

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS

PUBLICACION ESPECIAL N° 3

---

EFECTOS GEOLOGICOS DEL SISMO DE  
TALTAL DEL 28 DE DICIEMBRE DE 1966

Leonardo Alvarez Sch.

Francisco Ortíz O.

Ernest Dobrovolny y

Richard Lemke



EFFECTOS GEOLOGICOS DEL SISMO DE TALTAL  
DEL 28 DE DICIEMBRE DE 1966 (\*)

LEONARDO ALVAREZ SCH (\*\*)

FRANCISCO ORTIZ O. (\*\*)

ERNEST DOBROVOLNY (\*\*\*)

RICHARD LEMKE (\*\*\*)

( \* ) **Publicación autorizada por los Directores del Instituto de Investigaciones Geológicas y del U. S. Geological Survey**

( \*\* ) **Geólogos, Instituto de Investigaciones Geológicas**

( \*\*\*) **Geólogos, U. S. Geological Survey**



# EFFECTOS GEOLOGICOS DEL SISMO DE TALTAL DEL 28 DE DICIEMBRE DE 1966

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

El 28 de diciembre de 1966 un sismo de magnitud  $7 \frac{3}{4}$  afectó el norte de Chile a las 08:045 horas (Greenwich). El epicentro fue localizado por el Departamento de Geofísica y Geodesia de la U. de Chile en los  $25^{\circ}35'$  latitud sur y  $70^{\circ}43'$  longitud oeste, a unos 20 km. al sursuroeste de Taltal, que fue la localidad más afectada (fig. 1). Por otra parte, el U.S. Coast and Geodetic Survey (U.S.C.G.S.) determinó que el epicentro estaba a los  $25,5^{\circ}$  latitud sur y  $70,7^{\circ}$  longitud oeste. La profundidad del foco calculada por el D.G.G. es  $159 \pm 36$  km. y la calculada por el U.S.C.G.S. es 47 km. Las diferencias se deben a la selección de modelos de la corteza y de estaciones realizada por ambas instituciones. El D.G.G. utilizó, para calcular el epicentro y la profundidad del foco, los datos de 15 estaciones ubicadas a menos de 2.000 km. de distancia del área epicentral. El U.S.C.G.S. utilizó, además, los datos de estaciones más lejanas y calculó con un modelo standard de espesor y densidad de la corteza, que puede no corresponder a la realidad. Ambos epicentros están aproximadamente a 870 km. al norte de Santiago y 200 km. al sur de Antofagasta.

El Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) dispuso la salida inmediata de dos geólogos, quienes recorrieron el área epicentral, con el fin de establecer las manifestaciones superficiales del sismo y de las réplicas, la relación que pudiese existir entre la constitución geológica del lugar y los daños producidos, y la posibilidad de que se hubiesen desplazado bloques a lo largo de fallas conocidas o nuevas. Posteriormente recorrieron el área los autores de este trabajo. Se deseaba reconocer especialmente la traza de las fallas Salar del Carmen (o La Negra), Taltal y Atacama (o Manto Verde), por constituir ellas uno de los sistemas más importantes del territorio chileno.

Los coautores señores Lemke y Dobrovolny, geólogos del U.S. Geological Survey, fueron enviados por el Gobierno de los Estados Unidos para colaborar con los profesionales chilenos. Ellos colaboraron también con ocasión de los sismos de mayo de 1960 en el sur de Chile.

## GEOLOGIA GENERAL

Según Bowes et al (1961) el área epicentral está ubicada en el borde occidental del geosinclinal andino mesozoico. Las rocas más antiguas conocidas en el área son rocas metasedimentarias, probablemente del Paleozoico Superior. Rocas sedimentarias del Jurásico Inferior cubren varios cientos de metros de conglomerado triásico al suroeste de Taltal. Al sureste de Taltal hay rocas sedimentarias marinas y continentales y rocas volcánicas andesíticas cuya edad varía entre jurásica y cretácica. Además, afloran rocas intrusivas graníticas mesozoicas (Ruiz et al., 1960). El relleno aluvial cuaternario constituye las llanuras desérticas y cubre los valles y las quebradas.

Todas las rocas expuestas están intensamente fracturadas y existe un importante sistema de fallas de corrimiento horizontal dextral, en general paralelo a la costa (St. Amand y Allen, 1960). Existen dos fallas principales de dirección norte que se extienden, una de Paposo al norte llamada Salar del Carmen por Bowes et al (1960) y La Negra por Brüngen (1950), y otra de Taltal al sur, llamada Atacama por Bowes et al (op. cit) que corresponde a la llamada Manto Verde por C. Ruiz (1951), separadas por una falla de dirección noroeste llamada Taltal en este informe. St. Amand y Allen (op. cit.) consideran que la falla Taltal es de corrimiento horizontal sinistral y que ha desplazado a la falla Salar del Carmen hacia el este al sur de ella. Estos autores postulan que las fallas Salar del Carmen y Atacama son una sola falla y la llaman Atacama desde El Salado hasta poco al sur de Iquique (fig. 2). Las zonas de falla principales tienen una buena expresión topográfica, que consiste en escarpas en el relleno aluvial, valles lineales anchos y portezuelos. Además, existen muchas minas alineadas (fig. 3).

## EFFECTOS GEOLOGICOS DEL SISMO

De las investigaciones realizadas en el área epicentral y a lo largo de las fallas entre El Salado y Antofagasta, se desprende que no hubo movimientos de importancia en las fallas. No se encontraron desplazamientos verticales ni horizontales que indicaran movimientos a lo largo de los planos de falla, similares a los que formaron las escarpas en el pasado. Sin embargo, se produjeron pequeñas fracturas a lo largo de la falla Taltal y a lo largo de la zona de falla Atacama por una distancia de a lo menos 20 km. al sur del aeropuerto de Taltal. Estas se produjeron especialmente en el relleno aluvial y disminuyen en magnitud y número

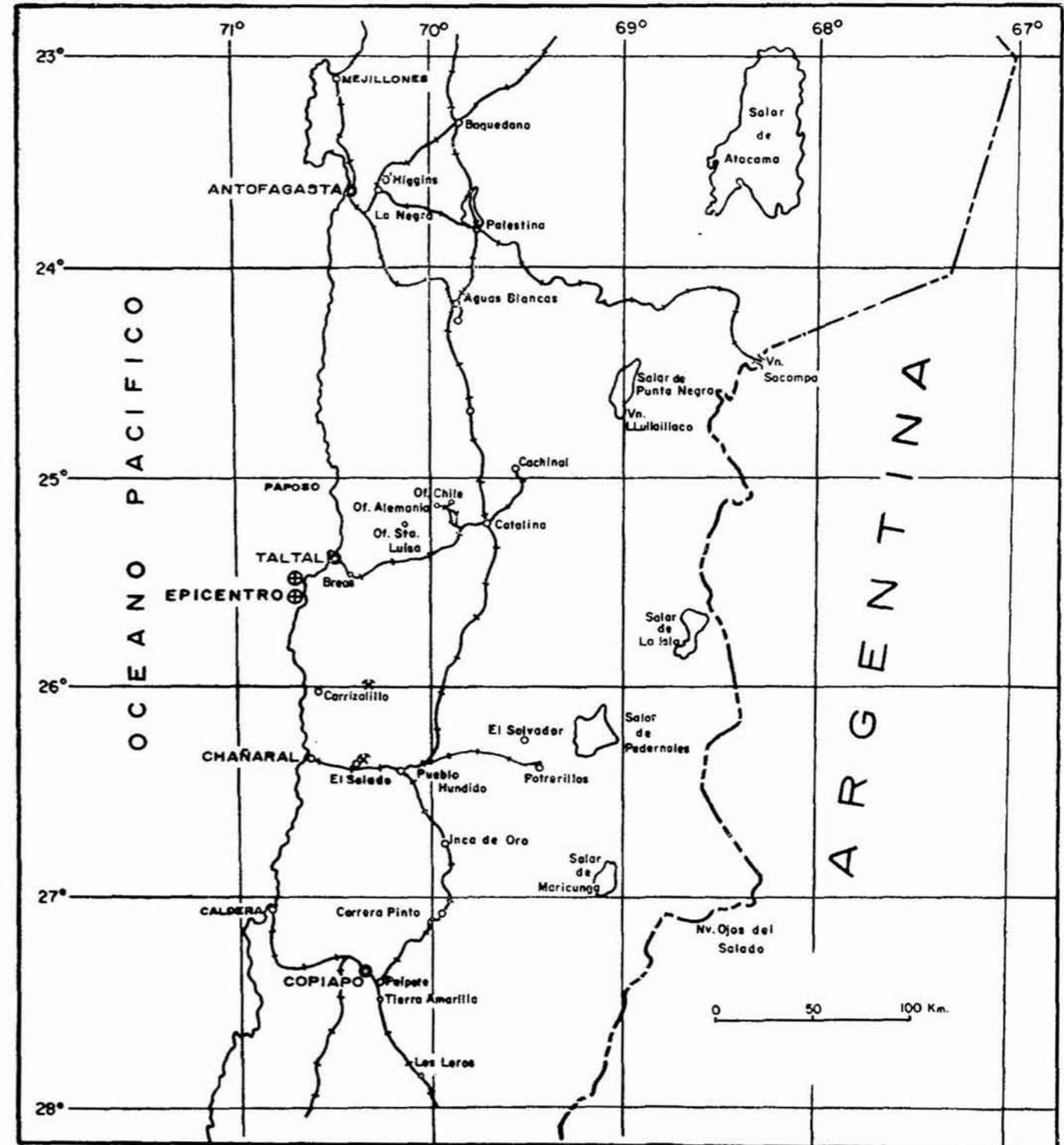


Figura 1. Mapa de ubicación del epicentro

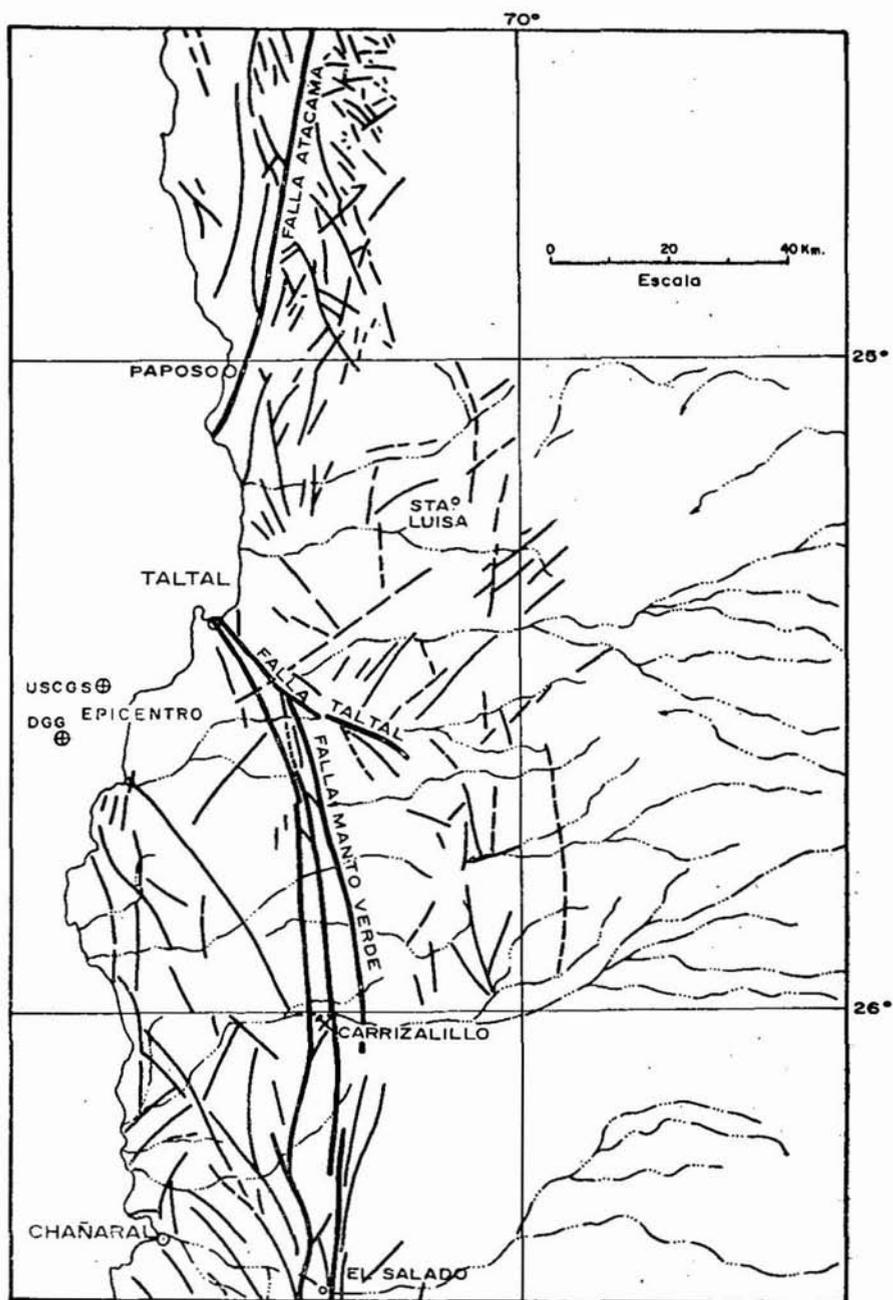


Figura 2. Fallas principales del área epicentral  
 Compilación realizada por C. Chávez, IIG.

hacia el sur (figs. 4a y b). A lo largo de la falla Taltal se encontraron numerosas fracturas abiertas de 3 a 20 m. de largo y 1 a 4 cm. de ancho, en tres sistemas principales: paralelas a la falla principal (aproximadamente  $N40^{\circ}W$ ), y oblicuas:  $N65^{\circ}-85^{\circ}W$  y  $N30^{\circ}E$ . Eran especialmente notorias en los portezuelos alineados que marcan la traza principal de la falla y en el lado noreste de ella, por cuanto el relleno aluvial es más abundante allí. Sin embargo, también se notó movimiento a lo largo de fracturas pre-existentes en la roca, especialmente en aquellas de dirección  $N5^{\circ}W$ . Las fracturas relacionadas a la falla Taltal disminuyen rápidamente en número al sureste de la quebrada Taltal.

Más hacia el sur no se notaron fracturas que pudiesen ser relacionadas a las zonas de falla.

#### DESLIZAMIENTOS

Se registraron algunos deslizamientos ocasionados por el sismo en el área estudiada, especialmente en los bordes de los rajos abiertos de las minas entre El Salado y la mina Carrizalillo y en los escombros de falda de los acantilados de la costa entre Taltal y Paposó (fig. 12).

#### MAREMOTOS

El Instituto Hidrográfico de la Armada proporcionó los siguientes datos mareológicos relativos al sismo. Los mareogramas de Arica, Antofagasta y Caldera registraron ondas anormales relacionadas al movimiento sísmico.

En Arica los mareogramas registran una ola de 0,30 m. de altura que comenzó a las 07 h. 40 m. con un período de 30 minutos. Las olas siguientes fueron moderadas, normalizándose a las 19 horas del 28 de diciembre. En Antofagasta la alteración de la curva de mareas comenzó a las 04 h. 40 m., con seiches que a las 06 h. 30 m. tenían una amplitud de 0,46 m. El fenómeno terminó a las 23 horas del 28 de diciembre. En Caldera, a las 04 h. 30 m. se inició la curva típica de un tsunami con una altura de la primera onda de 0,75 m. con un período de 17 minutos. A las 07 h. 40 m. se registró la amplitud máxima con una altura de 0,84 m. y un período de 20 minutos. A las 09 h. 00 m. la altura es 0,80 m. y el período 18 minutos. De aquí disminuyó paulatinamente registrándose cada hora un grupo de tres seiches, normalizándose la curva a las 06 h. 00 m. del día 30 de diciembre.

La ubicación del epicentro, la magnitud del sismo y la existencia de una fosa oceánica de más de 7.000 m. de profundidad a unos 100 km.

al oeste de Taltal, hacían probable la generación de olas anormalmente grandes, que habrían producido daños enormes en las ciudades costeras. Afortunadamente, no se produjeron sino las pequeñas olas que no alcanzaron un metro y que se describieron más arriba. Estas no afectaron ninguna estructura ingenieril ni produjeron daños.

#### EFFECTOS EN EDIFICIOS Y OTRAS ESTRUCTURAS

Los daños producidos por el sismo no fueron tan intensos como podría haberse esperado de un sismo de tan gran magnitud. Probablemente, esto se deba a lo profundo del foco y a lo escaso de la población en el área de fuertes movimientos. Según datos proporcionados por el Departamento de Geofísica y Geodesia de la U. de Chile el sismo se sintió con intensidad IV MM o más entre Pisagua y La Serena.

Taltal, que tiene aproximadamente 6.000 habitantes, es la localidad más cercana al epicentro y fue la más dañada. Casi no hubo daños en Chañaral, 110 km. al sur de Taltal ni en Antofagasta, 200 km. al norte. Daños menores se produjeron hasta Tierra Amarilla y daños moderadamente fuertes en un hospital en Potrerillos construido de adobe. También allí se dañó fuertemente el 40% de las casas de adobe. En El Salvador se produjeron daños importantes en varias casas de albañilería reforzada y se agrietaron algunas calles (información proporcionada por el Sr. Joaquín Monje).

En la oficina salitrera Alemania, a unos 45 km. al norte del epicentro, se produjeron algunos daños en casas de adobe. En la planta, la chimenea principal de 30 m. de altura, se inclinó aproximadamente  $3^{\circ}$  de la vertical y otra, que había sido inutilizada en septiembre del año pasado, debido a fatiga del metal, cayó. En la estructura metálica de la planta no se produjeron daños.

En Taltal, los daños producidos en 250 casas, de un total de 1.100, eran severos y requieren demolición. Las casas estaban construidas de madera, adobe, caña con barro, planchas corrugadas, concreto con mortero de arena marina y algunas de bloquetas de cemento (figs. 6 y 7). La mayoría de los edificios muy dañados eran viejos y estaban en malas condiciones antes del sismo. Especialmente, las "polillas" habían dañado severamente las estructuras de madera dejándolas en precarias condiciones de estabilidad. La mayor parte de los daños se debe a la caída de paredes de concreto y de construcciones de adobe (A. Thomas, 1967). Los pilares metálicos de un muelle antiguo fallaron debido principalmente a que los pernos de unión a la estructura superior se habían oxidado hasta el punto de prácticamente desaparecer mucho antes del sismo (fig. 8). Algunos muros de contención fallaron, sin que pueda establecerse si fue a causa del empuje o del desmoronamiento del material

sujeto, o si se debió a falla del muro por efecto del movimiento sísmico. También hubo destrucción de algunas aceras construidas sobre relleno artificial.

Taltal está construido principalmente sobre material aluvial constituido por grava y arena en parte bien cementadas que representan el relleno de una quebrada. Existen niveles de terraza llanos separados por pendientes suaves. A lo largo de la costa y bordeando la calle Esmeralda se ha depositado una faja de relleno artificial de espesor variable en la que se produjeron algunos daños. Sin embargo, la Hostería de Taltal, construida al borde de la terraza que limita la costa, no sufrió daños (fig. 9). Algunas construcciones están apoyadas sobre roca firme como es el caso de las casas del ferrocarril; la casa de huéspedes y la planta concentradora de ENAMI están construidas sobre material de terrazas marinas. La traza de la falla Atacama pasa por Taltal y es más o menos coincidente con la calle Martínez (fig. 10).

No fue posible determinar una relación clara entre la geología y los daños en Taltal. Sin embargo, hay algunos indicios que hubo mayor concentración de daños en el área con relleno artificial que bordea la costa y a lo largo de la traza de la falla Atacama. En la calle Martínez se produjo un hoyo (fig. 11) en el suelo, que probablemente corresponde a compactación del relleno de una antigua prospección minera. También hubo un hundimiento del terreno en el patio de una casa. Ambos fenómenos se produjeron aproximadamente en línea con la traza de la falla Atacama. Un galpón de madera para almacenamiento de minerales de propiedad de ENAMI, ubicado en calle Martínez, sufrió la inclinación del techo hacia el noroeste (fig. 5).

En el restaurant de Aguas Verdes, a 20 km. al noroeste del epicentro, no hubo daños. Solamente se rajaron algunas baldosas de flexit en una extensión de 1 a 2 m.

*Efectos en caminos y tuberías.*— A lo largo de los caminos del área epicentral se produjeron algunas fallas de los cortes y terraplenes, especialmente en los alrededores de Paposo, donde el camino corta la pendiente fuerte del acantilado costero (fig. 12). En la Carretera Panamericana se produjeron grietas transversales en el pavimento bituminoso debido a compactación diferencial de los rellenos, especialmente entre el kilómetro 1045 y el kilómetro 1180. Los bordes de los terraplenes están también agrietados y hay deslizamientos de sus taludes debido al mismo proceso.

Las cañerías que conducen agua desde el este y el oeste a la oficina salitrera Alemania fueron cortadas en muchos lugares. Las roturas eran más abundantes cerca de la oficina.

*Efectos en minas, desmontes y tranques de relaves.*— No se informó de daños producidos por el sismo en labores subterráneas, pero hubo algunos derrumbes de rocas y fracturamiento del terreno asociados a

rajos abiertos. En la mina Carrizalillo, unos 60 km. al sur del epicentro, se derrumbó parte de la pared norte casi vertical dejada por el hundimiento antiguo de las labores. Se abrieron, además, numerosas grietas a lo largo de planos de fractura de la roca alrededor del profundo hoyo (fig. 13). En un lugar, se extendieron hasta a 25 m. del borde. La mina tenía, por lo menos, 270 m. de profundidad en el pasado y se derrumbó en noviembre de 1922 a consecuencia de un temblor fuerte (Bowes et al., 1961). También se produjeron grietas allí a raíz del sismo del 18 de febrero de 1966.

En la oficina Santa Luisa, unos 30 km. al norte del epicentro, y en la oficina Alemania, se produjeron algunos deslizamientos de la costra cementada en los taludes de las "tortas de ripios". En Santa Luisa, los taludes de 45° de inclinación, se fracturaron en bloques poligonales irregulares de 1 a 3 m. de diámetro y 0,5 m. de espesor (fig. 14). Algunos de ellos se deslizaron pendiente abajo. En menor escala, se originaron fracturas y derrumbes en la "torta de ripios" de la oficina Alemania.

En la planta de ácido sulfúrico de ENAMI en El Salado se registraron algunos daños en las estructuras. El horno de azufre se desplazó ligeramente sobre su base de concreto, sin que se cortaran los pernos de anclaje. El horno, cuyo eje tiene dirección este-oeste, se corrió aproximadamente 1 cm. hacia el norte. En la planta de tratamiento de agua se agrietaron los muros siguiendo los contornos de las bloquetas de concreto, y una caldera circular también se desplazó 1 cm. al norte sobre su base.

En la torre de absorción, se observó un leve fracturamiento de la base de concreto, sin que se cortaran los pernos de anclaje. La chimenea metálica tuvo algunos daños menores al fallar las soldaduras de algunas uniones, pero fueron reparadas inmediatamente. El azufre apilado en una bodega metálica se derrumbó en parte y deformó una puerta de fierro. El movimiento fue sentido muy fuerte y en forma vertical por el administrador de la planta durante aproximadamente 2 minutos, quien observó que objetos sueltos se desplazaron en sentido este-oeste en su casa habitación.

Debido al efecto que un sismo puede tener en tranques de relave, se examinaron cuidadosamente los tranques de relaves de Punta del Cobre de ENAMI y el de Sali Hochschild en Copiapó. El tranque de Punta del Cobre está detrás del pueblo Tierra Amarilla, a unos 18 km. al sureste de Copiapó. Existen varios depósitos, el mayor de los cuales ha acumulado aproximadamente 1.200.000 toneladas de arena y limo, en un tranque de 50 m. de altura, con pendientes de 35 a 50° de inclinación. No se produjo derrumbe ni deslizamiento de los taludes, pero en el interior del tranque, en la parte superior, hubo fracturamiento intenso y flujo del material arenoso limoso superficial hacia la parte central

posterior. Las fracturas, que indicaban flujo del material, estaban abiertas 3 a 5 cm. en general, aunque algunas alcanzaban 30 cm.; eran en forma de arco y subparalelas (fig. 15). En muchos lugares se formaron numerosos volcancitos de arena (fig. 16 y 17) de unos 2 cm. de altura y hasta 10 cm. de diámetro que demuestran que el material arenoso fino se licuó, tal como sucedió el año 1965 en los tranques de relaves de El Cobre, La Patagua y Cerro Negro (L. Alvarez, 1965).

El tranque de relaves de Sali Hochschild, en las afueras de Copiapó, tiene una altura de 40 a 50 cm. y la pendiente del talud frontal alcanza 40°. Es bastante seco en superficie y no se produjeron daños a consecuencia del sismo.

## CONCLUSIONES

- 1.— El sismo de Taltal produjo efectos menores que los esperados de una magnitud de  $7 \frac{3}{4}$  (escala Richter).
- 2.— No se encontraron evidencias suficientes para demostrar movimientos grandes a lo largo de las fallas conocidas. La mayor intensidad en las zonas de falla se explica por ser zonas de menor competencia.
- 3.— No se encontró una relación entre el tipo de suelo de fundación y los daños en las estructuras. Las destrucciones y daños se debieron, especialmente en el caso de Taltal, a malas características o debilidad anterior al sismo producida por el efecto de las polillas en las edificaciones de madera, a la mala resistencia de los muros de adobe y a las diferentes características de materiales disímiles en estructuras mixtas de albañilería.
- 4.— Se produjo una serie de olas anormales relacionadas al movimiento sísmico, algunas de las cuales alcanzaron características de tsunami en Caldera. Sin embargo, no se originaron daños a consecuencia de ellas.
- 5.— Se evidenció, una vez más, lo inestable que son los tranques de relaves a las ondas sísmicas. Afortunadamente, no hubo desgracias, pero los materiales del tranque de Punta del Cobre se licuaron en parte. Si el fracturamiento hubiese alcanzado a afectar el talud exterior del tranque, éste podría haberse vaciado, derramándose los materiales como una corriente de barro sobre el pueblo de Tierra Amarilla y ocasionando una tragedia similar a la de El Cobre.

Santiago, enero de 1967

## REFERENCIAS

- ALVAREZ S., Leonardo (1966). Efectos de un sismo en tranques de relaves. Boletín N.º 20, Instituto de Investigaciones Geológicas.
- BOWES, William A., KNOWLES, Paul H., MORAGA B., Aldo y SERRANO C., Mario (1961): "Reconnaissance for uranium in the Oñañaral-Taltal area, provinces of Antofagasta and Atacama, Chile". U.S. Atomic Energy Commission e Instituto de Investigaciones Geológicas.
- RUIZ F., Carlos (1951): Informe geológico-económico preliminar sobre las minas "Laura" y "Manto Verde" de Los Pozos. Informe inédito, Fundación Nacional de Paipote.
- RUIZ F., Carlos y otros (1960): "Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos". Boletín N.º 7, Instituto de Investigaciones Geológicas.
- ST. AMAND, Pierre y ALLEN, Clarence R. (1960): "Strike slip faulting in Chile" (abstract). Presentado a la reunión anual de la Soc. Geológica de América.
- THOMAS N., Arturo (1967): "Notas preliminares sobre el sismo de Taltal en diciembre de 1966". Informe inédito, Instituto de Investigaciones Geológicas.

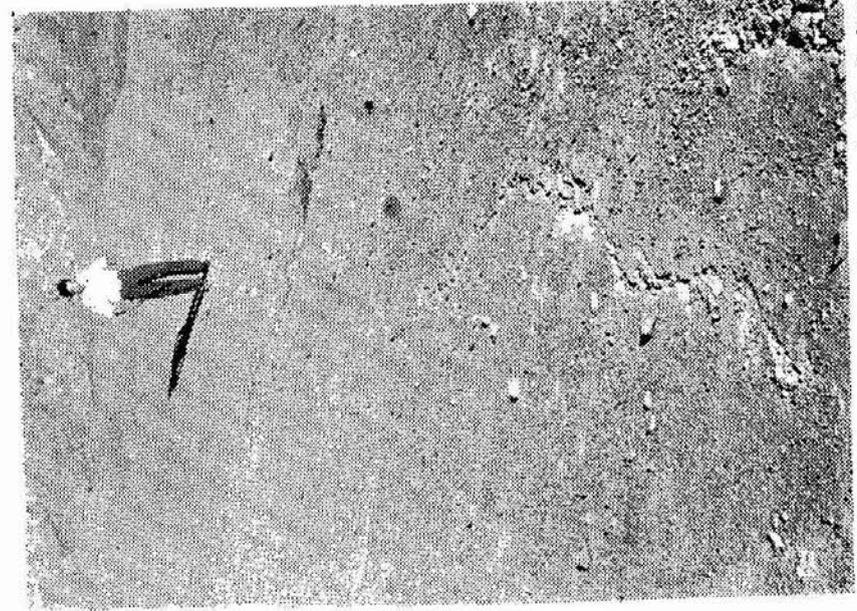


Figura 4a — Fracturamiento del relleno aluvial a lo largo de la traza de la falla Taltal.



Figura 3 — Traza de la falla Atacama desde portezuelo El Saladito hacia el norte.

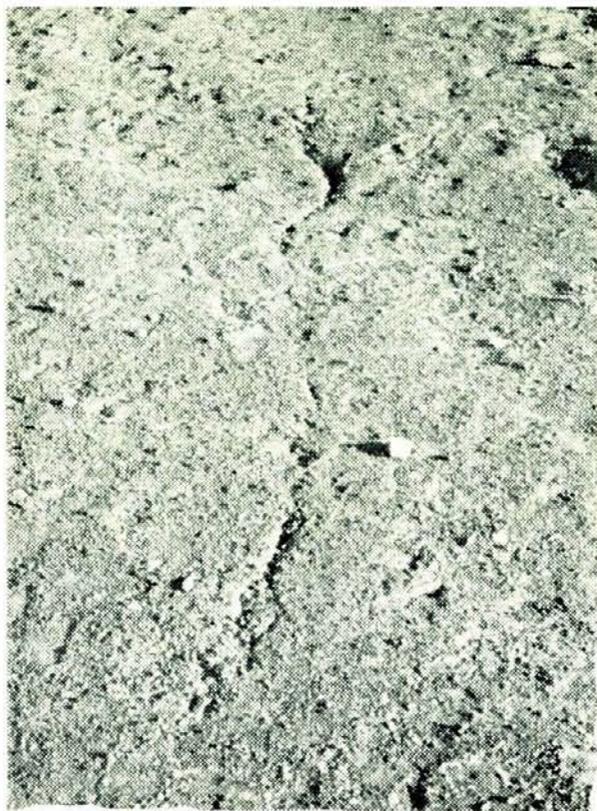


Figura 4b — Fracturamiento del relleno aluvial a lo largo de la traza de la falla Taltal.

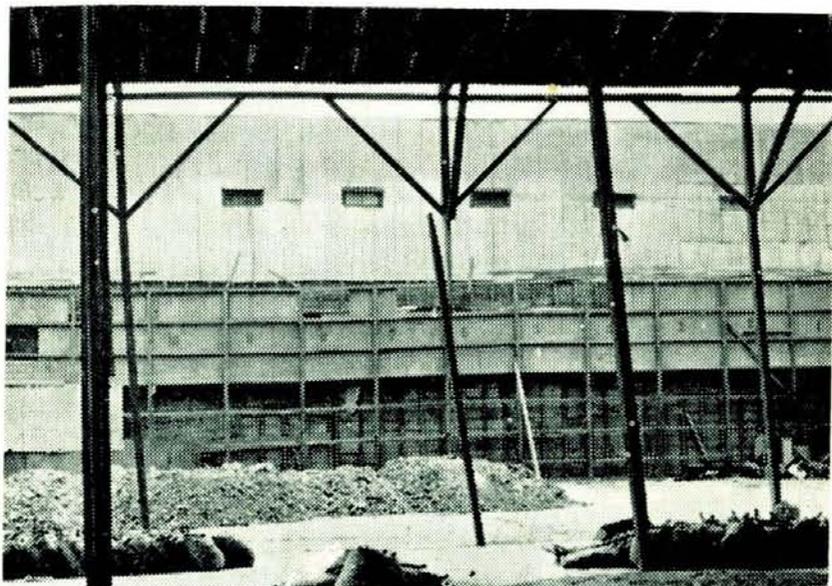


Figura 5 — Galpón de almacenamiento de minerales (ENAMI) en calle Martínez, Taltal, cuyo techo se desplazó hacia el noroeste.



Figura 6 — Casas de madera, caña y barro destruidas en calle Torreblanca, Taltal.

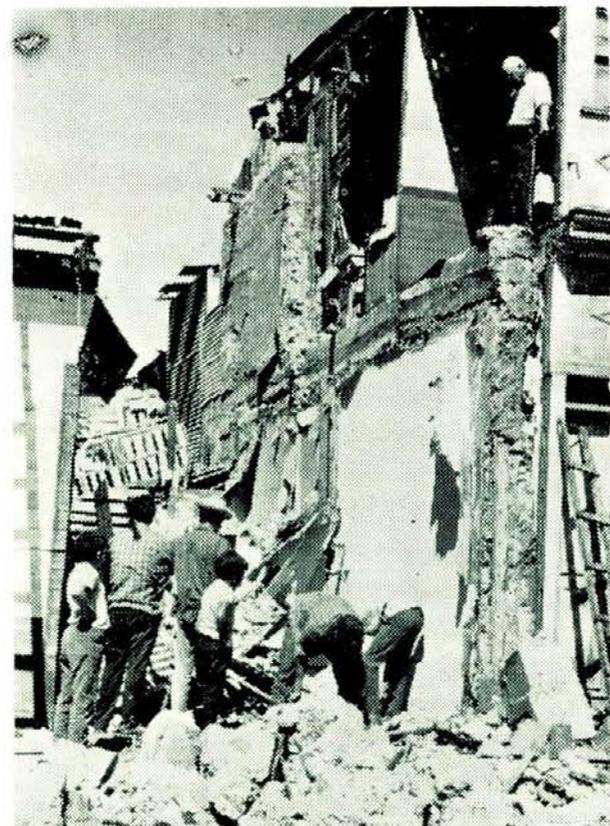


Figura 7.— Casa de construcción mixta de madera y concreto destruida en Taltal.

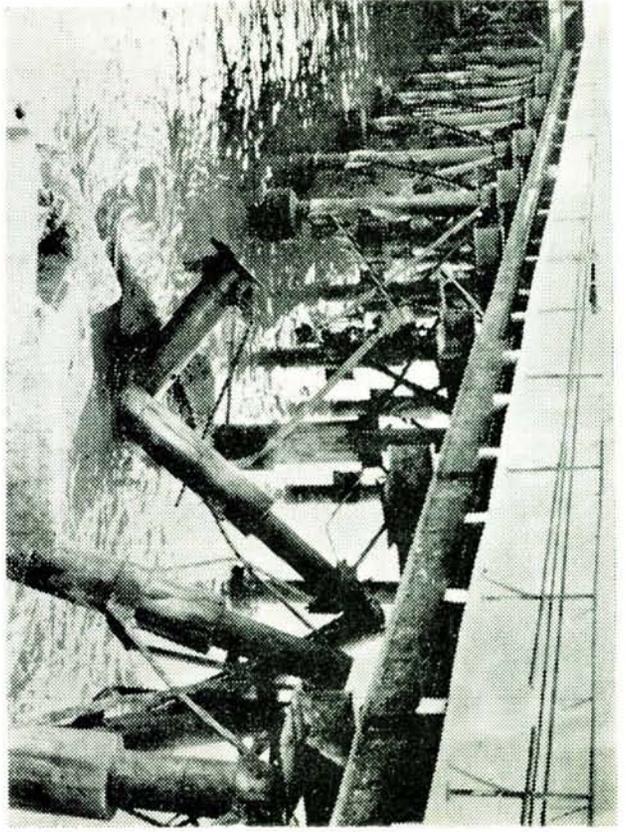


Figura 8 — Muelle de Taltal destruido parcialmente.

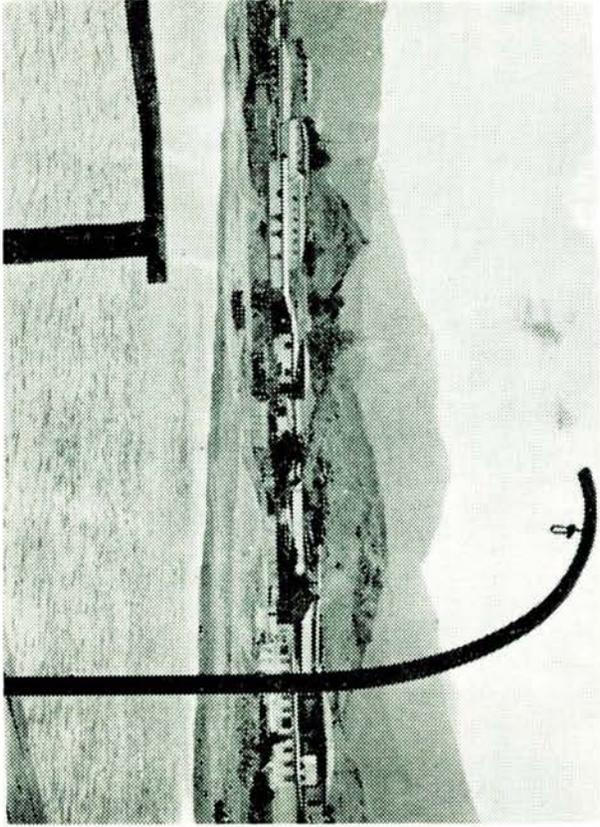


Figura 9 — Playa de Taltal mostrando la Hosteria a la extrema izquierda.

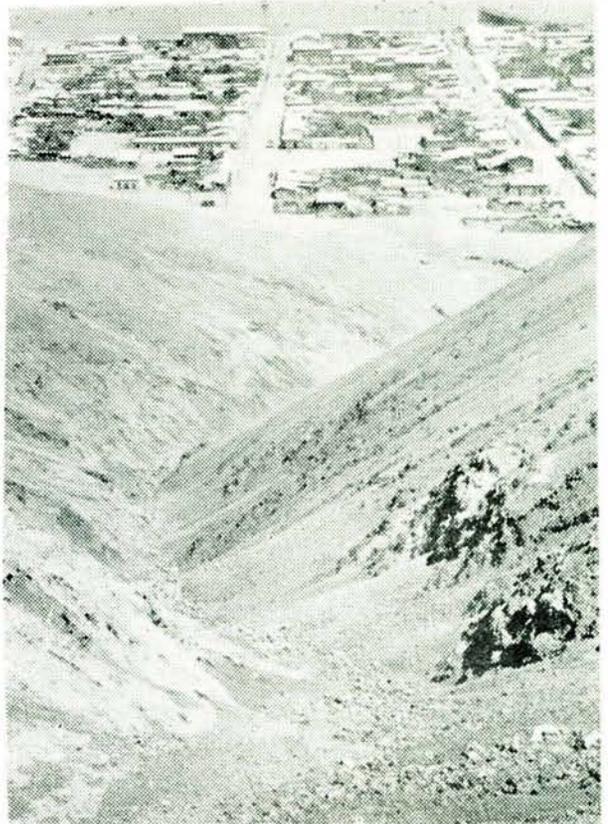


Figura 10 — Traza de la falla Atacama pasando por Taltal. Calle Martinez al centro.

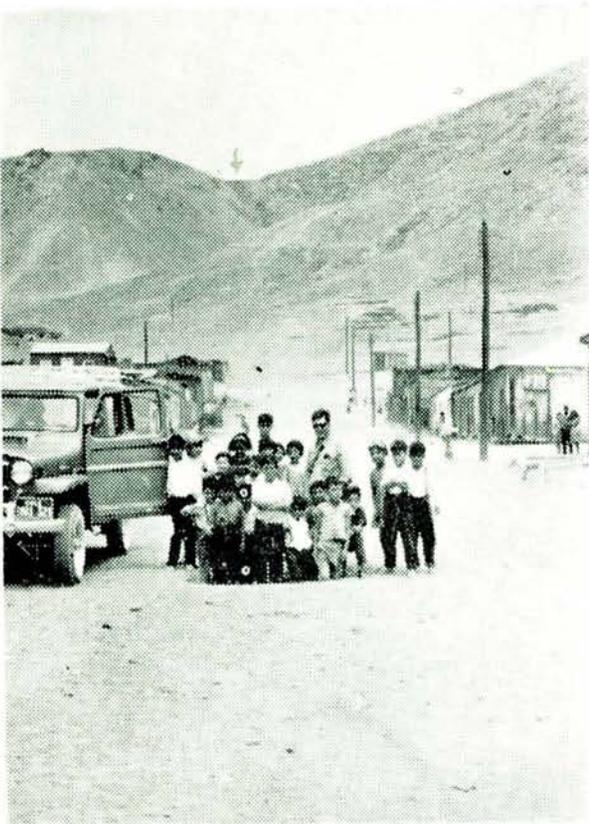


Figura 11 — Hoyo producido en calle Martinez. Taltal, en traza de falla Atacama que pasa por portezuelo del fondo.



Figura 12 — Deslizamiento de escombros de falda en camino a Paposo, 10 km al norte de Taltal.

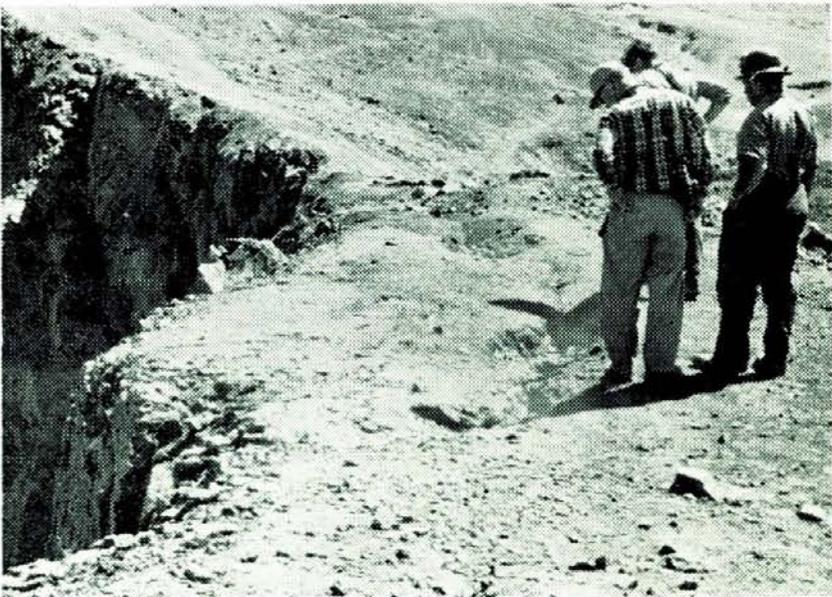


Figura 13 — Grietas producidas alrededor del hoyo de la mina Carrizalillo.

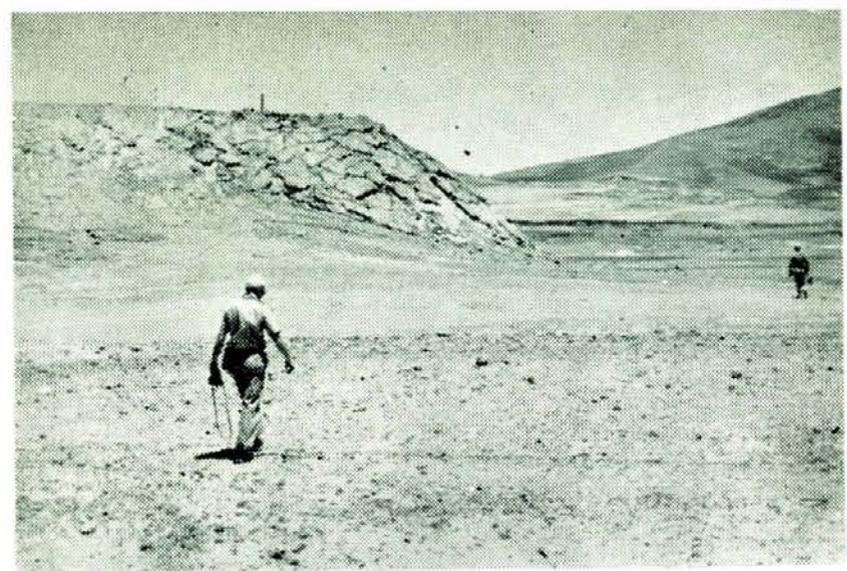


Figura 14 — Fracturamiento de la costra de la "torta de ripios" de la oficina Santa Luisa.

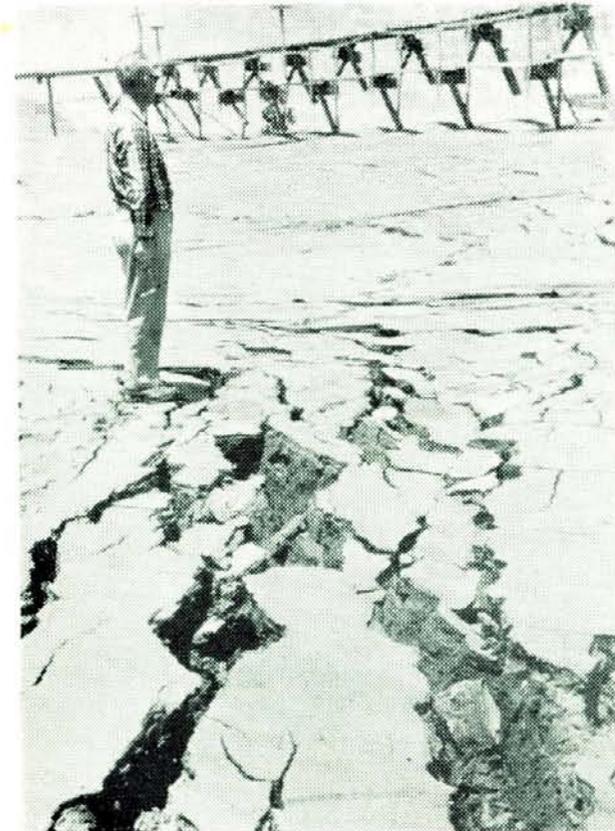


Figura 15 — Fracturamiento producido en el tranque de relaves de Punta del Cobre.

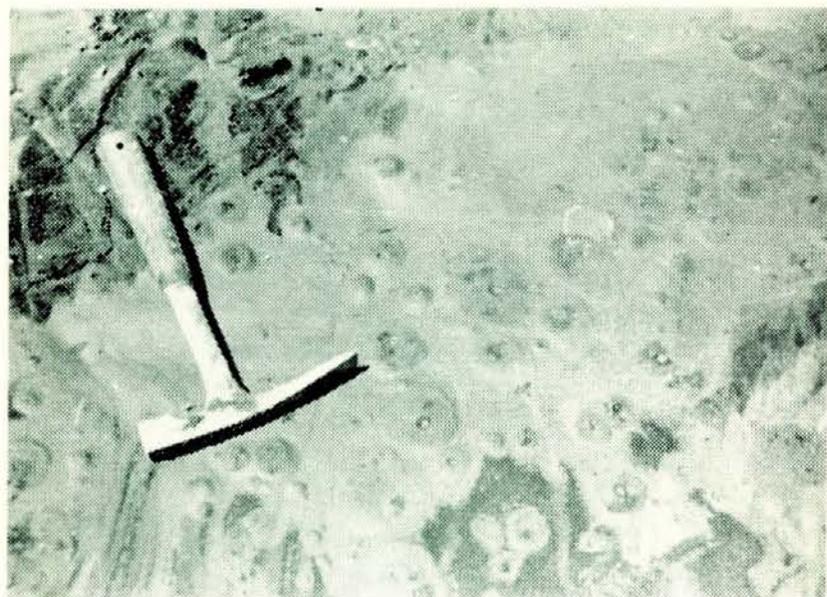


Figura 16 — Volcancitos de arena producidos por licuacion de los relaves de Punta del Cobre.



Figura 17 — Volcancitos de arena y grietas en el tranque de relaves de Punta del Cobre.