



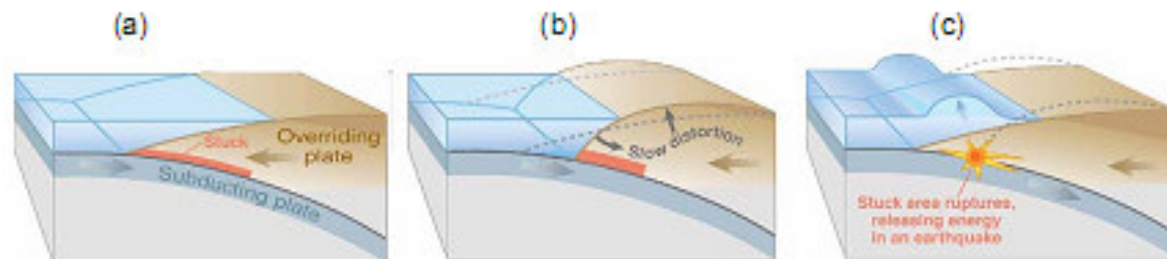
Tsunami esperado en la zona de Arica - Tocopilla y sus efectos en los puertos de Chile Central.

Rafael Aránguiz
Ingeniero Civil, MSc
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Católica de la Ssma Concepción

Santiago, 27 de Noviembre de 2012

Introducción

- ▶ **Tsunami:** Serie de ondas oceánicas de período entre 5 y 60 minutos generadas por una perturbación a gran escala del océano.
- ▶ Chile es un país altamente sísmico. Entre 1552 y 2010 se han registrado más de 60 sismos de magnitud entre 6.5 y 9.5
- ▶ 11 de ellos han generado tsunamis destructivos

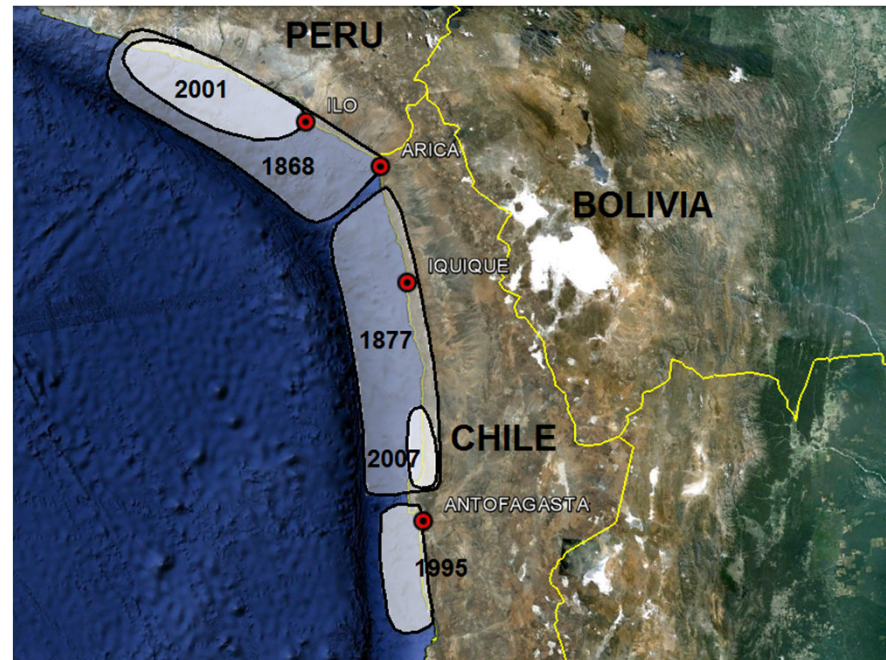


Introducción

- ▶ El 95% de las exportaciones Chilenas se realiza por transporte marítimo, y el 98% de la carga (sin considerar cobre) sale de los puertos de la V a la VIII regiones (Valparaíso, San Antonio, Talcahuano, San Vicente, Coronel)
- ▶ Después de un sismo de gran magnitud, los accesos terrestres se pueden ver interrumpidos, por lo que la utilización de los puertos para suministrar alimentos y medicinas a la población toma vital importancia.
- ▶ La Bahía de Concepción, por ejemplo, concentra una gran actividad portuaria, naval y pesquera artesanal. Además, todavía se encuentra en etapa de reconstrucción desde el último tsunami de febrero de 2010.

Introducción: Laguna sísmica

- ▶ La secuencia histórica de grandes terremotos como el de 1877 permite asignar un periodo de recurrencia de 121 ± 33 años. (Comte y Pardo, 1991)
- ▶ Publicaciones recientes indican que la energía acumulada en un periodo de 133 años podría generar un sismo de magnitud mínima M_w 8.6 en la misma zona del sismo de 1877 (Chlieh et al 2011)
- ▶ Según datos históricos, el tsunami de 1877, alcanzó niveles del mar de 3m en Talcahuano a pesar de que la zona de ruptura se localizó a más de 1500km de distancia, mientras que en Valparaiso se midió 1.1m (Soloviev & Go, 1975)



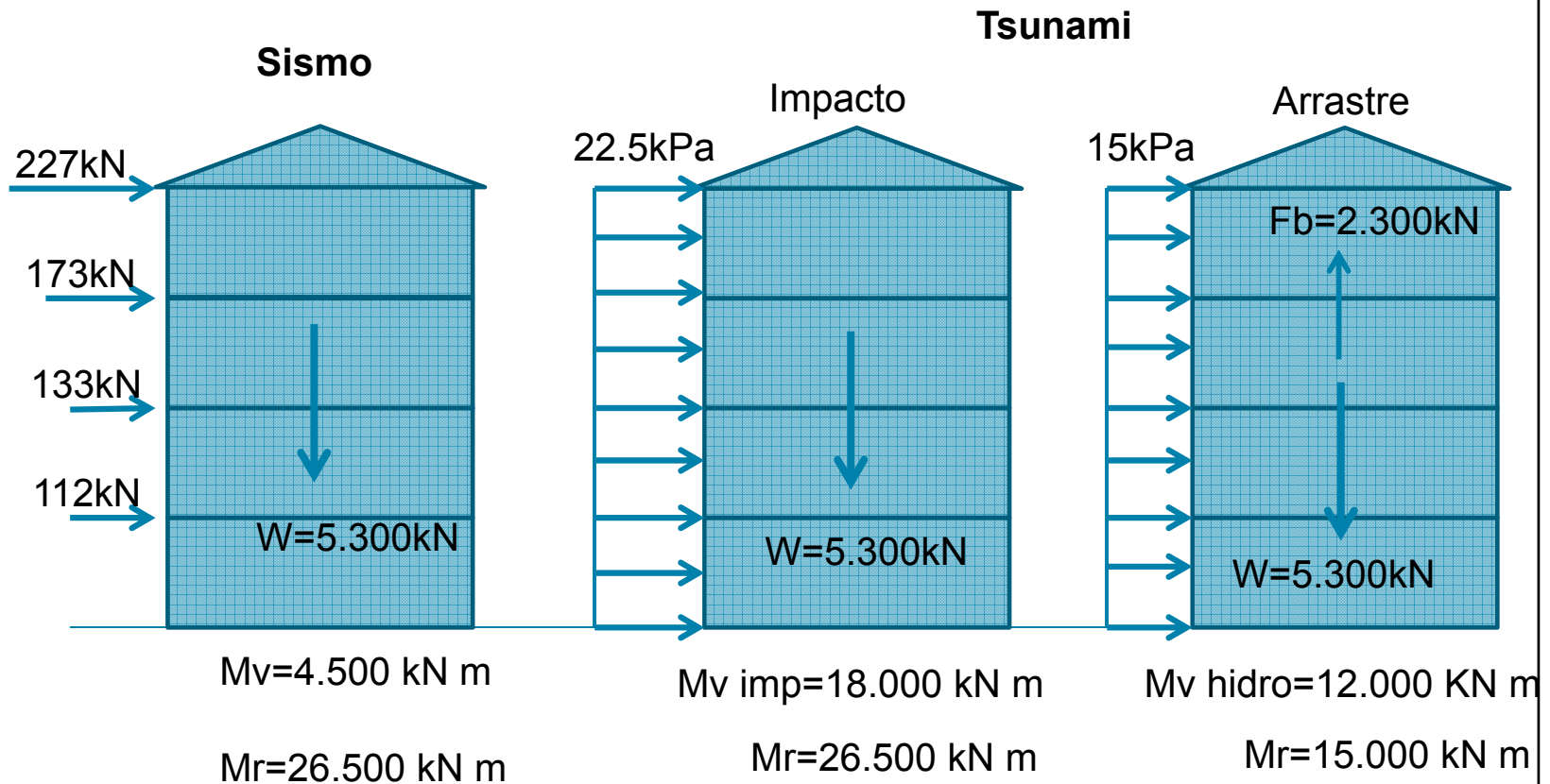
Introducción: Objetivo

- Cuantificar, mediante modelación numérica, los efectos de eventuales tsunamis que se pudieran propagar desde el norte de Chile hacia los principales puertos de Chile Central:

- Valparaiso
- San Antonio
- Talcahuano
- Penco-Lirquén
- San Vicente
- Coronel



Introducción: Fuerzas sobre estructuras



Introducción: Fuerzas sobre estructuras

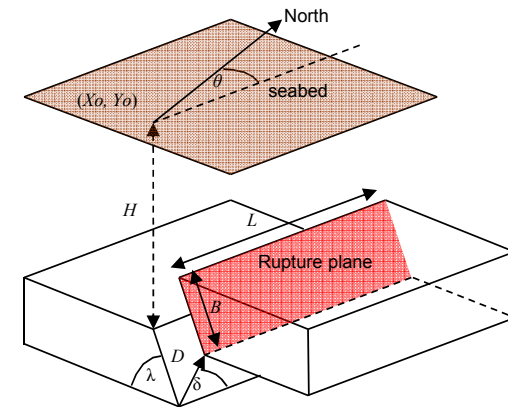
Edificio de 3 pisos con losa de fundación en Onagawa



Edificio de 4 pisos fundado sobre pilotes en Onagawa

Materiales y Método

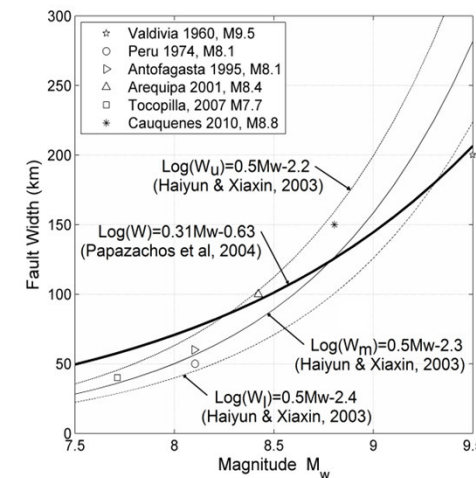
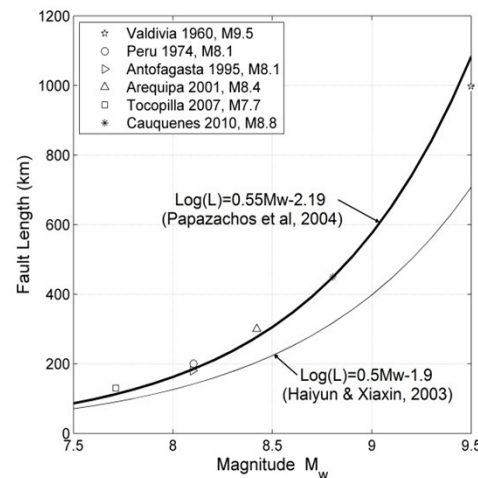
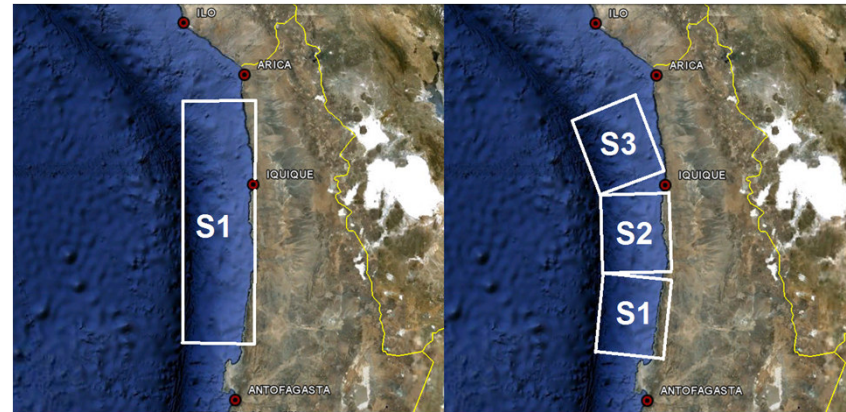
- ▶ Se definieron los parámetros sísmicos del evento de 1877, para ello se analizaron los mecanismos focales de los sismos de Antofagasta (1995) y Arequipa (2001). Además, se estudió el conjunto de mecanismos focales asociados a la sismicidad de la región para el periodo 1960-1995 (Aranguiz y Belmonte, 2012).



Parámetro	Símbolo	Valor
Longitud	L	420 km
Ancho	W	130 km
Azimuth	ϕ	0 °
Manteo	δ	19 °
Ang Deslizamiento	λ	100 °
Profundidad	H	var
Desplazamiento	D	12m

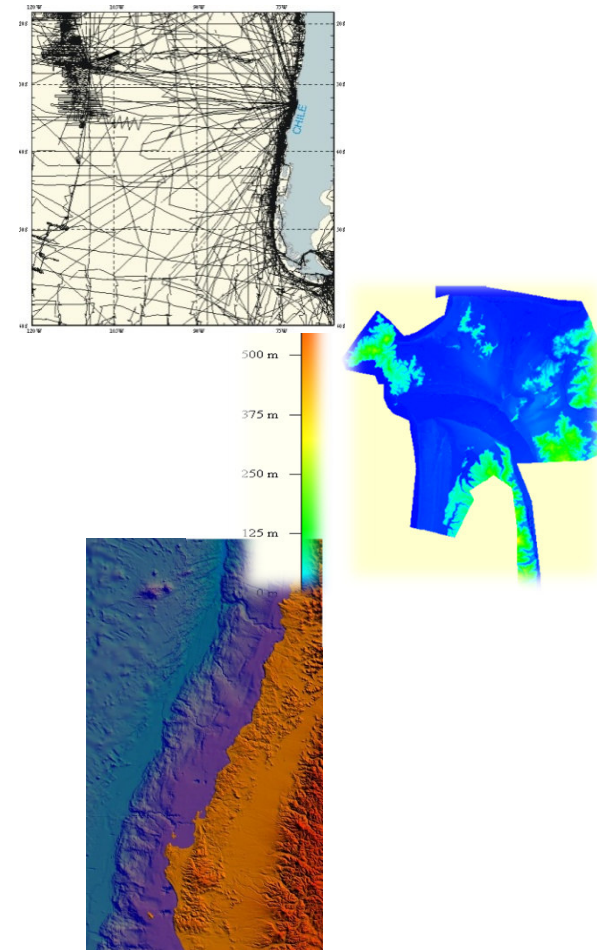
Materiales y Método

- ▶ Se analizó también el efecto de la forma de la zona de ruptura y desplazamientos diferenciales.
- ▶ Se simularon varios eventos de diferentes magnitudes y a distintas profundidades focales.
- ▶ Mediante relaciones empíricas se relacionó la magnitud del sismo con la longitud y ancho de la zona de ruptura



Materiales y Método

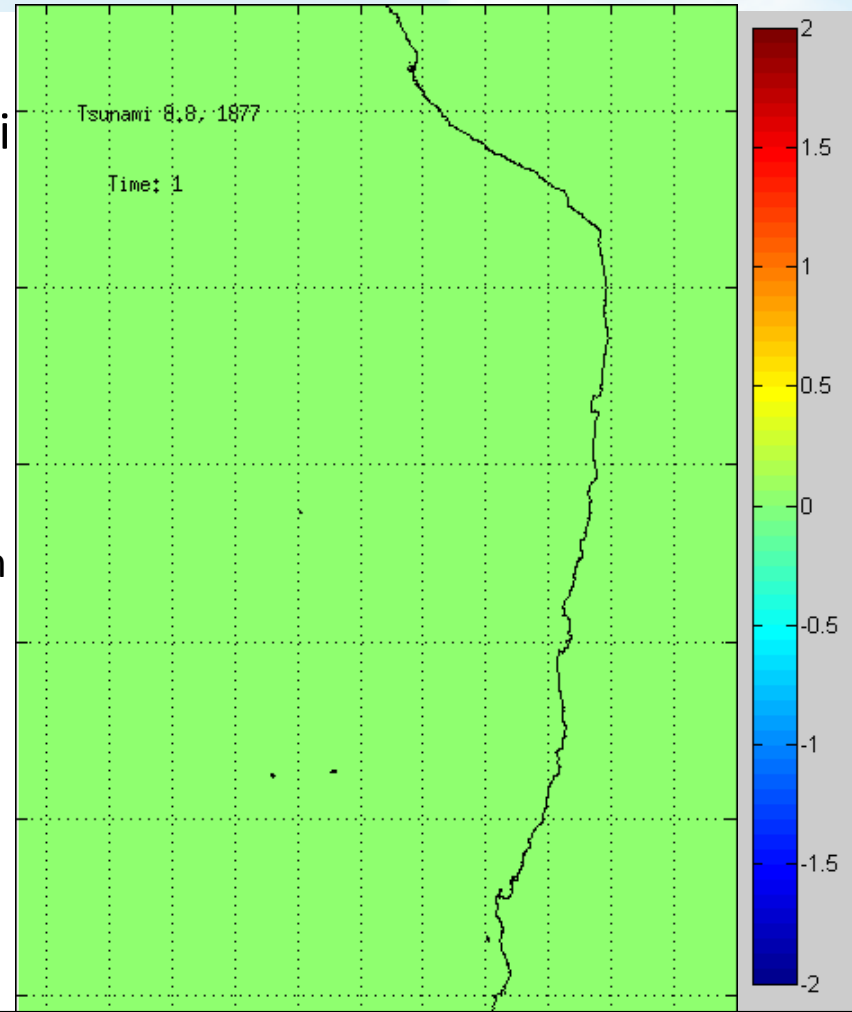
- ▶ Se definieron 4 mallas anidadas de 120, 30, 6 y 1 segundos de arco. Para ello se utilizó la base de datos GEBCO, cartas náuticas y Topografía de detalle, en algunos casos se contó con LIDAR de 2.5m de resolución.
- ▶ Se utilizó el modelo numérico NEOWAVE, el cual se validó simulando el evento de 1877 y comparando con las observaciones visuales en la Bahía de Concepción y Valparaíso.



Resultados

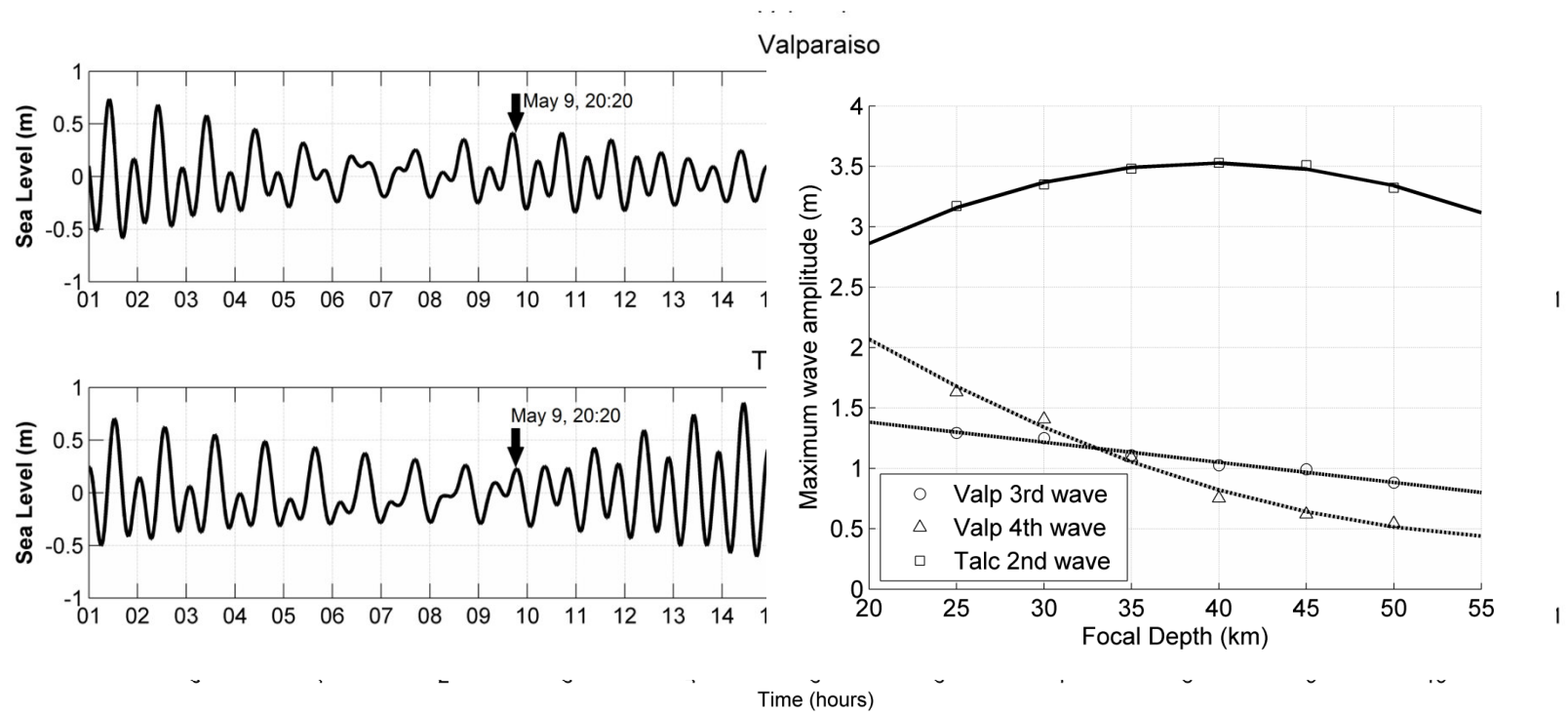
Propagación de un tsunami desde el norte de Chile:

- La onda primaria se propaga a lo largo de la fosa.
- Se observan ondas de orilla que se propagan a lo largo de la costa.
- Existe reflexión en montes submarinos en la zona de Islas San Felix y San Ambrosio



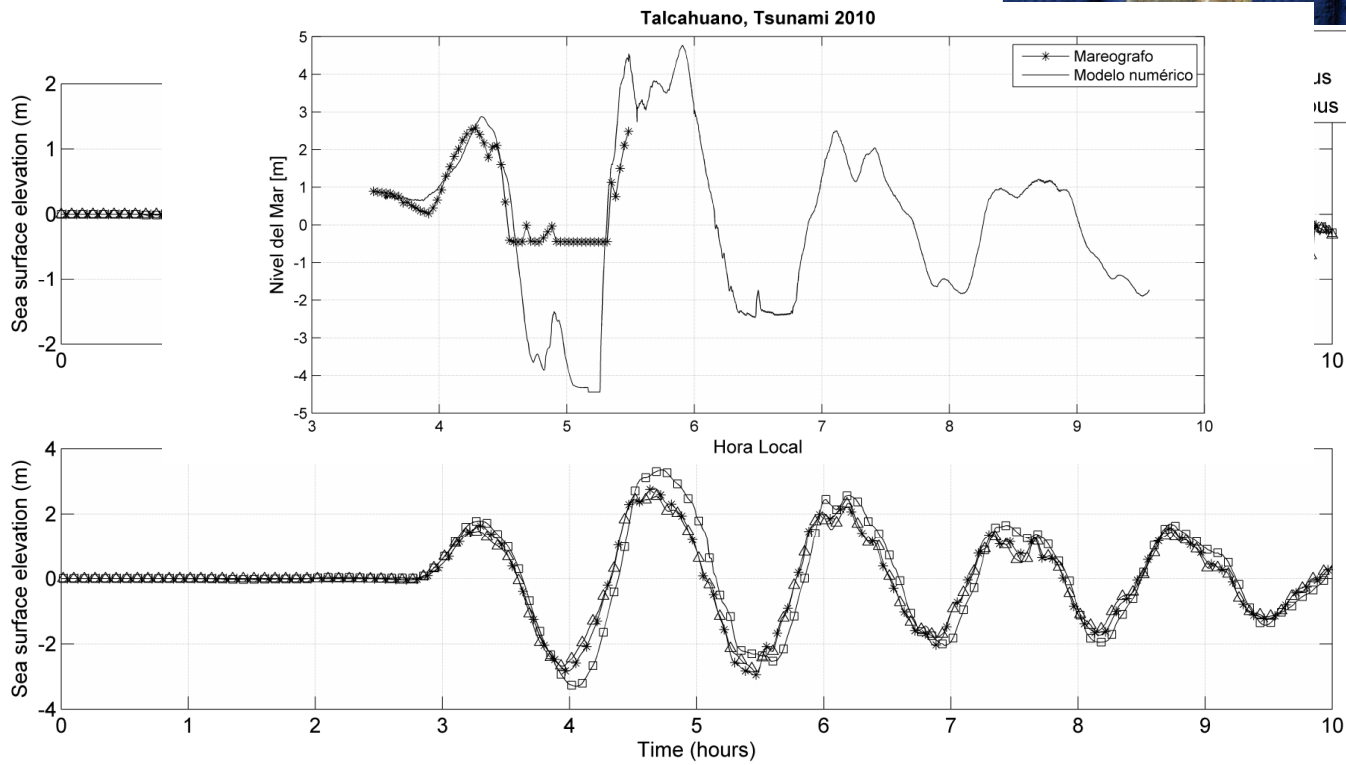
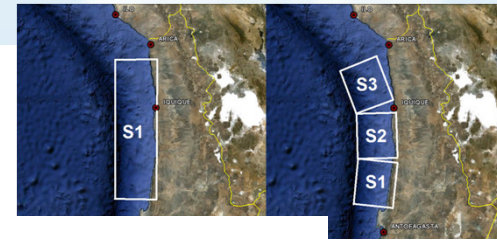
Resultados

- Validación del tsunami de 1877 en Valparaíso y Talcahuano



Resultados

► Influencia de la forma de la ruptura



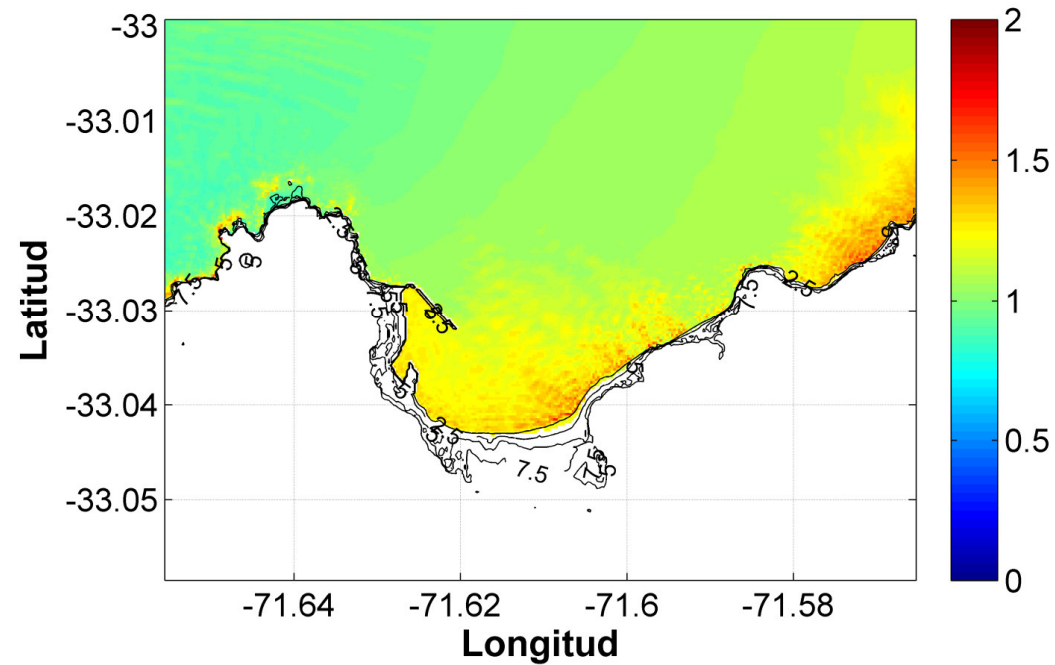


Efecto en los puertos de Chile Central de un tsunami generado por un sismo Mw8.8 en la zona Arica-Tocopilla

Efecto de un evento Mw 8.8

► Valparaiso

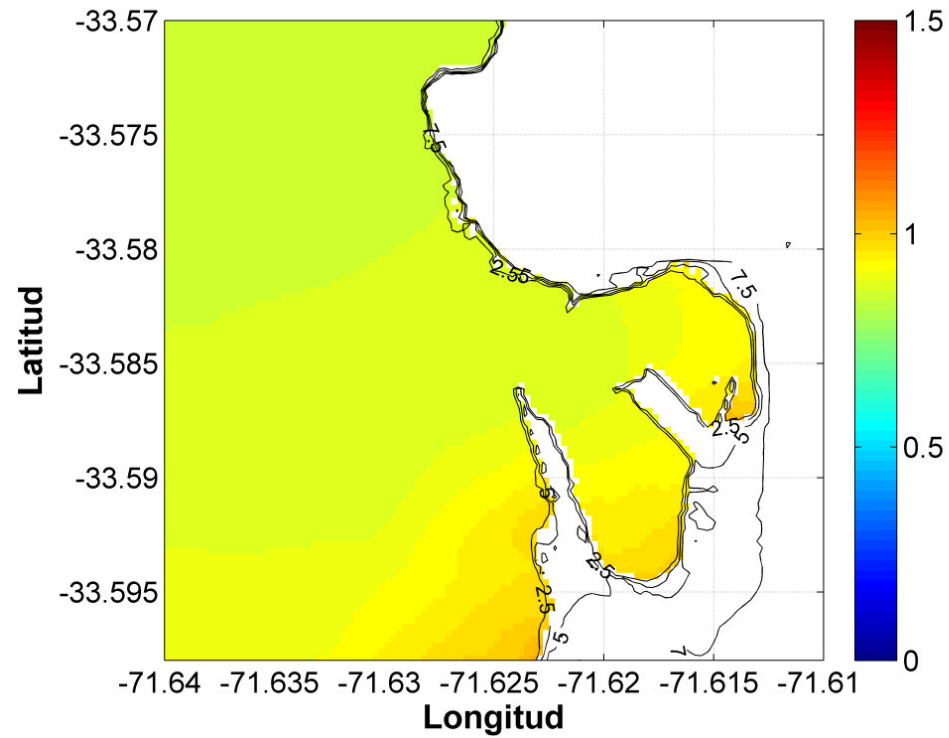
- Puerto de Valparaiso



Efecto de un evento Mw 8.8

► San Antonio

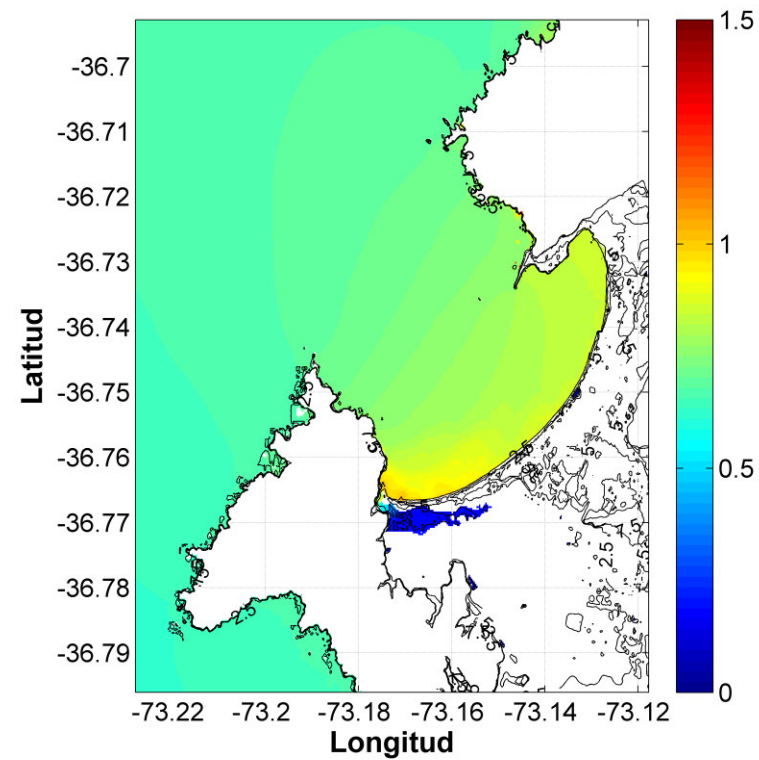
- Puerto de San Antonio



Efecto de un evento Mw 8.8

► Bahía de San Vicente

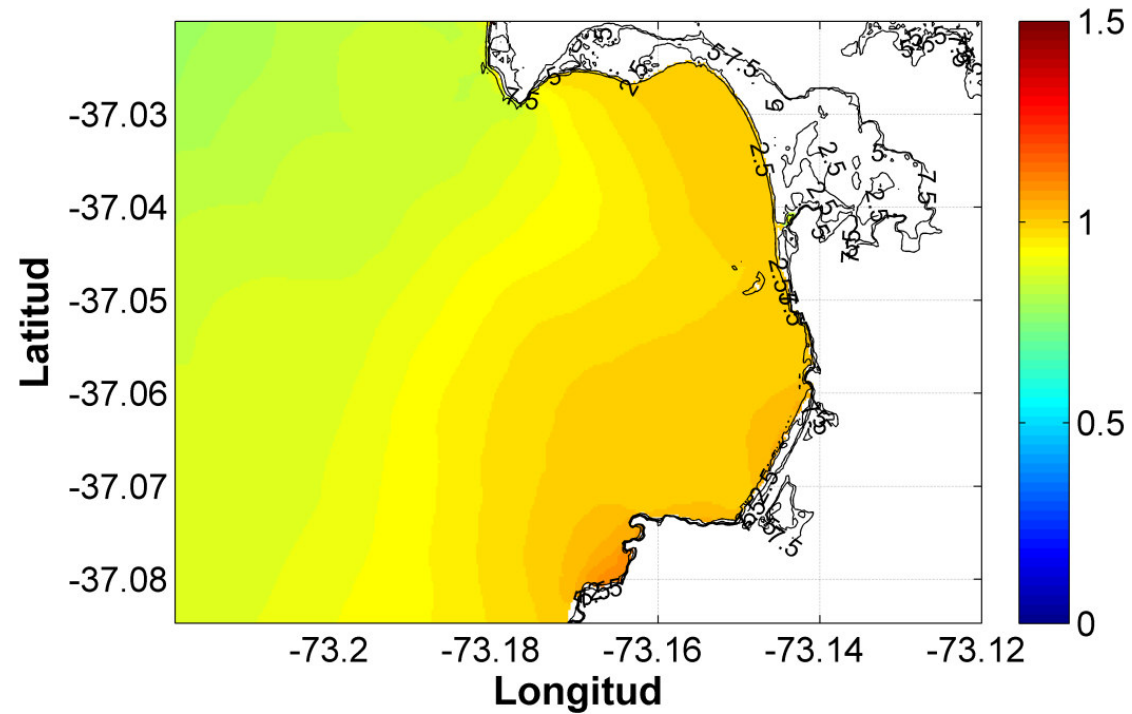
- Puerto SVTI
- Caleta Lengua



Efecto de un evento Mw 8.8

► Bahía de Coronel

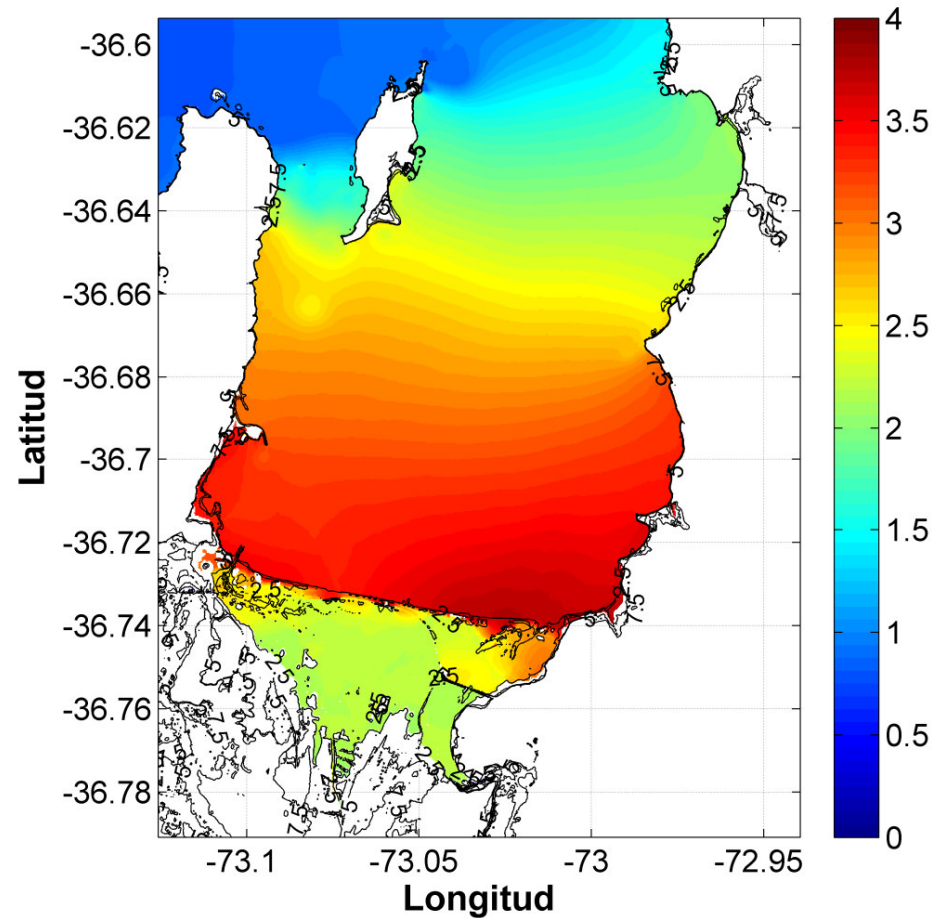
- Caleta Lo Rojas
- Puerto de Coronel



Efecto de un evento Mw 8.8

► Bahía de Concepción

- Puerto Lirquén
- Muelles de Penco
- Puerto de Talcahuano
- Base Naval
- Caleta Tumbes



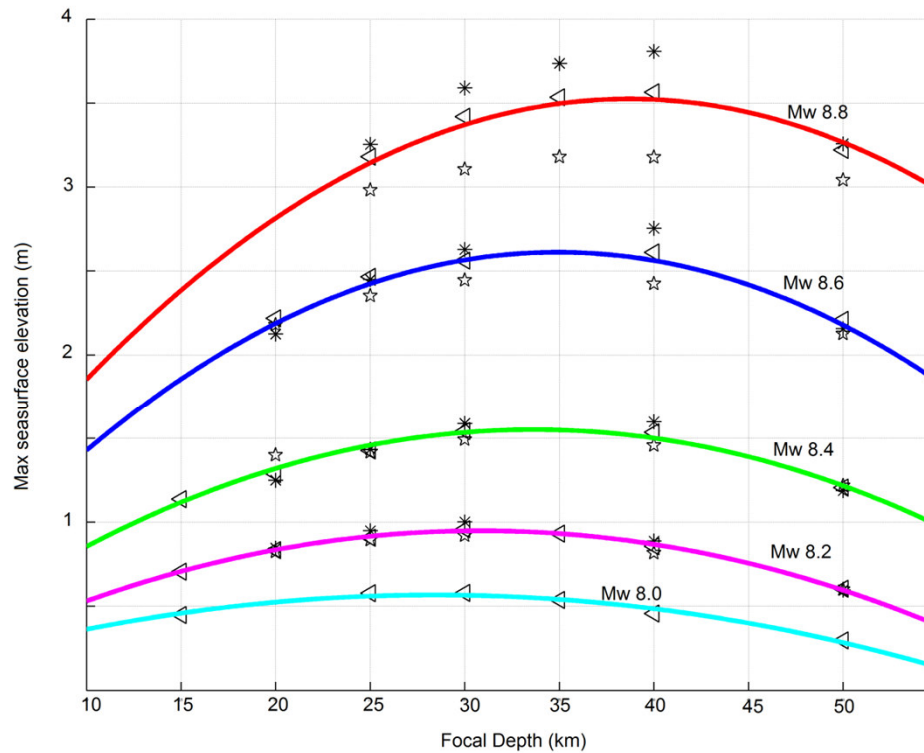
Modelo predictivo para Talcahuano

- ▶ Se propone un modelo predictivo de la amplitud máxima del tsunami en función de 3 variables:
 - Magnitud del sismo
 - Profundidad del foco (profundidad del centroide de la zona ruptura)
 - Nivel de marea

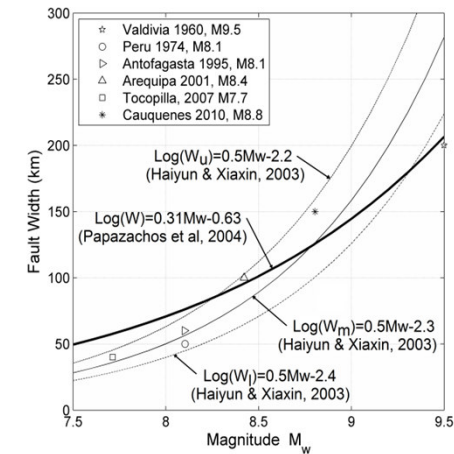
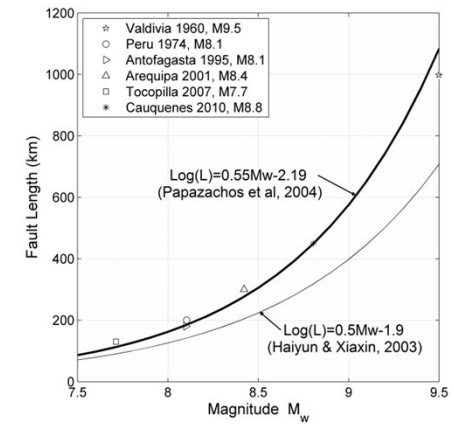
$$\eta_{max} = f(M_w, h_c, \Delta\eta)$$

Modelo predictivo para Talcahuano

► Efecto de la profundidad del foco y Magnitud del sismo



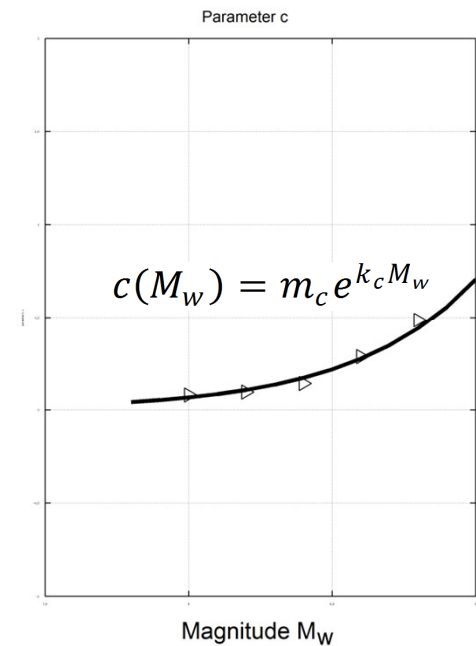
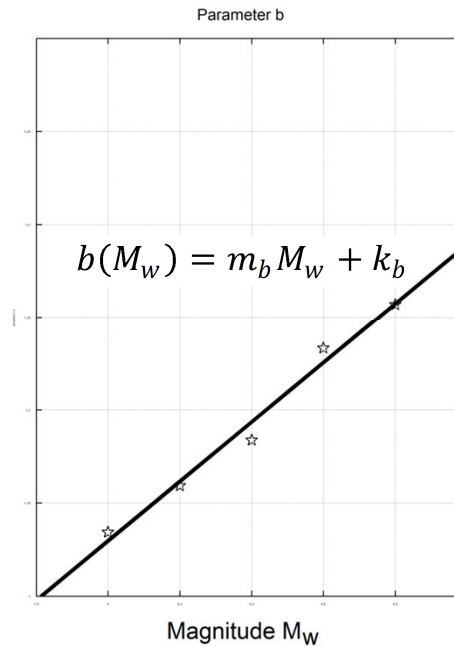
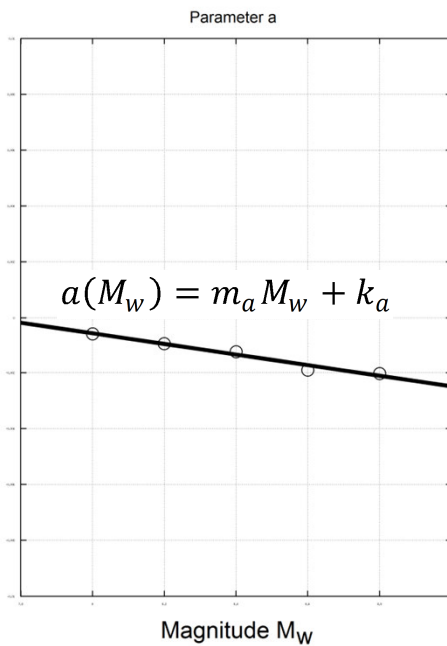
$$\eta_{max} = ah_c^2 + bh_c + c$$



Modelo predictivo para Talcahuano

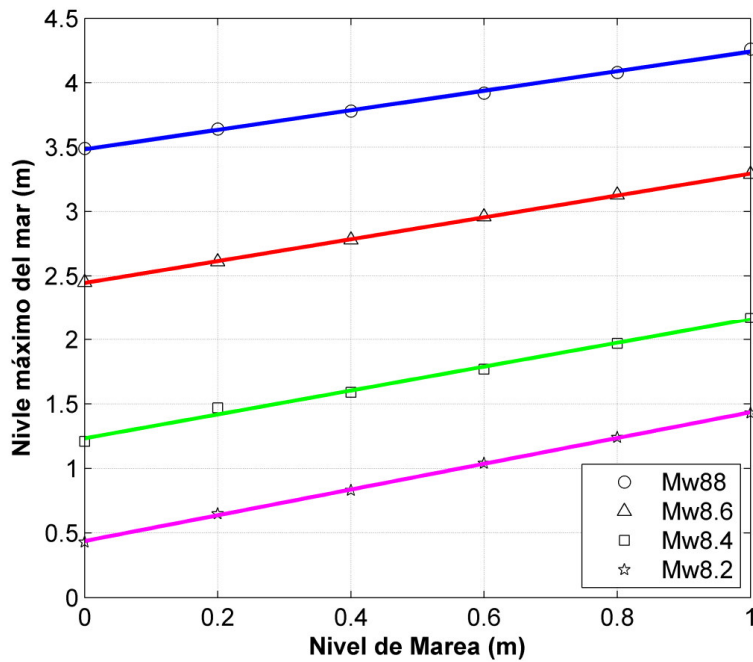
- Variación de los parámetros a , b y c en función de la magnitud del sismo

$$\eta_{max} = a(M_w)h_c^2 + b(M_w)h_c + c(M_w)$$

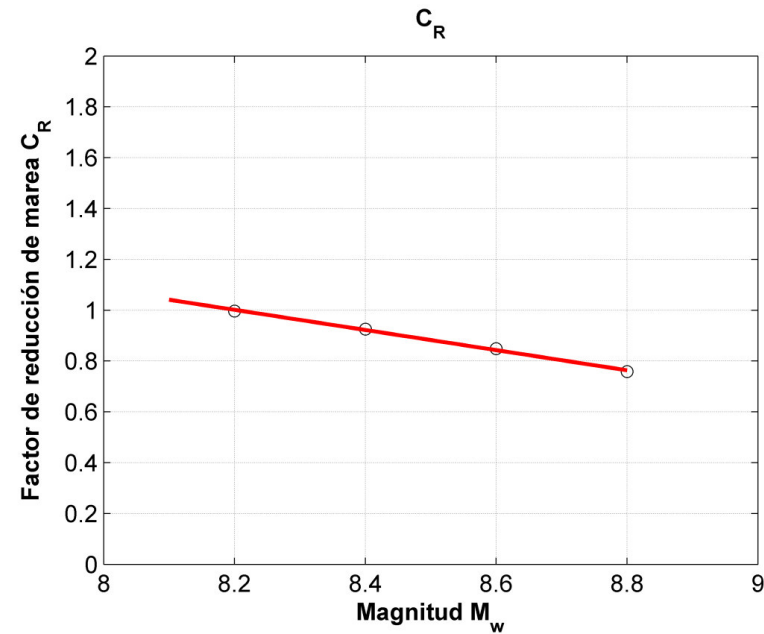


Modelo predictivo para Talcahuano

► Efecto del nivel de marea en la inundación



$$\eta_{max} = C_R \Delta\eta + \eta_{m_0}$$



$$C_R(M_w) = \begin{cases} m_m M_w + k_m & M_w \geq 8.2 \\ 1 & M_w < 8.2 \end{cases}$$

Modelo predictivo para Talcahuano

- Ecuación general del modelo predictivo

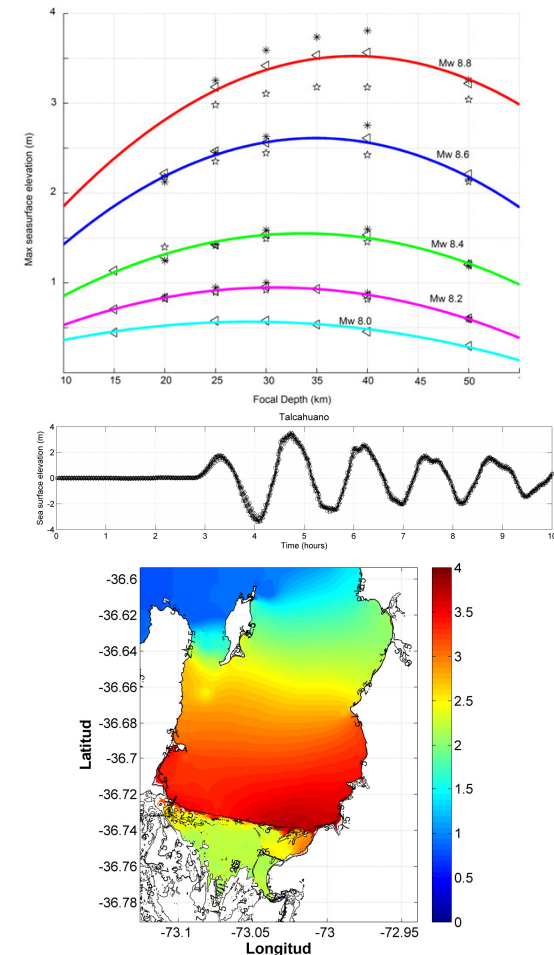
$$\eta_{max} = \underbrace{C_R(M_w)\Delta\eta}_{\text{Marea}} + \underbrace{a(M_w)h_c^2 + b(M_w)h_c + c(M_w)}_{\text{Profundidad focal}}$$

Conclusiones

- ▶ El modelo numérico representa adecuadamente el evento de 1877 tanto en Valparaíso como en Talcahuano, y los resultados se ajustan a los registros históricos.
- ▶ El evento de 1877 ocurrió durante la marea muerta y las mayores inundaciones en Talcahuano se produjeron durante la bajamar.
- ▶ Las simulaciones numéricas muestran que un evento Mw 8.8 en la zona Arica-Tocopilla no sobrepasaría los 2m de altura de inundación (sin considerar efecto de marea) excepto en la Bahía de Concepción.

Conclusiones

- ▶ Los niveles de inundación en Talcahuano dependen de la magnitud del sismo, la profundidad del foco y nivel de marea, por ello, se propuso un modelo predictivo de la altura máxima de inundación.
- ▶ La máxima inundación en Talcahuano ocurre 4.5 horas después del sismo, por lo que el modelo predictivo permite estimar de manera rápida la máxima inundación y aplicar los planes de emergencia oportunamente.





Gracias por su atención

Preguntas

Rafael Aránguiz

raranguiz@ucsc.cl

Departamento de Ingeniería Civil

Universidad Católica de la Ssma Concepción

Concepción-Chile