



Museo Regional de Rancagua

TALLER DE GEOLOGÍA

Grupo de Análisis e Interpretación de Emergencia Geológica AIEG



INVESTIGACIÓN SOBRE LOS EFECTOS CAUSADOS POR EL TERREMOTO Y TSUNAMI DEL 27 DE FEBRERO EN LA COSTA DE NAVIDAD, VI REGIÓN.

TEXTO RESUMEN

1. Romero J. - 2. Pérez C. - 2. Rodríguez F. - 3. Lara M. - 3. Ayala A.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto del terremoto $M=8.8$ ocurrido el pasado 27 de Febrero de 2010 en Cobquecura, que afectara seriamente todo el centro y centro-sur de Chile y el posterior enjambre sísmico que se desató a partir de ese mismo día entre las costas de la V y VII, el Taller de Geología del Museo Regional de Rancagua y sus respectivos integrantes acordaron realizar una jornada de terreno en Navidad, a fin de analizar los efectos del terremoto y tsunami en ese sitio, como evaluar la condición de las fallas normales e inversas existentes en ese lugar, las cuales han sufrido posiblemente un reactivamiento durante el período. A esto se suma las otras dos campañas de terreno efectuadas con anterioridad, con fines similares.

1.1 UBICACIÓN Y ACCESOS

El pueblo de Navidad se ubica en el límite norte de la costa de la sexta región, en la Provincia de Cardenal Caro y la comuna de Navidad. Está a unos 300 Km. de Rancagua, capital regional. Se puede acceder desde esta última por la "Carretera de la Fruta" y también por San Antonio desde el norte.

4. TECTÓNICA

En el área estudiada, perteneciente en su mayor parte a la Formación Navidad, las estructuras tectónicas no son demasiado importantes, siendo claramente visible la horizontalidad y sub-horizontalidad de los estratos, existiendo escasos pliegues de origen tectónico y algunas fallas geológicas. El presente análisis tiene por motivo cuantificar las fallas y determinar su importancia en los procesos sismogénicos actuales.

Existe bastante material que indica que en el antearco externo del centro sur de Chile se desarrollan abundantes zonas de fallas normales de rumbo NNW a NW de edades Pliocenas (ej. Al S de San Antonio, Wall et. al. 1996; en Pichilemu y Arauco, Cembrano et. al. 2007). Además se han observado fallas de rumbos NW- WNW ubicadas en Navidad y Pichilemu, transversales a los Andes, que forman un corredor de estructuras transiliosféricas (Rivera y Cembrano, 2000; Rivera y Yáñez, 2009).

Según estudios realizados por Lavenu y Encinas, 2005, se ha logrado establecer que sucedieron dos eventos extensionales (creadores de fallas NW-SE) en el área de Navidad durante el Mioceno-Plioceno, que se traduce en un alzamiento continental de más de 1500 m. Posteriormente la Cuenca de Navidad experimenta una compresión de esfuerzos E-W y por último, se identifica en los estratos más recientes una fase extensional de orientación E-W.

4.1 FALLAS GEOLÓGICAS

4.1.1 Boca de Pupuya

En el sector de la Boca de Pupuya, al N de Navidad, se logró divisar una falla junto a la rivera del río Rapel, la cual tiene un sentido Inverso y un rumbo NE-SO y según una rápida inspección visual no tiene rasgos geomorfológicos de actividad reciente, por lo cual es inapropiado sospechar que tiene relación alguna con el enjambre sísmico.

2. TERREMOTO $M_w 8.8$ Y SU EFECTO EN EL LITORAL DE LA SEXTA REGIÓN

Este terremoto ocurrido a las 3.43 a.m. del 27 de Febrero es considerado el más grande en Chile luego del terremoto de 1960 y uno de los 5 más grandes registrados en la historia mundial y a pesar de que la laguna sísmica de Concepción-Constitución tenía un tamaño relativamente reducido (más de 200km de longitud) la zona de ruptura se extiende por cerca de 630 km. Desde Tirúa en la costa de la IX Región, hasta Valparaíso, en la región del mismo nombre. Esto se traduce en que la zona afectada por las magnitudes máximas están entre ambos puntos mencionados con anterioridad ($M=8.8$).

En la región no solo produjo daños estructurales, pérdidas humanas, pérdidas patrimoniales, destrucción, afecciones a la conectividad y problemas en los servicios básicos, sino también involucró (aunque actualmente se mantiene esta situación) un efecto secundario, de importante sismicidad justamente focalizada en la costa de Cardenal Caro.

5.1 TSUNAMIS

En la zona estudiada se pudo medir importantes componentes relacionados al tsunami, como la altura de las olas, la cantidad de olas, el tiempo de arribo, las zonas afectadas y los depósitos producidos. Las bases utilizadas para estas mediciones son; 1) en campo; 2) por observación satelital; 3) por entrevistas a testigos y 4) por comparación fotográfica.

5.1.1. Mediciones de Campo:

Los valores obtenidos en la observación de campo se basan en la visualización de depósitos de arenas recientes, vegetación arrancada y orientada en el sentido de la corriente, objetos arrastrados por el mar y por último recolectando testigos de los sedimentos.

5.1.1.1 Observaciones Visuales:

- Se pudo constatar en la playa de Punta Perro, al O de Navidad, que una gran cantidad de escombros habían sido depositados a unos 15 metros de la línea del oleaje (considerar marea baja) y a unos 10 metros de la zona de marea alta, sin embargo esto fue interpretado como escombros (raíces, espinas, basura, cochayuyos, corales, entre otros) acumulados con el retroceso de la ola, ya que junto farellón costero (a unos 40 metros del mar) se encontraban restos de arena, cochayuyos en descomposición y capas de sal en las rocas.



Fig. 5.1.1.1; Escombros depositados por el tsunami en la playa de Punta Perro, Navidad. Fotos: Jorge Romero M.

- Más al NE, junto a la sección terminal del Río Rapel, se pudo apreciar que la vegetación entre el nivel del río y hasta los 4 metros sobre su superficie actual la vegetación estaba arrancada de raíz en varias zonas, con una orientación SSE (hacia donde ingresó la ola). Además se apreciaban capas de sedimento (arena) entre la vegetación. Algunos pastos fueron arrancados junto con su capa fértil. De este sector se extrajeron testigos de 40 cm.

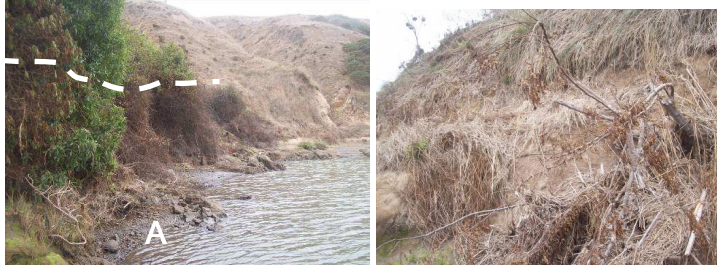


Fig. 5.1.1.1-2; **A**; altura máxima de las olas en junto al río Rapel. **B**; vegetación arrasada por la fuerza del mar. Fotos: Jorge Romero M.

- En la playa de La Boca se logró observar un escarpe junto a la playa, que indica la erosión del tsunami. Muchos restos de troncos, raíces, ramas, basuras, corales violáceos, numerosos bivalvos recientes, etc. Don Nivaldo Maturana Salgado, dueño de la propiedad “Los Cisnes” perdió 3 lanchas, un bus (que se alejó unos 100 metros desde su posición original) un muelle de unos 20 metros al interior del río y una camioneta.



Fig. 5.1.1.1-3; Playa La Boca. **A**; Escarpe producido por la abrasión marina. **B y C**; Escombros arrastrados por el tsunami. **D**; Bus arrastrado por el mar. Fotos: Jorge Romero M.

- Al Sur, en la playa de Las Brisas, el mar creó un borde de abrasión al menos a 30 metros fuera de la línea del oleaje, en un sistema de dunas. También se apreciaron los mismos materiales arrastrados en Punta Perro. Algunas lagunas y cauces distantes a unos 100 metros del mar fueron modificados y erosionados.



Fig. 5.1.1.1-4; Playa de Las Brisas. La línea amarilla señala el alcance del mar durante el tsunami del día 27.

- En el extremo N de la rívera del río Rapel se apreciaba claramente un escarpe y un retroceso de la orilla, de al menos 20 metros.

Todos estos antecedentes permiten situar la altura máxima de las olas entre los 3 y 10 metros sobre el nivel del agua actual y con la energía suficiente para mover sin problemas objetos de más de 3 toneladas.

5.1.1.3 Entrevistas a Testigos:

Nuestros entrevistados en terreno fueron los integrantes de la familia Maturana, que vive a unos 25 metros del mar en el fundo “Los Cisnes”. Tanto don Nivaldo Maturana como su esposa relataron la presencia de al menos 3 grandes olas (la segunda, la más fuerte) de unos 5 a 7 metros, que arribó después de 20 minutos pasado el terremoto, y que se acompañaron de otras 6 olas de menor tamaño.

Según lo anterior podemos concluir que si la aseveración de Maturana es correcta, el hecho de que el tsunami haya recorrido 329.68 km (desde el epicentro, hasta las costas de Navidad, en alrededor de 20 minutos, la velocidad de las olas sería de 989.04 Km./hr, sin embargo considerando un margen de error de unos 10 minutos en su calculo, la velocidad sería de 659.36 Km./hr. En promedio podemos estimar que la velocidad debiese haber sido de unos 824 Km./hr

Para comprobar esto medimos la velocidad media de desplazamiento de la ola entre el epicentro, y el arribo a Talcahuano. Este se completó en 19 minutos, sin embargo la distancia entre ambos puntos es de 94.65 km. aproximadamente, siendo la velocidad, de 290km./hr. Esto quiere decir que en llegar las primeras olas hasta Navidad, existió un lapso matemático de 70 minutos aproximadamente, lo que se contradice con la declaración de Maturana. *Información tomada del Pacific Tsunami Warning Center y el West Coast and Alaska Tsunami Warning Center.*

En muchos de los sitios los tiempos de arribo de las primeras olas fueron muy diferentes pese a su cercanía, tiempo que abarcó desde pocos minutos hasta varias horas después del terremoto. Es por esta razón que si bien es cierto los instrumentos registraron cambios en la marea, bastante después de lo indicado por los testigos, debemos también darles credibilidad ya que estos 20 minutos que reporta Maturana también coinciden con muchos otros testimonios, incluso en Llo-Lleo.

La conclusión preliminar es que las olas alcanzaron la costa de Navidad aproximadamente 30 minutos luego del terremoto, con una velocidad en promedio de entre 700 y 800 Km. /hr.

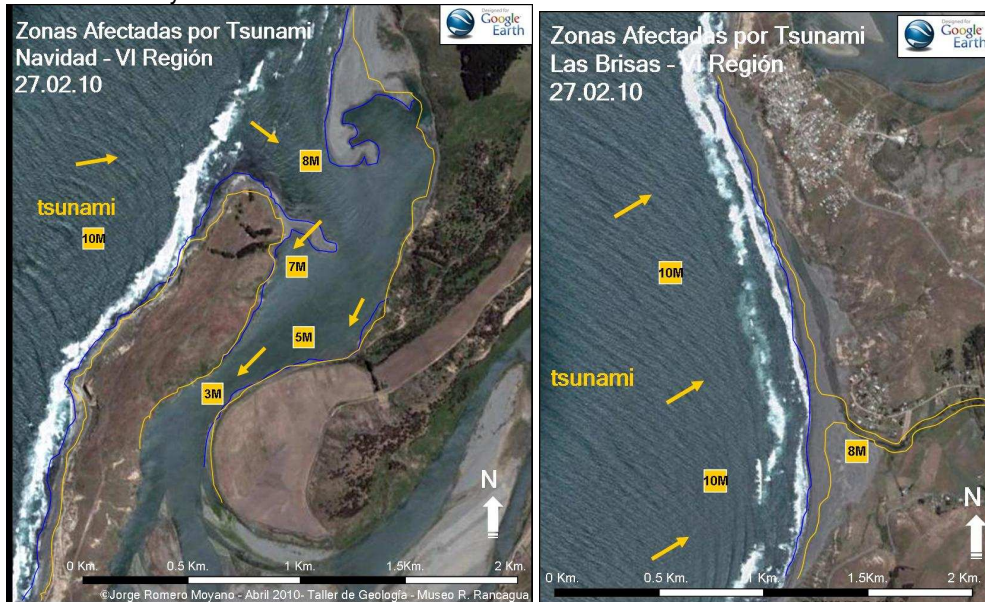


Fig. 5.1.1.3; Mapa de las zonas afectadas por el tsunami del día 27 en Navidad y Playa Las Brisas. Las líneas anaranjadas muestran los sitios inundados por el tsunami, mientras que la línea azul indica el borde costero antes del maremoto. Las flechas y los recuadros señalan la dirección de ingreso del mar y las alturas máximas de las olas, respectivamente. © Jorge Romero M.

1.4 Comparación Fotográfica

La comparación fotográfica de algunos de los sitios anteriormente mencionados permitió la elaboración de las figuras anteriormente expuestas (Mapas de las zonas afectadas por los tsunamis).

5.2 COMPORTAMIENTO DEL SUELO Y EFECTOS EN EL TERRENO

Según el grado de devastación causado en las diferentes superficies, sumado a las fracturas, grietas, fallas, remociones en masa y procesos de licuefacción, se ha determinado un cierto grado de vulnerabilidad (microzonificación sísmica) de los diferentes suelos y unidades litológicas ante las ondas sísmicas.

UNIDAD LITOLÓGICA	LITOLOGÍA	ACELERACIÓN O. SÍSMICA P	RIESGO
Frm. Navidad	R. sedimentaria	± 3500 m/s	Moderado
Frm. Licancheo	R. sedimentaria	± 3500 m/s	Moderado
Frm. Rapel	R. sedimentaria	± 3500 m/s	Moderado
Frm. La Cueva	R. sedimentaria	± 3500 m/s	Moderado
I. Pudahuel	R. volcánica	± 2500 m/s?	Muy Alto
B. Granítico	R. plutónica	± 5200 m/s	Bajo
B. Metamórfico	R. metamórfica	± 6500 m/s	Bajo

5.2.1 Zonas de Riesgo Muy Alto:

Corresponden a los lugares en donde con un movimiento de las características del terremoto del 27 de Febrero o menores, es común encontrar deslizamientos de ladera importantes con grandes bloques rodados, fenómenos de subsidencia, agrietamientos importantes, licuefacción.

En terreno, clasificamos a la Ignimbrita Pudahuel como la principal unidad litológica de lugar con este tipo de problemas, por lo que es indispensable impedir la construcción en suelos de este tipo, principalmente de obras viales, y todo tipo de edificaciones pesadas.



Fig. 5.2.1; A - B; Imágenes de los escarpes producidos por los movimientos de ladera en el sector del Lago Rapel. C; Caseta colapsada por subsidencia y o licuefacción del suelo, en el Lago Rapel.

5.2.2 Zonas de Riesgo Moderado:

Son aquellas unidades litológicas que con el paso de las ondas sísmicas de un terremoto como el del 27 de Febrero, se han comportado de manera menos peligrosa, aunque se han producido grietas, algunas pequeñas remociones en masa o rodados en seco y fallas menores.

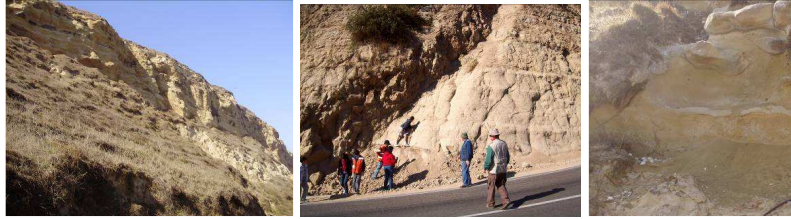


Fig. 5.2.2; Formaciones Navidad y Rapel. Fotos: *Ingrid Silva - Jorge Romero M.*

5.2.3 Zonas de Bajo Riesgo:

Aquellos sitios en donde la litología representa rocas más consistentes, como las ígneas o las metamórficas, que no suelen sufrir grandes cambios después de un terremoto de estas características. Son suelos más rígidos.

5.3 PERDIDAS PERSONALES Y MATERIALES

En la Comuna de Navidad, el saldo del terremoto fue de 1 fallecido, 1 desaparecido, 2804 personas damnificadas, 31 personas albergadas en 2 albergues, 152 viviendas destruidas y 449 casas dañadas.

5.4 MOVIMIENTO DE LA CORTEZA CONTINENTAL

Es importante señalar que según quienes viven en la zona de Navidad, la geografía habría tenido algunas modificaciones visibles, como la exhumación de suelos antiguamente ubicados bajo el agua, algunos pequeños cambios en los cauces de los ríos, la desaparición de importantes superficies del delta del río Rapel, así como un retroceso del mar. Todo lo anterior es interpretado como un claro indicador de que ocurrió un alzamiento continental de entre 30cm y 50cm en esta zona, así como un movimiento de la placa Sudamericana hacia el SO de unos 50 cm o más (esto se conocerá en un futuro con las nuevas mediciones de GPS Geodésico).

3. CONCLUSIONES

Se concluye con este completo informe principalmente que los efectos del terremoto y tsunami han sido muy importantes en la Comuna de Navidad, VI Región.

La medición de las olas del maremoto, basados en datos de campo como en declaraciones de observadores, arrojó unos impresionantes 3 a 10 metros de altura. Las velocidades de las olas fueron de entre 700 y 800 Km. /hr.

El comportamiento del suelo, de acuerdo a la litología de las unidades de roca, fue en la mayor parte de los lugares aceptable, sin embargo es evidente que las volcánicas de la Ignimbrita Pudahuel (que por lo demás están en gran parte de la VI Región, son el peor suelo para la construcción ya que experimenta importantes fenómenos de ladera, de subsidencia y fracturamientos del suelo, como sucedió en el Lago Rapel.

Es importante señalar que además de los datos aportados por los testigos del mismo terremoto y tsunami, hemos recibido importantes testimonios de ruidos subterráneos (como se menciona en este mismo informe, similares a tremores volcánicos) que si bien es cierto corresponden a procesos característicos de un terremoto de esta magnitud, debemos estudiar mejor para comprender su significado e implicancias.

Otra arista abierta que debemos estudiar es aquella relacionada a las "luces y relámpagos" vistos durante el sismo, ya que numerosos observadores han testificado lo anterior, incluyendo geólogos, y está en nuestra misión explicar científicamente estos extraños eventos naturales.

Para finalizar este informe cabe resaltar el hecho de que aún, y por varios meses persistirá la posibilidad de que ocurran sismos de magnitud mayor (cerca de 7) tanto en nuestra región como en la zona de ruptura, por lo que se deben mantener los planes de contingencia, tanto personales como colectivos.

4. AGRADECIMIENTOS

En esta obra queremos agradecer a todos quienes hicieron aportes monetarios para la realización de este estudio, así como a los gestores del terreno, de los cuales en este informe se menciona solo a 5 integrantes que participaron muy activamente en la recopilación de datos en terreno.

Debemos agradecer también a la familia Maturana, quienes nos proporcionaron información extremadamente valiosa. A ellos dedicamos esta obra, ya que han sido protagonistas de esta lamentable catástrofe natural.

7. FUENTES

1. Luis A. Buatois y Alfonso Encinas, La icnofacies de Glossifungites en el contacto entre las formaciones Navidad (Miembro Rapel) y La Cueva, Plioceno de la Cordillera de la Costa, Chile: su significado estratigráfico-secuencial, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
2. Alain Lavenu y Alfonso Encinas, 2005, Deformación frágil de los depósitos neógenos de la cuenca de Navidad (Cordillera de la Costa, 34°S, Chile central), Revista Geológica de Chile, Vol. 32, No. 2, p. 229-248.
3. Aquaconsult, Geología del sector estero Trincao, GCF Ingenieros, pág. 3-7
4. Yáñez G., Gana P. y Fernández R., 1998, Origen y significado geológico de la anomalía Melipilla, Chile Central, Rev. geol. Chile v.25 n.2, pág. 5-9
5. González G., Allmendinger G., Cembrano J., Yáñez G. y Rivera O, Hipótesis sobre las "réplicas" del 11 de Marzo de 2010, Documento de divulgación científica, Sociedad Geológica de Chile, 15.03.10
6. Wickler P., Contreras M., 2010, Levantamiento preliminar de la zona de inundación del tsunami en la localidad de Lillole (33°36'22"S; 71°37'31"W), Facultades de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso y de Ingeniería en la Universidad de Playa Ancha.
7. Madariaga R., 1998, Sismicidad en Chile, Física de la Tierra, Nº 10, 221-258.
8. Gobierno Regional de Ohiggins, 2010, Intendente analizó la situación de O'higgins, Unidad de Comunicaciones, Comité de Emergencia.
9. Romero J., 2010, Informes técnicos- reportes sobre la sismicidad en el centro y sur de Chile, del 1 al 11, Museo Regional de Rancagua, Taller de Geología.
10. Romero J., 2010, Conformación del equipo multidisciplinario, Taller de Geología y sus respectivas tareas de terreno estudiando la génesis e implicancias de la sismicidad en Navidad, costa central de Chile, Museo Regional de Rancagua, Taller de Geología.