Ingeniería Civil Oceánica

Universidad de Valparaíso

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

MEMORIA DE PROYECTO DE TÍTULO.

APLICACIÓN DE MODELO NUMÉRICO DE TSUNAMI UTILIZANDO EL TERREMOTO DE 1730 PARA EVALUAR DAÑO EN EDIFICACIONES EN LA POBLACIÓN VERGARA EN VIÑA DEL MAR.

DESARROLLADO POR: FERNANDA CAMILA PÉREZ PINTO.

INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA.
UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO.
SANTIAGO, 2020.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

1. INTRODUCCIÓN

Chile está ubicado en América del Sur, siendo una delgada faja de tierra que en su extremo Norte limita con el Perú, al Este con Bolivia y Argentina, al Sur con el continente Antártico y al Oeste con el Océano Pacífico.

POBLACIÓN VERGARA.

Fuente: Google Earth

Es necesario considerar que los tsunamis son fenómenos infrecuentes, pero altamente destructivos. Es por ello, la importancia de estimar el daño que se produciría en el sector frente a un terremoto y tsunami en la Población Vergara en Viña del Mar, como el ocurrido del 8 de julio de 1730.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA.
8. CONCLUSIONES

2. OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el daño en edificaciones del sector de la Población Vergara en Viña del Mar, ante un tsunami con características similares al terremoto ocurrido en 1730, utilizando NEOWAVE como modelo numérico de simulación de tsunami y curvas de fragilidad para determinar daños de estructuras del sector.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir modelo de ruptura del terremoto.
- Definir zona inundable utilizando la topografía y batimetría del sector de estudio.
- Determinar la profundidad de inundación de tsunami, utilizando el modelo NEOWAVE.
- Evaluar el daño de edificación.
- Analizar curvas de fragilidad.
- Evaluación del impacto económico de los daños esperados.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

3. ALCANCES Y LIMITACIONES

a. ALCANCES

- La modelación numérica realizó con NEOWAVE (Yamazaki, et al., 2009).
- Se utilizó la ruptura del terremoto de 1730 (Aranguiz & Quiroz, 2014).
- El sector de estudio es la Población Vergara en Viña del Mar (Barría, et al., 2017).
- Evaluación de daños de edificios se desarrolló con la metodología de Suppasri (2012)

b. LIMITACIONES

- Modelado en 2D.
- Tiempo de modelado.
- La topografía y batimetría es limitada al no poseer grandes volúmenes de información topográfica, se ha considerado el uso de topografía de precisión soló en el lugar de interés.
- Las cuadras analizadas presentan un variado nivel ocupacional, para efectos de simplificar el análisis se consideró soló aquellas cuadras cuya planificación territorial responda a usos habitacionales y comerciales.
- Las curvas de fragilidad se utilizan soló en edificaciones de Hormigón Armado para facilitar el análisis y cuantificar el daño a través del estudio de Cox (2013).

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

4. HIPÓTESIS

Se plantea la ocurrencia de un terremoto y tsunami con las características similares al evento de 1730. En el centro de Viña del Mar se podrían generar daños debido a los efectos de un terremoto de al menos 8.8 Mw, y una ruptura de 450 [Km] de largo y 140 [Km] de ancho (Aranguiz & Quiroz, 2014). Este causaría daños en infraestructuras al menos desde Copiapó por el norte hasta Concepción por el sur (Carvajal, 2015).

Para validar esta hipótesis se desarrolló una modelación con el software NEOWAVE y se estimaron los efectos de éste sobre las edificaciones de Hormigón Armado de la Población Vergara de Viña del Mar por medio de curvas de fragilidad

CONTENIDO

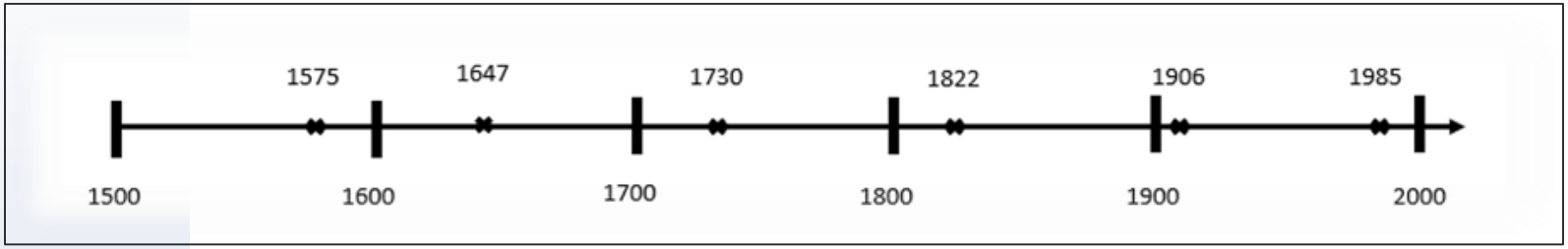
1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL

La zona central de Chile es una de las cinco regiones naturales en que la CORFO dividió Chile en 1950. Sus límites son el río Aconcagua por el norte y el río Biobío por el sur. Incluye la mitad sur de la región de Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule, la zona norte de la región del Biobío y el extremo que se encuentra al norte del río Biobío (CORFO, 2018).

SECUENCIA CRONOLÓGICA DE TERREMOTOS EN CHILE CENTRAL.



Fuente: Recopilación de datos Tesis Carvajal, elaboración propia. .

Los registros históricos de terremotos ocurridos en la zona central del país han sido descritos por medio de testigos del evento o por diversos documentos en los que se mencionan la ocurrencia y destrucción provocada (Cisternas, 2017).

La recopilación de la historia sísmica de Chile estuvo, en primera instancia, en manos de Perrey (1854), y luego por Montessus De Ballore (1911-1916), quien fuera el primer director del Servicio Sismológico Nacional, siendo estos trabajos la base del catálogo sísmico chileno, escrito por Lomnitz (1970).

CONTENIDO

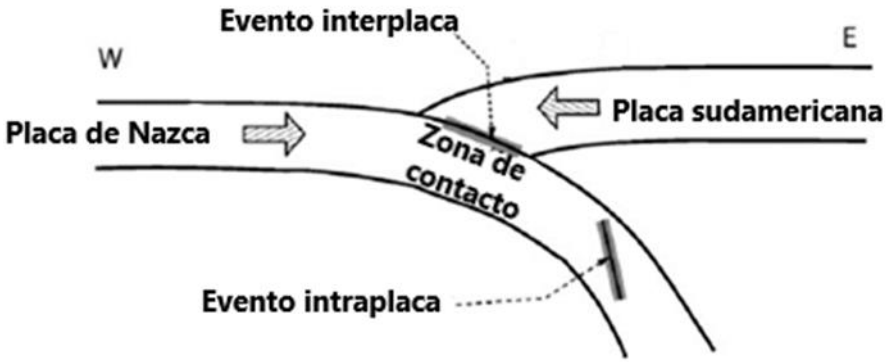
1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

b. RUPTURA

Existen dos tipos de sismos que se producen comúnmente en las costas chilenas: los eventos intraplaca que ocurren dentro de una placa tectónica, y los eventos interplaca ocurren en los límites de dos placas tectónicas. La ruptura en fallas interplaca tiene profundidades entre 5 y 50 [km], zona donde la fuerza de roce relativo entre las placas traba el movimiento relativo entre ellas, las que se pueden mover sólo cuando la fuerza neta en la zona interplaca es mayor que la fuerza de roce (Leyton, et al., 2009).

UBICACIÓN SISMOS INTERPLACA E INTRAPLACA.



Fuente: Adaptado de Leyton, et al. (2009).

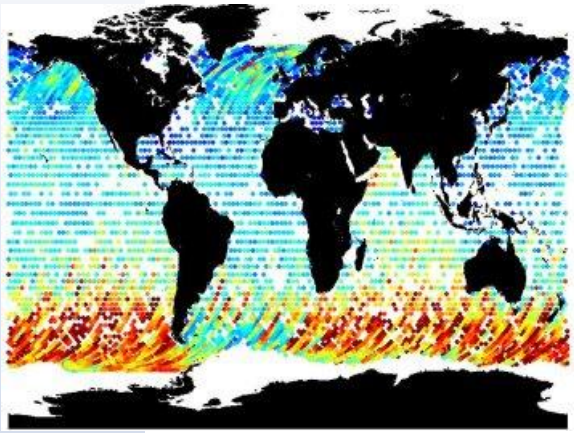
CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

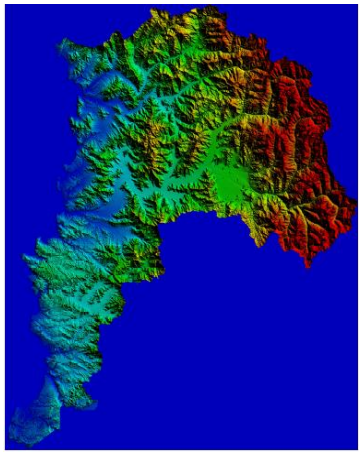
c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA

- Se utilizó la base de datos batimétrica TOPEX/Poseidón, misión satelital conjunta entre la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y CNES (French Space Agency), la cual fue usada para mapear la batimetría de la superficie oceánica.
- En la batimetría de la malla fina se utilizaron cartas nauticas del SHOA.
- En la topografía se uso un modelo de elevación digital (DEM) y planimetrías topográficas.



TOPEX

SHOA



DEM

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE

El modelo Non-hydrostatic Evolution of Ocean WAVEs (NEOWAVE), desarrollado por la Universidad de Hawaii, es un modelo que resuelve las ecuaciones no lineales de aguas someras (NLSWE), con una expresión de la velocidad vertical, para considerar olas débilmente dispersivas. Además, plantea la ecuación de conservación del momentum tal que el modelo es capaz de representar saltos hidráulicos.

Las ecuaciones de momentum y de continuidad en los ejes cartesianos x,y,z utilizadas por el modelo son las siguientes:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} = -g\frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{2}\frac{1}{\rho}\frac{\partial q}{\partial x} - \frac{1}{2}\frac{q}{D\rho}\frac{\partial}{\partial x}(\zeta - h) - n^2\frac{g}{D^{1/3}}\frac{U\sqrt{U^2+V^2}}{\rho D}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} = -g\frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{2}\frac{1}{\rho}\frac{\partial q}{\partial y} - \frac{1}{2}\frac{q}{D\rho}\frac{\partial}{\partial y}(\zeta - h) - n^2\frac{g}{D^{1/3}}\frac{V\sqrt{U^2+V^2}}{\rho D}$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{q}{\rho D}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (UD)}{\partial x} + \frac{\partial (VD)}{\partial y} = 0$$

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. RUPTURA
   c. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   d. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   e. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

5. FUNDAMENTO TEÓRICO

e. CURVAS DE FRAGILIDAD

El tsunami de Töhoku en Japón 2011, fue uno de los eventos destructivos más importantes de esa región. A raíz de ese gran terremoto y posterior tsunami se originaron numerosos estudios de campo tanto a nivel hidráulico, estructural, económico, social, entre otros. Este evento proporcionó uno de los conjuntos de datos más completos entre los eventos de tsunami en la historia.

NIVELES DE DAÑO.

Nivel de daño	Clasificación	Descripción	Condición
1	Daño menor	No hay daños estructurales o no estructurales significativos, posiblemente solo inundaciones menores	Posible ser usado inmediatamente después de una limpieza menor de piso y pared
2	Daño moderado	Leves daños a los componentes no estructurales	Posible uso después de una reparación moderada
3	Daño mayor	Fuertes daños a varias paredes y algunas columnas	Posible ser usado después de una reparación y readaptación completa
4	Daño completo	Daños pesados a varios muros y algunas columnas.	Posible ser utilizado después de una reparación completa y modernización. Pérdida de funcionalidad. No reparable o gran costo para el reacondicionamiento. No reparable, requiere reconstrucción total.

Fuente: Adaptado de A. Suppasri (2012).

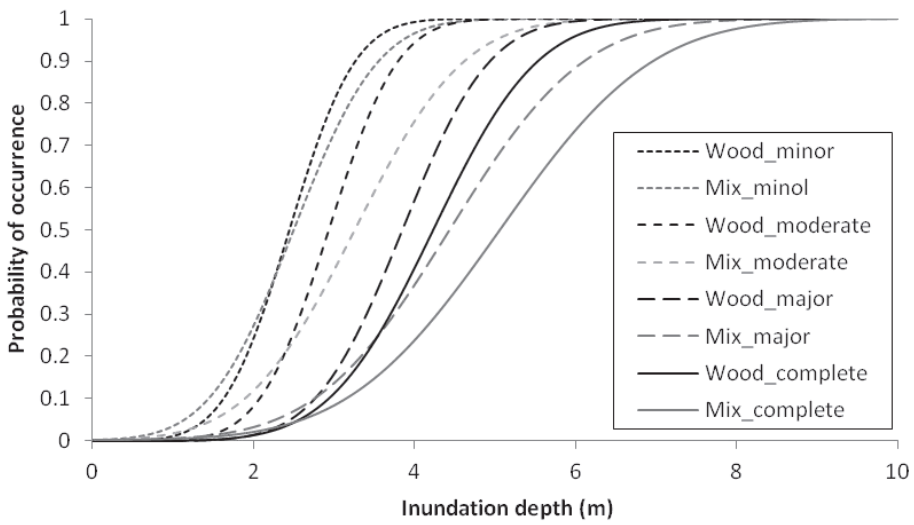
5. FUNDAMENTO TEÓRICO

e. CURVAS DE FRAGILIDAD

Suppasri genera las curvas tomando en consideración solo la profundidad de inundación como dato asociado a las características del tsunami. Estas curvas no toman en consideración otras variables dinámicas, propias del tsunami, como lo son la velocidad de la corriente, el momento de flujo y las fuerzas hidrodinámicas.

Las curvas de fragilidad de Suppasri no consideran el efecto del daño generado por el terremoto ni el impacto de escombros asociados al tsunami, ya que, es muy difícil discriminar en una campaña de inspección visual posterior, si un daño es atribuible a uno u otro fenómeno.

CURVAS DE FRAGILIDAD PARA LOS DISTINTOS ESTADOS DE DAÑO.

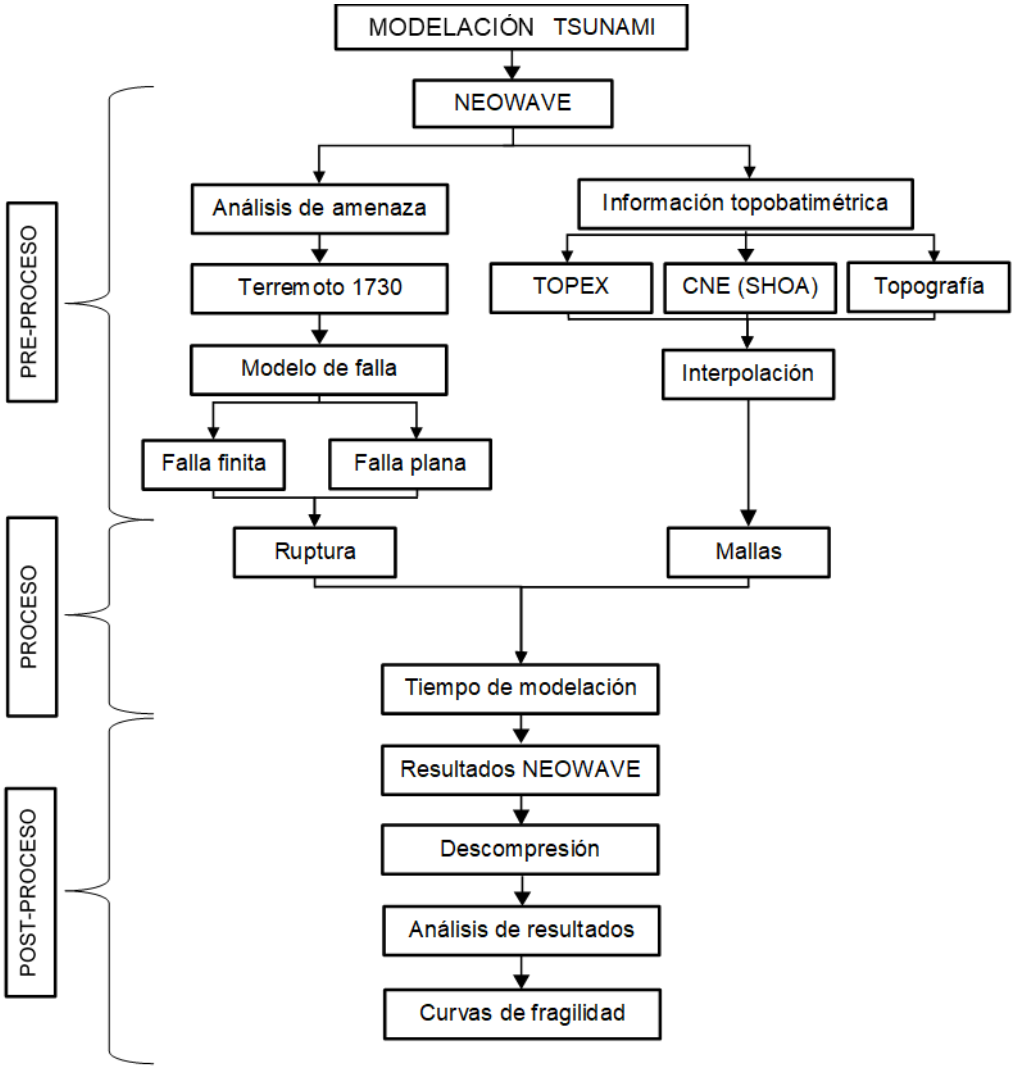


Fuente: Suppasri (2012).

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. HISTORIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
   c. RUPTURA
   d. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   e. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   f. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

6. METODOLOGÍA



Fuente: Elaboración propia – Software Microsoft Visio.

6. METODOLOGÍA

a. PRE-PROCESO

- **ANÁLISIS DE AMENAZA.**

1. Riesgo Sísmico en Chile:

Debido a su geografía, la población de Chile se distribuye de manera muy irregular a lo largo del país. Por esto, desde el punto de vista de la peligrosidad sísmica, parece claro que hay que poner un fuerte énfasis en el estudio de las regiones más pobladas de Santiago a Puerto Montt. Es difícil imaginar los efectos que tendría un terremoto grande en la zona central de Chile.

Es importante tener en cuenta que Chile no posee una red homogénea de estaciones, por lo que la sismicidad de las lagunas sísmicas es desconocida. La única manera de estimar las zonas de ruptura y ver si efectivamente se ha liberado la deformación completamente, es utilizar datos sismológicos de precisión. Sin ellos no es posible estimar la peligrosidad residual en varias zonas que parecen mantener un potencial sísmico elevado.

6. METODOLOGÍA

a. PRE-PROCESO

- **ANÁLISIS DE AMENAZA.**

2. Laguna Sísmica (gaps) de Chile Central:

Los sitios identificados en Chile, como especialmente peligrosos desde el punto de vista del estudio de las lagunas sísmicas (gaps), corresponden a regiones que no han tenido grandes terremotos desde hace 30 años o más.

El mayor terremoto de Chile central es sin lugar a dudas el de 1730, aunque las estimaciones de la zona total de ruptura divergen entre 450 [km] (Lomnitz, 1970) y 550 [km] (Pardo., et al., 1996), este terremoto rompió la zona de contacto entre las placas (31°S a 36°S). Esta zona de ruptura, así como el tsunami generado, permitieron estimar su momento sísmico en 8.8 Mw. Ningún terremoto posterior, ni el del 19 de noviembre de 1822 (8.5 Mw), o del 18 de agosto de 1906 (8.3 Mw) ni el del 3 de marzo de 1985 (8.0 Mw) se aproxima a la dimensión del de 1730.

6. METODOLOGÍA

a. PRE-PROCESO

- **MODELO DE FALLA:**

Modelo Falla Plana (PFM) o modelo infinito, es aquella en la cual la SPF (superficies potenciales de falla) es paralela al talud y la longitud de este puede considerarse infinita, tomando una forma rectangular.

Modelo Falla Finito (FFM) o modelo circular, la SPF corresponde al manto de un cilindro, para el que se supone el plano de falla compuesto de círculos de radio finito sobre el cual se aplica instantáneamente un pulso de esfuerzo de cizalle.

FALLA PLANA EN TRES DIMENSIONES

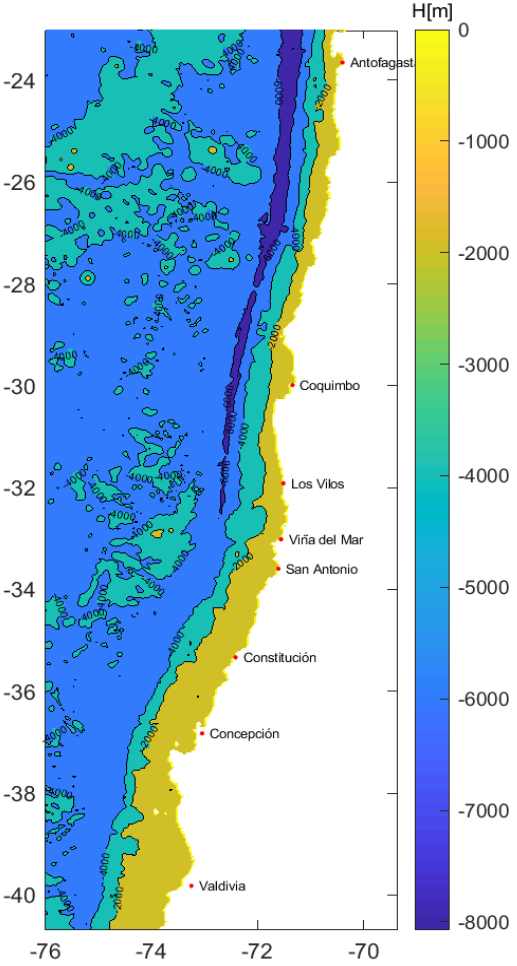
Fuente: Contreras (2013).

6. METODOLOGÍA

a. PRE-PROCESO

- **INFORMACIÓN TOPOBATIMÉTRICA.**

TOPOBATIMÉTRICA



Fuente: Elaboración propia – Software Matlab.

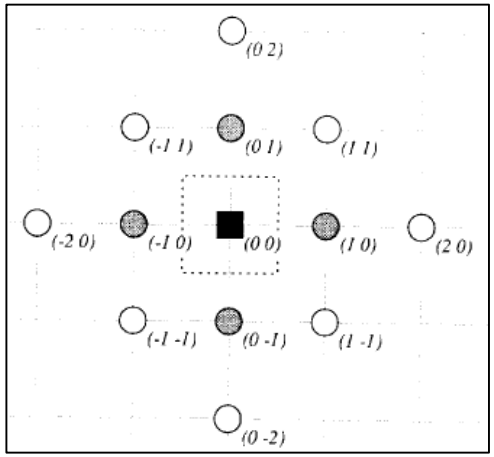
6. METODOLOGÍA

a. PRE-PROCESO

- **INTERPOLACIÓN.**

Para la interpolación de las mallas se utilizó GMT (The generic mapping tools).

SPLINES EN TENSIÓN



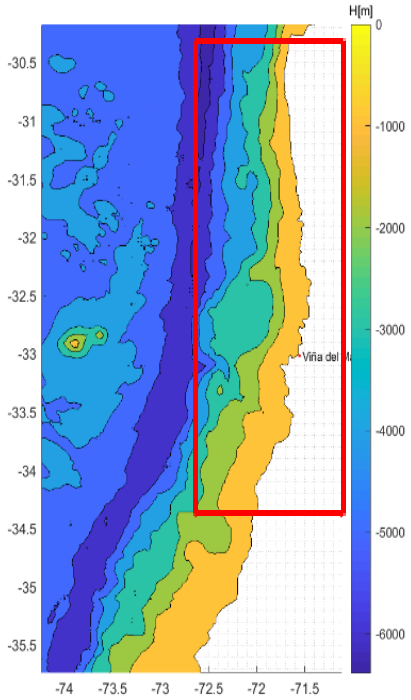
Fuente: Smith & Wesse (1990).

6. METODOLOGÍA

b. PROCESO

- **RUPTURA MODELO**

RUPTURA



Fuente: Elaboración propia – Software Matlab.

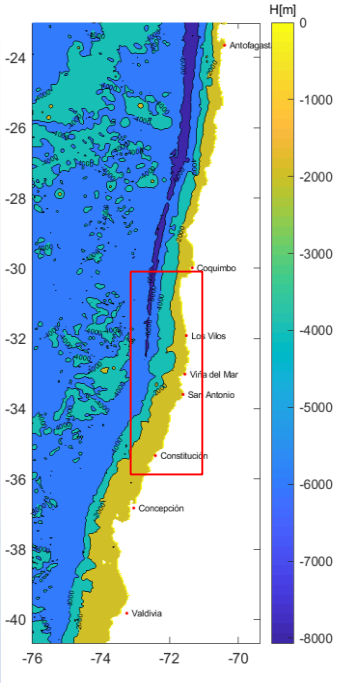
- **TIEMPO DE SIMULACIÓN**

6. METODOLOGÍA

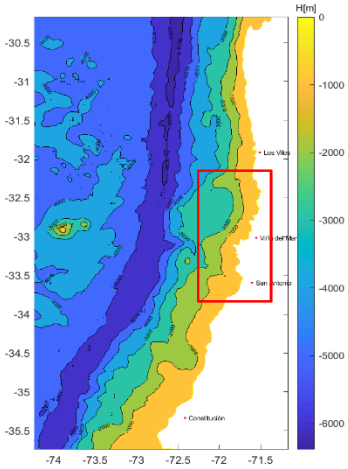
b. PROCESO

- **MALLAS**

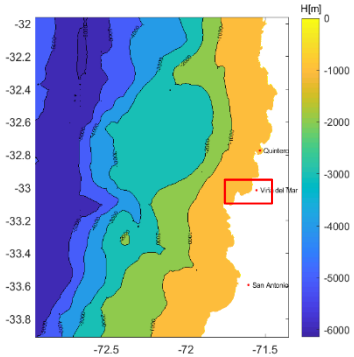
MALLA 1



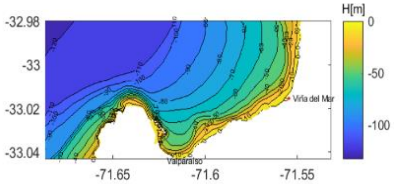
MALLA 2



MALLA 3



MALLA 4



Fuente: Elaboración propia – Software Matlab.

6. METODOLOGÍA

b. PROCESO

- **CURVAS DE FRAGILIDAD**

CUADRAS INUNDADAS.

Fuente: Elaboración propia – Software Google Earth

6. METODOLOGÍA

b. PROCESO

- **CURVAS DE FRAGILIDAD**

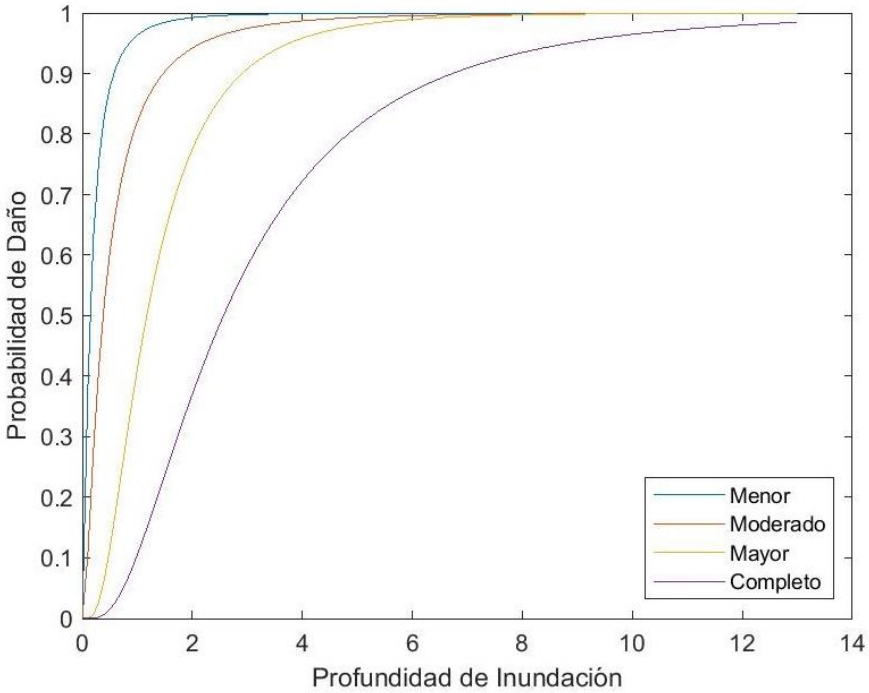
PARÁMETROS CURVA DE FRAGILIDAD HORMIGÓN ARMADO.

Hormigón Armado

Clasificación	μ'	σ'	R^2
Daño Menor	-1.9636	1.0966	0.91
Daño Moderado	-0.9723	1.0600	0.98
Daño Mayor	0.1577	0.7090	0.97
Daño Completo	0.9423	0.7522	0.94

Fuente: Suppasri (2012).

CURVA DE FRAGILIDAD HORMIGÓN ARMADO.



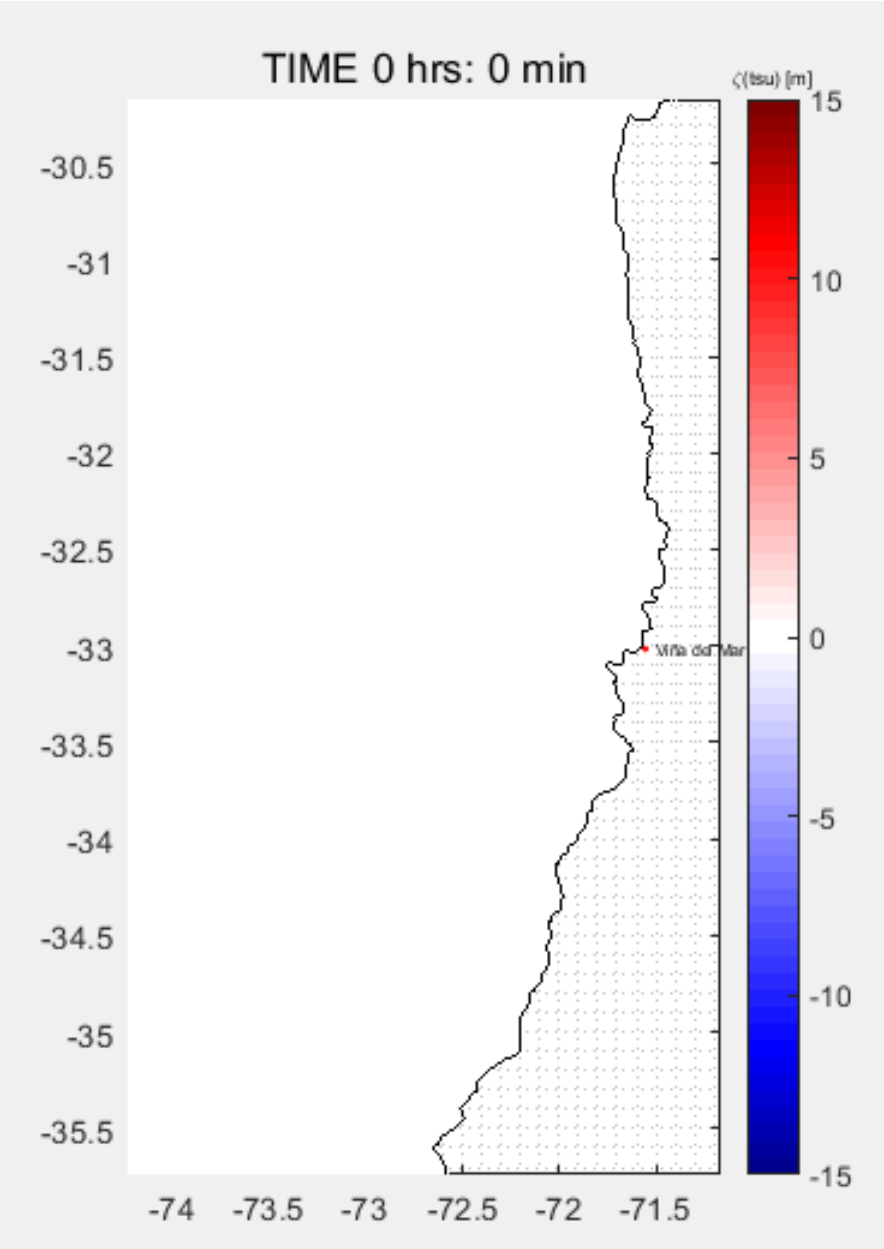
Fuente: Elaborado a partir de Suppasri (2012) – Software Matlab.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. HISTORIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
   c. RUPTURA
   d. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   e. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   f. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

7. RESULTADOS

a. MALLA GRUESA

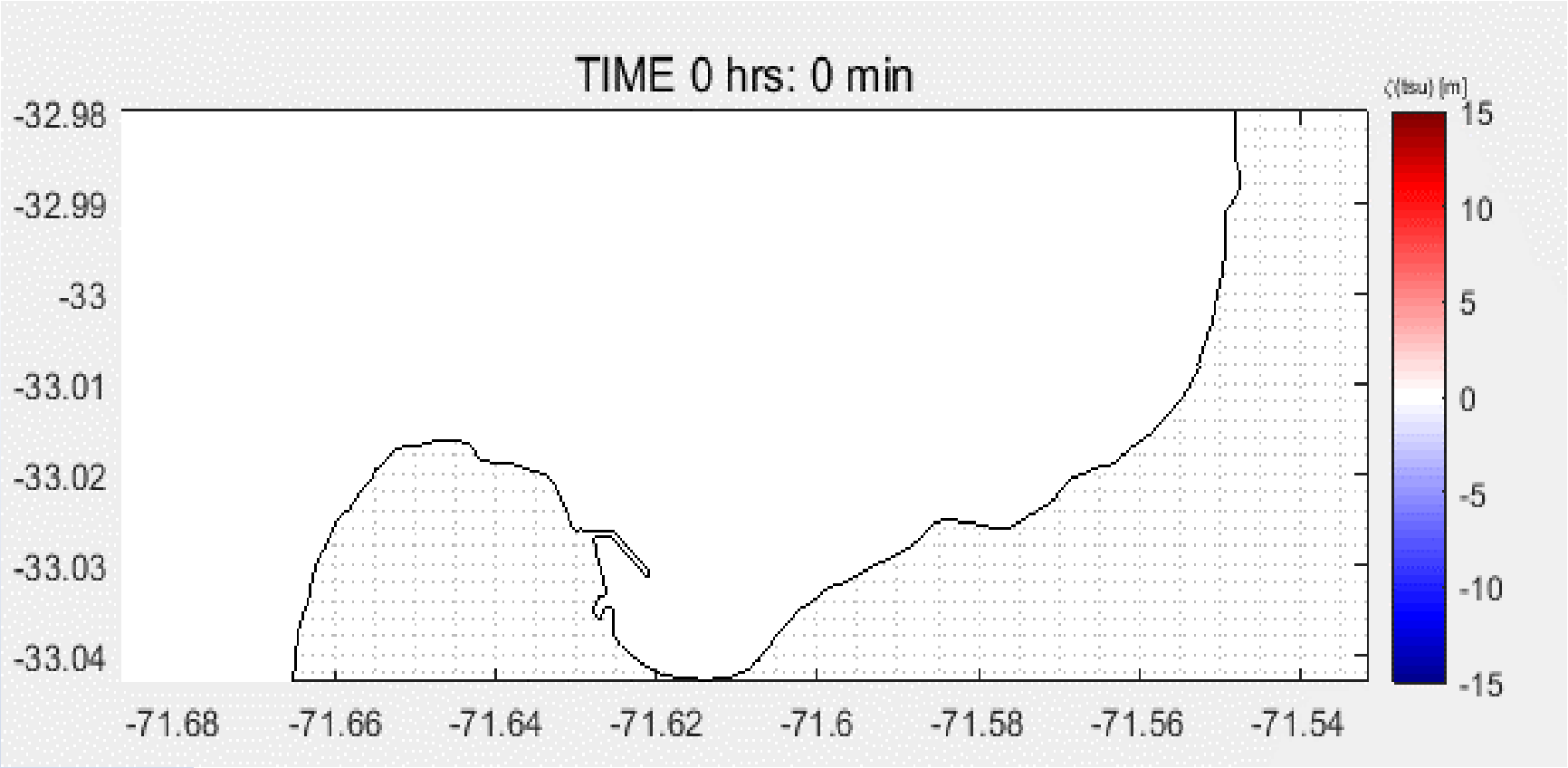


CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. HISTORIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
   c. RUPTURA
   d. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   e. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   f. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

7. RESULTADOS

a. MALLA FINA



CONTENIDO

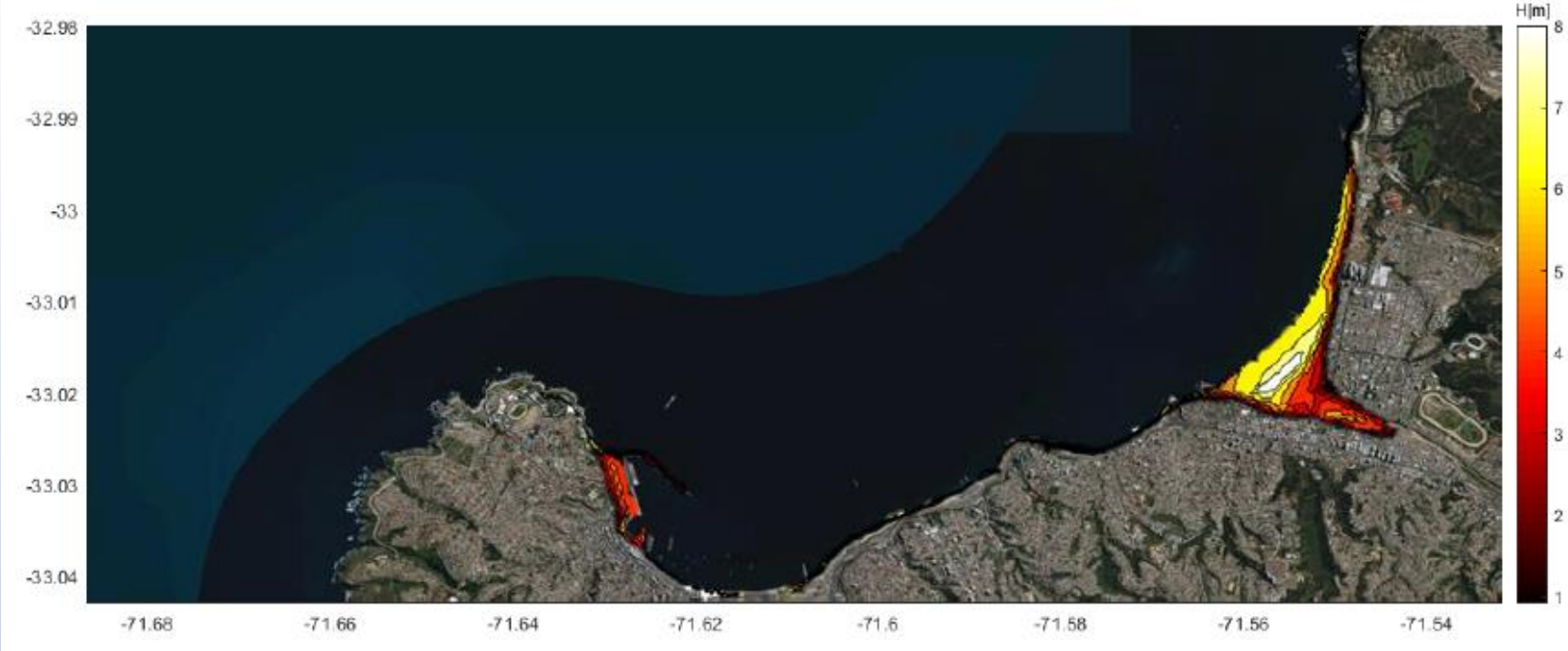
1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. HISTORIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
   c. RUPTURA
   d. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   e. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   f. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

7. RESULTADOS

c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA

Las máximas inundaciones ocurren en la primera línea de la población Vergara, desde el Casino de Juegos, hasta 7 Norte, y desde Av. Perú hasta San Martin. El modelo muestra que en esta zona habría inundaciones máximas de 6 [m], por lo que se generó un análisis de niveles de inundación por cuadra, para el posterior desarrollo de las curvas de fragilidad.

NIVEL MÁXIMO DE INUNDACIÓN POBLACIÓN VERGARA



Fuente: Elaboración propia – Software Matlab.

7. RESULTADOS

c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA

PROFUNDIDAD DE INUNDACIÓN POBLACIÓN VERGARA

Fuente: Elaboración propia – Software Google Earth

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. HISTORIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
   c. RUPTURA
   d. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   e. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   f. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

7. RESULTADOS

d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD

Para realizar el análisis de fragilidad se utilizan soló valores de inundación máximos para facilitar la aplicación de las curvas (Cox, 2013).

Con el fin de facilitar la interpretación, se consideró que todas las edificaciones de la Población Vergara son de Hormigón Armado, ya que es el material dominante de construcción en el sector.

PORCENTAJE DE DAÑOS ACUMULADO RESPECTO A LAS CURVAS DE FRAGILIDAD.

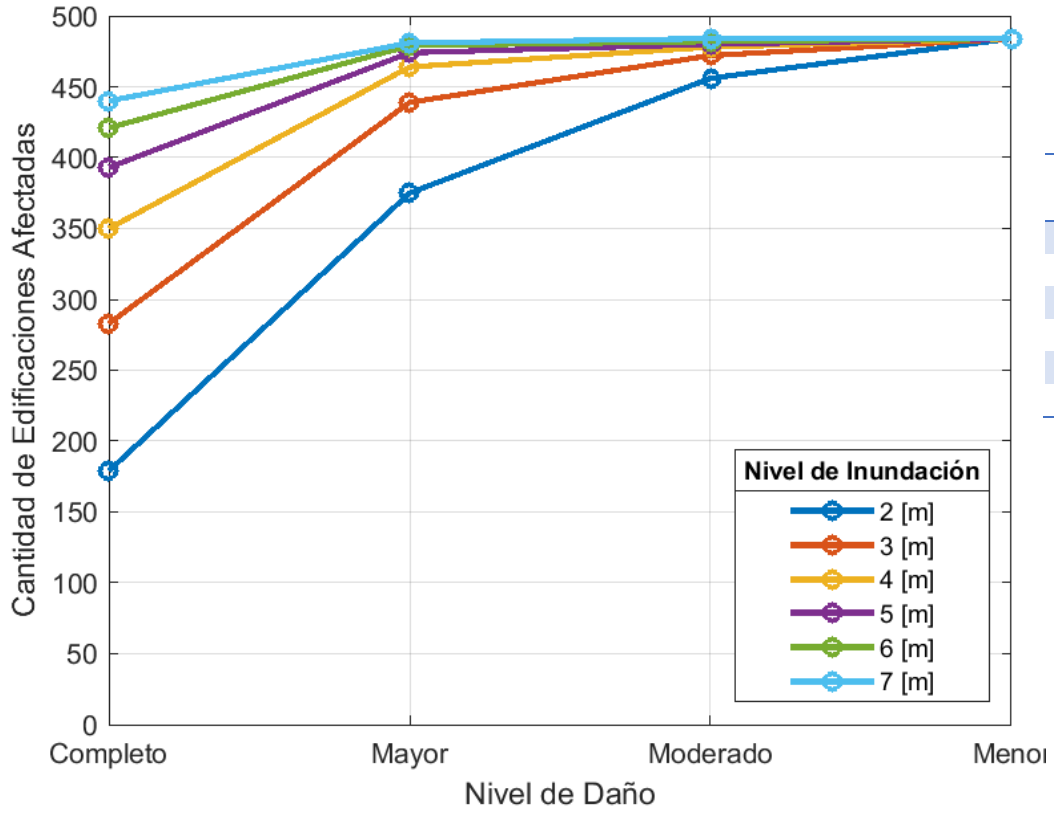
Inundación [m]	Completo (%)	Mayor (%)	Moderado (%)	Menor (%)
2	37.02	77.49	94.19	100
3	58.53	90.78	97.46	100
4	72.25	95.84	98.7	100
5	81.23	97.97	99.26	100
6	87.06	98.94	99.54	100
7	90.89	99.42	99.97	100

Fuente: Elaboración propia.

7. RESULTADOS

d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD

NÚMERO ESTIMADO DE EDIFICIOS DAÑADOS PARA SEIS NIVELES DE INUNDACIÓN Y CUATRO NIVELES DE DAÑO.



Inundación [m]	Completo	Mayor	Moderado	Menor
2	179	375	456	484
3	283	439	472	484
4	350	464	478	484
5	393	474	480	484
6	421	479	482	484
7	440	481	484	484

Fuente: Elaboración propia.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. HISTORIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
   c. RUPTURA
   d. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   e. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   f. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

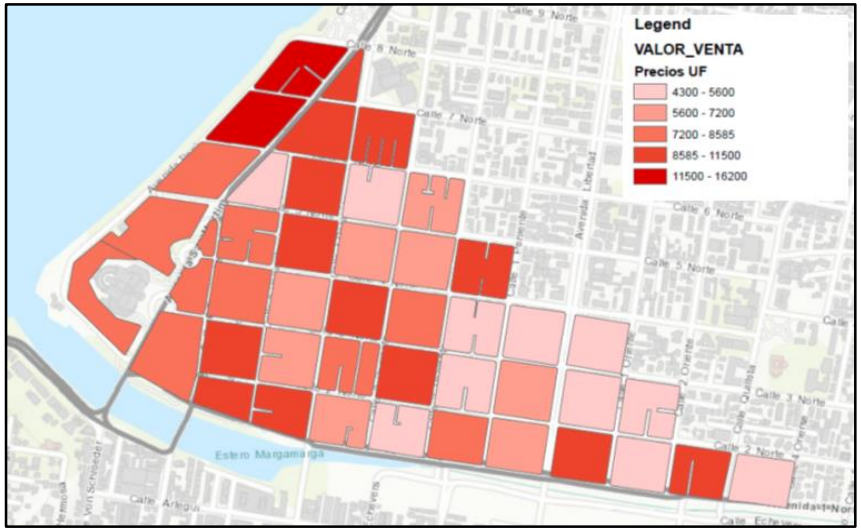
7. RESULTADOS

e. PÉRDIDA ECONÓMICA

EDIFICIO TIPO.

Fuente: Biblioteca AutoCAD.

CUADRAS POR VALOR ECONÓMICO.



Elaboración propia & MOP – Arcgis

7. RESULTADOS

e. PÉRDIDA ECONÓMICA

Las edificaciones con daño menor tienen una pérdida económica de $ 1.9 millones de dólares, con daño moderado de $ 4.6 millones de dólares, con daño mayor de $ 27.5 millones de dólares y con daño completo de $ 115 millones de dólares debido a una inundación de 7[m].

PÉRDIDA ECONÓMICA ACUMULADA TOTAL EN USD.

Menor	Moderado	Mayor	Completo
$ 1,909,197	$ 4,634,995	$27,539,931	$115,286,795

Fuente: Elaboración propia

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. HIPÓTESIS
5. FUNDAMENTO TEÓRICO
   a. HISTORIA SÍSMICA CHILE CENTRAL
   b. HISTORIA DE LA ZONA DE ESTUDIO
   c. RUPTURA
   d. BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA
   e. MODELO NUMÉRICO NEOWAVE
   f. CURVAS DE FRAGILIDAD
6. METODOLOGÍA
7. RESULTADOS
   a. MALLA GRUESA
   b. MALLA FINA
   c. PROFUNDIDAD MÁXIMA DE INUNDACIÓN MODELADA
   d. ANÁLISIS DE CURVAS DE FRAGILIDAD
   e. PÉRDIDA ECONÓMICA
8. CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

1. La zona central de Chile, es un área expuesta debido a la particular morfología costera, es decir, múltiples bahías cerradas generan ondas atrapadas que pueden mantenerse por mayor tiempo.

2. La zona de Valparaíso, es un área particular debido a que Punta Curaumilla y el molo de Valparaíso generan efectos hidrodinámicos que pueden afectar la propagación del tsunami.

3. Viña del Mar, es una zona expuesta debido a que topográficamente es un sector plano e irregular; además el estero Marga Marga funciona como canalizador del flujo del tsunami, ayudando al ingreso de agua que inunda la ciudad.

4. En la Población Vergara se debe mejorar la planificación territorial ante emergencias, ya que el Centro de Evacuación Masivo (CEM) se encuentra en el estadio Sausalito a más de 3 [km] desde el Casino de juegos, es decir a 30 minutos caminando según ejercicios de la Dirección de Protección Civil y Emergencia de Viña del Mar.

5. Los resultados de este estudio, dejan en evidencia la exposición a la que se encuentra sometida la ciudad de Viña del Mar ante un evento de tsunami, donde prácticamente todo el sector de estudio está emplazado en una zona inundable. Cabe destacar que, para el evento simulado, se registraron profundidades de inundación cercanas a 7 [m] en las cuadras estudiadas.

8. CONCLUSIONES

6. Las curvas de fragilidad, son un eficiente método para evaluar daño de edificaciones ante un evento de tsunami, ya que, permiten estimar los efectos de la inundación en edificaciones dependiendo de su composición estructural.

7. Las máximas inundaciones encontradas en este trabajo son entre 6 a 7 [m], es decir, casi toda la primera línea de las cuadras estudiadas de la población Vergara tendría un daño completo.

8. El costo económico de las edificaciones que serían afectadas con daño menor es de $ 1.9 millones de dólares, daño moderado es $ 4.6 millones de dólares, daño mayor de $ 27.5 millones de dólares y daño completo de $ 115 millones de dólares.

9. Finalmente, este proyecto de título invita a reflexionar sobre la exposición de una zona altamente turística, y la importancia de la educación en torno al desastre. Señaléticas, simulacros y educación de los planes de evacuación podrían disminuir este riesgo.

GRACIAS!

“Eres más valiente de lo que piensas.
Más fuerte de lo que pareces.
Y más Inteligente de lo que crees.”

Alan Milne.