Universidad de Valparaíso
CHILE
Facultad de Ingeniería

INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE EVACUACIÓN VERTICAL ANTE TSUNAMI. CASO APLICADO A LA CIUDAD DE VALPARAÍSO

Presenta:
Constanza Flores Henríquez

Profesor Guía:
Mauricio Reyes
Profesores Revisores:
Cristian Araya
Raúl Oberreuter

21 de Septiembre de 2016

Contenidos

- Introducción
- Objetivos
- Metodología
- Resultados
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Referencias Bibliográficas

Introducción

- Chile es considerado uno de los países más sísmicos del mundo, su potencial para generar terremotos de subducción altamente destructivos con gran potencial tsunamigénico ha quedado demostrado a lo largo de su historia (Gusiakov, 2005).

- La ciudad de Valparaíso, completamente expuesta al Océano Pacífico no se encuentra exenta de esta realidad. Han sido seis terremotos los que han dejado cuantiosos daños en la infraestructura de la ciudad.

- Considerando la planificación como un proceso de toma de decisiones, el ordenamiento objetivo de la información optimiza dicho proceso. Con ese fin, en este estudio se analizan tres subcomponentes de vulnerabilidad ligadas al sufrimiento humano de personas arrastradas por tsunami (HS04), según Reyes (2013).

Objetivos

Objetivo General

- Caracterizar el impacto ante la ocurrencia de tsunamis de campo cercano en la ciudad de Valparaíso y generar herramientas que aporten en la planificación y evaluación de sus sistemas de evacuación.

Objetivos Específicos

- Definir escenarios de amenaza de terremoto y tsunami de campo cercano en la ciudad de Valparaíso.
- Desarrollar una metodología cuantitativa y cualitativa para la caracterización de la oferta y demanda de evacuación horizontal en la ciudad de Valparaíso.
- Desarrollar una metodología cualitativa para la caracterización de la oferta y demanda de evacuación vertical en la ciudad de Valparaíso.
- Realizar balances de oferta y demanda de evacuación horizontal y vertical.

Metodología

Estudio de Amenaza

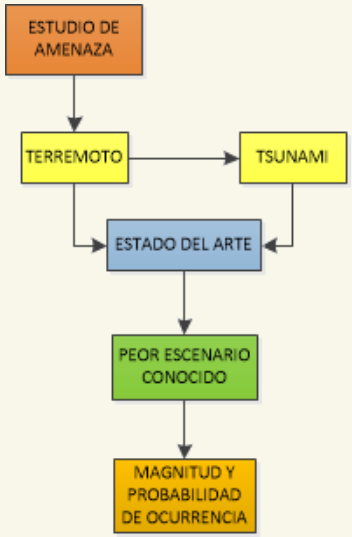
- Terremoto
- Tsunami

Estudio de Impactos

- Exposición
- Vulnerabilidad

Estudio de Amenaza

Se evalúa tanto en su magnitud como en su probabilidad de ocurrencia.



PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	FACTOR DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (P)
Ocurre un evento dentro de los próximos 10 años	5
Ocurre un evento dentro de los próximos 10 a 100 años	4
Ocurre un evento dentro de los próximos 100 a 500 años	3
Ocurre un evento dentro de los próximos 500 a 1000 años	2
Ocurre un evento dentro de los próximos 1000 años o más	1

Tabla 4 Probabilidad y factor de probabilidad de ocurrencia de la amenaza (Reyes, 2013).

Amenaza de Terremoto y Tsunami en Valparaíso

- La historia sísmica de la ciudad viene dada por los terremotos de 1647, 1730, 1822, 1906, 1985 y 2010.
- El peor escenario de amenaza por terremoto y tsunami es el del 8 de Julio de 1730.

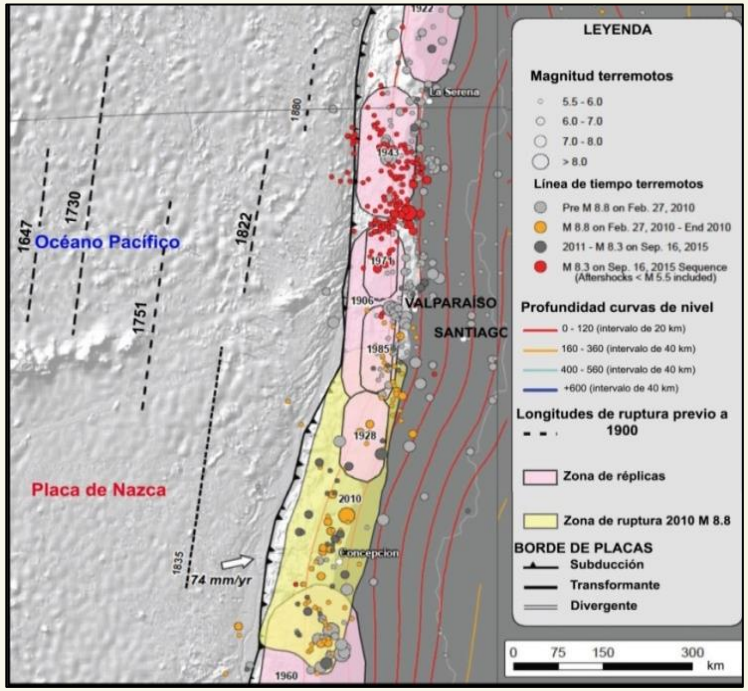
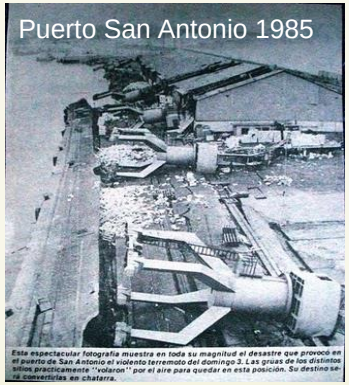
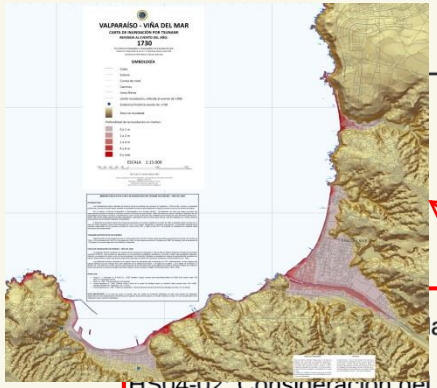


Figura 21 Terremotos zona central de Chile. Adaptado de Yeck et al. (2015).



Estudio de Impactos

Estudio de Vulnerabilidad: Se basa en las subcomponentes de vulnerabilidad ligadas al sufrimiento humano de personas arrastradas por tsunami (HS04), según Reyes (2013).



Sufrimiento Humano **(HS)**

- Personas que necesitan asistencia durante el desastre **(HS02)**
- Personas atrapadas bajo escombros **(HS03)**
- Personas arrastradas por el tsunami **(HS04)**

ación expuesta a amenaza por tsunami

HS04-02: Consideración del tiempo y/o temporada del escenario de amenaza y residentes o población expuesta .

HS04-03: Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana formales o informales.

HS04-04: Confiabilidad de la infraestructura de evacuación, planes y simulacros.

HS04-05: Confiabilidad de la estimación de personas arrastradas por tsunami.

HS04-06: Experiencia previa frente a tsunami o educación y/o entrenamiento.

HS04-07: Equipos profesionales de rescate ante a tsunami, equipamiento, instalaciones, entrenamiento, disponibilidad, acceso y/o cobertura.

HS04-08: Equipos comunitarios de rescate ante tsunami, equipamiento, instalaciones, entrenamiento, disponibilidad, acceso y/o cobertura.

HS04-01 — HS04-05
HS04-02 — HS04-06
HS04-03 — HS04-07
HS04-04 — HS04-08

Escenario día laboral, noche de año nuevo y noche de fin de semana de verano

Estudios de oferta y demanda de evacuación horizontal y vertical

Figura 40 Subcomponentes de vulnerabilidad asociadas al Sufrimiento Humano (HS). Adaptado de Reyes (2013).

Estudio de Impactos

<u>Exposición</u>: Se considera como zona expuesta aquel área con una profundidad de inundación mayor a cero (d>0).

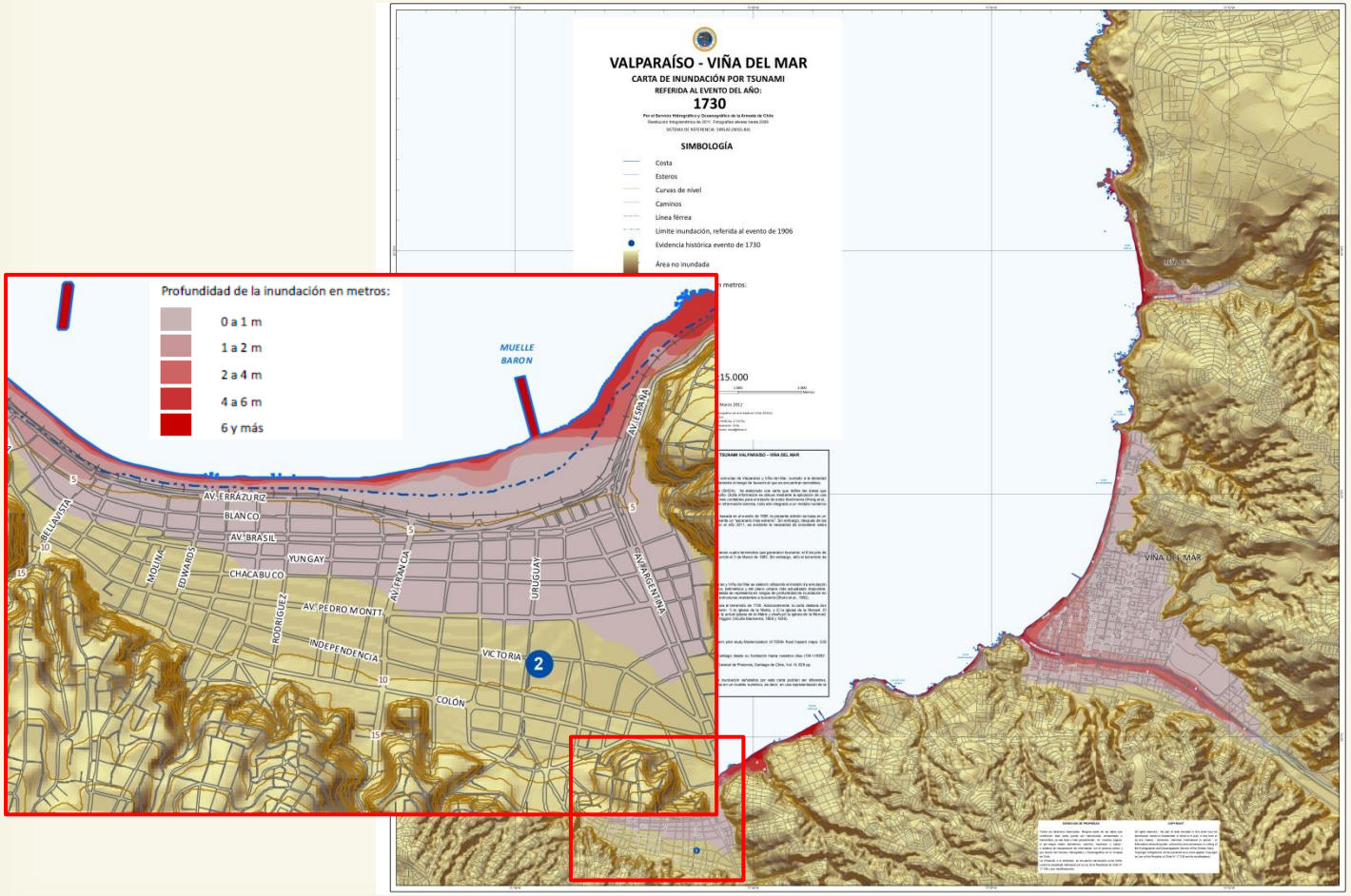


Figura 23 Carta de Inundación por Tsunami Región de Valparaíso (SHOA, 2012).

Oferta de Evacuación Horizontal

Viene definida por las rutas de evacuación ante tsunami designadas por la ONEMI.

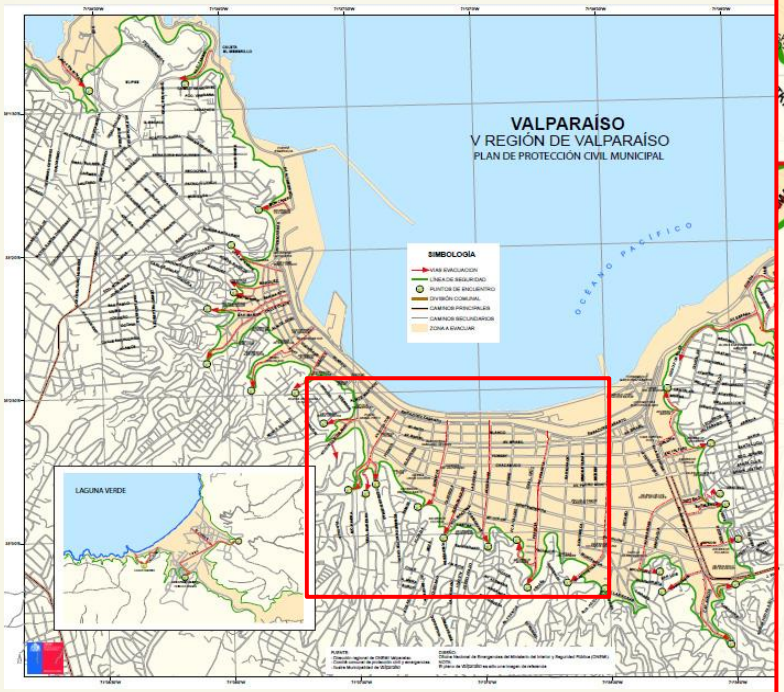


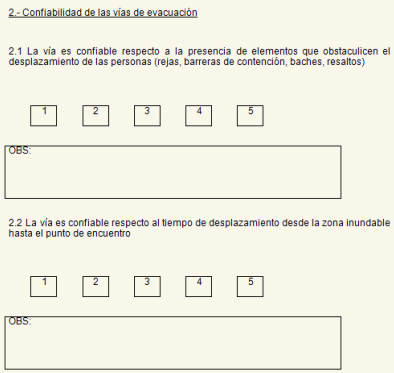
Figura 24 Mapa de evacuación por tsunami, Región de Valparaíso (ONEMI, 2014).

Figura 26 Vías de evacuación horizontal plan de Valparaíso. Adaptado de ONEMI (2014).

Ejercicio Hipotético de Evacuación

Objetivo: Evaluar cualitativamente el impacto por confiabilidad de evacuación y susceptibilidad de bloqueo de las vías de evacuación horizontal

20 estudiantes voluntarios de la carrera Ingeniería Civil Oceánica divididos en 5 grupos de 4 personas.



2.- Confiabilidad de las vías de evacuación

2.1 La vía es confiable respecto a la presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas (rejas, barreras de contención, baches, resaltos)

1 2 3 4 5

OBS:

2.2 La vía es confiable respecto al tiempo de desplazamiento desde la zona inundable hasta el punto de encuentro

1 2 3 4 5

OBS:

Personas con movilidad reducida

Escala cualitativa de impacto por Susceptibilidad	
No Susceptible	1
Baja Susceptibilidad	2
Susceptibilidad Media	3
Alta Susceptibilidad	4
Muy Alta Susceptibilidad	5

Tabla 7 Escala cualitativa de impacto por susceptibilidad. Adaptado de Reyes (2013).

Escala cualitativa de impacto por Confiabilidad	
No Confiable	5
Baja Confiabilidad	4
Confiabilidad Media	3
Alta Confiabilidad	2
Muy Alta Confiabilidad	1

Tabla 8 Escala cualitativa de impacto por confiabilidad. Adaptado de Reyes (2013).

Análisis Cualitativo de Demanda de Evacuación Horizontal

Se realiza de acuerdo a la propuesta de zonificación de la ciudad por tiempo de evacuación, utilizando el criterio de Jacobs (1967), para cada escenario de ocurrencia y codificación de calles.

Multitud	Densidad de personas [personas/m^2]
Fluida	1
Densa	2
Muy densa	4

Tabla 14 Valores de densidad de personas por unidad de superficie (Jacobs, 1967).

Oferta de Evacuación Vertical

La oferta de Evacuación Vertical es nula, ya que los edificios existentes en la ciudad no incorporan un diseño tsunamirresistente.

A pesar de esto, y según la experiencia internacional, estructuras no especialmente diseñadas para resistir cargas de tsunami, podrían servir como refugio siempre y cuando posean diseños de ingeniería basados en códigos sísmicos modernos, material de construcción sólido como hormigón armado y un número de pisos superior a seis (FEMA, 2008; Dalrymple & Kriebel, 2005).

Se propone un método cualitativo de inspección visual para evaluar la oferta de evacuación vertical en Valparaíso.

Análisis Cualitativo de Inspección Visual

FICHA A

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH

PAIS	CHILE
CIUDAD	VALPARAÍSO
CÓDIGO EDIFICIO	VLP-AMTE BARROSO-IND
DIRECCIÓN	ALMIRANTE BARROSO 560
COORDENADAS UTM	6340192S 256635E
FECHA DE VISUALIZACIÓN	03-03-2016
FECHA SATELITAL	01-01-2015
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	643M
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	776M

INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW

FECHA IMAGEN GSV	01-07-2015
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	N
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoria II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARENA DENSA
TIPO DE SUELO SEGÚN DS n°61	TIPO D: SUELO MEDIANAMENTE DENSO O FIRME
PROFUNDIDAD DE INUNDACIÓN	0m
OBSERVACIONES	EEV2.1 EDIFICIO 17 PISOS UBICADO EN ZONA NO INUNDABLE. SIN ACCESO A

IMAGEN FRONTAL

IMAGEN PLANTA

IMAGEN UBICACIÓN

Figura 43 Ficha de registro A. Elaboración propia.

FICHA B

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH

CÓDIGO EDIFICIO	VLP-AMTE BARROSO-IND
SUPERFICIE EN PLANTA	500
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	MEDIANAMENTE ABUNDANTE

INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW

TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	ANTES DE 2000
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	NO
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	35
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	SEMI- TRANSPARENTE
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	RESISTENCIA MEDIA
OBSERVACIONES	

IMAGEN FRONTAL

IMAGEN PLANTA

IMAGEN UBICACIÓN

Figura 44 Ficha de registro B. Elaboración propia.

Criterios Cualitativos de Oferta de Evacuación Vertical

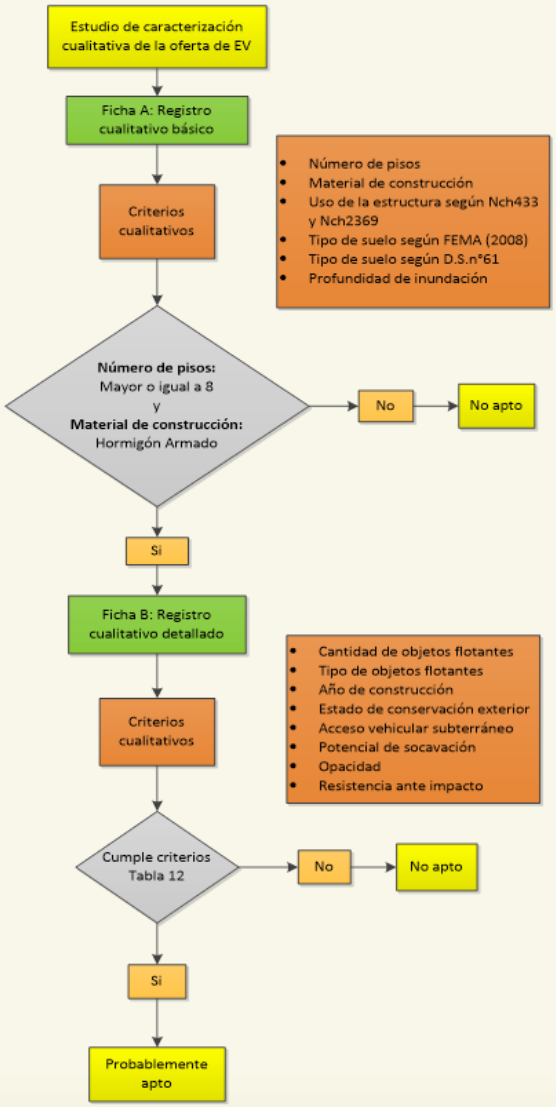


Figura 45 Diagrama de flujo caracterización de oferta de EV en Valparaíso. Elaboración propia.

CRITERIO	REQUISITO
Número de pisos	Superior a 8 según ONEMI
Accesibilidad	Número indistinto. Si tiene más de 1, ideal.
Material de construcción	Hormigón armado
Uso de la estructura	Categoría II, III, IV Nch433.of96.Mod2009. Habitacionales, colegios y universidades, y refugios de emergencia, respectivamente.
	Categoría C1 Nch 2369of2003. Obras críticas: Vitales, Peligrosas o Esenciales.
Tipo de suelo según FEMA	Arena densa
Tipo de suelo según D.S n°61	Tipo D, suelo medianamente denso o firme
Profundidad de inundación	Menor a 2 [m]
Cantidad de objetos flotantes	Poco abundante
Tipo de objetos flotantes	Bajo tonelaje
Año de construcción	Posterior a 2010
Estado de conservación exterior	Bueno
Acceso vehicular subterráneo	Si
Número de subniveles	1 o más
Potencial de socavación	35-50% profundidad de inundación
Opacidad de la estructura	Transparente
Resistencia del edificio ante impacto	Buena

Tabla 12 Criterios cualitativos oferta de EV en Valparaíso. Elaboración propia.

Resultados

Tiempos de desplazamiento, distancia y velocidad de desplazamiento obtenidos del ejercicio hipotético de evacuación ante tsunami realizado en la ciudad.

Calle	Distancia [m]	Tiempo de desplazamiento [m:s]		Velocidad de desplazamiento [m/s]	
		Paso apresurado	Movilidad reducida	Paso apresurado	Movilidad reducida
Ecuador	620	6:30	9:09	1.59	1.13
Edwards	600	6:17	12:00	1.59	0.83
Francia	1200	10:51	13:30	1.84	1.48
Rodríguez	720	13:03	17:47	0.92	0.67
Uruguay	1110	16:32	22:00	1.11	0.83
Promedio				**1.4**	**1**

Tabla 13 Tiempo de desplazamiento, distancia y velocidades. Elaboración propia.

Figura 47 Tiempos de evacuación paso apresurado y reducido. Elaboración propia

Impacto por Confiabilidad de las Vías

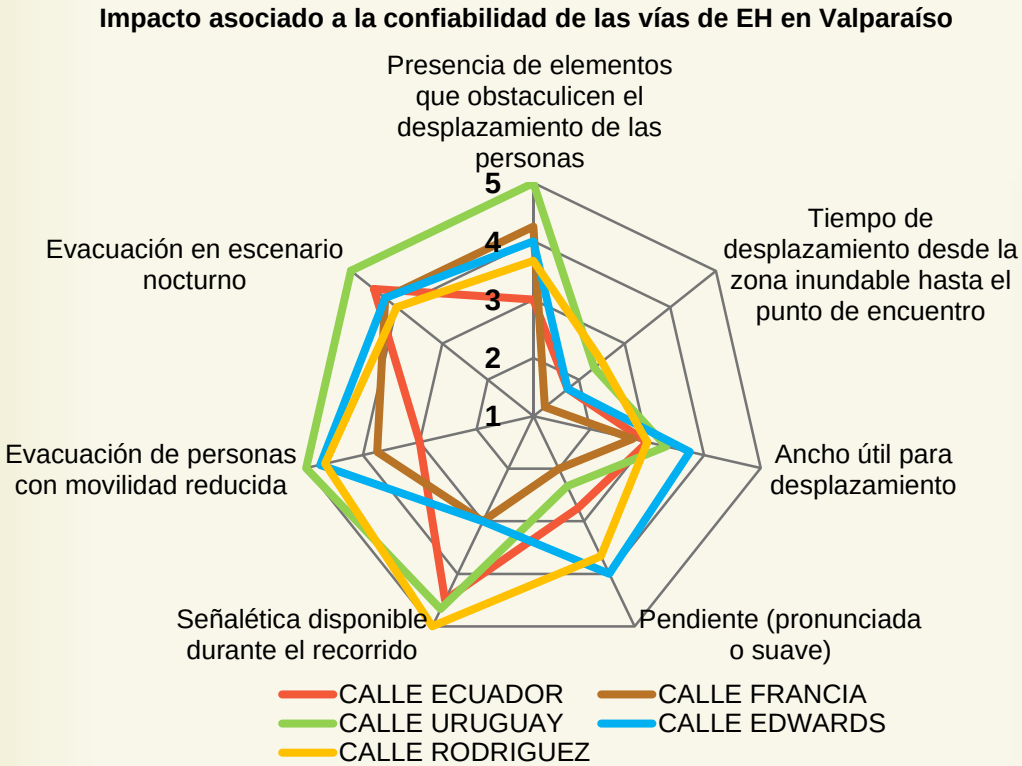


Figura 50 Impacto asociado a la confiabilidad de las vías de EH en Valparaíso. Elaboración propia.

Impacto por Susceptibilidad de las Vías

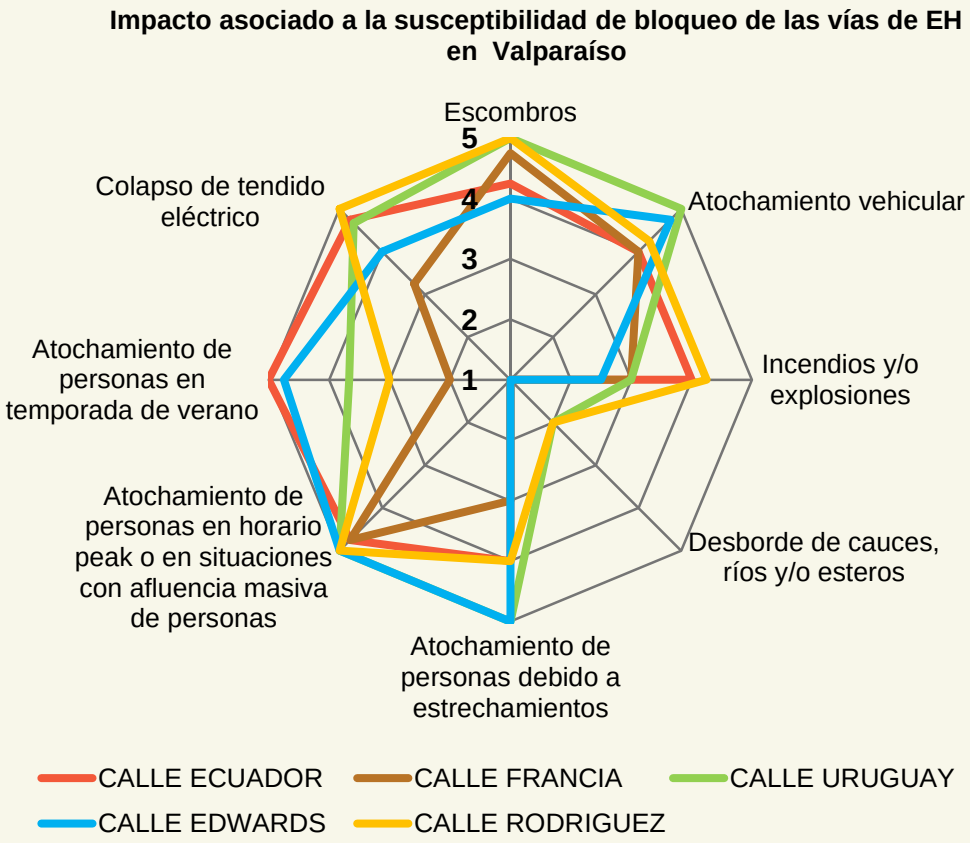


Figura 49 Impacto asociado a la susceptibilidad de bloqueo de vías de EH en Valparaíso. Elaboración propia

Análisis Cualitativo Demanda de Evacuación Horizontal

Zonificación por Tiempo de Evacuación: Se adopta criterio de velocidad mínima a paso reducido de 0.67 [m/s] para toda la ciudad.

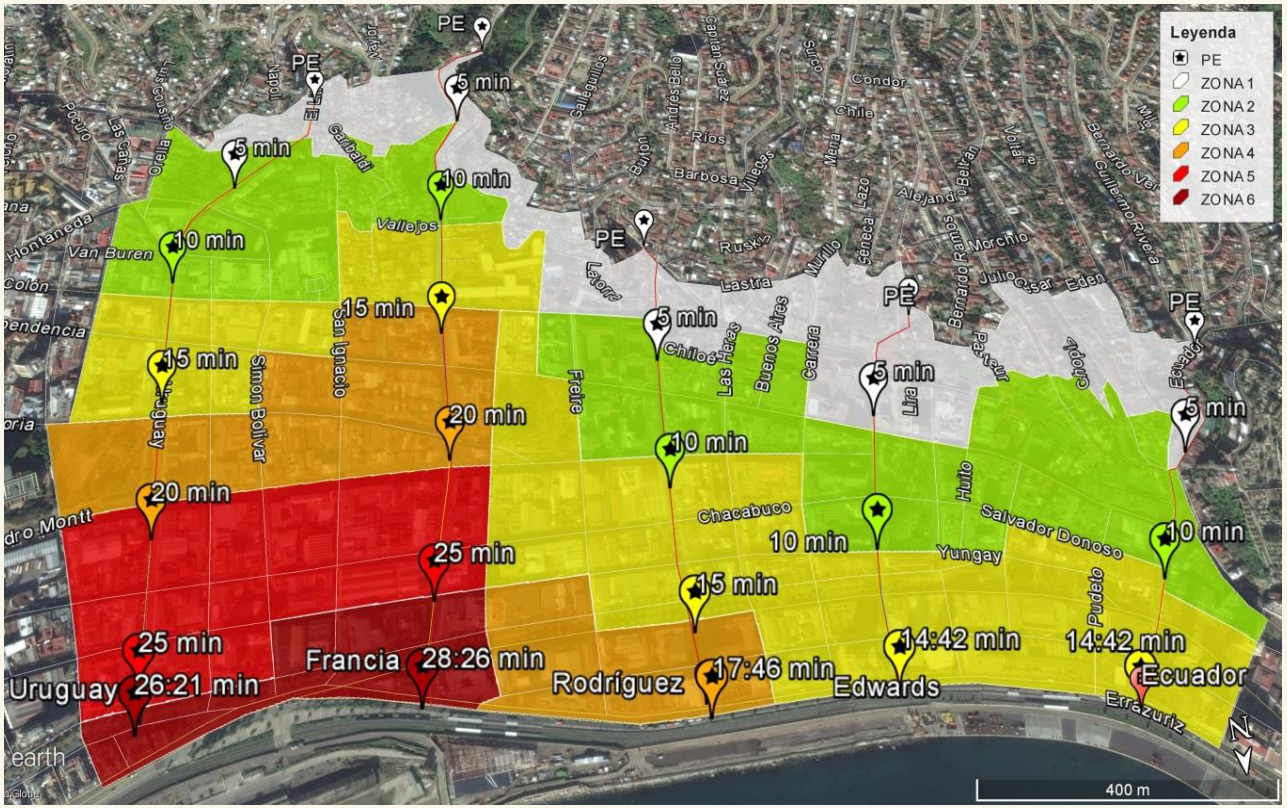


Figura 53 Zonificación por tiempo de evacuación a zona segura. Elaboración propia.

Análisis Cuantitativo de Demanda de Evacuación Horizontal

$$D = d_{i,j} * A$$

Ecuación 3 Demanda de evacuación horizontal. Elaboración propia.

D: Demanda de evacuación, medida en cantidad de personas.

d: Densidad de personas por unidad de superficie.

i: Indicador de subzona, definido en Tabla 15.

j: Indicador del momento de ocurrencia de la amenaza, Tabla 15.

A: Superficie en la que se produce la demanda de evacuación.

Valores de demanda obtenidos con la zonificación según criterio de Jacobs (1967), no se consideran representativos.

Se proponen valores de demanda para cada escenario.

ZONA	SUBZONA	FDS NOCHE DE VERANO j:1	DÍA LABORAL j:2	NOCHE DE AÑO NUEVO j:3
Z1	1	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	2	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	3	1p/m2	1p/m2	1p/m2
Z2A	1	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	2	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	3	1p/m2	1p/m2	1p/m2
Z2B	1	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	2	2p/m2	1p/m2	2p/m2
	3	2p/m2	4p/m2	2p/m2
Z3A	1	2p/m2	4p/m2	2p/m2
	2	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	3	1p/m2	1p/m2	1p/m2
Z3B	1	4p/m2	4p/m2	4p/m2
	2	1p/m2	2p/m2	1p/m2
	3	2p/m2	1p/m2	4p/m2
Z4A	1	2p/m2	4p/m2	2p/m2
	2	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	3	2p/m2	2p/m2	2p/m2
Z4B	1	2p/m2	1p/m2	4p/m2
	2	2p/m2	2p/m2	4p/m2
	3	1p/m2	1p/m2	1p/m2
Z5	1	2p/m2	4p/m2	2p/m2
	2	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	3	4p/m2	4p/m2	2p/m2
Z6	1	2p/m2	4p/m2	2p/m2
	2	1p/m2	1p/m2	1p/m2
	3	2p/m2	4p/m2	4p/m2

Tabla 15 Densidad de personas por unidad de superficie para cada escenario. Fuente: Jacobs (1967).

Demanda de Evacuación Horizontal

Se proponen valores de demanda para cada vía así como valores de densidad homogénea de personas para cada escenario.

VÍA EH	DÍA LABORAL [n° personas]	NOCHE DE FDS DE VERANO [n° personas]	NOCHE DE AÑO NUEVO [n° personas]
Uruguay	11765	10056	34478
Francia	18716	11780	40389
Rodríguez	6466	4879	16727
Edwards	6482	3994	13695
Ecuador	6571	4291	14711
Total	50000	35000	120000
Densidad [n° personas/m^2]	**1,03**	**0,57**	**1,95**

Tabla 18 DEH para cada escenario con densidad homogénea de personas. Elaboración propia.

Oferta de Evacuación Vertical

Del análisis visual con la ficha A, 13 estructuras cumplieron los criterios de materialidad y número de pisos. Sin embargo, del análisis con ficha B ninguna se considera apta para servir como estructura de evacuación vertical.

Demanda de Evacuación Vertical

Viene dada por aquellas personas que ante la ocurrencia de un tsunami de campo cercano no alcanzan la zona segura en 10 minutos, asumiendo un criterio conservador de velocidad mínima a paso reducido de 0,67 [m/s].

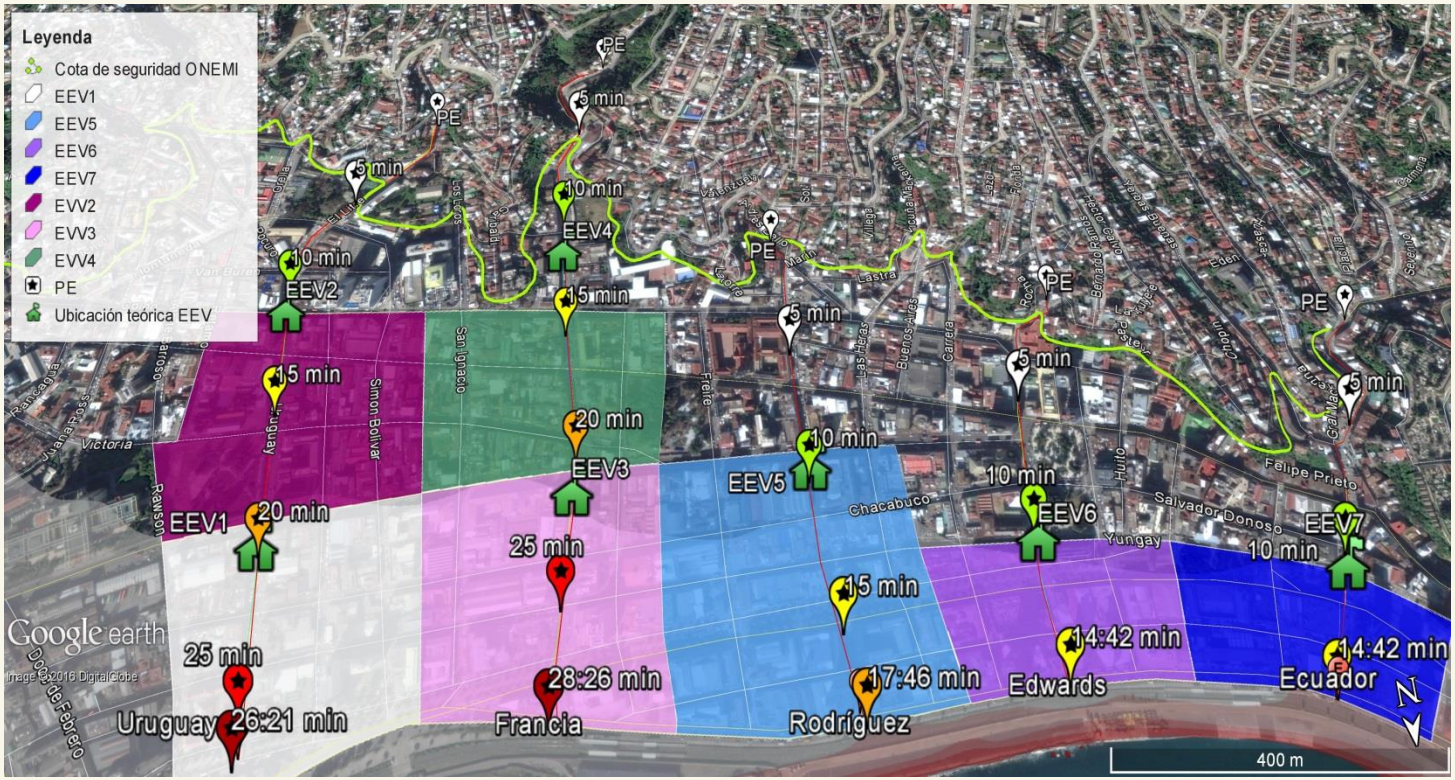


Figura 64 Ubicación teórica estructuras de evacuación vertical (EEV). Elaboración propia.

Demanda de Evacuación Vertical

La estructura de evacuación vertical (EEV) que recibe la mayor demanda en los tres escenarios propuestos, es EEV3 y se ubica en la intersección de las calles General Cruz con Brasil.

Tabla 19 Demanda de EV para cada EEV. Elaboración propia.

Conclusiones

OFERTA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL

- El impacto asociado a la confiabilidad de evacuación en la calle Uruguay entregó los resultados más desfavorables con factores de nula confiabilidad en cuatro aspectos de la evaluación. Por otro lado, la calle Francia, a pesar de poseer cuatro aspectos con baja confiabilidad, fue la mejor evaluada.

- De los resultados de impacto por susceptibilidad de bloqueo, todas las vías presentaron muy alta susceptibilidad por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva. En general, la calle Uruguay fue la peor evaluada con cinco factores de muy alta susceptibilidad de bloqueo.

DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL

- La densidad de personas por unidad de superficie según la distribución homogénea utilizada resultó en 1,03 [personas/m2] para el escenario de día laboral, 1,95 [personas/m2] para una noche de año nuevo, y 0,57 [personas/m2] para una noche de fin de semana de verano.

- La vía de evacuación con el mayor valor de demanda para los tres escenarios de ocurrencia de la amenaza fue Francia, en tanto que la vía Edwards, recibe la menor demanda de evacuación horizontal.

BALANCE DE EVACUACIÓN HORIZONTAL

- A pesar de los factores altos de susceptibilidad de bloqueo y factores de baja confiabilidad diagnosticados en las vías de evacuación, el balance de evacuación horizontal para los valores de demanda propuestos, se considera positivo.

Conclusiones

OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL

- De la inspección visual realizada en 13 estructuras ninguna cumplió con los requisitos establecidos en Tabla 12. Por lo tanto, y según los criterios expuestos en este trabajo, la oferta de evacuación vertical es nula.

DEMANDA DE EVACUACIÓN VERTICAL

- Los valores más altos de demanda para los tres escenarios se obtuvieron en EEV3 (calle Francia, entre Chacabuco y Pedro Montt). Para el escenario de día laboral la demanda es de 6.230 personas, para una noche de año nuevo la demanda es de 13.583 personas, mientras que para una noche de fin de semana de verano la demanda es de 3.962 personas. Por otro lado, los valores de demanda en la EEV6 (calle Edwards, entre Brasil y Yungay) presentó los valores más bajos con 1.159 personas, 2.510 personas y 732 personas para el escenario de día laboral, noche de año nuevo y noche de fin de semana de verano, respectivamente.

BALANCE DE EVACUACIÓN VERTICAL

- El balance cualitativo en la ciudad resulta negativo. Al ser nula la oferta, la demanda de evacuación vertical no puede ser cubierta. Sin embargo, y a juicio de la autora, si en el futuro se concentran esfuerzos en el manejo de nuevas estrategias para habilitar y/o diseñar estructuras especialmente para estos propósitos, la vulnerabilidad del sistema urbano ante la ocurrencia de un escenario por tsunami, podría disminuir.

Recomendaciones

- Realizar un diagnóstico de las vías durante un simulacro real por tsunami en la ciudad, a cargo de un comité de expertos liderado por la autoridad competente.

- Durante el diagnóstico, además del uso de escalas de impacto cualitativas y cronometrar tiempos de desplazamiento, otro tipo de mediciones dirigidas a obtener valores de densidad de personas en terreno, puede llevarse a cabo con la toma de fotografías aéreas o el uso de drones.

- Implementación de rampas y barandas en tramos de mayor complejidad para personas con movilidad reducida debido a las pronunciadas pendientes y la alta presencia de escalones, especialmente en los últimos tramos hacia zona segura de las calles Edwards, Rodríguez y Uruguay.

Recomendaciones

- Reubicar o disminuir el comercio ambulante en las calles Uruguay y Ecuador, pues se registraron disminuciones de hasta un 50% en el ancho útil de veredas.

- Mejorar la confiabilidad de evacuación por la disponibilidad de señalética aumentando el número de señalética en las calles Uruguay, Rodríguez y Ecuador.

- Utilización de un modelo de evacuación que permita estudiar posibles focos de atochamiento de personas en las vías de evacuación para identificar vías críticas y mejorar su diseño, por ejemplo en la intersección de las calles Edwards con Colón.

Referencias Bibliográficas

ADN. (2 de 1 de 2015). *ADN Noticias*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2015, de http://www.adnradio.cl/noticias/nacional/intendente-de-valparaiso-al-menos-un-millon-de-personas-recibiran-el-2015-en-el-borde-costero/20141231/nota/2569643.aspx

Alvarez, G. e. (2010). Zonas oscuras en el sistema de alarma de advertencia de tsunami en Chile. *Ingeniare, Revista chilena de Ingeniería*, 316-325.

Aránguiz, R., González, G., González, J., Catalán, P., Cienfuegos, R., Yagi, Y., . . . Rojas, C. (2015). The 16 September 2015 Chilean Tsunami fron Post-Tsunami Survey and Numerical Modeling Perspectives. *Pure and Applied Geophysics, 173*, 333-348.

Barrientos, S. (1988). Slip distribution of the 1985 Central Chile earthquake. *Tecnophysics, 145*, 225-241.

Barrientos, S., & Ward, S. (1990). The 1960 Chile earthquake: inversion for slip distribution from surface deformation. *Geophysical Journal International*, 589-598.

Bernal, I., & Tavera, H. (2002). *Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú.* Lima: Instituto Geofísico del Perú.

Beyá, J., & Winkler, P. (2012). *Inundaciones Costeras, Más Allá de los Tsunamis.* Santiago.

Brocher, T., Filson, J., Fuis, G., Haeussler, P., Holzer, T., Plafker, G., y otros. (4 de Marzo de 2014). The 1964 Great Alaska Earthquake and tsunamis—A modern perspective and enduring legacies: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2014–3018. California, Estados Unidos.

Cardona, O. (2001). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo.* Bogotá: CEDERI.

Cardona, O. (2011). *Updating the Indicators of Disaster Risk and Risk Management for the Americas.* Bogotá: Journal of Integrated Disaster Risk Management (IDRiM).

Carvajal, M., Cisternas, M., & Catalán, P. G. (2014). Redimensionando el terremoto de 1730 de Chile central, mediante evidencias históricas y geológicas del tsunami resultante. *Riesgos, vulnerabilidades y resilencia socioambiental para enfrentar los cambios globales*, (págs. 1134-1142). Santiago.

Cawley, J. (Junio de 2014). Review of Guidelines for the Design of Tsunami Vertical Evacuation Buildings (Master Thesis). Oregon, Oregon, Estados Unidos.

Centro Sismológico Nacional. (2014). *Centro Sismológico Nacional*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de http://www.sismologia.cl/seismo.html

Referencias Bibliográficas

Centro Sismológico Nacional. (2015). *CSN*. Recuperado el 1 de Marzo de 2015, de http://www.sismologia.cl/

Cisternas, M. (2005). Suelos enterrados revelan la prehistoria sísmica del centro-sur de Chile durante los últimos dos milenios. *Revista de Geografía Norte Grande, 33*, 19-31.

Cisternas, M. (2012). El terremoto de 1647 de Chile central como un evento intraplaca:¿ Otra amenaza para Chile metropolitano? *Revista de Geografía Norte Grande, 53*, 23-33.

Cisternas, M., & Atwater, B. e. (2005). Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, 404-407.

Cisternas, M., Gorigoitía, N., Torrejón, F., & Urbina, X. (2011). Terremoto y Tsunami de Chile Central de 1730: ¿Un gigante o una serie de eventos menores? *XXXI Congreso de Ciencias del Mar*, (pág. 85). Viña del Mar.

Cisternas, M., Torrejón, F., & Gorigoitia, N. (2012). Amending and complicating Chile's seismic catalog with the Santiago earthquake of 7 August 1580. *Journal of South American Earth Sciences*, 102-109.

Comte, D. e. (1986). The 1985 Central Chile Earthquake: A repeat of previous great earthquakes in the region. *Science*, 449-452.

Contreras, M., & Winckler, P. (2013). Pérdidas de vida, viviendas, infraestructura y embarcaciones por el Tsunami del 27 de Febrero de 2010 en la costa central de Chile. *Obras y Proyectos*, 6-19.

Cronin, V. (2004). A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists. 14. Texas, EE.UU: Baylor University. Obtenido de http://serc. carleton. edu/files/NAGTWorkshops/structure

CSN. (2014). *Centro Sismológico Nacional. Universidad de Chile.* Recuperado el 13 de Septiembre de 2014, de http://www.sismologia.cl/pdf/difusion/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf

CSN. (2015). *Centro Sismológico Nacional*. Recuperado el 27 de Julio de 2015, de http://www.csn.uchile.cl/red-sismologica-nacional/red-sismografos/

Dall'Osso, F., Gonella, M., Gabbianelli, G., Withycombe, G., & Domiey-Howes, D. (2009). Assessing the vulnerability of building to tsunami in Sydney. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2015-2026.

Dall'Osso, F., Gonella, M., Gabbianelli, G., Withycombe, G., & Dominey-Howes, D. (2009). A revised (PTVA) model for assessing the vulnerability of buildings to tsunami damage. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1557-1565.

Dalrymple, R., & Kriebel, D. (2005). Lessons in Engineering from the Tsunami in Thailand. *The Bridge. National Academy of Engineering, 35*(2), 4-13.

Referencias Bibliográficas

Dean, R., & Darlymple, R. (1991). *Water Wave Mechanics For Engineers and Scientists.* Prentice Hall.

División Político Administrativa Censal. (2007). Región de Valparaíso. Valparaíso, Valparaíso, Chile. Obtenido de http://www.inevalparaiso.cl/archivos%5Cfiles%5Cpdf%5CDivisionPoliticoAdministrativa%5Cvalparaiso.pdf

Dominey-Howes, D., Dunbar, P., & Varner, J. (2010). Estimating probable maximum loss from Cascadia tsunami. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 53*, 43-61.

Dura, T., Cisternas, M., Horton, B., Ely, L., & Nelson, A. (2014). Coastal evidence for Holocene subduction-zone earthquakes and tsunamis in central Chile. *Quaternary Science Reviews*, 1-19.

Fernández, J. M. (2006). *Planificación estratégica de ciudades: Nuevos instrumentos y procesos.* (Vol. 10). Barcelona: Reverté.

FEMA. (2008). *Guías para el Diseño de Estructuras de Desalojo Vertical en caso de Tsunami.* California.

FEMA, A. F. (2009). *Desalojo Vertical en caso de Tsunami: Una guía para oficiales comunitarios.* California.

Fraser, S., Leonard, G., Murakami, H., & Matsuo, I. (2012). Tsunami Vertical Evacuation Buildings. Lessons for International Preparedness Following the 2011 Great East Japan Tsunami. *Journal of Disaster Research, 7*, 446-457.

Fritz, H., Petroff, C., Catalán, P., Cienfuegos, R., Wincker, P., Kalligeris, N., y otros. (2011). Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami. *Pure and Applied Geophysics*.

Fujii, Y., & Satake, K. (2012). Slip Distribution and Seismic Moment of the 2010 and 1960 Chilean Earthquakes Inferred fron Tsunami Waveforms and Coastal Geodetic Data. *Pure and Applied Geophysics, 170*, 1493-1509.

Giesecke, A. e. (2004). The CERESIS earthquake catalogue and database of the Andean Region: background, characteristics and examples of use. *ANNALS OF GEOPHYSICS, VOL. 47*, 421-435.

Gobierno Regional de Valparaíso. (19 de Diciembre de 2014). *Gobierno Regional de Valparaíso*. Obtenido de http://www.gorevalparaiso.cl/region.php

Goldfinger, C., Ikeda, Y., Yeats, R., & Ren, J. (2013). Superquakes and Supercycles. *Seismological Research Letters*, 1-9.

.

Referencias Bibliográficas

Graham, M. (1824). Diario de su residencia en Chile (1822) y de su viaje a Brasil (1823). En M. Graham, *Diario de su residencia en Chile (1822) y de su viaje a Brasil (1823)* (págs. 376-383). Madrid: América.

Gusiakov, V. (2005). Tsunami generation potential of different tsunamigenic regions in the Pacific. *Marine Geology, 215*, 3-9.

Gutierrez, D. (2005). Numerical simulation for tsunami inundation maps in Chile. *Tsunami Hazard Mitigation and Risk Assessment Workshop.* Santiago.

Holmes, A., & Holmes, D. (1987). Geología física. En A. Holmes, & D. Holmes, *Geología física* (M. Domingo de Miró, Trad., Tercera ed., págs. 714-720). Londes: Omega.

Imamura, F., & Anawat, S. (Marzo de 2012). Damage due to the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami and it´s lessons for future mitigation. *Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, 21-30.

Instituto Nacional de Estadística . (2012). *Reportes Estadísticos Comunales 2012. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Valpara%C3%ADso/Poblaci%C3%Bn

INE. (2015). *INE*. Recuperado el 15 de Enero de 2016, de http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/turismo/series_mensuales_2015.php

Jacobs, H. (1967). To count a crowd. Columbia Journalism Review.6, 36-40.

Kobayashi, T., Mikio, T., Takuya, N., Akira, S., Noguchi, Y., & Yamanaka, M. (2011). Crustal deformation map for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, detected by inSAR analysis combined with GEONET data. *Earth Planet Space, 63*, 621-625.

Koshimura, S., Namegaya, Y., & Yanagisawa, H. (2009). Tsunami Fragility- A New Measure to Identify Tsunami Damage. *Journal of Disaster Research, 4*(6), 479-488.

Lagos, M. (2000). Tsunamis de origen cercano a las costas de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 93-102.

Referencias Bibliográficas

Lagos, M., & Cisternas, M. (2004). Depósitos de Tsunami como indicadores de riesgo: evidencias sedimentarias. *Terra Australis*, 329-351.

Lagos, M., & Cisternas, M. (2008). El nuevo riesgo de tsunami: considerando el peor escenario. *Diez años de cambios en el Mundo, en la Geografía y en las Ciencias Sociales, 1999-2008.* Barcelona.

Leyton, F., Ruiz, S., & Sepúlveda, S. (Julio de 2010). Reevaluación del peligro sísmico probabilístico en Chile central. *Andean Geology, 37*(2), 455-472.

Liu, P. (2005). Tsunami Simulations and Numerical Models. *The Bridge. National Academy of Engineering, 35*(2), 14-20.

Lockridge, P. (1985). *Tsunamis in Chile- Perú.* Colorado.

Lomnitz, C. (2004). Major Earthquakes of Chile: A Historical Survey, 1535-1960. *Seismological Research Letters*, 12.

Lorca, E., & Recabarren, M. (1994). *Terremotos y Tsunamis o Maremotos. Santiago de Chile: Comisión Oceanográfica Intergubernamental, Centro Internacional de Informaciones.* Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA).

Madariaga, R. (1998). Sismicidad de Chile. *Física de la Tierra*(10), 221-258.

Madariaga, R., Métois, M., Vigny, C., & Campos, J. (2010). Central Chile Finally Breaks. *Science, 328*, 181-182.

Mas, E., Koshimura, S., Suppasri, A., Matsuoka, M., Matsuyama, M., Yoshii, T., y otros. (2012). Developing Tsunami fragility curves using remote sensing and survey data of the 2010 Chilean Tsunami in Dichato. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 12*, 2689-2697.

McCaffrey, R. (2007). The Next Great Earthquake. *Science*, 1675-1676.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2013). *Diseño estructural para edificaciones en área de riesgo de inundación por tsunami o seiche.* Santiago.

Miraglia, M., Flores, A., Rivalora y Benitez, M., D'Liberis, M., Galván, L., Natale, D., y otros. (2010). *Manual de Cartografía, Teleobservación y Sistemas de Información Geográfica.* Buenos Aires: Universidad Nacional de General Sarmiento.

Referencias Bibliográficas

Montessus de Ballore, F. (1916). *Historia Sísmica de Los Andes Meridionales al Sur del paralelo XVI.* Santiago: Imprenta Universitaria.

Mori, N., Takahashi, T., Yasuda, T., & Yanagisawa, H. (2011). Survey of the 2011 Tohoku earthquake tsunami inundation run-up. *Geophysical Research Letters, 38*, L00G14.

Muhari, A., Imamura, F., & Koshimura, S. (2014). Tsunami Deck: A New Concept of Tsunami Vertical Evacuation System. En Y. Kontar, V. Santiago-Fandiño, & T. T, *Tsunami Events and Lessons Learned* (Vol. 35, págs. 335-345). Springer.

NGDC. (2014). *National Geophysical Data Center*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2014, de http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/results?bt_0=&st_0=&type_17=EXACT&query_17=160&op_12=eq&v_12=CHILE&type_12=Or&query_14=None+Selected&type_3=Like&query_3=&st_1=&bt_2=&st_2=&bt_1=&bt_4=&st_4=&bt_5=&st_5=&bt_6=&st_6=&bt_7=&st_7=&bt_8=&st_8=&bt_9=&st_9=&

ONEMI. (2014). *Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior y Seguridad Pública.* Recuperado el 1 de Octubre de 2014, de http://www.onemi.cl/wp-content/uploads/2013/09/VALPO1.pdf

ONEMI. (2014). *Onemi. Ministerio del Interior y Seguridad Pública*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2014, de http://www.onemi.cl/presentacion/

ONEMI. (23 de Enero de 2015). *ONEMI, Ministerio del Interior y Seguridad Pública.* Obtenido de http://siac.onemi.gov.cl/documentos/Mercalli06.pdf

Pararas-Carayannis, G. (2010). The earthquake and tsunami of 27 february 2010 in Chile- Evaluation of Source Mechanism and of Near and Far-field Tsunami Effects. *Science of Tsunami Hazards, 29*(2), 96-125.

Park, S., Van de Lindt, J., & Gupta, R. (2012). Method to determine the locations of tsunami vertical evacuation shelters. *Natural Hazards, 63*, 891-908.

PNUD. (2012). *Guía Participativa de Orientaciones de Respuesta frente a Emergencias de Terremoto-Tsunami a partir de la Experiencia de Talcahuano, Chile.* Santiago: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

PNUD, P. d. (2012). *Análisis de Riesgo de Desastres en Chile.*

Referencias Bibliográficas

PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2011). *Plan de recuperación post desastre con enfoque de gestión de riesgo y participación ciudadana. Comuna de Curepto, Región del Maule- Chile.* Santiago.

PTWC. (Noviembre de 2009). *Pacific Tsunami Warning Center*. Recuperado el 2 de Agosto de 2015, de http://ptwc.weather.gov/ptwc/responsibilities.php

Quiroz, M., Aránguiz, R., & Belmonte, A. (2014). Peligro de Tsunami en Chile Central: Modelo de ruptura del evento de 1730. *XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, (págs. 1-10). Santiago.

Reese, S., Cousins, W., Power, W., Palmer, N., Tejakusuma, I., & Nugrahadi, S. (2007). Tsunami vulnerability of buildings and people in South Java- field observations after the July 2006 Java tsunami. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 7*, 573-589.

Reyes, M. (2013). *A Proposal of Tsunami Risk Assessment Metohd for Iquique City.* Tokyo.

Sánchez, A., & Jiménez, C. (2011). *Valparaíso: la ciudad-puerto más importante de Chile y la vulnerabilidad de su patrimonio arquitectónico a los riesgos sísmicos.* Estudios Geográficos.

Satake, K. (2014). Advances in earthquakes and tsunami sciences and disaster risk reduction since the 2004 Indian ocean tsunami. *Geoscience Letters*, 1-15.

Satake, K., & Atwater, B. (2007). Long-Term Perspectives on Giant Earthquakes and Tsunamis at Subduction Zones. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 35*, 349-374.

Satake, K., Rabinovich, A., Dominey- Howes, D., & Borrero, J. (2013). Introduction to "Historical and Recent Catastrophic Tsunamis in the World: Volume I. The 2011 Tohoku Tsunami. *Pure and Applied Geophysics, 170*, 955-961.

SERNATUR. (Agosto de 25 de 2014). *Academia Capacitación Municipal y Comunal. Subdere.* Recuperado el 2014, de http://www.academia.subdere.gov.cl/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=256

SHOA. (2010). *Servicio Nacional de Alarma de Maremotos*. Recuperado el 14 de Mayo de 2014, de http://www.snamchile.cl/

Referencias Bibliográficas

SHOA. (2012). *Informe elaboración Carta de Inundación por Tsunami (CITSU) Valparaíso-Viña del Mar 2da Edición.* Valparaíso: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

SHOA. (2014). *Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM)*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2014, de http://www.snamchile.cl/

Sobarzo, C. (2011). *Esri Chile.* Recuperado el 28 de Septiembre de 2014, de http://www.usuarios.cl/presentaciones/Shoa.pdf

Strabler, A., & Strabler, A. (2005). Geografía física. En A. Strabler, & S. Alan, *Geografía física* (Tercera ed., págs. 230-264). Chicago: Omega.

SUBDERE, S. d. (2011). *Guía Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial.* Santiago.

Superintendecia de Valores y Seguros SVS. (s.f.). *Terremoto 2010. Análisis e Impacto del 27- F en el Mercado Asegurador.* Santiago.

Suppasri, A., Mas, E., Charvet, I., Gunasekera, R., Imai, K., Fukutani, Y., y otros. (2013). Building damage characteristics based on surveyed data and fragility curves of the 2011 Great East Japan tsunami. *Natural Hazards, 66*, 319-341.

Synolakis, C., Okal, E., & Bernard, E. (2005). The Megatsunami of December 26, 2004. *The Bridge. National Academy of Engineering, 35*(2), 26-35.

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física. En E. Tarbuck, & F. Lutgens, *Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física* (págs. 51-54). Madrid.

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física. En E. Tarbuck, & F. Lutgens, *Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física* (Octava ed., págs. 290-300). Madrid: Pearson Prentice Hall.

Tomita, T., Arikawa, T., Takagawa, T., Honda, K. C., & Sase, K. (2016). Results of Post-Field Survey on the Mw 8.3 Illapel Earthquake Tsunami in 2015. *Coastal Engineering Journal, 58*(2), 17.

Referencias Bibliográficas

Udías, A., Madariaga, R., & Buforn, E. (Agosto de 2012). The Large Chilean Historical Earthquakes of 1647,1657,1730 and 1751 from Contemporary Documents. *Bulletin of Seismological Society of America, 102*(4), 1639-1653.

UNESCO. (2008). *Comisión Oceanográfica Intergubernamental. Preparación para casos de tsunami - Guía informativa para los planificadores especializados en medidas de contingencia ante catástrofes. Manuales y guías de la COI N°49.* Francia: UNESCO.

USGS. (Octubre de 2013). *United State Geological Survey*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2014, de http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/byyear.php

USGS. (2015). *United States Geological Survey*. Recuperado el 3 de Marzo de 2015, de http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/beachball.php

USGS. (23 de Septiembre de 2015). *USGS.* Recuperado el 30 de Septiembre de 2015, de http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/Coquimbo_Educational_Slides.pdf

USGS, U. G. (2009). *Sobreviviendo a un tsunami:lecciones de Chile, Hawai y Japón.* Virginia.

Valparaíso, I. M. (2014). *Ilustre Municipalidad de Valparaíso Transparencia municipal*. Obtenido de http://www.munivalpo.cl/transparencia/archivos/plan_desarrollo_comunal/PLADECO.pdf

Vega, S. (Noviembre de 2014). Estudio del uso de registros compatibilizados con los espectros de respuesta para la generación de curvas de fragilidad (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Santiago, Chile.

Yeck, W., Herman, M., Nealy, J., Hayes, G., Barnhart, B., Smoczyk, G., y otros. (2015). The Mw 8.3 September 16, 2015 Coquimbo, Chile Earthquake and Associated Aftershock Sequence: Earthquake Educational Slides. USA.

Universidad de Valparaíso
CHILE
Facultad de Ingeniería

INGENIERÍA CIVIL OCEÁNICA

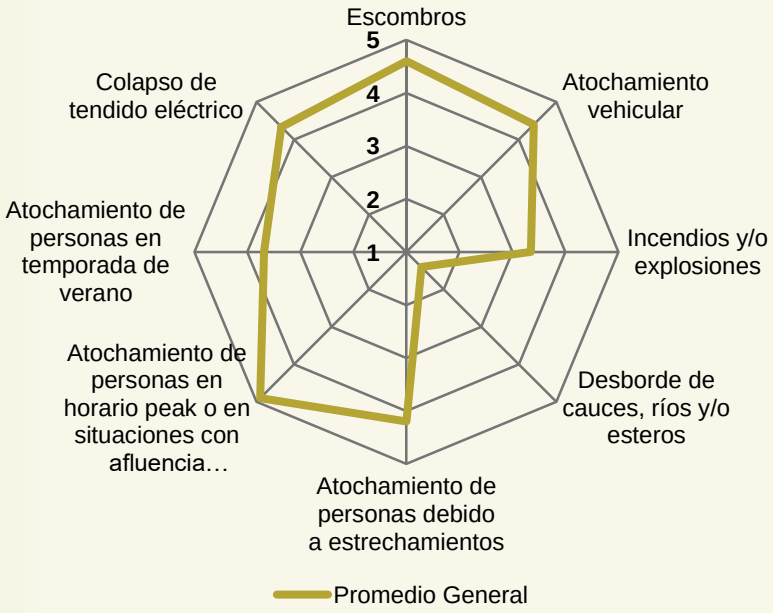
GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Memorista:
Constanza Flores Henríquez

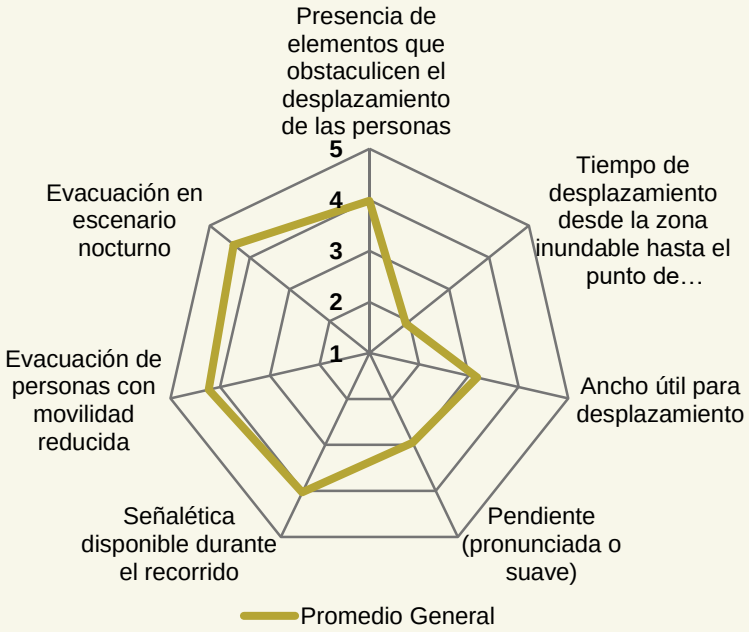
21 de Septiembre,2016

Resultados generales de impacto

Impacto asociado a la susceptibilidad de las vías



Impacto asociado a la confiabilidad de las vías



Zonificación según Criterio de Jacobs

Con el uso del criterio de densidad de Jacobs (1967), se zonifica la ciudad para cada escenario de ocurrencia de la amenaza.

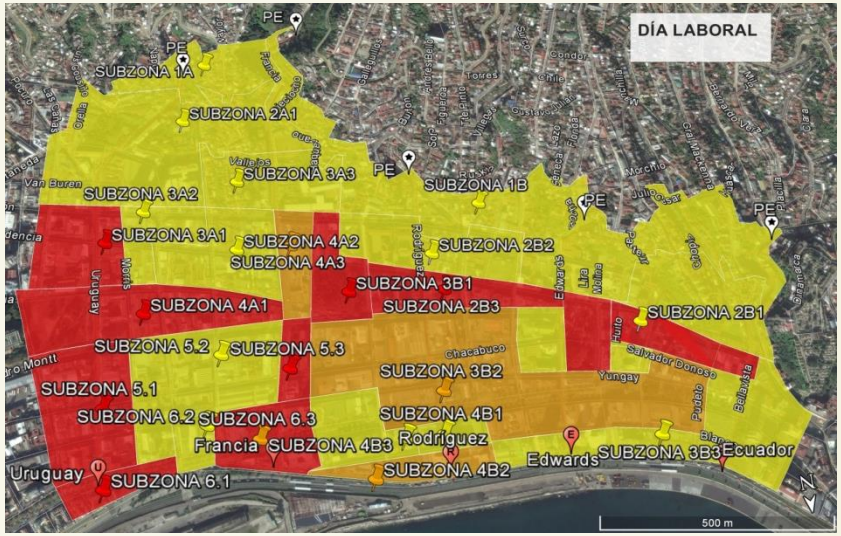


Figura 55 Escenario día laboral. Elaboración propia.

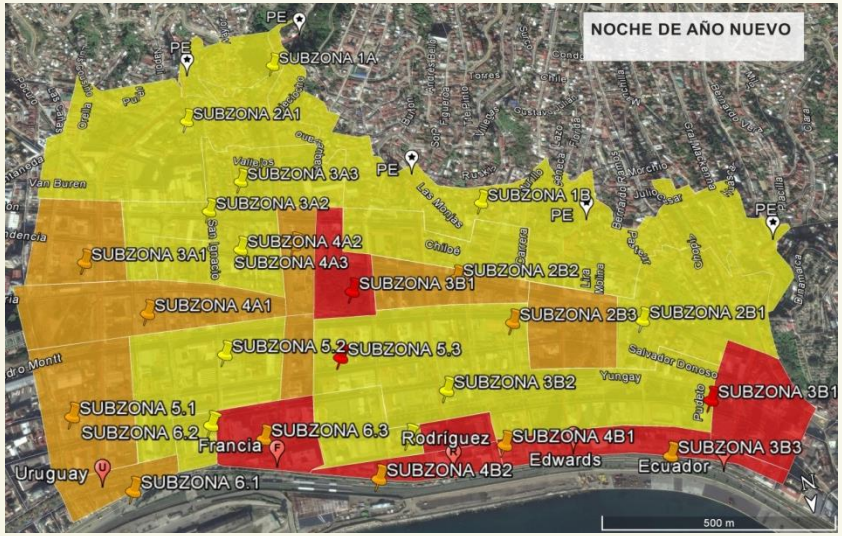


Figura 56 Escenario noche de año nuevo. Elaboración propia.

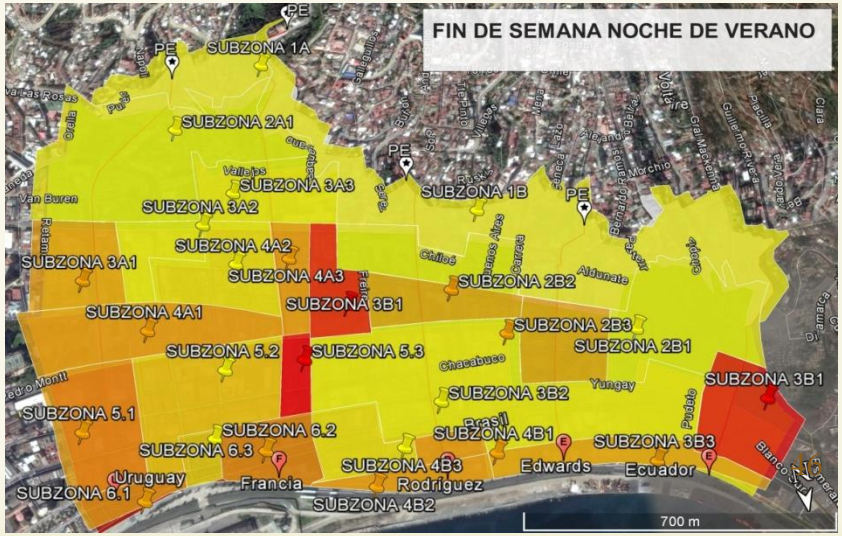


Figura 54 Escenario noche de fin de semana de verano. Elaboración propia.

Codificación

Viene dada por el orden: Zona-calle-cuadra, donde las calles perpendiculares a la línea de costa se enumeran en sentido norte-sur.

Código Z3-1-1 indica que la primera cuadra de la calle perpendicular Ecuador pertenece a la ZONA 3 (tiempo de evacuación a zona segura entre 10-15 [min]).

Escenario de Día Laboral

Información Municipalidad Valparaíso (15.000 personas).

Estadística Colegios, Universidades, Hospital, Clínicas, Comercio.

Demanda total: 50.000 personas

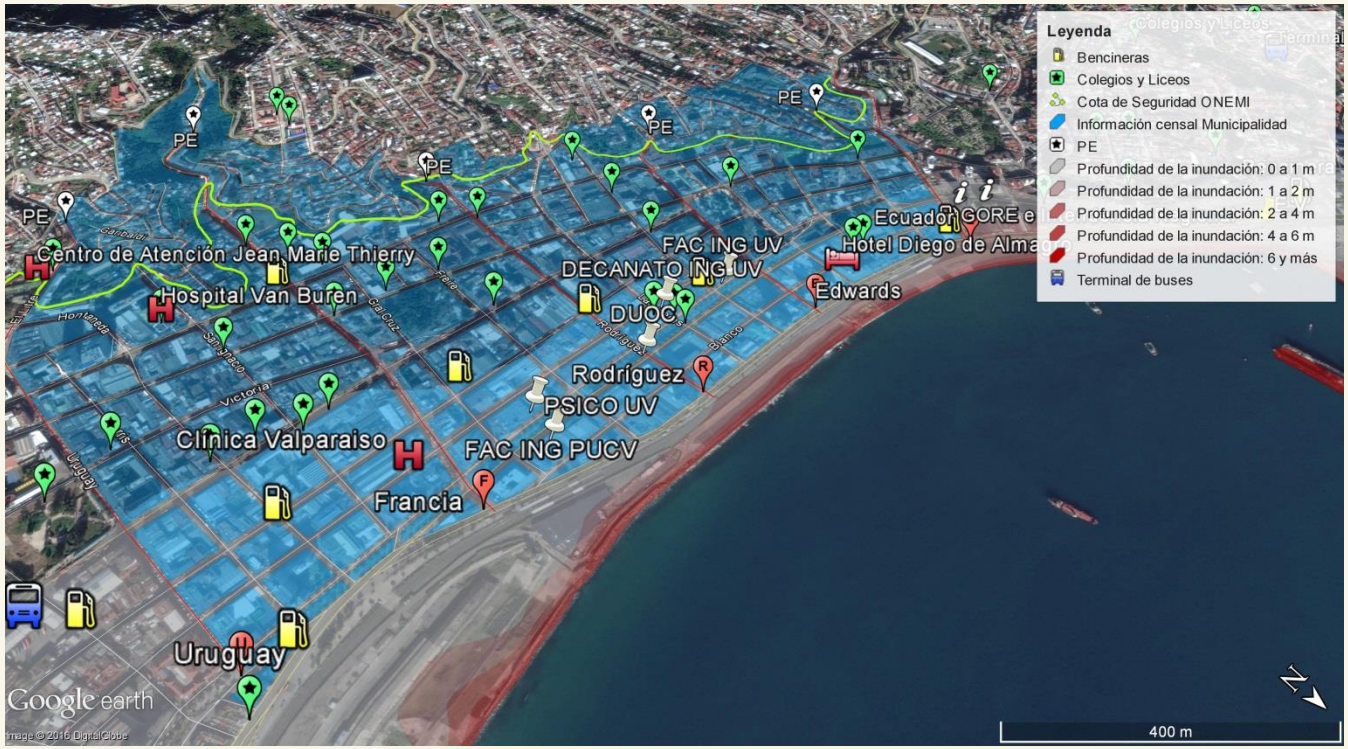


Figura 63 Manzanas censales habitantes zona de estudio. Elaboración propia con información entregada por unidad SIG Ilustre Municipalidad de Valparaíso.

Escenario Noche de Fin de Semana de Verano

Estadística SERNATUR (EMAT 19.000).

Información Municipalidad Valparaíso (15.000 personas).

Demanda total: 35.000 personas

+

Escenario Noche de Año Nuevo

Demanda total: 120.000 personas

1 millón de personas borde costero entre Valparaíso y Concón

Potencial de Socavación

Tipo de suelo	Profundidad de socavación (Distancia de la orilla < 91[m])	Profundidad de socavación (Distancia de la orilla > 91[m])
Arena suelta	80%d	60%d
Arena densa	50%d	35%d
Limo suave	50%d	25%d
Limo rígido	25%d	15%d
Arcilla suave	25%d	15%d
Arcilla rígida	10%d	5%d

Figura 42 Potencial de socavación y clasificación tipo de suelo.
Adaptado de FEMA (2008).

Resistencia ante Impacto

Hormigón Armado			
Estado de conservación	Cantidad de objetos flotantes		
	Muy abundante	Medianamente abundante	Poco abundante
Buen estado de conservación	Media	Media	Buena
Medianamente conservado	Deficiente	Deficiente	Deficiente
Deficiente estado de conservación	Deficiente	Deficiente	Deficiente
	Resistencia ante impacto		

Tabla 9 Resistencia ante impacto hormigón armado. Elaboración propia.

Acero			
Estado de conservación	Cantidad de objetos flotantes		
	Muy abundante	Medianamente abundante	Poco abundante
Buen estado de conservación	Deficiente	Media	Media
Medianamente conservado	Deficiente	Deficiente	Deficiente
Deficiente estado de conservación	Deficiente	Deficiente	Deficiente
	Resistencia ante impacto		

Tabla 10 Resistencia ante impacto acero. Elaboración propia.