

MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INUNDACIÓN POR TSUNAMI EN LA CIUDAD DE VIÑA DEL MAR

DEFENSA DE PROYECTO DE TÍTULO

NOVIEMBRE 2020

Jair Vidal Oteíza

INTRODUCCIÓN

Motivación:

- El contexto sísmico y las nuevas evidencias del 1730.
- Las ciudades costeras deben concentrar sus esfuerzos en realizar investigaciones de esta clase de eventos.
- Simulación de la generación, propagación e inundación del tsunami asociado al terremoto de 1730 para la ciudad de Viña del Mar, mediante COMCOT V.1.7.
- Condiciones geométricas de ruptura y escenarios de distribución de rugosidades.
- Análisis comparativo y de sensibilidad.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Analizar el comportamiento de la inundación por tsunami en Viña del Mar, mediante la sensibilización de la distribución de rugosidades en las zonas inundables.

Objetivos específicos

- Construir un modelo de propagación e inundación por tsunami, asociado a un terremoto de magnitud 9.0 frente a la zona central de Chile.
- Definir y construir distribuciones de rugosidad en las zonas inundables de Viña del Mar.
- Realizar las simulaciones numéricas de la inundación por tsunami para cada uno de los escenarios propuestos.
- Examinar los efectos que genera la distribución de rugosidades en la máxima intrusión horizontal, máxima profundidad de flujo y velocidades, en particular de las vías de evacuación.

ALCANCE

Ancho mínimo de 32[m] en calles.

Cálculo del nivel medio del mar.

Consideraciones Escenario E4.

Área de interés del estudio.

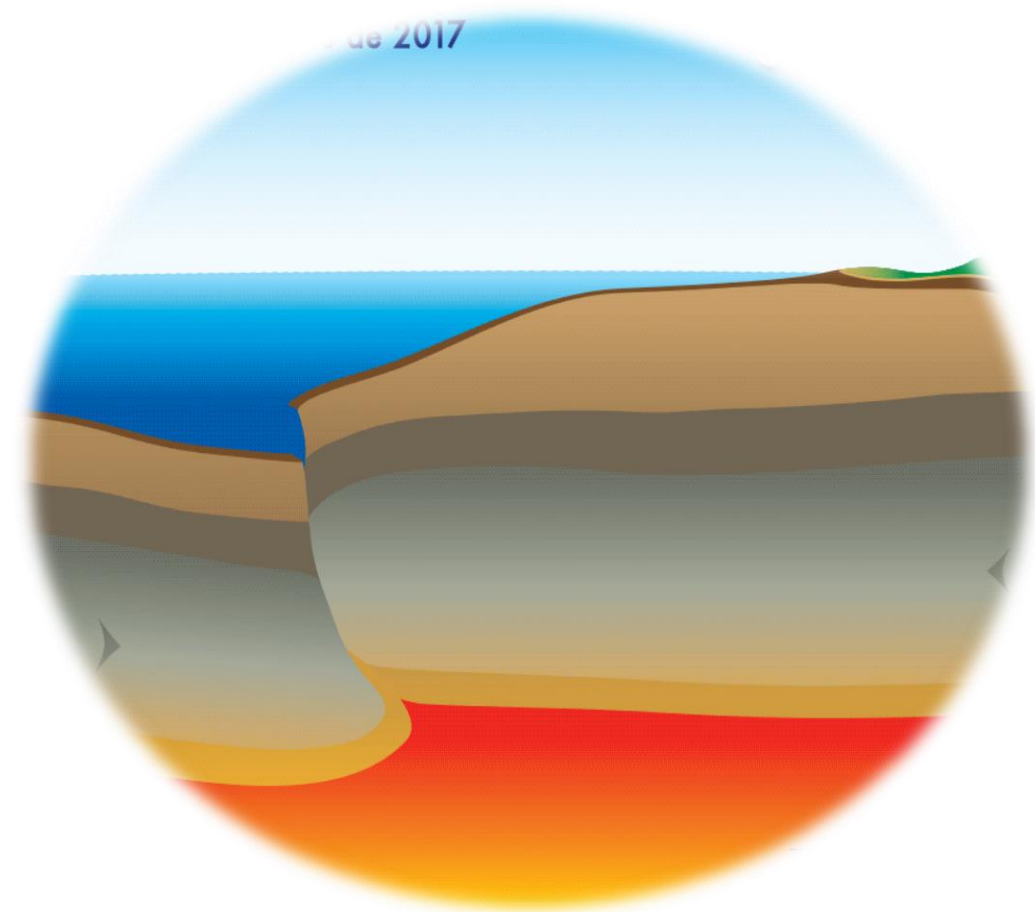
No se consideran cambios en las propiedades del flujo por la presencia de sedimentos, desprendimiento de elementos, el arrastre o transporte de escombros, ni daños por socavación.

MARCO TEÓRICO

Generación de terremotos

- Los terremotos son provocados por la dinámica de la corteza terrestre.
- Deslizamiento de un segmento de la corteza, producto de la interacción entre las placas.
- Súbita liberación de energía en forma de ondas sísmicas, que se propagan en todas direcciones.

Figura 1: generación de terremotos. Fuente: UNAM, 2019



MARCO TEÓRICO

Generación de tsunamis

Ocurren en zonas de subducción donde la litósfera se desliza bajo la astenosfera (Figura 1).

Desplazamiento vertical del lecho oceánico de algunos metros (Figura 2)

Sobreelevación de la superficie del mar (Figura 3).

Propagación del tsunami (Figura 4).

Figura 2: generación de tsunamis por subducción.
Fuente: SMS tsunami warning, 2019

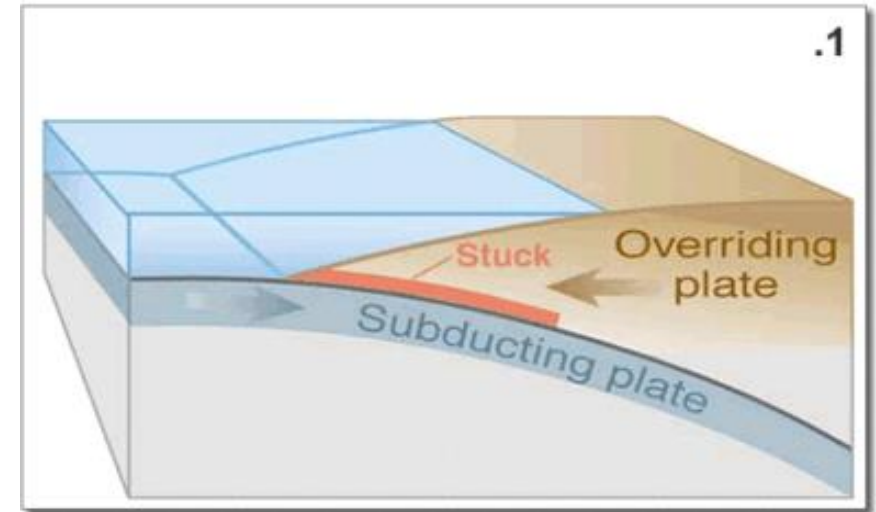
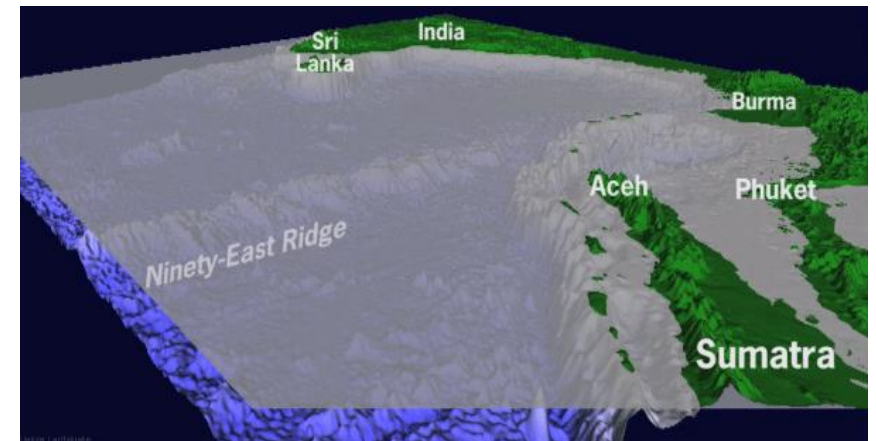


Figura 3: generación de terremotos. Fuente: USGS, 2019



MARCO TEÓRICO

Interacción de un tsunami con la costa

- Mayores efectos destructivos.
- Relación entre morfología costera, presencia de ríos y/o esteros y la intrusión horizontal.
- Características de distribución de los elementos urbanos en una localidad costera.

Figura 4: tsunami Japón, 2011. Fuente: SFM News, 2019



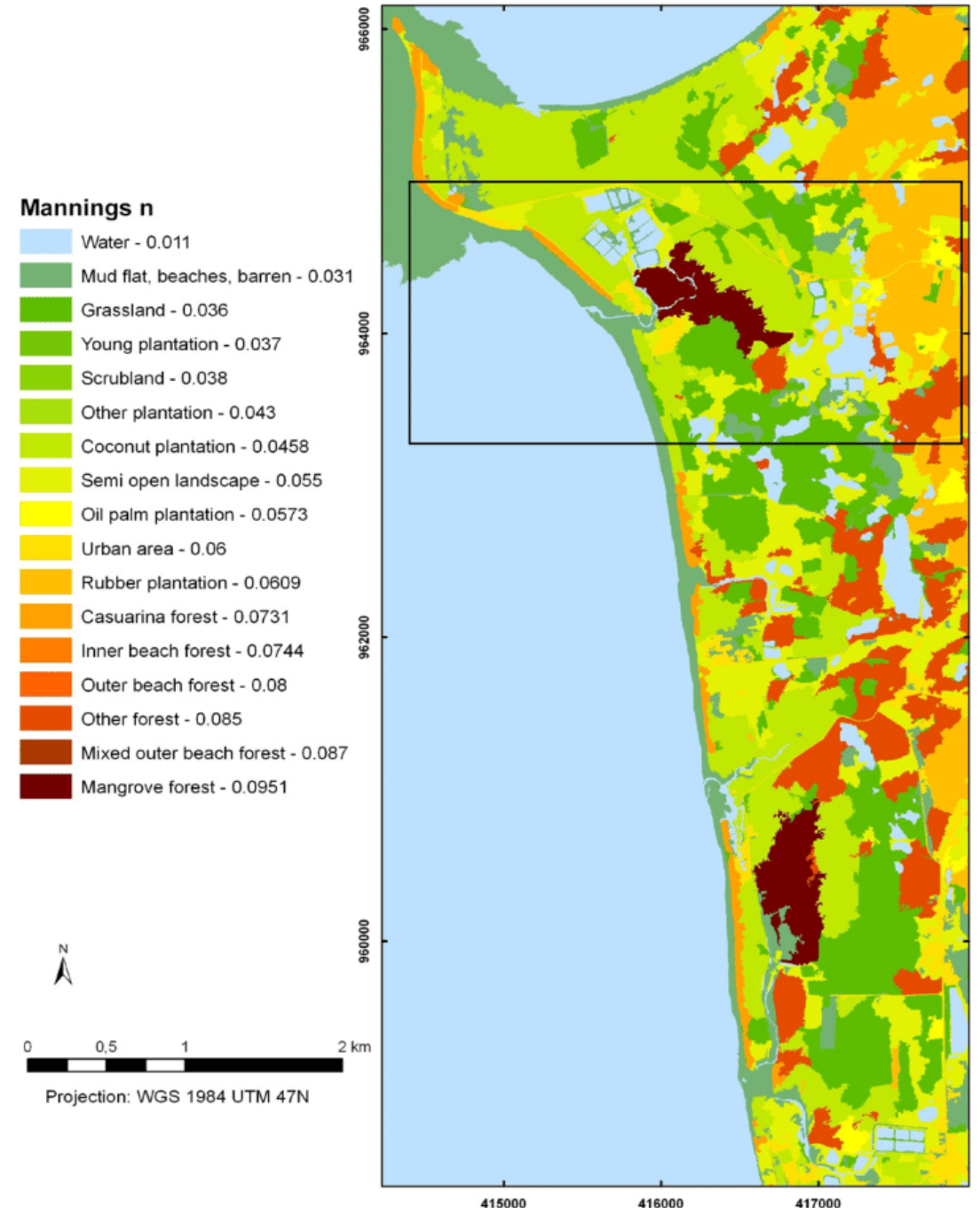
MARCO TEÓRICO

Uso de coeficiente de rugosidad de Manning en zonas inundables

Describe las irregularidades que posee una superficie y la acción disipadora que tiene sobre un flujo.

Se emplea en la modelación de tsunamis, mediante el uso de mallas computacionales de distribución de rugosidades que pueden representar elementos y usos de suelo de una ciudad.

Figura 5: mapa de rugosidad equivalente. Fuente: Kaiser et al. (2011)



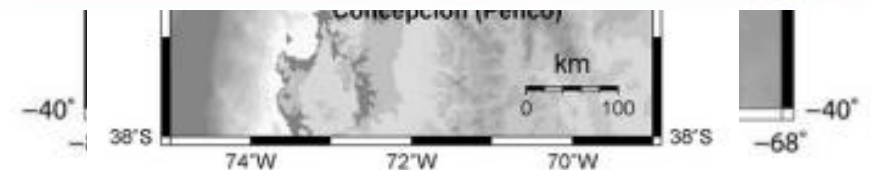
MARCO TEÓRICO

Registros históricos del terremoto de 1730

- Se estima que el área de ruptura se extendió desde la ciudad de La Serena (30° S) hasta Chillán (36.6° S) (Cisternas, et al., 2011).
- La magnitud alcanzada por este terremoto se estima entre M 8.5- 9.0 (Lomnitz, 2004).
- El epicentro se situó frente a las costas de Valparaíso (Udías, et al., 2012).
- Viña del Mar, donde se centra el estudio, no se registran reportes debido a que la ciudad fue fundada el 29 de diciembre de 1874 (Biblioteca Nacional de Chile, 2017).

Figura 7: área de ruptura del terremoto de 1730. Fuente: Quiroz (2015).

Figura 8: Plano de Valparaíso levantado en 1803. Fuente: Carvajal 2015



MARCO TEÓRICO

Ecuaciones de gobierno COMCOT V1.7

Ecuaciones lineales de aguas
someras

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t}$$

Ecuación 1: Conservación de masa, en su versión lineal.

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = 0$$

Ecuación 2: Conservación de momentum componente P, en su versión lineal.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = 0$$

Ecuación 3: Conservación de momentum componente Q, en su versión lineal.

MARCO TEÓRICO

Ecuaciones de gobierno COMCOT V1.7

Ecuaciones no lineales de aguas someras

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t}$$

Ecuación 4: Conservación de masa, en su versión no lineal.

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ + F_x = 0$$

Ecuación 5: Conservación de momentum componente P, en su versión no lineal.



$$F_x = \frac{gn^2}{H^3} P(P^2 + Q^2)^{1/2}$$

Ecuación 7: Fricción de fondo en la componente P.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} - fP + F_y = 0$$

Ecuación 6: Conservación de momentum componente Q, en su versión no lineal.



$$F_y = \frac{gn^2}{H^3} Q(P^2 + Q^2)^{1/2}$$

Ecuación 8: Fricción de fondo en la componente Q.

MARCO TEÓRICO

Ecuaciones de gobierno COMCOT V1.7

Método numérico: Esquema
“leap-frog” de diferencias finitas

Lineal

$$\frac{\eta_{i,j}^{n+1/2} - \eta_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t} + \left\{ \frac{1}{R \cos \varphi} \right\}_{i,j} \frac{P_{i+1/2,j}^n - P_{i-1/2,j}^n}{\Delta \psi} + \left\{ \frac{1}{R \cos \varphi} \right\}_{i,j} \frac{(\cos \varphi_{i,j+1/2}) Q_{i,j+1/2}^n - (\cos \varphi_{i,j-1/2}) Q_{i,j-1/2}^n}{\Delta \varphi} = - \frac{h_{i,j}^{n+1/2} - h_{i,j}^{n-1/2}}{\Delta t}$$

Ecuación 9: Conservación de masa lineal, expresada en su forma explícita.

$$\frac{P_{i+1/2,j}^{n+1} - P_{i+1/2,j}^n}{\Delta t} + \left\{ \frac{gh}{R \cos \varphi} \right\}_{i+1/2,j} \frac{\eta_{i+1,j}^{n+1/2} - \eta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta \psi} - f Q_{i+1/2,j}^n = 0$$

Ecuación 10: Conservación de momentum componente P lineal, expresada en su forma explícita.

$$\frac{Q_{i,j+1/2}^{n+1} - Q_{i,j+1/2}^n}{\Delta t} + \left\{ \frac{gh}{R} \right\}_{i,j+1/2} \frac{\eta_{i,j+1}^{n+1/2} - \eta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta \varphi} + f P_{i,j+1/2}^n = 0$$

Ecuación 11: Conservación de momentum componente Q lineal, expresada en su forma explícita.

MARCO TEÓRICO

Ecuaciones de gobierno COMCOT V1.7

Método numérico: Esquema
“leap-frog” de diferencias finitas

No lineal

$$F_x = v_x (P_{i+1/2,j}^{n+1} + P_{i+1/2,j}^n)$$

Ecuación 12: Fricción de fondo discretizado en la componente P.

$$F_y = v_y (Q_{i,j+1/2}^{n+1} + Q_{i,j+1/2}^n)$$

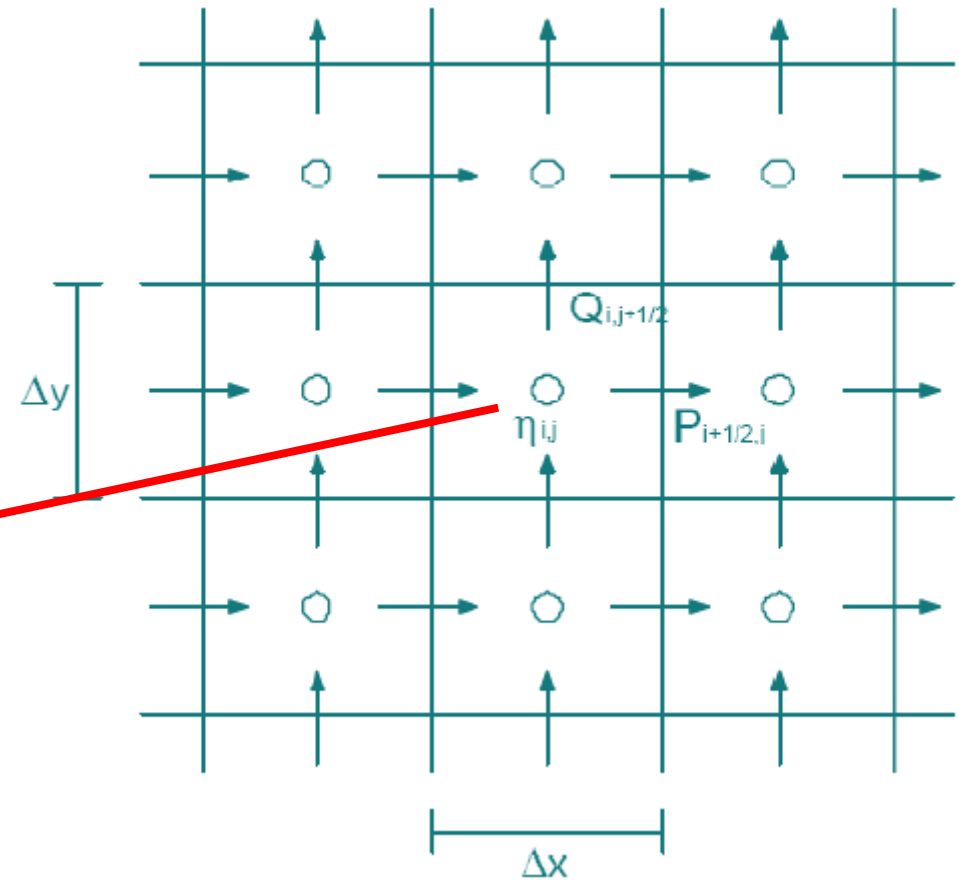
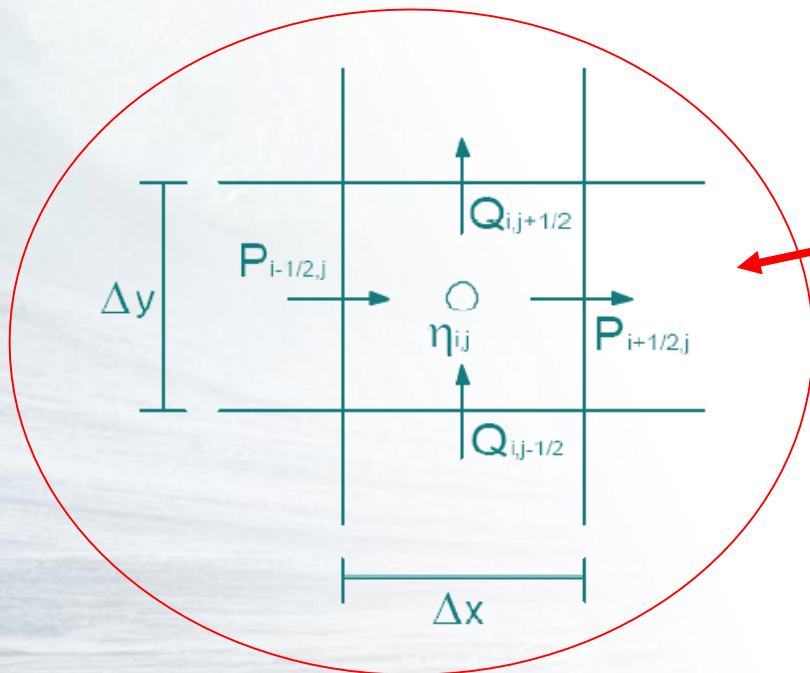
Ecuación 13: Fricción de fondo discretizado en la componente Q.

MARCO TEÓRICO

Esquema "leap-frog" de diferencias finitas

La elevación de la superficie libre se evalúa en niveles de tiempo $t=(n-1/2)\Delta t$ y $t=(n+1/2)\Delta t$, sin embargo, las componentes del volumen de flujo son calculadas en el tiempo $t=n\Delta t$ y $t=(n+1)\Delta t$, donde n es un número natural.

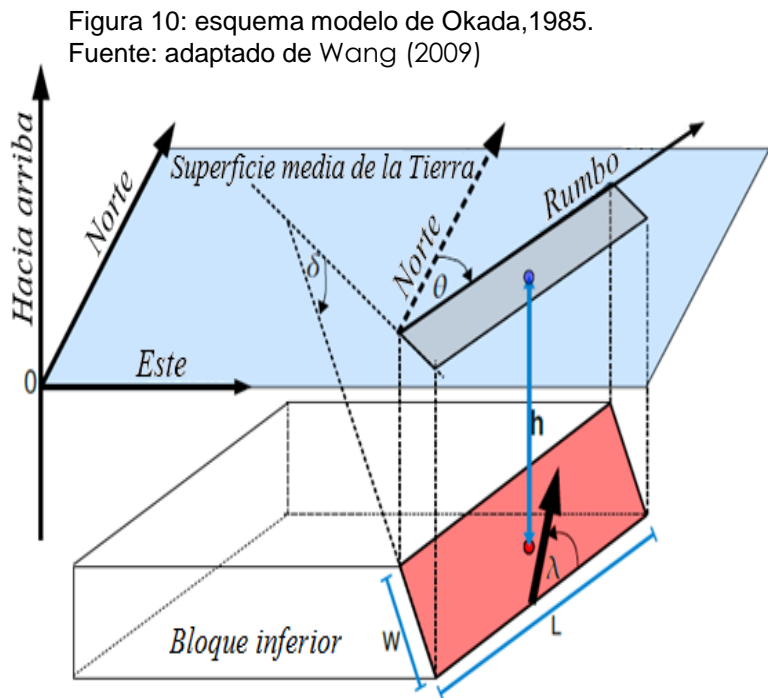
Figura 9: esquema "leap-frog" de diferencias finitas. Fuente: Wang (2009)



MARCO TEÓRICO

Modelos de generación COMCOT V1.7

Modelo de Okada (1985)



Condición inicial

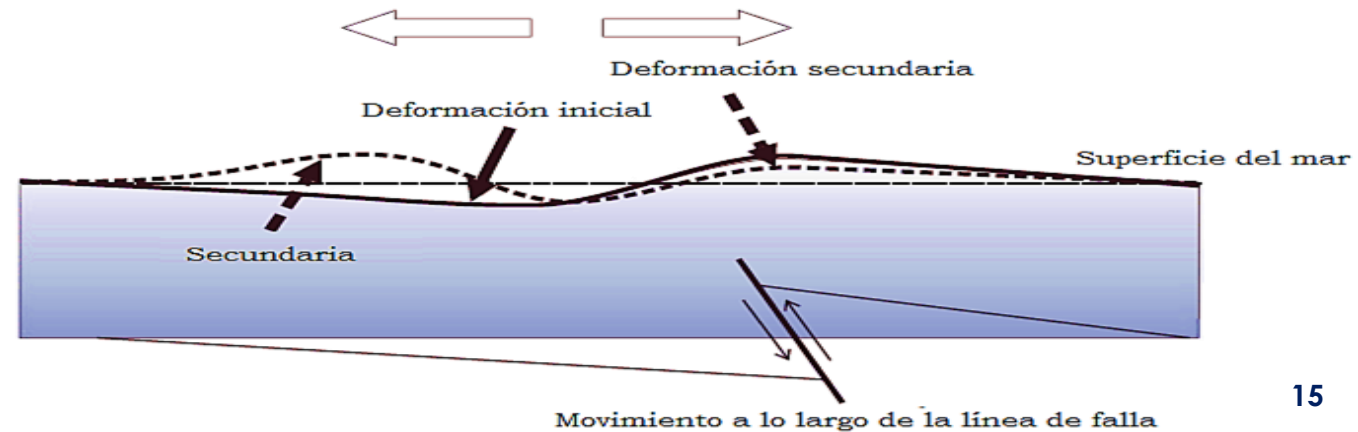
$$F = \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)}$$

Ecuación 14: Factor que relaciona los cambios del fondo marino con la superficie libre del agua.

Tabla 1: parámetros del modelo de Okada, 1985. Fuente: Wang (2009)

Parámetros	Unidad	Descripción
Latitud	[°]	Latitud del centro geométrico de la ruptura
Longitud	[°]	Longitud del centro geométrico de la ruptura
Profundidad focal (h)	[m]	Profundidad del centro de la ruptura
Largo de la ruptura (L)	[m]	Longitud del plano de ruptura
Ancho de la ruptura (W)	[m]	Ancho del plano de ruptura
Dislocación	[m]	Deslizamiento co-sísmico relativo entre las placas
Manteo (δ)	[°]	Ángulo de inclinación del plano de la ruptura, respecto de la horizontal
Rumbo (θ)	[°]	Dirección del eje mayor del plano de ruptura con respecto a la dirección Norte
Ángulo de deslizamiento (λ)	[°]	Dirección de deslizamiento entre las placas con respecto al eje mayor del plano de ruptura

Figura 11: deformación inicial del fondo marino. Fuente: adaptado de Davidson-Arnott (2010)



METODOLOGÍA

Información topobatimétrica

- Bases de datos de GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), cartas náuticas del SHOA (Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada) y algunas topografías de detalle de diversas fuentes.
- Referencia altimétrica (NMM).
- Corrección de referencia altimétrica (NMM).

Figura 12: corrección del nivel medio del mar



- Grillas de modelación

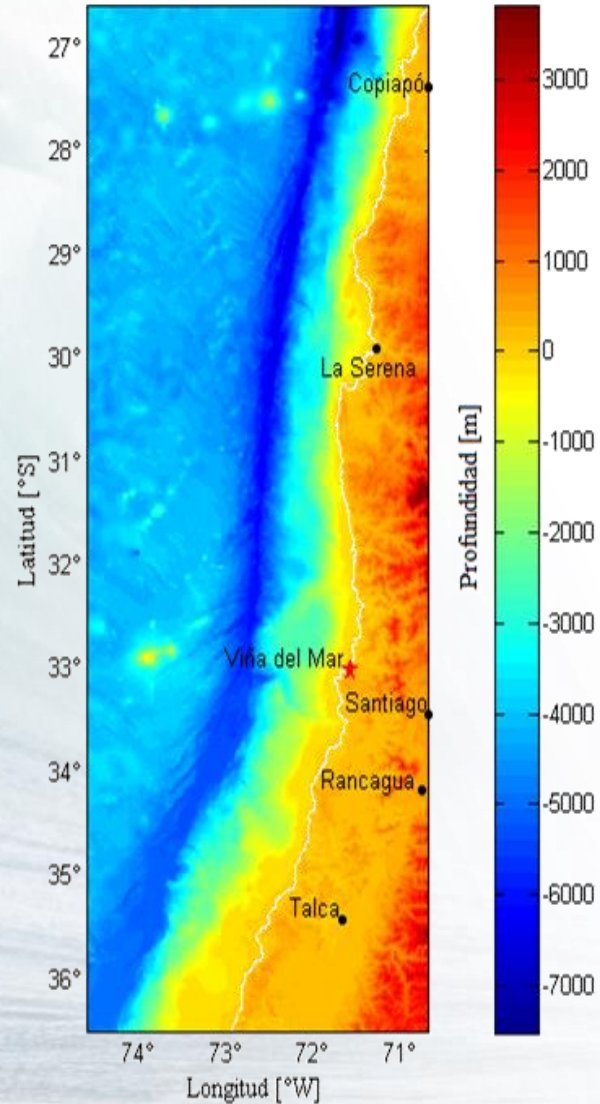
Tabla 2: características de las grillas de modelación.

Nivel de grilla	Resolución	Latitud [°S]	Longitud [°W]	Referencia
1	104''	26.5614 - 36.4992	70.6919 - 74.5919	GEBCO_2014 versión 20141103
2	10.4''	32.0033 - 33.9967	71.0000 - 72.9933	GEBCO_2014 versión 20141103
3	1.3''	32.6483 - 33.1106	71.4317 - 71.7494	Carta SHOA N° 4320
4	0.325''	32.9633 - 33.0500	71.5106 - 71.6550	Carta SHOA N° 5111

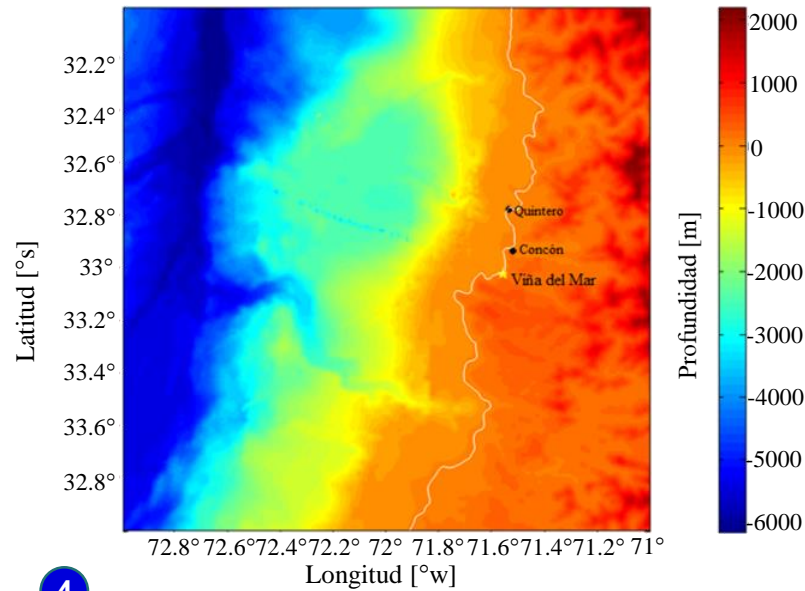
METODOLOGÍA

Grillas de Modelación

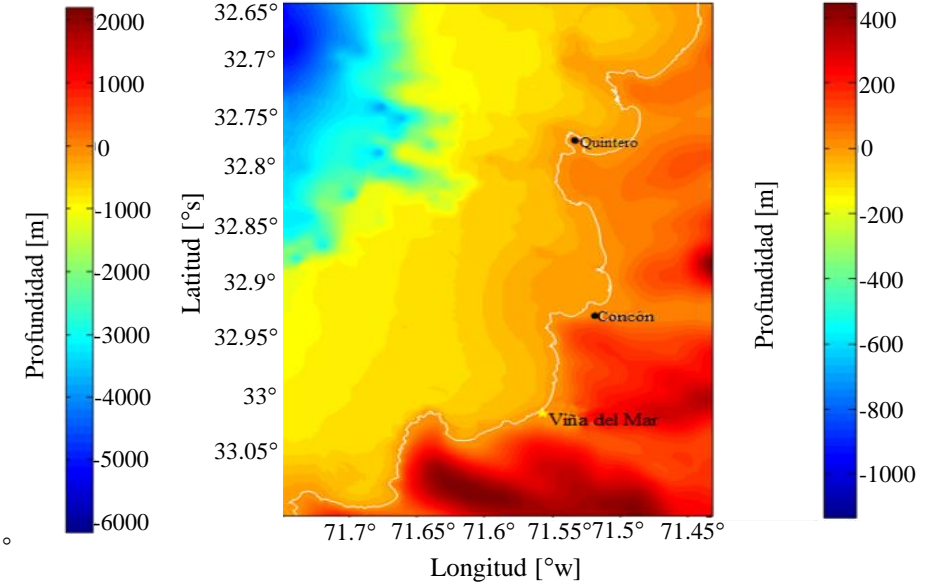
1 Figura 13: grilla de nivel 1.



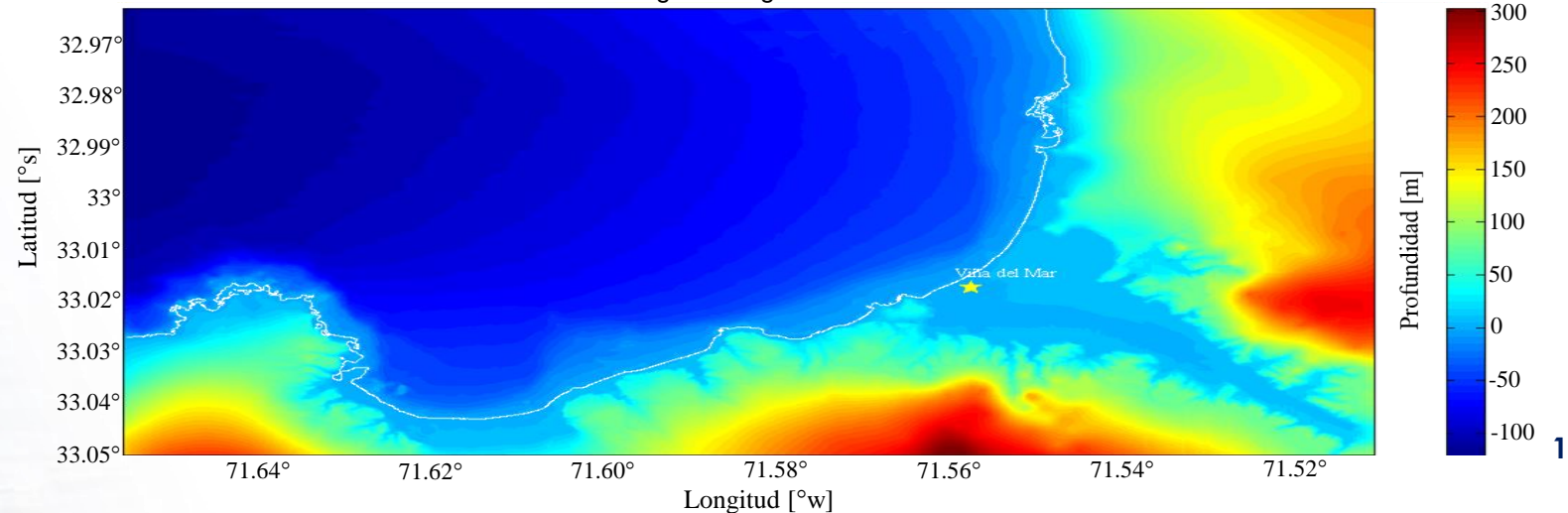
2 Figura 14: grilla de nivel 2.



3 Figura 15: grilla de nivel 3.



4 Figura 16: grilla de nivel 4.



METODOLOGÍA

Modelo de ruptura

- Terremoto de diseño caracterizado por Papazachos et al. (2004), se utilizó para comparar con la Carta de Inundación por Tsunami (CITSU) de Viña del Mar.

- Condición inicial: modelo de ruptura

Para establecer el escenario teórico de ruptura, se consideró que la magnitud con la que se desarrolló el evento de 1730 fue de M 9.0 (Carvajal, 2015; Madariaga, 1998).

Tabla 3: características modelo de ruptura escenario E0.

Escenario	M	L [km]	W [km]	d [m]	h [km]	Rumbo [°]	Manteo [°]	Deslizamiento [°]
E0	8.5	305	101	4.6	27	10	18	90

Tabla 4: condición inicial del modelo de ruptura.

Escenario	M	L [km]	W [km]	d [m]	h [km]	Rumbo [°]	Manteo [°]	Deslizamiento [°]
E1	9.0	575	145	9.5	27	10	18	90

METODOLOGÍA

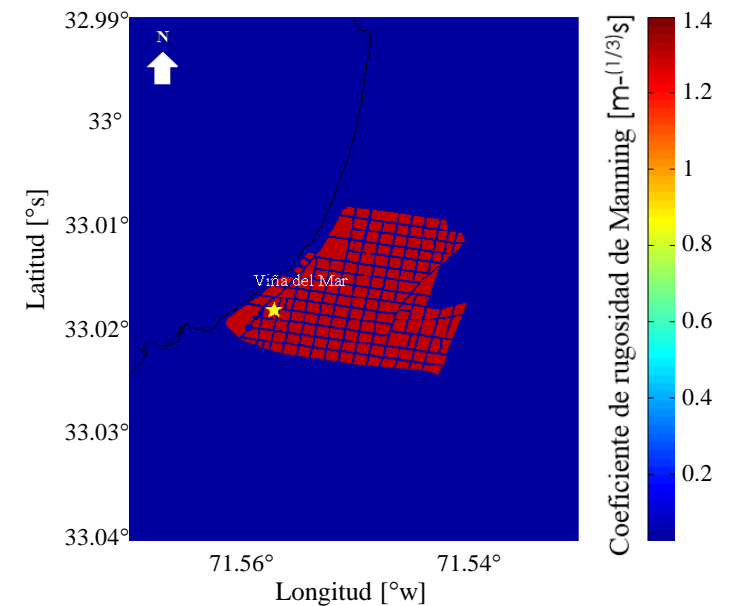
Selección de escenarios

- Se consideraron 4 escenarios que poseen diferentes coeficientes de rugosidad de Manning en las zonas edificadas de la ciudad.

Tabla 5: escenarios de rugosidad.

Escenarios	Cuerpos de agua [$m^{-1/3}s$]	Calles y avenidas [$m^{-1/3}s$]	Sitios vacíos (topografía general) [$m^{-1/3}s$]	Manzanas [$m^{-1/3}s$]	Fuentes
E1	0.025	0.025	0.025	0.025	JICA/SATREPS (2016)
E2	0.025	0.025	0.025	0.08	Kotani et al. (1998)
E3	0.025	0.025	0.025	0.172	Koshimura et al. (2009)
E4	0.025	0.025	0.025	1.3	Método de Cowan (Chow, 1959)

Figura 17: mapa de rugosidad equivalente.



- Todos los escenarios simulados consideran la condición inicial del modelo de ruptura.

RESULTADOS

Comparación del modelo

- De la Figura 18 se desprende que la intrusión horizontal del escenario E0 presenta un descenso de 2.03% respecto al área de inundación de la CITSU de Viña del Mar.

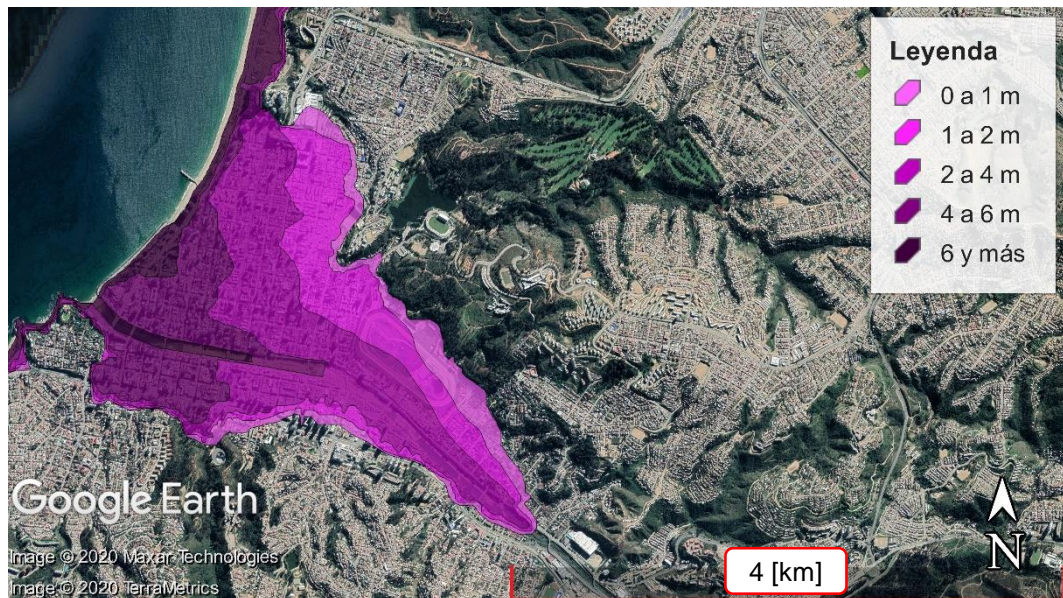
Figura 18: escenario E0.



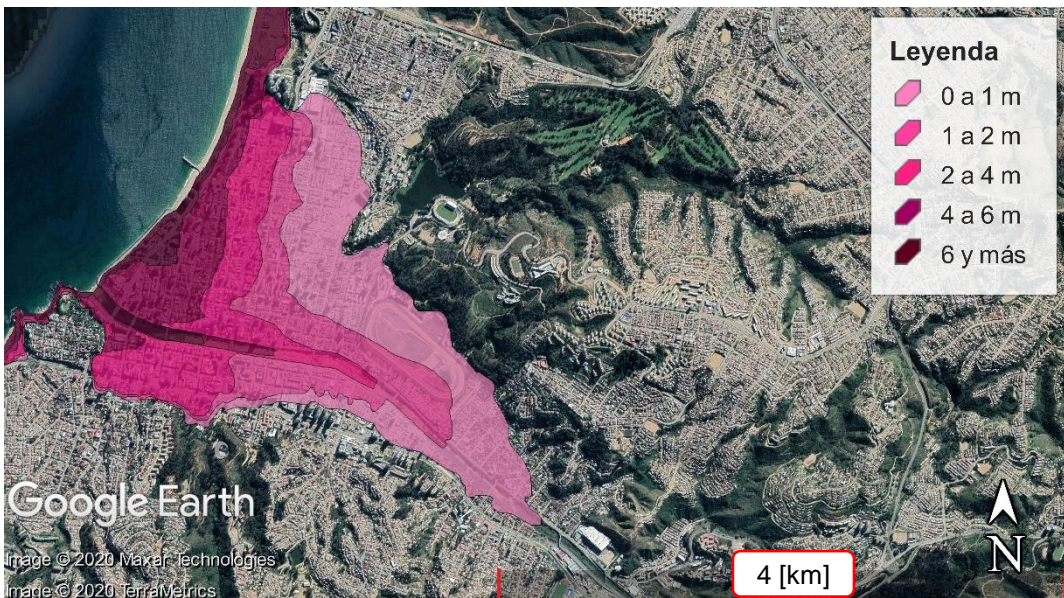
RESULTADOS

Máxima profundidad de flujo

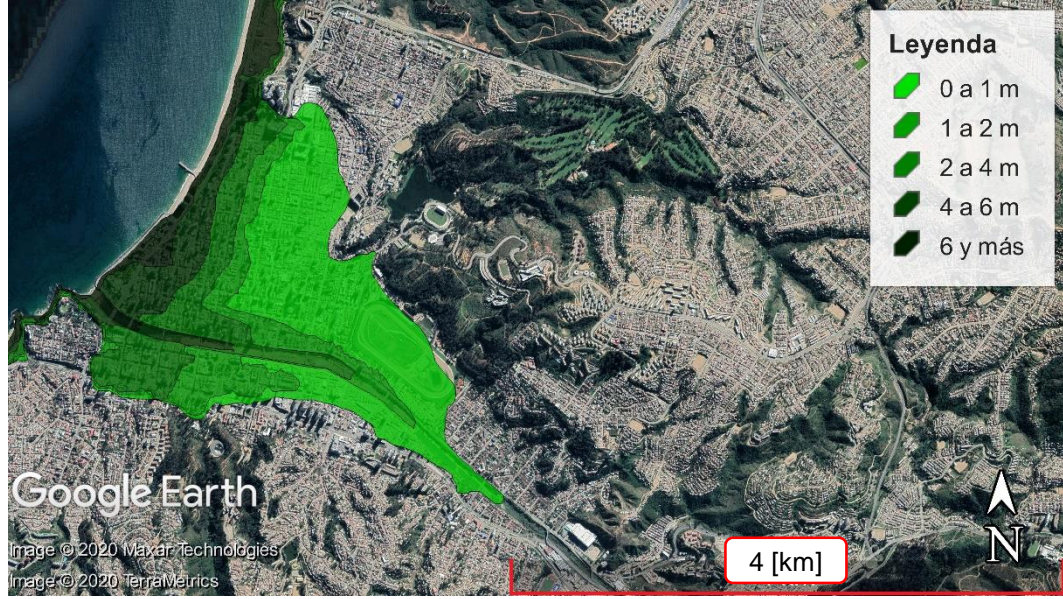
Escenario E1. Figura 19: escenario E1.



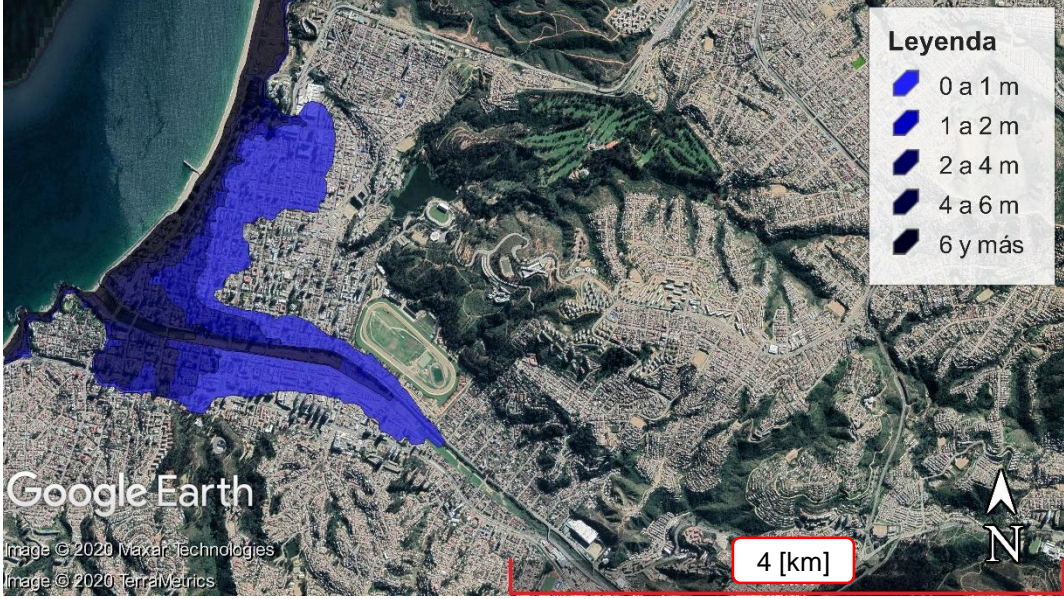
Escenario E2. Figura 20: escenario E2.



Escenario E3. Figura 21: escenario E3.



Escenario E4. Figura 22: escenario E4.



RESULTADOS

Máxima intrusión horizontal

Figura 23: máxima intrusión horizontal.

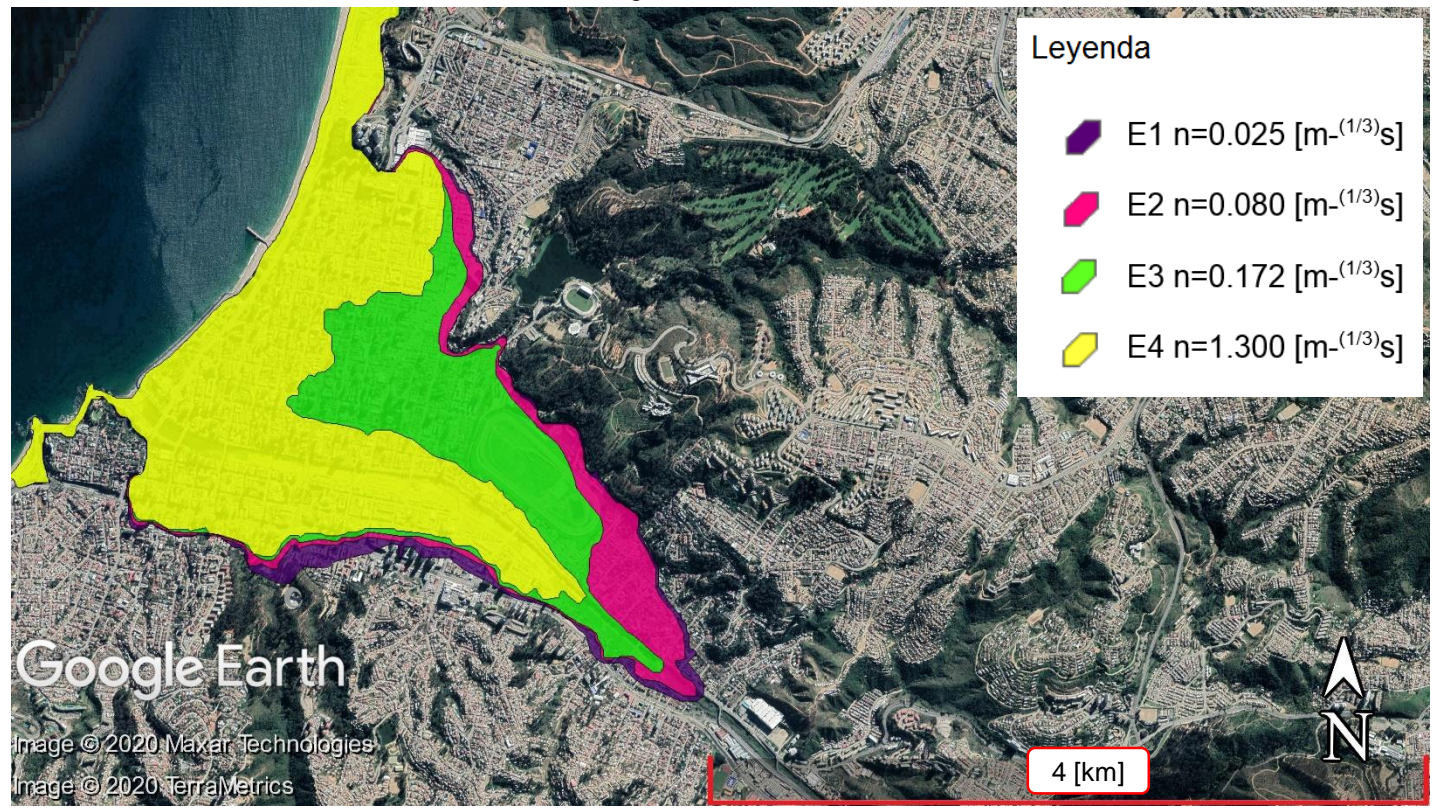


Tabla 6: comparación de las áreas de intrusión horizontal.

Escenario	Área [km ²]	Reducción [%]
E1	5.32	-
E2	5.09	4.32
E3	4.54	14.67
E4	3.22	39.47

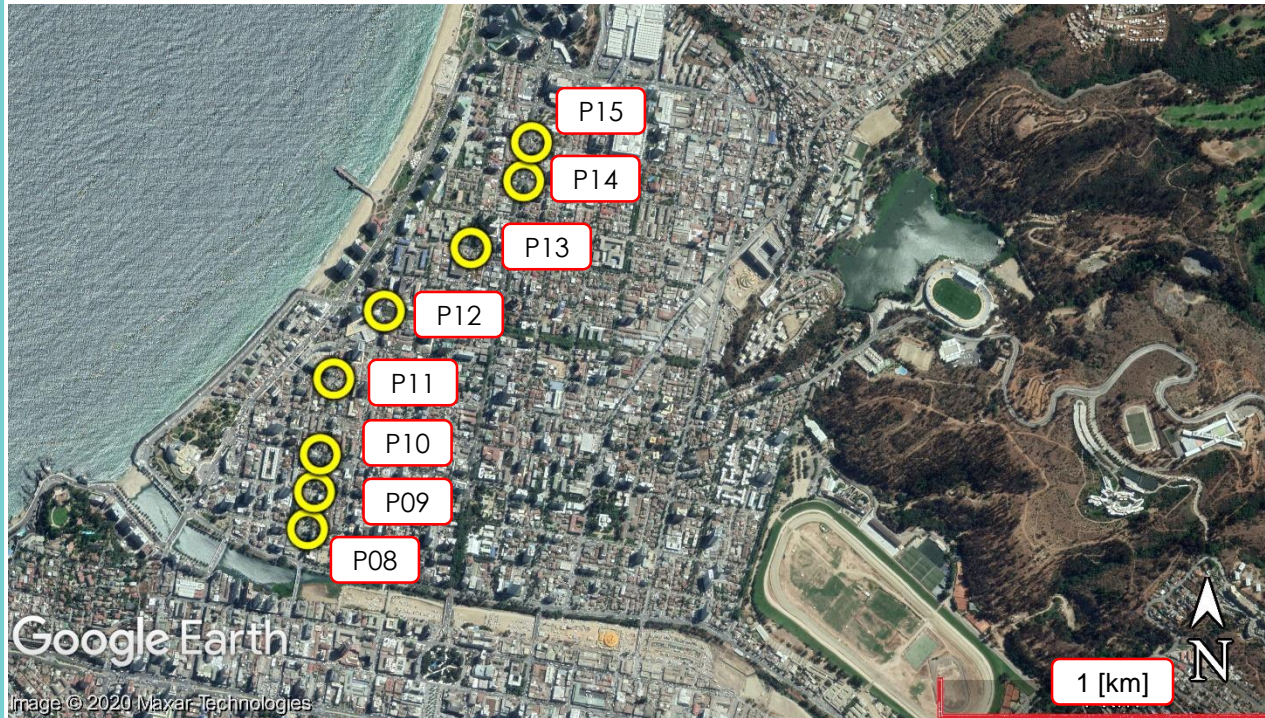
Tabla 7: comparación de la distancia promedio de intrusión horizontal.

Escenario	Distancia promedio [km]	Reducción [%]
E1	1.79	-
E2	1.77	1.11
E3	1.70	5.02
E4	0.73	59.20

RESULTADOS

- Profundidad de flujo

Figura 24: ubicación puntos de control P08 a P15.



Medidas en metro

Tabla 8: profundidad de flujo alcanzada en los puntos de control desde P08 a P15.

Puntos de control	E1 [m]	E2 [m]	E3 [m]	E4 [m]
P08	5.95	5.12	3.91	2.21
P09	5.62	5.19	4.1	1.6
P10	5.13	5.1	4.45	1.13
P11	5.86	5.76	5.69	2.98
P12	4.56	4.34	4.07	2.21
P13	3.92	3.76	2.79	0.75
P14	3.00	2.73	1.6	0.43
P15	3.13	3.01	2.12	0.55

Tabla 9: porcentaje de error en los puntos de control desde P08 a P15.

Puntos de control	Porcentaje de error E2 [%]	Porcentaje de error E3 [%]	Porcentaje de error E4 [%]
P08	13.94	34.25	62.88
P09	7.64	27.03	71.46
P10	0.45	13.17	77.94
P11	1.67	2.83	48.84
P12	4.81	10.71	51.54
P13	4.21	28.84	80.80
P14	9.00	46.68	85.57
P15	3.77	32.24	82.56

RESULTADOS

Análisis comparativo de P08 a P15

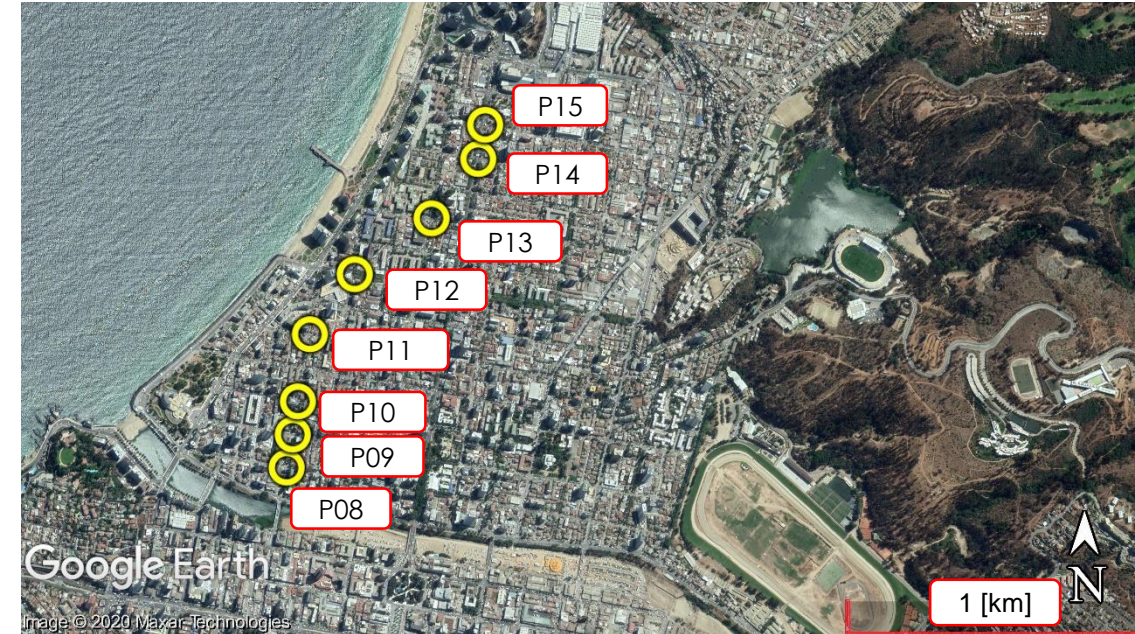
Velocidad de flujo

- Reducción promedio del escenario E2 fue de un 2.25% respecto de E1.
- E3 alcanzó una disminución de 4.15% en relación a E1.
- E4 es el que presenta un mayor descenso con 6.78% asociado a E1.

Tabla 10: velocidad alcanzada en los puntos de control desde P08 a P15.

Puntos de control	E1 [m/s]	E2 [m/s]	E3 [m/s]	E4 [m/s]
P08	7.31	7.23	7.11	7.06
P09	7.20	7.05	6.95	6.88
P10	7.18	6.96	6.88	6.80
P11	7.15	6.92	6.81	6.72
P12	6.97	6.81	6.71	6.65
P13	6.91	6.79	6.60	6.24
P14	6.87	6.64	6.47	6.16
P15	6.63	6.55	6.36	5.94

Figura 25: ubicación puntos de control P08 a P15.



RESULTADOS

Perfiles de velocidades

Figura 26: perfil de velocidad de A, B y de P08 a P15.

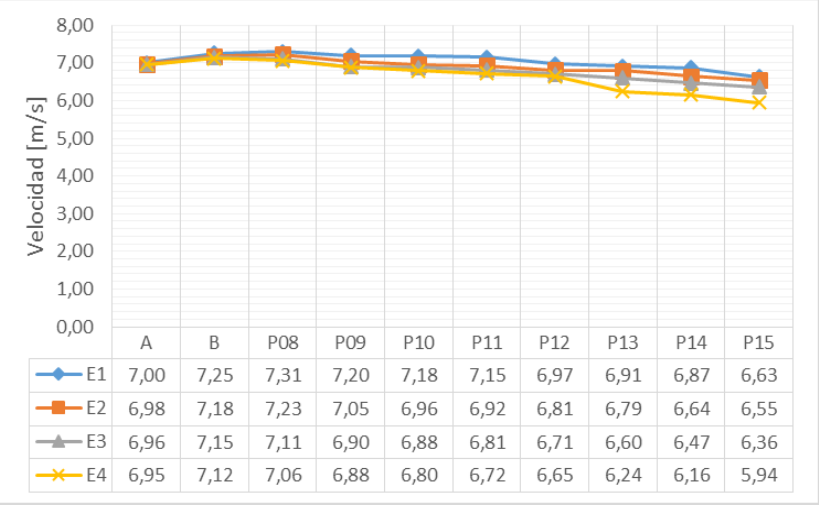


Figura 27: perfil de velocidad de P16 a P25.

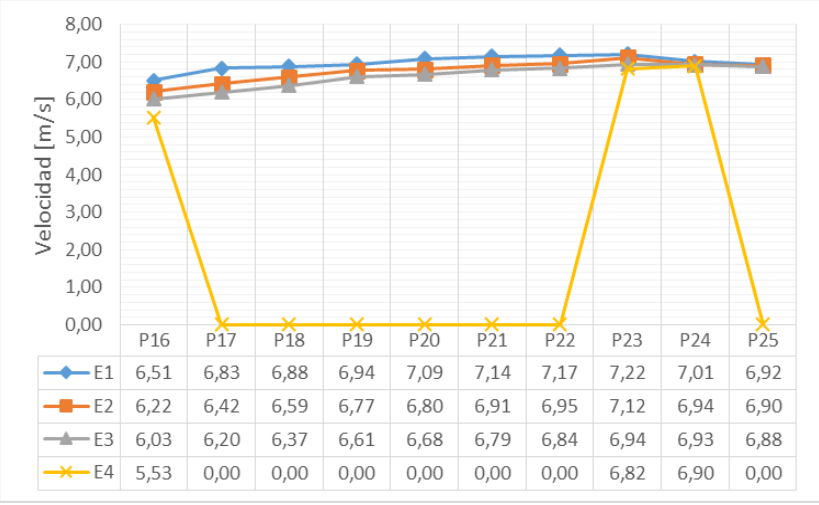
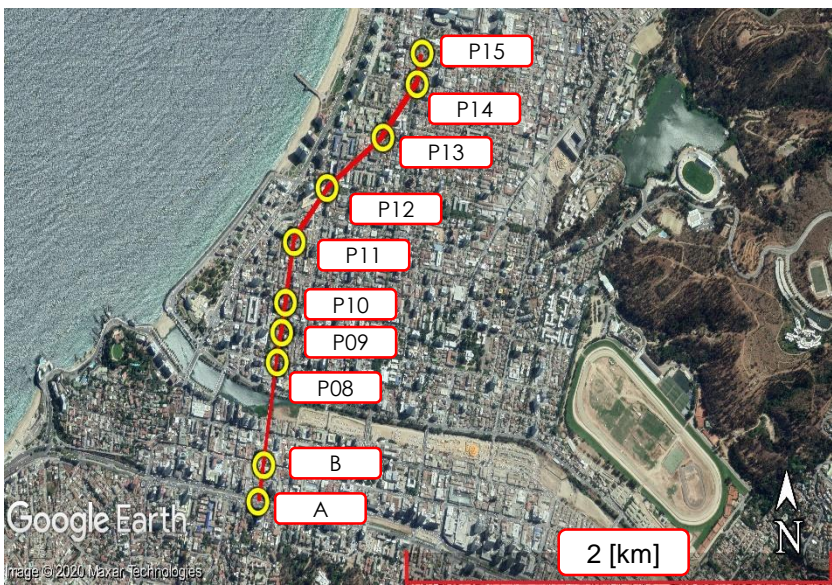
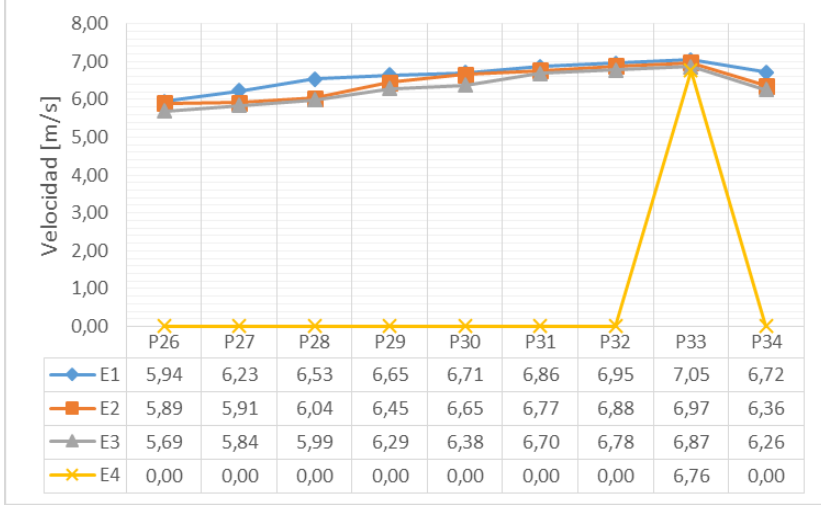


Figura 28: perfil de velocidad de P26 a P34.



RESULTADOS

Análisis del entorno a zonas seguras

Figura 29: áreas del análisis del entorno a zonas seguras.

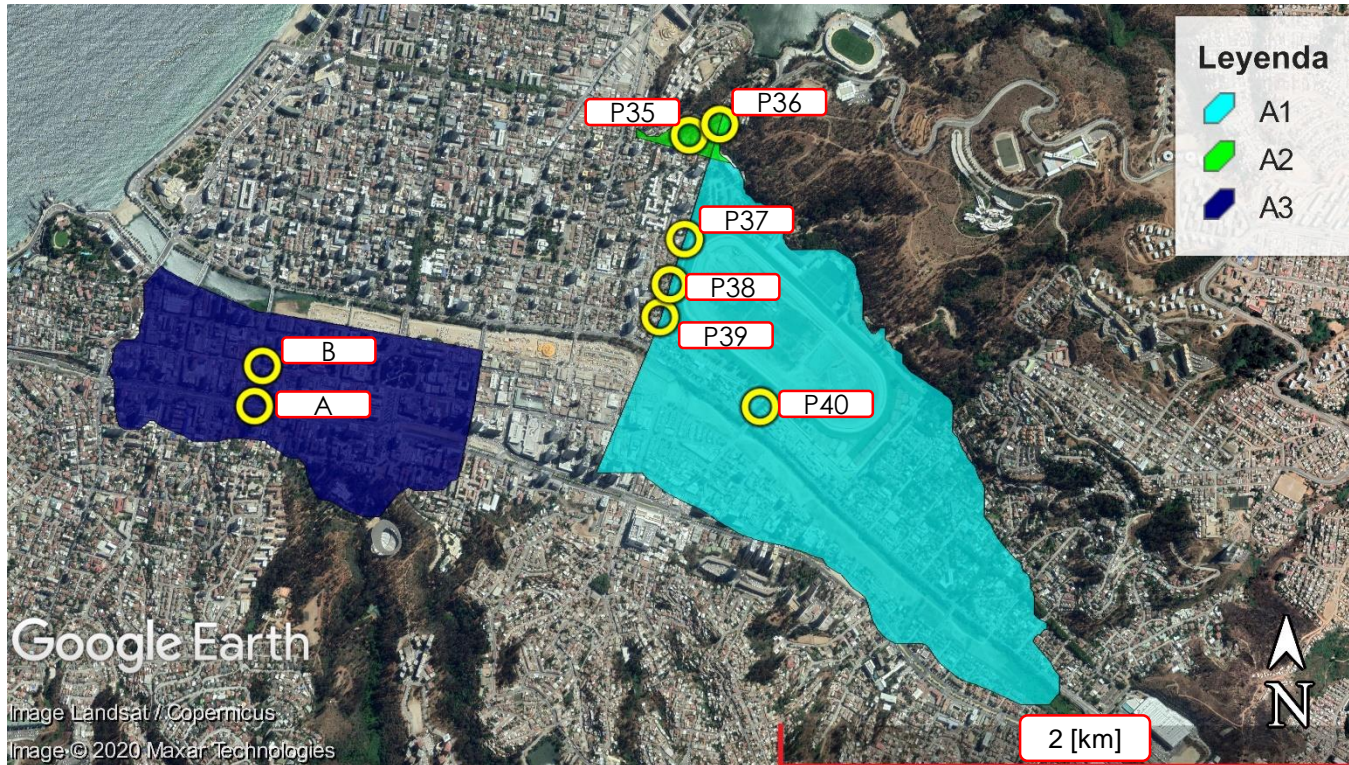


Tabla 11: áreas del análisis del entorno a zonas seguras.

Escenario	A1 [km ²]	A2 [km ²]	A3 [km ²]
E0	0.98	0.02	0.45
E1	1.32	0.03	0.64
E2	1.20	0.02	0.57
E3	0.80	0.01	0.54
E4	0.28	0.00	0.52

Tabla 12: velocidad en puntos de control en área A1.

Puntos de control	E1 [m/s ²]	E2 [m/s ²]	E3 [m/s ²]	E4 [m/s ²]
P37	6.04	5.75	5.64	0.00
P38	6.12	5.93	5.82	0.00
P39	6.15	6.05	5.94	5.84
P40	2.83	2.77	2.55	2.30

Tabla 13: velocidad en puntos de control en área A2.

Puntos de control	E1 [m/s ²]	E2 [m/s ²]	E3 [m/s ²]	E4 [m/s ²]
P35	5.04	4.94	0.00	0.00
P36	4.61	4.48	0.00	0.00

Tabla 14: velocidad en puntos de control en área A3.

Puntos de control	E1 [m/s ²]	E2 [m/s ²]	E3 [m/s ²]	E4 [m/s ²]
A	7.00	6.98	6.96	6.95
B	7.25	7.18	7.15	7.12

RESULTADOS

Vías de evacuación

- Se han analizado las máximas profundidades de flujo y velocidades alcanzadas para cada punto de control dispuestos en las vías de evacuación.

Figura 30: vías de evacuación.

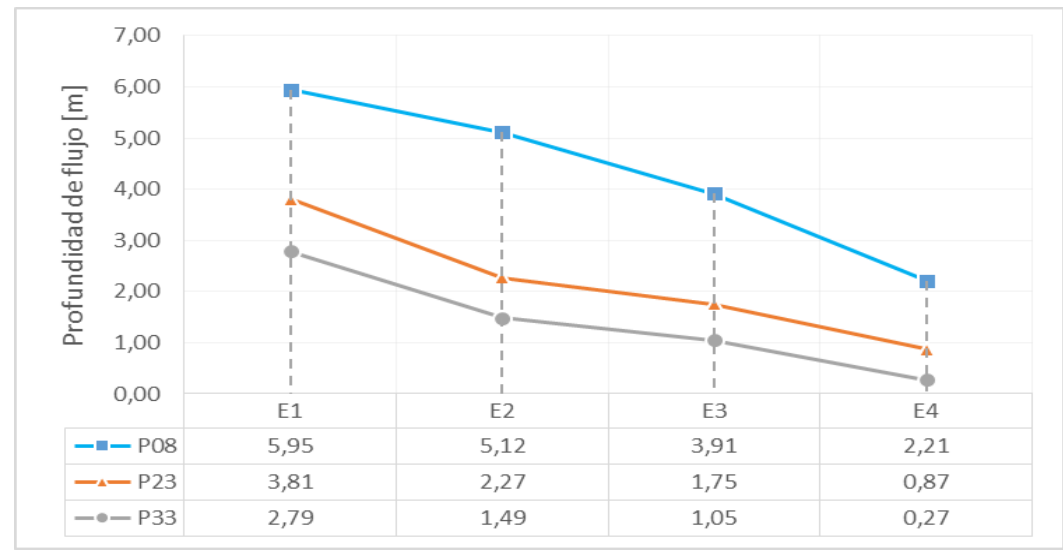
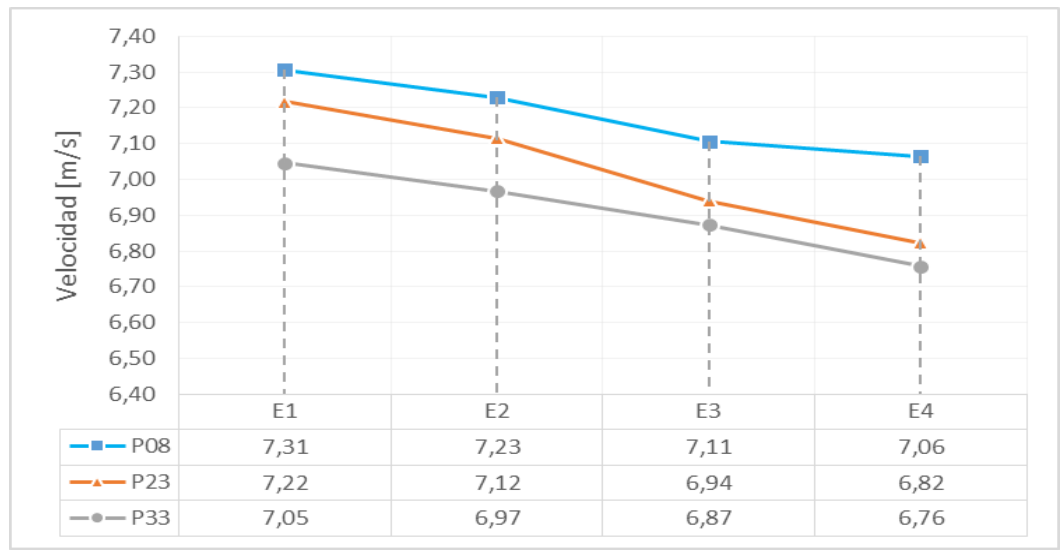


RESULTADOS

Perfil de velocidad y profundidad de flujo de 2 Norte

Figura 31: perfil de velocidad de 2 Norte.

Figura 32: perfil de profundidad de flujo de 2 Norte.

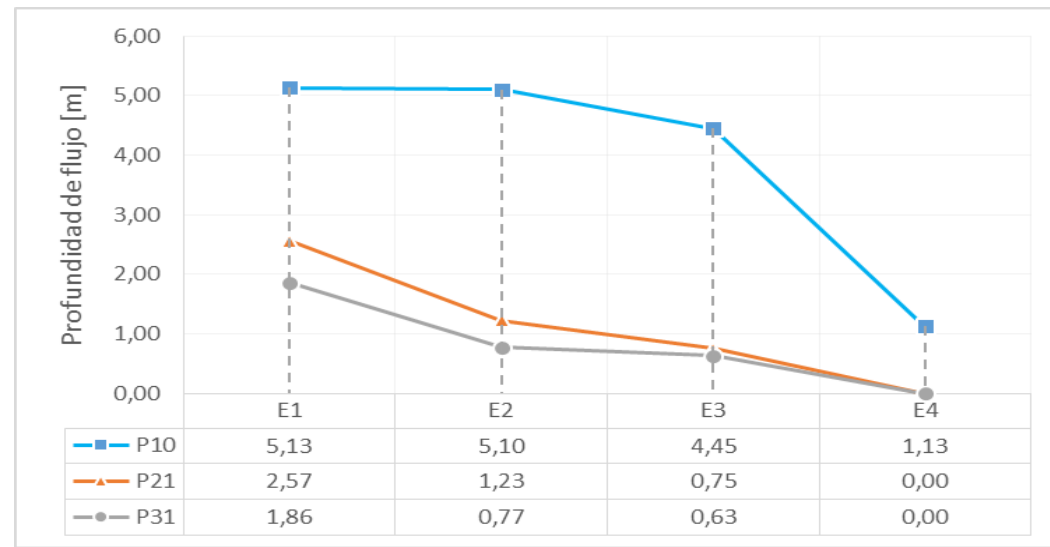
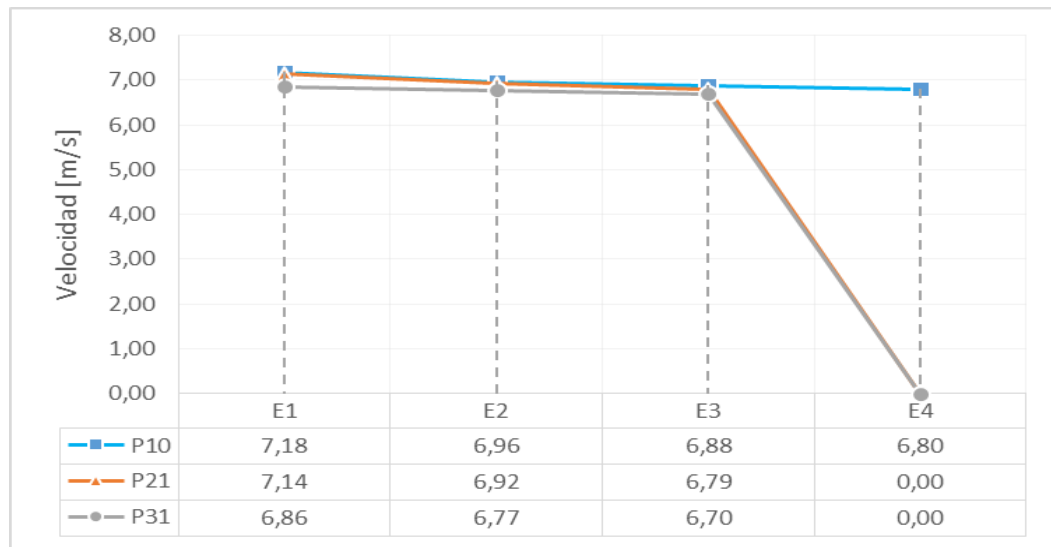


RESULTADOS

Perfil de velocidad y profundidad de flujo de 4 Norte

Figura 33: perfil de velocidad de 4 Norte.

Figura 34: perfil de profundidad de flujo de 4 Norte.



RESULTADOS

Perfil de velocidad y profundidad de flujo de 8 Norte

Figura 35: perfil de velocidad de 8 Norte.

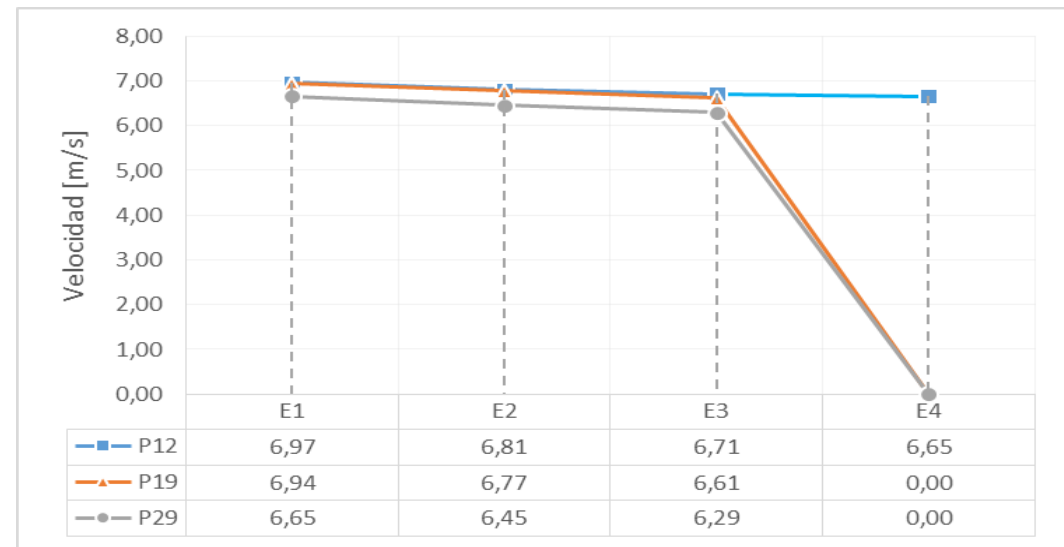
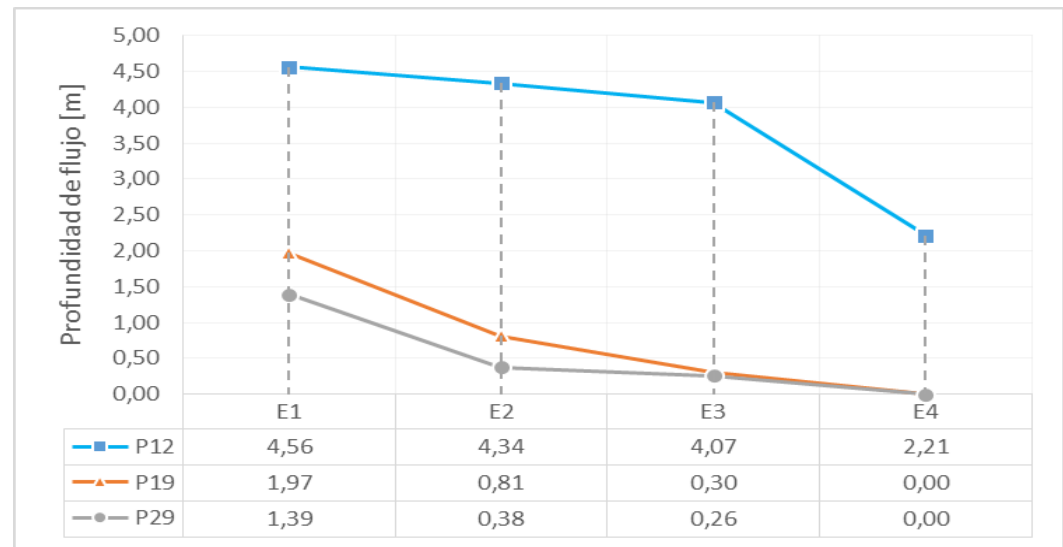


Figura 36: perfil de profundidad de flujo de 8 Norte.



RESULTADOS

Perfil de velocidad y profundidad de flujo de 13 Norte

Figura 37: perfil de velocidad de 13 Norte.

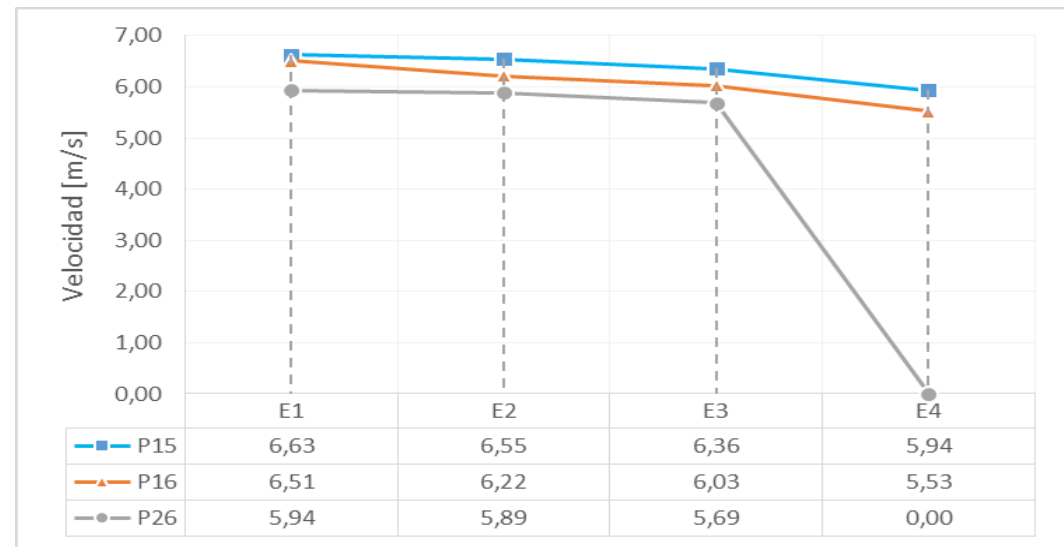
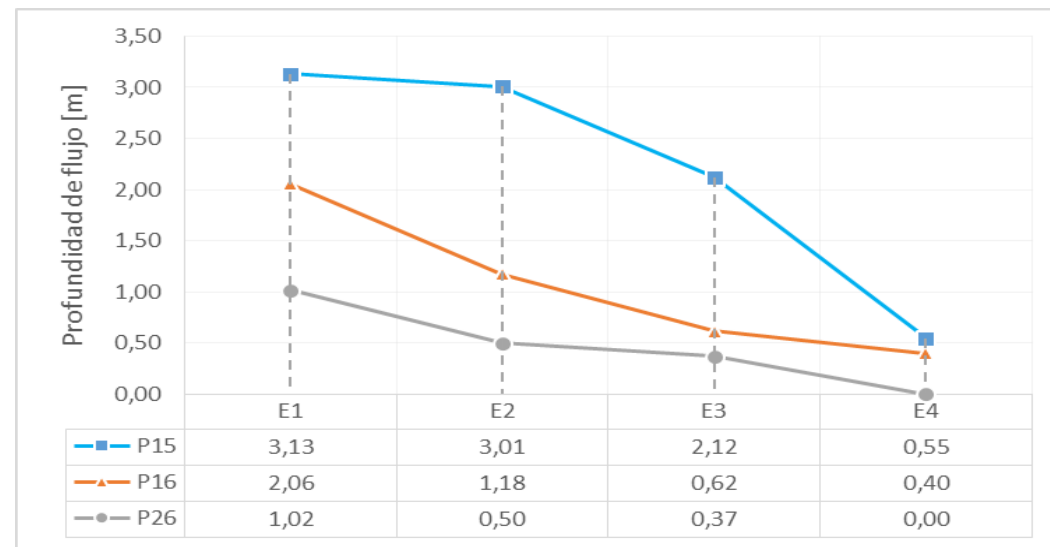


Figura 38: perfil de profundidad de flujo de 13 Norte.



DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Aplicación de mapas de rugosidad en cada zona costera.
- Determinación del coeficiente de rugosidad de Manning equivalente para las distintas vocaciones de uso de suelo dentro de la ciudad.
- Cálculo del nivel medio del mar con la información de la ciudad de Viña del Mar.
- Adquirir planos topográficos de detalle en el sector del estero Marga-Marga.
- Evaluación de las vías de evacuación actuales de la ciudad de Viña del Mar, ya que 2, 3 y 4 Norte presentan aspectos de vulnerabilidad que pueden complicar la evacuación de la población.
- Evaluación estructural de las edificaciones de la ciudad de Viña del Mar, con miras a desarrollar un plan de evacuación vertical.
- Considerar las máximas profundidades y velocidades de flujo determinadas en el desarrollo de este estudio, para la obtención de las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas que pueden afectar a las edificaciones emplazadas en áreas de riesgo de inundación, y zonas potencialmente inundables, como recomienda la Norma Técnica Minvu 007 (NTM 007).

CONCLUSIONES

Los resultados contribuyen para establecer cuáles son las zonas más expuestas a daño producto de un tsunami.

Los resultados están relacionados con la calidad y densidad de los datos topográficos, batimétricos y los parámetros de la fuente sísmica, referido al terremoto de 1730.

El escenario E0 contribuyó a comparar los resultados de profundidad de flujo con la CITSU de Viña del Mar, siendo base para simular terremotos de mayor magnitud.

Dadas las estructuras rígidas o semi-rígidas presentes en Viña del Mar, se desprende que la rugosidad equivalente podría ser válida para caracterizar el comportamiento de las zonas inundables de la ciudad.

La profundidad de flujo y la máxima inundación horizontal se reducen en promedio un 5.60% y 4.32% para E2, 24.47% y 14.67% para E3, 70.20% y 39.47% para E4, respectivamente, en relación al escenario E1.

En el sector Sur de la ciudad no se aplicaron cambios en la rugosidad equivalente se produjo una disminución de los parámetros evaluados en menor escala respecto del sector Norte. Se puede deber a la redistribución de masa, momentum y el efecto de difracción que se genera en el Cerro Castillo.

CONCLUSIONES

Los perfiles de velocidad extraídos en las vías de evacuación se infiere que desde 2 Norte a 13 Norte las velocidades disminuyen gradualmente, alcanzando mayores cifras cerca del estero Marga-Marga.

Los sectores más cercanos al estero Marga-Marga son los que presentan una mayor magnitud en los parámetros evaluados, en relación a lo registrado al Norte de la ciudad.

Considerando las velocidades alcanzadas, se debe poner atención a la Playa El Sol donde las velocidades promedio fueron de 7.38 [m/s].

La inundación es sensible a la distribución de rugosidades. Al aumentar el coeficiente de rugosidad equivalente, variables como la profundidad de flujo, intrusión horizontal y velocidad exhiben una disminución de sus valores.

Las edificaciones urbanas presentes en una ciudad, contribuye a la reducción de los efectos de un tsunami. Sin embargo, debe cuidarse el efecto convectivo por la presencia de elementos rígidos.

Es importante recalcar que los resultados de este estudio representan un evento histórico en particular que no necesariamente se repetirá de la misma manera, por lo que resulta conveniente acatar la recomendación de dirigirse a una zona segura cuya cota sea superior a los 30 [msnmm].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Biblioteca Nacional de Chile, 2017. Memoria Chilena. [En línea]
- Available at: <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-7682.html#presentacion>
- Carvajal, M., 2015. Tamaño del terremoto de Chile central de 1730, inferido de evidencias históricas, geológicas y modelación numérica del tsunami resultante. s.l.:s.n.
- Chow, T. V., 1959. Open channel hydraulics. New York, McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Cisternas, M., Gorogitía, N., Torrejón, F. & Urbina, X., 2011. Terremoto y Tsunami de Chile Central de 1730: ¿Un gigante o una serie de eventos menores?. Viña del Mar: Congreso de Ciencias del Mar.
- Gusiakov, V. K., 2005. Tsunami generation potential of different tsunamigenic regions in the Pacific.. s.l.:Marine Geology.
- JICA/SATREPS, G. d. T. 2. d. P., 2016. Guía para la estimación de peligro de tsunami. s.l.:s.n.
- Kaiser, G. y otros, 2011. The influence of land cover roughness on the results of high resolution tsunami inundation modeling. s.l.:s.n.
- Kajiura, K., 1963. The leading wave of a tsunami. Bulletin of the Earthquake Research. s.l.:s.n.
- Koshimura, S., Oie, T., Yanagisawa, H. & Imamura, F., 2009. Developing fragility functions for tsunami damage estimation using numerical model and post-tsunami data from Banda Aceh, Indonesia. s.l., Coastal Engineering Journal, pp. 243-273.
- Kotani, M., Imamura, F. & Shuto, N., 1998. New method of tsunami runup and estimation of damage using GIS data. s.l., Proceedings of the Coastal Engineering, Japan Society of Civil Engineers, pp. 356-360.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lomnitz, C., 2004. Major Earthquakes of Chile: A Historical Survey, 1535-1960. Seismological Research Letters, p. 12.
- Madariaga, R., 1998. Sismicidad de Chile. s.l.:Física de la Tierra.
- Okada, Y., 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. s.l.:Bulletin of the Seismological Society of America.
- Papazachos, B. C. y otros, 2004. *Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes*. s.l., s.n.
- Quiroz, M., Aránguiz, R. & Belmonte, A., 2014. Peligro de Tsunami en Chile Central: Modelo de Ruptura del evento de 1730. s.l., XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Santiago, Chile, Agosto 2014.
- SHOA, 2000. Tsunami, las grandes olas. Valparaíso: s.n.
- Tarbuck, E. J. & Lutgens, F. K., 2005. Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física. En: Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física. Octava ed. Madrid: Pearson Prentice Hall, pp. 320-321.
- Udías, A., Madariaga, R. & Buforn, E., 2012. The Large Chilean Historical Earthquakes of 1647,1657,1730 and 1751 from Contemporary Documents. s.l.:Bulletin of Seismological Society of America.
- UNESCO, 2013. Comisión Oceanográfica Intergubernamental. Glosario de tsunamis. Colección Técnica de la COI N° 85 rev. París, UNESCO.. s.l.:s.n.
- Wang, X., 2009. User manual for COMCOT Version 1.7. s.l.:s.n.
- Winckler, P., 2002. *Evaluación de riesgo de tsunami en Quintero, Chile*. s.l.:s.n.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN.