

# **OBSERVACIONES E INTERPRETACION DE LOS TERREMOTOS CHILENOS DE 1960**

Por

**PIERRE SAINT AMAND**



COMUNICACIONES DE LA ESCUELA DE GEOLOGIA

Año 1 Número 2

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

**SANTIAGO DE CHILE**

ABRIL, DE 1961

Pierre Saint Amand



OBSERVACIONES E INTERPRETACION DE  
LOS TERREMOTOS CHILENOS DE 1960

Comunicaciones de la Escuela de Geología  
Año I Número 2

*Universidad de Chile*  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

*Santiago de Chile*  
Abril, de 1961

## P R E L I M I N A R

Dentro de los deberes que corresponden a los organismos científicos con motivo de la crisis sísmica que afectó al territorio a partir del mes de Mayo pmo. pdo., está el de hacer su estudio y recoger todas las experiencias necesarias para contribuir de una manera concreta a hacer de ellas fenómenos menos graves en el futuro. Todo el ritmo del país se vió alterado durante más de cuatro meses y pasarán algunos años antes de que la región afectada recupere su impulso normal. Por otra parte, tal vez la mejor manera como podamos agradecer la ayuda internacional tan generosamente ofrecida durante y después de la catástrofe, sea entregando el mayor número de estudios sobre ella, para que nuestra dolorosa experiencia, convenientemente elaborada, entre a formar parte del acervo común de la humanidad. Numerosos organismos universitarios, el Instituto de Investigaciones Geológicas, la Corporación de Fomento, etc., han entregado ya informes y monografías sobre ella.

Todavía estamos muy lejos de poder predecir los temblores o de lograr conjurar sus causas, si es que alguna vez el hombre puede aspirar a estas cosas. Podemos sin embargo, como lo puntualizara Cinna Lomnitz oportunamente, atenuar los efectos mediante el uso de nuestra inteligencia, para evitar o circunscribir los daños. El colapso de las comunicaciones, gran parte de la destrucción en las ciudades, el aniquilamiento de la industria, el desorden y la inoperancia administrativa son consecuencias del terremoto, que pueden perfectamente precaverse, atenuando las consecuencias.

La Escuela de Geología contaba entre sus profesores a Pierre Saint Amand cuyos intereses científicos fluctúan entre la Geofísica y la Geología. Con un doctorado en Geología del Californian Institute of Technology vino a Chile interesado por sus ideas sobre la tectónica del Pacífico. Durante dos años y medio que ha pasado entre nosotros, ha sido un cordial monitor en todas las faenas de la Escuela y un entusiasta impulsador de vocaciones entre nuestros jóvenes. Tanto en sus tareas docentes



como en sus vacaciones, se ha dedicado con fervor ejemplar al estudio de la Geología Estructural del norte y del centro del país. Durante el verano pasado, en compañía de Clarence Allen, profesor de California Institute of Technology, estuvo trabajando en el sur de Chile tratando de sorprender los lineamientos principales de la técnica de la región.

Tan pronto se produjo el terremoto, partió hacia el sur, después de organizar, en compañía de Carlos Ruiz, el trabajo inmediato. En un avión se mantuvo en contacto con los equipos que trabajaban en tierra y al mismo tiempo, mantenía la información necesaria para dirigir el socorro norteamericano a la región. En numerosas oportunidades ha vuelto al sur para continuar sus observaciones y, en el momento en que escribo, se encuentra en la Isla Mocha, haciendo estudios del solevantamiento experimentado por la Isla.

En el trabajo que se lee a continuación se sumarizan las observaciones hechas por muchas personas, se utilizan las publicaciones aparecidas hasta este momento, y se hace un cuadro vivo de lo que fué la larga crisis sísmica del sur. La parte más meritoria del trabajo, sin embargo, es la que corresponde a la visión teórica que ofrece y a su interpretación en el plano de lo especulativo.

La Escuela de Geología espera que este trabajo constituya una buena base para la comprensión de los fenómenos del sur de Chile y procure una trama para su final esclarecimiento.

Humberto Fuenzalida V.



# OBSERVACIONES E INTERPRETACION DE LOS TERREMOTOS CHILENOS DE 1960

## RESUMEN

Los terremotos de Mayo de 1960, en el sur de Chile, produjeron grandes efectos sobre un área, desde Concepción hasta Puerto Aysén. Se produjo un maremoto que azotó a la costa chilena y causando grandes daños y pérdidas de vidas. Cambió el nivel del continente, produciendo un descenso de la tierra desde Puerto Saavedra hasta el de la Isla de Chiloé, del orden de los dos metros. La Isla Guafo, la Isla Mocha y la Península de Arauco se levantaron desde un metro y medio hasta tres metros. Los ríos inundaron grandes áreas. El volcán Puyehue entró en erupción echando ceniza y gases al aire y, al final, dió salida a una pequeña cantidad de lava.

El terremoto se produjo a lo largo de una falla fuera de la costa, probablemente una prolongación de la Falla de Arauco, la cual jugó a lo largo de una distancia de 1200 kms.

No se encontraron fallas en la tierra emergida que se hayan movido aunque, durante el terremoto, es bien probable que una falla que pasa por el Estero de Reloncaví lo haya hecho. El maremoto probablemente se produjo por la acción de las ondas sísmicas superficiales en el piso oceánico.

Cerca de 2000 personas murieron o desaparecieron. Los daños materiales llegan casi a la suma de 500.000.000 de escudos.

La historia sísmica de Chile indica que hubo 47 terremotos de importancia en los últimos 400 años, en esta misma zona, de los cuales, a lo menos 7 fueron más o menos igual en magnitud.

Se incluye un resumen de la geología del área afectada.

## INDICE

PRELIMINAR .....	3
RESUMEN .....	5
INDICE.....	6
INTRODUCCION .....	8
INVESTIGACIONES .....	9
Distribución de la Intensidad .....	11
Maremoto .....	17
Erupcion del Volcán Puyehue .....	19
Movimiento de Fallas .....	22
Cambios en el Nivel Terrestre .....	24
Inundaciones .....	24
Fenómenos Luminosos .....	26
GEOLOGIA .....	27
DISTRIBUCION DE LOS TERREMOTOS .....	32
ORIGEN DEL MAREMOTO .....	38
HISTORIA SISMICA DEL SUR DE CHILE .....	40
EFFECTOS DEL TERREMOTO EN EDIFICIOS .....	44
Resumen de los Efectos .....	49
BIBLIOGRAFIA .....	53

## AGRADECIMIENTOS

Las personas indicadas a continuación han ayudado a reunir informes para este estudio, o han colaborado en el trabajo de recopilación y preparación del texto.

*Instituto de Investigaciones Geológicas*

Aguirre, Luis.- Fontaine, Carlos.- Galli, Carlos.- Klohn, Carlos.-  
Ruiz, Carlos.- Sánchez, Joaquín.- Thomas, Herbert.-

*Escuela de Geología*

Alarcón, Boris.- Alfaro, Oscar.- Alvarez, Leonardo.- Egert, Ernesto.-  
Fuenzalida, Humberto.- González, Carmen R. de.- Lazo, Julio.-  
Peebles, Federico.- Vicencio, Raúl.

*United States Geological Survey*

Devaul, Robert.- Dingman, Robert.- Dobrovoly, Ennest.- Doyel, William.-  
Ericksen, George.- Lenke, Richard.- Segerström, Kenneth.

*United States Operations Mission to Chile*

Goakes, Harry.- Goakes, Vernon.- Manning, Lester.- Munita, Ana María.-  
Oeschle, Paul.- Salamanca, Laura C. de.- Swenson, Russel.

*Instituto de Geofísica y Sismología*

Cassertano, Lorenzo.- De Grys, Antoinette.- Lomnitz, Cinna

*California Institute of Technology*

Allen, Clarence.- Benioff, Hugo.- Taylor, Violet.

*Armada de Chile*

Carvajal, Patricio (Capt.)

*Fuerza Aérea de Chile*

Heitemann, Walter (Comdte).

*Ministerio de Obras Públicas*

Campusano, Carlos.- Ríos, Guillermo

*University of California at Los Angeles*

Leeds, David.

*Provincia de Llanquihue, Chile*

Jorge Brahm, Intendente.



## I N T R O D U C C I O N

La primera gran sacudida de esta serie de terremotos se produjo más o menos a las 0603 hora local, en la mañana del Sábado 21 de Mayo de 1960, aniversario de la famosa batalla de Iquique. Esta sacudida, de Mag. 7 1/2, tuvo su epicentro en la Península de Arauco, una saliente de la costa chilena que se encuentra al sur de Concepción 37° Lat. S. Este terremoto dejó una zona de intensidad de grado VII a VIII, en la escala de Mercalli, de una longitud de unos 100 kms. y un ancho de alrededor de 40 kms. Figura 1. En ninguna parte se observó una zona nítida de intensidad extremadamente alta. Según esto fué posible llegar a la conclusión de que el foco del terremoto se produjo a una profundidad de unos 50 o más kilómetros bajo la superficie de la tierra. Los daños producidos por este terremoto estuvieron confinados en gran parte, a la ciudad de Concepción y a la cadena de ciudades carboníferas situadas a lo largo de la Península de Arauco. Las ciudades del valle central, las carreteras y vías férreas sufrieron algunos daños.

Todo el día Sábado se sintieron réplicas en el área del epicentro continuando la actividad durante el Domingo. Más o menos 5 minutos antes de las 3 PM se sintió una sacudida fuerte pero no seriamente destructora. A lo largo de todo el sur de Chile, la gente se alarmó y abandonó sus casas para salir ordenadamente a las calles. Aún se encontraba en las calles cuando alrededor de las 0315PM sobrevino el "remezón". Esta afortunada, circunstancia salvó la vida de muchos miles de personas quienes, de haber estado en el interior de sus habitaciones, seguramente habrían sido muertas por el derrumbé de las casas y la caída de los ornamentos arquitectónicos, al huir hacia el exterior.

El movimiento del suelo durante el sismo principal fué como si uno estuviera en una pequeña embarcación en el mar embravecido. El suelo subía y bajaba lentamente con un suave movimiento ondulante, sobreponiéndose las oscilaciones más pequeñas a las más grandes. En Concepción, los autos y camiones estacionados al costado del camino rodaban hacia atrás y adelante, en una amplitud de 1/2 metro, mientras se movían hacia arriba y abajo en respuesta al movimiento del suelo. Las copas de los árboles se agitaban y sacudían igual que en una tempestad. Algunos edificios ya dañados se vinieron abajo. El terremoto mismo fué

silencioso; ningún ruido salía de la tierra. El período de vibración del suelo fué del orden de 10 a 20 segundos o más. El movimiento duró 3 1/2 minutos y fué seguido durante la hora siguiente por otros temblores, todos con un lento movimiento ondulante. Después supimos que en todas partes, dentro de la zona afectada, el movimiento fué similar. En ningún lugar se informó del corto movimiento brusco, típico de las localidades cercanas a un epicentro. Sin embargo, en la región de los Lagos, por ejemplo en Llifén, el movimiento comenzó suavemente y continuó así durante unos dos minutos, al igual que en otras localidades, cuando súbitamente se dejó oír un fuerte ruido subterráneo seguido de un gran movimiento trepidante y una vibración más rápida y menos regular de la tierra. Se obtuvieron informes similares en otros puntos situados al este de los Lagos y según esto, parece que aquí se produjo otro terremoto, entre Villarrica y el Lago de Todos los Santos, mientras el suelo aún se sacudía a consecuencias del primer movimiento.

Debido a lo esparcida que está la población en el sur de la zona afectada y a la dificultad de acceso, se sabe muy poco de los efectos que tuvieron allí los movimientos. En varios lugares se produjeron graves derrumbes, notablemente cerca del pueblo de Pto. Cisnes en la Isla Magdalena. No se ha establecido si esto ocurrió durante el temblor principal o durante una de las réplicas mayores.

El sismógrafo de Concepción fué completamente destruido por la primera sacudida, quedando así inservible; sin embargo, la estación en Santiago, continuó registrando temblores aproximadamente cada hora el primer día, los que el Dr. Cinna Lomnitz y sus colegas del Instituto de Sismología situaron al sur y dentro de una distancia de 400 a 1000 kilómetros. A medida que pasaba el tiempo, en un período de varios días, el área de actividad se extendió más al sur y se sintieron fuertes sacudidas en la Península de Taitao. Por entonces ya era bastante evidente que estábamos siendo sometidos a un enjambre de terremotos de grandes proporciones y que el área activa comprendía un ancho de unas 100 millas y una longitud de casi 1000.

#### INVESTIGACIONES

Tan pronto como fué posible organizar y equipar adecuadamente comisiones de terreno, el Instituto de Investigaciones

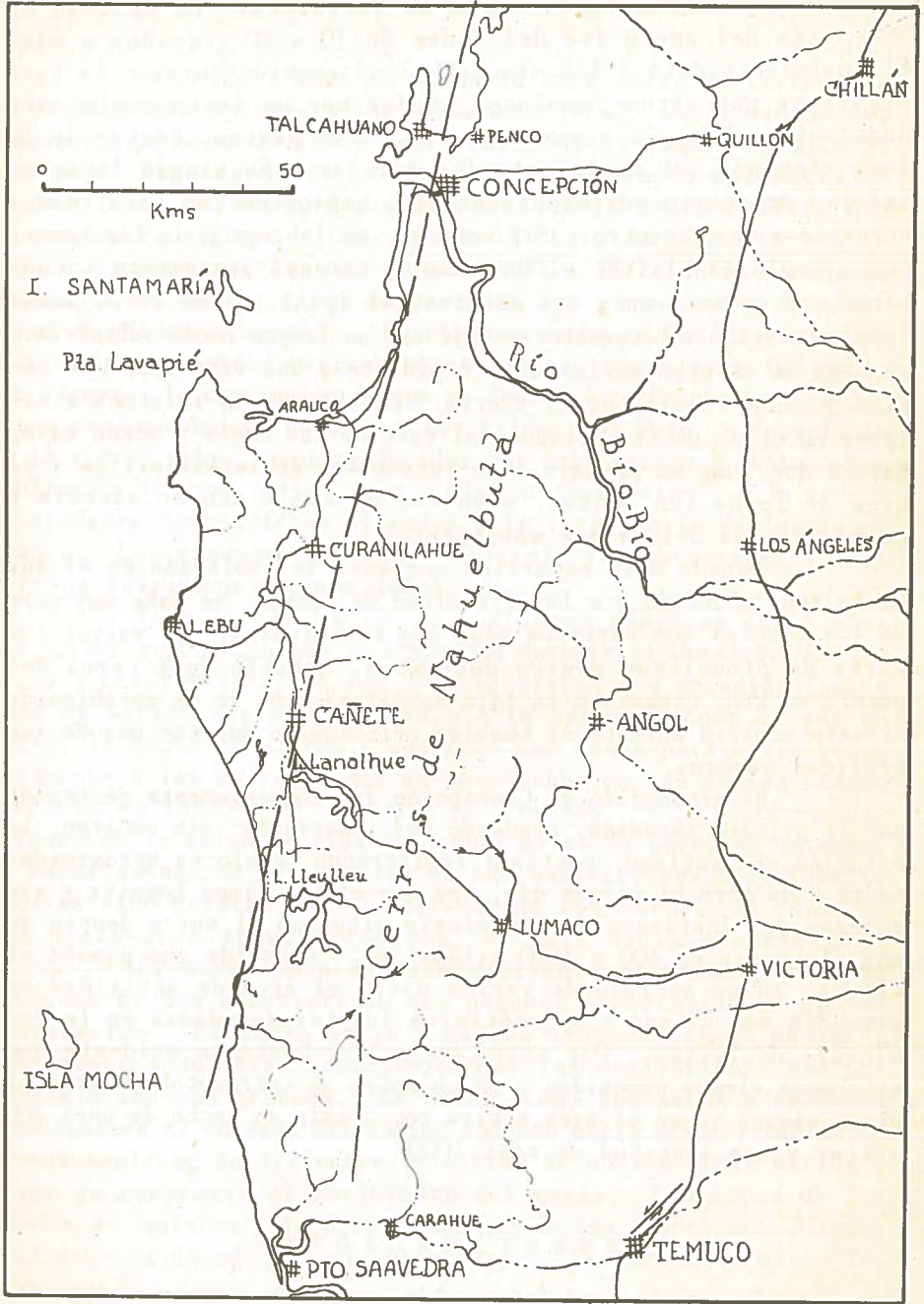


Figura 1



Geológicas, bajo la dirección de don Carlos Ruiz Fuller, y la Escuela de Geología, bajo la dirección de don Humberto Fuenzalida Villegas, trabajando al unísono, dividieron el sur en cuatro partes y enviaron cuatro camiones, cada uno con un grupo de geólogos a cada área, donde permanecieron por un período de más o menos tres semanas haciendo observaciones de los daños del terremoto y registrando todos los efectos geológicos que podían ser observados. Cada grupo llevaba alimento, agua, gasolina y equipo de campaña.

Se envió una quinta expedición en un aeroplano particular para efectuar un examen aéreo de la región afectada y para estudiar las necesidades de la gente de la región, de modo que pudiera distribuirse la ayuda en una forma más efectiva. El aeroplano fue puesto a disposición de los investigadores por su dueño, Vernon Goakes, hijo de Harry Goakes, jefe de la USICA misión Aérea Civil en Chile.

Posteriormente, personal del U.S. Geological Survey de la International Cooperation Administration, del U.S. Department of State, de la Universidad de California y de varias otras organizaciones se unieron a los grupos chilenos en el trabajo de terreno. El U.S. Coast and Geodetic Survey, el California Institute of Technology y la Universidad de California, en Los Angeles, contribuyeron con informaciones. Los resultados de las observaciones efectuadas por todas estas personas se resumen parcialmente en este artículo.

### Distribución de la Intensidad

Hubo dos zonas de alta intensidad, o sacudimiento. Una se desarrollaba a lo largo de la costa desde Puerto Saavedra aproximadamente, hasta el sur de la Isla de Chiloé. La intensidad varió en esta región desde el grado VIII hasta el IX de Mercalli, con puntos de mayor intensidad ocasionales, en lugares en que deslizamientos y hundimientos del terreno sobrecargado destruyeron parte de algunas de las ciudades mayores. Fotos 1-2. La intensidad en el valle central fue menor. Allí se observaron, relativamente, pocos daños, excepto cerca de las riberas de los ríos, en donde los deslizamientos destruyeron gran número de edificios y quedaron interrumpidas la carretera y la vía férrea. Una segunda zona de alta intensidad se encontró al este de los lagos. Aquí, una larga y angosta faja de algunas decenas de kilómetros de ancho y varios cientos de kilómetros de largo sufrió una rápida sacudida de gran

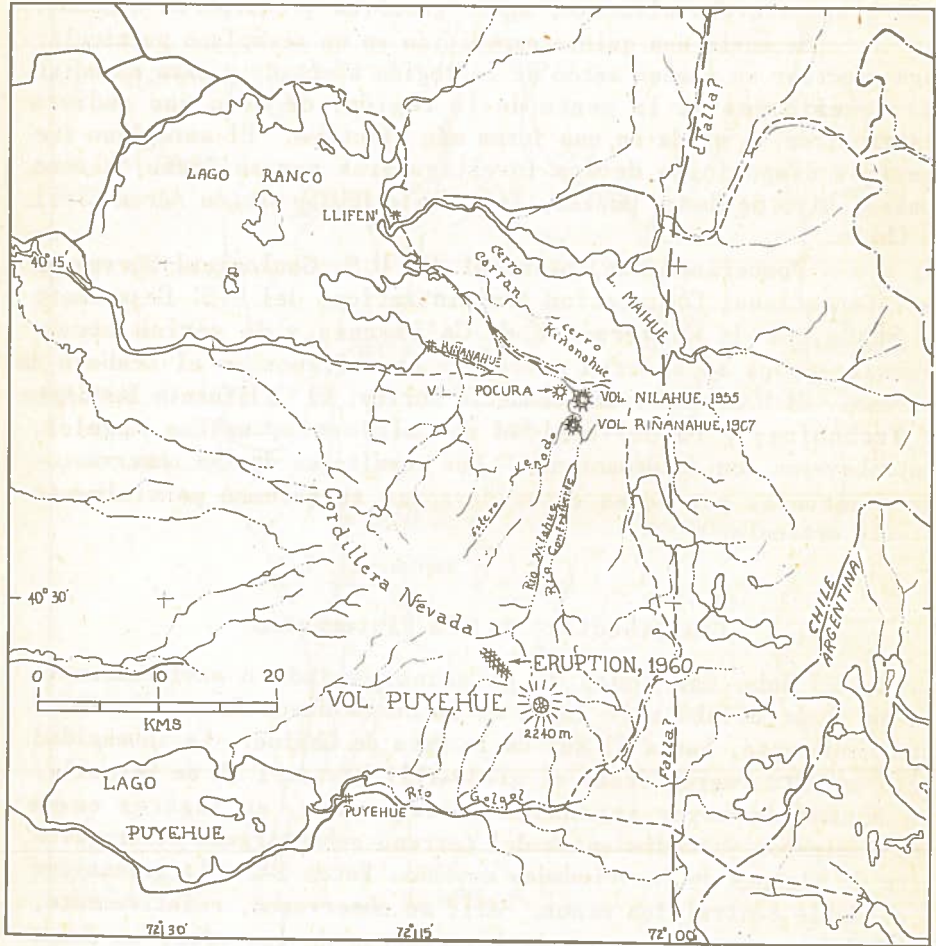


Figura 2



Foto 1. Plaza de Puerto Montt, mostrando efectos del corrimiento del suelo



Foto 2. Calle en Valdivia, mostrando efectos de poca coherencia del suelo



intensidad. Las dos zonas convergieron hacia el sur.

En la región de los lagos, ocurrieron derrumbes en miles de localidades. En los lagos se produjeron olas debido al terremoto; una oscilación de más de un metro de alto se observó en el lago Panguipulli y, todos los lagos menores se tornaron fangosos, debido al movimiento de las aguas y, por el material de derrumbe llevado a los lagos por los deslizamientos mismos y por los ríos.

Los movimientos más fuertes observados ocurrieron en la Isla de Chiloé, en donde sobre un área de 10 por 30 kilómetros, muchos árboles, tanto verdes como secos, fueron quebrados por la ferocidad del movimiento. En algunos momentos, las ramas muertas de los árboles secos fueron arrancadas del tronco y cayeron al suelo formando un círculo alrededor de los árboles. Algunos árboles cayeron a uno y otro lado, sacando sus raíces del suelo pantanoso.

El terreno se agrietó en muchos de los lugares del sur, generalmente por deslizamientos; se observaron "lurch cracks" en muchas partes cerca de Puerto Montt y en la Isla de Chiloé. El Camino Longitudinal se agrietó en muchos lugares, debido al hundimiento del relleno. Cerca de Puerto Varas, un pequeño auto que iba por el camino en el momento del terremoto cayó en una abertura producida por el hundimiento del suelo, sobre el cual se había construido el camino. Foto 3. Se informó que una persona que iba empujando una carretela fue encontrada posteriormente enterrada en una "lurch crack".

Las ciudades de Valdivia y Puerto Montt fueron muy afectadas por pequeños deslizamientos y por escurrimientos de tierra. El suelo en ambas localidades, es una arcilla limosa con arena finamente granulada, empapada en agua, que se volvió líquida cuando se vió sujeta al movimiento de la tierra. En la bahía de Puerto Montt, la motonave Puyehue fue cogida por un aluvión, una corriente de arena y lodo que fluyó de un relleno artificial, dentro de la bahía, originando así, la particularidad bastante peculiar de ser el primer barco en la historia que quedó varado en un deslizamiento.

La aplicación de la Escala de Mercalli a este terremoto es prácticamente imposible. Los daños fueron producidos por el terremoto principal y por un gran número de temblores anteriores y posteriores al sismo. La gente quedó bastante confusa, de modo que al interrrogarla fue difícil establecer qué pasó verdaderamente en el terremoto y qué en los temblores de menor magnitud. Muchas veces ocurrió que los temblores pequeños produjeron más daño que los de



Foto 3. Un auto pequeño aprisionado en una grieta, en el relleno de la ruta entre Puerto Varas y Puerto Montt. El camino era de pastelones



Foto 4. Vista aérea de Puerto Saavedra, después del maremoto.  
En muchas partes no quedó más que el solo piso

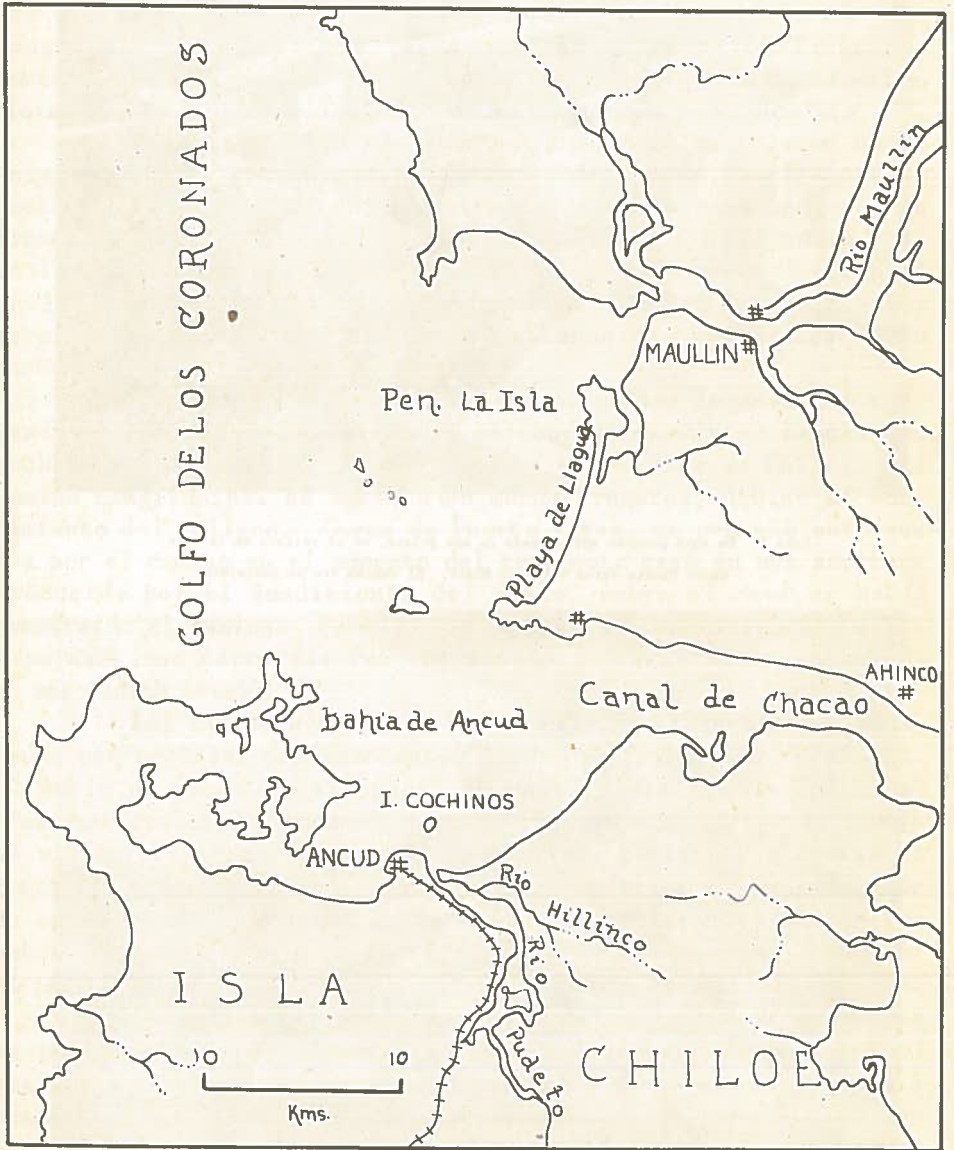


Figura 3



mayor intensidad y un observador no muy entendido puede fácilmente así confundir los efectos.

Las ondas de largo período fueron responsables de la licuefacción del suelo, deslizamientos de tierra y efectos secundarios que causaron daños considerables. Pero estos daños, fueron producidos por la acción de la gravedad ejercida sobre un suelo demasiado débil para sustentarse o soportar las estructuras colocadas sobre el y no por el movimiento oscilatorio del terreno mismo. En efecto, es necesario que el observador decida cuál sería la filosofía en que se basa la Escala Modificada de Mercalli y, aún así, tiene que estar alerta para interpretar correctamente el origen de los daños y calcular los que fueron producidos por el deslizamiento de tierra posterior. En muchos casos se puede asignar una Intensidad de MM XI o aún XII dentro de una cierta localidad, mientras a menos de un kilómetro de distancia, en cualquiera dirección, ni siquiera un alarmista podría haber asignado una Intensidad mayor de VII, debido a un pequeño cambio en las condiciones del suelo, o quizás, a la ausencia de estructuras vulnerables al movimiento de un período largo.

## M A R E M O T O

Los habitantes de las ciudades costeras, al correr al exterior, cuando llegó el "temblor de advertencia", unos quince minutos antes de la sacudida grande, observaron que el mar estaba alterado y que parecía estarse produciendo una pequeña oscilación. Ellos, experimentados en esta clase de fenómenos, continuaron observando el océano. Durante el gran remezón, el mar estaba perturbado; en algunos instantes se levantaba un poco, en otros bajaba. Entonces, súbitamente, notaron que comenzaba a retirarse de las playas, dejando al descubierto el piso del océano, en distancias bastante mayores que las mareas más bajas. Cuando esto sucedió, las alarmas de incendio comenzaron a sonar y los bomberos sistemáticamente recorrieron las calles advirtiéndoles a todos el peligro inminente. La gente corrió a pié o a caballo hasta las colinas y esperó. Los que andaban a caballo hicieron repetidos viajes para salvar a los ancianos y enfermos. Después de un período de tiempo, entre 15 y 30 minutos, el mar volvió, avanzando sobre la costa, en una ola que tenía en algunos lugares, más de 8 metros de altura. La ola se precipitó sobre la tierra, cubriendo y arrastrando las casas, matando los animales que no pudieron ser evacuados y arrastrando algunas personas, que, por una u otra razón, no habían

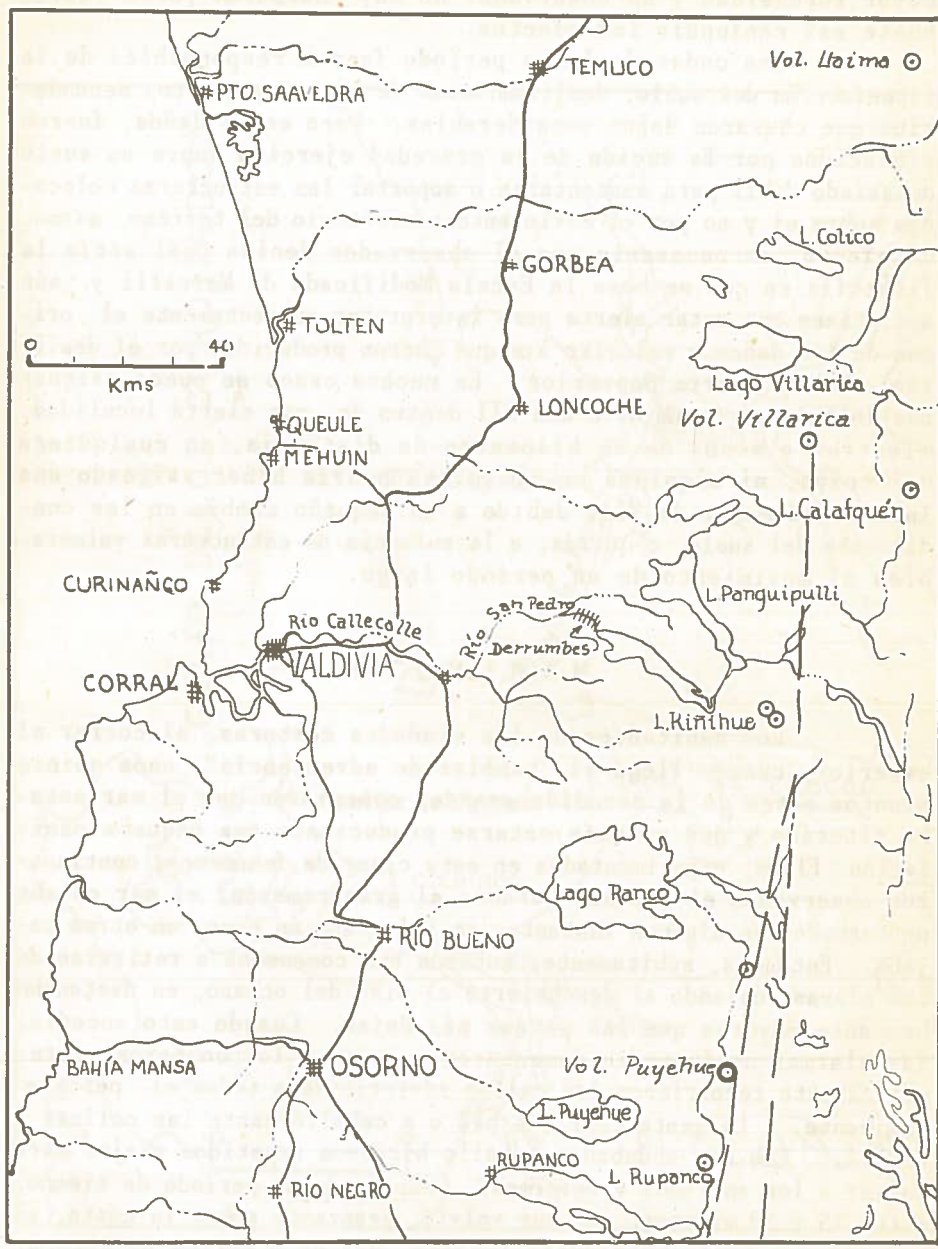


Figura 4



abandonado sus casas. La foto 4 muestra los restos de Pto. Saavedra. En Queule cerca de 500 personas desaparecieron porque volvieron a sus casas demasiado pronto, o porque no quisieron atender la advertencia del agua que retrocedía.

En varios pueblos a lo largo de la costa del sur, los "mariscadores" sacaron ventajas del retroceso del mar, vagando sobre el piso del océano, recolectando mariscos en sus canastos. Cuando habían recogido más de la cantidad acostumbrada de locos y mejillones, volvieron a la costa, treparon a las colinas y esperaron que volviera el agua.

El maremoto se llevó muchos desembarcaderos y hundió innumerables botes. Alrededor de 200 personas desaparecieron en la isla de Chiloé, en donde por temor al terremoto prefirieron refugiarse en pequeños botes para escapar a las sacudidas de la tierra. En Ancud por ejemplo el mar se retiró más allá de la isla de los Cochinos, llevando las pequeñas embarcaciones con él. Al retornar el mar con una estruendosa rompiente, todas naufragaron.

Varios buques grandes naufragaron, también, cerca de Valdivia. Un ejemplo notable es el Carlos Haverbeck, el que aún, puede verse obstruyendo el río Calle-Calle.

La ola marina produjo los efectos más graves, desde Concepción al extremo sur de la isla de Chiloé. La altura máxima parece haber estado entre Pto. Saavedra y Bahía Mansa. La altura a la que llegó la ola dependió en gran parte a la configuración de la costa.

El maremoto fué observado en la isla de Más a Tierra, en el grupo Juan Fernández, ubicado a unas 300 millas al O. de Valparaíso. Aquí empezó con un descenso del mar, más o menos a las 16.15, hora local, seguido más o menos 10 minutos después por un levantamiento de 1 1/2 metros. El mar osciló varias veces sin causar daños esenciales. La bahía en Cumberland está algo protegida por la isla y así, la ola recibida fué en parte sólo una ola difractada; sin embargo, la isla se eleva abruptamente desde el abismo y no tiene esencialmente ninguna plataforma submarina en declive, - de aquí que podemos decir que la ola real a esta distancia tenía más de 2 metros de amplitud.

### Erupción del Volcán Puyehue

A las 2.45 PM de la tarde del 24 de Mayo un avión de la Fuerza Aérea de EE. UU., volviendo a Santiago desde Pto. Montt, piloteado por el Coronel William R., Calhoun, observó que se estaba



produciendo una explosión en el costado del volcán Puyehue. El mismo avión había pasado por el volcán a las 0130 PM en su viaje al sur. En el momento en que vieron la erupción, una nube de ceniza y vapor había ascendido por lo menos 8.000 metros y el volcán estaba en una fase explosiva de su erupción. Grandes rocas humeantes volaron a través del aire y las gigantescas explosiones, escuchadas dentro del aparato recordaban lúcidamente, a los miembros de la tripulación, sus experiencias en tiempo de guerra con el fuego antiaéreo.

La erupción continuó durante varias semanas. Ceniza y vapor fueron expelidos a lo largo de una fisura de más o menos 300 metros de largo, situada en el flanco NO del cráter mismo del Puyehue. Foto 5 y 6, Fig. 2.

La zona de fracturamiento era de más o menos 100 metros de ancho. El vapor emergía de unas 8 a 10 bocas y la ceniza volcánica de uno o dos orificios más grandes. La ceniza que caía cerca de ellos formó un pequeño cono alrededor del más grande de estos orificios. Foto 7 y 8. La ceniza del volcán modeló un hermoso penacho contra el cielo, el que fué llevado por el viento sobre las montañas, en donde cayó dando al paisaje el aspecto de una reciente caída de nieve algo sucia. Durante varios días, estuvo cayendo ceniza en el valle central y alarmando ligeramente a los dueños de fundos, quienes temían por sus tierras laborables. Afortunadamente no hubo daños.

La erupción de ceniza fué seguida por la descarga de una lava viscosa, formando varias corrientes alrededor de 1 kilómetro de largo. La erupción parecía haber terminado cuando se visitó el área el 22 de Julio; aunque la lava aún estaba caliente, ya no se movía.

Los periódicos locales en una explosión de entusiasmo sin precedentes, informaron que habían explotado doce volcanes y que dos nuevos se habían formado. Se dijo que la lava fluía a lo largo de los lados de varios de ellos y que ciudades enteras habían sido enterradas. A causa del mal tiempo y la escasa visibilidad en el valle central, los habitantes de las ciudades del valle creyeron que en realidad todos los volcanes habían entrado en erupción y estuvieron preocupados por la situación por un período de varias semanas. Los periódicos y revistas noticiosas de todo el mundo repitieron y agrandaron estas historias.

La última erupción que se había observado en esta región fué aquella del volcán Nilahue, ubicado en el Cérro Carrán (a veces se llama al volcán con este nombre). Nilahue, situado a unos 20 kilómetros al norte del cráter del Puyehue hizo erupción en Julio y Agosto de 1955, descargando ceniza y polvo, (COFRE, 1956, KLOHN,



Foto 5. Erupción del volcán Puyehue. Las nubes grises son ceniza, las más blancas, vapor. El cráter del Puyehue se ve a la izquierda.



Foto 6. Vista aérea del Puyehue, en enero de 1960. La erupción tuvo lugar en la loma, bajando del cráter hasta el observador



1955). La siguiente erupción previa parece haber sido aquella del volcán Riñihue, a unos 3 kms. al sur, en 1907. La última erupción atribuída al Puyehue mismo, fué en 1905, según GUTENBERG y RICHTER (1949, p. 257). Parece probable, sin embargo, que una erupción atribuída a Los Azufres, en 1929 (KRUM, 1929, a y b), fuera realmente del Puyehue, (CASERTANO 1960, comunicación personal.)

Un nuevo volcán en erupción fué descubierto por el piloto de un helicóptero argentino, en la costa, a unos 40 kilómetros al norte de Valdivia, cerca del pueblo de Curiñanco. Se informó que se había formado un cráter de varios metros de alto, y que, aparentemente estaba arrojando rocas y cenizas al aire. Una erupción submarina fué registrada cerca de este lugar por pilotos civiles, varios días después del terremoto, pero el hecho no pudo ser confirmado. No parece haber habido actividad volcánica en esta región con anterioridad. Ninguno de estos sucesos pudo ser confirmado posteriormente y se sospecha que lo que se observó fué un reventón de arena o volcán de lodo.

Los volcanes de lodo o "reventones de arena" fueron observados en muchos lugares y, generalmente, se tomaron por nuevos volcanes, sin embargo, éstos son efectos de la vibración y compactación del suelo en el agua subterránea y no tienen nada que ver con los verdaderos volcanes.

### Movimiento de Fallas

La cuidadosa búsqueda terrestre y aérea realizada por las comisiones de terreno no descubrió ningún caso nítido de fallamiento es decir, grandes desplazamientos de la superficie de la tierra, tales como los que han sido observados en otros terremotos. En varios lugares al este de los lagos, específicamente en el lado oriental del lago Calafquén, se encontraron grandes grietas en el suelo, las que podían haber sido producidas ya sea por fallamiento o deslizamiento. En el verano próximo, las comisiones de terreno visitarán nuevamente el área e investigarán más cuidadosamente, a fin de determinar si se produjo o no un movimiento de fallas. Entre los asombrosos sucesos del terremoto, se informó de una fosa de unos 30 kms. de largo y 1000 pies de profundidad, que se habría formado en la región de los lagos. Una búsqueda sistemática no permitió descubrir este accidente y, es lo más probable, que haya sido una falsa interpretación de un rasgo más convencional del terreno, tal como una ribera del río vista bajo condiciones de escasa visibilidad, o tal vez, simplemente, una invención.





Foto 7. Cono de ceniza y colada de lava de la boca principal, después de la erupción



Foto 8. Cono del Puyehue después de la erupción, parece estar cubierto de nieve

## Cambios en el Nivel Terrestre

Ocurrieron algunos cambios verdaderos en el nivel terrestre. El lado occidental de la Península de Arauco parece haberse levantado 1,5 metros, exponiendo una nueva playa en Lebu. La Isla Mocha se ha elevado definitivamente más o menos 2 metros sobre su nivel anterior. Las rocas anteriormente enterradas están ahora expuestas, y lugares donde la gente se zambullía para recoger erizos, son ahora lavados por resaca. WATANABE y KARZULOVICH, (1960), informan que la Isla Guafo también se elevó más o menos la misma altura. Sin embargo, en general, la costa al sur de la Península de Arauco se hundió entre uno y dos metros. Esto se observó primeramente cuando la ola de la marea no retrocedió en su última oscilación. En Puerto Saavedra, las calles permanecieron cubiertas de agua por varios días, pero cinco días más tarde se habían secado casi completamente. El mar, no obstante, se mantiene más alto de lo que estaba en muchos lugares, y grandes áreas de tierra firme, cerca de Maullín, y en la Isla de Chiloé, siguen aún, cubiertas por el agua y, probablemente, permanecerán indefinidamente así. La playa, Playa de Llagua, está ahora cubierta y la Península "La Isla", es ahora en realidad una isla. En la Isla de Chiloé, el río Pudeto y Huillinco cubren ahora partes de la vía férrea y de la carretera a varios kilómetros de sus playas anteriores.

## Inundaciones

No sólo hubo gran cantidad de inundaciones debido al hundimiento de bloques completos del continente en una escala tectónica, sino que se produjo la inundación por medio de los ríos. El suelo, a lo largo de las riberas de los ríos y en el valle, fue compactado y hundido, haciendo que la superficie de la tierra quedara más baja que antes. El maremoto barrió desde fuera de la costa, bancos de arena dentro de los ríos y, a medida que volvía al mar, arrastró un número de bancos de arena de la costa hasta las bocas de los ríos. Las sacudidas del terremoto hicieron salir el agua fuera del suelo y la descarga normal de los ríos aumentó mucho. Todos estos factores, unidos a la lluvia casi continua, hicieron, que gran número de ríos se desbordaran, acrecentando así los problemas de los habitantes. Foto 9.

Entre los deslizamientos producidos, uno fué especialmente notable, tanto por sus dimensiones, como por la cantidad de daños que produjo. Este deslizamiento ocurrió en el río San Pedro,





Foto 9 Inundación del sector de Valdivia

alrededor de 4 kilómetros aguas abajo del lago Riñihue, Fig. 3. El deslizamiento tenía unos 3 kms. de largo y se componía casi enteramente de arcilla. Un escarpadísimo banco en el costado norte del río deslizó sobre el antiguo canal del río a lo largo de una capa de arcilla saturada de agua.

El derrumbe afectó al río y el nivel del lago Riñihue se elevó en unos 20 metros antes que la corriente desbordara la presa natural. Los ingenieros de la Empresa Nacional de Electricidad trabajaron febrilmente a fin de cortar un canal a través y alrededor del deslizamiento para impedir que el lago se elevara más de lo necesario. El drenaje de varios lagos vecinos que desembocan en el Riñihue, fué obstruído artificialmente para impedir el excesivo almacenamiento de las aguas en el Riñihue. En efecto, la presa fué abierta en Julio y el lago se desaguó produciendo una inundación semejante a las que ocurren cada ciertos años durante las estaciones de lluvias abundantes.



### Fenómenos Luminosos

Varias personas informaron de fenómenos luminosos, asociados con los terremotos. Los informes más interesantes provienen de la Península de Arauco, donde se informó que la población de Cañete vió un brillo luminoso en el aire asociado con algunas réplicas mayores. Los fenómenos fueron descritos por un piloto que, con tres pasajeros, estaba tratando de dormir en el aeropuerto en su propio aeroplano. El avión se movió bastante durante la noche, desliziéndose 4 metros hacia el sur en total sobre la resbalosa superficie del terreno.

La luz se describió como proveniente del aire, comenzando abruptamente con el ruido de las réplicas y elevándose a un nivel bastante constante en menos de un segundo. Continuó tal vez durante 40 a 50 segundos, apagándose más lentamente, con un tiempo de decadencia de algunos segundos. Sólo se vió con las réplicas más fuertes y fué descrita como una "fosforescencia del aire de un color azul-verdoso". El cielo estaba bastante claro. No había corriente eléctrica en ninguna parte de la Península, que pudiera haber producido los fenómenos, habiéndose cortado toda la corriente a causa de los terremotos.

El piloto también informó de cambios en la brújula durante este tiempo, pero ésto puede haberse debido a los cabeceos del aparato o a la imaginación. Esta información se anota aquí como típica de los fenómenos observados durante este terremoto. La ligera sobre-elaboración del informe indica un posible elemento de invención. Los fenómenos son probablemente de naturaleza psicológica, pero ciertamente merecen ser estudiados.

## G E O L O G I A

La geología de la región sur de Chile se desconoce en gran parte en forma detallada, pero recientemente el Sr. Luis Aguirre del IIG ha recopilado un mapa de las características sobresalientes de la región. La Fig. 6 está adaptada del mapa geológico de Chile publicado por el IIG (1960). Una excelente discusión de la orografía puede encontrarse en FUENZALIDA (1950) p. 35-43.

A la latitud  $37\frac{1}{2}$  S, el país consiste en la Península de Arauco de depósitos marinos, estuariales y continentales Terciarios, según parece, discordantemente sobre esquistos y filitas de edad desconocida, pero posiblemente Precámbrica. Estos sedimentos contienen la mayor parte del carbón de Chile. La península está cortada cada ciertos kilómetros por fallas fuertes con rumbo norte-sur, de desplazamiento vertical variable. La más grande de éstas, la falla de Arauco, puede ser seguida desde Concepción hasta más allá de Cañete, como una ruptura discontinua que coloca, en algunas localidades, las rocas terciarias de la península contra las rocas metamórficas e intrusivas de los cerros de Nahuelbuta. Esta falla pasa al oeste del lago Lanalhue; el lago ha sido represado por el levantamiento del bloque peninsular a lo largo de esta falla. Hacia el este se encuentra el extremo sur del batolito de la Cordillera de la Costa de edad probablemente cretácica-media. Este batolito termina más o menos en Traiguén, y hacia el sur, a excepción de minúsculos afloramientos al sur y oeste de Corral, el batolito no reaparece en las colinas de la costa a través de 7 grados de latitud.

La Cordillera de la Costa está cortada por numerosas fallas norte-sur de considerable extensión. Estas forman los límites del valle central.

El valle central en esta latitud es más angosto que en la región de Chillán y al sur de Victoria es reemplazado por una serie de colinas bajas. El valle es una depresión ancha, con aspecto de graben limitado al este por el escarpe frontal de los Andes. En la región de Chillán se cree que está lleno con varios miles de metros de sedimentos de origen glacial y fluvial (LOMNITZ, 1959).-

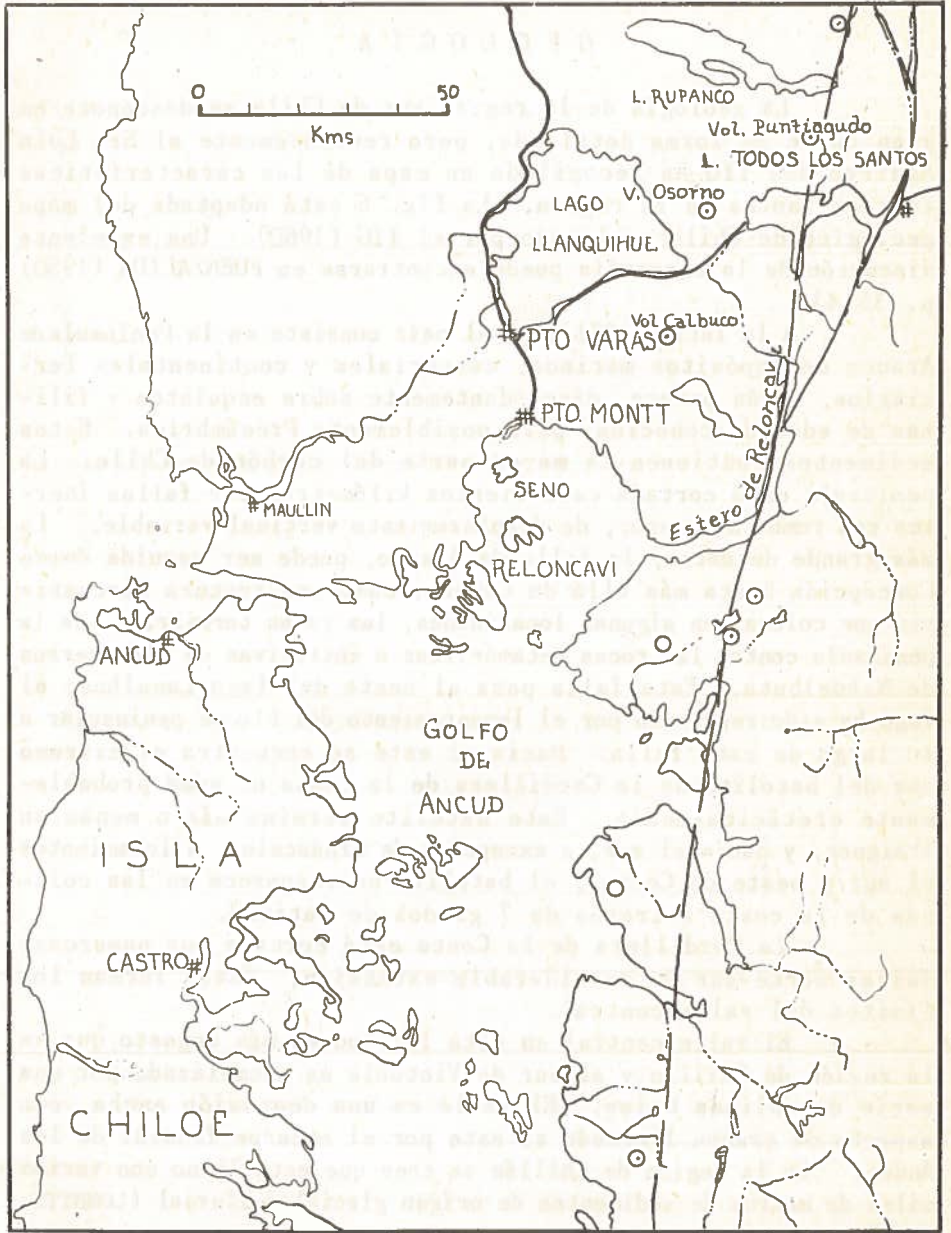


Figura 6



El escarpe frontal de los Andes es notablemente recto y abrupto, estando limitado por una serie de fallas sub-paraletas norte-sur, de fuerte desplazamiento vertical.

Los Andes aquí están compuestos de andesitas y sedimentos derivados de ellas, de probable edad Cretácica media, plegadas y falladas, intruídas ocasionalmente por masas de granodiorita y cubiertas en parte por emisiones de volcanes del Reciente. Las montañas tienen un nivel general de 2.000 metros aproximadamente, alcanzando algunos volcanes más de 3.500 metros.

El lado oriental de los Andes está limitado por una serie de fallas norte-sur que forman grandes serranías de bloques con un declive en partes gradual, en otras abrupto, hacia la pampa argentina.

Más o menos en la latitud 39 1/2, la costa sufre un embahíamiento. La Cordillera de la Costa, compuesta aquí enteramente por la secuencia metamórfica, ha degenerado en una serie de colinas bajas que se extienden algunos kilómetros dentro de la línea de lagos. El valle central está ausente, si no se considera una angosta faja indefinida entre las colinas y los lagos. El carácter de los Andes es aquí diferente de aquel de las montañas del norte. El escarpe frontal está ausente o es indefinido, el nivel medio de la cima de los cerros es alrededor de 1.000 metros menor que el de los cerros en el norte.

El cambio comienza en el volcán Llaima, aproximadamente. Una línea de lagos, aparentemente limitada por un sistema de fallas y que se encuentran en valles parcialmente glaciados, se desarrollan hacia el S. al igual que la serie de cuentas en un collar, hasta que el próximo "lago" es ya el Seno Reloncaví y el Golfo de Ancud.

El horizonte es dominado aquí por una línea de volcanes activos e inactivos, que se elevan sobre la superficie en forma de mesa disectada de los Andes.

Aquí las montañas, como aquellas de más al norte, están compuestas de la misma secuencia volcánico-sedimentaria cubierta parcialmente por lavas e intruída por rocas graníticas, pero la diferencia descollante radica en que las rocas intrusivas forman ahora casi toda la cordillera, estando el batolito confinado a los Andes en vez de situarse en la Cordillera de la Costa.

Más o menos en la latitud 41, la Cordillera de la Costa se compone otra vez de una serie de colinas bajas de rocas metamórficas, el valle central es amplio y las montañas de los

Andes están mejor desarrolladas. Más al sur la Cordillera de la Costa se convierte en la isla de Chiloé y el Archipiélago de Los Chonos. Las cuencas de los lagos se juntan con el valle central para formar el canal interior del Archipiélago. Y más o menos en la Península de Taitao la Cordillera de la Costa y el Valle Longitudinal se pierden hacia el W en el Pacífico quedando los Andes solamente como entidad orográfica del país.

Esta región tiene una topografía similar a la de Alaska sudoriental, en donde los glaciares han socavado las rocas fundamentales en las zonas de fallas dejando la estructura de la región claramente expuesta (FUENZALIDA, 1950, p. 41). Abundan las fallas largas, algunas de las cuales se señalan en la Figura 7. La falla del Estero de Los Elefantes tiene, cerca de la laguna de San Rafael, escarpes del Reciente en aluvio, de varias decenas de metros de altura.

Otra falla importante comienza más o menos en el volcán Corcovado, pasa a través del Estero de Reloncaví, Cayutué, lago Todos Los Santos y continúa hacia el norte debajo o cerca del volcán Puyehue. La falla está señalada por un largo valle en forma de fosa con volcanes a ambos lados que ocasionalmente la obstruyen.

Esta zona general, con una línea similar ligéramente al oeste a lo largo de la cual pueden encontrarse los volcanes Shoshuenco, Villarrica, Llaima, Lonquimay, Calafquén y Antuco, se extiende hasta la región del Lago Laja, y posiblemente, más al norte.

Este complejo de fallas señalaba el extremo oeste de la parte activa del país durante esta secuencia de terremotos. La topografía submarina inmediata es bastante interesante. Un largo y angosto abismo oceánico corre paralelo a la costa chilena, y está limitado al este por un gran escarpe que también corre aproximadamente paralelo a la costa. Por ejemplo en un corte a lo largo del paralelo 41°S el mar se hace gradualmente más hondo alcanzando una profundidad de unos 1000 metros a 60 kilómetros de la costa; pero apenas 18 kms. más allá la profundidad es de 3.562 metros.

Durante los dos últimos años el editor de este trabajo ha emprendido un estudio de la tectónica de fallas de Chile, en colaboración con el Prof. Clarence R. Allen, del California

(1) Estero, expresión nomenclatural chilena para designar a los fiordos.-



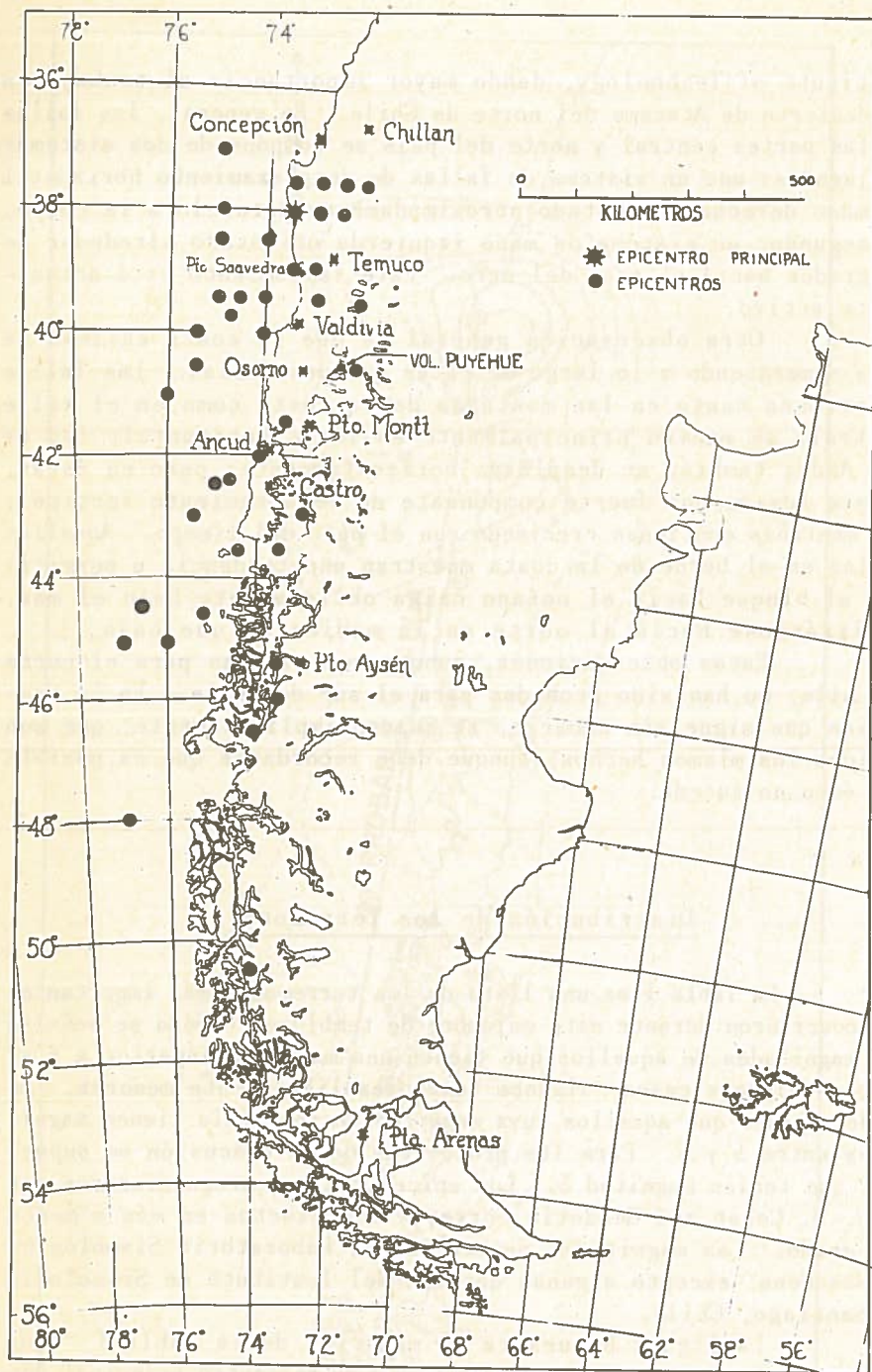


Figura 7



Institute of Technology, dando mayor importancia al trabajo en el desierto de Atacama del norte de Chile. En general, las fallas en las partes central y norte del país se componen de dos sistemas conjugados: uno un sistema de fallas de desplazamiento horizontal de mano derecha, orientado aproximadamente paralelo a la costa, el segundo, un sistema de mano izquierda orientado alrededor de 60 grados hacia el este del otro. Este fallamiento está actualmente activo.

Otra observación general es que la costa chilena se está sumergiendo a lo largo de estas grandes fallas. Las fallas interiores tanto en las montañas de la costa como en el valle central, se mueven principalmente en forma horizontal; las de los Andes también se desplazan horizontalmente: pero en éstas, existe además una fuerte componente de levantamiento vertical, las montañas continúan creciendo con el paso del tiempo. Aquellas fallas en el borde de la costa muestran una tendencia a permitir que el bloque hacia el océano caiga oblicuamente bajo el mar, deslizándose hacia el norte en la medida en que baja.

Estas observaciones, aunque son válidas para el norte de Chile, no han sido probadas para el sur de Chile. En la discusión que sigue sin embargo, se supone implícitamente, que son válidos los mismos hechos, aunque debe recordarse que es posible que ésto no suceda.

### Distribución de los Terremotos

La Tabla I es una lista de los terremotos más importantes que ocurrieron durante este enjambre de temblores. Sólo se señalan las magnitudes de aquellos que tienen una magnitud superior a 6 y, sólo en algunos casos, algunos temblores ligeramente menores. Se puede suponer que aquellos cuya magnitud no se señala tienen magnitudes entre 5 y 6. Para los propósitos de la discusión se supuso aquí que tenían magnitud 5. Los epicentros son proporcionados por el U. S. Coast and Geodetic Survey y son exactos en más o menos 1/2 grado. Las magnitudes pertenecen al Laboratorio Sismológico de Pasadena, excepto algunas que son del Instituto de Sismología en Santiago, Chile.

La Figura 8 muestra el material de la Tabla I. Los epicentros están indicados por círculos, el epicentro principal por

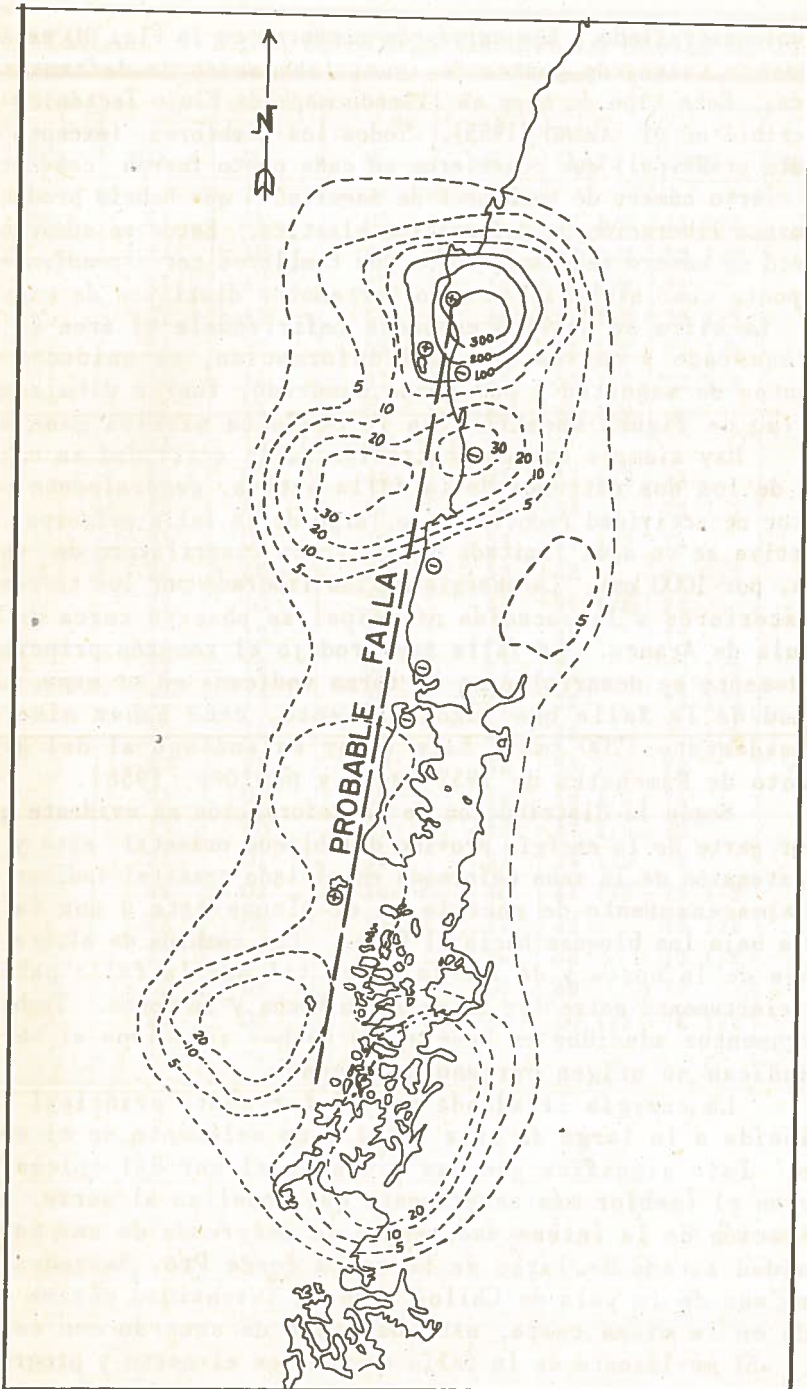


Figura 8



un círculo estrellado. Las curvas de contorno en la Fig. 10 están, dibujadas a través de puntos de igual liberación de deformación elástica. Este tipo de mapa es llamado mapa de Flujo Tectónico y se describió en ST. AMAND (1955). Todos los temblores, (excepto el terremoto principal) que ocurrieron en cada punto fueron convertidos en cierto número de temblores de magnitud 5 que habría producido la misma liberación de deformación elástica. Estos se sumaron y se colocó un número señalando todos los temblores correspondientes, a ese punto como si hubieran sido terremotos distintos de magnitud 5. La cifra se suavizó entonces refiriéndola al área de un grado cuadrado y curvas de igual deformación, en unidades de terremotos de magnitud 5 por grado cuadrado, fueron dibujadas. Este tipo de figura muestra bien la conducta sísmica general.

Hay siempre una concentración de la actividad en cualquiera de los dos extremos de la falla activa, generalmente con un sector de actividad reducida a lo largo de la falla principal. El área activa se ve aquí limitada por un tosco cuadrilátero de unos 350 kms. por 1000 kms. La energía máxima liberada por los terremotos posteriores a la sacudida principal se observa cerca de la Península de Arauco. La falla que produjo el remezón principal probablemente se desarrolla en la forma indicada en el mapa. La longitud de la falla que jugó realmente, debe haber sido de aproximadamente 1200 kms. Este valor es análogo al del gran terremoto de Kamchatka de 1952 (BATH y BENIOFF, 1958).

Según la distribución de la deformación es evidente que la mayor parte de la energía provino del bloque oriental: esto y la mayor extensión de la zona deformada en el lado oriental indican un mayor almacenamiento de energía en el bloque este o una falla que buza bajo los bloques hacia el Este. Los cambios de altura de la línea de la costa y de las islas es tal que la falla parece correr ciertamente entre las islas Guafo Mocha y la Costa. También los argumentos aducidos en base a los hechos relativos al maremoto indican su origen cercano a la costa.

La energía irradiada por el terremoto principal fué distribuída a lo largo de esta falla y no solamente en el epicentro. Esto significa que las ciudades al sur del epicentro sintieron el temblor más severamente que aquellas al norte. La distribución de la intensidad, según se desprende de una mayor intensidad a todo lo largo de la costa desde Pto. Saavedra al extremo sur de la isla de Chiloé, con la intensidad máxima observada en la misma costa, está bastante de acuerdo con estas ideas. El movimiento de la falla comenzó en el norte y progresó



**TABLA I : LISTA DE SISMOS DURANTE LA CRISIS DE 1960**

MES	DIA	H.	M.	S.	LAT.	LONG.	MAGN.	
Mayo	21	10	02	50	37 1/2	73 1/2	7.5	
	21	10	53	51	37 1/2	72 1/2		
	21	12	21	16	37 1/2	73		
	21	12	59	58	37 1/2	72 1/2		
	21	13	59	17	37 1/2	72 1/2		
	21	14	31	55	37 1/2	72 1/2		
	21	15	08	45	37 1/2	73		
	21	19	06	21				
	22	03	46	22	37 1/2	73		
	22	06	01	36	38	73 1/2		
	22	08	10	53	37 1/2	73		
	22	10	30	39	38	73 1/2		6.5
	22	10	32	43	37 1/2	73		7.5
	22	12	16	43	38	73		
	22	18	55	57	38	73 1/2	6.5	
	22	19	10	47	38	73 1/2	7.5	
	22	19	11	20	38	73 1/2	8.2	
	22	23	29	18	39 1/2	72		
	23	00	25	44	38 1/2	75		
	23	00	51	12	37 1/2	72		
	23	01	34	53	39 1/2	74		
	23	02	46	30	41 1/2	73 1/2		
	23	02	56	17	43	75 1/2		
	23	05	13	35	38	73 1/2		
	23	07	09	17	48	77		
	23	08	13	15	40 1/2	75 1/2		

MES	DIA	H.	M.	S.	LAT.	LONG.	MAGNITUD
Mayo	23	05	13	35	38	73 $\frac{1}{2}$	
	23	07	09	17	48	77	
	23	08	13	15	40 $\frac{1}{2}$	75 $\frac{1}{2}$	
	23	09	52	20	37 $\frac{1}{2}$	73	
	23	10	37	59	43 $\frac{1}{2}$	73 $\frac{1}{2}$	
	23	14	01	50			
	24	20	32	43	50 $\frac{1}{2}$	74	5.5
	25	04	44	06			5.7
	25	08	34	33	45	76	6 $\frac{3}{4}$
	25	19	21	48	40	75 $\frac{1}{2}$	4.4
	27	03	17	21	41	76	4.5
	27	20	49	12			
	27	23	06	55	45	77	
	28	03	05	53	39 $\frac{1}{2}$	74 $\frac{1}{2}$	5.5
	28	11	05	40	38	73	6
	29	07	39	29	38	72 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$
	29	08	34	20	37 $\frac{1}{2}$	73	5.8
29	14	05	25	37 $\frac{1}{2}$	73	5.5	
29	21	23	54			5 $\frac{3}{4}$	
31	02	04	00	39 $\frac{1}{2}$	75	6 $\frac{1}{2}$	
Junio	01	05	02	56	38	73	5 $\frac{1}{2}$
	01	21	12	50	42	74	5 $\frac{1}{4}$
	02	05	58	03	46 $\frac{1}{2}$	74	6 $\frac{3}{4}$
	02	08	36	10	40	74	5.5
	02	21	30	58	38 $\frac{1}{2}$	74	5.5
	03	18	17	36	42 $\frac{1}{2}$	75	5.5
	04	03	02	49	39	73 $\frac{1}{2}$	5.5
	06	05	55	44	45 $\frac{1}{2}$	73 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{3}{4}$
07	05	22	34	40 $\frac{1}{2}$	72	6	

MES	DIA	H.	M.	S.	LAT.	LONG.	MAGNITUD
Junio	06	17	15	33	46	73 $\frac{1}{2}$	5.5
	07	12	55	51			5
	10	14	29	47	37	75	5.5
	12	00	02	55	37	75	5.2
	12	15	04	57			
	13	05	47	05	44 $\frac{1}{2}$	76 $\frac{1}{2}$	5.0
	14	02	54	13	43	73	5.2
	20	02	01	08	38	73 $\frac{1}{2}$	7
	20	12	59	40	39 $\frac{1}{2}$	73	6 $\frac{3}{4}$
	20	14	23	30			
	20	16	59	35	38 $\frac{1}{2}$	74	5 $\frac{1}{2}$
	22	06	40	10			5 $\frac{1}{2}$
	22	08	11	50			
	22	20	13	18	38 $\frac{1}{2}$	73 $\frac{1}{2}$	5
	29	01	57	54			5.8
Julio	02	08	58	05	45 $\frac{1}{2}$	73 $\frac{1}{2}$	5.7
	04	21	39	20	43	73	5.0
	05	05	45	26	39	73 $\frac{1}{2}$	6.0
	05	08	06	30	38 $\frac{1}{2}$	73 $\frac{1}{2}$	5.2
	07	21	40	57	39	73	5.7
	11	06	58	28	38	75	5 $\frac{1}{2}$
	20	21	38	20			6.0
	27	10	04	53	44 $\frac{1}{2}$	75	6.3
Agosto	31	14	55	03	43 $\frac{1}{2}$	74 $\frac{1}{2}$	6.0
	06	14	49	45	42 $\frac{1}{2}$	75	5.7
	13	14	14	58	39 $\frac{1}{2}$	75	6 $\frac{3}{4}$

Las ubicaciones y horas son sacadas del U. S. Coast and Geodetic Survey. Las magnitudes de Pasadena y Santiago. Todas las horas son según el Meridiano de Greenwich.



hacia el sur. (Ver Tabla I). Esto tendió a concentrar la energía de las ondas superficiales hacia el sur y a disminuir el período de las ondas en esa dirección. El Prof. Hugo Benioff del California Institute of Technology, en una comunicación personal, ha indicado que el fracturamiento fue definitivamente de un tipo progresivo y que el período de las ondas superficiales, según fue registrado en el Perú, fue mucho mayor para las ondas que llegaban por el arco corto, que para aquellas que lo hicieron dando la vuelta alrededor del mundo antes de ser registradas por el instrumento.

Es probable que el primer terremoto haya ocurrido en la Falla de Arauco, cerca de la ciudad de Curanilahue, a una profundidad demasiado grande para permitir una fractura superficial. Este temblor causó redistribución de las fuerzas en la tierra, haciendo que se moviera otra parte de la falla inmediatamente mar adentro de la costa. Es mucho más que probable, considerando la distribución de las réplicas, que el gran terremoto fuera producido por deslizamiento horizontal a lo largo de más o menos 1200 kms. de la falla.

La Falla de Reloncaví fue probablemente la próxima en moverse y, posteriormente, una serie de otras en el valle central y cordillera de la costa se desplazaron dando origen a numerosas réplicas. La zona de fallas de Reloncaví parece señalar el límite oriental del área de producción de terremotos durante esta serie de sismos.

A consecuencia de una actividad adicional en la Falla de Reloncaví o de una rama de ella, se abrió una fractura lo suficientemente grande como para permitir que agua lacustre o subterránea se escurriera hasta el nivel de las rocas calientes inferiores, escapando vapor, gases calientes y polvo de rocas a través de la fractura en el costado del Cerro Volcán Puyehue.

La existencia de estos volcanes bien pueden deberse a la divergencia entre las diversas zonas de fallas, puesto que cualquier tendencia de los bloques hacia el mar a desplazarse hacia el norte, reduciría la presión en los costados del bloque que contiene los lagos, permitiendo que se parta y se agriete, formando conductos para el escape de la lava.

#### Origen del Maremoto

Exequiel Rodríguez, Capitán de Corbeta, Retirado, ha acumulado informaciones acerca del maremoto y, usándolas, ha

intentado ubicar el epicentro. Sus esfuerzos han sido muy útiles, porque empleando sus datos y los sonidos provenientes del fondo del mar, que el recolectó, es posible reconstruir con algún detalle algunos de los aspectos más importantes del Maremoto.

En general el mar se retiró por un período de 10 a 30 minutos y en seguida retornó. Hubo varias olas sucesivas, de las cuales la tercera o cuarta pareció ser la más grande. El período de las olas fué de alrededor de 20 minutos. En casi todas partes el primer movimiento fué una retirada del agua. En Bahía Mansa, sin embargo, se informó que el primer movimiento había sido un ascenso de nivel. Un pequeño ascenso puede haber precedido el retiro en Maullín.

Tanto RODRIGUEZ (1960) como WATANABE y KARZULOVIC (1960) han tratado de indicar el epicentro del terremoto suponiendo una velocidad excesivamente alta para la ola sísmica y calculando la distancia recorrida en algunos puntos de la costa, empleando diferencia de tiempos entre el origen del terremoto y la llegada de la ola, aunque no está claro si es la primera retirada o el avance lo que se considera como la llegada.

La velocidad depende de la profundidad del agua como ha sido señalado por AIRY (1845) y elaborado por LAMB (1945):

$$V = (gh)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{3}{2} \frac{n}{h}\right) \text{ o más simplemente } V = (gh)^{\frac{1}{2}}$$

en que V es la velocidad de la ola con respecto a la costa, h es la profundidad del agua y n es la altura de la ola. Aunque la velocidad puede alcanzar valores de 600 kms. por hora en el mar profundo, la velocidad cercana a la costa será mucho menor. La Figura 11 muestra la posición aproximada de una ola de maremoto en función del tiempo desde la costa de Chile, usando profundidades dadas por Rodriguez y por la Armada de Chile y tiempos de ocurrencia del maremoto tomado del excelente informe de ANDRADE (1960).

Ya que el tiempo de llegada de la ola grande fué entre, 10 y 30 minutos después del terremoto principal, el origen aproximado de la ola marina debe encontrarse más cerca de la costa que la posición indicada por la línea interrumpida.

Los tiempos implicados en la retirada y avance de las olas son cortos, puesto que son quizás iguales a los períodos naturales de la onda. De aquí que tales cálculos puedan no tener significado. La costa puede haberse encontrado en la zona de



producción de la ola. Además, la rata de cambio en velocidad es elevada y la ecuación no puede dar cuenta tampoco del roce de fondo ni del cambio de la forma de la ola en aguas de pequeña profundidad.

Según la discusión anterior parece que la ola puede haberse formado de dos maneras.

1) El hundimiento de un gran bloque terrestre debajo del mar podría explicar la ola, aunque el hecho de que el movimiento primario del agua en Bahía Mansa parece haber sido de levantamiento no favorece esta idea. El desplazamiento permanente de los bloques de falla produjo seguramente una parte del movimiento del agua.

2) BENIOFF ha estado sugiriendo durante años que los maremotos son generados por la ligadura de las ondas superficiales terrestres a ondas marinas. GUTENBERG y RICHTER (1949, p. 94). Los registros del sismógrafo de deformación de Ñaña, Perú, muestran que existieron olas superficiales del período correcto. Las olas sísmicas pueden haber sido producidas por un movimiento flectante del fondo, debido al movimiento de falla vertical, o por un combamiento vertical producido por fuerzas de fricción e inercia durante el movimiento de fallas de desplazamiento horizontal.

### Historia Sísmica del Sur de Chile

La región afectada por los recientes terremotos ha estado sujeta repetidas veces a sucesos similares. GREVE (1949) ha resumido sus trabajos y observaciones y aquéllos de Montessus de Balores y los miembros del Instituto de Sismología en Santiago. Presentamos aquí un compendio de su información en la Tabla II. Esta tabla señala sólo aquellas sacudidas de efecto notable que se produjeron entre Santiago y Castro desde 1520 hasta 1946. En esos 426 años ha habido 47 terremotos notables. No se han considerado los millones de temblores de dimensiones no-destructoras. De estos 47 terremotos, 7 han sido de magnitud aproximadamente comparable a la sacudida principal de Mayo, 1960, y 8 han estado asociados con maremotos o alteraciones similares del mar. De especial interés es el sismo de 1575, que parece haber tenido una zona semejante de influencia y haber producido también un deslizamiento en el río San Pedro.

Debería ser obvio que puede esperarse un terremoto destructor cada 10 años y un terremoto catastrófico, con maremoto



TABLA II : TERREMOTOS DEL SUR DE CHILE

FECHAS			I-MM	TSUNAMI	ZONA AFECTADA	OBSERVACIONES
MES	D.	AÑO				
		1520	X	—	40°-41°	
Octubre	28	1562	XI	+	37°-38°	La Imperial (dest.)
Febrero	08	1570	XI	+	36°-37°	Concepción (dest.)
Marzo	17	1575	VIII	—	33°-34°	Santiago (dañado)
Diciem.	16*	1575	X	+	39°-43°	Valdivia (semi-dest)
Agosto	07	1582	VIII	—	33°-34°	Santiago (dañado)
Mayo	13*	1647	XI	—	31°-36°	Santiago (Temblor Señor de Mayo (dest).
Marzo	15	1657	XI	+	36°-37°	Concepción (dest.)
Julio	09	1690	VIII	—	33°-34°	Santiago (dañado)
Mayo	24	1724	VIII	—	33°-34°	Santiago (dañado)
Julio	8*	1730	XI	+	30°-37°	La Serena (dañada) hasta Chillán
Dic.	24	1737	X	—	—	Valdivia (dest.) hasta Castro.
Mayo	25	1751	XI	+	35°-38°	Concepción (dest.)
Marzo	17	1755	VIII	—	33°-34°	Valparaíso
Octubre	04	1786	VIII	—	42°-43°	Castro
Febrero	11	1787	VIII	—	42°-43°	Castro
Mayo	19	1790	X	—	37°-38°	Tucapel (dest.)
Enero	20	1816	VIII	—	36°-37°	Concepción (dañado)
Nov.	19	1822	X	—	33°-34°	Valparaíso (dest.)
Agosto	29	1824	VIII	—	33°-34°	Santiago (dos sismos)
Dic.	24	1825	VIII	—	33°-34°	Santiago

FECHAS			I - MM	TSUNAMI	ZONA AFECTADA	OBSERVACIONES
MES	DIA	AÑO				
Septiemb.	26	1829	VIII	—	33° - 34°	Valparaíso
Octubre	01	1829	VIII	—	33° - 34°	Santiago (dañado)
Diciembre	24	1831	VIII	—	36° - 37°	Concepción (dañado)
Junio	21	1832	VIII	—	42° - 43°	Chiloé (dañado)
Febrero	20	1835	XI	+	35° - 38°	Concepción (dest.)
Abril	26	1836	VIII	—	36° - 37°	Los Angeles
Noviembre	07	1837	X	—	39° - 42°	Valdivia, Osorno y Ancud (dañados)
Diciembre	06	1850	VIII	—	33° - 34°	Santiago
Abril	02	1851	VIII	—	33° - 34°	Santiago y Valp.
Octubre	09	1862	VIII	—	36° - 37°	Nacimiento (dañado)
Abril	29	1869	VIII	—	35° - 36°	Talca
Marzo	25	1871	IV	+	33° - 36°	Llay-Llay y Talca (dañados)
Agosto	15	1880	X	—	31° - 34°	Valparaíso y San- tiago (dañados)
Marzo	13	1896	VIII	—	33° - 34°	Valparaíso (dañado)
Julio	23	1898	VIII	—	36° - 38°	Concepción (dañado)
Agosto	16	1906	XI	—	32° - 35°	Mag. 8.4 Valparaíso (destruido)
Junio	13	1907	X	—	39° - 41°	Valdivia
Enero	29	1914	VIII	—	35° - 36°	Mag. 7.6 Talca
Marzo	01	1919	VIII	—	41° - 43°	Mag. 7.2 Ep. Maipú Castro (destruido)
Agosto	20	1920	VIII	—	38° - 39°	Isla Mocha
Abril	14	1927	X	—	32° - 34°	Santiago y Mendoza (destruidos)
Diciembre	01	1928	X	—	35° - 36°	Talca

FECHAS			I-MM	TSUNAMI	ZONA AFECTADA	OBSERVACIONES
M	D	A				
Enero	24	1939	XI	—	35°-38°	Mag. 7 3/4, Chillán y Concepción
Sept.	22	1934	VIII	—	36°-37°	Chillán
Sept.	13	1945	VIII	—	32°-36°	Rancagua
Junio	25	1946	VIII	—	36°-37°	Chillán



cada lapso del orden de 60 años. La necesidad de proceder, pues, a una reconstrucción inteligente debe ser, imperiosa.

### Efectos Producidos por el Terremoto sobre los Edificios

Las clases de edificios afectados por un terremoto son muy similares a aquellos dañados por otro. Parece apenas necesario relatar el triste derrumbe de edificios inadecuadamente diseñados y pobremente construídos; sin embargo, puede ser útil señalar algunos de los defectos más importantes de la construcción.

Los edificios fueron dañados por cuatro agentes: por los temblores mismos, por la ruptura o movimiento del suelo, (por ej., deslizamiento de tierra), por el maremoto y por el fuego. En algunos casos éstos actuaron en combinación.

Los edificios dañados sólo por los temblores fueron los que carecían de amarras suficientes para resistir fuerzas horizontales. En los peores casos algunos elementos de las estructuras fallaron también ante la compresión. Podemos enumerar algunos tipos de materiales y discutir las razones de su falla.

**Adobe:** Afortunadamente no se había empleado mucho adobe en esta área, el adobe antiguo fué seriamente dañado hasta a 100 kilómetros de la costa. El adobe más reciente y aquél construído sobre fuertes fundaciones secas con techos ligeros soportados por vigas que amarraban las paredes, resistió mejor.

**Ladrillo:** Los edificios de ladrillo del tipo tradicional, con ladrillos pegados con mezcla de cal, tuvieron poca resistencia. Excepto como material de paredes de relleno en un edificio de diseño moderno con esquinas de concreto armado y cadenas, el ladrillo no es resistente a los terremotos y su empleo debe ser relegado al mero pavimento de los patios. La Foto 10 muestra una falla típica de las murallas de ladrillo en una casa de Concepción.

**Mampostería de piedra:** Estas resisten ligéramente mejor que el ladrillo, pero nuevamente son necesarias las esquinas de concreto reforzado y las cadenas amoldadas sobre la mampostería para asegurar la supervivencia.

**Madera:** Las casas de madera aserrada resistieron admirablemente

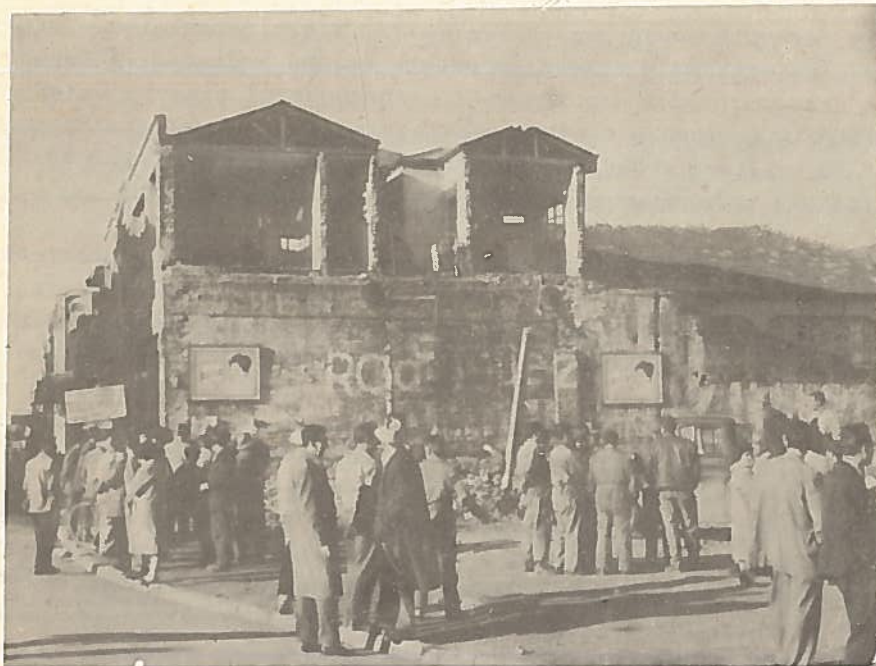


Foto 10. Típico desmoronamiento de una casa de ladrillos en Concepción.



Foto 11. Derrumbe de casas de fabricación ligera, "reforzadas" en concreto, Valdivia



bien, excepto cuando se omitieron las vigas diagonales o éstas eran inadecuadas y cuando la madera estaba podrida. A menudo, los pesados pisos superiores hicieron que el piso inferior se curvara a un lado o al otro. Muchos edificios fueron afectados por la existencia de pesadas paredes cortafuego de concreto sin reforzar, colocadas entre dos estructuras adyacentes.

**Concreto:** Se observaron algunos casos de ruptura de concreto, debido a una mezcla pobre, al acero reforzante inadecuado y a la pobre integración de las diversas unidades en el diseño. La Foto 11 muestra un edificio de concreto reforzado pobremente construído en Valdivia.

**Estructuras compuestas:** Una estructura que se encuentra generalmente en el sur de Chile es una casa hecha de madera armada con mampostería, puede ser ladrillo o piedra. Estas casas son atractivas, pero extremadamente vulnerables a los terremotos. La estructura interior más flexible se mueve libremente, golpeando contra la estructura exterior más rígida, la que entonces se viene abajo. Muchas de estas casas se derrumbaron en manzanas en que ni una sola estructura de otra clase mostró ningún daño.

Los edificios que resistieron bien los terremotos fueron estructuras de madera bien construídas, de concreto armado, con ladrillo o paredes de relleno de mampostería. Todos éstos fueron diseñados para resistir las aceleraciones horizontales.

Los daños ocasionados por la ruptura de los cimientos fueron comunes en muchos lugares. En algunos casos los edificios se hundieron en el suelo mientras mantenían su integridad estructural. El empleo de una fundación de pilares adecuada o de una fundación lo bastante grande como para mantener a flote el edificio, habría evitado el daño. El deslizamiento de tierra rompió y roció muchas estructuras y en algunos casos las volcó.

Los terremotos son inexorables exponentes de las pobres prácticas de construcción. Se enumeran a continuación algunas de las principales malas prácticas: La sustitución del ladrillo por concreto en columnas en las casas del tipo de murallas de relleno de ladrillo-concreto armado; el uso de barro como mortero en los edificios de ladrillo disfrazado con una capa delgada de cal para hacerlo aparecer cementado. La mezcla inadecuada del concreto. El uso de un agregado que contenga arcilla. Deficiencias en el



amarre de las diferentes unidades estructurales:

Los daños producidos por el maremoto pudieron ser evitados muy fácilmente no construyendo demasiado cerca del agua; sin embargo, al tratar este problema el punto más importante es amarrar la casa a las fundaciones. En muchos casos las casas fueron llevadas a flote cuando habrían resistido los otros efectos de la ola.

Parece conveniente preceder cualquier construcción de importancia de un estudio de las condiciones del suelo y de un reconocimiento geológico del área para asegurar que se construya en terreno bastante sólido y no sobre un deslizamiento. Una serie de estudios de las características geológicas de las ciudades australes ha sido realizada por el Instituto de Investigaciones Geológicas y está disponible para su consulta.

El uso de roca en descomposición, material rico en arcilla, la existencia de drenajes inadecuados y la falla en la compactación de los rellenos produjo gran daño en las carreteras y vías férreas. Nuevamente, el socorro geológico ayudará a las buenas prácticas de ingeniería.

No es suficiente que un ingeniero diseñe bien una estructura. Es necesario que las fundaciones sean las correctas, que el lugar sea seleccionado con cuidado y que en todas las fases de la construcción el profesional - el ingeniero mismo o el propietario - inspeccione realmente el trabajo para estar seguro de que se observan bien las especificaciones indicadas y se llevan a la práctica. No es difícil diseñar estructuras que resistan los terremotos y no son mucho más caras, pero requiere inteligencia e integridad de parte del ingeniero y de los constructores.



Foto 12 Derrumbe de una casa de construcción heterogénea,  
Puerto Montt.

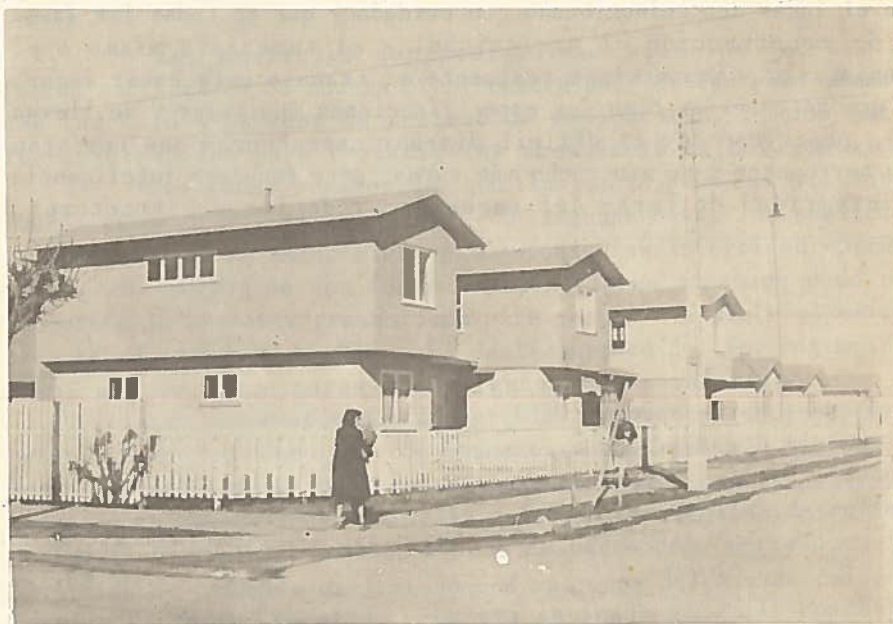


Foto 13 Grupos de casas de maderas y concreto que no  
sufrieron los efectos del terremoto.



## Resumen de los Efectos

En Junio aún se estaban produciendo grandes réplicas destructoras con intervalos de algunos días. Muchas de éstas han sido lo bastante fuertes como para producir un desastre en una región más populosa. Las sacudidas con una magnitud de más de 6 son lo suficientemente frecuentes como para que la gente ya no les dé mucha importancia. Estas réplicas continuarán por un período de años, con varios meses más de sacudidas fuertes.

El cómputo final de los muertos, desaparecidos y sin hogar no está disponible todavía, pero es evidente que bastante más de 1.000 personas murieron, principalmente por el maremoto, faltan aún varios cientos de personas y se necesitan más de 400.000 casas nuevas. Las industrias básicas están dañadas en muchas partes y se requerirán muchos años para completar la reconstrucción. El valor de los daños supera los US\$ 417.000.000 según su informe editado por la Corporación de Fomento a mediados de Agosto de 1960.

Las complicaciones de un terremoto de esta importancia son en total impredecibles, pero podemos aprender lo que es necesario hacer a fin de atenuar las consecuencias de tal desastre. El pasado es, en este caso, la clave del futuro.

Servicios públicos urgentemente necesarios quedaron inutilizados y debieron adoptarse medidas provisionales. Entre las pérdidas más importantes estaban:

1) Los abastecimientos de agua potable para Concepción, Valdivia, Osorno y Pto. Montt, fueron destruidos totalmente o en parte. El agua debió ser suministrada por bomberos en sus carros bombas. Foto 15.

2) La energía eléctrica se vió interrumpida por lo menos durante una semana en las ciudades anteriormente mencionadas y aún no ha sido restablecida en todas las ciudades alejadas.

3) Los sistemas de alcantarillado fueron en parte, destruidos en las ciudades anteriores.

4) Los servicios hospitalarios quedaron interrumpidos debido a fuertes daños en los hospitales, que hicieron necesaria la introducción de hospitales móviles. Afortunadamente hubo muy pocas personas heridas y no se produjeron epidemias, principalmente a causa del tiempo frío y a una resistente población.

5) Los caminos y vías férreas quedaron seriamente dañados. Alrededor de 500 kms. del camino longitudinal tendrán que



ser reconstruídos debido al fracaso de las bases y de los rellenos. La vía férrea quedó interrumpida en varios lugares, pero más seriamente entre Osorno y Pto. Montt. Se necesitaron más de seis meses para dejarla en buenas condiciones; mientras tanto el tráfico de camiones pesados, casi destruyó los restos de los caminos y los pequeños aeropuertos anegados, pronto se convirtieron en peligrosos lodazales. En los puentes los daños fueron considerables.

6) Las instalaciones portuarias fueron destruídas en gran parte desde Lebu, en donde los muelles fueron levantados hasta quedar fuera del agua, hasta Castro, donde deslizamientos de tierra destruyeron la mayoría de las instalaciones.

7) La falta de comunicaciones radiales y telegráficas fué ocasionada por la interrupción de la electricidad y daño a las instalaciones, hizo imposible el informe exacto de las condiciones existentes. La falta de prensa impidió la difusión de noticias exactas, un servicio muy necesario en épocas de catástrofe.

8) Falla de una dirección municipal y gubernamental es la pérdida más importante de todas. Deben hacerse planes con anterioridad, delegando ciertos deberes específicos en ciertas personas y organizaciones. Dos ejemplos sobresalientes de excelente dirección por parte de las autoridades locales se presentaron en Pto. Montt y Temuco. Aquí los Intendentes y sus ayudantes movilizaron inmediatamente todas las organizaciones civiles y militares, mientras ellos mismos mantenían el control del gobierno. La gente fué puesta a trabajar para ayudarse mutuamente y se les permitió moverse libremente mientras así hacían. La pronta y valiente acción por parte de estos funcionarios públicos impidió un desorden cívico y mantuvo una impresión general de saludable cooperación durante y después del desastre.

Las pérdidas de casas y edificios públicos fué, por supuesto, grave.

10) El cierre de las escuelas o apropiación de ellas para otros usos como refugios de emergencia fué muy perjudicial a la moral de los niños en edad escolar.

Actualmente la investigación del terremoto está siendo realizada por varios grupos de ingenieros, geólogos, sismólogos, psicólogos y otros, quienes tratan de establecer normas para la reconstrucción e intentan determinar lugares seguros en donde reconstruir y técnicas de seguridad para los nuevos edificios



Foto 14: Típico levantamiento de terreno en la península de Arauco.



Foto 15: Bomberos suministrando agua a la población.

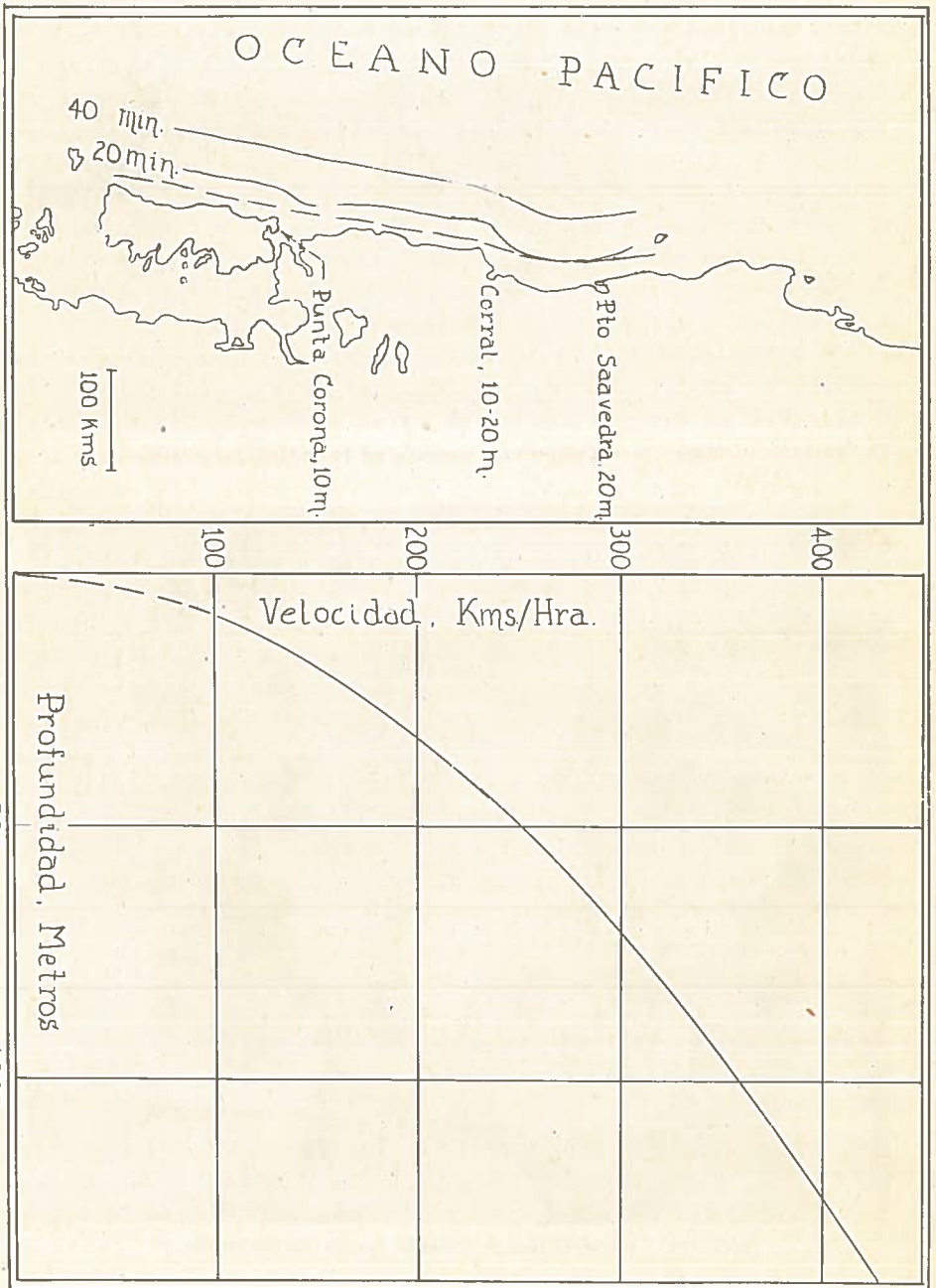


Figura 9



y servicios. Se efectúa así un intento sistemático para tratar de hacer que el próximo terremoto en el sur no produzca el mismo tipo de catástrofe.

## B I B L I O G R A F I A

- AIRY, Sir G B. 1845. Tides and Waves. Art. 208 in Encyclopedia Metrop.
- ANDRADE, Capt. Alberto, 1960. El Maremoto del 22 de Mayo de 1960 Boletín Informativo del Depto. de Navegación e Hidrografía de la Armada de Chile. Año XVI. N° 56, pp 11. Valparaíso
- COFRE, Caupolicán Z., 1956. Erupción del Volcan Nilahue, Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U de Ch., Vol.13, p 73.
- FUENZALIDA, Humberto, 1950, OROGRAFIA, Cap II, Geografía Económica de Chile, Imprenta Universitaria; Santiago de Chile, 428 p.
- GREVE, Federico, 1949, Determinación del coeficiente de seguridad anti-sísmico para las diferentes zonas de Chile. Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, U. de Ch., N° 5 pp 3-19.
- GUTENBERG y RICHTER, 1949, Seismicity of the Earth, Princeton University Press, 267 p.
- KRUMM, Federico, 1923 a, An. Soc. Cient. Art. Tomo XCVI, p. 191. 1923b. Geol. Rund. 14 p. 146.
- LAMB, S
- LAMB, Sir Horace, 1945, Hydrodynamics, Dover, N.Y., p.262, pp. 730.
- LOMNITZ, Cinna, 1959. Investigaciones Gravimétricas en la Región de Chillan. Instituto de Investigaciones Geológicas; Boletín N°4, Santiago de Chile.
- RATH, Marcus y H. BENIOFF. 1958. The aftershock sequence of the Kamchatka Earthquake of November 4, 1952. Bull. Sism. Soc. A. 48. 1-15
- ST. AMAND, Pierre, 1956, Two Proposed Measures of Seismicity, Bull. Seism Soc Am., 46, N°1, Jan., 1956.
- WAZANABE, Takeo y J. KARZULOVIC, 1960, Los Movimientos Sísmicos del Mes de Mayo de 1960 en Chile; Anales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. U de Chile, Vol. 17, pp. 23-64.



# MAPA GEOLOGICO DE PARTE DEL SUR DE CHILE

BASADO EN EL MAPA GEOLOGICO DE CHILE, 1960, DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS, CON SIMPLIFICACIONES Y AGREGADOS

## LEYENDA

### CUATERNARIO

ALUVIO, FLUVIAL Y GLACIAL, LAUSTRE Y EOLICO, INCLUYENDO AREAS REDUCIDAS CON SEDIMENTOS DEL TERCARIO. LA MAYOR PARTE ES RELLENO DEL VALLE CENTRAL.

LAVAS, BASALTOS Y ANDESITAS DE LOS VOLCANES RECIENTES

### TERCARIO

SEDIMENTOS CONTINENTALES, ESTUARIALES Y MARINOS.

### MESOZOICO

SEDIMENTOS CONTINENTALES Y MARINOS EN SU MAYOR PARTE DE EDAD CRETACICA, TAMBIEN SE INCLUYEN AREAS CHICAS DEL PALEOZOICO

ROCAS INTRUSIVAS, GRANITOS Y DIORITAS, PROBABLEMENTE DE EDAD CRETACICA

### ROCAS ANTIGUAS

COMPLEJO METAMORFICO, ESQUISTOS, FILITAS, ETC DE EDAD DESCONOCIDA, PROBABLEMENTE PRECAMBRICA

CONTACTO

FALLA, CON LINEA INTERRUMPIDA DONDE NO ESTA LOCALIZADA CON PRECISION

FALLA PROBABLE

VOLCANES



Fig. 6