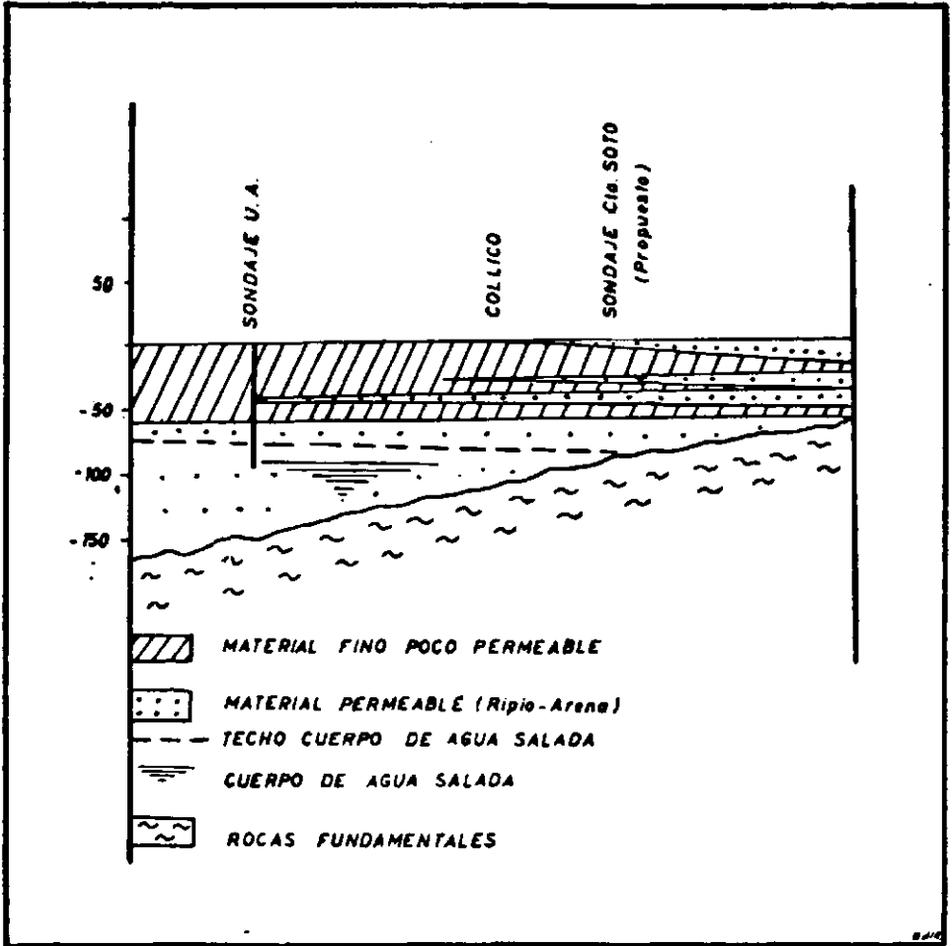
Según un informe realizado por uno de los autores a comienzos del año 1959, en relación con problemas de aguas subterráneas y con la contaminación de las aguas dulces por aguas saladas situadas a cierta profundidad, el relleno sedimentario está constituido por una serie de acarreo fluviales que varían desde arenas y ripios permeables, propios de condiciones de escurrimiento más o menos fuertes, hasta materiales de limos y arcillas propios de condiciones de escurrimiento muy tranquilas o de carácter lacustre. Entre las capas más finas, las cuales alcanzan gran desarrollo desde la superficie hasta aproximadamente la cota -35 metros bajo el nivel del mar, se intercalan cenizas volcánicas pulverulentas muy finas.

Entre las cotas de -35 a -45 metros aproximadamente, se localizan materiales fluviales de granulometría gruesa que contienen napas de aguas dulces. Más abajo, siguen alternaciones de capas de granulometría fina con capas de sedimentos más gruesos; estos últimos tienen especial desarrollo alrededor de las cotas -70 a -80 metros y contienen napas de aguas dulces en la parte superior y aguas francamente saladas en la parte inferior.

El cuerpo de agua salada de las cotas -70 a -80 metros bajo el nivel del mar manifiesta salinidad, propia de agua de mar, en la región de Isla Teja de acuerdo a un sondaje realizado para la Universidad Austral. La salinidad disminuye en los sondajes ubicados a mayor distancia de las riberas del río; aquí se han constatado menores contaminaciones por cloruros que prácticamente desaparecen a cierta distancia aguas arriba del río Calle-Calle. Así, en la zona de Cuesta Soto, se han perforado dos sondajes con magnífico rendimiento de aguas dulces que no muestran contaminación por cloruros.

La situación anterior se muestra en la figura adjunta donde se indica un corte supuesto del terreno, entre los sondajes de Universidad Austral y Cuesta Soto. La figura ha sido tomada del informe ya citado y ella fue confeccionada para señalar las favorables expectativas de un sondaje ubicado en Cuesta Soto; tales expectativas fueron comprobadas posteriormente al construir el sondaje.

Además de todos los materiales que conforman el relleno sedimentario de Valdivia, los cuales han sido reseñados más arriba, se localizan en el sondaje de la Universidad Austral fragmentos de conchas marinas cuaternarias a la profundidad señalada por las cotas -60 a -70 metros bajo el nivel del mar. Fragmentos semejantes se han ubicado en algunos de los sondajes, construidos cerca de la ribera del río Valdivia, a pocos metros de la superficie.



Valdivia

Perfil del terreno entre Isla Teja y Cuesta Soto

Cabe agregar que en algunos cortes del terreno dentro de la ciudad de Valdivia se observan, cerca de la superficie, materiales de arenas de granulometría fina a media, cementados por cenizas volcánicas grises plomizas, denominados corrientemente Cancagua. Este material se continúa más abajo en los sedimentos finos ya descritos.

De acuerdo con el informe de uno de los autores sobre las condiciones del agua subterránea en Valdivia, el curso inferior de la red fluvial de la zona habría constituido siempre un Estuario; es decir, un cauce fluvial de pequeña o casi nula diferencia de nivel con el mar. En estas condiciones las mareas tenderían a propagarse a gran distancia hacia aguas arriba y el flujo del agua, especialmente las corrientes de descarga hacia el mar, habrían contribuido a la erosión de las riberas formando anchos cauces o canales. Aquí se habrían presentado una serie de oscilaciones de la costa en forma de hundimientos y solevantamientos; en los períodos de hundimientos las aguas del mar penetrarían fuertemente hacia el interior y se produciría un verdadero estancamiento de las aguas del río correspondiendo sus depósitos, en esta época, a materiales muy finos y propios de aguas estancadas. En los períodos de solevantamiento, los fuertes desniveles originados entre el curso superior del río y su desembocadura en el mar, aumentarían la fuerza de arrastre del mismo y se lavarían los materiales finos, que serían llevados lejos hacia mar adentro, mientras se depositarían acarreos de granulometría más gruesa tales como arenas y ripios permeables. Durante las épocas de invasión del mar, se depositarían conchas marinas en las zonas más bajas y cercanas al mar.

La descripción anterior, efectuada en los primeros meses del año 1959, resulta claramente aplicable a la situación que vive Valdivia en estos momentos.

El relleno artificial.

En el relieve ondulado de la ciudad de Valdivia se encuentran numerosas zonas depresionarias que, en su gran mayoría, se han originado en el transcurso del tiempo por la acción de cursos de aguas superficiales, desarrollados por la cuantía de las precipitaciones de aguas lluvias en la zona.

En la medida que Valdivia logró su dimensión actual, las zonas depresionarias debieron ser cubiertas para disponer de terrenos capaces de contener las nuevas edificaciones y así ha resultado que importantes extensiones de la ciudad presentan una cubierta de relleno artificial variable desde un pequeño espesor a poco más de cinco metros.

El relleno artificial ha ido cumpliendo necesidades inmediatas para el desarrollo de la ciudad y de allí que no sea uniforme aún en áreas relativamente cercanas. No es uniforme en el tipo de material de relleno empleado y tampoco lo es en el grado de compactación o asentamiento del mismo. Desde el punto de vista del material empleado, muchas veces queda la impresión de que se han vaciado los sedimentos de las zonas más altas dentro de aquellas más bajas y resulta algo dificultoso poder señalar cuándo el material permanece in situ o cuándo es artificial; en otros lugares el relleno consiste de arenas y ripios finos obtenidos de las zonas ribereñas de Isla Teja y, en otras zonas, consiste especialmente de escombros dentro de los cuales se reconocen fragmentos de ladrillos o restos de utensilios domésticos.

Una idea muy clara de la magnitud del relleno se obtiene al observar la reproducción, que se incluye, de un plano urbano de Valdivia dibujado en el año 1858. En este plano se marcan las áreas pantanosas o depresionarias con terrenos poco adecuados para la edificación; gran parte de estas áreas pantanosas fueron ocupadas posteriormente por nuevas construcciones y tal situación se indica en la reproducción, incluida en el presente informe, de uno de los planos urbanos actuales. En ambas reproducciones aparecen calles de nombres comunes que sirven de comparación.

Extensión de los daños.

Los señores arquitectos que laboran actualmente en la confección del Nuevo Plano Regulador de Valdivia, han realizado un catastro de daños de las edificaciones y de tal catastro se desprende que los mayores perjuicios se localizan dentro de las áreas pantanosas del plano realizado en el año 1858; es decir, en las zonas cubiertas por relleno artificial.

En la región del muelle del río Valdivia también se concentran daños mayores y lo mismo ocurre a lo largo de la Avenida Arturo Prat, próxima al río, donde se tienen espesores importantes de materiales de relleno artificial.

En las zonas más altas, con terreno natural, los daños son comparativamente muy reducidos y esto se observa claramente en los edificios del Regimiento Cau-policán y en la extensa Población Nueva que se encuentra cerca del edificio del Hospital Regional. Las construcciones de esta Población consisten de casas de dos pisos; el primer piso es de ladrillos con cadenas y pilares de concreto y, el segundo, de madera. Ellas han resistido perfectamente bien los intensos movimientos.

En terrenos naturales altos se ubican dos estructuras que han sufrido exagerado daño. Ellas son el edificio del Hospital Regional, de varios pisos y que ha quedado inhabitable, y un estanque elevado de grandes proporciones que posiblemente deba demolerse en razón de los daños sufridos. Estas estructuras son dignas de ser estudiadas con mayor detalle ya que se ubican en terrenos de buena calidad, naturales, y sus daños parecen responder a deficiencias de construcción o diseño.

Los daños en relación con la situación Fisiográfica y Geológica.

Valdivia constituye un muy claro ejemplo del comportamiento diferencial que muestran, ante los movimientos sísmicos, los terrenos artificiales con respecto a los naturales.

Respecto de los sedimentos naturales de la ciudad de Valdivia, no se observan daños diferenciales en las zonas más altas y alejadas de las riberas de los ríos. Junto a las riberas de los ríos, en las calles inmediatas a los mismos, parecen haber más perjuicios aun dentro de los materiales naturales; tales daños responderían a compactación y asentamiento de tales terrenos naturales que, en estas regiones, contienen aguas subterráneas cercanas a la superficie.

Con relación a la topografía, se notan claramente los mayores perjuicios dentro de las áreas depresionarias pero, como expresárase anteriormente, dichas áreas se ligan generalmente a espesores de relleno artificial o a materiales naturales de poca coherencia resultante del hecho de que, aquí, el agua de lluvias permanece largo tiempo estancada.

Sugerencias con respecto al futuro de Valdivia.

El movimiento sísmico del mes de mayo de 1960 ha puesto de realidad la extensión que alcanza el relleno artificial dentro de la ciudad y lo mismo el mal comportamiento de las estructuras edificadas sobre tal relleno. El catastro de daños confeccionado por los señores arquitectos de Valdivia y su relación directa con el plano de 1858, donde se muestran las áreas pantanosas y depresionarias, ha permitido lograr una apreciación bastante fidedigna de cuáles son las zonas de más mala calidad para la fundación de edificios.

Por otra parte, los antecedentes geológicos de la ciudad de Valdivia y los antecedentes logrados de los diversos sondajes perforados para captación de aguas subterráneas, no señalan condiciones dentro de los terrenos naturales que inhiban la construcción, sobre ellos, de grandes edificios; tales edificios tampoco deben resultar severamente dañados por nuevos movimientos sísmicos si ellos son construidos de acuerdo a las normas antisísmicas y de acuerdo a estudios locales de las características del subsuelo.

De lo anterior se desprende que la ciudad debe ser reconstruida, en su ubicación anterior, aplicando la dolorosa experiencia obtenida a través de los sismos del mes de mayo.

En relación con la reconstrucción, los autores se permiten señalar las siguientes sugerencias:

- 1.—Otorgar autorización para las nuevas edificaciones previo informe, evacuado por personal competente, sobre la naturaleza del suelo en el lugar correspondiente.
- 2.—Para edificios de no más de dos pisos, otorgar tales permisos de edificación cuando se compruebe que los terrenos son naturales y no de relleno artificial.
- 3.—Para edificios de más de dos pisos en terrenos naturales, otorgar los permisos con exigencias de estudios de la naturaleza del subsuelo que sean más rigurosas, según aumente el número de pisos o la complejidad del edificio.
- 4.—No autorizar la construcción de edificios de más de cuatro pisos en terrenos de relleno artificial.
- 5.—Exigir, para autorizar la construcción de edificios de hasta cuatro pisos en terreno artificial, acabados estudios sobre la naturaleza del relleno, la calidad del subsuelo natural y el sistema de fundaciones.
- 6.—Permitir la construcción de casa habitación, de uno a dos pisos, en zonas con relleno artificial previa la aprobación, por personal competente, de los sistemas de fundación y de los estudios del suelo y subsuelo.

Río Negro.

Esta localidad fue reconocida en forma muy rápida; sin embargo, merece ser citada aquí por cuanto muestra un cuadro de intensos daños que no se justifican claramente, ni por la calidad de los terrenos, ni tampoco por la peculiar topografía del lugar.

Los terrenos de Río Negro consisten en arenas y ripios finos, de naturaleza fluvial, que se muestran bastante bien asentados y que se han comportado en muy buena forma en otras regiones del sur con respecto a los sismos. Río Negro

se ubica sobre una especie de colina limitada por depresiones al comienzo y al final del pueblo; este tipo de topografía parece ser no muy adecuado para resistir movimientos sísmicos pero, en todo caso, la magnitud de los daños es muy destacada y ella resalta al compararla con los perjuicios sufridos por las localidades pobladas ubicadas inmediatamente al Norte y al Sur del pueblo de Río Negro.

Según lo anterior, se estima que este lugar merece ser estudiado con mayor detalle para pretender lograr una explicación de la cuantía de los daños sufridos.

Región del Lago Llanquihue.

Situación Fisiográfica y Geológica.

La región occidental del Lago Llanquihue está ocupada por cordones de materiales glaciares, de relieve suavemente ondulado, los cuales se prolongan más al Poniente en planicies de materiales fluviales o glaciofluviales bien asentadas. Por debajo de los cordones morrénicos se localizan arenas y sedimentos finos, de características lacustres, los cuales han sido descritos anteriormente.

Las planicies fluviales y los cordones morrénicos que limitan el lago, se ubican a varias decenas de metros sobre la cota del nivel de aguas de éste y así resulta que los pueblos ribereños se desarrollan tanto en la parte alta como en las tierras bajas inmediatamente vecinas al lago.

La localidad de Llanquihue se encuentra inmediata al río Maullín, que desagua al lago y allí se tienen, en el valle del río, materiales sedimentarios nuevos depositados por éste y con niveles de aguas subterráneas próximos a la superficie.

Extensión de los daños.

En las regiones altas de las localidades de Frutillar, Llanquihue y Puerto Varas se encuentran, comparativamente, muy pocos daños. En las tierras bajas, cercanas al nivel de aguas del lago, se aprecian daños más notorios que son destacados en el pueblo de Llanquihue.

Los daños en relación con la situación Fisiográfica y Geológica.

Los mayores daños observados en las tierras bajas de Llanquihue y Puerto Varas se justifican por la existencia de aguas subterráneas cercanas a la superficie; lo mismo vale para Llanquihue pero aquí se agrega el mal comportamiento de terrenos sedimentarios nuevos, depositados por el río Maullín, y que son ricos en aguas subterráneas.

Camino de Puerto Varas a Puerto Montt.

Este camino se extiende a lo largo de una extensa planicie fluvial o glaciofluvial cuyos sedimentos presentan rodados y bloques sueltos de rocas graníticas. En partes, la planicie va cruzada por depresiones y en todas estas depresiones la faja pavimentada muestra daños que son destacadísimos en las zonas con terraplenes artificiales. Poco antes de acceder a Puerto Montt se encuentra una depre-

sión, de considerable amplitud, donde se reconoce la acción de cursos de aguas superficiales; en esta depresión los daños del pavimento alcanzan grandes proporciones.

Puerto Montt.

Situación Fisiográfica y Geológica.

La ciudad de Puerto Montt se ubica sobre una serie de niveles de terrazas que van escalonadas hasta acceder a la playa de Puerto Montt. Los materiales de las terrazas corresponden a sedimentos fluviales y glaciofluviales compuestos de ripios o gravas, arenas y materiales más finos intercalados. En los cambios de nivel de las terrazas se presentan fuertes pendientes donde los materiales toman el aspecto de escombros de faldas; corresponden a los mismos acarreo de las terrazas que están revueltos y se han originado por derrumbes de los materiales trabajados por la meteorización y las aguas lluvias.

Poco más al Este de Puerto Montt, en la localidad denominada Playa Pelluco y más precisamente junto al camino que une los dos lugares, se encuentran en la parte baja potentes espesores de limos y arcillas de origen lacustre entre los cuales, según MUÑOZ CRISTI, se encuentran capas con desarrollo en Varves que serían netamente glaciares. En el mismo camino se encontró un afloramiento, bastante local, de un material brechoso muy cementado compuesto por clastos de rocas basálticas y graníticas; este afloramiento podría asociarse con alguna de las glaciaciones ocurridas durante el Cuaternario en el Sur de Chile.

En la parte más baja de la ciudad de Puerto Montt se encuentra, lo mismo que en Valdivia, un potente espesor de material de relleno artificial cuyo comportamiento ha sido desastroso en relación con los movimientos sísmicos recientes.

Extensión de los daños.

Las partes altas de Puerto Montt tienen, comparativamente, muy pocos daños. En los cambios de pendiente de las terrazas se observan derrumbes provocados por el movimiento y, consecuentemente, daños notorios en algunas partes. En la parte baja los daños son de carácter general y realmente impresionantes. En la Playa Pelluco, ubicada a poca distancia al Este de Puerto Montt, los daños son prácticamente insignificantes en relación con aquellos de la parte baja del puerto.

Relación de los daños con la situación Fisiográfica y Geológica.

Los sedimentos cuaternarios fluviales y glaciofluviales de las terrazas se han comportado muy bien con respecto a los movimientos y lo mismo acontece con los materiales naturales de la zona de Playa Pelluco; pero, aquí, la edificación es muy pequeña para lograr comparaciones efectivas.

Las edificaciones en las laderas han sufrido daños notables en las partes que llevan materiales muy sueltos y los cuales entraron en movimiento con los sismos. Las laderas más suaves presentan bastante menores daños que aquellas más pronunciadas.

La construcción de la parte baja de la ciudad, especialmente en las cercanías del malecón del muelle, muestra daños muy severos y gran parte de los edificios están en el suelo o deben ser demolidos. La relación de estos daños con el relleno artificial aparece perfectamente clara y valen las consideraciones hechas con respecto a Valdivia. Se nota aquí cierto empuje del terreno hacia el mar que, en partes, parece haberse desarrollado dentro del mismo relleno artificial y también por desplazamientos, en la misma dirección, de los materiales naturales situados al pie del cambio de nivel entre la playa y la primera terraza.

Sugerencias con respecto al futuro de Puerto Montt.

Respecto de la reconstrucción de la ciudad, los autores se permiten señalar las siguientes sugerencias:

- 1.—Eliminar de la zona baja todos los edificios futuros de ciertas dimensiones. Con estos se logrará reducir la carga soportada por el terreno artificial y disminuir el peligro potencial de nuevos movimientos sísmicos.
- 2.—Iniciar la idea anterior llevando a la parte alta todos los edificios de utilidad pública.
- 3.—Destinar la zona baja a extensas áreas verdes y construcciones ligeras que constituyan núcleos habitacionales dependientes del Gobierno y tales como poblaciones modelo para pescadores. La tutela del Gobierno podría asegurar que dichos núcleos sean construidos con miras a soportar los movimientos sísmicos y sin consideraciones económicas de carácter subalterno.
- 4.—Construir muros de defensa en las laderas con pendientes fuertes y especialmente en aquellas zonas con peligro latente de derrumbes.
- 5.—Destinar el máximo esfuerzo económico a la construcción de un muelle portuario de características capaces de soportar el esfuerzo combinado de movimientos sísmicos y terrenos de relleno artificial.
- 6.—Considerar la posibilidad de reconocer la situación del relleno artificial actual y propender a realizar las modificaciones que resulten necesarias para otorgarle mayor solidez y consistencia.

Lago Riñihue.

Sólo desea citarse que fue visitado este lugar y se recibió allí amplia información de los señores ingenieros de ENDESA; tanto en relación con la naturaleza del fenómeno de los deslizamientos, como de los trabajos desarrollados para evitar una gran avalancha de agua sobre las localidades pobladas ubicadas hacia aguas abajo.

Los méritos del trabajo cumplido por ENDESA son de público conocimiento y resulta este organismo el más indicado para informar sobre todo lo relacionado con la situación del Lago Riñihue.

CONCLUSIONES

- 1.—Los sismos sufridos por Chile durante el mes de mayo de 1960 afectaron, con caracteres de terremotos, el área comprendida entre los paralelos 36° 30' y 44°.

El primer gran movimiento sísmico se produjo el día 21 de mayo, a las 06.02, hora de Chile, asolando la región situada entre los paralelos $36^{\circ} 30'$ y 38° .

El 22 de mayo de 1960, a las 15.10, hora de Chile, se registró un segundo terremoto y luego, treinta segundos más tarde, un tercero que fue el más violento y devastó la zona comprendida entre los paralelos 38° y 44° .

Todos los sismos causaron mayores perjuicios en las localidades próximas a la costa.

- 2.—El terremoto del día 21 de mayo se estima de magnitud 7,75 en la Escala de Richter. Su intensidad, según la Escala de Cancani-Mercalli-Sieberg, se supone de grado IX en la ciudad de Concepción y de grado IX a X en el pueblo de Lebu.

El terremoto más violento del día 22 de mayo se estima de magnitud 8,75 en la Escala de Richter, según informaciones del Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile. Su intensidad se supone de grado X en Valdivia; IX a X en Rfo Negro y X a XI en la parte baja de Puerto Montt.

- 3.—Se supone, en primera estimación, que el epicentro del movimiento del 21 de mayo se ubica en el Océano Pacífico, frente al pueblo de Lebu y a unos 80 kilómetros de la costa.

Se estima, en base a los datos proporcionados por la propagación de los maremotos o tsunamis que siguieron a los sismos del 22 de mayo, ubicado el epicentro del movimiento más violento en el Océano Pacífico, frente a la ciudad de Valdivia y a unos 150 kilómetros al Poniente de la misma.

- 4.—Dentro del área afectada se ubican tres unidades fisiográficas: Cordillera de la Costa, Valle Longitudinal, Cordillera de los Andes.

Estas unidades contienen diversas formaciones de rocas cuyos orígenes abarcarían desde el Precámbrico al Cuaternario. La primera época cubre los acontecimientos geológicos acaecidos hace más de 500 millones de años y, la segunda, los correspondientes al último millón de años.

En las tres unidades se reconoce la posibilidad de existencia de numerosas fallas geológicas.

- 5.—Los terrenos con rocas precuaternarias no acusan comportamiento diferencial con respecto a los sismos del mes de mayo; pero, los daños son mayores en las zonas con pendientes fuertes y donde estas rocas están afectadas por meteorización.

Los terrenos con formaciones sedimentarias cuaternarias si acusan daños diferenciales y ellos son francamente mayores dentro de los sedimentos más modernos, especialmente cuando se observan niveles de aguas subterráneas próximos a la superficie.

Los terrenos con relleno artificial acusan los daños más notorios.

- 6.—Los movimientos sísmicos provocaron cambios topográficos locales y regionales.

Cambios topográficos locales se materializan en compactación de sedimentos

nuevos, formación de conos de barro, derrumbes o deslizamientos de tierras, erosión de bancos de arenas, etc.

Cambios topográficos regionales se manifiestan en un solevantamiento observado en la zona de Lebu e informado en Isla Guafo. Además, en hundimientos de la costa que son apreciados claramente en Valdivia y que se prolongarían por el Norte hasta Puerto Saavedra y, por el Sur, hasta Isla de Chiloé.

- 7.—Los cambios topográficos regionales se aprecian en la costa en relación con la situación del mar. Al Este de la costa no se aprecian, superficialmente a simple vista, tales cambios topográficos.
- 8.—Al Este de la costa no se encuentran indicaciones superficiales que permitan suponer la existencia de fallas geológicas activadas por los movimientos sísmicos recientes.
Posiblemente, nivelaciones de precisión realizadas antes y después de los movimientos sísmicos permitirían apreciar cambios topográficos relacionados con fallas geológicas al Este de la costa.
- 9.—Concepción muestra los mayores daños asociados a zonas depresionarias donde los niveles de aguas subterráneas se acercan a la superficie.
- 10.—Talcahuano-Lebu-Coronel-Lota presentan daños similares a los de ciudad de Concepción aunque, probablemente, son ellos mayores en Lebu.
Se encuentran muy pocos daños en Tomé-Penco y también en las localidades ubicadas al Este de Concepción.
Las regiones situadas al Este de Lebu muestran fuertes daños y ellos se extienden hasta la ciudad de Los Angeles, ubicada unos 120 kilómetros al Este. Estos mayores daños estarían asociados a los materiales sedimentarios de las localidades afectadas, a la situación del epicentro del sismo y a la calidad de la construcción. No se podrían asimilar ellos a la influencia de una falla geológica de dirección Este-Oeste.
- 11.—Puerto Saavedra y Puerto Toltén fueron afectados fuertemente por los terremotos del día 22 de mayo y, con mayor devastación, por los maremotos o tsunamis que originaron. Los efectos derivados de los terremotos son mayores en Puerto Toltén; los daños causados por los tsunamis son más notorios en Puerto Saavedra.
- 12.—Con los tsunamis se asocian profundos cambios de la topografía local y ellos son muy acentuados en Puerto Saavedra.
- 13.—La violencia de los tsunamis queda ligada a la topografía de la costa. Bahías de boca muy estrecha, como el lugarejo de Coliumo cercano a Dichato, y ríos que corren largo trecho en cauces paralelos y próximos a la costa, como es el caso del río Imperial de Puerto Saavedra y Toltén de Puerto Toltén, magnifican la altura de las olas del tsunami y provocan mayores perjuicios.
- 14.—Pequeñas plantaciones de árboles, ubicadas enfrentando el mar, son una protección efectiva y segura contra los tsunamis.

Son convenientes árboles que se desarrollen en troncos gruesos y follaje frondoso.

- 15.—Existen razones, principalmente de carácter económico, que hacen necesario un estudio muy concienzudo para aceptar los cambios de ubicación proyectados para Puerto Saavedra y Puerto Toltén.
- 16.—Es muy probable que la erosión causada por los tsunamis, especialmente en Puerto Saavedra, sea eliminada en el futuro cercano por la reconstrucción natural de las antiguas barras o cordones de arenas.
- 17.—El camino de San José de la Mariquina-Valdivia y lo mismo el de Puerto Varas-Puerto Montt constituyen ejemplos, dignos de un texto de estudio, para aquilatar los daños que experimentan los terraplenes artificiales con movimientos sísmicos intensos.
- 18.—En Valdivia los mayores daños aparecen francamente asociados a terrenos de relleno artificial.
El subsuelo de Valdivia no presenta condiciones que inhabiliten la construcción de grandes edificios sobre terrenos naturales.
- 19.—La situación de los mayores daños en las localidades ribereñas del Lago Llanquihue muestra la relación entre la cuantía de éstos y las condiciones de aguas subterráneas con niveles próximos a la superficie.
- 20.—Puerto Montt muestra daños excesivos en la parte baja, asociados a terrenos con relleno artificial, y daños comparativamente insignificantes en la parte alta. Los daños son también destacados en las laderas de pendientes abruptas y especialmente cuando se presentan materiales sueltos o de escombros de faldas.
- 21.—Río Negro constituye un caso muy especial ya que muestra daños excesivos, los cuales no pueden asociarse, en forma más o menos clara, a sus características topográficas peculiares ni a la calidad de los materiales del suelo y subsuelo. Presenta una especie de incógnita sísmica que podría ser despejada con mayores estudios.
- 22.—La única relación de actividad volcánica, con los movimientos sísmicos, se encuentra en la erupción local de la zona del Volcán Puyehue.
- 23.—Los grandes derrumbes y deslizamientos producidos en las zonas de la Cordillera Andina deben atribuirse al desequilibrio de grandes masas de rocas, corrientemente sedimentarias, los cuales fueron acentuados por los sismos hasta provocar los deslizamientos.
Estos desequilibrios se originan por diversos factores entre los cuales se incluyen: pendientes abruptas, ligadas a roce de bosques y acción de aguas lluvias, cambios en las condiciones de las aguas subterráneas, grietas provocadas por deslizamientos antiguos o planos de fallas locales, etc.

SUGERENCIAS

DE CARÁCTER GENERAL.

1.—Crear un Comité u organismo nacional destinado a Investigaciones Sísmicas y que comprenda el aspecto tanto netamente científico del asunto, como el aspecto práctico de señalar medidas preventivas adecuadas a las condiciones chilenas.

Esta sugerencia no se indica en el texto del informe; pero, ella resulta obvia al considerar la frecuencia de estos fenómenos a lo largo de todo el territorio de Chile.

El Comité puede ser localizado en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, donde se cuenta con una serie de Institutos Científicos directamente relacionados con el problema, y prolongarse en todos aquellos otros organismos nacionales cuyas actividades normales guardan relación con los fenómenos sísmicos en cualesquiera de sus múltiples facetas.

- 2.—Acentuar el estricto cumplimiento de las normas antisísmicas, o de las modificaciones que sean aprobadas para éstas, en los edificios de mayor importancia.
- 3.—Exigir, en cada construcción importante, estudios sobre la naturaleza del suelo y las condiciones del agua subterránea.
- 4.—Controlar, de un modo severo y por personal adecuado, la construcción de terraplenes artificiales en caminos y vías férreas.
- 5.—Observar, a lo largo de cierto tiempo, la reconstrucción natural de aquellas barras o cordones de arenas destruidos por los sismos. Tal reconstrucción natural puede limitar las posibilidades de habilitación de nuevos puertos marítimos.
- 6.—Evitar la construcción de edificios en laderas de fuertes pendientes.
- 7.—Propender a la plantación de árboles, enfrentando al mar, en las regiones costeras y especialmente en las localidades asoladas por tsunamis o maremotos.

DE CARÁCTER LOCAL.

CONCEPCIÓN.

- 8.—Autorizar la edificación de nuevas construcciones con el requisito previo de estudios, realizados por cuenta de los propietarios de tales construcciones, sobre la calidad del suelo de fundación y las condiciones de aguas subterráneas en el mismo. Aumentar las exigencias de dichos estudios según aumente la importancia de la construcción.

PUERTO SAAVEDRA.

- 9.—Reconstruir Puerto Saavedra en el mismo plan antiguo.
- 10.—Destinar una cierta cantidad de terrenos a la plantación de árboles, que enfrenten el mar, como protección de los efectos de tsunamis o maremotos.
- 11.—Observar, a lo largo de un tiempo prudente, la reconstrucción natural del cordón litoral que ahora aparece cortado en gran extensión y favorable para un proyecto de puerto marítimo.
- 12.—Construir, a lo largo de la ribera del río Imperial, un malecón de buena calidad que proteja las tierras de Puerto Saavedra contra la acción erosiva del río Imperial que ahora, con la acción del flujo y reflujo del mar aumentada por una nueva boca marina, alcanza proporciones considerables y dignas de ser analizadas a la mayor brevedad.

PUERTO TOLTÉN.

- 13.—Estudiar la reconstrucción de Puerto Toltén en las cercanías inmediatas del plan antiguo.
- 14.—Destinar terrenos próximos a la costa para la plantación de árboles.
- 15.—Arbitrar medidas para controlar las inundaciones que todos los años afectan a Puerto Toltén. Esto mismo es válido para Puerto Saavedra.

VALDIVIA.

- 16.—Otorgar autorización para las nuevas edificaciones previo informe, evacuado por personal competente, sobre la naturaleza del suelo en el lugar correspondiente.
- 17.—Para edificios de no más de dos pisos, otorgar tales permisos de edificación cuando se compruebe que los terrenos son naturales y no de relleno artificial.
- 18.—Para edificios de más de dos pisos en terrenos naturales, otorgar los permisos con exigencias de estudios de la naturaleza del suelo y subsuelo que sean más rigurosas, según aumente el número de pisos o la complejidad del edificio.
- 19.—No autorizar la construcción de edificios de más de cuatro pisos en terrenos de relleno artificial.
- 20.—Exigir, para autorizar la construcción de edificios de hasta cuatro pisos en terreno de relleno artificial, acabados estudios sobre la naturaleza del relleno, la calidad del subsuelo natural y el sistema de fundaciones.

21.—Permitir la construcción de casas habitaciones, de uno a dos pisos, en zonas con relleno artificial previa la aprobación, por personal competente, de los sistemas de fundación y de los estudios del suelo y subsuelo.

PUERTO MONTT.

22.—Eliminar de la zona baja todos los edificios futuros de ciertas dimensiones.

23.—Iniciar la idea anterior llevando a la parte alta todos los edificios de utilidad pública.

24.—Destinar la zona baja a extensas áreas verdes y construcciones ligeras que constituyan núcleos habitacionales dependientes del Gobierno y tales como poblaciones modelo para pescadores. La tutela del Gobierno podría asegurar que dichos núcleos sean construidos con miras a soportar los movimientos sísmicos y sin consideraciones económicas de carácter subalterno.

25.—Construir muros de defensa en las laderas con pendientes fuertes y especialmente en aquellas zonas con peligro latente de derrumbes.

26.—Destinar el máximo esfuerzo económico a la construcción de un muelle portuario de características capaces de soportar el esfuerzo combinado de movimientos sísmicos y terrenos de relleno artificial.

27.—Considerar la posibilidad de reconocer la situación del relleno artificial actual y propender a realizar las modificaciones que resulten necesarias para otorgarle mayor solidez y consistencia.

BIBLIOGRAFIA

BRUGGEN, JUAN (1950). Fundamentos de la Geología de Chile. Imprenta Instituto Geográfico Militar. Santiago de Chile.

COMISIÓN GUBERNATIVA (1940). Informe sobre los efectos producidos por el terremoto de enero de 1939. Anales Instituto de Ingenieros de Chile; volumen LIII.

LOMNITZ, CINNA (1959). Investigaciones Gravimétricas en la región de Chillán. Instituto de Investigaciones Geológicas; Boletín N° 4. Santiago de Chile.

MUÑOZ CRISTI, JORGE (1950). Geología de Chile: en Geografía Económica de Chile, tomo 1. Corporación de Fomento de la Producción. Fundación Pedro Aguirre Cerda. Santiago de Chile.

MUÑOZ CRISTI, JORGE (1960). Contribución al Conocimiento Geológico de la Cordillera de la Costa en la Zona Central. Revista Minerale del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. Talleres Gráficos Periodística Chile. Santiago de Chile.

A N E X O

Descripción de fotografías

Sismo del 21 de mayo de 1960

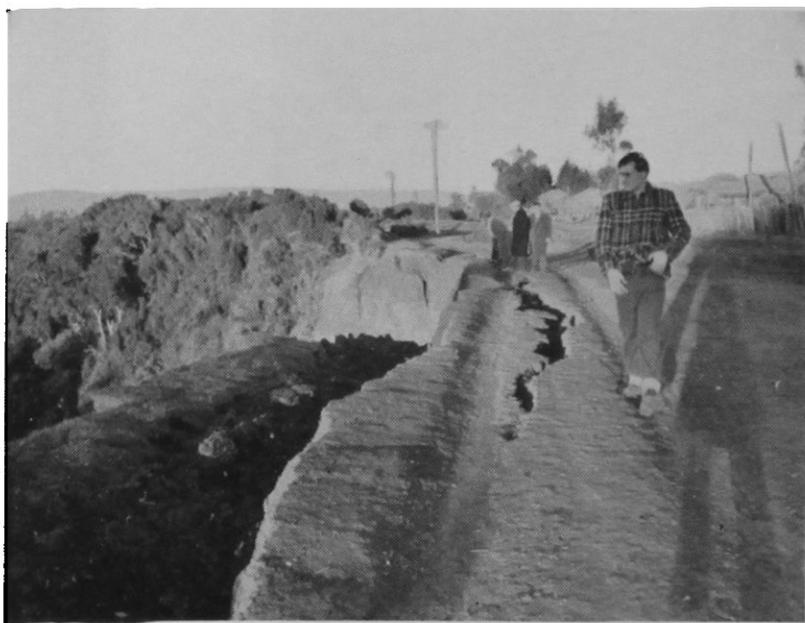


Lebu: Daños en Iglesia de Lebu

Sismo del 21 de mayo de 1960



Pehuén (camino de Lebu a Curanilahue): Derrumbes de tierras



Pehuén (camino de Lebu a Curanilahue): Derrumbes y grietas verticales

Sismo del 21 de mayo de 1960



Concepción: Conos de barro en desembocadura sur río Bio-Bio

*Concepción: Conos de barro
en desembocadura sur río
Bio-Bio*



Sismo del 22 de mayo de 1960



Coliuno (cerca de Dichato): Bahía de boca muy estrecha afectada por los tsunamis

Sismo del 22 de mayo de 1960



Puerto Saavedra: Al fondo cordón litoral cortado por los tsunamis. En primer plano árboles inundados por el mar



Puerto Saavedra: Otra vista de la zona anterior. Se observa el oleaje del mar junto a los árboles

Sismo del 22 de mayo de 1960



Valdivia: Daños en calle Picarte y dentro de zona con relleno artificial



Valdivia: Población Nueva ubicada en cercanías Hospital Regional. La Población, prácticamente sin daños, está asentada en terreno natural. El estanque elevado, al fondo, sufrió muy graves perjuicios

Sismo del 22 de mayo de 1960



Valdivia: Camino de Valdivia a La Unión. Terrenos inundados por el mar en zona de Santo Domingo



Valdivia: Camino de San José de la Mariquina a Valdivia. Destrucción Puente Pichoy

Sismo del 22 de mayo de 1960



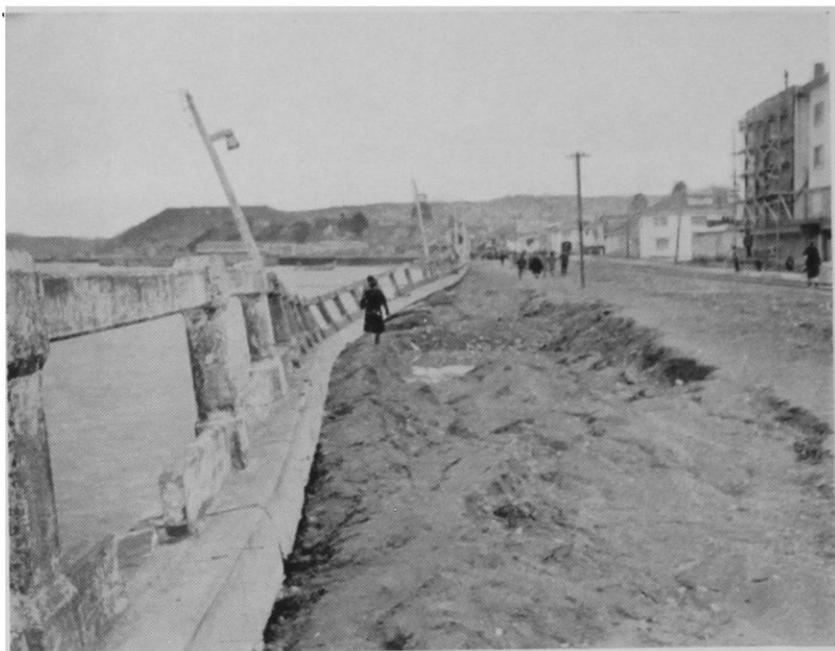
Lago Riñihue: Vista parcial de los deslizamientos en río San Pedro. Al fondo, farellón con ripio fluvial en la parte superior y capas de limos, arenas y arcillas en la parte inferior

Sismo del 22 de mayo de 1960



Río Negro: Calle principal de Río Negro. Aun las casas de madera aparecen fuertemente dañadas

Sismo del 22 de mayo de 1960



Puerto Montt: Daños en terreno de relleno artificial junto a la Costanera



Puerto Montt: Daños en Hotel de Turismo en zona de relleno artificial

Tiempo de arribo del
1er. Tsunami a center
del terremoto del 21-5-60

2 h. 00 m.
1 h. 50
1 h. 40
1 h. 30
1 h. 20
1 h. 10
1 h.

78°

ALTURA MAX. DE LOS TSUNAMIS

20
10
0 m.

+ 1 m. Solevamiento (+)
0 m.
- 1 m. Hundimiento (-)
- 2 m.

N.
N.M.

74°

36°

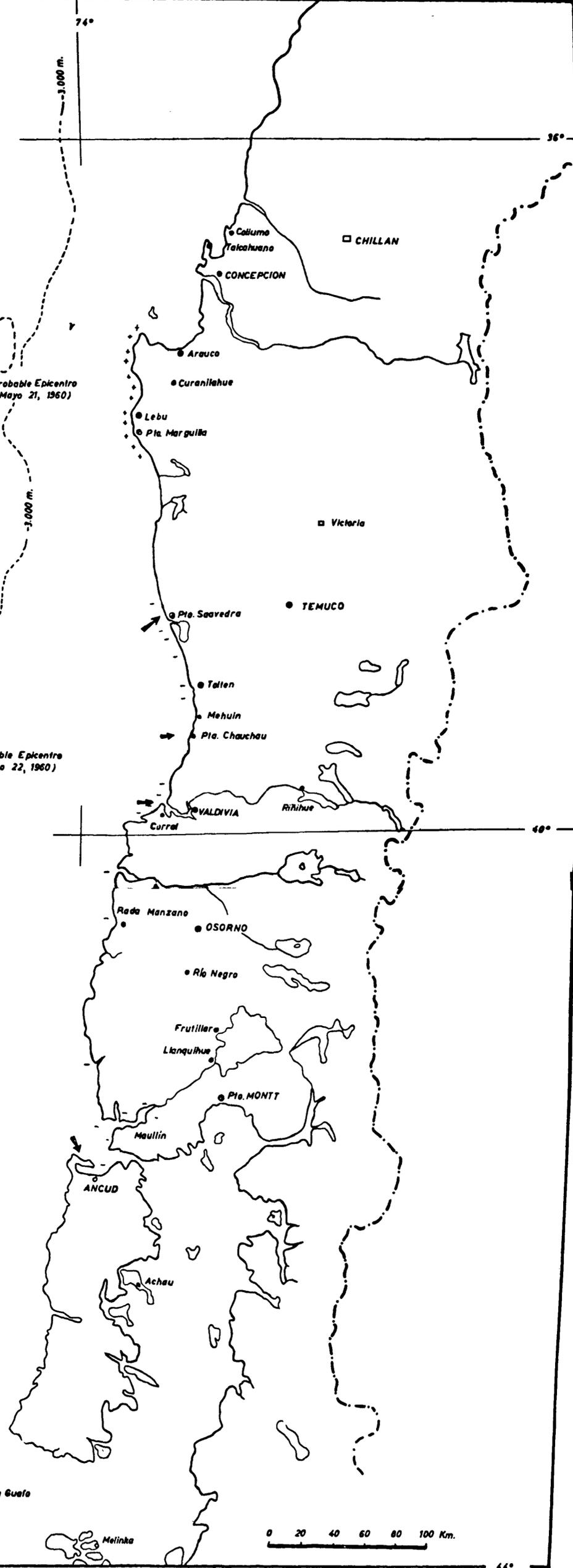
ESTIMACION DE EPICENTROS

- + SOLEVANTAMIENTO
- HUNDIMIENTO
- ➔ DIRECCION DE LOS TSUNAMIS

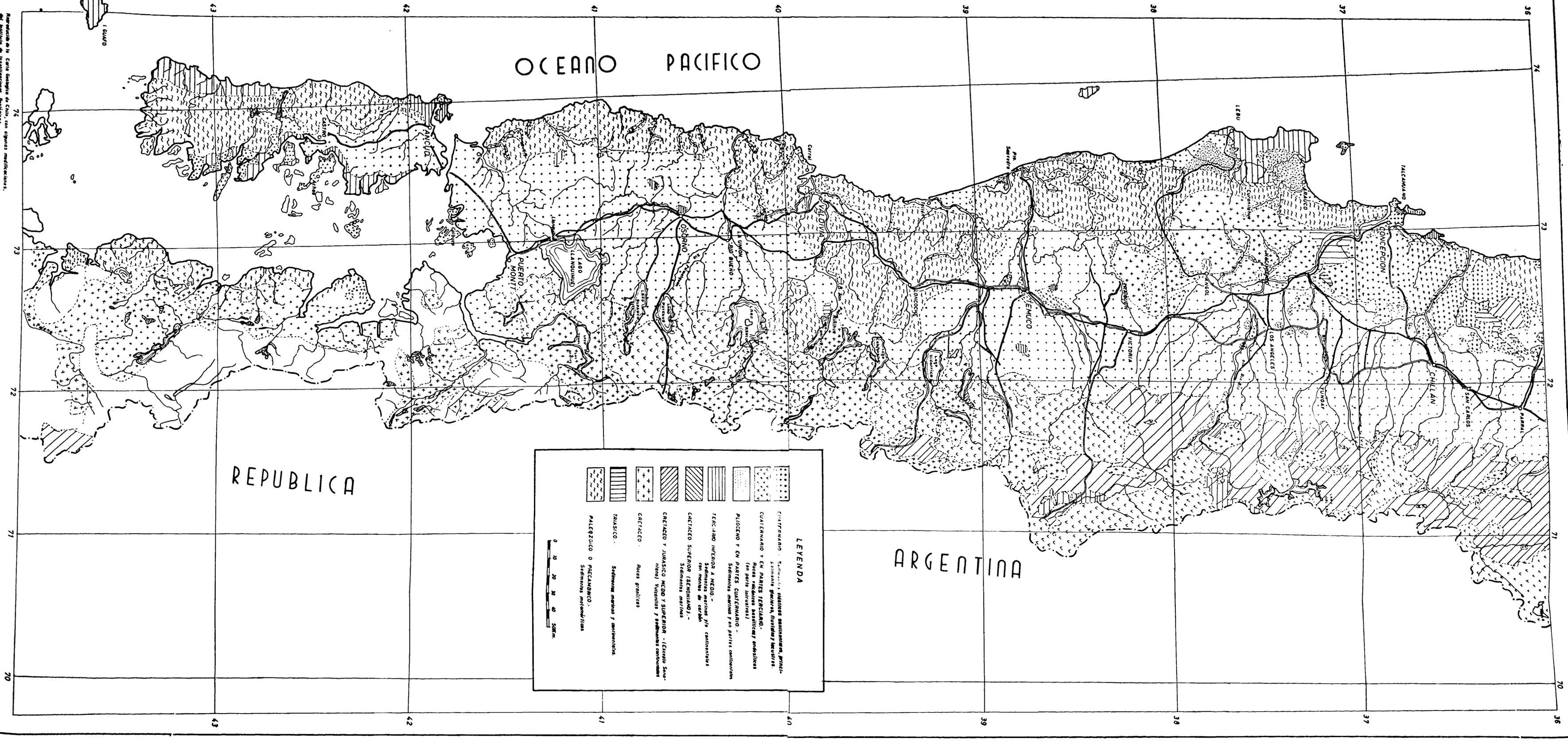
Probable Epicentro
(Mayo 21, 1960)

Probable Epicentro
(Mayo 22, 1960)

-4026 m.
-4191 m.
-4026 m.



0 20 40 60 80 100 Km.



OCEANO PACIFICO

REPUBLICA

ARGENTINA

LEYENDA

	CUATERNARIO - Sedimentos recientes continentales, principalmente aluviales, fluviales y lacustres.
	CUATERNARIO Y EN PARTES TERCIARIO - Rocas volcánicas basálticas andesíticas (en parte intrusivas)
	PLIOCENO Y EN PARTES CUATERNARIO - Sedimentos marinos y en partes continentales
	TERCIARIO INTERIOR A MEDIO - Sedimentos marinos y/o continentales con mucha ceniza
	CRETACEO SUPERIOR (SENONIANO) - Sedimentos marinos
	CRETACEO Y JURASICO MEDIO Y SUPERIOR - (Escudo Suroccidental) Volcanos y sedimentos continentales
	CRETACEO - Rocas graníticas
	TRIASICO - Sedimentos marinos y continentales
	PALEOZOICO O PRECAMBRICO - Sedimentos metamórficos

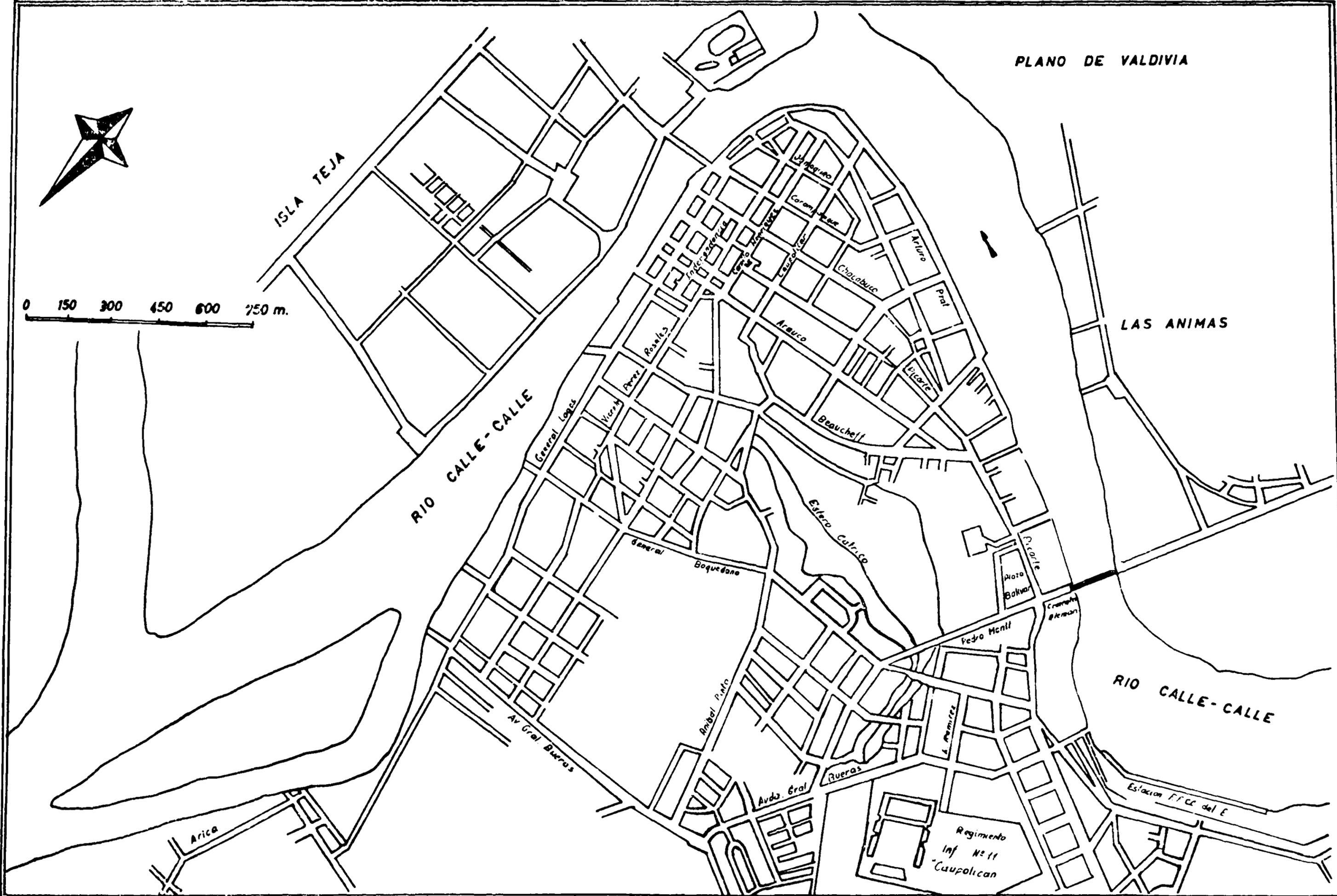
0 10 20 30 40 50m

República de Chile. Carta Geológica de Chile, con algunas modificaciones, del Instituto de Investigaciones Geológicas.

PLANO DE VALDIVIA



0 150 300 450 600 750 m.



ISLA TEJA

RIO CALLE-CALLE

LAS ANIMAS

RIO CALLE-CALLE

Arica

Av Gral Barros

Amabel Pinto

Avda. Gral

Rueras

A. Ramirez

Pedro Menil

Plaza Bolivar

Cronista Aleman

Licarte

Beaucheff

Arauco

Chacabuco

Auro

Pral

Coronel

Uspiraino

Independencia

Rosales

Perez

Nizkor

General Lagos

General

Boquedano

Estero Cabrero

Pucarle

Regimiento Inf N° 11 'Caupolican'

Estacion F.F.C.C. del E