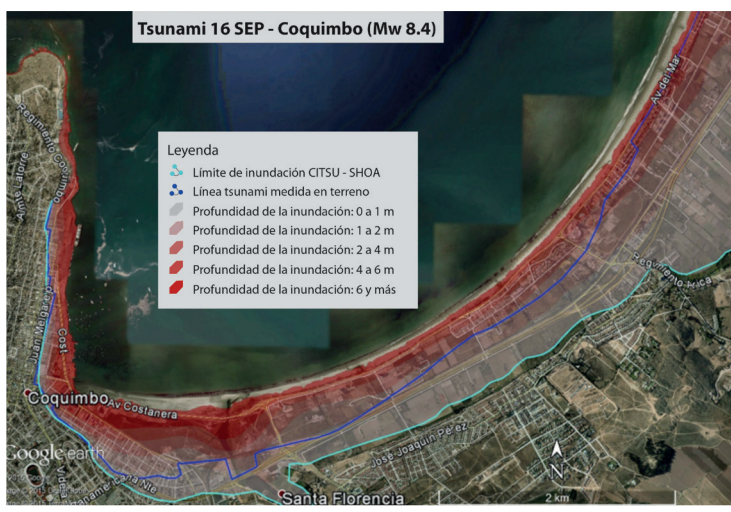


# TSUNAMI EN COQUIMBO

Nicolás Guzmán Montesinos

**Chile sigue siendo el país más sísmico del mundo, y debemos vivir preparados: no basta tener un sistema de emergencia de alto nivel con material de la mejor tecnología, si no existe personal entrenado, autoridades comprometidas y una educación consistente.**



comportamiento de este evento. Los datos de run-up y GPS obtenidos en terreno se utilizaron para comparar los valores medidos versus los modelados en las Cartas de Inundación por TSunami (CITSU).

## Cronología de los acontecimientos

19:54: Se comenzó a percibir un sismo que, según lo reportado posteriormente por la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio

**E**l día 16 de septiembre de 2015 a las 19:54 horas, se percibió un sismo que tuvo una Magnitud de Momento calculada de Mw 8.4 y un tsunami que alcanzó su mayor amplitud en la Estación de Nivel del Mar de Coquimbo, con más de 4,6 metros. El accionar del personal y material del Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM), dependiente del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), tuvo un desempeño excepcional, lo que permitió emitir una alarma en pocos minutos y mitigar los riesgos asociados a este fenómeno natural. Con los datos obtenidos del sistema de monitoreo SAVTEC, se obtuvieron las amplitudes de tsunami, con las cuales se pudo efectuar un análisis del

del Interior (ONEMI), tuvo una máxima intensidad de VIII para Coquimbo y La Serena, e intensidades VII reportadas en Los Vilos, El Quisco, San Antonio, Santiago, Tiltil y Rancagua, lo que indicaba que sería un terremoto de gran magnitud.

19:56: Con la información de intensidades recopilada por los observadores calificados, la ONEMI decreta la evacuación preventiva del borde costero, de acuerdo a lo vigente en el protocolo SHOA-ONEMI. El movimiento telúrico se mantuvo hasta las 19:57 horas.

19:58: Se reciben los primeros informes sísmicos, provenientes del Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) y del National Tsunami Warning Center

\* Teniente 1°. Ingeniero Hidrógrafo. Jefe de la División Sistema Nacional de Alarma de Maremotos

(NTWC), indicando que el sismo ocurrido tendría preliminarmente una magnitud de 7.2. En ese instante, el personal de guardia del Sistema Nacional de Alarma de Maremotos, activa su cronómetro, sabiendo que tiene un máximo de cinco minutos a contar de ese momento, para emitir un boletín a las autoridades civiles, navales y marítimas, con la presión y responsabilidad que esto involucra: una mala decisión puede costar vidas.

19:59: PTWC emite un boletín aumentando a Magnitud de Momento Mw 7.9.

20:00: El jefe de servicio, asesorado por el jefe de la división SNAM, decide emitir una alarma de tsunami y da la orden de preparar los mensajes en todas las estaciones.

La eficiencia del personal naval y civil se pone en evidencia: el primer boletín del SNAM se emite a las 20:02, tres minutos después de recibida la información oficial y ocho minutos después de iniciado el sismo.

A continuación, se recibieron más boletines de los diferentes centros sismológicos, ante lo cual el SNAM utilizó el peor escenario, la magnitud Mw 8.4 informada por el Centro Sismológico Nacional (CSN), organismo más confiable en términos de cantidad de instrumental y cercanía al hipocentro u origen del sismo.

Los resultados finales de los parámetros del evento fueron los siguientes:

La deformación medida por los GPS continuos del CSN, arrojaron como resultado que los mayores desplazamientos verticales de la Placa Sudamericana, se sitúan aproximadamente a 60 kilómetros al noreste del epicentro y alcanzan los 6 metros (ver Figura 1).

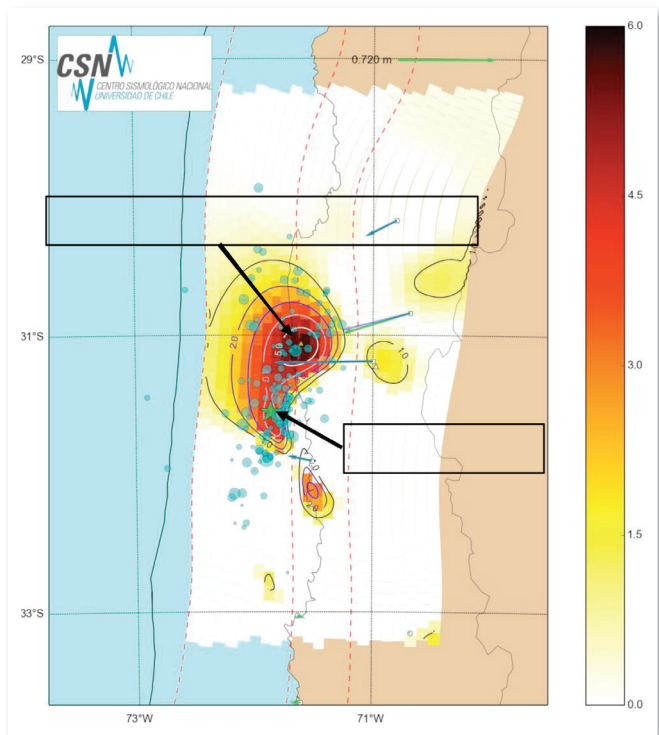


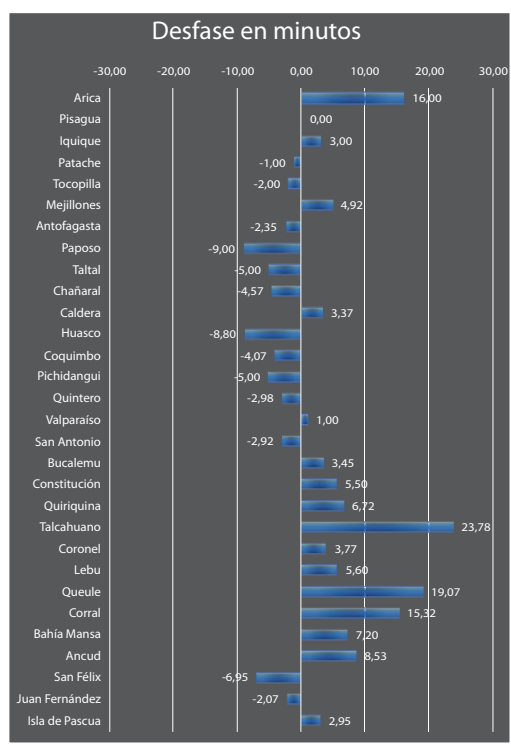
Figura 1: Estimación preliminar del desplazamiento de la falla. (Cortesía del Dr. Sergio Barrientos, CSN).

Magnitud.	8,4 (Mw).
Fecha –Hora.	16 de septiembre de 2015 a las 19:54 hora local (22:54 UTC).
Epicentro.	31.553° S; 71.864°W.
Profundidad.	11.1 Km.
Referencia Geográfica.	42km al W de Canela Bajo.
Región.	Coquimbo.
Fuente.	CSN.

Tabla 1: Informe sísmico final del CSN.

El sector de mayores desplazamientos verticales, fue el que originó las mayores perturbaciones en la columna de agua, dando origen a las mayores ondas de tsunami. Los arribos de las ondas de tsunami en las diferentes ciudades costeras de Chile fue calculado con el Tsunami Travel Time (TTT), software desarrollado para la determinación del tiempo de arribo desde el epicentro hacia todas las ciudades costeras del mundo. Los arribos entregados por el TTT corresponden solo a la primera onda, que normalmente no es la más destructiva.

20:12: El personal del SNAM emitió el segundo boletín, informando los arribos de las ondas de tsunami a las costas de Chile. La tensión comenzó



■ Figura 2: Desfase del tiempo de arribo de la primera onda de tsunami entre los tiempos modelados en el Tsunami Travel Time (TTT), versus los tiempos medidos en el SAVTEC, de las distintas Estaciones de Nivel del Mar del SNAM.

a bajar en la sala de operaciones del SNAM, en el ambiente se percibía un sentimiento de satisfacción, de deber cumplido, aun sabiendo que en ese momento podrían haber pérdidas humanas y materiales.

Se realizaron comparaciones entre los arribos modelados y los medidos en el sistema de monitoreo SAVTEC, en el que se analizaron los datos de las Estaciones de Nivel del Mar del SNAM. Luego de analizar las diferencias en los tiempos, se atribuyen dichas diferencias a que el software no tiene cómo estimar el inicio del tsunami, ya que considera el epicentro del sismo como origen de éste y no donde se generaron los mayores desplazamientos verticales. El comportamiento del arribo del tsunami al norte del epicentro, en la mayoría de los casos, es antes del esperado (por su mayor cercanía) y al sur, el tsunami se atrasa, debido al mismo motivo. La resolución de la configuración de la costa y la densidad y calidad de la batimetría --reducidos

para un cálculo rápido del modelo-- también influyen directamente en los desfases de los arribos (ver Figura 2).

Las amplitudes en las diferentes localidades del tsunami fueron medidas con los sensores de presión y de radar que poseen las estaciones 40 MAWS110 (el SNAM tiene actualmente uno de los sistemas de monitoreo de nivel del mar más completos y modernos del mundo), registrándose —en Chile— entre las Estaciones de Nivel del Mar de Arica y Bahía Mansa, incluyendo todo el territorio Insular.

El personal de la División SNAM desarrolló un algoritmo que permite filtrar las ondas de marea y dejar solo la señal de tsunami, que fue aplicado al Software de monitoreo SAVTEC —también desarrollado en Chile—. Los resultados se presentan en amplitudes positivas (seno) o negativas (valle), dependiendo de cuál haya sido la mayor. Los colores de la tabla indican: en rojo, tsunami mayor; en naranja, tsunami intermedio; en amarillo, tsunami menor; y en verde, tsunami instrumental (ver Figura 3).

La diferencia de amplitudes de una localidad a otra varía por la cercanía a la zona de ruptura —considerando los mayores desplazamientos verticales como origen de las mayores ondas—, la configuración de la costa y la batimetría.

Una bahía situada al sur de la ruptura y abierta al norte, va a ser más propensa a tener mayores amplitudes que una bahía orientada al sur. Caso particular es la bahía de Talcahuano, que por sus características geomorfológicas, entra en efecto de resonancia, amplificando el tsunami.

20:30 A medida que arribaban las ondas de tsunami, el personal del SNAM registraba los datos e iba informando a los operadores que llenaban los boletines que se iban emitiendo a la ONEMI, autoridades navales y marítimas. El tsunami había arribado y superaba los dos metros en distintas localidades, mientras una réplica de Magnitud Local (o Escala Richter) M6.7, se percibía en el SNAM.

06:20 Se emite Cancelación Final para todo el territorio. La alarma de tsunami estuvo vigente por 10 horas y 38 minutos, y el SNAM fue cancelando en forma gradual, a medida que las amplitudes

	Tiempo (H.L.)	Amplitud (metros)
Arica.	2:43	(+)0.64
Pisagua.	1:51	(-)0.23
Iquique.	2:46	(+)0.30
Patache.	6:14	(-)0.4
Tocopilla.	1:35	(-)0.21
Mejillones.	21:47	(-)0.34
Antofagasta.	0:11	(+)0.5
Caleta Paposo.	0:08	(-)0.27
Taltal.	23:47	(+)0.4
Chañaral.	21:56	(+)1.2
Caldera.	4:37	(+)1.14
Huasco.	22:00	(+)0.80
Coquimbo.	21:23	(+)4.62
Pichidangui.	20:58	(-)2.0
Quintero.	21:04	(+)1.83
Isla de Pascua.	2:06	(-)0.9
Valparaíso.	21:56	(-)2.3
San Antonio.	21:51	(-)1.20
San Félix.	21:52	(-)0.71
Juan Fernández	21:38	(-)1.4
Bucalemu.	23:45	(-)0.9
Constitución.	23:06	(+)1.34
Quiriquina.	23:49	(-)0.96
Talcahuano.	23:53	(-)1.4
Coronel.	3:23	(+)0.7
Lebu.	22:35	(+)0.40
Queule.	1:41	(+)0.32
Corral.	23:43	(+)0.4
Bahía Mansa.	5:34	(+)0.41
Ancud.	4:22	(+)0.15

■ Figura3: Amplitudes de tsunami detectadas por las Estaciones de Nivel del Mar del SNAM. En rojo, tsunami mayor; en naranja, tsunami intermedio; en amarillo, tsunami menor y en verde; tsunami instrumental.

disminuían de 0,3 metros, por un tiempo de mínimo tres períodos de tsunami (entre 10 y 90 minutos cada uno) consecutivos en cada una de las Estaciones de Nivel del Mar.

## Medidas posteriores al terremoto y tsunami

Posteriormente, se hizo un levantamiento en terreno con personal del SHOA, con el propósito de analizar el comportamiento del tsunami en los sectores más afectados. Las mediciones se hicieron con GPS para medir la línea de inundación en forma horizontal, y con nivel topográfico y fotografías para medir la altura del tsunami sobre el nivel medio del mar, o run-up. En Coquimbo, los resultados se compararon con lo modelado en forma previa en la Carta de Inundación por Tsunamis (CITSU). Las líneas de inundación son similares en el sector sur de la bahía de Coquimbo, luego, hacia el norte, la inundación modelada en la CITSU es mayor a la medida en terreno. Esto se debe principalmente a que los parámetros utilizados para la modelación de la carta son diferentes a los ocurridos el 16 de septiembre: la magnitud es mayor y la ubicación de la fuente fue localizada más al norte.

## Conclusiones

- El sismo y tsunami del 16 de septiembre tuvo efectos que implicaron la pérdida de 11 vidas humanas y considerables daños materiales, entre ellos 2.000 viviendas destruidas. Los sistemas de alarma funcionaron en forma sobresaliente, y la reacción de la población fue destacada, lo que redujo la cantidad de potenciales víctimas.
- Chile sigue siendo el país más sísmico del mundo, y debemos vivir preparados: no basta tener un sistema de emergencia de alto nivel con material de la mejor tecnología, si no existe personal entrenado, autoridades comprometidas y una educación consistente.
- Ese 16 de septiembre, el SNAM entregó todo. Es difícil de describir el honor que se siente al ser parte de un sistema que tiene como principal propósito salvar vidas, y tener el privilegio, día a día, en forma tangible, de hacerlo.