



Memoria del proyecto para optar al grado de
MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN PORTUARIA
y para el título de
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN
DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI
APLICADA EN IQUIQUE”**

Alex Fabián Lobos Astudillo

Octubre 2016

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

ALEX LOBOS ASTUDILLO

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
Mauricio Reyes Gallardo Profesor Guía	_____	_____
Jaime Leyton Espoz Director del Programa de Magister Administración y Gestión Portuaria	_____	_____
Felipe Caselli Benavente Docente	_____	_____

*MEMORIA PARA OPTAR AL POSTGRADO DE
MAGISTER EN GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN PORTUARIA
Y AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO*

*VALPARAÍSO, CHILE
OCTUBRE 2016*

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Mauricio Reyes Gallardo

Profesor Guía

Alex Lobos Astudillo

Alumno Memorista

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a:

Mi Dios, que es la energía universal que mueve toda la creación de manera perfecta y quien me ha mostrado que la humildad es el camino a la sabiduría y la fortaleza de espíritu.

Mis padres, hermanos y Muñu, quienes han creído en mí en todo momento sin reparos y que han sido un pilar fundamental tanto en mi desarrollo profesional como en el hombre que soy hoy. Gran parte de lo que he logrado es por y gracias a ustedes.

Ana Josefa Moraga (mi amada Zanahoria), la mujer que me inspira a ser mejor un mejor hombre. Quien ha estado junto a mí en todo momento apoyándome incluso en las instancias más difíciles. Quien me impulsa a seguir soñando cada día.

Mis amigos de la vida: Hernán Bononato, Diego Egido, Giafar Deij, Patricio Castro, Richard Pereira, Marco Bosque, Sebastian Maggi, Valentina Céspedes, Carlos Olivares quienes han sido participes en los mejores y peores momentos de mi vida. Que a pesar de nuestras diferencias, siempre han tenido una palabra de aliento y cariño para mí.

Mis queridos amigos de la universidad: Francisca Araya, Cindy Bernal y Gustavo Hafemann con quienes compartí mi vida universitaria y muchos hermosos momentos que tengo atesorados en mi corazón. Excelentes personas de las cuales me siento orgulloso ser parte de su historia.

Mis profesores y maestros: Mauricio Reyes, Patricio Winckler, Felipe Caselli a quienes admiro por su dedicación y profesionalismo en cada una de sus áreas y especialidades. Gracias por esa entrega y vocación académica que muestran cada día al servicio de sus estudiantes.

Y todos a quienes no recuerde en este preciso instante, y que han puesto un granito de arena de alguna manera en la realización de esta tesis.

Esta memoria de título está dedicada:

Con todo mi amor y cariño para mis queridos padres. Espero hacerlos sentir orgullosos de todo el esfuerzo depositado en este gran sueño que he venido tejiendo hace varios años atrás. Tarea cumplida.

En memoria de mi querido amigo Juan Carlos Mercado (Chanito), a quien siempre voy a admirar en su calidad de personas y profesional. En mi afán de ser mejor, mantengo viva tu memoria hermano.

*“Considero más valiente al que conquista sus deseos que al que conquista a sus
enemigos, ya que la victoria más dura es la victoria sobre uno mismo.”*

Aristóteles

CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVO GENERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3	MATERIALES Y HERRAMIENTAS	3
3.1	SOFTWARE DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	3
3.1.1	GOOGLE EARTH ©.....	3
3.1.2	GOOGLE STREET VIEW ©.....	3
3.2	ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP).....	3
3.2.1	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO.....	3
3.2.2	FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MÉTODO NUMÉRICO	7
3.2.2.1	Descripción general	7
3.2.2.2	Construcción del modelo.....	7
3.2.2.3	Estimación del vector de criterios de peso W	8
3.2.2.4	Obtención de la matriz de alternativas S	9
3.2.2.5	Clasificación de alternativas	10
3.2.2.6	Comprobación de la consistencia.....	10
3.2.3	APLICACIÓN Y USO DE LA HERRAMIENTA <i>AHPcalc-2</i>	12
4	SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO	13
4.1	ESTUDIO DE AMENAZA	13
4.1.1	AMENAZA SÍSMICA	13
4.1.2	AMENAZA DE TSUNAMI.....	13
4.1.3	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	14
4.2	EVACUACIÓN HORIZONTAL (EH)	15
4.2.1	DEFINICIÓN DE LA OFERTA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL	15
4.2.2	ASPECTOS CUALITATIVOS.....	16
4.2.2.1	Análisis del riesgo y diagnóstico de la realidad actual	17
4.2.2.2	Planificación integral	18
4.2.3	ASPECTOS CUANTITATIVOS.....	19
5	METODOLOGÍA PROPUESTA	21

5.1	CIUDAD OBJETIVO.....	23
5.2	ESTUDIO DE AMENAZA	24
5.2.1	ZONAS EXPUESTAS	24
5.2.2	DEFINICIÓN DE ESCENARIO DE DESASTRE.....	25
5.3	ESTUDIO DE IMPACTO	25
5.3.1	VULNERABILIDADES.....	25
5.3.1.1	Descripción general	25
5.3.1.2	Análisis y selección de principales actores.....	26
5.3.1.3	Análisis y selección de problemas.....	29
5.3.2	CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN.....	30
5.3.2.1	Zonificación por tiempos de arribo a zona de seguridad	30
5.3.2.2	Zonificación por distribución de densidades de población	33
5.3.2.3	Zonificación de Evacuación Vertical (EV).....	35
5.3.3	CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EH.....	36
5.3.3.1	Definición de la Oferta de EH en Iquique	36
5.3.3.2	Aspectos cuantitativos y escalas de evaluación	40
5.3.3.3	Aspectos cualitativos y escalas de evaluación	41
5.3.3.4	Definición de criterios.....	42
5.3.3.5	Extrapolación de las velocidades de desplazamiento en la evaluación de las vías de evacuación horizontales de Iquique	43
5.3.4	PONDERACIÓN DE VARIABLES EH	44
5.3.5	CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EV.....	46
5.3.5.1	Definición de la oferta de EV	46
5.3.5.2	Aspectos cualitativos y escalas de evaluación	47
5.3.5.3	Criterios de evaluación – Ficha A.....	47
5.3.5.4	Criterios de evaluación – Ficha B.....	49
6	RECOPIACIÓN DE RESULTADOS	51
6.1	EVACUACIÓN HORIZONTAL.....	51
6.1.1	BALANCE OFERTA/DEMANDA EH.....	51
6.2	EVACUACIÓN VERTICAL	56
6.2.1	BALANCE OFERTA/DEMANDA EV.....	56
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
7.1	RESPECTO DEL ESTUDIO DE AMENAZA.....	59

7.2	RESPECTO DEL ESTUDIO DE IMPACTO	59
7.3	RESPECTO DE LA RECOPIACIÓN DE RESULTADOS.....	60
7.4	RECOMENDACIONES	62
ANEXO A: LA AMENAZA SÍSMICA EN IQUIQUE		64
CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA		64
<i>ESTADO DEL ARTE</i>		64
<i>ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS EVENTOS DE TSUNAMI OCURRIDOS EN CHILE</i> 65		
<i>ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA ACTUAL DE TERREMOTO EN EL NORTE DE CHILE</i>		70
Estudios paleosísmicos y paleotsunamis.....		72
Actividad sísmica histórica en el norte de Chile		74
Nuevos antecedentes: terremoto de Iquique – 1 de abril del 2014.....		76
Análisis sísmico y geodésico		78
Mega eventos sísmicos (Megaterremotos)		58
ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA DE TSUNAMI EN IQUIQUE		61
CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....		61
<i>DESCRIPCIÓN GENERAL</i>		61
<i>GENERACIÓN DE TSUNAMI POR EVENTOS SÍSMICOS</i>		64
<i>TIPOLOGÍAS DE TSUNAMIS</i>		66
Tsunamis locales.....		66
Tsunamis regionales.....		66
Tsunamis Lejanos (Transoceánicos)		67
<i>EVALUACIÓN DE RIESGO DE UN TSUNAMI</i>		68
<i>IMPACTO FÍSICO DE UN TSUNAMI SOBRE LA COSTA</i>		69
CONTEXTO GUBERNAMENTAL.....		71
MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA INUNDACIÓN		72
ANEXO C: ANÁLISIS FODA (PCM).....		78
ANEXO D: FICHA DE EVALUACIÓN EH.....		86
ANEXO E: LICENCIA DE HERRAMIENTA AHPCALC		91
ANEXO F: RIESGO DE DESASTRES		96
CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....		96
<i>GENERALIDADES</i>		96
<i>RIESGO: DEFINICIÓN DEL CONCEPTO</i>		97

<i>EVALUACIÓN DEL RIESGO</i>	99
Descripción General	99
Análisis del Riesgo	99
Evaluación del Riesgo	101
<i>VULNERABILIDAD</i>	101
<i>DESASTRE</i>	102
Definición del concepto.....	102
Amenazas naturales	103
Ciclo de desastres	104
<i>ETAPAS DEL CICLO DESASTRE</i>	105
Antes del desastre (planificación)	106
Durante del Desastre (Respuesta).....	108
Después del Desastre (Recuperación)	109
ANEXO G: GESTIÓN DEL CICLO DE PROYECTOS (PCM)	111
CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	111
<i>DESCRIPCIÓN GENERAL</i>	111
<i>ANÁLISIS DE LAS PARTES INTERESADAS</i>	112
ANEXO H: TELEOBSERVACIÓN	113
CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	113
<i>DESCRIPCIÓN GENERAL</i>	113
<i>PRINCIPALES APLICACIONES DE LA TELEOBSERVACIÓN</i>	114
<i>VENTAJAS DE LA TELEOBSERVACIÓN</i>	115
ANEXO I: DEMANDA DE EVACUACIÓN	116
CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE EVACUACIÓN.....	116
<i>DEFINICIÓN GENERAL</i>	116
<i>ZONIFICACIÓN POR RANGOS DE TIEMPO DE ARRIBO A ZONA DE SEGURIDAD</i>	116
<i>ZONIFICACIÓN POR DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN</i>	117
<i>ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE EVACUACIÓN</i>	118
<i>METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA POBLACIÓN EXPUESTA</i>	119
ANEXO J: FICHAS DE EVALUACIÓN EV	121
FICHAS A.....	121
FICHAS B.....	128
ANEXO K: GRÁFICOS DE RADAR	135

SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO DE LAS VÍAS	135
CONFIABILIDAD DE LAS VÍAS.....	140
ANEXO J: DATOS KMZ	147
REFERENCIAS	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo jerárquico para la toma de decisiones con AHP.....	4
Figura 2: Definición del árbol jerárquico.	8
Figura 3: Mapa conceptual correspondiente a la línea de investigación de la tesis.	21
Figura 4: Ubicación del sitio de estudio.	23
Figura 5: Caracterización de las zonas de inundación por tsunami en Iquique.....	24
Figura 6: Fase analítica del PCM.	26
Figura 7: Zonificación por tiempo de arribo a zona segura en función de movilidad normal.	31
Figura 8: Zonificación por tiempo de arribo a zona segura en función de movilidad reducida.	31
Figura 9: Zonificación por distribución de densidad en escenario Invierno - Día.....	34
Figura 10: Zonificación por distribución de densidad en escenario Verano - Día.....	34
Figura 11: Zonificación por distribución de densidad en escenario Verano - Noche.	35
Figura 12: Puntos de evacuación vertical (PEV).....	36
Figura 13: Ejemplo de vía de evacuación, calle Rodríguez, Iquique.....	37
Figura 14: Selección de vías de evacuación EH.....	39
Figura 15: Gráfico de radar de susceptibilidad de bloqueo promedio de las vías de evacuación.	51
Figura 16: Gráfico de radar de confiabilidad promedio de las vías de evacuación.....	52
Figura 17: Señalética disponible durante el recorrido de las vías.	53
Figura 18: Ubicación de los edificio de EV según zonificación.	57
Figura 19: Gráfico de resultado de demanda de evacuación.....	61
Figura 20: Configuración tectónica del Sudeste del Pacífico	65
Figura 21: Interacción de placas tectónicas en Sudamérica.....	66
Figura 22: Data histórica de terremotos en Chile.....	67
Figura 23: Datos históricos de generación de tsunamis en Chile.....	68
Figura 24: Longitudes de ruptura a lo largo de la costa de Chile.	69
Figura 25: Generación de registros sedimentarios de tsunami en zonas costeras afectadas por hundimiento co-sísmico.....	72
Figura 26: Localización global de las principales investigaciones de depósitos de tsunami.	73
Figura 27: El terremoto de Arica 1868. Estimación histórica de la zona de ruptura.	74
Figura 28: El terremoto de Iquique 1877. Estimación histórica de la zona de ruptura.....	75
Figura 29: Sismicidad superficial en la zona norte de Chile.....	77
Figura 30: Actividad sísmica en la zona norte de Chile.	79
Figura 31: Fondo sismo tectónico del Norte de Chile y las principales características geológicas.....	80
Figura 32: Conjunto de datos intersísmicos adquiridos por Métois et al. 2013.....	82
Figura 33: Distribuciones de acoplamiento resultantes del modelo de Metois 2013.	84
Figura 34: Modelo bidimensional de velocidad-profundidad.	85

Figura 35: Recopilación de grandes terremotos en el sur de Perú y norte de Chile (entre 14°S y 24°S).....	57
Figura 36: terremotos conocidos de intensidad 7.5 [Ms].....	59
Figura 37: Distribución energética de las ondas de superficie.	61
Figura 38: Efectos devastadores en las costas de Japón ante el Tsunami del 2011.	62
Figura 39: Zona de inundación de un tsunami.....	63
Figura 40: Generación de un tsunami por desplazamiento vertical de placas.....	66
Figura 41: Propagación del tsunami generado en el océano Índico (2004), a escala global.	68
Figura 42: Perfiles altimétricos de las latitudes 20 S, 21 S y 22 S y plano de ruptura utilizados por el SHOA.	73
Figura 43: Modelo de Tsunami realizado por el SHOA para la zona de Iquique.	74
Figura 44: Diagrama no escalado de una corrección teórica para el plano de ruptura.....	75
Figura 45: Primera versión de la carta de inundación de Iquique por efectos de un tsunami.	76
Figura 46: Tercera versión de la carta de inundación de Iquique por efectos de un tsunami.	77
Figura 47: Resultados de las fortalezas (FODA).	84
Figura 48: Resultados de las oportunidades (FODA).....	84
Figura 49: Resultados de las debilidades (FODA).....	85
Figura 50: Resultados de las amenazas (FODA).	85
Figura 51: Adaptación en español del esquema de gestión de riesgos de Pliefke (2007). 98	
Figura 52: Esquema de evaluación de riesgo.....	100
Figura 53: Diagrama del ciclo de desastres.....	104
Figura 54: Diagrama del ciclo de gestión de proyectos.	112
Figura 55: Extracción de datos por medio de la teledetección satelital y output de elevación obtenido.	113
Figura 56: Identificación de puntos de medición por mitad de cuadra.	119
Figura 57: Ejemplo de toma de datos por cuadra.	120
Figura 58: Ficha Access A EV1	121
Figura 59: Ficha Access A EV2.....	122
Figura 60: Ficha Access A EV3.....	123
Figura 61: Ficha Access A EV4.....	124
Figura 62: Ficha Access A EV5.....	125
Figura 63: Ficha Access A EV6.....	126
Figura 64: Ficha Access A EV7.....	127
Figura 65: Ficha Access B EV1.....	128
Figura 66: Ficha Access B EV2.....	129
Figura 67: Ficha Access B EV3.....	130
Figura 68: Ficha Access B EV4.....	131
Figura 69: Ficha Access B EV5.....	132
Figura 70: Ficha Access B EV6.....	133

Figura 71: Ficha Access B EV7..... 134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de intensidad de importancia.	5
Tabla 2: Valores del índice de azar (IR) para problemas pequeños.	11
Tabla 3: Definición de los actores principales.	27
Tabla 4: Asignación grupal de los actores.	28
Tabla 5: Sistematización de daños propuesta en "Estimación de daños del terremoto en la prefectura de Yamaguchi".	30
Tabla 6: Escenarios de tiempo de ocurrencia de la inundación por tsunami.	33
Tabla 7: Asignación de densidades por zona y momento de ocurrencia.	33
Tabla 8: Distancias máximas y tiempos máximos de desplazamiento desde la costa hacia a las zonas de seguridad de las vías EH.	39
Tabla 9: Escala cualitativa de impacto por susceptibilidad de bloqueo de la vía horizontal.	42
Tabla 10: Escala cualitativa de impacto por confiabilidad de la vía horizontal.	42
Tabla 11: Factores de evaluación de las vías de evacuación horizontales.	43
Tabla 12: Cuadro comparativo de velocidades de desplazamiento.	43
Tabla 13: Ponderación de factores mediante AHP para la evaluación de los factores de confiabilidad de las vías EH.	44
Tabla 14: Ponderación de factores mediante AHP para la evaluación de los factores de susceptibilidad de bloqueo de las vías EH.	45
Tabla 15: Resultados de demanda de evacuación.	54
Tabla 16: Resumen de las principales localidades dañadas por sismos en Chile.	64
Tabla 17: Parámetros sísmicos para la entrada en el modelo numérico de tsunami.	73
Tabla 18: Análisis FODA - Fortalezas y Debilidades.	78
Tabla 19: Análisis FODA - Oportunidades y Amenazas.	81
Tabla 20: Organización secuencial del ciclo de desastre.	105
Tabla 21: Criterio de densidad de población propuesto.	117
Tabla 22: Asignación de densidades por zona y momento de ocurrencia.	118

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Capacidad de las vías de evacuación.	40
Ecuación 2: Demanda de evacuación.	118

RESUMEN

El presente trabajo propone un método para la evaluación de sistemas de evacuación ante la amenaza de un evento de Tsunami en la zona norte de Chile, con el objetivo de caracterizar el impacto ante la ocurrencia de tsunamis de campos cercanos en la ciudad de Iquique y generar herramientas que aporten en la planificación y evaluación de sus sistemas de evacuación.

En primera instancia, se realizó una recopilación de datos y antecedentes como fundamentos para la determinación del escenario de desastre asociado a un evento sísmico en Iquique de 8.5 [Mw] con las condiciones necesarias para generar un tsunami. Posteriormente, se realizó un estudio de impacto, con el fin de caracterizar la oferta y demanda de evacuación horizontal y vertical mediante el uso del método AHP (Analytical Hierarchy Process) como herramienta complementaria en la toma de decisiones. Análogamente, se evaluaron las vías de evacuación horizontal (VEH), mediante el análisis de su confiabilidad y susceptibilidad de bloqueo como dos aspectos de calidad propuestos en este trabajo. Finalmente, se realizó un balance Oferta/Demanda de los sistemas de evacuación con el fin de evaluar si la oferta de evacuación existente en la zona de La Península y playa Cavancha, es suficiente para la demanda de personas a evacuar en ante la inundación de un tsunami.

Si bien este estudio se sustenta en un análisis cualitativo, los resultados obtenidos demuestran una serie de disfuncionalidades en las VEH que pueden afectar su respuesta al momento de evacuar. En consecuencia de esta problemática, se crea la necesidad de integrar nuevos elementos como las vías de evacuación vertical (VEV) que aumenten la calidad y oferta de los sistemas de evacuación existentes considerando que la oferta de evacuación vertical (OEV) actual en Chile es nula.

Palabras Claves: *Vulnerabilidad, Confiabilidad, Susceptibilidad, Gestión del Riesgo, Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), Tsunami, Teleobservación.*

ABSTRACT

This paper proposes a method for evaluating evacuation systems against the threat of a tsunami event in the north of Chile, by characterizing the impact upon the occurrence of tsunami nearby fields in the city of Iquique to generate tools in planning and evaluating their evacuation systems.

In the first part of the methodology, a data collection and background was made, as the basis for determining the disaster scenario associated with a mega seismic event in Iquique 8.5 [w] with the necessary conditions to generate a tsunami. Then, an impact study was conducted in order to characterize the supply and demand for horizontal and vertical evacuation by using AHP (Analytical Hierarchy Process) as a complementary tool in decision-making. Similarly, horizontal evacuation routes (HER) were evaluated by analyzing their reliability and susceptibility lock as two aspects of quality proposed in this paper. Finally, a supply / demand balance systems evacuation is carried out in order to assess whether the existing supply of evacuation in the area of the peninsula and Cavancha beach, is sufficient for the demand for people to evacuate before flooding a tsunami.

While this study is based on a qualitative analysis, the results show a series of dysfunctions in the HER that may decrease his response time to evacuate. As a result of this problem, it's necessary to integrate new elements such as vertical evacuation routes (VER) to increase the quality and supply of existing evacuation systems, considering the vertical evacuation offer (VEO) current in Chile is void.

Keywords: *Vulnerability, Reliability, Susceptibility, Risk Management, Analytic Hierarchy Process (AHP), Tsunami, Remote Sensing.*

ALCANCES Y LIMITACIONES

La metodología propuesta en este trabajo, se enfoca en la ciudad de Iquique, capital de la I Región de Tarapacá, Chile.

La observación de la ciudad de Iquique y la evaluación de sus sistemas de evacuación se realizó mediante la revisión en planta de fotografías satelitales de “Google Earth”, además de fotografías a nivel de calle extraídas de “Google Street View” por lo que existen limitaciones debido a que no se realizó una evaluación en terreno. Por otro lado, las imágenes disponibles en ambas herramientas fueron tomadas en fechas diferentes a la fecha de observación de este trabajo (ejecutado entre Septiembre y Diciembre del año 2015). Sin embargo, la metodología propuesta justamente apunta al uso de herramientas virtuales para facilitar el análisis remoto del tema en estudio.

Para la fase de análisis de las rutas de evacuación horizontales, se ha desarrollado un análisis multicriterio de sus características. La evaluación de las variables en terreno para la calibración del método fue realizado con la colaboración de estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso, en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar. Para la ponderación de los criterios involucrados y la evaluación de las vías se utilizó el método AHP considerando la opinión de los tesisistas involucrados en este estudio y su profesor guía.

El AHP se realizó con una herramienta de libre licencia, mediante la cual se obtuvieron las ponderaciones de cada uno de los factores propuestos. La licencia se adjunta como anexo de este trabajo de investigación.

La estimación de la demanda de evacuación horizontal está directamente relacionada con la densidad de población en la zona expuesta. Debido a que la información demográfica es escasa y limitada para la zona de estudio, la densidad de población fue asumida de forma arbitraria pero criteriosa para los distintos escenarios de desastres analizados, y con tal tenor deben considerarse los alcances de los resultados obtenidos.

Finalmente y para efectos de la estimación de la oferta de evacuación vertical, en este estudio no se ha considerado un análisis estructural detallado de los edificios, ya que el objetivo de esta tesis no es realizar una modelación de las edificaciones, sino que, proponer una herramienta de evaluación preliminar en los procesos de planificación de sistemas de evacuación y gestión del riesgo de desastres por tsunami.

1 INTRODUCCIÓN

La costa constituye una franja fuertemente presionada por el hombre y la naturaleza, sometida a grandes desequilibrios y variaciones morfológicas producto de múltiples efectos e interacciones dinámicas entre el oleaje, mareas, corrientes y los sistemas humanos existentes en la costa, y en consecuencia con eventuales desastres naturales. Dentro de ellos, se consideran terremotos y tsunamis, que particularmente afectan con gravedad la costa Chilena.

En todo el mundo y particularmente en Chile, las zonas litorales son focos de desarrollo económico. Esto queda demostrado con el crecimiento o expansión de las áreas urbanas hacia la costa. Sin embargo, este crecimiento de las zonas litorales, muchas veces no cuenta con los estudios apropiados de evaluación y mitigación de las amenazas que enfrentan los sistemas cercanos expuestos. Es por esta razón, que existe la necesidad de generar directrices claras para la elaboración de planes de gestión del riesgo asociado a las zonas potencialmente vulnerables ante un tsunami.

Esta investigación en particular, propone una metodología de evaluación de los sistemas de evacuación, mediante la medición de indicadores de calidad como la susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad de las vías y la vulnerabilidad humana ante un eventual escenario de desastre por terremoto y tsunami en Iquique, con bases en la hipótesis de que el riesgo puede ser desarticulado así como la vulnerabilidad puede ser sistematizada en una serie de factores y subfactores, con objeto de facilitar su análisis y desarrollar herramientas que optimicen los procesos de planificación de los sistemas de evacuación.

El análisis de los resultados se basó en un estudio de impacto que tuvo por objetivo la caracterización de la vulnerabilidad, criterios de zonificación, ponderación de los criterios de evaluación y finalmente la caracterización de la oferta y demanda de evacuación en la ciudad de Iquique.

De manera que, se desarrolló un balance entre la oferta y la demanda de evacuación en la ciudad objetivo. El balance de oferta y demanda de evacuación tanto horizontal como vertical, demostró ser una herramienta eficaz, conjugando aspectos cuantitativos y cualitativos en la evaluación de las vías de evacuación. Finalmente, se pudo establecer una serie de recomendaciones orientadas a implementar herramientas de gestión que permitan optimizar la planificación de las vías de evacuación.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar el impacto ante la ocurrencia de tsunamis de campos cercanos en la ciudad de Iquique y generar herramientas que aporten en la planificación y evaluación de sus sistemas de evacuación.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la oferta y demanda de evacuación horizontal y vertical en la zona de La Península y playa Cavanca.
- Aplicar el proceso de análisis jerárquico para la ponderación de los factores de mayor relevancia en la evaluación de las rutas de evacuación, en función de la exposición humana ante la amenaza de tsunami.
- Proponer criterios puedan integrarse en la evaluación y planificación de los sistemas de evacuación horizontal y vertical en Chile.

3 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

3.1 SOFTWARE DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

3.1.1 GOOGLE EARTH ©

Google Earth es un programa informático que muestra un globo terráqueo virtual donde se puede visualizar cualquier parte del mundo mediante fotografías satelitales (Google Official Blog, 2015).

El mapa de Google Earth está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica proveniente de modelos de datos GIS de todo el mundo y modelos generados a partir de la información satelital obtenida (Google Official Blog, 2015).

Esta herramienta fue utilizada con el fin de identificar las vías de evacuación, además de las zonas de inundación.

3.1.2 GOOGLE STREET VIEW ©

Google Street View es una prestación de Google Maps y de Google Earth que proporciona panorámicas a nivel de calle (360 grados de movimiento horizontal y 290 grados de movimiento vertical), permitiendo a los usuarios ver partes de las ciudades seleccionadas y sus áreas metropolitanas circundantes (Google Official Blog, 2015).

Se puede navegar a través de estas imágenes utilizando los cursores del teclado o usando el ratón. Además, desde mayo de 2009 se introdujo una novedad de navegación en la aplicación, basada en los datos proporcionados por la tecnología láser, que permite una navegación más rápida a lo largo del recorrido (Google Official Blog, 2015).

Google Street View fue utilizada en esta investigación como herramienta principal en la teleobservación de la ciudad de Iquique, exploración de las vías de evacuación horizontal e identificación y evaluación de las vías de evacuación vertical.

3.2 ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP)

3.2.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

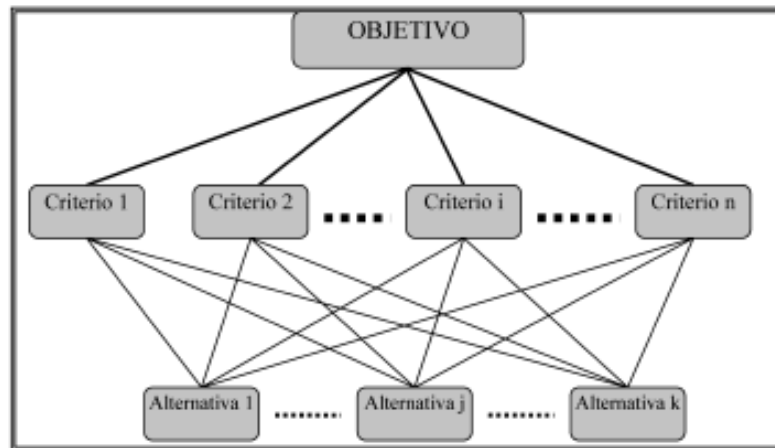
El AHP es un sistema metodológico flexible de análisis multicriterio que facilita la toma de decisiones complejas, formulando un problema de decisión de un modo lógico y racional, con aplicación en diferentes campos (Satty, 2008).

El AHP, permite la organización de la información asociada a un problema de decisión con herramientas gráficas y eficientes. Además, permite analizar y descomponer la información respecto de toda variación que se genere en todos sus niveles. En palabras de su propio autor:

“Trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión” (Saaty, 1997).

Este proceso se fundamenta en una serie de etapas. En primera instancia, se considera la formulación del problema de decisión mediante la construcción de un modelo jerárquico. En esta fase, el decisor involucrado debe lograr desarticular el problema en sus componentes más relevantes. La jerarquía básica está conformada por una meta u objetivo general, criterios y alternativas. La jerarquía se construye de manera que los elementos de un mismo nivel tengan el mismo orden de magnitud y puedan relacionarse con los elementos del siguiente nivel. Considerando una jerarquía genérica, el nivel más alto corresponde al problema de decisión u objetivo. Los elementos que inciden en la decisión, son representados en los siguientes niveles. Por consiguiente, los criterios ocupan los niveles intermedios y el nivel más bajo comprende a las alternativas. La siguiente figura muestra de forma clara el esquema del modelo jerárquico (Saaty, 1997).

Figura 1: Modelo jerárquico para la toma de decisiones con AHP.



Fuente: (Saaty, 1997).

La jerarquía resultante debe ser completa, no redundante y simplificada. Esto significa, que no se deben incluir aspectos no relevantes, sino que solo los esenciales. Su construcción es la parte más creativa del proceso y requiere de un consenso entre todas las partes implicadas en el proceso de decisión. Usualmente se necesita de una inversión considerable de tiempo para la identificación del problema real y principal, lo cual puede

darse después de una serie de discusiones en las que se han listado muchos problemas, y es necesario priorizarlos y decidir cuál se seleccionará para su análisis (Saaty, 1980).

Una vez construida la estructura jerárquica del problema se da paso a la segunda etapa del AHP que consiste en la valoración de los elementos. El decisor debe emitir sus juicios de valor en cada uno de los niveles establecidos. Esto, se consigue mediante una comparación de valores subjetivos “por pares” (comparaciones binarias). Esto significa, que el decisor debe emitir juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios y alternativas. De esta manera, se determina la dominancia relativa, en función de la importancia, preferencia o probabilidad, de un elemento frente a otro, respecto de un atributo o cualidad común. El AHP permite realizar las comparaciones binarias basándose tanto en factores cuantitativos (aspectos tangibles) como cualitativos (aspectos no tangibles), ya que presenta su propia escala de medida propuesta por Saaty (1980). Esta escala se puede visualizar en detalle en la Tabla 1.

Tabla 1: Escala de intensidad de importancia.

Intensidad de Importancia	Definición	Interpretación
1	Igual Importancia	Los dos factores contribuyen de igual manera en la susceptibilidad total.
3	Importancia Moderada	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un factor de susceptibilidad por sobre el otro.
5	Importancia Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un factor de susceptibilidad por sobre el otro.
7	Importancia Muy Fuerte	Se favorece mucho un factor de susceptibilidad por sobre el otro; su dominancia está demostrada en la práctica.
9	Extrema Importancia	La evidencia que favorece un factor de susceptibilidad por sobre el otro, es el grado más alto de afirmación.

Fuente: Elaboración propia a partir de Saaty (1980).

El decisor puede expresar sus preferencias entre dos elementos de manera verbal, además de representar dichas preferencias descriptivas mediante valores numéricos. De esta forma cuando dos elementos sean *igualmente preferidos* o de *igual importancia*, el decisor debe asignar al par de elementos un “1”. En caso de tener un par de elementos entre los que uno de ellos es *moderadamente preferido*, se le debe asignar un “3”. De la misma manera, *fuertemente preferido* es representado por un “5” y *extremadamente preferido* por un “9”. No obstante, se pueden asignar valores pares para la representación de situación intermedias (Martinez, 2007).

La escala verbal utilizada en el AHP permite al decisor incorporar subjetividad, utilizando su experiencia y conocimiento en el desarrollo del proceso de análisis en un camino intuitivo. Esta escala está justificada teóricamente por Saaty (1980) y su efectividad ha

sido validada empíricamente aplicándola a diferentes problemáticas reales con aspectos tangibles en donde se ha comprobado una respuesta adecuada (Martinez, 2007).

El resultado de estas comparaciones es una matriz cuadrada, recíproca y positiva, denominada *“Matriz de comparaciones pareadas”*, de forma que cada uno de sus componentes reflejen la intensidad de preferencia de un elemento frente a otro respecto del atributo considerado (Saaty, 1997).

Resulta interesante observar que para aplicar el método AHP no hace falta información cuantitativa sobre los resultados que alcanza cada alternativa según cada uno de los criterios considerados, sino tan solo los juicios de valor del decisor.

Una vez que se conforman las matrices de comparación, el proceso continúa con la tercera etapa de priorización y síntesis. El objetivo de esta etapa es estimar la prioridad de cada elemento, entendida esta prioridad tal y como la define Saaty (1980):

“Las prioridades son rangos numéricos medidos en una escala de razón. Una escala de razón es un conjunto de números positivos cuyas relaciones se mantienen igual si se multiplican todos los números por un número arbitrario positivo. El objeto de la evaluación es emitir juicios concernientes a la importancia relativa de los elementos de la jerarquía para crear escalas de prioridad de influencia”.

En un problema de análisis jerárquico, se pueden establecer varios tipos de prioridades. Estas pueden ser prioridades locales, globales y totales.

Las prioridades locales son las que dependen de un mismo nodo y se calculan directamente a partir de la información recogida en las matrices de comparación. Existen distintos procedimientos matemáticos para calcular un vector de pesos relativos asociado a un nivel, vector que debe expresar la importancia relativa de los elementos considerados en ese nivel. El procedimiento que propone Saaty para su obtención es el método del autovector principal por la derecha (Saaty, 1980).

Las prioridades globales son las que están sujetas a cada nodo de la jerarquía respecto del nodo principal (objetivo). El AHP obtiene estos valores mediante la utilización del principio de composición jerárquica (Saaty, 1980).

Por último, la prioridad total de las alternativas comparadas se obtiene mediante la agregación de las prioridades globales. La prioridad total, es una herramienta que permite realizar la síntesis del problema, esto implica, ordenar el conjunto de alternativas consideradas y seleccionar las más indicadas según los criterios establecidos para conseguir el objetivo propuesto (Saaty, 1997).

Un aspecto relevante con el cual se debe ser riguroso, es que el resultado debe ser consistente con las preferencias manifestadas por el decisor y por las preferencias entre sí, ya que esto afecta directamente a la calidad de la decisión final. El AHP permite evaluar la consistencia del decisor al momento de introducir los juicios de valor en la matriz de comparaciones pareadas mediante el indicador “Razón de Consistencia” (Satty, 2008).

La última etapa de este proceso corresponde al análisis de sensibilidad. El resultado al que se llega en la etapa anterior es altamente dependiente de la jerarquía establecida por el decisor y por los juicios de valor que éste establece sobre los diversos elementos o variables del problema. Los cambios en la jerarquía sobre estos juicios, pueden significar cambios en los resultados (Saaty, 1997).

3.2.2 FORMULACIÓN MATEMÁTICA DEL MÉTODO NUMÉRICO

3.2.2.1 Descripción general

El AHP considera un conjunto de criterios y alternativas de evaluación, y la mejor decisión está hecha en función de ambas consideraciones. Es importante tener en cuenta que, dado que algunos de los criterios podrían ser contraste, no siempre la mejor opción es la que optimiza cada criterio individual, más bien es la que logra el equilibrio más adecuado entre los diferentes criterios (Saaty, 1980).

Este método genera un peso para cada criterio de evaluación de acuerdo con las comparaciones por pares del decisor de los criterios. Cuanto mayor sea el peso, más importante es el criterio correspondiente. A continuación, para un criterio fijo, el AHP asigna un puntaje a cada opción de acuerdo a las comparaciones por parejas del decisor de las opciones basadas en ese criterio. Cuanto mayor sea la puntuación, mejor es el rendimiento de la opción con respecto al criterio considerado. Por último, el AHP combina los pesos de criterios y las puntuaciones de opciones, determinando así una puntuación global para cada opción, y una clasificación consecuente. La puntuación global de una determinada opción es una suma ponderada de las puntuaciones que obtuvo con respecto a todos los criterios (Saaty, 1980).

3.2.2.2 Construcción del modelo

En la primera etapa (modelación), se construye un modelo o estructura en la que queden representados todos los aspectos considerados relevantes en el proceso de resolución (actores, escenarios, factores, elementos e interdependencias). Esto se traduce en la definición del objetivo principal y la generación del árbol jerárquico (Satty, 2008).

Figura 2: Definición del árbol jerárquico.



Fuente: Elaboración propia a partir de Saaty (1980).

3.2.2.3 Estimación del vector de criterios de peso W

Con el fin de calcular los pesos de los diferentes criterios, el AHP comienza con la creación de una matriz A de comparación por pares. La matriz A , es una matriz real $m \times m$, donde m es el número de criterios de evaluación considerado. Cada entrada a_{jk} de la matriz A representa la importancia del j -ésimo criterio en relación con el criterio de orden k . Si $a_{jk} > 1$, entonces el criterio j es más importante que el criterio de orden k , mientras que si $a_{jk} < 1$, entonces el criterio j es menos importante que el criterio de orden k . Si dos criterios tienen la misma importancia, entonces la entrada a_{jk} es igual a 1 (Saaty, 1980).

Las entradas a_{jk} y a_{kj} deben satisfacer la siguiente restricción:

$$a_{jk} \cdot a_{kj} = 1$$

Obviamente, $a_{jj} = 1$ para todo j . La importancia relativa entre los dos criterios se mide según una escala numérica de 1 a 9, como se muestra en la Tabla 1, donde se supone que el criterio j -ésimo es tanto o más importante que el criterio de orden k . Las frases de la columna "Interpretación" de la Tabla 1 son sólo indicativos y pueden ser utilizados para traducir las evaluaciones cualitativas del decisor de la importancia relativa entre dos criterios en números. También es posible asignar valores intermedios que no corresponden a una interpretación precisa. Los valores en la matriz A están dados por la construcción por pares. Por otro lado, las calificaciones en general muestran leves inconsistencias. Sin embargo, estas no causan graves dificultades para el AHP (Saaty, 1980).

Una vez que la matriz A se construye, es posible obtener la *matriz normalizada de la comparación por pares* A_{norm} (Saaty, 1980). La matriz A_{norm} se genera haciendo igual a 1 la suma de las entradas en cada columna, es decir, cada a_{jk} entrada de la matriz A_{norm} se calcula como:

$$\bar{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^m a_{lk}}.$$

Por último, el *vector de criterios de peso* W (que es un vector columna m -dimensional), se construye promediando las entradas en cada fila de A_{norm} (Saaty, 1980), es decir:

$$w_j = \frac{\sum_{l=1}^m \bar{a}_{jl}}{m}.$$

Con esto se logra determinar el orden de importancia de cada criterio de evaluación.

3.2.2.4 Obtención de la matriz de alternativas S

La matriz de puntuación de alternativas (S), es una matriz real $m \times m$. Cada entrada s_{ij} de S representa la puntuación de la i -ésima alternativa, con respecto al criterio j . Con el fin de obtener esos puntajes, se construye una matriz de comparación por pares $B^{(j)}$ para cada uno de los criterios m , $j = 1, \dots, m$. La matriz $B^{(j)}$ es una matriz real de $n \times n$, donde n es el número de alternativas evaluadas. Cada entrada $b_{ih}^{(j)}$ de la matriz $B^{(j)}$ representa la evaluación de la i -ésima alternativa en comparación con la h -ésima alternativa, con respecto al j -ésimo criterio. Si $b_{ih}^{(j)} > 1$, entonces la i -ésima alternativa es mejor que la h -ésima alternativa, mientras que si $b_{ih}^{(j)} < 1$, entonces la h -ésima alternativa es mejor que la i -ésima alternativa. Si dos opciones son evaluadas como equivalentes con n respecto al criterio j , entonces de la entrada $b_{ih}^{(j)}$ es 1. Las entradas $b_{ih}^{(j)}$ y $b_{hi}^{(j)}$ satisfacer la siguiente restricción (Saaty, 1980):

$$b_{ih}^{(j)} \cdot b_{hi}^{(j)} = 1$$

y $b_{ii}^{(j)} = 1$ para todo i .

En segunda instancia, el AHP se aplica a cada matriz $B^{(j)}$ con el mismo procedimiento de dos pasos descrito para la matriz de comparación por pares A , es decir, se divide cada

entrada por la suma de las entradas en la misma columna, y luego se promedia las entradas en cada fila, obteniendo así los vectores de puntuación $s^{(j)}$, $j = 1, \dots, m$. El vector $s^{(j)}$ contiene las puntuaciones de las alternativas evaluadas con respecto al j -ésimo criterio (Saaty, 1980).

Finalmente la matriz de puntuación S se obtiene como:

$$S = [s^{(1)} \dots s^{(m)}]$$

Es decir, la j -ésima columna de S corresponde a $s^{(j)}$.

3.2.2.5 Clasificación de alternativas

Una vez que el vector de pesos W y la matriz de puntuación S se han calculado, el AHP obtiene un vector v de las puntuaciones globales multiplicando S y W , es decir:

$$v = S \cdot w$$

La i -ésima entrada v_i de v representa la puntuación global asignada por el AHP a la i -ésima alternativa. Como paso final, el ranking de alternativas se consigue ordenando las puntuaciones globales en orden decreciente (Saaty, 1980).

3.2.2.6 Comprobación de la consistencia

Cuando se llevan a cabo muchas comparaciones por pares, normalmente pueden surgir algunas inconsistencias en los resultados. Por ejemplo, suponiendo que se consideran 3 criterios, y el que toma las decisiones evalúa que el primer criterio es ligeramente más importante que el segundo criterio, mientras que el segundo criterio es ligeramente más importante que el tercer criterio. Surge una incoherencia evidente si el tomador de decisiones evalúa por error que el tercer criterio es tanto o más importante que el primer criterio. Por otro lado, surge una pequeña inconsistencia si el decisor evalúa que el primer criterio también es ligeramente más importante que el tercer criterio. Una evaluación coherente sería, por ejemplo, que el primer criterio es más importante que el tercer criterio (Saaty, 1980).

El AHP incorpora una técnica eficaz para el control de la consistencia de las evaluaciones realizadas por el decisor en la construcción de cada una de las matrices de comparación por pares que participan en el proceso, es decir, la matriz A y las matrices $B^{(j)}$. La técnica se basa en el cálculo de un índice de consistencia adecuado, y se describirá sólo para la matriz A . Es sencillo para adaptarlo al caso de las matrices $B^{(j)}$, mediante la sustitución de A con $B^{(j)}$, w con $s^{(j)}$, y m con n . El índice de consistencia (IC) se obtiene calculando

primero los escalares x como la media de los elementos del vector cuyo j -ésimo elemento es la relación del j -ésimo elemento del vector $A \cdot w$ para el elemento correspondiente del vector w . Entonces,

$$IC = \frac{x - m}{m - 1}$$

Una decisión perfecta está asociada a la obtención de un $IC = 0$, pero los valores pequeños de incoherencia pueden ser tolerados en los resultados finales. Particularmente, si:

$$\frac{IC}{IR} < 0.1$$

Lo cual significa que las inconsistencias son tolerables, y se puede esperar un resultado confiable del AHP. En la ecuación anterior, IR es el Índice de azar, es decir, el índice de consistencia cuando las entradas de A son completamente al azar (Saaty, 1980). Los valores de IR para problemas reducidos ($m \leq 10$) se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores del índice de azar (IR) para problemas pequeños.

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

Fuente: Elaboración propia a partir de Saaty (1980).

Finalmente, se presentan los niveles de consistencia propuestos por Saaty (1980) para 3 tipos de matrices A , junto con su evaluación de consistencia basada en el cálculo del índice de consistencia (Saaty, 1980).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow IC/IR = 1.150 \Rightarrow \text{Inconsistente}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \frac{IC}{IR} = 0.118 \Rightarrow \text{Ligeramente Inconsistente}$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow IC/IR = 0.033 \Rightarrow \text{Consistente}$$

3.2.3 APLICACIÓN Y USO DE LA HERRAMIENTA AHPcalc-2

Se utilizó la herramienta de Excel AHPcalc-2 para realizar el proceso de análisis jerárquico de las variables involucradas en este estudio.

AHPcalc considera todas las etapas de desarrollo del método numérico propuesto por Satty (1980) dando como resultado la ponderación de las variables y su orden de importancia según el peso estimado para cada una de ellas.

La licencia de esta herramienta se presenta en el **Anexo E**.

4 SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO

4.1 ESTUDIO DE AMENAZA

4.1.1 AMENAZA SÍSMICA

Chile es un país sísmico sin discusión alguna. Entre los efectos que caracteriza esta alta sismicidad, puede señalarse la destrucción recurrente de distintas ciudades. En la actualidad, existen estudios que han revelado que los principales centros poblados chilenos han sido históricamente afectados por este tipo de fenómenos (Espinoza, 1985).

Además de tener una posición y orientación muy particular, es un país muy sensible a la actividad de las placas tectónicas. Chile se extiende entre los volcanes de la Cordillera de Los Andes y el Océano Pacífico, y en paralelo a la zona de subducción en casi toda la extensión del país. Como consecuencia directa, es propenso a ser afectado de manera constante por terremotos, algunos de ellos tsunamigénicos (Espinoza, 1995). El registro histórico del Servicio Sismológico de Chile, ha confirmado la ocurrencia de más de 110 terremotos con una magnitud superior a 7.0 [Ms], desde el año 1570 hasta la actualidad (CSN Universidad de Chile, 2014). Algunos lugares muestran la recurrencia del impacto del tsunami, y varios pueblos incluso se han movido de sus lugares de origen a lugares más seguros (Reyes, 2012).

El comportamiento estadístico de los terremotos y tsunamis muestra cierta tendencia en partes muy específicas a lo largo de las costas chilenas. Sin embargo, no es posible generar información de pronósticos de ocurrencia. Además, después del terremoto del 27 de febrero del 2010, se han incluido algunos aspectos de la sismicidad local y los riesgos relacionados con el fin de mejorar los factores de seguridad ante el riesgo de un escenario de desastre (Reyes, 2012).

4.1.2 AMENAZA DE TSUNAMI

En general, los grandes terremotos en la costa de Chile cumplen las condiciones para ser tsunamigénico, en términos de profundidad del hipocentro, desplazamientos verticales y la liberación de energía, pero se reconoce que no hay ninguna relación binaria entre los terremotos y tsunamis. De hecho, un gran terremoto puede generar un tsunami significativo como no hacerlo (Winckler, Reyes, & Sepulveda, 2010).

Sin embargo, es preciso tener la consideración de que, en términos generales, la gran mayoría de los terremotos que se producen en Chile cumplen con las condiciones de ser tsunamigénicos. Esto se debe a una serie de características asociadas a aspectos morfológicos, que vienen de la mano de que Chile tiene una extensa costa (Lagos, 2002).

Considerando los trabajos de investigación que existen a la fecha, es posible observar que gran cantidad de los terremotos ocurridos en Chile son con epicentro en la placa interoceánica. Bajo esta hipótesis, se puede afirmar que la zona de ruptura es generalmente bajo el agua y entonces hay un riesgo permanente de generación de tsunami, dependiendo de la magnitud del evento sísmico entre otros aspectos (Reyes, 2012).

Su amenaza, se materializa en las posibles zonas de inundación bajo un eventual escenario de desastre. Es por esta razón, que la manera más recurrente de identificar las zonas de inundación, es mediante cartografía de zonas expuestas. Las zonas de inundación son caracterizadas, por lo general, mediante la modelación numérica del Tsunami, antecedentes de eventos sísmicos históricos, estudios de paleotsunamis, entre otras entradas que en conjunto conforman la base de datos para alimentar las cartas de inundación (Reyes, 2012).

Para efectos de esta investigación, la caracterización de la amenaza de Tsunami se realizó mediante la carta de inundación más reciente (SHOA, 2012), sin embargo es interesante observar que el modelo numérico implementado para la caracterización de dicho tsunami corresponde al terremoto de 1877, el cual tuvo una magnitud de 8,5 [Ms] en la escala de Richter. La pregunta es si realmente esta carta será representativa del próximo evento. Considerando que la liberación de energía en un terremoto es en escala exponencial, un evento que sobrepase las condiciones propuestas en el modelo actual, podría llegar a ser un problema serio en la gestión del riesgo asociado a un tsunami de mayor envergadura.

La caracterización de la amenaza por tsunami se puede revisar con mayor detalle en el **Anexo B** y la zona de inundación se presenta a continuación en la sección 5.2.1.

4.1.3 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

Debido a que no se puede predecir cuándo ocurrirá un sismo, tampoco se puede establecer exactamente cuándo se generará un tsunami. Sin embargo, mediante el estudio de tsunamis históricos (paleotsunamis), los científicos pueden inferir dónde se generarán tsunamis con mayor probabilidad (SHOA, 2014).

Las medidas de alturas de tsunamis pasados son útiles para predecir el impacto futuro y los límites de inundación, en comunidades y ubicaciones costeras específicas. La investigación sobre tsunamis históricos o paleotsunamis, puede ser de gran ayuda para analizar la frecuencia de ocurrencia de ellos. Durante cada uno de los 5 últimos siglos, hubo 3 a 4 tsunamis generalizados en el Pacífico, la mayor parte de los cuales se generaron en las costas chilenas (SHOA, 2014).

En este marco de investigación, es importante mencionar que la gran mayoría de los estudios realizados para la detección paleotsunami en el norte de Chile, se basan en consideraciones hidráulicas relativas para identificar la tipología de sedimento tsunami en rastros geológicos (Lagos & Cisterna, 2004).

En el estudio de la recurrencia de tsunamis, las observaciones geológicas, tales como identificación de sus depósitos y los cambios de nivel de las costas producidos por grandes terremotos, han confirmado que estos presentan algún grado de ciclicidad, en cuanto a su periodicidad y magnitud, permitiendo identificar zonas en riesgo (Satake & Atwater, 2007). En la actualidad se están realizando continuos estudios para tratar de comprender donde, cuando y que tan grande puede ser un terremoto en zonas de subducción. Sin embargo, aún falta mucho tiempo, quizás siglos, para que la ciencia pueda entender si existe o no un patrón (Lagos & Cisterna, 2008). El **Anexo A**, presenta esta información con mayor detalle.

4.2 EVACUACIÓN HORIZONTAL (EH)

4.2.1 DEFINICIÓN DE LA OFERTA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL

Cuando un tsunami impacta zonas urbanas, la respuesta de una comunidad ante la emergencia puede ser confusa e incierta si no existe preparación enfocada en reducir el impacto de la amenaza sobre las personas. La combinación de planificación y preparación, entendiéndola como una campaña exhaustiva para que las personas adquieran conciencia del riesgo asociado a la ocurrencia de tsunamis, es un factor clave en la reducción del nivel de impacto que el desastre natural puede generar sobre las ciudades costeras (ONEMI, 2001).

Diversos enfoques teóricos, así como las experiencias acumuladas a nivel global en cuanto a desastres naturales se refiere, da cuenta de que, para reducir el riesgo es necesario lograr que los residentes, usuarios de las zonas costeras, las empresas privadas y los gobiernos lleguen a un entendimiento común y generen acciones coordinadas para ese efecto (Reyes, 2012). Frente a una amenaza de tsunami, las personas deben tener conocimiento, preparación e información suficiente para reducir su vulnerabilidad y protegerse ante la amenaza. La experiencia global permite inferir como idea general, que las comunidades deben ser responsables de su propia protección (ONEMI, 2001).

El sistema de alerta y evacuación en caso de tsunami es el elemento más importante para garantizar la seguridad de los habitantes. En efecto, el tiempo de arribo de un tsunami puede ser muy breve, obligando la evacuación inmediata y rápida de las personas en zonas expuestas a la inundación. Con ese contexto de urgencia, las vías de evacuación horizontal deben satisfacer la demanda hipotética de evacuación, es decir, ser capaces de

captar el flujo de personas en cantidad y calidad suficientes para asegurar su desplazamiento seguro y a tiempo desde las zonas expuestas hacia las zonas de seguridad. Así, para este estudio se considera la Oferta de Evacuación Horizontal (OEH) como la capacidad y calidad del sistema de vías de evacuación bajo análisis.

En la actualidad no existen métodos estandarizados para caracterizar la OEH, y su definición en términos de planificación urbana responde fundamentalmente a su disponibilidad, sin mayor espacio para discusión respecto a su capacidad y/o calidad.

Atendiendo la experiencia que han dejado los grandes desastres asociados a tsunami que han ocurrido durante los últimos 15 años en el mundo, los aspectos cuantitativos tales como el tiempo de desplazamiento de las personas desde zonas expuestas hacia las zonas de seguridad, así como la cantidad de vías disponibles para su desplazamiento, han sido los factores considerados con mayor relevancia en la evaluación de la OEH. Sin embargo, la no consideración de sus aspectos cualitativos, podría afectar dramáticamente su funcionalidad.

La eficacia de una vía de evacuación se puede atribuir a una evacuación exitosa en un tiempo menor al de arribo del tsunami. Sin embargo, esto no depende solo de la cantidad de vías disponibles ni de la velocidad de desplazamiento de las personas hasta la zona segura. La calidad de las vías de evacuación es un factor fundamental, que puede ser desglosado en una serie de indicadores cualitativos. Sin embargo, existe una carencia de herramientas de evaluación de la calidad de las vías, dejando un vacío en el análisis de sus aspectos cualitativos específicos. Para este estudio, no se encontró documentación centrada en la caracterización cualitativa de la OEH.

La evaluación cuantitativa y cualitativa de la calidad y capacidad del sistema de vías de evacuación, permite controlar el impacto asociado, integrando la multiplicidad de aspectos que deben ser considerados en la toma de decisiones respecto a la selección, mantención, y optimización de las vías de evacuación horizontal.

4.2.2 ASPECTOS CUALITATIVOS

Los aspectos cualitativos están referidos a los factores de cualidad o calidad de una entidad (RAE, 2015).

Por otro lado, la calidad es una propiedad que existe en una entidad y que puede ser analizada y comparada con otra de la misma especie (RAE, 2015). Sin embargo, es una idea con muchos significados en función de múltiples percepciones respecto de la entidad. En lo concreto, es la evaluación de conceptos cuyo valor no está asociado a un valor numérico.

Tal como se menciona en la sección 4.2.1, el análisis de los aspectos cualitativos es indispensable en el estudio de la funcionalidad de las vías de evacuación. Es importante identificar cuáles son los factores de mayor relevancia en la respuesta las calles frente a la emergencia. Este tipo de análisis, aporta con la ponderación de variables relacionadas con las propiedades y características de la vía, con base en la observación y la percepción del observador.

Actualmente, el Departamento de Protección Civil de ONEMI, cuenta con el plan “ACCEMAR”, el cual propone una metodología para la elaboración de un plan comunal de prevención y respuesta ante un tsunami. Este documento está orientado a entregar una serie de herramientas que permitan abordar los factores de vulnerabilidad asociados a la amenaza de un tsunami (ONEMI, 2001). Sin embargo, no se profundiza en detalle respecto de las herramientas que debe utilizar cada municipio en el manejo de sus propios planes de gestión del riesgo y la evaluación de este mismo.

A continuación se presenta en detalle cada tópico de evaluación que propone esta metodología.

4.2.2.1 Análisis del riesgo y diagnóstico de la realidad actual

Se debe realizar una evaluación entendiendo por riesgo la probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, económicos y ambientales en un lugar dado y durante un tiempo de exposición definido, al producirse una relación entre amenaza y vulnerabilidad. En el caso específico de la metodología propuesta por ONEMI, la amenaza corresponde a la potencial ocurrencia de un tsunami y la vulnerabilidad corresponde al sistema social localizado en la zona bajo la cota de seguridad establecida en el estudio específico de la zona de inundación identificada por el SHOA.

Para una adecuada gestión frente al riesgo de tsunami, ONEMI propone al Comité Local de protección civil que preside el alcalde de cada municipio como ente encargado de considerarlo en la planificación integral de protección civil de la comuna. De este modo, el comité está encargado de iniciar y regular un proceso específico de microzonificación de riesgos y de recursos frente a la amenaza de tsunami, con uso de la Metodología AIDEP, la cual comprende las siguientes etapas (ONEMI, 2001):

- Análisis Histórico
- Investigación Empírica o en Terreno
- Discusión de Prioridades
- Elaboración de la Cartografía
- Planificación

Para el cumplimiento adecuado de las etapas A-I (Análisis Histórico e Investigación Empírica o en Terreno), los estudios que el SHOA haya realizado sobre la localidad, prevalecen como base sustantiva, incluida la respectiva carta de inundación frente a tsunami.

Además, para efectos del diagnóstico de la realidad, se sugiere considerar los siguientes indicadores globales:

- Identificar los componentes del sistema social que se encuentran en la zona de inundabilidad, determinada por el estudio del SHOA (Establecimientos de Salud, Educativos, Protección Civil, Hogares, Jardines Infantiles, Etc.)
- Determinar el grado de riesgo de cada uno de los sectores que se encuentran dentro de la zona de inundabilidad, fundamentalmente de acuerdo a la cantidad de personas que habitan por manzana. De esta manera, se puede identificar las unidades vecinales y manzanas más vulnerables que otras.
- Determinar las zonas o sectores de seguridad, vale decir, aquellos fuera del área inundable.
- Determinar las vías expeditas de evacuación.
- Determinar los recursos (instalaciones, servicios básicos, escuelas, organismos de respuesta, etc.), de las áreas seguras.
- Examinar el máximo de información disponible sobre los efectos de los tsunamis en infraestructuras y terrenos, para evaluar el comportamiento histórico de olas de gran altura sobre las áreas que han impactado

4.2.2.2 Planificación integral

El plan frente al riesgo de tsunami, debe proponer acciones para todas las etapas del ciclo de manejo del riesgo, identificando actividades de corto, mediano y largo plazo, que permitan potenciar el uso del espacio, reducir la vulnerabilidad de la población e incorporarse al “plan integral de protección civil comunal”, a fin de mantener su armonía y, por tanto, perfeccionar el uso racional de los recursos (ONEMI, 2001).

Además, el plan de respuesta o de emergencia debe elaborarse y ejercitarse en la etapa de preparación del ciclo metodológico para el manejo del riesgo (ver **Anexo G**) y su objetivo es optimizar las operaciones de control del evento de emergencia o desastre, mediante una adecuada coordinación entre los roles y competencias de los organismos del sistema de protección civil responsables de tales operaciones.

Para tal efecto, ONEMI dispone de la Metodología “ACCEDER”, destinada a orientar la generación de planes específicos de respuesta. Esta metodología está compuesta de las siguientes etapas:

- Alerta / Alarma
- Comunicación (Información)
- Coordinación (Roles, Funciones, Mando)
- Evaluación Preliminar
- Decisiones
- Evaluación Complementaria
- Readecuación del Plan

4.2.3 ASPECTOS CUANTITATIVOS

El concepto de cualitativo está referido a la cantidad o número de algo. Cualquier cosa que se pueda medir mediante un valor numérico, se puede asociar a un aspecto cualitativo (RAE, 2015).

A diferencia del análisis cualitativo, lo relevante del análisis cuantitativo es la determinación de una cantidad y no la evaluación de la calidad, como por ejemplo la cantidad de vías o calles cercanas para una eventual evacuación.

Como se menciona en la sección 4.2.2, la metodología ACCEMAR no cuenta con una propuesta precisa en cuanto a la cuantificación de los factores relacionados con la evaluación del riesgo y, en el marco específico de esta investigación, tampoco presenta herramientas para la evaluación de las vías de evacuación y su correcta planificación.

Cabe resaltar, que esto se puede identificar en la comparación de la planificación de las vías de evacuación ante tsunamis de las distintas regiones de Chile. Esto se materializa en una disfuncionalidad entre cada plan de protección, generando grandes diferencias entre ellos. En el caso particular de esta tesis, se logró identificar una serie de problemas en la planificación de las vías horizontales de cada ciudad. En el caso de Valparaíso, se logró identificar serios problemas en la confiabilidad de las vías respecto a las malas condiciones de las vías como tal, además de posibles derrumbes entre otros. En el caso de Viña del Mar, presenta serios problemas en los tiempos de desplazamiento desde la línea de costa a las zonas de seguridad y poca claridad respecto del comportamiento del flujo del tsunami por el estero (pudiendo inundar algunas de las vías de evacuación cercanas).

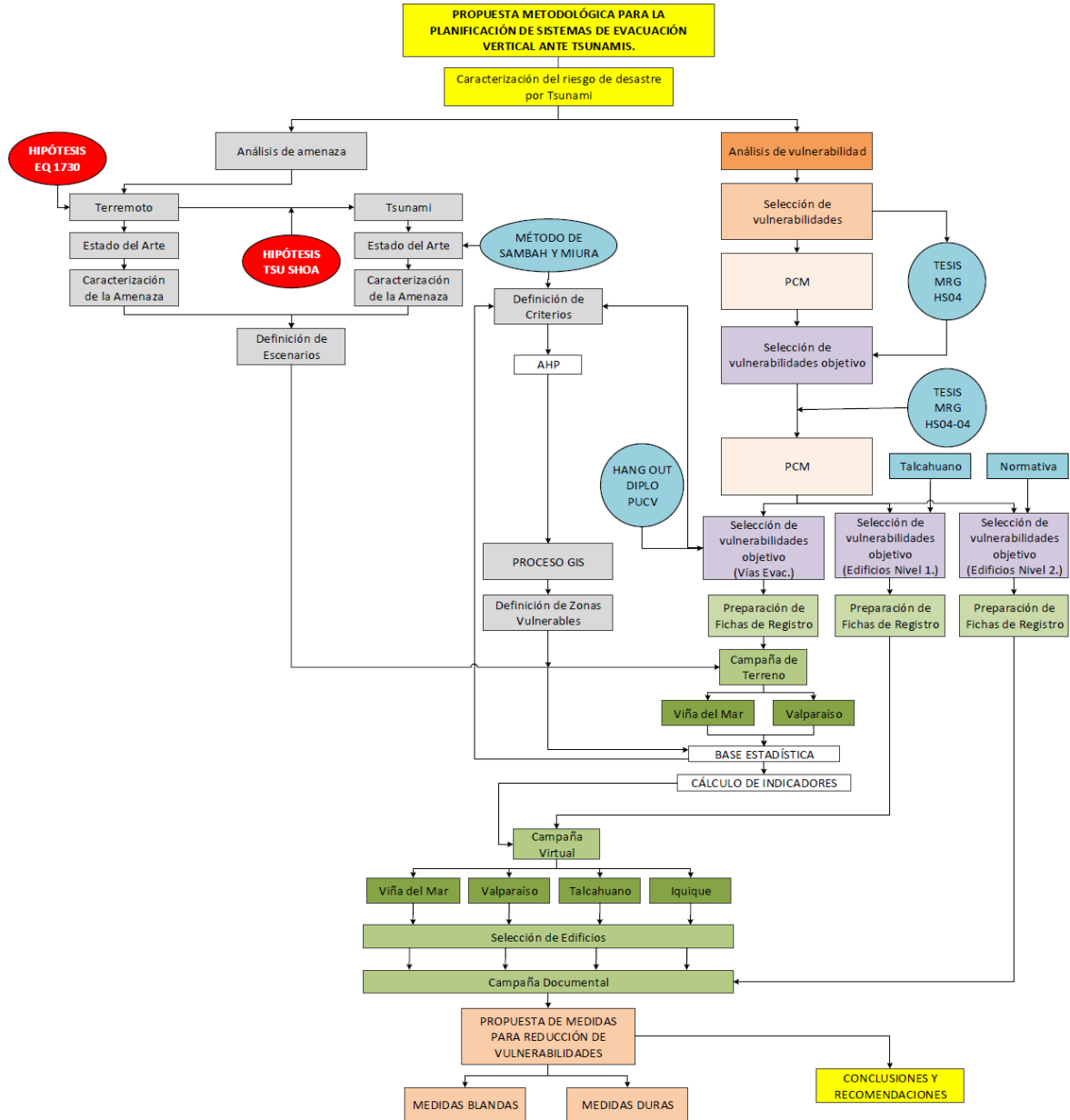
Considerando lo anterior, es posible inferir que la ausencia de herramientas que permitan una uniformidad en las estimaciones cuantitativas de los factores de vulnerabilidad de las vías ante la amenaza de tsunamis, se ven reflejadas en este tipo de problemáticas, lo que

hace indispensable, la implementación de una metodología de mayor eficacia y versatilidad para todas las partes involucradas.

5 METODOLOGÍA PROPUESTA

A continuación se presenta el mapa conceptual bajo el cual se enmarca esta tesis. Cabe mencionar, que la Figura 3 muestra el mapa conceptual de la totalidad de la investigación, siendo esta tesis una parte de ella.

Figura 3: Mapa conceptual correspondiente a la línea de investigación de la tesis.



Fuente: Elaboración propia.

El proyecto de investigación general contempla la elaboración de lineamientos y una serie de herramientas de apoyo para la planificación de los sistemas de evacuación, en un contexto de mejora de la gestión del riesgo de desastres por tsunamis en Chile.

Este trabajo en particular, tiene como objetivo generar y proponer una metodología de evaluación de los sistemas de evacuación mediante la integración de herramientas de decisión (AHP) y una serie de lineamientos para el desarrollo de un estudio de impacto eficaz en la caracterización de la vulnerabilidad.

La primera etapa de esta metodología consiste en el análisis de la amenaza mediante una recopilación de antecedentes históricos y técnicos de los eventos sísmicos de mayor relevancia para efectos de la definición del peor escenario de desastre.

La segunda etapa consta de un análisis en detalle del nivel de impacto en un escenario de desastre por tsunami mediante la caracterización de la vulnerabilidad humana y la definición de la oferta de evacuación horizontal y vertical disponible en la zona de estudio como resultado de una evaluación de la calidad de las vías de evacuación.

Finalmente se realizó un balance de oferta/demanda con el fin de verificar si la oferta de evacuación satisface la demanda de personas ante la inundación del tsunami.

5.1 CIUDAD OBJETIVO

Iquique es la capital administrativa de la 1^{ra} Región de Tarapacá, situada en 20,2 °S y 70.1 °W (ver Figura 3). Con una población total de alrededor de 186.000 personas, es la ciudad más extensa de la región. La fuerza de trabajo se compone de cerca de 87.000 personas, que representan el 46% de la población total (INE, 2014).

Figura 4: Ubicación del sitio de estudio.



Fuente: Google Earth.

La economía de la ciudad es sobre todo comercial, seguido por la minería, la construcción y la pesca, entre otras formas de actividad económica. El puerto tiene un papel importante en la economía local, como una conexión con el mundo de la importación y exportación de mercancías, contando con tres puertos en la región correspondientes a Arica, Iquique y Patillos. Cabe resaltar, que gran parte del comercio internacional que se lleva a cabo en Iquique, se realiza a través de la ZOFRI (Zona Franca de Iquique).

Además, la Zona Franca de Iquique es el mayor empleador de la ciudad, con casi 36.000 trabajadores directa e indirectamente relacionados con su actividad (ZOFRI S.A., 2013).

5.2 ESTUDIO DE AMENAZA

5.2.1 ZONAS EXPUESTAS

Con el objetivo de determinar las zonas más vulnerables ante un eventual tsunami, se identificaron las zonas inundables de la ciudad de Iquique mediante la carta de inundación desarrollada por el SHOA. Estas zonas inundables son representadas en la Figura 5, como la superposición de la carta sobre la imagen satelital de Iquique.

Figura 5: Caracterización de las zonas de inundación por tsunami en Iquique.



Fuente: Google Earth y superposición de la carta de inundación SHOA (SHOA, 2012).

Se puede observar que la mayor superficie inundable corresponde a la zona norte de Iquique, con especial énfasis en la ZOFRI, el sector de La Península y playa Cavanha. Estas últimas, son en este trabajo las zonas de estudios.

5.2.2 DEFINICIÓN DE ESCENARIO DE DESASTRE

De acuerdo a los antecedentes y discusiones que se presentan en el **Anexo A**, Iquique se encuentra en una zona donde se puede esperar la ocurrencia de un mega evento sísmico con las condiciones necesarias para generar un tsunami. Considerando esta hipótesis y el comportamiento particular de los terremotos de subducción en Chile, el escenario de desastre (amenaza) puede ser caracterizado de la siguiente forma:

1. Se espera la ocurrencia de al menos un terremoto con magnitud superior a 8.5 [Mw]. Además, se asocia una fuerte agitación en las ciudades costeras producto de su zona de ruptura que se extiende por debajo de la placa occidental Sudamericana y un desplazamiento horizontal y vertical considerable de la línea de costa (Reyes, 2012).
2. Según estudios recientes, este terremoto podría liberar una gran cantidad de energía acumulada entre las placas de acoplamiento, lo que puede generar un desplazamiento significativo del fondo marino en la fosa Chile-Perú (Métois et al., 2013), que a su vez desencadenaría un tsunami de gran impacto. El tiempo de llegada de las ondas destructivas en Iquique dependerá de las características de la ruptura, pero en el peor de los casos puede aproximarse a la línea de costa en menos de diez minutos (Reyes, 2012).

Para efectos de la evaluación de la exposición humana en esta investigación, la zonificación del potencial de inundación se basa en la carta de inundación por tsunami del SHOA, que fue hecha considerando los parámetros sísmicos del terremoto 1877 correspondientes al modelo numérico propuesto por el SHOA.

5.3 ESTUDIO DE IMPACTO

5.3.1 VULNERABILIDADES

5.3.1.1 Descripción general

Con el fin de identificar los actores principales del sistema, se aplicó un procedimiento básico proveniente del *Ciclo de Gestión de Proyecto* (Project Cycle Management, PCM) propuesto por Reyes (2012), el cual dio como resultado la distinción de 16 grupos de interés. Este procedimiento se muestra esquemáticamente en la Figura 6, e implica un análisis de los actores y problemas objetivo. Una vez realizado el análisis de los objetivos,

se propone un estudio detallado de los parámetros extrapolados a partir de los problemas identificados, con el fin de derivar parámetros medibles para vulnerabilidades asociadas. Cabe mencionar que para efectos de esta investigación, el análisis solo se centra en la evaluación de la vulnerabilidad humana, mediante los criterios propuestos por Reyes (2012).

Figura 6: Fase analítica del PCM.



Fuente: Elaboración propia a partir de Reyes (2012).

5.3.1.2 Análisis y selección de principales actores

Según una discusión de se lleva a cabo en la investigación de Reyes (2012), la propuesta para reformar el sistema de gestión de desastres en Chile a través de la creación del *Sistema Nacional de Emergencias y Protección Civil*, es un paso acertado hacia una mejora en la gestión del riesgo de desastres. Sin embargo, existen una serie de problemas políticos, administrativos y técnicos en la gestión del riesgo, que dificultan el mejoramiento del sistema de planificación y respuesta ante desastres

Es primordial que la preparación ante un desastre deba planificarse de tal manera que el orden prevalezca sobre el caos durante y después de la emergencia. En el caso de Chile, existe un sistema institucional relativamente sólido y bien constituido, a pesar de que existen factores que aún están en un proceso de mejora continua. Además, durante los últimos 30 años, los organismos de protección civil del estado han sido reforzados con nuevas tecnologías y la capacitación adecuada, por lo que hay una base administrativa y operativa capaz de sustentar mejoras en el sistema de gestión de desastres.

Considerando lo expuesto anteriormente, Reyes (2012) propone una clasificación de los actores principales (stakeholders) del sistema, distinguiendo su tipología según su ámbito político y administrativo para cada uno de ellos. Esta clasificación se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Definición de los actores principales.

	ORGANIZACIONES		
	COMUNITARIAS	GUBERNAMENTALES	PRIVADAS
ACTORES	Comunidades de los pobladores de Iquique	Gobierno Local	Microempresas (Situadas en Iquique)
	Comunidades de los pobladores de ciudades cercanas a Iquique	Gobierno Local (Ciudades cercanas a Iquique)	Pequeñas y Medianas Empresas de Iquique
	Organizaciones Comunales	Gobierno Regional	Grandes Empresas (Situadas en Iquique)
		Gobierno Nacional	Microempresas (Situadas en las cercanías de Iquique)
		Fuerzas Militares y de Seguridad	Pequeñas y Medianas Empresas en las cercanías de Iquique
			Grandes Empresas en las cercanías de Iquique.
			Organizaciones Científicas/Universidades
			Medios de Comunicación.
			Compañías de Telecomunicaciones
			Empresas no Gubernamentales
		Donantes	

Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación propuesta por Reyes (2012).

Los actores principales involucrados en una estrategia de gestión del riesgo de tsunami, se pueden agrupar como se presenta a continuación en la Tabla 4.

Cabe resaltar ciertos alcances que deben ser considerados para efectos de implementación mejoras en la planificación y diseño de un sistema de gestión del riesgo.

En primera instancia, se puede observar que las líneas de acción y sistemas de operación ante una posible amenaza de desastre, dependen directamente del gobierno en todos sus niveles. Considerando lo anterior, es importante optimizar los procesos relacionados con los sistemas de alarma y prevención (Reyes, 2012). Es por esta razón, que para efectos de un sistema consolidado de gestión del riesgo de desastre, el gobierno debe ser capaz de cohesionar cada uno de los niveles de forma eficiente, en función del flujo de la información, rapidez en la toma de decisiones, entre otros factores que inciden directamente en el sistema mencionado.

Tabla 4: Asignación grupal de los actores.

	ACTORES PRINCIPALES
BENEFICIARIOS	Comunidades de los pobladores de Iquique
	Microempresas (situadas en Iquique)
	Pequeñas y medianas empresas de Iquique
	Grandes empresas (situadas en Iquique)
ORGANISMOS DE EJECUCIÓN / RESPONSABLES POLÍTICOS	Gobierno local
	Gobierno local (Ciudades cercanas a Iquique)
	Gobierno regional
	Gobierno nacional
ORGANISMOS FINANCIADORES	Gobierno local
	Gobierno regional
	Gobierno nacional
	Donantes
ENTIDADES COLABORADORAS / ACTORES PERJUDICADOS	Organizaciones científicas/universidades
	Medios de comunicación
	Compañías de telecomunicaciones
	Empresas no gubernamentales
	Donantes
OPOSITORES PRINCIPALES	Microempresas (situadas en Iquique)
	Pequeñas y medianas empresas de Iquique
	Grandes empresas (situadas en Iquique)

Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación propuesta por Reyes (2012).

Otro aspecto relevante es la presencia de empresas privadas, así como en la ciudad analizada o en sus alrededores que pueden convertirse en un aporte al desarrollo y mejoramiento del sistema de gestión del riesgo.

Para las partes interesadas propuestas se realizó un análisis FODA, con el objetivo de identificar las fuerzas, debilidades, oportunidades y amenazas para cada una de ellas. Los resultados se pueden revisar en el **Anexo C**.

Tal como menciona Reyes (2012), en condiciones óptimas, el análisis FODA debe realizarse como un trabajo comunitario donde se vean involucrados varios profesionales en distintas especialidades con el fin de abrir un poco más el espectro de visiones respecto de la evaluación que se está llevando. Sin embargo, para efectos de esta investigación, el análisis FODA realizado, cumple la finalidad de ser una herramienta preliminar para la evaluación del sistema en cuestión.

Según los resultados obtenidos, cabe mencionar que las fortalezas más citadas son las "bases institucionales y legales", seguido de la "experiencia en simulacros de evacuación ante un tsunami". De la misma manera, las debilidades más citadas son "La falta de estudios oficiales sobre riesgo de desastre", seguido de "fondo financiero débil" y "falta de habilidades técnicas en la planificación y/o gestión de riesgos".

Con respecto a las oportunidades, la más citada corresponde a "La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas", seguido de la "flexibilización de los procesos con el fin de ser capaz de preparar o adaptarlo para escenarios de desastre". Por último, para el caso de las amenazas, la principal es la "Falta de preparación que puede retrasar el proceso de toma de decisiones/acciones a tomar", y es seguida por "La reducción de los recursos financieros". De lo expuesto en el FODA, claramente se puede observar que para generar una fuerte estrategia de mitigación del riesgo de tsunami para Iquique, los principales esfuerzos deben concentrarse en medidas blandas, especialmente las relacionadas con la cultura, educación y el conocimiento de los posibles escenarios de desastre.

5.3.1.3 Análisis y selección de problemas

Para la identificación y análisis de los problemas, se utilizó una clasificación de la sistematización de los daños debido a un escenario de desastre propuesta por Reyes (2012) en base a la *Prefectura de Prevención de Desastres de Terremotos de Yamaguchi* (2008).

Esta sistematización se divide en varios aspectos, como factores naturales, humanos, entre otros, y se consideran como un punto de partida para la posterior evaluación del riesgo asociado a cada uno de ellos.

La Tabla 5 muestra en detalle los posibles problemas asociados a un escenario de desastre. Cabe mencionar que para efectos de esta investigación, solo se sistematizan las vulnerabilidades en función del sufrimiento humano, que es parte de los objetivos principales de esta tesis.

Tabla 5: Sistematización de daños propuesta en "Estimación de daños del terremoto en la prefectura de Yamaguchi".

Entrada de fenómenos naturales	Movimientos de suelo Licuefacción Derrumbes tsunamis
Daños estructurales	Daños por pandeo, licuefacción, derrumbes, tsunami daños por incendio
Sufrimiento humano	Por colapso de las estructuras Gente que necesita ayuda durante el desastre Personas atrapadas bajo escombros Personas alcanzadas por el tsunami
Daño a instalaciones de servicios básicos	Sistema de suministro de agua Sistema de alcantarillado Sistema de suministro de electricidad Sistema de comunicaciones Sistema de suministro de gas natural
Daño a instalaciones de transporte	Carreteras Ferrocarriles Puertos Aeropuertos
Dificultades de vida de las personas	Personas evacuadas Extranjeros estancados Escasez de suministros de energía Baja en servicios sanitarios Dificultades en la funcionalidad del sistema médico
Daño a otras instalaciones	Áreas industriales Áreas comerciales Asentamientos aislados Instalaciones importantes Estanques y reservas Residuos producto del desastre

Fuente: Elaboración propia a partir de Reyes (2012).

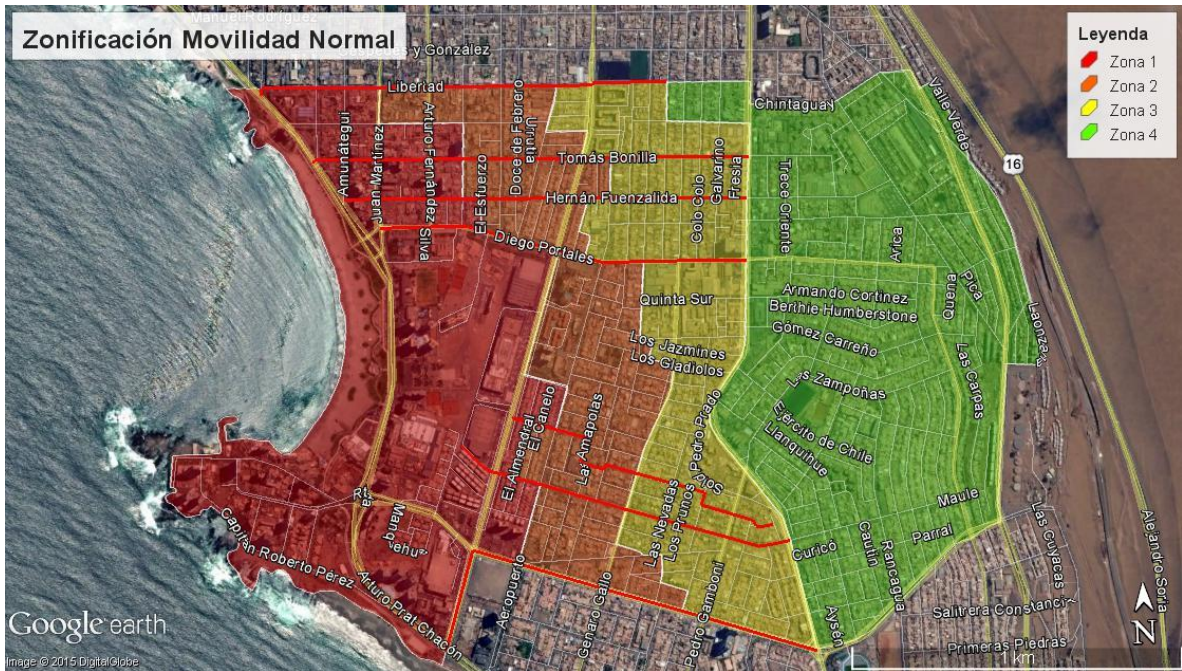
5.3.2 CRITERIOS DE ZONIFICACIÓN

5.3.2.1 Zonificación por tiempos de arribo a zona de seguridad

La zonificación por tiempos de arribo se hizo con base en la delimitación de las zonas expuestas en función del tiempo de recorrido de una persona desde un punto de la vía de evacuación, hasta su zona de seguridad o punto de encuentro. Para la delimitación de las zonas, se trabajó en función de una velocidad promedio de desplazamiento de las personas, con la cual se puede simplificar el comportamiento individual en un comportamiento representativo del total de la población expuesta.

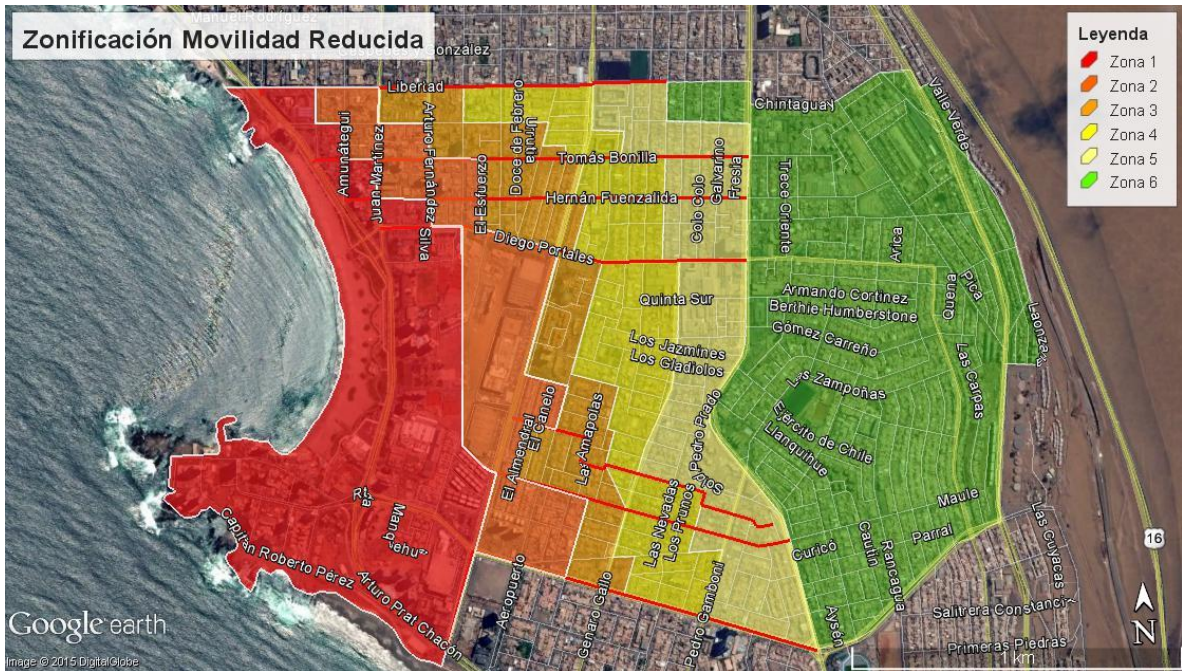
Las velocidades promedio utilizadas para efectos de este estudio son de 1,50 [m/s] para una persona de movilidad normal (velocidad promedio obtenida en terreno) y 0,89 [m/s] para una persona de movilidad reducida (velocidad promedio propuesta por la FEMA (2008)). Los criterios de selección de estas velocidades se pueden revisar en mayor detalle en el **Anexo I**. En la Figura 7 y Figura 8, se presentan los mapas de zonificación de tiempos de arribo a zonas seguras para los casos de movilidad normal y reducida respectivamente.

Figura 7: Zonificación por tiempo de arribo a zona segura en función de movilidad normal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8: Zonificación por tiempo de arribo a zona segura en función de movilidad reducida.



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se muestra los tiempos de desplazamiento de una persona de movilidad normal donde las zonas fueron delimitadas bajo los siguientes criterios:

- Zona 1 (roja) corresponde al área en la cual a la persona le toma entre 10 a 15 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 2 (salmón) corresponde al área en la cual a la persona le toma entre 5 a 10 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 3 (amarilla) corresponde al área en la cual a la persona le toma menos de 5 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 4 (verde) corresponde al área en la cual a la persona se encuentra en la zona de seguridad o resguardo ante la inundación del tsunami.

Por otro lado, en la Figura 8 se muestra los tiempos de desplazamiento de una persona de movilidad reducida donde las zonas fueron delimitadas bajo los siguientes criterios:

- Zona 1 (roja) corresponde al área en la cual a la persona le toma más de 30 a 20 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 2 (salmón) corresponde al área en la cual a la persona le toma entre 20 a 15 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 3 (naranja) corresponde al área en la cual a la persona le toma entre 15 a 10 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 4 (amarilla) corresponde al área en la cual a la persona le toma entre 10 a 5 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 5 (pastel) corresponde al área en la cual a la persona le toma menos de 5 [min] desplazarse desde un punto dentro de dicha área a la zona de seguridad (Zona verde).
- Zona 6 (verde) corresponde al área en la cual a la persona se encuentra en la zona de seguridad o resguardo ante la inundación del tsunami.

Aunque en este trabajo se consideran velocidades de desplazamiento, es importante mencionar que para efectos de la planificación de los sistemas de evacuación, se debería considerar el caso más conservador. Gran cantidad de la población corresponde a personas de tercera edad e infantes (INE, 2008), que también integran el grupo

clasificación de personas de movilidad reducida (además de las personas que presentan algún tipo de discapacidad). De acuerdo a este criterio de seguridad, se considera la zonificación en función del tiempo de desplazamiento de una persona con movilidad reducida, como el escenario más conservador y de mayor factor de resguardo.

5.3.2.2 Zonificación por distribución de densidades de población

En segunda instancia, se dividió cada zona en tres subzonas para poder asignar una distribución de densidad de población en función de un criterio generado y adaptado para la zona de estudio (ver **Anexo I**). Además se consideraron tres escenarios de ocurrencia de la inundación por tsunami, con el objetivo de sensibilizar el nivel de impacto y compararlo entre ellos. Los escenarios de tiempo de ocurrencia y la asignación de densidades por zona se presentan en la Tabla 6 y Tabla 7. Las zonificaciones por densidad de pueden revisar en las figuras a continuación.

Tabla 6: Escenarios de tiempo de ocurrencia de la inundación por tsunami.

TIEMPO DE OCURRENCIA	ESCENARIO
T ₁	Invierno - Día
T ₂	Verano - Día
T ₃	Verano - Noche

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Asignación de densidades por zona y momento de ocurrencia.

DISTRIBUCIÓN DE DENSIDAD POR ZONA Y ESCENARIO				
ZONA	SUBZONA	DENSIDAD		
		T1	T2	T3
Z1	Z1-1	1	4	4
	Z1-2	1	4	2
	Z3-3	1	2	2
Z2	Z2-1	1	1	1
	Z2-2	1	1	1
	Z2-3	1	1	1
Z3	Z3-1	1	1	1
	Z3-2	1	1	1
	Z3-3	1	1	1
Z4	Z4-1	1	1	1
	Z4-2	1	1	1
	Z4-3	1	1	1

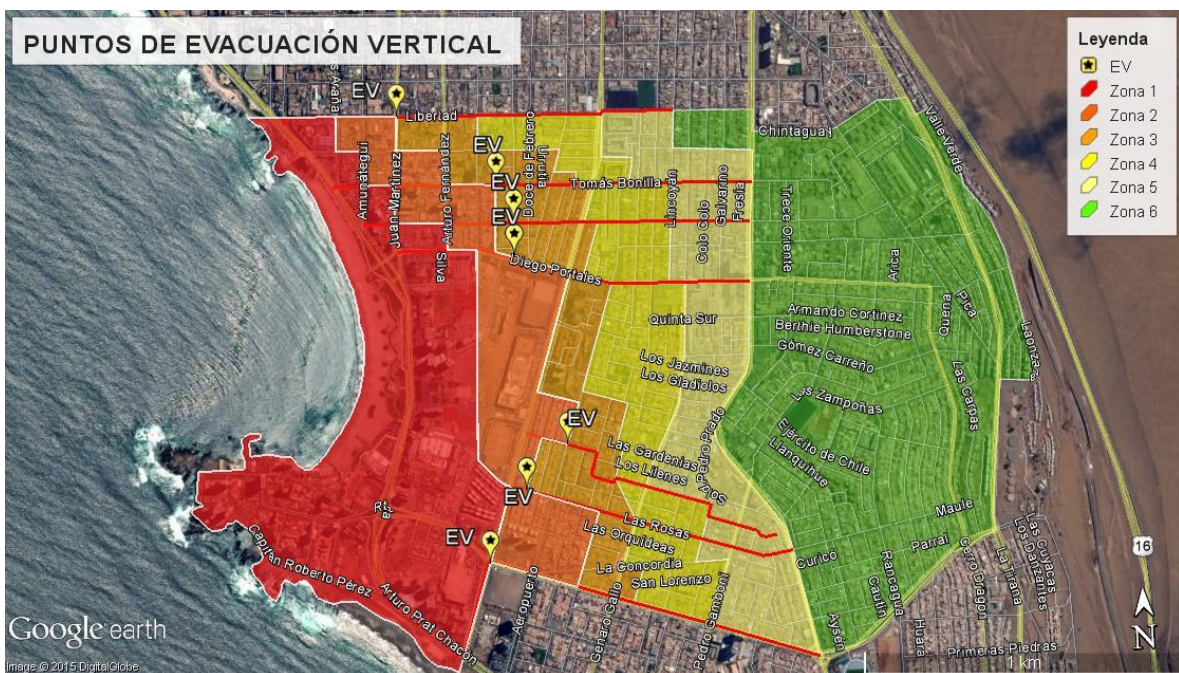
Fuente: Elaboración propia.

vertical en la planificación de los sistemas de evacuación, como parte de la composición total de la oferta de evacuación.

Para la selección de los puntos de evacuación vertical (PEV), se consideró el tiempo de arribo de tsunami del 16 de septiembre (12 min.), aplicando un factor de seguridad de 1,2 de manera más conservadora. Finalmente resulta un tiempo de arribo de tsunami de 10 minutos (tiempo de arribo considerado sobre las vías EH), el cual fue utilizado para identificar los PEV a lo largo de las vías de evacuación horizontales. Sin embargo, existen incertidumbres asociadas al comportamiento de las personas que evacúan ya que solo se consideran un desplazamiento lineal y no en forma de zigzag.

A continuación se presenta la zonificación de evacuación vertical en base a los criterios mencionados anteriormente.

Figura 12: Puntos de evacuación vertical (PEV).



Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EH

5.3.3.1 Definición de la Oferta de EH en Iquique

Con el objetivo de estudiar las vías de evacuación horizontales (VEH), se propone una metodología para su evaluación, abarcando una serie de aspectos cualitativos que

pueden ser fundamentales en la percepción de la calidad de las vías. Para efectos de esta investigación, se considera que la calidad de la vía de evacuación horizontal está sujeta a dos aspectos de calidad complementarios:

- Susceptibilidad de bloqueo
- Confiabilidad de las vías

El estudio de estos aspectos mediante sus respectivos parámetros y su integración en el análisis de las vías, potencia su observación y destaca sus cualidades más relevantes respecto de la funcionalidad de cada una de las VEH, así como pone en evidencia disfuncionalidades que pueden llegar a ser críticas en la respuesta de las vías (ver Figura 13).

Figura 13: Ejemplo de vía de evacuación, calle Rodríguez, Iquique.



Fuente: Google Street View.

Observaciones: Los círculos amarillos identifican posibles problemas relacionados con la susceptibilidad de bloqueo y la confiabilidad de la vía de evacuación. De izquierda a derecha, se observa un posible colapso del tendido eléctrico, elementos sobresalientes como obstáculos en un posible escenario de evacuación y mala calidad del pavimento de la calle. Además, se destaca una posible amenaza de explosión con un círculo rojo sobre una estación de combustible. Estos elementos se destacan como parte de una serie de aspectos cualitativos asociados a la calidad de la vía de evacuación.

La aplicación y verificación de esta metodología se llevó a cabo mediante observación in situ en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar. Con un equipo de evaluadores conformado por 20 estudiantes de la escuela de Ingeniería Civil Oceánica, además del profesor guía de este proyecto de investigación, se realizó una campaña consistente en la

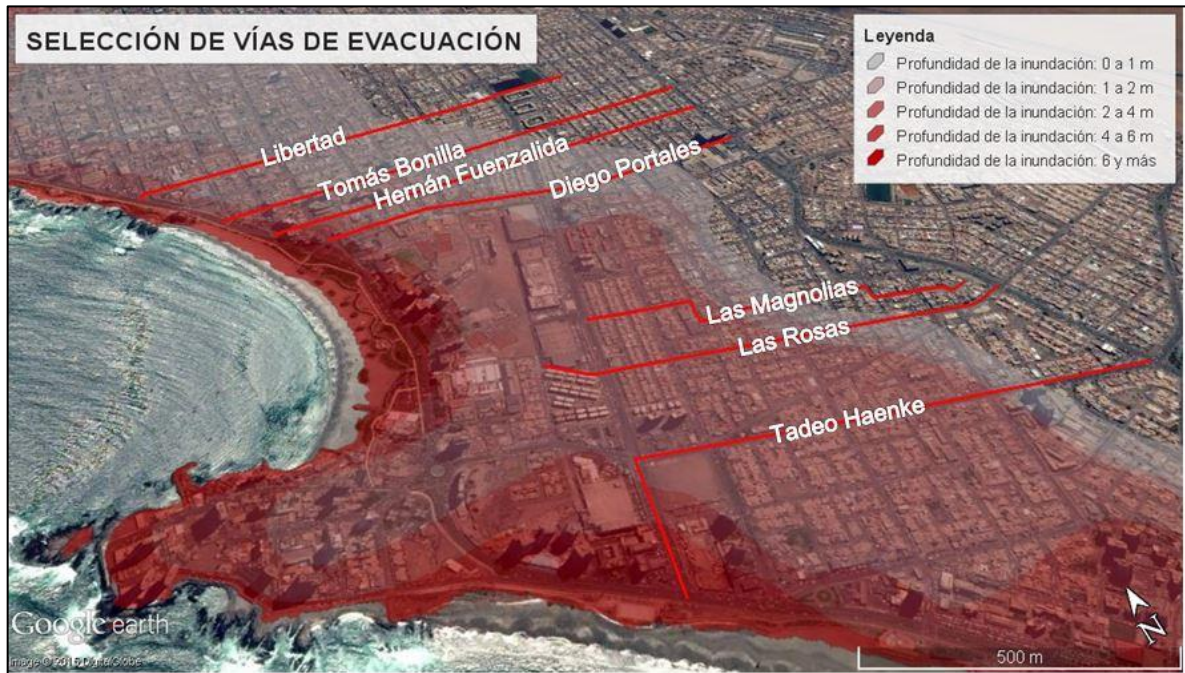
evaluación de las vías de evacuación horizontales establecidas por los planes de prevención locales de Valparaíso y Viña del Mar. Con ello, se pudo desarrollar y testear una herramienta para poder cuantificar la susceptibilidad de bloqueo de las vías de evacuación y su confiabilidad, considerando una serie de parámetros propuestos para su observación y calificación en terreno. Se definieron 5 grupos de 4 integrantes, en donde se simularon los tiempos de desplazamiento de una persona sin discapacidad, una persona con discapacidad visual y un lazarillo, desplazándose desde las zonas expuestas en la costa hacia las zonas de seguridad oficiales. Luego de esto, los grupos ejecutaron el recorrido de vuelta, realizando las observaciones pertinentes en base a la pauta de evaluación (ver **Anexo D**) como parte del material elaborado para este proyecto.

Es importante destacar que con esta metodología, se aborda la problemática expuesta en la sección 4.2.1, integrando en el análisis y caracterización de la OEH, aspectos que no pueden ser estimados mediante un análisis cualitativo. Considerando lo anterior, se establece la hipótesis de que, la caracterización de la OEH puede ser mejor abordada desde este punto de vista, ya que se puede generar un balance más claro de los parámetros relacionados con la funcionalidad de las VEH en base a la asignación de valores peso para, finalmente ponderarlos de manera global.

Luego de testear la herramienta de evaluación, se aplicó a la ciudad objetivo de esta investigación (Iquique), efectuando las observaciones pertinentes mediante la exploración de las VEH con el software Google Earth. Para efectos del análisis y caracterización de la OEH, se seleccionaron 7 calles en el sector de playa Cavancha, en base a la zonificación presentada en la sección 5.3.2.

A modo de alcance, se debe tener en consideración, que la evaluación de las VEH fue efectuada por el autor de este trabajo, con el objetivo de aplicar la metodología y obtener una primera aproximación respecto de la planificación de las vías en la ciudad de Iquique. Sin embargo, el análisis cualitativo queda sujeto a la percepción del evaluador, por lo que para obtener un resultado más objetivo, es necesario contemplar en el proceso de evaluación, un equipo de evaluadores expertos en distintas áreas de la gestión del riesgo de desastres asociados al impacto de un tsunami. La expertiz del equipo, es fundamental en la percepción de la confiabilidad y la susceptibilidad, y para la asignación objetiva de los valores peso en cada una de las variables estipuladas en la caracterización de la OEH.

Figura 14: Selección de vías de evacuación EH.



Fuente: Elaboración propia.

Para complementar el análisis cualitativo, se evaluaron los tiempos máximos de desplazamiento desde las zonas costeras hacia las zonas de seguridad de cada vía de evacuación, considerando las velocidades propuestas en este trabajo (ver **Anexo I**) para personas de movilidad normal y movilidad reducida. Estos resultados se pueden revisar en la Tabla 8.

Tabla 8: Distancias máximas y tiempos máximos de desplazamiento desde la costa hacia a las zonas de seguridad de las vías EH.

DISTANCIAS MÁXIMAS Y TIEMPOS MÁXIMOS DE RECORRIDO DE LAS VÍAS EH					
Ruta de evacuación	Distancia [m]	Vel. normal [m/s]	Vel. mov. reducida [m/s]	Tiempo normal[min]	Tiempo mov. reducida[min]
Libertad	1264	1,5	0,89	14	24
Hernán Fuenzalida	1225	1,5	0,89	14	23
Tomás Bonilla	1329	1,5	0,89	15	25
Diego Portales	1126	1,5	0,89	13	21
Las Magnolias	1000	1,5	0,89	11	19
Las Rosas	1100	1,5	0,89	12	21
Tadeo Haenke	1410	1,5	0,89	16	26

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.2 Aspectos cuantitativos y escalas de evaluación

En primera instancia se desarrolló un indicador de control, con el objetivo de establecer un criterio base para cuantificar la capacidad de las vías de evacuación y apoyar la toma de decisiones en su planificación. Básicamente, este indicador actúa como un balance entre la OEH y la DEH (Demanda de Evacuación Horizontal), que es el requerimiento de la vía de evacuación según la densidad de la población en su radio efectivo, con el fin de establecer si el número de vías de evacuación disponibles en la ciudad es “suficiente” o “insuficiente” en relación a dicho balance.

Considerando lo anterior, se presenta a continuación la expresión matemática del indicador “capacidad de las vías”:

Ecuación 1: Capacidad de las vías de evacuación.

$$\text{Capacidad de las vías} = \frac{\text{Oferta EH}}{\text{Demanda EH}}$$

Luego,

- Si *Capacidad de las vías* ≥ 0 , entonces el balance favorece a la oferta EH. Lo que significa, que existe una mayor cantidad de vías disponibles en relación al requerimiento de personas en un radio efectivo estipulado.
- Si *Capacidad de las vías* $\cong 1$, entonces el balance es equitativo. Lo que significa, que existe igual cantidad de vías disponibles en relación al requerimiento de personas en un radio efectivo estipulado.
- Si *Capacidad de las vías* $\cong 0$, entonces el balance favorece a la Demanda EH. Lo que significa, que existe una mayor cantidad de personas que requieren evacuación en relación al requerimiento de vías de evacuación disponibles.

Para efectos del análisis cuantitativo, existen muchas incertidumbres respecto de cómo representar debidamente la demanda EH ya que está asociada a un flujo de personas con distintas capacidades en su movilidad, además de otros factores relacionados con la respuesta de las personas frente a un escenario de evacuación ante tsunami. En efecto, para poder estimar la demanda EH habría que recurrir a complejos modelos que representen este flujo de personas y determinar finalmente la cantidad de usuarios para cada vía en un radio efectivo, lo que se asocia a un problema dinámico de alta complejidad.

De esta manera, la metodología apunta al análisis cualitativo por el hecho de simplificar en análisis e integrar factores y propiedades de las vías que no son detectables en un análisis cuantitativo.

5.3.3.3 Aspectos cualitativos y escalas de evaluación

En materia de gestión del riesgo de desastres es fundamental entender la interacción de conceptos como amenaza, susceptibilidad, confiabilidad, entre otros, y como estos se reflejan en la estimación total del riesgo.

Para estimar el riesgo, es posible establecer una serie de factores y subfactores que ayuden en el análisis y caracterización de la amenaza y la vulnerabilidad. Es justamente que, para efectos de este trabajo, se propone la evaluación de la confiabilidad y la susceptibilidad como dos subfactores del riesgo, en la caracterización de la vulnerabilidad humana (entendiendo que la vulnerabilidad es un factor del riesgo).

La susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento ocurra bajo un análisis espacial (Soldano, 2009). Entendiendo esto, la susceptibilidad está directamente relacionada con la vulnerabilidad, ya que ser vulnerable implica ser susceptible de sufrir daño y tener dificultad en recuperarse de ello (Chardon, 2002).

Por otro lado, la confiabilidad se define como la probabilidad de que un factor, componente, dispositivo, equipo o sistema desempeñe satisfactoriamente sus funciones, por un espacio de tiempo dado y bajo un determinado conjunto de condiciones operativas (Cicco, 1980).

La susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad de una vía de evacuación, son factores determinantes en la percepción del riesgo y la evaluación de este mismo. Ambos factores están íntimamente relacionados en la toma de decisiones. Dicho de una manera más específica, si una ruta de evacuación es altamente susceptible al bloqueo entonces deja de ser una vía confiable y por ende es más vulnerable ante la amenaza de la inundación por tsunami.

En caso hipotético de desastre, una persona se verá enfrentada a tomar decisiones relacionadas con seguir la mejor ruta de evacuación que le lleve a la zona de seguridad. Si una ruta establecida no es perceptivamente confiable para la persona, entonces existe la posibilidad de que llegue a tomar decisiones que pueden no ser las adecuadas para su exitosa evacuación, aumentando su vulnerabilidad humana ante la amenaza de inundación por tsunami.

Para efectos de esta investigación, se propuso dos escalas cualitativas para la caracterización de la confiabilidad y la susceptibilidad de bloqueo de cada una de las vías de evacuación horizontal. Cabe resaltar que los valores peso en escalas cualitativas

propuestas en esta investigación fueron revisadas con el profesor guía de este trabajo y su aplicación es perceptiva. Es por esta razón, que resulta prudente que el análisis sea efectuado por personas con experiencia en el área de riesgo de desastres, con el fin de caracterizar de mejor manera el impacto.

Las escalas de evaluación utilizadas se presentan en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9: Escala cualitativa de impacto por susceptibilidad de bloqueo de la vía horizontal.

Escala Cualitativa de Impacto por Susceptibilidad de Bloqueo		
<i>Factor</i>	<i>Juicio</i>	<i>Descripción</i>
1	No Susceptible	La vía no presenta ningún elemento que pueda generar un bloqueo en escenario de desastre.
2	Baja Susceptibilidad	Muy pocos elementos que pueden generar un bloqueo de la vía en escenario de desastre.
3	Susceptibilidad Media	Pocos elementos que pueden generar un bloqueo de la vía en escenario de desastre.
4	Alta Susceptibilidad	Cantidad considerable de elementos que pueden generar un bloqueo de la vía en escenario de desastre.
5	Muy Alta Susceptibilidad	Muchos elementos que pueden generar un bloqueo de la vía en escenario de desastre.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10: Escala cualitativa de impacto por confiabilidad de la vía horizontal.

Escala Cualitativa de Impacto por Confiabilidad		
<i>Factor</i>	<i>Juicio</i>	<i>Descripción</i>
5	No Confiable	La vía presenta una alta cantidad de disfuncionalidades en caso de evacuar.
4	Baja Confiabilidad	La vía presenta una cantidad considerable de disfuncionalidades en caso de evacuar.
3	Confiabilidad Media	La vía presenta una cantidad reducida de disfuncionalidades en caso de evacuar.
2	Alta Confiabilidad	La vía presenta mínimas disfuncionalidades en caso de evacuar.
1	Muy Alta Confiabilidad	La vía no presenta disfuncionalidades en caso de evacuar.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.4 Definición de criterios

La evaluación fue estructurada por dos aspectos cualitativos propuestos, con el objetivo de caracterizar la confiabilidad y la susceptibilidad de bloqueo de la vía de evacuación horizontal, cada uno de ellos, mediante la ponderación de una serie de parámetros específicos. Cabe resaltar, que estos factores fueron generados como parte de las herramientas de planificación propuestas en este proyecto.

La descripción detallada de los criterios propuestos, se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11: Factores de evaluación de las vías de evacuación horizontales.

FACTORES	PARÁMETROS
CONFIABILIDAD DE LA VÍA	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas • Tiempo de desplazamiento desde la zona inundable a la zona segura • Ancho útil para desplazamiento • Pendiente (Pronunciada) • Señalética disponible durante el recorrido • Evacuación de personas con movilidad reducida • Evacuación en escenario nocturno
SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO	<ul style="list-style-type: none"> • Escombros • Congestión Vehicular • Incendios y/o explosiones • Desbordamiento de cauces, ríos y/o esteros • Atochamiento de personas debido a estrechamientos • Atochamiento de personas en horario peak o en situaciones de afluencia masiva de personas. • Atochamiento de personas en temporada de verano • Colapso de tendido eléctrico

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.5 *Extrapolación de las velocidades de desplazamiento en la evaluación de las vías de evacuación horizontales de Iquique*

En base a la evaluación implementada en terreno y los datos obtenidos en Viña del Mar, se determinó una velocidad media de desplazamiento de una persona normal y una persona de movilidad reducida. Los valores obtenidos fueron validados con las recomendaciones de la Federal Emergency Management Agency (FEMA, 2009). De esta manera se pudo obtener un tiempo aproximado de desplazamiento para alcanzar la zona de seguridad de cada vía de evacuación establecida por el plan de protección civil (ONEMI, 2013).

Tabla 12: Cuadro comparativo de velocidades de desplazamiento.

Persona	Terreno	FEMA
<i>Movilidad Normal</i>	1.50 [m/s]	1.78 [m/s]
<i>Movilidad Reducida</i>	1.11 [m/s]	0.89 [m/s]

Fuente: Datos obtenidos de la campaña de terreno.

Luego, se utilizó Google Street View como herramienta de teleobservación, para aplicar la misma evaluación de las vías de evacuación horizontal, propuestas y probadas en las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar.

Se observó que las velocidades estimadas en terreno son bastante similares a las velocidades propuestas por la FEMA. Sin embargo, para efectos de diseño, el nivel de

exigencia y los factores de seguridad asociados al estudio de planificación, será determinante en la elección de la velocidad de desplazamiento utilizada.

Para efectos de este estudio, se consideró las velocidades obtenidas en terreno para el desplazamiento de una persona con movilidad normal y las velocidades propuestas por la FEMA para el desplazamiento de una persona con movilidad reducida. Los valores estimados se pueden revisar en la Tabla 12. Sin embargo, resulta interesante observar que para efectos de una persona con movilidad normal, la velocidad propuesta por la FEMA es mayor a la obtenida como promedio de las velocidades en terreno. Mientras que para el caso de la persona con movilidad reducida, la velocidad propuesta por la FEMA resulta ser más conservadora en comparación con la velocidad promedio resultante de la experiencia en terreno.

5.3.4 PONDERACIÓN DE VARIABLES EH

Una vez establecidos los criterios de evaluación de las vías, se aplicó un AHP a sus aspectos de susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad. Con esto, se logra identificar los aspectos que pueden ser más relevantes en el proceso de evaluación, poniendo especial atención en los resultados obtenidos para los aspectos de mayor ponderación, dentro del proceso de análisis y caracterización de la OEH.

Según el método de AHP que se describe en la sección 3.2, se obtuvieron los siguientes resultados en base a una comparación por pares realizada por 4 alumnos memoristas de la escuela de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso, además del profesor guía de esta investigación. Los resultados se pueden revisar en la Tabla 13 y Tabla 14.

Tabla 13: Ponderación de factores mediante AHP para la evaluación de los factores de confiabilidad de las vías EH.

	Descripción	Pond.	Rank.
Factor 1	Presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas.	6,3%	6
Factor 2	Tiempo de desplazamiento desde la zona de inundación a la zona de seguridad de la vía.	44,6%	1
Factor 3	Ancho útil de la vía de evacuación.	11,2%	3
Factor 4	Pendiente (suave o pronunciada).	3,2%	7
Factor 5	Señalética disponible durante el recorrido de la vía.	15,5%	2
Factor 6	Evacuación de personas con movilidad reducida.	8,6%	5
Factor 7	Evacuación en escenario nocturno.	10,7%	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: Ponderación de factores mediante AHP para la evaluación de los factores de susceptibilidad de bloqueo de las vías EH.

	Descripción	Pond.	Rank.
Factor 1	Bloqueo por escombros.	8,4%	5
Factor 2	Bloqueo por atochamiento vehicular	4,8%	6
Factor 3	Bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre.	3,6%	8
Factor 4	Bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros.	31,1%	1
Factor 5	Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos en la vía.	12,4%	4
Factor 6	Bloqueo por atochamiento de personas en horarios peak o afluencia masiva de personas.	21,4%	2
Factor 7	Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano.	14,5%	3
Factor 8	Bloqueo por colapso del tendido eléctrico.	4,0%	7

Fuente: Elaboración propia.

En relación a la ponderación de los factores de confiabilidad de las vías, se puede observar que el factor de mayor incidencia en la evaluación de las vías corresponde al tiempo de desplazamiento desde la zona de inundación a la zona de seguridad, con un 44,6% del total de las variables evaluadas. Le siguen la disponibilidad de la señalética en el recorrido de la vía, con un 15,5% y el ancho útil de la vía con un 11,2% del total de las variables evaluadas. De esta manera, se identifican los tres factores de mayor influencia en la evaluación de la confiabilidad de las vías de evacuación horizontal. Cabe resaltar que los resultados están en función a un radio de consistencia de 1,5%, indicando que los valores obtenidos son consistentes.

En relación a la ponderación de los factores de susceptibilidad de bloqueo de las vías, se puede observar que el factor de mayor incidencia corresponde a la susceptibilidad de bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros, con un 31,1% del total de las variables evaluadas. Le siguen la susceptibilidad de bloqueo por atochamiento de personas en horarios peak o afluencia masiva de personas, con un 21,4% y la susceptibilidad de bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano con un 14,5% del total de las variables evaluadas. De esta manera, se identifican los tres factores de mayor influencia en la evaluación de la susceptibilidad de bloqueo de las vías de evacuación horizontal. Cabe resaltar que los resultados muestran un radio de consistencia de 2,4%, es decir, que los valores obtenidos son consistentes.

5.3.5 CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EV

5.3.5.1 Definición de la oferta de EV

Un refugio o vía de evacuación vertical de tsunamis es un edificio o montículo de tierra que tiene la altura suficiente para elevar a los evacuados sobre el nivel de inundación del tsunami, y está diseñado y construido para resistir el embate de las olas de tsunami. Las vías de evacuación vertical (VEV) pueden estar solas o formar parte de una estructura más grande. Pueden ser de uso sencillo, para refugio, o de usos múltiples usados regularmente cuando no son refugios. También pueden ser diseñados específicamente para un solo peligro (como de tsunami), o instalaciones de peligros múltiples (FEMA, 2009).

En general, estas opciones son aplicables a estructuras nuevas o existentes, pero sería más difícil habilitar una estructura existente que construir una nueva estructura resistente a un tsunami usando estos criterios.

Las estructuras de evacuación vertical pueden ser utilizadas para el uso general de la población cercana o para el de los ocupantes de un edificio o grupo de edificios en específico. El escoger entre las varias opciones dependerá de la planificación para respuestas de emergencias y las necesidades de la comunidad, el tipo de construcción y el uso de los edificios en el área inmediata, y la situación financiera del estado, el municipio, la comunidad local, o el dueño, relacionada al proyecto que se considera construir (FEMA, 2009).

Para proveer refugio en caso de inundaciones por tsunami, las soluciones de evacuación vertical deben ser capaces de recibir un gran número de personas en poco tiempo y llevarlos eficientemente a las áreas de seguridad localizadas sobre el nivel de inundación. Las posibles áreas de evacuación vertical pueden ser zonas naturales de altura considerable, áreas artificiales de altura considerable mediante el uso de bermas, estructuras nuevas diseñadas específicamente para resistir un tsunami, o estructuras existentes que posean la suficiente resistencia ante los efectos de un tsunami (FEMA, 2009).

Técnicamente no existe oferta de evacuación vertical (OEH) en Chile, ya que las estructuras o edificios existentes no están diseñados considerando las fuerzas hidrodinámicas de un tsunami. Sin embargo, algunas de ellas pueden estar cerca de cumplir con gran parte de los criterios de evaluación de vía EV. Ante esta hipótesis y la disminución de la vulnerabilidad humana en las zonas descritas en la sección 5.3.2.3, es mejor contar con una estructura que preste refugio en caso de recurrir a evacuación vertical en vez de no disponer otras alternativas.

5.3.5.2 Aspectos cualitativos y escalas de evaluación

Con el objetivo de poder identificar las mejores alternativas mediante la teleobservación, se elaboraron 2 fichas de análisis con el objetivo de establecer una primera etapa de planificación de vías de evacuación verticales, evaluando factores asociados a la estructura, seguridad y versatilidad como vía de evacuación alternativa. Además, se implementó una tercera ficha de análisis de la zonificación y emplazamiento de las posibles vías de evacuación verticales.

Los criterios empleados fueron extraídos de la FEMA y otros propuestos como producto de este mismo estudio. Las fichas se pueden revisar en detalle en el **Anexo J** mientras que los criterios se describen en la siguiente sección.

En la primera etapa de análisis (Ficha A) es fundamental la recopilación de aspectos estructurales como el número de pisos del edificio y la materialidad (acero, adobillo, albañilería, hormigón armado y madera). Esto se respalda con estudios actuales de vulnerabilidad de edificios frente a tsunamis desarrollados con la metodología PTVA (Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment) por algunos autores como Dall'Osso, Gonella, Gabbianelli & Dominey-Howes (2009) y Dunbar & Vernar (2009), que han incorporado criterios como el tipo de material de la estructura, el número de pisos, la distancia a la línea de costa, la acción de las fuerzas hidrodinámicas sobre la planta baja, fundaciones, forma y orientación del edificio, objetos flotantes y conservación del edificio, en la evaluación de las estructuras como vía EV.

Finalmente, las estructuras que cumplen con los criterios mínimos de número de pisos, superior a 8 según las “Recomendaciones para la Preparación y Respuesta ante un tsunami” (ONEMI, 2014) preparado por el SHOA para ONEMI, material de construcción sólido de hormigón armado según FEMA (2008) y estructuras construidas con códigos sísmicos recientes con fecha posterior a 1985 cuya categoría de uso sea II, III o IV según NCh 433of96Mod2009 o C1 según NCh2369of2003, pasan a la segunda fase de evaluación dispuesta en la Ficha B (**ver Anexo J**).

5.3.5.3 Criterios de evaluación – Ficha A

5.3.5.3.1 Información general

En esta sección de la ficha se proponen un conjunto de datos preliminares a considerar, para identificación y localización de la posible vía de evacuación vertical.

5.3.5.3.2 Número de pisos

Se debe identificar la cantidad de pisos con el objetivo de asegurar la existencia de una altura segura, según las recomendaciones de la FEMA y ONEMI.

5.3.5.3.3 Material de construcción

Se debe identificar el material de construcción con el objetivo de establecer una primera aproximación de la seguridad estructural, según las recomendaciones de la FEMA. Se establece una discretización propuesta por la FEMA entre madera, albañilería, hormigón armado y acero.

5.3.5.3.4 Ubicación y orientación

Se debe identificar la ubicación dentro de una cuadra (ubicación central, esquina, etc.) con el objetivo de establecer una primera visión a la accesibilidad de la estructura.

5.3.5.3.5 Uso de la estructura

Se debe identificar el uso de la estructura y referirlo a las categorías asignadas por las recomendaciones de diseño de la NCh-433 (Sección 4.3) y NCh-2369 (Sección 4.3) con el objetivo de realizar una verificación de la exigencia en el factor de seguridad en fase preliminar de diseño, ya que está directamente relacionado con la capacidad de resistencia de la estructura frente a cargas sísmicas.

5.3.5.3.6 Distancia de edificio a la línea de costa y zona de seguridad

Se debe medir las distancias entre la línea de costa, edificio y zona de seguridad, para establecer una primera comparación entre la vía de evacuación vertical y la vía de evacuación horizontal.

5.3.5.3.7 Profundidad de inundación

Se debe identificar la profundidad de inundación en la zona de emplazamiento de la vía de evacuación vertical con el objetivo de establecer una primera visión ante la seguridad de la estructura frente a la cota de inundación alcanzada por el tsunami.

5.3.5.3.8 *Seguridad del suelo*

Se debe establecer una aproximación del tipo de suelo en el sitio de ubicación de la estructura mediante las recomendaciones propuestas por la FEMA con el objetivo de verificar la seguridad de la vía de evacuación vertical ante el comportamiento del suelo en escenario de desastre.

5.3.5.4 Criterios de evaluación – Ficha B

5.3.5.4.1 *Aspectos generales*

La información recopilada en la ficha B integra criterios de mayor detalle en el proceso de evaluación del edificio. En esta etapa de evaluación, es indispensable el interés en observaciones estructurales como la superficie en planta del edificio, año de construcción, estado de conservación exterior de la estructura, cantidad de subniveles y el potencial de socavación. Además, se recopila información relacionada a la opacidad de la estructura, objetos flotantes (cantidad y tipos) y la resistencia ante impacto, para caracterizar el comportamiento básico hidrodinámico del edificio.

5.3.5.4.2 *Criterios estructurales*

En esta etapa de evaluación se aplican criterios orientados a una evaluación preliminar de las características estructurales relacionadas con los siguientes aspectos funcionales de la vía de evacuación vertical:

- Año aproximado de construcción (para verificación de NCH aplicada en diseño)
- Superficie en planta (Capacidad de personas refugiadas)
- Existencia de subterráneo
- Potencial de socavación
- Estado de conservación exterior de la estructura

5.3.5.4.3 *Respuesta hidrodinámica*

En esta etapa de evaluación se aplican criterios orientados a una evaluación preliminar de la respuesta estructural de la vía de evacuación vertical ante las solicitaciones hidrodinámicas asociadas a un posible escenario de tsunami. Para esta evaluación se consideran los siguientes parámetros:

- Opacidad de la estructura ante el flujo
- Cantidad de objetos flotantes que puedan colisionar con la estructura
- Tonelaje y tipos de objetos que puedan colisionar con la estructura

5.3.5.4.4 Confiabilidad de los accesos

En esta etapa de evaluación se aplican criterios orientados a una evaluación preliminar de la respuesta de la vía de evacuación vertical ante aspectos relacionados con la accesibilidad de la estructura tanto para personas con movilidad normal y personas con movilidad reducida en un escenario de desastre.

6 RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

6.1 EVACUACIÓN HORIZONTAL

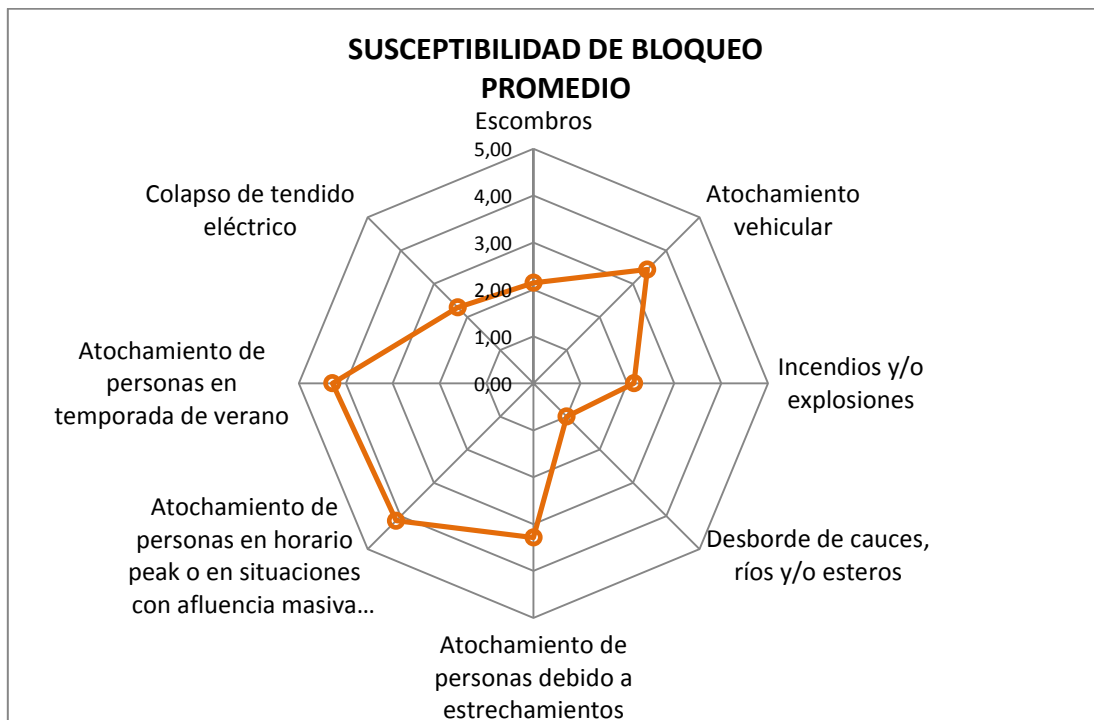
6.1.1 BALANCE OFERTA/DEMANDA EH

Luego de la evaluación de las rutas horizontales en la zona de estudio, se detectaron varias disfuncionalidades en las vías de evacuación, que comprometieron la calidad de las vías (análisis cualitativo) y la respuesta ante la demanda requerida.

Respecto de la susceptibilidad de bloqueo de las vías de evacuación, se logró identificar 3 factores críticos que se pueden corroborar en la Figura 15:

- Susceptibilidad de bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano
- Susceptibilidad de bloqueo por atochamiento de personas en horarios peak o en situaciones de afluencia masiva de personas
- Susceptibilidad de bloqueo por estrechamientos en las vías

Figura 15: Gráfico de radar de susceptibilidad de bloqueo promedio de las vías de evacuación.



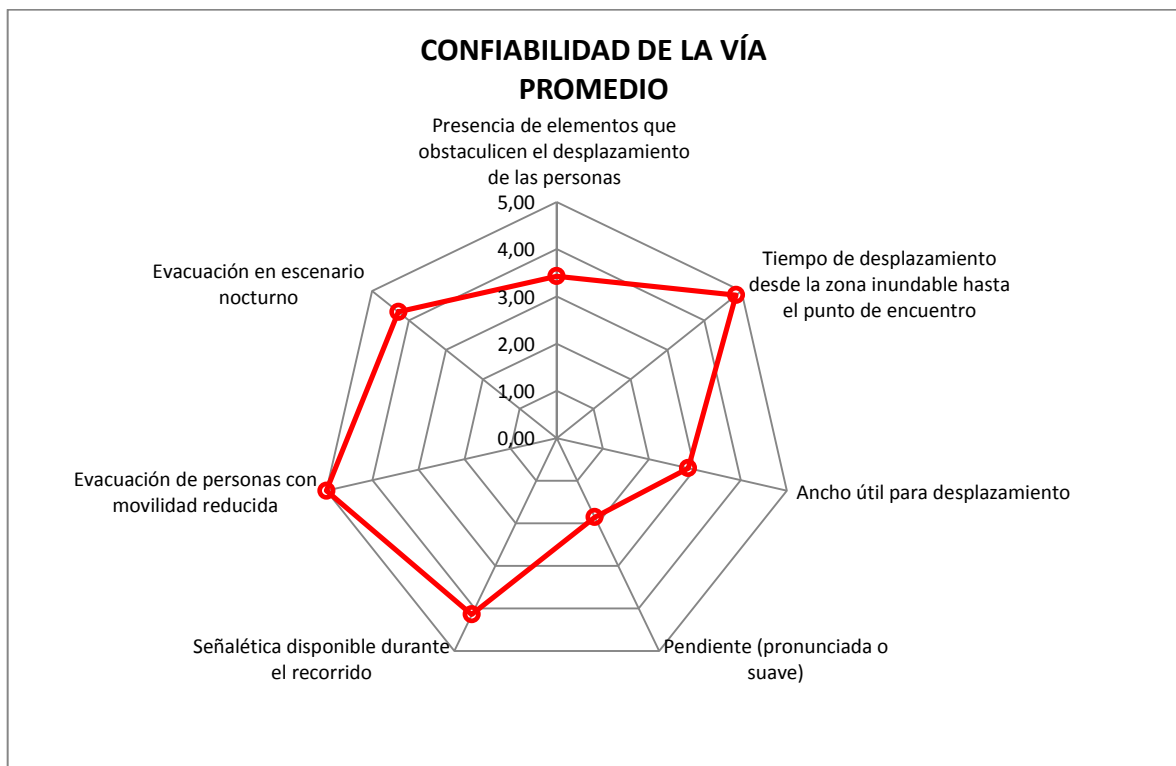
Fuente: Elaboración propia.

Los atochamientos anteriormente mencionados, se muestran como una problemática asociada a la estrechez de la gran mayoría de las vías de evacuación. Por otro lado, en muchas de ellas, los anchos útiles de evacuación correspondientes a las veredas, son utilizadas por los automóviles como estacionamiento, generando una mayor disminución de la superficie total útil en caso de evacuación.

Sin embargo, cabe resaltar que las vías tienden a una baja susceptibilidad de bloqueo por escombros, colapso de tendido eléctrico, incendios y/o explosiones y por desbordes de cauces, ríos o esteros.

Respecto de la confiabilidad de las vías, los resultados obtenidos muestran una tendencia a una baja confiabilidad general. Esto se puede ver en la Figura 16.

Figura 16: Gráfico de radar de confiabilidad promedio de las vías de evacuación.



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, los factores más críticos corresponden a los tiempos de arribo a las zonas seguras (considerando la movilidad reducida), la evacuación en escenario nocturno y la señalética disponible durante el recorrido.

Es interesante observar que los factores evaluados con la menor confiabilidad, coinciden con la mayor ponderación de las variables mediante AHP presentadas en la sección 5.3.4. Esto se traduce en que los factores de confiabilidad considerados de mayor relevancia en una evaluación de los sistemas EH, presentan los valores más críticos en el análisis realizado. Como resultado de esto, se puede afirmar que la calidad de la planificación de los sistemas de EH existentes en la ciudad de Iquique es cuestionable y que existe un nivel de impacto considerable en una situación de desastre causado por tsunami, debido a las disfuncionalidades afectadas en la calidad de las vías que pueden dificultar la evacuación exitosa de las personas vulnerables ante la inundación pos tsunami.

La baja calificación asociada a los tiempos de desplazamiento desde las zonas inundables hacia las zonas seguras, se justifica con la zonificación por tiempos de arribo. El promedio del tiempo de desplazamiento que le toma a una persona para llegar a los puntos de encuentro, es de 22 minutos. Valor que al ser comparado con el tiempo de llegada estimado por Aránguiz et al. (2015) del tsunami ocurrido en la zona norte de Chile de 16 de septiembre del 2015, resulta ineficiente. Esto podría reflejarse en una gran cantidad de pérdidas humanas, debido a las extensas distancias que existen entre las zonas costeras y las zonas de seguridad.

Figura 17: Señalética disponible durante el recorrido de las vías.



Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto no menor, es la baja cantidad de señalética disponible durante el recorrido (ver Figura 17). De las siete vías evaluadas, solo la ruta Libertad presentó una cantidad

considerable de ellas. La toma de decisiones de una persona al evacuar, depende en gran parte de este aspecto. Una baja cantidad de señalética disponible o bien, una mala planificación de la ubicación de ella, disminuyen la posibilidad de que la evacuación se ejecute de manera exitosa.

Sin embargo, y como se enuncia en los alcances de esta investigación, la identificación de la señalética disponible se realizó mediante la teleobservación del área de estudio con Google Street View, por lo que es muy probable que exista señalética nueva instalada en las vías de evacuación analizadas. Esto, debido a que las imágenes de Google Street View, corresponden al año 2012.

El factor de mayor confiabilidad, resultó ser la pendiente. Esto se debe a que el área que comprende el sector de La Península y playa Cavanca, presenta una pendiente relativamente suave que no debería causar mayores dificultades en la ejecución de la evacuación.

Tomando en cuenta el análisis de calidad de las vías de evacuación observadas, claramente el balance tiende a ser negativo, ya que la funcionalidad de estas, presenta valoraciones deficientes.

Finalmente, se caracterizó la demanda de evacuación que consiste en la totalidad de la población expuesta ante la amenaza de tsunami, teniendo en cuenta la consideración de que todas las personas deben de evacuar en dicho escenario de emergencia. La demanda de evacuación está compuesta por la demanda de evacuación horizontal (DEH) y la demanda de evacuación vertical (DEV).

La estimación de la demanda de evacuación requerida en la zona de estudio se hizo en base a la Ecuación 2 (ver **Anexo I**), considerando 3 escenarios distintos de desastre para una superficie total expuesta de 38,20 [ha]. Los resultados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15: Resultados de demanda de evacuación.

ESCENARIO DE DESASTRE	POBLACIÓN EXPUESTA [pers]
Invierno	32.800
Verano - Día	45.424
Verano - Noche	43.914

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que para efectos de los escenarios de verano, se consideró que existe un incremento de la densidad de población como consecuencia del aumento del turismo.

Atendiendo la calidad de las vías, es posible inferir que la demanda total de evacuación podría ser mayor que la capacidad de respuesta de las vías establecidas para la zona de La Península y playa Cavancha, con una mayor probabilidad de que esto se produzca en los escenarios de verano. Sin embargo, aún existen demasiadas incertezas tanto en la estimación de la demanda de evacuación como en el comportamiento de las personas en una situación de emergencia.

Aunque no existe una completa claridad respecto del balance cuantitativo (como se menciona en la sección 5.3.3.2), el balance cualitativo apunta de manera objetiva a que efectivamente podrían existir deficiencias en la planificación del sistema de evacuación.

6.2 EVACUACIÓN VERTICAL

6.2.1 BALANCE OFERTA/DEMANDA EV

De acuerdo con el balance OEH/DEH, se verifica la necesidad de integrar en el sistema de evacuación convencional, elementos que puedan aumentar su capacidad de respuesta. Bajo esta necesidad, se analizaron las posibles vías de evacuación vertical en la zona de la península y playa Cavanca.

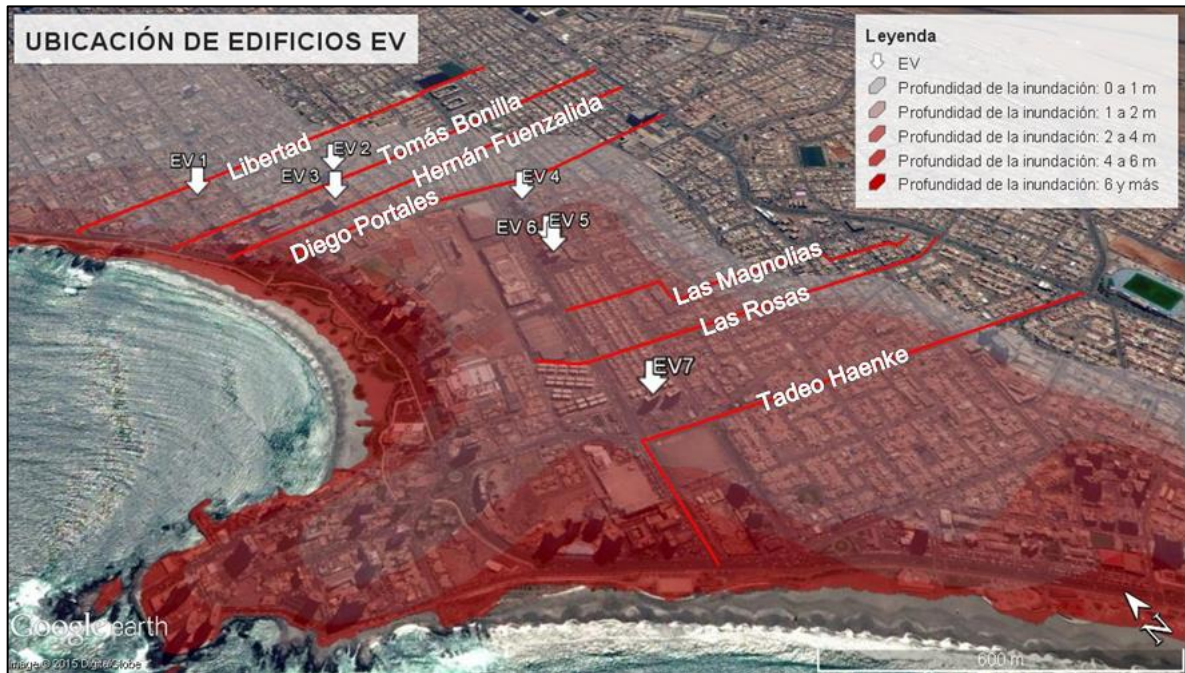
Sin embargo, este análisis se realizó con base en que la oferta de evacuación vertical no existe de manera óptima, ya que las estructuras en Chile no cumplen con una norma de diseño que integra la acción del tsunami. Pese a esto, la experiencia de otros países del mundo, ha demostrado que algunas estructuras no específicamente diseñadas para resistir las cargas asociadas a un tsunami, pueden servir como vía de evacuación vertical y prestar una zona de seguridad durante la inundación (FEMA, 2009). Teniendo en cuenta esta hipótesis, se estudiaron los edificios más cercanos a cumplir los requerimientos máximos de seguridad recopilados y propuestos en esta investigación.

Considerando la zonificación por tiempo de arribo a zona segura, se concluyó que existe una parte de la población expuesta que le tomaría más de 15 minutos llegar a una zona segura. Además, los escenarios más desfavorables, presentan una mayor distribución de densidad de población expuesta, justamente en las zonas mencionadas anteriormente (ver sección 5.3.2.2).

Con base en la zonificación EV propuesta en la sección 5.3.2.3, se analizaron 7 posibles opciones mediante la aplicación de la ficha A (ver **Anexo J**), situadas en las cercanías de los puntos de EV estimados según el criterio establecido, a lo largo de cada una de las rutas de EH. Cada uno de ellos, cumplió con los criterios mínimos propuestos por la FEMA (2009) de materialidad, código sísmico y número de pisos superior a 8. Además, se considera un tipo de suelo denso con base en estudios realizados en la actualidad para la zona de la península y playa Cavanca (Diario La Estrella de Iquique, 2010) (Becerra, 2014).

Cabe resaltar que las rutas EV propuestas, se ubicaron en puntos donde la altura de inundación estimada es de 2 a 4 [m], con una distancia promedio de las zonas seguras sobre los 900 [m]. Según estos criterios de zonificación, a una persona le tomaría entre 5 a 10 minutos llegar al punto de EV, tiempo promedio menor al de arribo de un tsunami considerado para efectos de esta investigación. La ubicación de los edificios se puede ver en la Figura 18.

Figura 18: Ubicación de los edificios de EV según zonificación.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la ficha A, fueron favorables respecto de los criterios de evaluación empleados. De los 7 edificios evaluados, todos cumplieron con los requisitos mínimos de seguridad para prestar refugio como posible vía de evacuación vertical. La evaluación se puede revisar en detalle en el **Anexo J**.

Por consiguiente, estas estructuras fueron analizadas mediante la ficha B. Como se especifica en la sección 5.3.5, se consideraron aspectos de la respuesta estructural e hidrodinámica del edificio, además de otros relacionados con la confiabilidad de sus accesos.

El balance de los resultados de esta última etapa de evaluación, también fue favorable. De los siete edificios que contaban con las condiciones mínimas de seguridad, cuatro calificaron con *buena resistencia de impacto*, dos mostraron una tendencia a una *resistencia deficiente al impacto* y solo uno de ellos presentó una *resistencia media al impacto*.

Tomando en cuenta estos resultados y considerando que las estructuras deben presentar el máximo nivel de seguridad al momento de prestar refugio en una situación de desastre, solo se seleccionaron los cuatro edificios que contaban con una buena resistencia ante el impacto como las alternativas definitivas de vías de evacuación vertical.

De esta manera, la oferta de evacuación para la zona de la península y playa Cavancha, es de cuatro edificios. Cabe resaltar, que en esta investigación solo se considera el primer nivel de selección de la OEV, que corresponde a la cantidad y calidad de los edificios disponibles en el área que cumplen con los requerimientos mínimos de seguridad establecidos en la metodología de evaluación propuesta. No obstante, para tener una mayor claridad en términos comparativos de la demanda de evacuación vertical (DEV), en una instancia más avanzada del proceso de planificación, se debería considerar la estimación de la superficie disponible para EV. Determinando además, la capacidad de refugio por edificio y total del sistema de evacuación.

Sin embargo, el balance OEV/DEV apunta a que es indispensable que el sistema de evacuación actual integre vías de EV, debido a que existen zonas en donde no podría llevarse a cabo una EH exitosa. Análogamente, la OEV en términos de la cantidad de edificios que cumplen los requerimientos para ser una vía EV, es en realidad, nula. Por lo que se debe tener en consideración la posibilidad de analizar estos aspectos en las nuevas edificaciones que se puedan llevar a cabo en el área y que puedan ser un aporte al sistema de evacuación.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se propuso una metodología para la evaluación de las vías de evacuación ante tsunami, aplicada a la ciudad de Iquique, con el objetivo de generar una herramienta en la toma de decisiones dentro de los procesos de planificación de los sistemas de evacuación y gestión del riesgo de desastres. El análisis realizado, integró el diseño y prueba de indicadores de calidad de las vías EH y EV, mediante la evaluación de dos aspectos de vulnerabilidad: la susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad. Finalmente, se caracterizó la OEH y la OEV, para luego realizar un balance de oferta y demanda de evacuación (OEH/DEH y OEV/DEV).

7.1 RESPECTO DEL ESTUDIO DE AMENAZA

De acuerdo a la recopilación de antecedentes efectuada en este trabajo, se concluyó que la ciudad de Iquique se encuentra situada en una zona de acumulación de energía donde se podría desencadenar un terremoto de gran magnitud y con potencial de generación de tsunami. Sin embargo, el cuándo ocurrirá, es una pregunta que la ciencia y los avances tecnológicos actuales aún no son capaces de responder.

Aunque aún existe mucha incertidumbre en materia de sismos y tsunamis, la definición de un posible escenario de desastre es un elemento que ayuda a identificar las vulnerabilidades más importantes y planificar los sistemas de reacción con una noción de lo que puede llegar a pasar en el peor de los casos.

Respecto a la amenaza de tsunami, el sector de La Península y playa Cavanca corresponden a las zonas de mayor superficie inundable después de la ZOFRI. Particularmente a zona de estudio tiene una población expuesta de aproximadamente 33.000 habitantes que deberían ser evacuados frente a un eventual tsunami.

Cabe resaltar que es de vital importancia conocer y caracterizar de manera acertada el comportamiento general y local de las amenazas naturales que interactúan con los sistemas costeros para controlar de manera más eficiente los riesgos asociados a desastres naturales y debe ser una línea de investigación preponderante en este campo de estudio.

7.2 RESPECTO DEL ESTUDIO DE IMPACTO

La descomposición de la vulnerabilidad en los sub factores de susceptibilidad y confiabilidad, permitió su cuantificación indirecta mediante un análisis cualitativo que resultó ser eficaz en la determinación de la calidad de las vías de evacuación.

Otro aspecto relevante en el estudio de la vulnerabilidad humana, fue la generación de criterios de zonificación en función de la exposición de las personas ante la inundación de un tsunami. Si bien es necesario considerar estudios posteriores en la modelación del desplazamiento de las personas (modelos de agentes), la zonificación estática resultó ser una herramienta preliminar útil para efectos de evaluación y planificación de las vías de evacuación. Análogamente, la definición de los escenarios por densidad de personas, permitió identificar las condiciones más desfavorables en una situación de desastre. Sin embargo, existen incertezas debido a la falta de información demográfica disponible para definir un criterio de densidad de población más certero.

Respecto del análisis de la OEH, la aplicación del AHP resultó ser una herramienta eficaz en la toma de decisiones. Mediante este método, se pudo identificar los aspectos más relevantes en la percepción del riesgo en función de la susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad de las vías de evacuación para su posterior análisis en el balance cualitativo de oferta y demanda de evacuación. A pesar de que se debe contar con un panel de expertos para poder llegar a resultados más finos, es un método con el que se puede llegar a resultados muy consistentes. Sin embargo, puede resultar ineficiente, si no existe una buena coordinación de los actores involucrados.

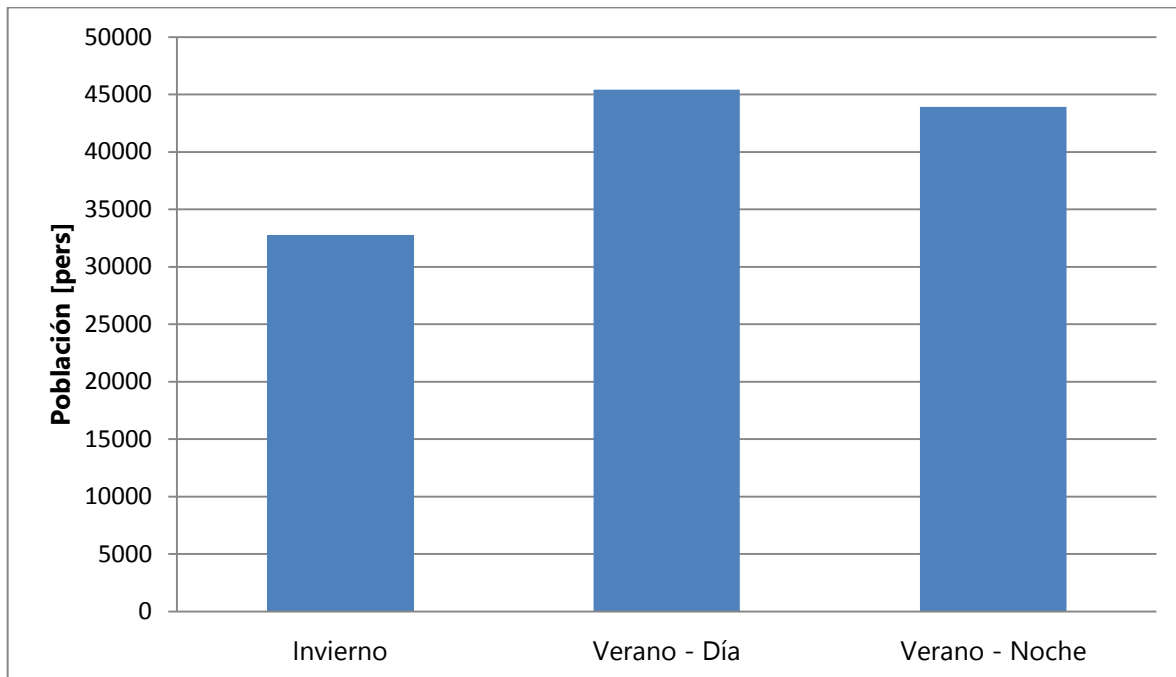
7.3 RESPECTO DE LA RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

El balance de oferta y demanda de evacuación tanto horizontal como vertical, demostró ser una herramienta eficaz, conjugando aspectos cuantitativos y cualitativos de la evaluación de las vías de evacuación.

Atendiendo la calidad de las VEH, se determinó que la demanda total de evacuación podría ser mayor que la capacidad de respuesta de las vías establecidas para la zona de La Península y playa Cavanha, considerando una mayor probabilidad de que esto se produzca en los escenarios más críticos (verano). Esta hipótesis, resulta de las observaciones realizadas para cada una de las VEH seleccionadas para este estudio. Bajo estas observaciones, se concluyó que existe una alta probabilidad de que se generen bloqueos en las vías por atochamiento (ver Figura 15), además de una baja confiabilidad respecto al desplazamiento de las personas hacia las zonas de seguridad (ver Figura 16).

Respecto de la caracterización de la demanda de evacuación, se definieron 3 escenarios de desastres con distintas distribuciones de densidad de población por superficie propuestas en este trabajo. Finalmente se pudo estimar la demanda de evacuación para cada escenario de desastre. Los resultados se presentan en el gráfico a continuación.

Figura 19: Gráfico de resultado de demanda de evacuación.



Fuente: Elaboración propia.

Si bien, aún existen demasiadas incertezas tanto en la estimación de la demanda de evacuación como en el comportamiento de las personas ante una situación de emergencia para la estimación cuantitativa de la capacidad y respuesta de las vías de evacuación según la formulación expuesta en la Ecuación 1, se pudo inferir de manera objetiva mediante el análisis cualitativo realizado en la sección 5.3.3.3 que efectivamente existen disfuncionalidades en las VEH que pueden disminuir problemáticamente su capacidad de respuesta.

Considerando lo expuesto en el párrafo anterior, se hace indispensable integrar elementos que potencien las vías de evacuación horizontal existentes y mejoren tanto la capacidad de respuesta de estas como su calidad. Bajo esta hipótesis se justifica la implementación de las vías de evacuación vertical (VEV).

Tal como se menciona anteriormente, mediante el balance OEH/DEH se verificó la necesidad de integrar nuevos elementos de apoyo en el sistema de evacuación convencional. Bajo esta necesidad, se analizaron las posibles vías de evacuación vertical en la zona de la península y playa Cavanca. Sin embargo, esta primera instancia de análisis solo contempló la identificación preliminar de estructuras que cumplieran con los requerimientos estructurales o funcionales mínimos para prestar refugio como vía de evacuación vertical y no contempló una estimación de la oferta de superficie efectiva para cuantificar la cantidad de personas que podría refugiar cada una de las estructuras.

Pese a esto, es un primer paso a un diagnóstico general, considerando que actualmente la OEV es nula.

7.4 RECOMENDACIONES

El análisis realizado en este trabajo, se llevó a cabo mediante una serie de supuestos y simplificaciones para poner a prueba la metodología propuesta que, en su desarrollo, dejó en evidencia problemáticas que se proponen como futuras líneas de investigación que potencien las hipótesis planteadas en esta tesis.

Considerando lo expuesto anteriormente, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. La caracterización de la amenaza es fundamental en la cuantificación de la vulnerabilidad y el riesgo. En instancias más avanzadas de estudio, se recomienda un análisis más profundo y considerar herramientas más potentes para determinar un escenario de desastre con menos incertezas.
2. Como se menciona a lo largo de este trabajo, el AHP resultó ser una herramienta eficaz en la ponderación de los aspectos de calidad de las vías de evacuación. Pese a esto, los resultados de la ponderación están directamente sujetos a la expertiz de los encuestados. Es por esta razón, que se recomienda un número considerable de personas expertas en el área requerida para lograr resultados más representativos.
3. Los criterios de zonificación por tiempo de desplazamiento utilizado en este trabajo, cumplen con un planteo “estático” del problema. Existen incertezas relacionadas con el comportamiento de las personas y sus decisiones al momento de la evacuación (se consideró un desplazamiento lineal a lo largo de la VEH). Por consiguiente, se recomienda la implementación de *modelos de agente*, *redes neuronales* o tecnologías de *machine learning* para un análisis dinámico del problema.
4. Los criterios de zonificación por distribución de densidad de población propuestos para este trabajo, se definieron para una aproximación preliminar. Sin embargo, la falta de información demográfica disponible, generó incertidumbres en la delimitación de las distintas concentraciones de personas por zona. Para instancias más avanzadas de investigación, se recomiendan estudios más detallados de demografía de la zona.
5. Con respecto a la caracterización de la OEV, este trabajó tuvo por objetivo generar un primer análisis con respecto a las estructuras en el sitio de estudio que cumplen

con los requerimientos mínimos bajo los criterios de evaluación propuestos para ser una posible VEV. En etapas más avanzadas de estudio, se recomienda la determinación de la oferta real de VEV que corresponde a la cuantificación de la superficie total efectiva por edificio que podría prestar refugio a los evacuados mediante VEV.

ANEXO A: LA AMENAZA SÍSMICA EN IQUIQUE

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

ESTADO DEL ARTE

Chile es un país sísmico sin discusión alguna. Entre los efectos que caracteriza esta alta sismicidad, puede señalarse la destrucción recurrente de distintas ciudades (ver Tabla 16). En la actualidad, existen estudios que han revelado que los principales centros poblados chilenos han sido históricamente afectados por este tipo de fenómenos (Espinoza, 1985).

Tabla 16: Resumen de las principales localidades dañadas por sismos en Chile.

LOCALIDAD	AÑOS
Arica	1604, 1615, 1681, 1868
Pisagua	1869, 1877
Iquique	1871
Copiapó	1796, 1819, 1859, 1918
Huasco	1922
Coquimbo	1849
Illapel	1847, 1880, 1943, 1971
La Ligua	1971
Llay-Llay	1871
San Felipe	1687
Valparaíso	1647, 1730, 1755, 1822, 1829, 1896, 1906, 1971
Santiago	1575, 1582, 1647, 1690, 1724, 1824, 1825, 1829, 1927
Valle del Maipo	1850
Rancagua	1945
Talca	1869, 1871, 1914, 1928
Chillán	1934, 1939, 1946, 1953
Nacimiento	1862
Concepción	1570, 1657, 1751, 1816, 1831, 1835, 1898
Isla Mocha	1920
Los Angeles	1836
Tucapel	1790
Valdivia	1575, 1737, 1837, 1907, 1960
La Imperial	1562
Castro	1786, 1787, 1919
Chiloé	1832
Magallanes	1879
Punta Arenas	1949
Zona Central	1965, 1985
40-41°	1520

Fuente: (Espinoza, 1985).

Chile tiene una particular posición y orientación, característica que lo hace muy sensibles a la actividad de las placas tectónicas. El país se extiende entre los volcanes de la Cordillera de Los Andes y el Océano Pacífico, y en paralelo a la zona de subducción en casi toda la extensión del país. Como consecuencia directa, el país es propenso a ser afectado por los terremotos, algunos de ellos tsunamigénicos (Espinoza, 1995).

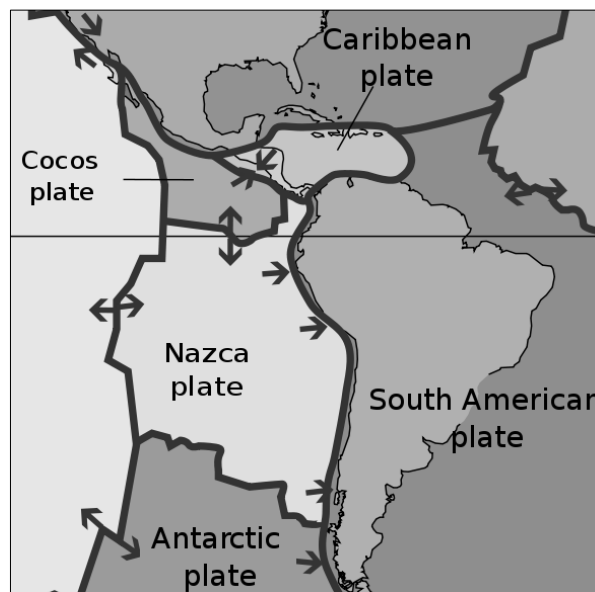
El registro histórico del Servicio Sismológico de Chile, ha confirmado la ocurrencia de más de 110 terremotos con una magnitud superior a 7.0 [Ms], desde el año 1570 hasta la actualidad (CSN Universidad de Chile, 2014). De estos terremotos documentados 79% no generó tsunami, y sólo el 11% generó tsunami destructivo. Algunos lugares muestran la recurrencia del impacto del tsunami, y varios pueblos incluso se han movido de sus lugares de origen a lugares más seguros (Reyes, 2012).

Es preciso tener la consideración de que, en términos generales, la gran mayoría de los terremotos que se producen en Chile cumplen con las condiciones de ser tsunamigénicos. Esto se debe a una serie de características asociadas a aspectos morfológicos, que vienen de la mano de que Chile tiene una extensa costa (Lagos, 2002).

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS EVENTOS DE TSUNAMI OCURRIDOS EN CHILE

Chile se encuentra ubicado sobre la placa Sudamericana, en su borde occidental donde convergen y generan zonas de subducción las placas de Nazca y Antártica, en tanto que la placa de Scotia se desliza horizontalmente respecto a la placa Sudamericana, en un borde de placas transcurrente (ver Figura 20).

Figura 20: Configuración tectónica del Sudeste del Pacífico

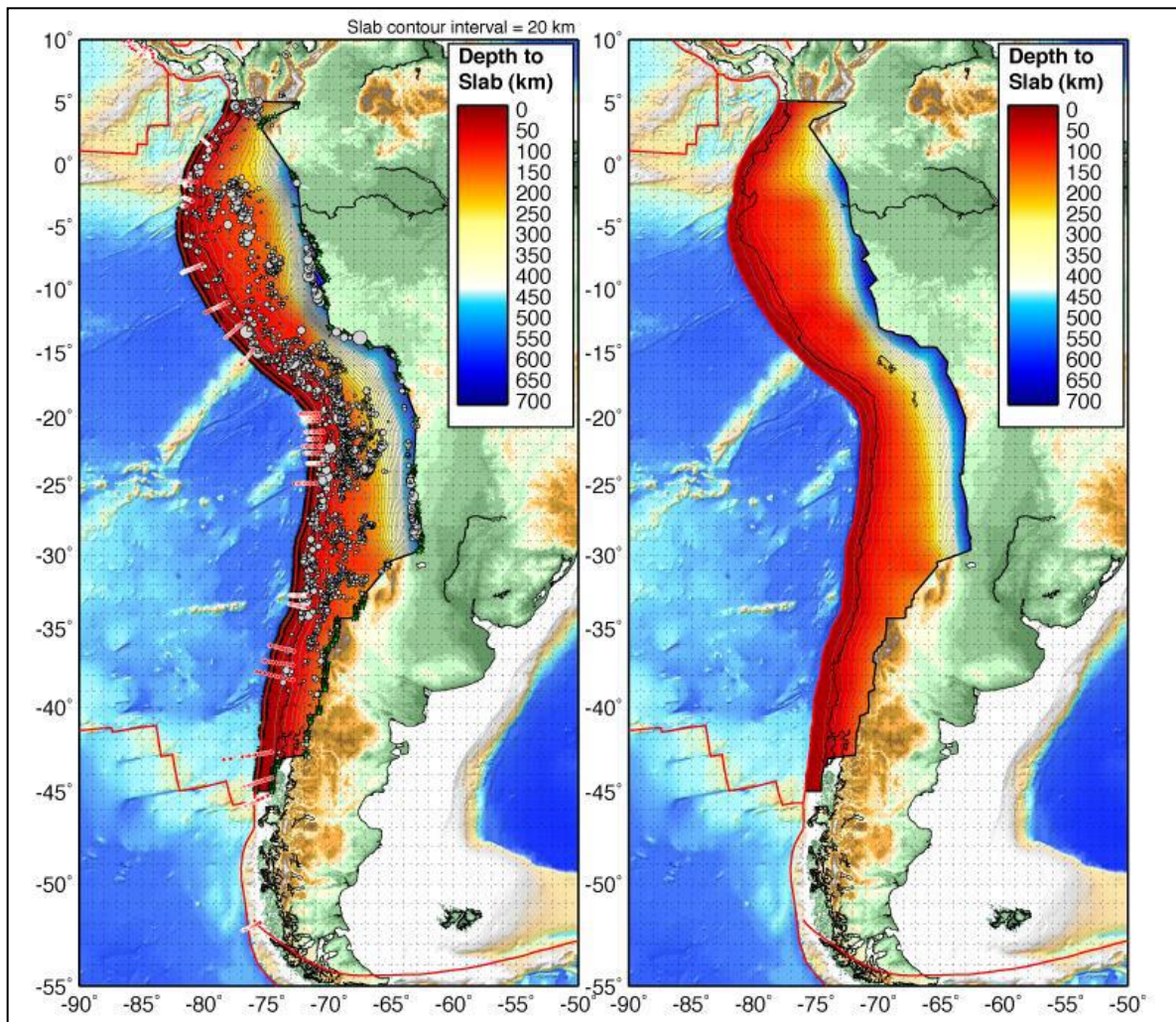


Fuente: (USGS, 2014).

Estas interacciones producen una gran deformación del continente Sudamericano, y generan terremotos en todo Chile. Debido a la alta velocidad de convergencia entre Nazca y Sudamérica, la sismicidad en esa zona es la más intensa y produce los mayores terremotos en el país (CSN Universidad de Chile, 2014).

En los bordes de las placas convergentes, se genera una zona de subducción. La placa más densa o más pesada penetra bajo la menos densa, debido al peso de la placa en subducción (ver Figura 21). En estas zonas ocurren todo tipo de sismos o terremotos ocasionados por la dinámica tectónica (CSN Universidad de Chile, 2009).

Figura 21: Interacción de placas tectónicas en Sudamérica.



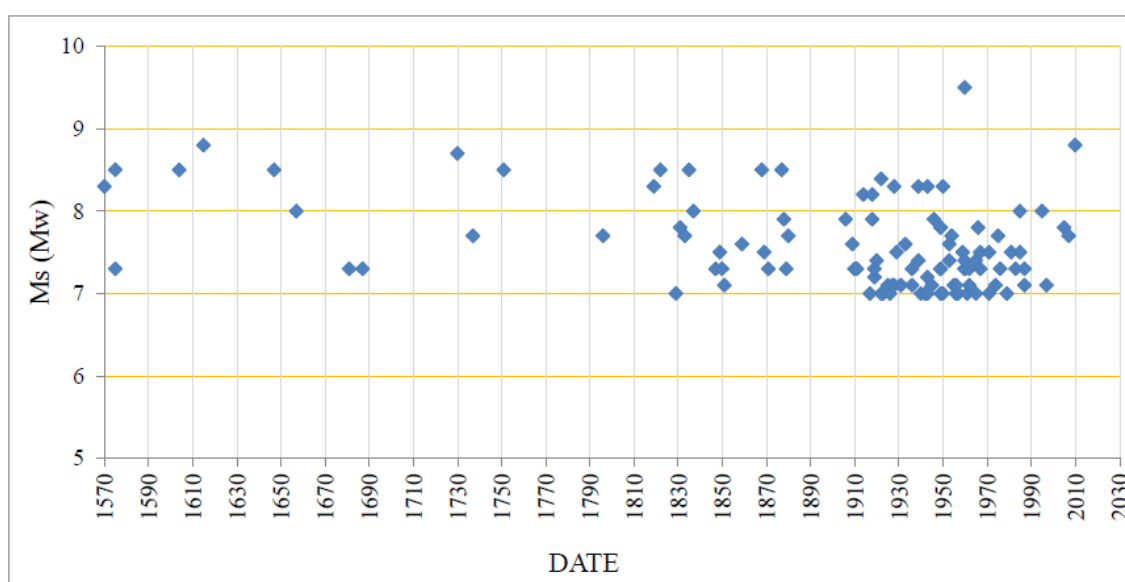
Fuente: (Reyes, 2012)

Observaciones: Se muestran las placas que interactúan con la placa sudamericana. La escala de colores representa la profundidad alcanzada por la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Los puntos de color blanco son sismos que permiten determinar la profundidad y geometría de la zona de subducción.

En el caso de las placas de Nazca y Sudamérica en Chile, la placa oceánica de Nazca, que presenta una mayor densidad que la placa continental de Sudamérica, penetra bajo el continente, formando una zona de subducción. El primer contacto entre las placa produce un valle profundo, llamado *fosa* o *trench* que ocurre bajo el océano, en las afueras de la costa del continente (CSN Universidad de Chile, 2014).

Es preciso entender que la ocurrencia de los terremotos y tsunamis, ha sido una característica propia de Chile y su desarrollo histórico. Sin embargo, como se trata de un país relativamente joven en términos de historia escrita, el tamaño de la muestra no es significativa como para poder establecer parámetros de un comportamiento estadístico representativo de la actividad sísmica del país (Reyes, 2012).

Figura 22: Data histórica de terremotos en Chile.



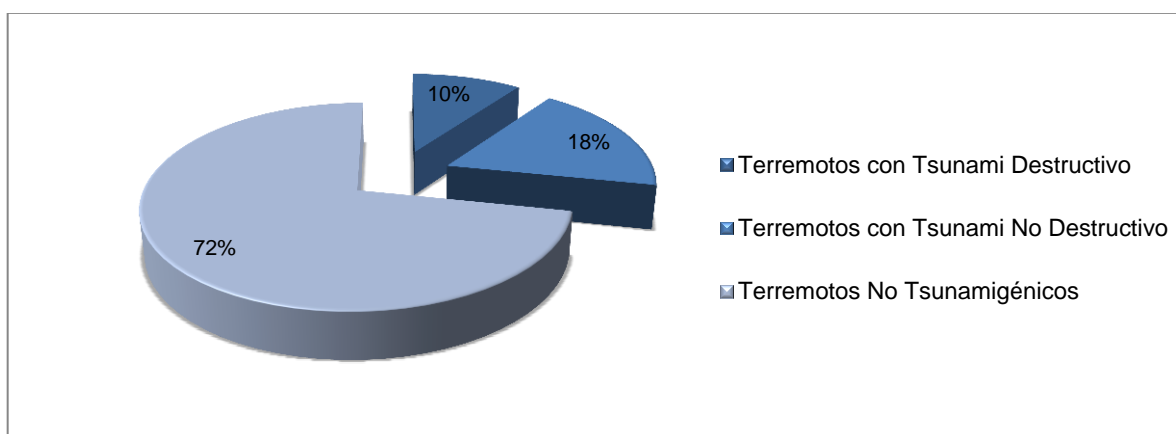
Fuente: (CSN Universidad de Chile, 2014)

El conocimiento detallado de las estadísticas de los tsunamis ocurridos en Chile, es una labor fundamental para cualquier estudio de riesgo costero. Sin embargo, como se menciona en el párrafo anterior, se debe considerar que este trabajo se ve condicionado por los antecedentes históricos registrados (ver Figura 22), existiendo información a partir del año 1562. Por otro lado, como consecuencia de la extensión del litoral chileno y la gradual localización de asentamientos humanos, existe una importante probabilidad de que parte de los eventos locales hayan afectado lugares no habitados y, por lo tanto, no existen registros de su impacto (CSN Universidad de Chile, 2014).

Considerando los trabajos de investigación que existen a la fecha, es posible observar que gran cantidad de los terremotos ocurridos en Chile son de carácter no tsunamigénicos, pero asociados a una baja recurrencia con epicentro intercontinental (No obstante, existe una parte de sismos devastadores que han sido asociados a epicentros continentales). Bajo esta hipótesis, se puede afirmar que la zona de ruptura es generalmente bajo el agua y entonces hay un riesgo permanente de generación de tsunamis, dependiendo de la magnitud del evento sísmico y su profundidad, entre otros aspectos (Reyes, 2012).

El siguiente gráfico que se presenta en la Figura 23, resume la ocurrencia estadística de tsunamis a partir de los datos históricos disponibles.

Figura 23: Datos históricos de generación de tsunamis en Chile.



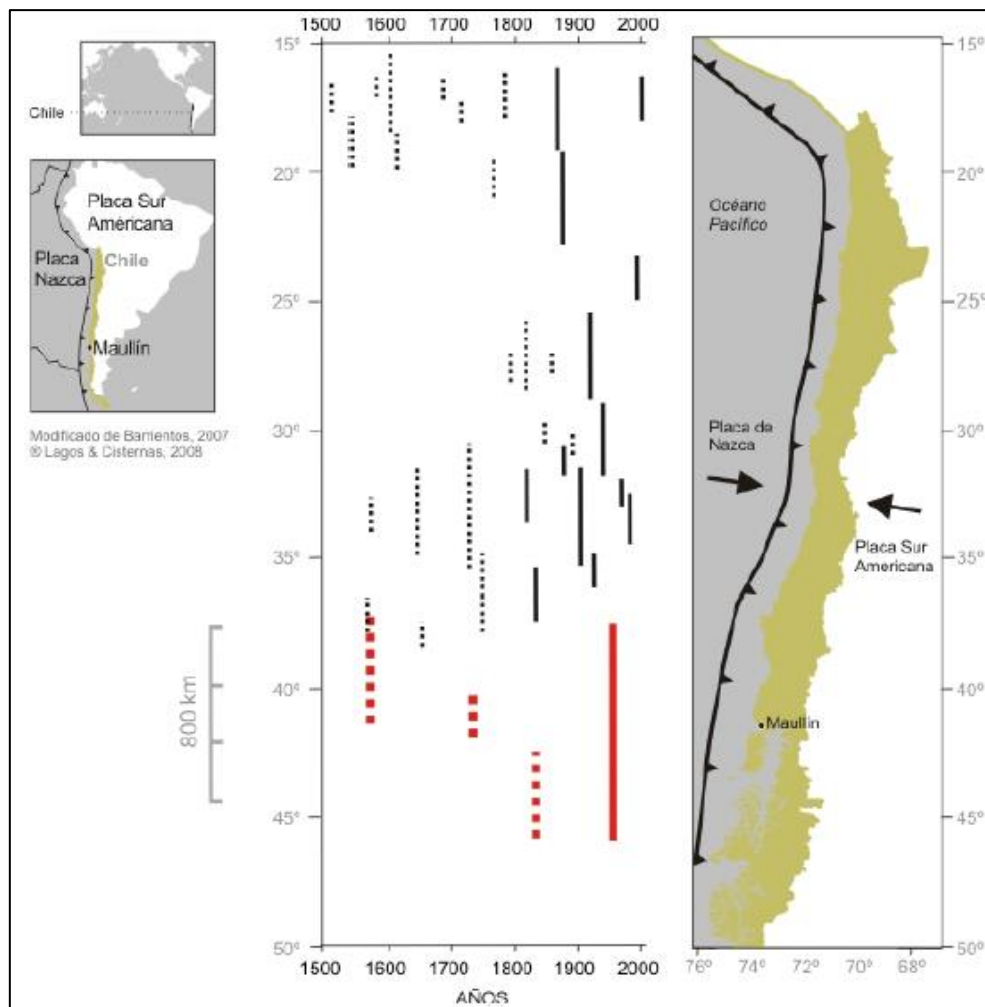
Fuente: Elaboración propia a partir de CSN Universidad de Chile (2014).

La mayor parte de la actividad tectónica actual se localiza a lo largo de las zonas de subducción que rodean el Océano Pacífico, lugar donde se han generado más de la mitad de los tsunamis conocidos en el mundo (Bryant, 2001).

Efectivamente, uno de los principales sectores generadores de tsunami en el Océano Pacífico, corresponde a la zona de subducción localizada frente a las costas de América del Sur. Sólo considerando la información instrumental registrada durante el siglo XX, frente a sus costas se originó aproximadamente un 15% del total de los tsunamis en la cuenca. De ellos, un 74% fueron generados frente a las costas de Chile. Sumado a lo anterior, el registro escrito que comienza a contar del siglo XVI con la llegada de los europeos, más las evidencias geológicas, muestran una realidad que cada día adquiere mayor importancia. Los tsunamis son una constante amenaza que se traduce en un riesgo permanente para las comunidades costeras (Lagos & Cisterna, 2008).

En general, los grandes terremotos en la costa de Chile cumplen las condiciones para ser tsunamigénico, en términos de profundidad del hipocentro, desplazamientos verticales y la liberación de energía, pero se reconoce que no hay ninguna relación binaria entre los terremotos y tsunamis. De hecho, un gran terremoto o bien puede generar un tsunami significativo o no hacerlo (Winckler, Reyes, & Sepulveda, 2010).

Figura 24: Longitudes de ruptura a lo largo de la costa de Chile.



Fuente: Chile (Lagos & Cisterna, 2008).

Observaciones: Las líneas continuas indican longitudes de ruptura más precisas que las segmentadas. Se muestra el eje de la zona de subducción. Las flechas indican la dirección del movimiento convergente de las placas tectónicas. En color rojo se destacan los terremotos históricos del centro-sur de Chile (1575, 1737, 1837 y 1960).

En base a la información geológica, histórica e instrumental, hay zonas en la zanja de subducción donde los terremotos de tsunamis son recurrentes. De hecho, Arica, Concepción y Valdivia fueron devastadas muchas veces por la ocurrencia de tsunamis.

Además, Arica y Concepción fueron trasladados a su posición actual después de los desastres recurrentes asociados al terremoto y / o tsunami (Reyes, 2012).

ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA ACTUAL DE TERREMOTO EN EL NORTE DE CHILE

El comportamiento estadístico de los terremotos y tsunamis muestra cierta tendencia en partes muy específicas a lo largo de las costas Chilenas. Sin embargo, no es posible generar información de pronósticos de ocurrencia. Para efectos del diseño sísmico, las normas actuales de construcción incluyen un espectro de aceleración que se ha preparado sobre la base histórica de los terremotos históricos. Además, después del terremoto del 27 de febrero del 2010, se han incluido algunos aspectos de la sismicidad local y los riesgos relacionados con el suelo mejorar los factores de seguridad de las normas existentes (Reyes, 2012).

En el caso del tsunami, las entradas habituales para la estimación de los mapas de inundación, son sólo algunas suposiciones de posibles zonas tsunamigénicas basadas en datos históricos. Todas las grandes ciudades costeras tienen mapas de inundación, desarrolladas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), pero su precisión no es suficiente para la estimación del riesgo en detalle, y su objetivo de proyección es solo para definir las zonas y los procedimientos de evacuación (Reyes, 2012).

Como se ha expuesto anteriormente, Chile se ve constantemente expuesto a terremotos y tsunamis en la mayor parte de su territorio continental. La relativamente corta historia escrita y las descripciones parciales de los sucesos pasados, constituyen una base de datos de fondo con una calidad no homogénea a lo largo del país. Además, la zona objetivo de este estudio se encuentra en la parte norte del país, donde se concentra una serie de condiciones que introducen incertidumbres para el análisis de riesgo de tsunami, incluso en comparación con otras regiones del país. Esas condiciones se pueden discretizar como sigue a continuación (Reyes, 2012):

- Condiciones Ambientales: La falta de agua en una condición de clima desértico era un obstáculo para el asentamiento humano en la zona costera, lo que retrasa el punto de partida la historia escrita (Comte & Pardo, 1991). Además, hay condiciones difíciles para la investigación de paleo tsunamis, como rastros biológicos que no son fáciles de encontrar debido al ambiente seco.
- Desarrollo industrial: El desarrollo industrial y la ocupación humana de la costa norte de Chile, especialmente en Iquique, comenzó con la industria salitrera, en la primera mitad del siglo XIX (Comte y Pardo, 1991).

- Aspectos administrativos: La zona desértica, ya que no se ha ocupado en su totalidad, se administró por primera vez por Perú y Bolivia, pero después de la guerra del Pacífico (1879 - 1883) se convirtió en parte del territorio chileno.
- Aspectos de infraestructura: Las conexiones de infraestructura para el desarrollo han sido fundamentalmente rutas marítimas. La introducción de los ferrocarriles fue parte de la industria del salitre y las conexiones por carretera se desarrolló durante el siglo XX (Reyes, 2012).

Considerando estos factores, es claramente comprensible que los datos más completos y seguros disponibles para la descripción de los tsunamis se concentran principalmente durante los últimos 150 años, un lapso de tiempo demasiado acotado para el análisis geológico. Aún más, a partir de los terremotos más grandes que se produjeron durante el siglo XX, tales como los acontecimientos de Antofagasta en 1950 y el gran terremoto de Valdivia en 1960, sólo después de los terremotos del año 1970 en el centro de Chile, y en particular el evento de Lolleo en 1985, se han registrado instrumentalmente con metodologías teóricas fiables. En base a esto, para la mayor parte de los terremotos Chilenos solo se conoce el epicentro, la profundidad focal, magnitud, el momento sísmico aproximado y el tamaño estimado de la superficie de ruptura (Kausel & Campos, 1992).

En la actualidad se han llevado a cabo varios estudios para determinar el potencial sísmico de la zona norte de Chile, y la parte sur de Perú. Cada uno de ellos concluyen y denuncian la existencia de brechas sísmicas a lo largo de la zanja Perú-Chile, específicamente en la interfaz de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericanas (Comte & Pardo, 1991) (Kausel & Campos, 1992). Entre las áreas intersísmicas acopladas detectadas desde Lima a Antofagasta (12 ° S a 24 ° S), el mayor segmento bloqueado es la brecha norte chilena, con un potencial aproximado para generar un sismo de aproximadamente 8.6 [Mw] hasta 8.8 [Mw]. Sin embargo, aún existen muchas incertidumbres y preguntas sin resolver que deben ser consideradas en las estimaciones y su potencial tsunamigénico (Reyes, 2012):

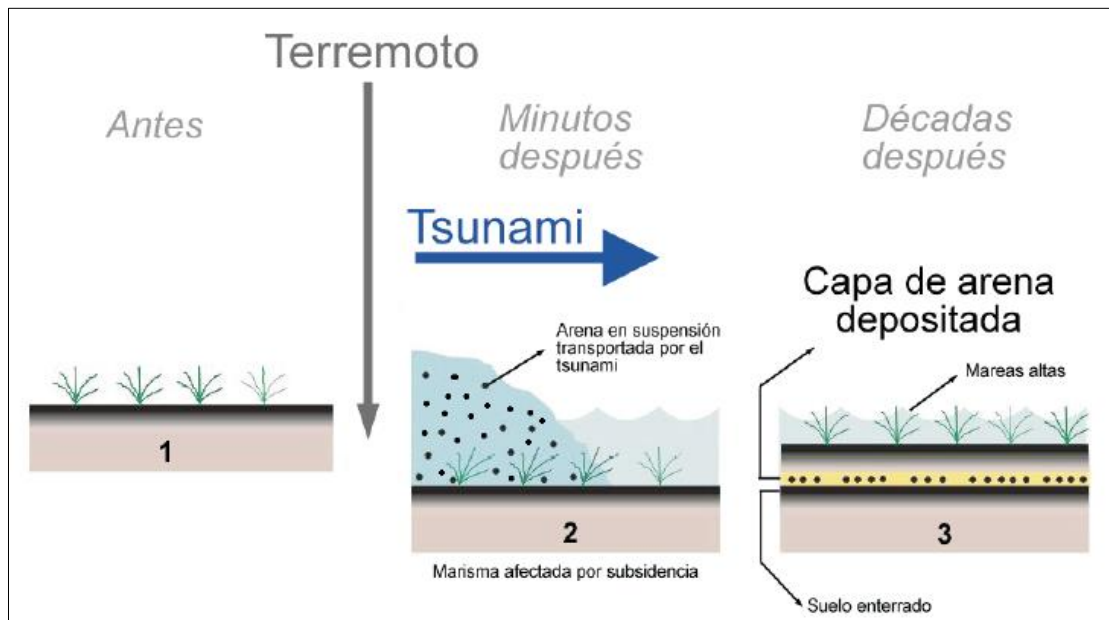
- La hipótesis de comportamiento elástico de la corteza superior no se ha demostrado completamente (Chlieh et al., 2011).
- Hay factores como la complejidad estructural, gradiente térmico u otras discontinuidades, que ejercen influencia sobre las interfaces de subducción o sus propiedades de fricción. Esos factores no se entienden completamente (Chlieh et al., 2011) (Kausel & Campos, 1992).
- La falta de la geodesia del fondo del mar cerca de la fosa (Chlieh et al., 2011).

Para efectos descriptivos de generación de tsunamis como amenaza potencial para Iquique, los siguientes puntos resumen los enfoques científicos para esto.

Estudios paleosísmicos y paleotsunamis

El Departamento de geología de la Universidad de Chile ha sido parte de algunos estudios relacionados con paleosismicidad y paleotsunamis (ver Figura 25) en el norte de Chile. Como se ha expuesto anteriormente, este tipo de estudios no se ha desarrollado suficientemente como para complementar eficazmente la base de datos de la actividad sísmica en el norte de Chile. Sin embargo, se han encontrado pruebas geológicas de terremotos que afectaron a la península de Mejillones. Estas evidencias revelan la ocurrencia de dos terremotos con zona de ruptura localizada en la península de Mejillones, entre los años 1408 y 1449 dC, y el segundo evento sísmico entre los años 1754 y 1789 dC, lo que podría corresponder al evento de 1768 históricamente documentado en el norte de Chile (Vargas, 2005).

Figura 25: Generación de registros sedimentarios de tsunami en zonas costeras afectadas por hundimiento co-sísmico.



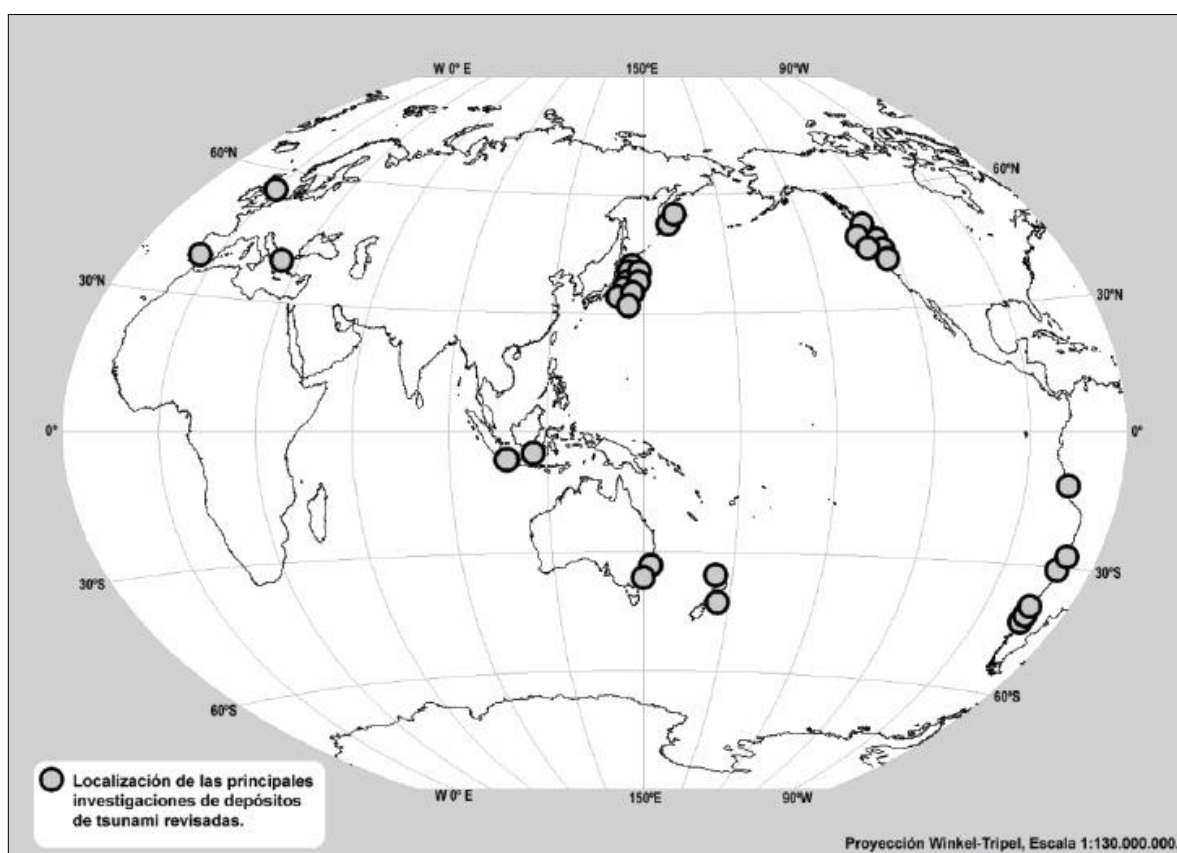
Fuente: Chile (Lagos & Cisterna, 2008).

La gran mayoría de los estudios realizados para la detección paleotsunami en el norte de Chile, se basan en consideraciones hidráulicas relativas para identificar la tipología de sedimento tsunami en rastros geológicos (Lagos, 2002).

Le Roux y Vargas realizaron un estudio paleotsunami lo largo de la costa chilena, incluyendo tres puntos alrededor de la península de Mejillones: Hornitos, Mejillones y Antofagasta. En la bahía de Mejillones, que es una cuenca dominada por sedimentación, encontraron varios núcleos de sedimentos en el centro de la bahía, que muestra algunas de las características sedimentológicas anómalas (Reyes, 2012).

La mayoría de las investigaciones que demostraron la presencia de registros sedimentarios de tsunamis pasados, provienen de ciertas áreas específicas (ver Figura 26) del planeta y claramente ilustran los patrones constantes de deposición entre áreas sísmicamente activas (costa pacífico de Estados Unidos) y áreas pasivas (costas de Europa) (Lagos & Cisterna, 2004).

Figura 26: Localización global de las principales investigaciones de depósitos de tsunami.



Fuente: (Lagos & Cisterna, 2004).

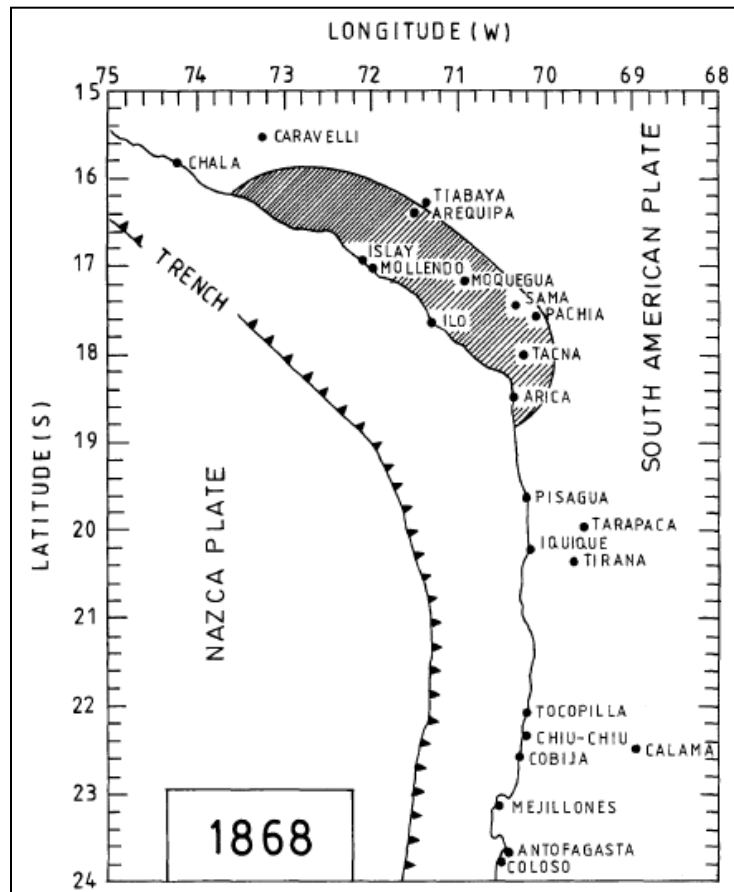
A pesar de la importancia que tienen los eventos sísmicos y tsunámicos en Chile, existe una carencia de investigación relativa a registros sedimentarios de tsunamis pasado. Lo anterior genera un desconocimientos absoluto respectoa a la ciclicidad y magnitud de los

eventos históricos y prehistóricos que han ocurrido en el territorio nacional. Solo siete publicaciones existen respecto a registros sedimentarios de tsunamis en Chile, de las cuales sólo tres corresponden a estudios específicos del fenómeno tsunami (Paskoff, 1991; Cisternas et al., 2000; Hartley et al., 2001).

Actividad sísmica histórica en el norte de Chile

Históricamente, se conoce la ocurrencia de dos terremotos que generaron tsunamis en la zona de Iquique. Estos, corresponden a los registros correspondientes al 13 de agosto de 1868 (ver Figura 27) y 9 de mayo de 1877 (ver Figura 28), siendo este último el de mayor magnitud conocida y del cual se tienen registros históricos de un tsunami destructivo (SHOA, 2012).

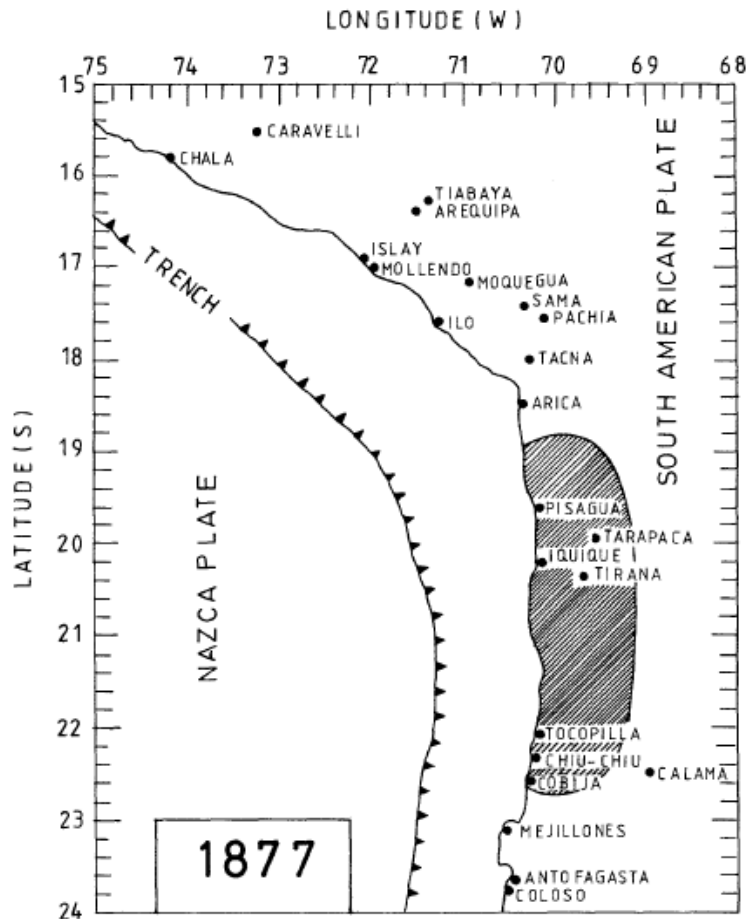
Figura 27: El terremoto de Arica 1868. Estimación histórica de la zona de ruptura.



Fuente: (Comte & Pardo, 1991).

Considerando la información disponible en la actualidad, el Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile (Comte & Pardo, 1991), presenta un completo análisis del comportamiento sísmico en esta zona de subducción. En ese estudio, los autores resumen la información histórica disponible de terremotos y tsunamis en el sur de Perú y norte de Chile, además del análisis de los parámetros sísmicos (longitud de ruptura y magnitud) de cada evento, generando así un catálogo completo de la sismicidad en la zona en estudio mencionada.

Figura 28: El terremoto de Iquique 1877. Estimación histórica de la zona de ruptura.



Fuente: (Comte & Pardo, 1991).

Por otro lado, los autores también proponen intervalos de ocurrencia para grandes eventos sísmicos, a localizarse en ciertas lagunas sísmicas detectadas. Considerando los errores asociados a la escasez de datos e información, en el estudio se proponen un periodo de retorno de 111 ± 33 años para grandes terremotos en la zona de ruptura asociada al evento de 1877. Por último, citando estudios complementarios, se presenta

una discusión de una teoría de que esta sección de la fosa es lo suficientemente madura en términos sísmicos, como para completar un ciclo de terremotos, configurando así una brecha sísmica que se muestra como una amenaza activa (Comte y Pardo, 1991).

Nuevos antecedentes: terremoto de Iquique – 1 de abril del 2014

El día martes 1 de abril de 2014, ocurrió un sismo de magnitud 8.2 [Mw] con epicentro localizado, según el Centro Sismológico Nacional, frente a las costas de Iquique y Pisagua, en el norte de Chile, con coordenadas geográficas 19.572 °S y 70.908 °W y con profundidad hipocentral de 38.9 [km]. Este terremoto es el mayor registrado en Chile desde el 27 de febrero de 2010 y el tercero mayor desde el 22 de mayo de 1960.

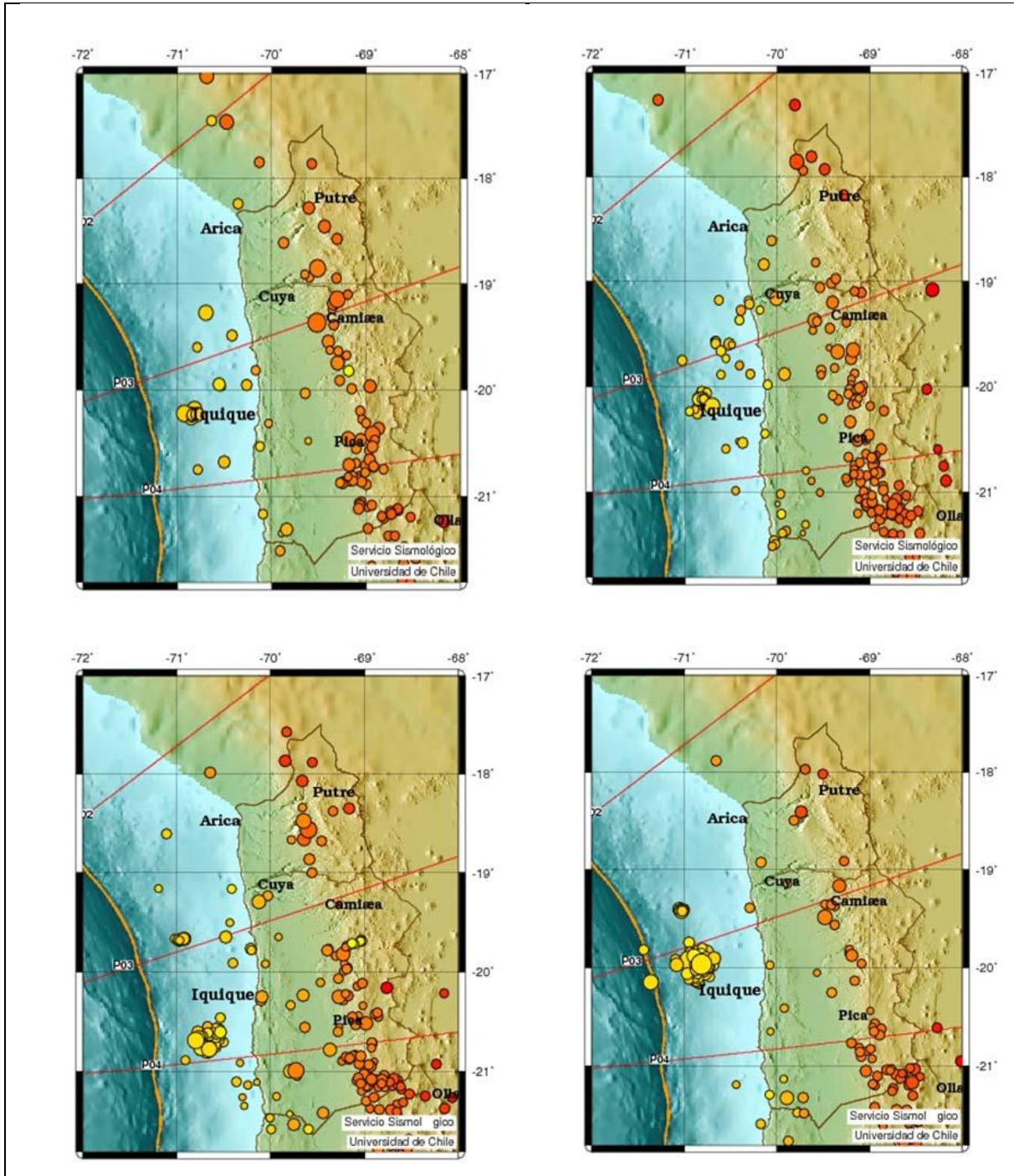
Tal como se menciona en la sección anterior, la región definida como brecha sísmica se puede subdividir en dos sectores: uno correspondiente a la parte sur de Perú y norte de Chile, que no ha sido activada desde 1868 y el otro a la parte norte de Chile, desde 1877. Los desplazamientos equivalentes acumulados debido a la convergencia entre la placas de Nazca y Sudamérica alcanzan alrededor de 9 y 9.5 [m]. Por lo tanto, desde los grandes terremotos ocurridos en los años 1868 y 1877, en el norte de Chile, se han acumulado desplazamientos equivalentes a 9.5 y 9 [m], respectivamente (CSN, 2014).

En el informe técnico presentado por el Servicio Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, se menciona que para un posible desplazamiento medio de 10 [m] en una ruptura de 500 [km] de longitud por 140 [km] de ancho (considerando un módulo de rigidez de 50 [GPa]) la magnitud del evento alcanzaría alrededor de 9 [Ms]. Esta estimación no considera variaciones en el estado de tensiones con posterioridad al terremoto de 1877 ya que supone la liberación total de tensiones debido a ese evento. Si esto no ha ocurrido, es decir, no ha habido liberación total de tensiones durante este terremoto, entonces la magnitud incluso podría superar el valor de 9 [Ms] (CSN, 2014).

Otro aspecto importante a mencionar, es que la zona que se activó en la secuencia de abril de 2014 se extiende desde aproximadamente los 19.3 °S hasta los 20.8 °S, es decir, abarca las dos concentraciones de sismicidad y coincide la concentración más extensa con la zona de ruptura del terremoto de 8.2 [Mw] y la menor con la réplica principal, de magnitud 7.6 [Mw] (CSN, 2014).

La zona del norte de Chile y sur de Perú, se encontraba en lo que se denomina una "laguna sísmica" ya que no habían ocurrido sismos de magnitud significativa desde 1868 y 1877, los últimos eventos ocurridos en esta región con magnitud superior a 8.5 [Ms]. Al examinar los modelos de acoplamiento entre las placas de Nazca y Sudamérica se puede inferir que en el transcurso de estos 137 años se habrían acumulado en la interface desplazamientos equivalentes a valores del orden de 10 [m].

Figura 29: Sismicidad superficial en la zona norte de Chile.



Fuente: (CSN, 2014).

Observaciones: Los círculos de color amarillo representan la sismicidad superficial asociada a las diferentes etapas en el proceso de liberación de energía sísmica en la región durante los períodos de julio, agosto de

2013 y enero, marzo de 2014. Los círculos de color naranja representan la sismicidad en profundidades entre 80 y 120 km bajo la Cordillera de Los Andes (CSN, 2014).

Estas cifras son solamente una estimación con bastante incerteza ya que no se conoce el estado de tensiones en la falla inmediatamente después del evento de 1877 (CSN, 2014).

Al ocurrir el sismo de abril de 2014, la zona de la "laguna sísmica" se subdivide en tres sectores de aproximadamente igual tamaño. El sector que se activa, desde aproximadamente Pisagua hasta Punta Patache, de unos 150 [km] de extensión, presenta posiblemente un desplazamiento máximo de unos 5-6 [m], principalmente ubicados en la parte más profunda de la zona de contacto entre placas. La magnitud del sismo, de acuerdo a estimaciones geodésicas, alcanzó a 8.15 [Ms]. Los segmentos localizados hacia el norte (Llolleo-Pisagua) y hacia el sur (Punta Patache-Tocopilla) del segmento que se ha activado en abril del 2014, y que no han sufrido desplazamientos recientes, han quedado adicionalmente cargados y es esperable que se activen en el futuro sin poder precisar fecha. Sin embargo, el escenario más probable dadas las extensiones de las regiones que no se han activado recientemente, es que las magnitudes esperables serían del orden de 8.1[Ms] - 8.2 [Ms] en cada segmento (CSN, 2014).

Análisis sísmico y geodésico

El aumento de los estudios sísmicos en Chile desde el terremoto del 1960, y la introducción de la tecnología de monitoreo local principalmente durante la década de los 70 y después del terremoto de 1985 Llolleo (Chile central), han sido el principal motor de mejora de la base de datos sísmicos del país. Esto ha llevado a una mejor comprensión del comportamiento de la interfaz de subducción en la zona central del país. Durante el año 1988 se instaló la primera red sismológica en el norte de Chile para estudiar la laguna sísmica asociada al terremoto del año 1877 (Reyes, 2012).

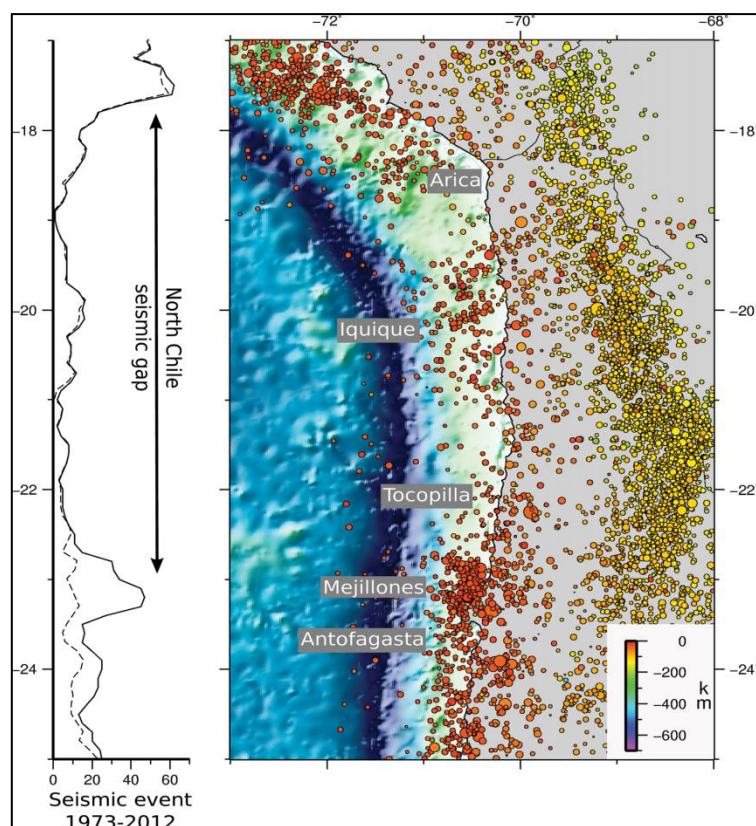
Después de esa fecha, se han producido algunos terremotos importantes, cuatro de ellos significativamente importantes:

- El terremoto de Antofagasta del 30 de julio 1995, con magnitud 8.0 [Mw] (Reyes, 2012)
- El terremoto de Tarapacá del 13 de junio de 2005 con magnitud 7.7 [Mw] (Reyes, 2012)
- El terremoto de Tocopilla del 14 de noviembre de 2007, con magnitud 7.7 [Mw] (Chlieh et al., 2011)
- El terremoto de Iquique del 1 de abril de 2014, con magnitud 8.2 [Mw] (CSN, 2014)

La parte Norte de Chile de la zona central de subducción de Los Andes (24°S a 18°S) no se ha roto desde el mega terremoto de 8.6 [Mw] en Iquique 1877 (Kausel & Campos,

1992) (Comte & Pardo, 1991). En estas latitudes, las placas de Nazca y América del Sur convergen a una velocidad de 67 [mm/año] (ver Figura 31) suponiendo acoplamiento completo en la interfaz de la placa (es decir, que la tasa de déficit de deslizamiento es igual a la tasa de deslizamiento a largo plazo), debería haberse acumulado una deformación de 9 [m] aproximadamente desde 1877. La liberación repentina de esta deformación acumulada durante más de 140 años en toda la longitud de la zona de subducción del Norte Chile, podría materializarse en un gigantesco terremoto de magnitud cercana a 9 [Mw] (Métois et al., 2013). Por otro lado, la ocurrencia de recientes terremotos de magnitud intermedia en los extremos de esta zona, aumentan potencialmente la presión sobre ella (Métois et al., 2013) .

Figura 30: Actividad sísmica en la zona norte de Chile.



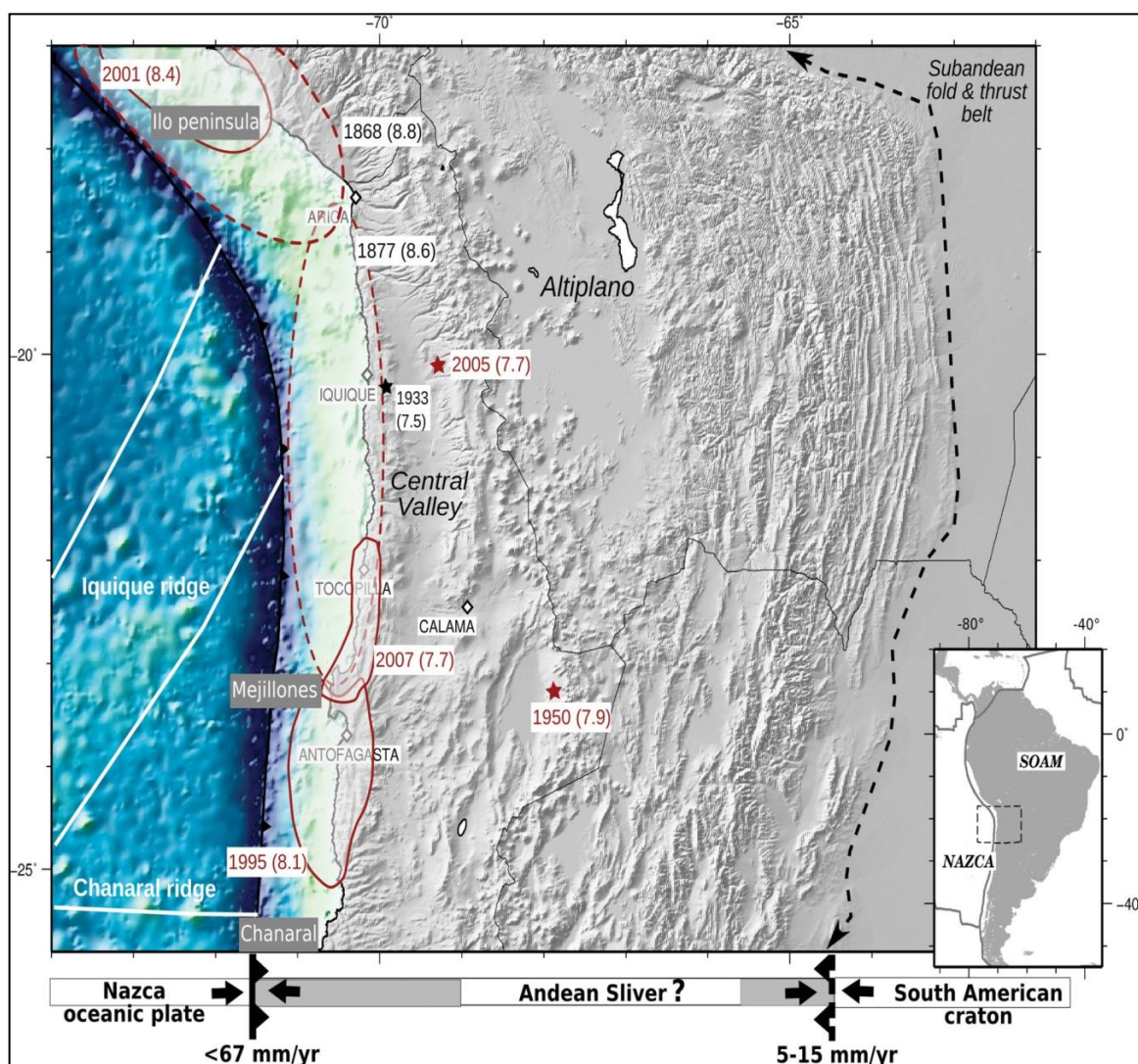
Fuente: (CSN, 2014).

Observaciones: El lado izquierdo de la imagen muestra una curva continua que representa el número de sismos <7 [Mw] de poca profundidad (profundidad <60 [km]). El lado derecho de la imagen muestra un mapa de todos los sismos registrados por el USGS 1973-2012 en el norte de Chile.

Sin embargo, el alto riesgo sísmico asociado a esta brecha puede ser menor de lo previsto. En primer lugar, la zona de ruptura del terremoto de 1877 es poco conocida, por

lo que existe un alto grado de incertidumbre que hace que la estimación de la amenaza sísmica en esta zona sea más compleja. En segundo lugar, parte de la convergencia entre las placas podría haber sido acomodada por un deslizamiento sísmico en la interfaz desde 1877, reduciendo el déficit de deslizamiento (CSN, 2014).

Figura 31: Fondo sismo tectónico del Norte de Chile y las principales características geológicas.



Fuente: (Métois et al., 2013).

Observaciones: Fondo sismotectónico del Norte de Chile y las principales características geológicas. El frente principal de la faja subandina está marcado con una línea discontinua de color negro. Las líneas blancas corresponden a contornos de las características batimétricas de la placa de subducción de Nazca. Las Estrellas rojas representan el hipocentro del evento Tarapacá 2005 intra-losa Peyrat et al. (2006). El diagrama inferior indica las posibles velocidades relativas de la placa de Nazca y sub-andina de la astilla con respecto al cratón Sudamericana. Las zonas grises marcan el grado de deformación elástica.

Por otro lado, en Los Andes Centrales, el Altiplano se desarrolla, la cordillera se ensancha y el trasarco subandino actúa como una especie de estructura activa que parece también dar cabida a parte de la convergencia entre la placas de Nazca y de Sudamérica, reduciendo por tanto la tasa de acumulación de la subducción (CSN, 2014).

Aún no se tiene una claridad en cuanto a si esta estructura actúa o no como límite oriental para una microplaca andina o si realmente se comporta como un elemento de bloqueo rígido. Así como tampoco se ha respondido en qué medida se acomoda el total de la convergencia. Estas siguen siendo preguntas abiertas (CSN, 2014).

En el norte de Chile, las estimaciones recientes de la tasa de acortamiento del trasarco varían de 5 a 15 [mm/año] (ver Figura 31) en función de las investigaciones hechas hasta la actualidad (Chlieh et al., 2011) (Métois et al., 2013). La evaluación de la peligrosidad sísmica en la zanja en el norte de Chile requiere la cuantificación de la partición de la convergencia entre ambas estructuras, ya que hay un gran equilibrio entre la cantidad de acoplamiento en la interfaz de subducción y el movimiento de bloques (Chlieh et al., 2011).

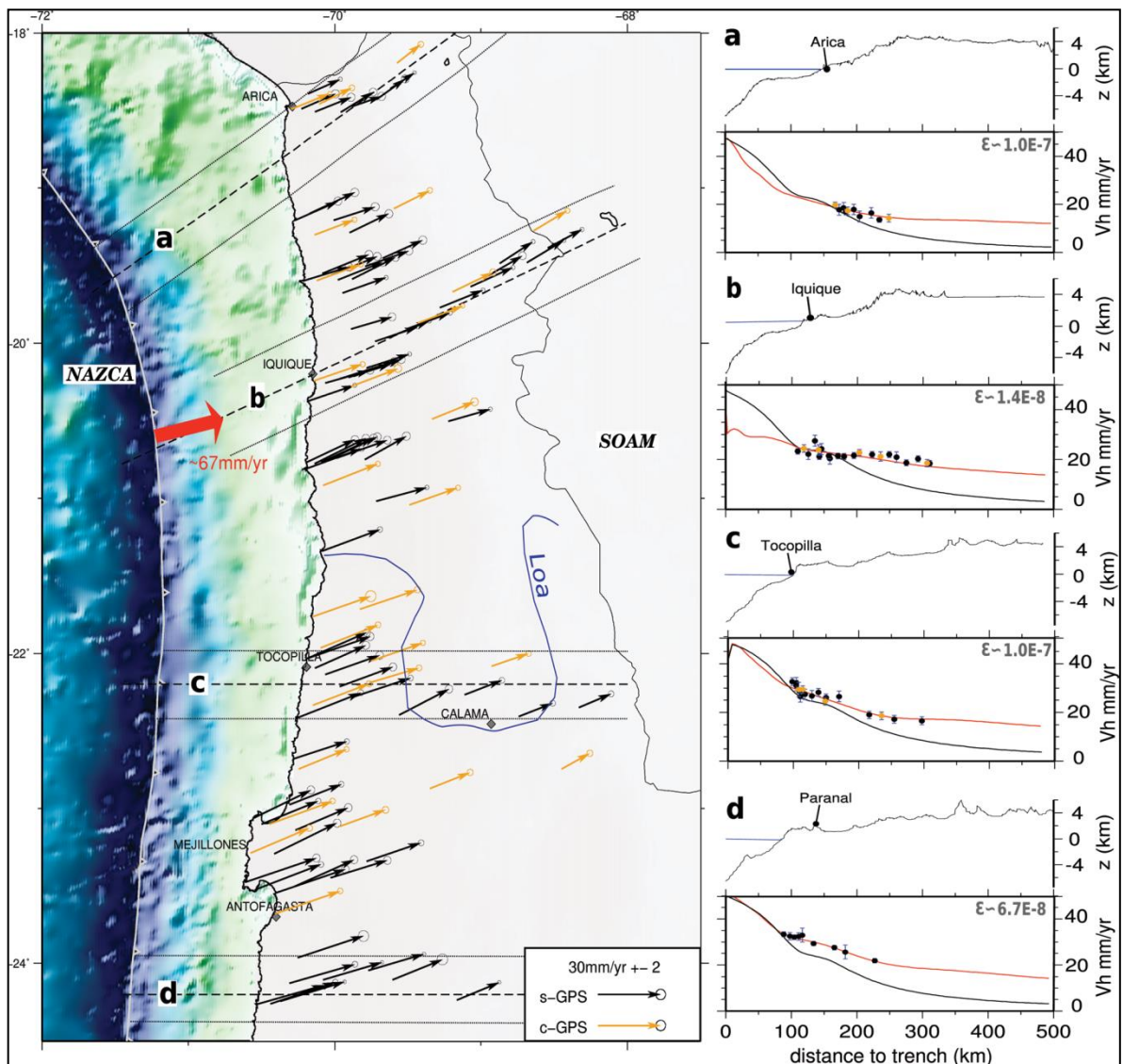
En las últimas dos décadas, se han generado campañas internacionales de instalación de equipos, además de la implementación de redes de seguimiento continuo basados en Sistemas de Posicionamiento Global, para medir la deformación intersísmica de la placa superior, cerca de la zona de subducción (ver Figura 32) (Métois et al., 2013). Desafortunadamente, estas mediciones se vieron afectados por algunos problemas técnicos.

En primera instancia, cada conjunto de datos se publicó en un marco de referencia singular desconocido, por lo tanto, eran difíciles de combinar. En segundo lugar, las redes eran demasiado escasas para dar una buena resolución de la distribución de acoplamiento en la interfaz y del movimiento de la cinta (Métois et al., 2013).

Por otra parte, estas medidas contienen señales cosísmicas y post sísmicas inducidas por varios sismos > 7 [Mw] en la zona norte de Chile, generando ruido en la deformación intersísmica. Recientemente, Chlieh et al. (2011) ha re combinado varios de esos conjuntos de datos antiguos e invertidos para espacialmente variar el acoplamiento intersísmico en el norte de Chile y sur de Perú. Sin embargo, sus modelos aún carecen de resolución en la zona Norte de Chile, en particular, al sur de 22° S.

Siguiendo esta línea de investigación, Métois et al. (2013) presenta un nuevo conjunto de datos geodésicos, así como la reinstalación y nuevas mediciones en base a una red de monitoreo más densa, en el norte de Chile. En este estudio se genera un nuevo campo de velocidades horizontales que cubre toda la brecha sísmica del Norte Chile y muestra una densidad mayor en relación a las soluciones anteriores. Además, representa hoy en día, la deformación intersísmico sin transientes cosísmicos o post sísmicos. Sobre la base de este análisis se propone una interpretación de la distribución regional de acoplamiento en términos de segmentación y el comportamiento mecánico de un sismo de intensidad mayor.

Figura 32: Conjunto de datos intersísmicos adquiridos por Métois et al. 2013.



Fuente: (Métois et al., 2013).

Observaciones: Nuevo conjunto de datos intersísmicos adquiridos entre los años 2000-2012 en referencia a las campañas realizadas (flechas negras) y las estaciones permanentes (flechas naranjas). A la derecha, se muestra la topografía (en [km]) y las velocidades horizontales (en [mm año⁻¹]) en contra de la distancia a la zanja (en [km]). La línea de color negro es la deformación teórica predicha por el modelo de primer orden sencillo propuesto por Chlieh et al. (2004), donde la losa se sumerge 20° y la interfaz está totalmente bloqueada a 40 [km] de profundidad. La línea roja es la deformación teórica predicha por el modelo de placa de Métois et al. (2013). La velocidad de deformación ϵ está indicado para cada perfil (de A a D, calculado de 150 a 250 [km]). (Métois et al., 2013).

En el norte de Chile, el campo de velocidad horizontal relativa al estable Cratón¹ Sudamericano, presenta un patrón inusual de deformación (ver Figura 32). A lo largo de la costa, las velocidades horizontales son más o menos paralelas a la dirección de convergencia de placas, pero mirando hacia el interior, no hay una rotación clara de la deformación hacia una orientación más perpendicular de la zanja como se observa en el centro o el sur de Chile. Además, se observa una velocidad de 10 [mm/año] en la deformación hacia el Este, a 300 [km] de distancia de la zanja.

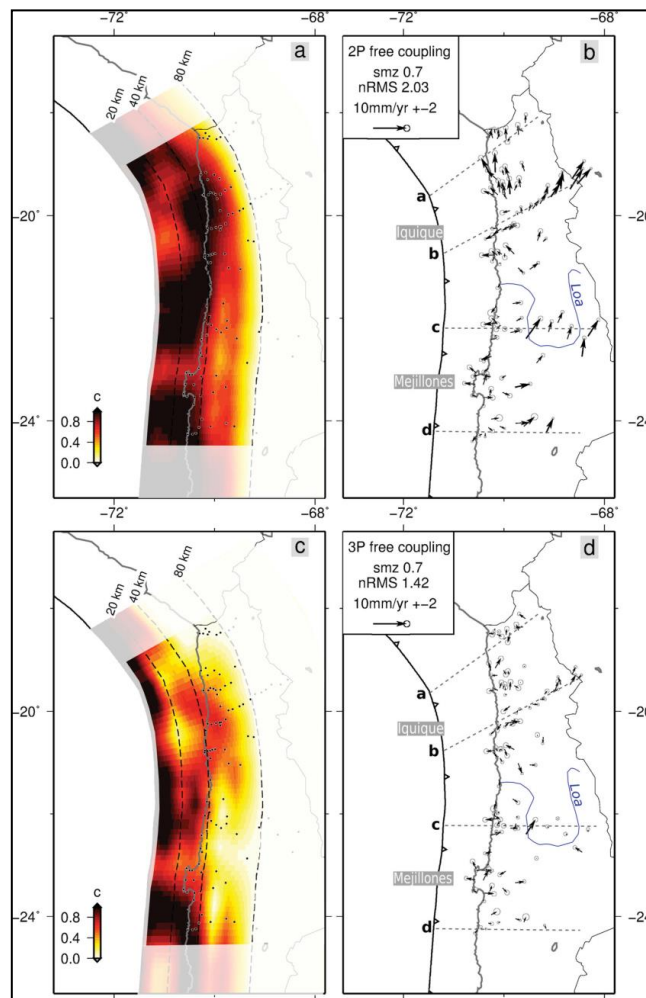
En consecuencia, la cantidad de tensión (ϵ) calculada a lo largo de cuatro perfiles perpendiculares a la zanja, es menor de lo esperado. Por último, no hay casi ningún acortamiento en la latitud de Iquique (20°S aproximadamente) (Métois et al., 2013).

La brecha sísmica Norte de Chile que produjo el terremoto Mw 8.7 de 1877 no consiste en un único segmento, sino más bien en dos segmentos que podrían interactuar a través de varias fases del ciclo sísmico. El terremoto de Tocopilla del 2007, que se produjo en la parte profunda del segmento Loa, debería haber aumentado la presión sobre la parte más superficial de la subducción y promovido una futura ruptura en dicha zona (Métois et al., 2013).

Todas estas hipótesis se basan en una recopilación de datos y la reconstrucción de los modelos de acoplamiento de primer orden propuestos por Chlieh et al. (2011), lo cual se materializa en un nuevo modelo de 3 placas que se presenta en el trabajo de Métois et al. (2013) (ver Figura 33), utilizando el Código DEFNODE desarrollado por McCaffrey (2002) con base en las ecuaciones de Okada (1985) y en la hipótesis de rezagado Savage (1983).

¹ **Cratón:** Corresponde a una masa continental llegada a tal estado de rigidez en un lejano pasado geológico que, desde entonces, no ha sufrido fragmentaciones o deformaciones, al no haber sido afectadas por los movimientos orogénicos.

Figura 33: Distribuciones de acoplamiento resultantes del modelo de Métois 2013.

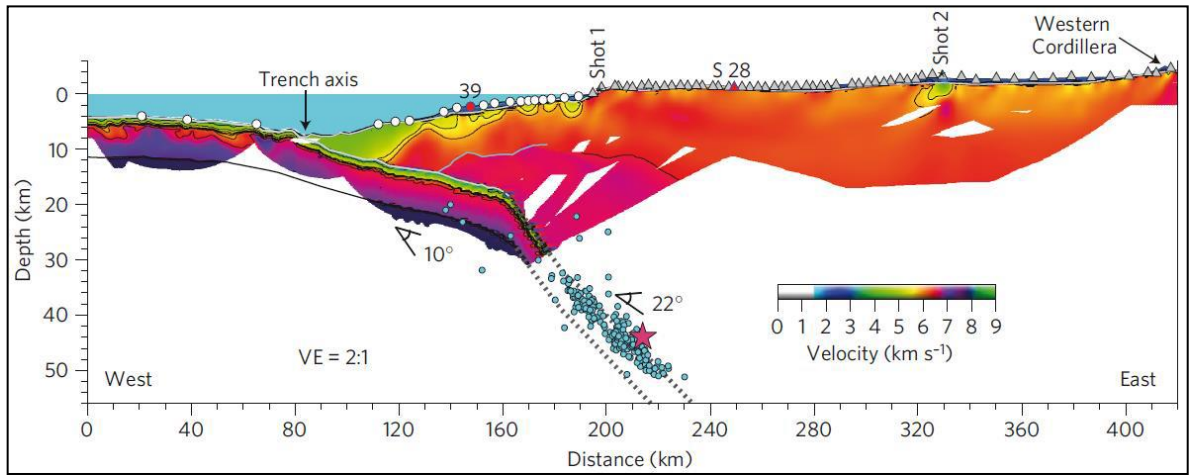


Fuente: (Métois et al., 2013).

Finalmente, otro aspecto relevante que puede ser considerado, es la investigación de la exploración sísmica realizada por Contreras Reyes et al. (2012). Mediante el uso de ángulos de refracción y reflexión sísmica de ancho de tierra y mar, complementados con datos de hipocentro registrados durante las réplicas Tocopilla 2007, lograron encontrar un cambio en la interfaz de subducción, en torno a la latitud de 58° S 22.

La Figura 34 fue extraída de la obra citada en el párrafo anterior, y muestra claramente que a una profundidad de aproximadamente 20 [km] hay 12° de incremento en el ángulo de inclinación que puede ser un factor de acoplamiento entre las placas. Esta hipótesis ha sido una posible explicación para el comportamiento sísmico relacionado con el terremoto de Tocopilla del 2007 (Reyes, 2012).

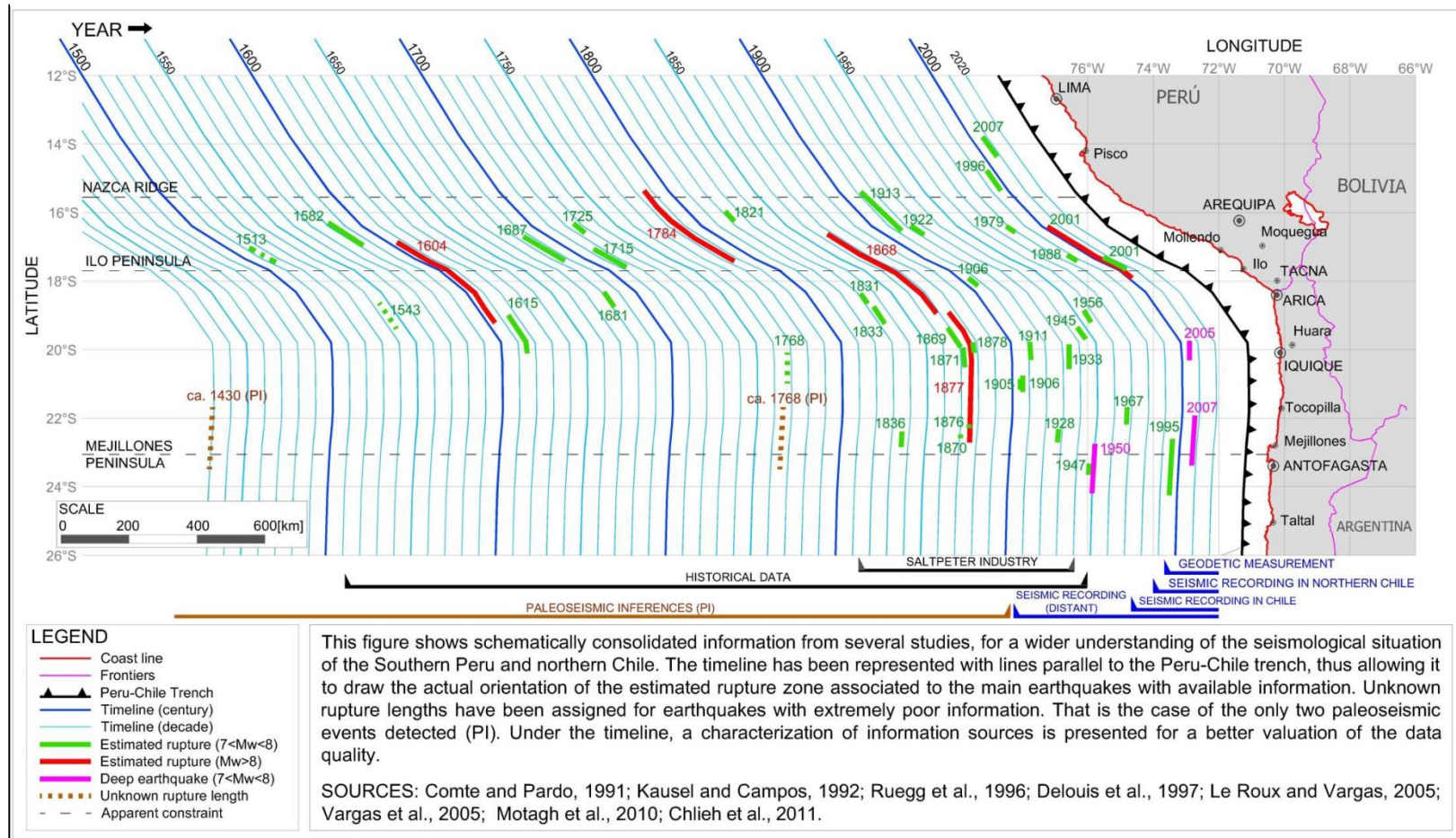
Figura 34: Modelo bidimensional de velocidad-profundidad.



Fuente: (Contreras-Reyes, 2012).

Observaciones: La estrella roja indica el hipocentro de Tocopilla 2007, y sus réplicas están representadas por círculos de color azul claro; los puntos blancos y triángulos grises representan las estaciones marítimas y terrestres, respectivamente. VE, la intensidad vertical.

Figura 35: Recopilación de grandes terremotos en el sur de Perú y norte de Chile (entre 14°S y 24°S).



Fuente: (Reyes, 2012)

Mega eventos sísmicos (Megaterremotos)

El impacto de un mega terremoto, con una magnitud igual o mayor que 9.0 [Mw], puede presentar mayores efectos físicos en comparación a uno de intensidad normal. El primer y más gigantesco evento sísmico jamás registrado en la historia fue el terremoto de Valdivia del 22 de mayo en la zona sur de Chile, que tuvo un gran impacto sobre la forma en que la sismicidad mundial y en particular en la cuenca del Pacífico, sería estudiada en el futuro. Sin embargo, mientras se veía como un evento único durante las últimas décadas del siglo XX, algunas mejoras científicas permitieron aumentar el conocimiento y las preguntas acerca de los grandes terremotos en las interfaces de subducción. De hecho, la combinación de los resultados a partir de datos históricos y geológicos llevados a cabo para demostrar la ocurrencia de grandes terremotos en la zona de subducción de Cascadia de América del Norte, eventos que pasaron desapercibidos (Satake & Atwater, 2007).

Desde la ocurrencia del sismo de 2004 en Sumatra (~ 9 [Mw]), los conceptos teóricos que rodean la explicación de este tipo de mega eventos, se vieron fuertemente sujetos a cambios y nuevos aportes de investigación. Fue una primera advertencia a tener en cuenta que algunas hipótesis no eran tan fiables. La segunda alerta llegó con el gran terremoto de Tohoku de marzo de 2011. Los dos terremotos liberaron una gran cantidad de energía en las interfaces de subducción, donde no se suponía tal cantidad de energía acumulada (Satake & Atwater, 2007). Por otra parte, el terremoto de Valdivia 1960 lanzó una cantidad de energía que no se explica del todo de la tasa de acumulación de deslizamiento de los eventos anteriores, una característica que ha sido también observado por otros terremotos en las zonas de subducción (Reyes, 2012).

El gigantesco terremoto de Sumatra-Andaman del 2004, se produjo en una zona de subducción donde sólo se habían registrado terremotos de baja intensidad (Satake & Atwater, 2007). Además, la placa de subducción Indo-Australiana parecía ser demasiado vieja para un terremoto 9 [Ms] (Satake & Atwater, 2007).

Por otro lado, los estudios paleosismológicos en el centro de Chile, Japón y el oeste de América del Norte indican una variación similar en el tamaño del terremoto en las zonas de subducción, aportando una nueva información para el entendimiento de la recurrencia de los mega eventos sísmicos, y la demostración de que, incluso en las zonas de subducción donde se puede observar una recurrencia de terremotos ~ 8 [Mw] registrados a lo largo de la historia, pueden existir eventos más grandes con intervalos de recurrencia más extensos (Satake & Atwater, 2007).

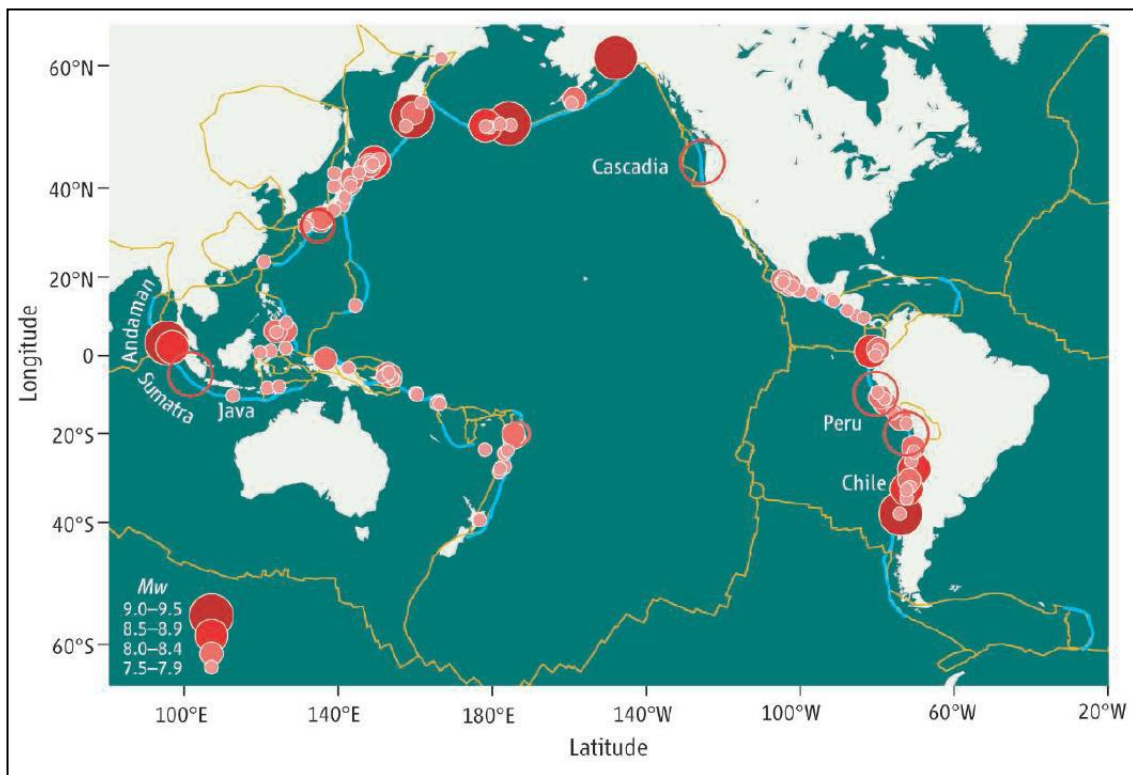
Los hechos anteriormente expuestos podrían parecer exagerados, considerando los registros sísmicos e históricos y el análisis geodésico y/o mecánico de las interacciones entre las placas en las interfaces de subducción. Sin embargo, hay que tener en cuenta

que las teorías de la recurrencia asociada a mega terremotos fueron postulados ante el acontecimiento Tohoku del 2011 (Satake & Atwater, 2007).

McCaffrey (2007) argumenta que la ruptura de cualquier segmento continuo de alrededor de 800 [km] de longitud o más, puede producir un terremoto 9 [Ms]. Así, muchos de los esfuerzos en la investigación sísmológica han tratado de determinar durante mucho tiempo, cuales son los segmentos más propensos a una ruptura.

Por otro lado, Kagan y Jackson (2012) afirman que el terremoto de magnitud 9 [Ms] en Tohoku (Japón) del 2011 no debería haber sido una sorpresa, teniendo en cuenta la evidencia de que el comportamiento de las zonas de subducción no se entiende totalmente en términos de los sísmicos y su incidencia en la generación de los terremotos 9 [Ms].

Figura 36: terremotos conocidos de intensidad 7.5 [Ms]



Fuente: (Reyes, 2012)

Observaciones: En la imagen se representan los segmentos de la zona de subducción (curvas azules) y los límites de placas tectónicas (curvas de color amarillo). Los círculos llenos muestran la ubicación de los terremotos conocidos de intensidad $M_{7.5}$ o mayor desde 1900. Los círculos abiertos corresponden a muestras incompletas de grandes terremotos ocurridos entre 1700-1900.

Además, estiman que la tasa mundial de terremotos de magnitud 9 [Ms], tanto en la predicción estadística de eventos moderados y de conservación de momento observadas durante los últimos 110 años, corresponde a la probabilidad de alrededor de 5 eventos por siglo, la mayor parte de ellos concentrados en todo el Pacífico. Por último, sugieren que los terremotos de magnitud 10 no se pueden considerar imposible, por lo que desarrollaron modelos que sugieren un tiempo de recurrencia mundial de unos cientos o miles de años (Reyes, 2012).

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA DE TSUNAMI EN IQUIQUE

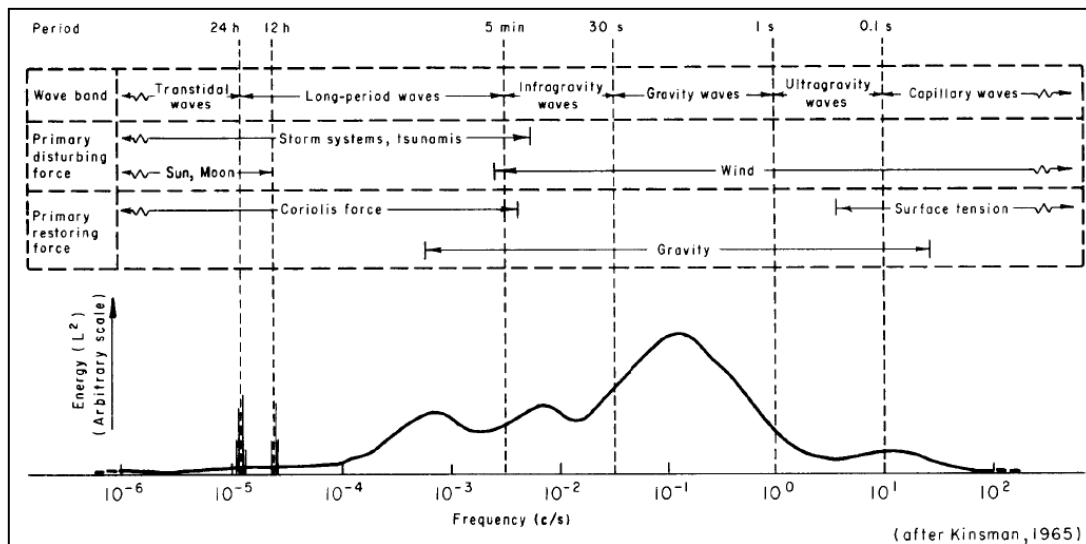
CONCEPTOS FUNDAMENTALES

DESCRIPCIÓN GENERAL

La palabra tsunami se origina a partir de una combinación de dos jeroglíficos característicos de la caligrafía japonesa, que traducido en conjunto significa "ola de puerto" (Lagos, 2002).

Este término ya ha sido convencionalmente adoptado en la literatura científica, aunque en los medios de comunicación generales aún se pueden encontrar términos que prevalecían anteriormente, como "ola de marea alta", "olas sísmica la de altamar" y "maremoto", el cual aún es utilizado en algunas partes del mundo (Farreras, Domínguez, & Gutierrez, 2005).

Figura 37: Distribución energética de las ondas de superficie.



Fuente: (USACE, 1984)

Estas ondas pueden acumular suficiente energía para atravesar océanos. Se propagan como ondas gravitacionales, presentando un rango de períodos que varía entre 5 y 60 [min]. Al aproximarse a la costa, los tsunamis incrementan su altura y pueden causar un impacto importante en las comunidades costeras (Levin, 2009).

La formación de los tsunamis se puede ocasionar por diversas causas, tales como el movimiento de las placas submarinas ante un evento sísmico de gran intensidad, deslizamientos y derrumbes de masas de tierra sobre la superficie marina, y erupciones volcánicas submarinas. Algunas ondas que exhiben características similares, puede ser debido a cambios bruscos de la presión atmosférica (meteo-tsunamis) y a potentes explosiones submarinas que pueden transferir gran cantidad de energía al medio marino. Ultimamente, se ha estado estudiando la posibilidad de impacto de un meteorito en la superficie oceánica de la tierra, como causal extraordinaria que pueda originar un evento de tsunami. También es necesario considerar la combinación de las causales anteriores al momento de evaluar el impacto que pueda ocasionar un tsunami (Levin, 2009).

Figura 38: Efectos devastadores en las costas de Japón ante el Tsunami del 2011.



Fuente: Woods Hole Oceanographic Institution.

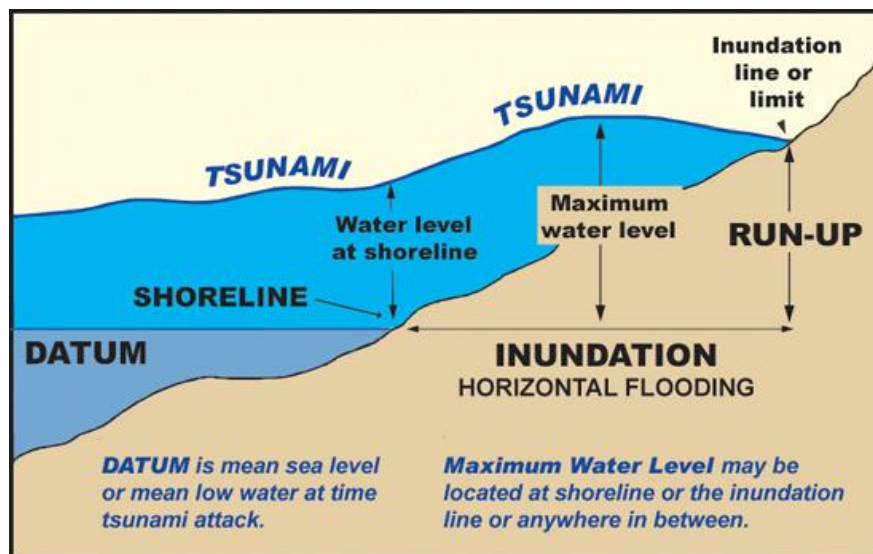
Es importante hacer un especial realce, que la causal más destructiva corresponde a desplazamientos verticales de las placas del fondo marino que generalmente se deben a fuertes sismos con epicentro en las zonas oceánicas, que pueden ocasionar cambios bruscos que se traduce en importantes desniveles en un tiempo reducido (Levin, 2009). Por esta razón, se puede inferir que las zonas costeras son potencialmente peligrosas desde el punto de vista de la ocurrencia de los tsunamis y su impacto sobre ellas (ver Figura 38).

Desde el punto de vista de la hidrodinámica estas ondas son largas (de longitud de onda (λ) mucho mayor que la altura de onda H). La velocidad de propagación de las ondas largas con una determinada altura H se determina por la formulación $C = (gH)^{1/2}$, donde g es la aceleración de gravedad (UNICAN, 2000).

Por ejemplo, en el caso general de una ola de tsunami con una altura $H \sim 4$ [Km], se propaga con una velocidad del orden de magnitud de los 200 [m/s], o alrededor de 720 [km/h], la cual es comparable a la velocidad de un avión moderno.

A partir de la longitud de onda de tsunami y su velocidad de propagación se puede estimar fácilmente el periodo de la ola del tsunami $T \sim \lambda/c \sim 500$ [s]. La amplitud de la onda del tsunami en el océano abierto o aguas profundas, incluso en el caso de eventos catastróficos, se limita generalmente a decenas de centímetros, y rara vez excede de 1 [m]. Sin embargo, la amplitud del desplazamiento de la superficie del agua en la fuente de tsunami puede alcanzar los 10 [m], y más. Junto con esto, también se puede hacer la observación de que la amplitud es notablemente inferior la profundidad promedio del océano (Levin, 2009).

Figura 39: Zona de inundación de un tsunami



Fuente: (Levin, 2009).

En la medida que el tsunami se aproxima a la costa, existen aumentos de amplitud de onda que tiene un alto grado de importancia en cuanto a la determinación del peligro de estas ondas, que también está relacionado con la interacción que tiene la onda en función del aumento de la pendiente del fondo marino (Winckler, Reyes, & Sepulveda, 2010).

La disminución progresiva en la profundidad de la columna de agua conduce a una disminución considerable en la velocidad de propagación de la onda y, por consiguiente, a la compresión del paquete de ondas en el espacio y un aumento de su amplitud por acción de la conservación de la energía contenida. En el caso de los tsunamis catastróficos, las alturas alcanzan desde los 10 a 30 [m], mientras que la onda es capaz de alcanzar una cota de inundación tierra adentro (run-in²) de 3 a 5 [km] de la costa (UNESCO, 2008).

El peligro llevado por las olas del tsunami está relacionado principalmente con los siguientes tres factores:

- La inundación repentina de una parte de la tierra,
- El impacto de las olas sobre edificios
- Los efectos erosivos post-tsunami

Una vez que el tsunami alcanza la costa, se generan fuertes corrientes con velocidades de decenas de metros por segundo, que son capaces de romper las casas, desplazar elementos pesados, causar daños en la infraestructura urbana, la destrucción de puentes e infraestructura portuaria. Los flujos de agua a menudo llevan piezas rotas de edificios y otras estructuras, embarcaciones grandes y pequeñas, escombros, que son recogidos por el agua en movimiento rápido disminuyendo considerablemente las posibilidades de supervivencia de un individuo que es alcanzado por la ola. Los daños causados por tsunamis, también pueden ser causa de incendios (desperfectos eléctricos, etc.), la contaminación del medio ambiente y las epidemias resultantes de devastación de la infraestructura costera (Levin, 2009).

GENERACIÓN DE TSUNAMI POR EVENTOS SÍSMICOS

Tal como se menciona en la sección anterior, en la gran mayoría de los casos, el movimiento inicial que provoca la generación de los tsunamis es una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano, producto de un sismo de gran intensidad en términos de liberación de energía. En el transcurso del siglo XX, éste ha sido el origen de aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis ocurridos en el Océano Pacífico (Farreras, Domínguez, & Gutierrez, 2005).

En su zona de generación, mientras se desplazan por aguas profundas mar afuera, las olas de los tsunamis son de gran longitud (cientos de kilómetros) y exigua altura (centímetros). No obstante que se propagan a gran velocidad (cientos de kilómetros/hora), visualmente esto los hace indetectables desde embarcaciones y aviones.

² **Run-In:** Se refiere a la distancia medida en planta, que va desde un punto de la línea de costa a otro punto en la cota máxima de inundación alcanzada por el Tsunami.

En general, los grandes terremotos en las costas de Chile presentan una zona de ruptura ubicada entre la fosa y 100 [km] al Este, en que se producen sollevamientos, y una zona interior entre 100 y 220 [km] al Oeste, en que se produce subsidencia³ (Winckler, Reyes, & Sepulveda, 2010).

El contacto entre placas es rugoso, produciéndose un acoplamiento entre ellas y acumulación de energía en el período intersísmico. Los epicentros de estos sismos tsunamigénicos se localizan a unos 100 [km] de la fosa en el litoral y a una profundidad focal de hasta 60 [km] (Winckler, Reyes, & Sepulveda, 2010).

En la actualidad se reconoce la existencia de 3 condiciones básicas para la generación de un tsunami de origen tectónico (UNESCO, 2008):

- Que el epicentro del sismo (lugar donde empieza la ruptura que se extiende formando un plano de falla en el interior de la tierra), o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 60 [km].
- Que ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas, es decir, que la falla tenga movimiento vertical y no sea solamente de desgarre con movimiento lateral.
- Que el sismo libere suficiente energía y que el mecanismo de falla a través del cual ésta es transformada en energía hidrodinámica, sea eficiente⁴.

En este sentido, es importante mencionar que hasta la fecha se ha reconocido, que no existe una relación binaria entre terremotos y tsunamis, puesto que un movimiento sísmico de magnitud considerable puede indistintamente generar un tsunami importante o no hacerlo.

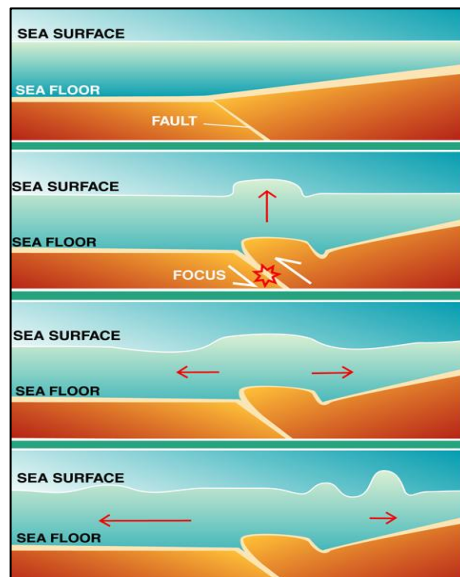
Como indicador de certeza de generación de maremotos, tradicionalmente se había aceptado que la magnitud del sismo fuera mayor que 7.5 [Ms]⁵. Sin embargo, para terremotos muy grandes o de gran duración (mayor que 20 segundos), este indicador no es confiable. En efecto, movimientos telúricos menores que 7.0 [Ms] y de gran duración han provocado tsunamis anormalmente grandes respecto de lo esperable (Farreras, Domínguez, & Gutierrez, 2005).

³ **Subsidencia:** Describe el movimiento de una superficie en la que la componente vertical del desplazamiento es claramente predominante sobre la horizontal.

⁴ El estado actual del conocimiento científico acerca de esta condición, es insuficiente. En la actualidad, no existe ningún modelo teórico ni método operacional totalmente satisfactorio que permita determinar si efectivamente un sismo es tsunamigénico (generador de tsunami), ni de qué tamaño (magnitud, intensidad, o altura de olas) será el tsunami generado.

⁵ **Magnitud de ondas superficiales:** Esta escala se basa en la amplitud máxima producida por las ondas superficiales Rayleigh con período en el rango de 18 a 22 segundos.

Figura 40: Generación de un tsunami por desplazamiento vertical de placas.



Fuente: (UNESCO, 2008).

TIPOLOGÍAS DE TSUNAMIS

Tsunamis locales

El lugar de arribo a la costa está muy cercano o dentro de la zona de generación (delimitada por el área de dislocación del fondo marino) del tsunami. Sus efectos destructivos se limitan a las costas dentro de unos 100 [km] (o menos de 1 hora el tiempo de viaje del tsunami de viaje) desde su origen. El tsunami local es usualmente generado por un terremoto, pero también puede ser causado por un deslizamiento de tierra o de un flujo piroclástico de una erupción volcánica.

Tsunamis regionales

Estos son capaces de causar la destrucción de una región geográfica determinada, generalmente a menos de 1.000 [km], con 1 a 3 horas de tiempo de viaje del desde su generación. Los tsunamis regionales también de vez en cuando tienen efectos muy limitados y localizados fuera de la región.

Los tsunamis más destructivos pueden ser clasificados como locales o regionales. De ello se desprende la pérdida de muchas vidas humanas, además de daños materiales considerables. Entre los años 1975 y 2007 hubo 34 tsunamis locales o regionales que resultaron en muertes y daños en infraestructura cercana al borde costero, donde 23 de ellos fueron en el Pacífico y mares adyacentes (UNESCO, 2008).

En la mayoría de estos casos, los esfuerzos de mitigación de tsunami en el instante, eran incapaces de evitar daños y pérdidas de vidas significativas. Sin embargo, las pérdidas por futuros tsunamis locales o regionales pueden reducirse con una red más densa de los sistemas de alerta, estaciones de informes sísmicos y de nivel de agua, y una mejor comunicación. Con esto se logra establecer los medios adecuados para proporcionar una advertencia oportuna a las comunidades vulnerables. Por otro lado, también es indispensable contar con programas de preparación y educación de tsunami para crear una cultura de reacción de las personas ante estos posibles eventos.

Tsunamis Lejanos (Transoceánicos)

Es un tsunami que se origina a partir de una fuente lejana, por lo general más de 1000 [km] o más de 3 horas el tiempo de viaje del tsunami desde su generación.

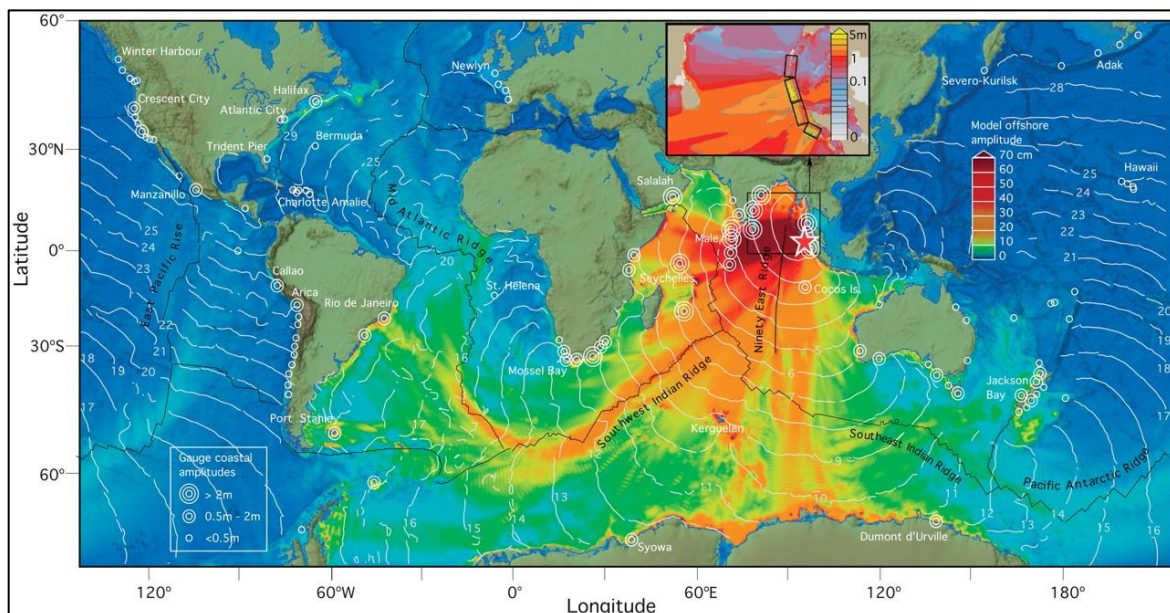
Por lo general, su generación es de origen local que causa una destrucción extensa cerca de la fuente, a su vez, estas ondas continúan viajando a través de toda la cuenca del océano con la energía suficiente para causar bajas adicionales y destrucción en las costas opuestas (Levin, 2009).

El tsunami transoceánico más destructivo registrado recientemente en el Pacífico, se produjo a causa de un terremoto frente a la costa de Chile el 22 de mayo de 1960. La totalidad de los pueblos cercanos de la costa de Chile entre estos paralelos, fueron destruidos o gravemente dañados por la acción del tsunami y el terremoto. Este evento de gran magnitud, cobró la vida de 2.000 personas, además de 3.000 heridos, dos millones de personas sin hogar, y pérdidas millonarias en términos de la infraestructura dañada. Frente a la costa de Corral (Valdivia), Chile, las olas se estimaron en 20 [m] de altura en algunos lugares de la costa (Farreras, Domínguez, & Gutierrez, 2005).

Otra de las catástrofes más importantes registradas hasta la fecha, fue el tsunami que se produjo en el Océano Índico el 26 de diciembre de 2004, cuando un terremoto de magnitud 9,3 [Ms] (ver Figura 41) fuera de la costa noroeste de Sumatra, generó un tsunami en todo el océano que afectó a Tailandia y Malasia al este, India y África hacia el oeste, ya que atravesaron todo el Océano Índico. Cerca de 228.000 personas perdieron la vida y más de un millón de personas fueron desplazadas, perdiendo sus hogares, propiedades y sus medios de vida (UNESCO, 2008).

Este evento, también permitió crear conciencia sobre los peligros de tsunami a nivel mundial, y los nuevos sistemas se establecieron de alerta y monitoreo que se implementaron en el Caribe, Mediterráneo y en el Atlántico.

Figura 41: Propagación del tsunami generado en el océano Índico (2004), a escala global.



Fuente: NOAA (2005).

EVALUACIÓN DE RIESGO DE UN TSUNAMI

Ante la evaluación del riesgo de este tipo de eventos, es fundamental contar con la mayor cantidad de información relacionada con la comunidad costera, con el fin de identificar cuáles son las poblaciones más vulnerables y los factores de mayor influencia en la determinación de la magnitud del riesgo al que están sometidas en caso de un posible tsunami.

Esta evaluación requiere el conocimiento de las fuentes probables de tsunami (como terremotos, deslizamientos de tierra y erupciones volcánicas) según sea el caso o tipo de generación, su probabilidad de ocurrencia, y las características de los tsunamis procedentes de fuentes en diferentes lugares a lo largo de la costa. Para esas comunidades, los datos de los tsunamis anteriormente ocurridos (históricos y paleotsunamis) pueden ayudar a cuantificar estos factores. Sin embargo, para la mayoría de las comunidades costeras, la cantidad de datos históricos registrados, es muy limitada.

Por otro lado, los modelos numéricos de inundación de tsunami pueden proporcionar estimaciones de las áreas que serán inundadas en caso de un terremoto tsunamigénico local o distante o un deslizamiento de tierra local (UNESCO, 2008).

IMPACTO FÍSICO DE UN TSUNAMI SOBRE LA COSTA

A pesar de que los tsunamis son poco frecuentes, se consideran como uno de los fenómenos físicos más aterradoros y complejos de representar, y han sido responsables de gran cantidad de pérdidas de vidas, además de una gran destrucción de edificaciones. Debido a su destructividad, los tsunamis tienen impactos importantes en los sectores humanos, sociales y económicos de las sociedades (UNESCO, 2008).

Como se explicó anteriormente, al acercarse las olas de los tsunamis a una costa de pendiente suave (por ejemplo una playa), a medida que disminuye la profundidad del fondo marino también decrece su velocidad, las longitudes de onda se acortan, la energía se concentra y la altura se incrementa, con una potencialidad destructiva. Sin embargo, la interacción de las olas de los tsunamis con la costa es mucho más compleja que este asomeramiento⁶.

En la costa, la altura de los tsunamis depende de los siguientes factores:

- Las características de las olas en mar abierto
- La batimetría de la zona afectada
- La pendiente de fondo marino
- Configuración del contorno litoral
- Procesos de transformación de la onda: refracción, reflexión y difracción

La multiplicidad y combinación de los factores anteriores, hace que la evaluación del comportamiento local en relación a la interacción de un tsunami y la costa, sea un problema complejo y que, aun en distancias cortas, la altura máxima de sus olas varíe considerablemente a lo largo de la costa (Levin, 2009).

Tal como se menciona en las secciones anteriores, un tsunami no es una sola ola, sino una secuencia o *tren de olas* que cada 10 a 40 minutos se suceden una tras otra durante un lapso de medio día, un día o más. Comúnmente, la ola de mayor altura y potencial destructivo no corresponde a la primera ni la segunda, sino que suelen ser las olas sucesivas (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2005).

En bahías semicerradas (con forma semejante a una herradura) las olas del tsunami experimentan en el interior reflexiones múltiples sucesivas en las costas opuestas, amplificándose su oscilación y la altura con que invaden las costas. Este fenómeno se denomina *amplificación resonante por formación de ondas estacionarias*; se genera en olas de tsunami cuya longitud sea igual o múltiplo de las dimensiones horizontales (longitud y anchura) de la bahía (Levin, 2009).

⁶ **Asomeramiento:** Proceso de transformación del oleaje, que representa un progresivo aumento en la altura de la ola, en función del crecimiento de la pendiente de fondo (disminución de la profundidad) en su aproximación a la costa.

Las olas de los tsunamis pueden penetrar por ríos, esteros, arroyos y/o lagunas costeras, y viajar a gran velocidad hasta varios kilómetros tierra adentro; a esto se le denomina *bores turbulentos*.

En relación a los daños materiales que puede ocasionar un tsunami en su arribo, se pueden clasificar en *daños primarios* y *daños secundarios*. Los daños primarios son causados directamente por la acción estática del agua (inundación, presión, flotación) en las estructuras, o por su acción dinámica (corrientes, fuerzas de arrastre), y rompimiento de las olas o rebase de sus aguas en muelles y rompeolas (UNESCO, 2008).

Los daños secundarios pueden ser causa de los siguientes factores:

- Impacto de objetos flotantes o arrastrados por las aguas (embarcaciones, vehículos, etc.) en estructuras fijas.
- Incendios o explosiones, inducidos por el impacto de tales objetos flotantes en tanques de almacenamiento de combustible.
- Líneas eléctricas caídas.
- Derrumbe de edificaciones, por escurrimiento del material térreo de soporte de sus cimientos.
- Contaminación por líquidos y/o gases tóxicos, al romperse los recipientes o envases.

CONTEXTO GUBERNAMENTAL

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), es una institución militar creada el año 1874, con la misión principal de ser el organismo oficial nacional técnico y permanente para dar asistencia técnica para la navegación; involucrando las áreas de hidrografía, cartografía, oceanografía, navegación y la astronomía, entre otros. Además, la institución contribuye al desarrollo de las actividades e investigaciones relacionadas, respecto a los objetivos nacionales como nación marítima (SHOA, 2014). Considerando las responsabilidades que se mencionan anteriormente, el SHOA es el organismo responsable de generar las cartas de inundación ante la amenaza de tsunami en el litoral de Chile.

El año 1996 el SHOA implementa el “Sistema de Alerta de Tsunami Alerta Nacional” (SNAM), y representa oficialmente la República de Chile en el Sistema Internacional de Alerta contra los Tsunamis en el Pacífico, siendo núcleo operativo del “Pacific Tsunami Warning Center” (PTWC), situado en Hawai (SHOA, 2014).

El SHOA tiene una organización funcional, la cual se compone por nueve departamentos (considerando la subdirección) El área encargada del desarrollo de modelos de tsunamis y la construcción de mapas de inundación corresponde al “departamento de tsunami”, todos ellos con carreras universitarias en la geografía, oceanografía además de expertos en el área de la ingeniería civil oceánica.

MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA INUNDACIÓN

La primera carta de inundación de tsunami fue presentado por el SHOA el año 1997, que corresponde al estudio de riesgo de tsunami realizado para Arica, ciudad situada en el litoral costero norte de Chile. Posteriormente, la carta de inundación para Iquique fue publicada en el año 1998, resultado de la modelación matemática en base al software TUNAMI y sólo considerado la línea de inundación teórica (Reyes, 2012).

Luego del terremoto y tsunami del Maule en el año 2010, se presentaron todos los mapas de inundación para su revisión, así como todo el proceso de su desarrollo. La nueva versión de los mapas de inundaciones se han publicado desde el año 2010, y en el caso de Iquique, su tercera versión fue publicada el año 2012 (SHOA, 2012). El software de modelación numérica utilizado para la tercera versión es COMCOT 1.7, y fue desarrollado por la Universidad de Cornell en base a las ecuaciones de aguas someras (Shallow Water Equations), resueltas con la diferenciación de métodos finitos.

Las competencias profesionales para las responsabilidades asignadas son principalmente centradas en los líderes, la acumulación de años de experiencia en este tipo de estudios, que se complementa con ejercicios y experiencia en levantamiento de datos en terreno, asociados a tsunamis ocurridos. Sin embargo, esta no es la única responsabilidad para el equipo, por lo que estas investigaciones se hacen en tiempos muy acotados. Esto se puede apreciar en la ausencia de documentos formales con la descripción de las hipótesis, los detalles de cálculo y la información de copia de seguridad para cada modelo (Reyes, 2012).

En el caso de Iquique, así como muchas otras ciudades, y considerando que los procedimientos para el modelado de tsunami y elaboración de las cartas inundación están casi estandarizados, la tercera edición del mapa no tiene una memoria de cálculo formal por escrito. Como referencia, se considera la tabla de entrada correspondiente al informe preparado para la segunda versión de la carta de la inundación de Valparaíso y Viña del Mar, pero por las razones expuestas anteriormente no es rigurosamente detallada.

La hipótesis de generación de tsunami utilizada para la primera versión de los modelos de inundación Iquique, es el terremoto de 1868 y 1877 (SHOA, 1998). La tercera edición se calculó utilizando solamente terremoto del 1877, con los siguientes parámetros característicos según modelo Okada para la ruptura de la corteza terrestre y la deformación que se presentan en la Tabla 17.

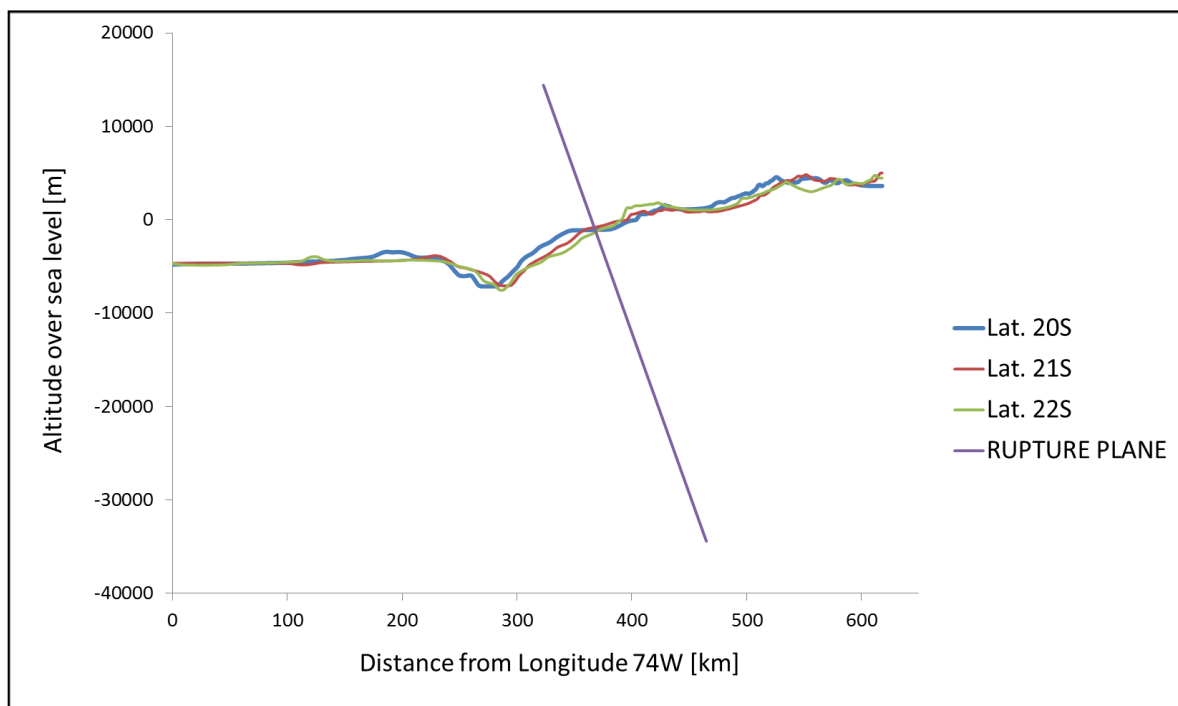
Tabla 17: Parámetros sísmicos para la entrada en el modelo numérico de tsunami.

Sismo	Epicentro		Long.	Amplitud	Deslizamiento	Profundidad	Ataque	Rastro	Inclinación
	LAT [°S]	LONG [°O]	L [Km]	W [Km]	D [m]	H [Km]	Θ [°]	Λ [°]	δ [°]
1877	21.0	70.8	490	150	8	10	N 1° O	90	19

Fuente: (Reyes, 2012)

Esta condición inicial fue asumida tomando la consideración de que el terremoto de 1877 es el evento sísmico más grande en los registros históricos. Para analizar la pertinencia de las características expuestas en la anterior, se realizó un diagrama aproximado en base a la extracción de la batimetría y el perfil topográfico de la zona en las latitudes 20 S, 21 S y 22 S, superponiendo el perfil plano de ruptura basado en la información de entrada para el modelo COMCOT elaborado por el SHOA (2012). La aproximación principal corresponde a la consideración de un ángulo de 0° con respecto al norte, para simplificar el análisis.

Figura 42: Perfiles altimétricos de las latitudes 20 S, 21 S y 22 S y plano de ruptura utilizados por el SHOA.



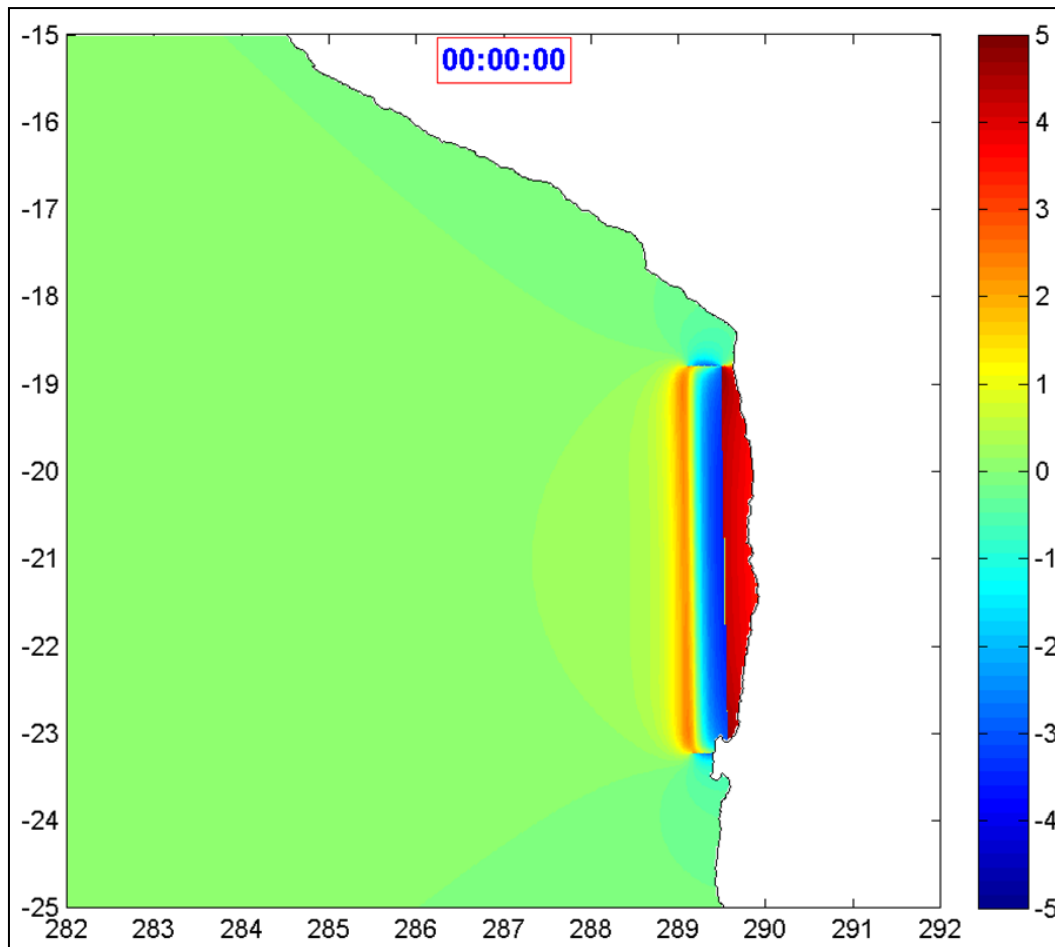
Fuente: (Reyes, 2012)

Observaciones: Perfiles altimétricos de las latitudes 20 S, 21 S y 22 S y plano de ruptura utilizados por el SHOA. Elaborado con datos del GEBCO (GEBCO, 2013) y GMT Software (Wessel, 1995).

Es evidente que la disposición del plano de falla puede generar ciertos errores en el proceso de modelado.

A continuación se muestra la deformación inicial de la superficie del mar en el modelo que corresponde al litoral de la zona de Iquique. Cabe señalar que en el este de la zanja hay un hundimiento de la superficie del océano. Esta situación no debe corresponder a la posición geográfica indicada. Aun así, esos valores pueden estar sobreestimados, indicando probablemente un cálculo anómalo por el software. De hecho, no está claro cómo el programa asume una deformación del fondo si el plano de falla se proyecta sobre la superficie del agua (Reyes, 2012).

Figura 43: Modelo de Tsunami realizado por el SHOA para la zona de Iquique.



Fuente: (Reyes, 2012)

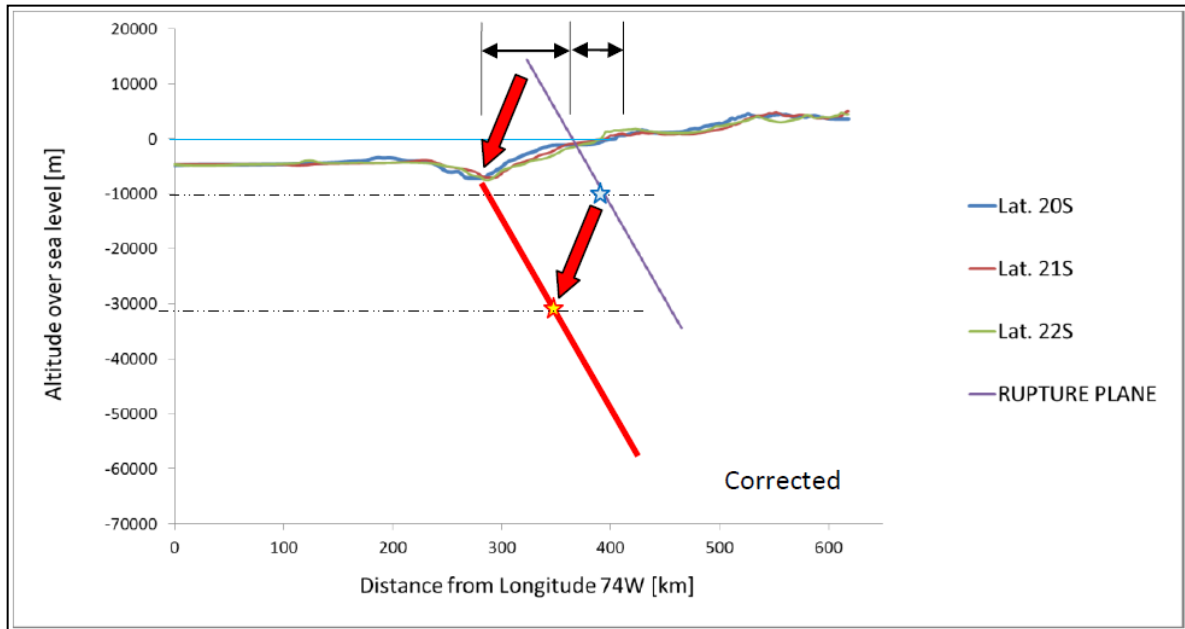
Observaciones: Modelo de tsunami realizado por el SHOA para la zona de Iquique. La imagen muestra la salida para la primera deformación de la superficie del mar. El cuadro superior muestra el tiempo transcurrido durante la modelación y la leyenda muestra la altura en metros.

Sin embargo, el análisis en detalle del proceso de modelación del caso, no se considera en los alcances ni objetivos de esta tesis y sólo se consideran los datos existentes a la fecha para efectos de la determinación del escenario más problemático.

Posiblemente, una de las causantes de que la entrada del plano de ruptura sea errónea, es la sobreestimación del levantamiento del territorio costero. Por consiguiente, existe una subestimación de la profundidad de inundación (Reyes, 2012). Desafortunadamente, no existe una descripción detallada del procedimiento de cálculo, razón por la cual no es posible averiguar la variación vertical del modelo digital del terreno (DTM) asociado a los cálculos. Al igual que como se menciona en el párrafo anterior, para detectar este tipo de problemas, el modelo debe ser analizado en detalle y también está fuera de los alcances y objetivos de esta investigación.

El mismo plano de ruptura utilizado por el SHOA fue llevado a su posición teórica, que implica empezar desde el fondo de la zanja, como se muestra en la figura a continuación. Con tal desplazamiento, el hipocentro teórico se encuentra a una profundidad de 31,5 [km], con epicentro a 21° S y 70.5° W.

Figura 44: Diagrama no escalado de una corrección teórica para el plano de ruptura.



Fuente: (Reyes, 2012)

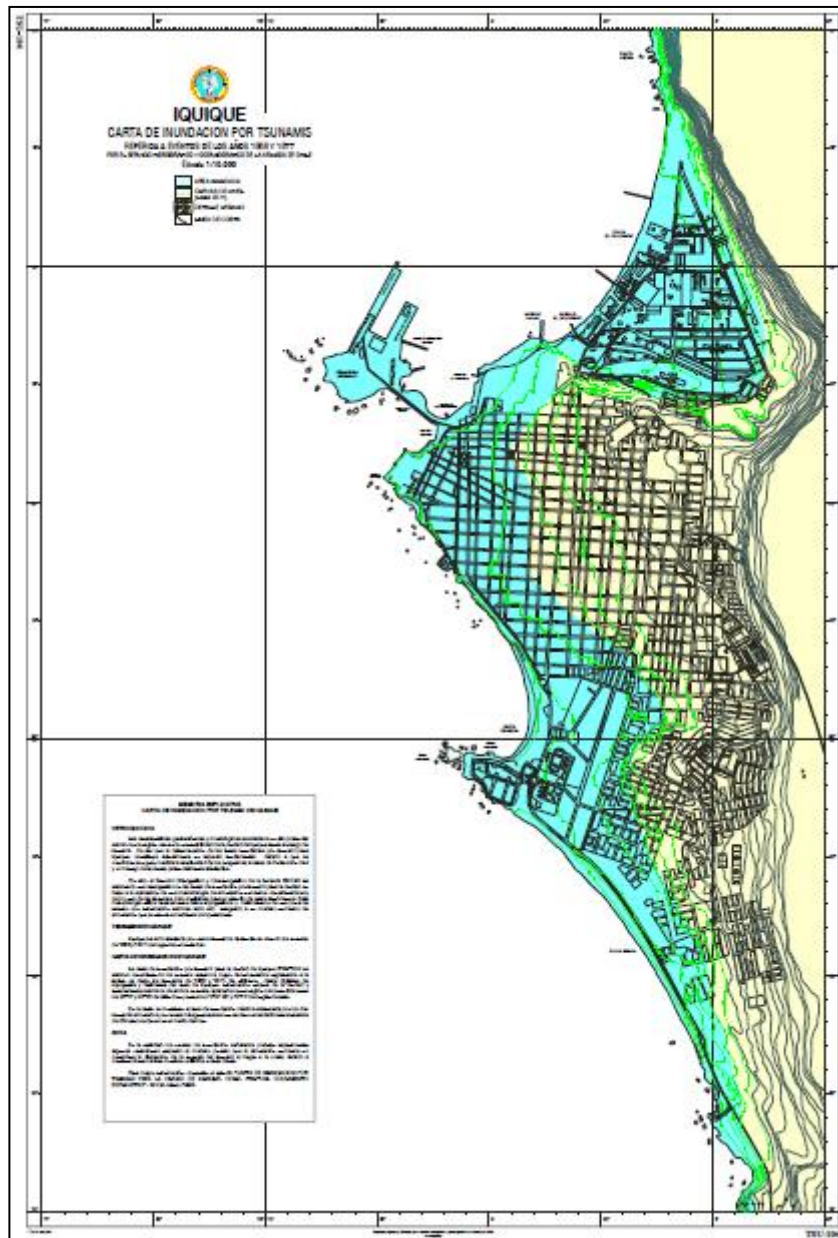
Observaciones: Las flechas rojas muestran el desplazamiento de corrección, y las estrellas denotan hipocentro.

Teniendo en cuenta dicha posición del plano de falla como referencia y considerando la parte sumergida del plano de ruptura de entrada como válido para el modelo, la superficie

del agua que estaba fuera de consideración o mal considerada en la modelación de la elevación de la columna de agua, alcanza a 75.4×490 [km²].

Además, la superficie del agua levantada considerada en el modelo del SHOA, puede estimarse a partir del promedio de costa tres perfiles analizados con un valor de 31.7×490 [km²].

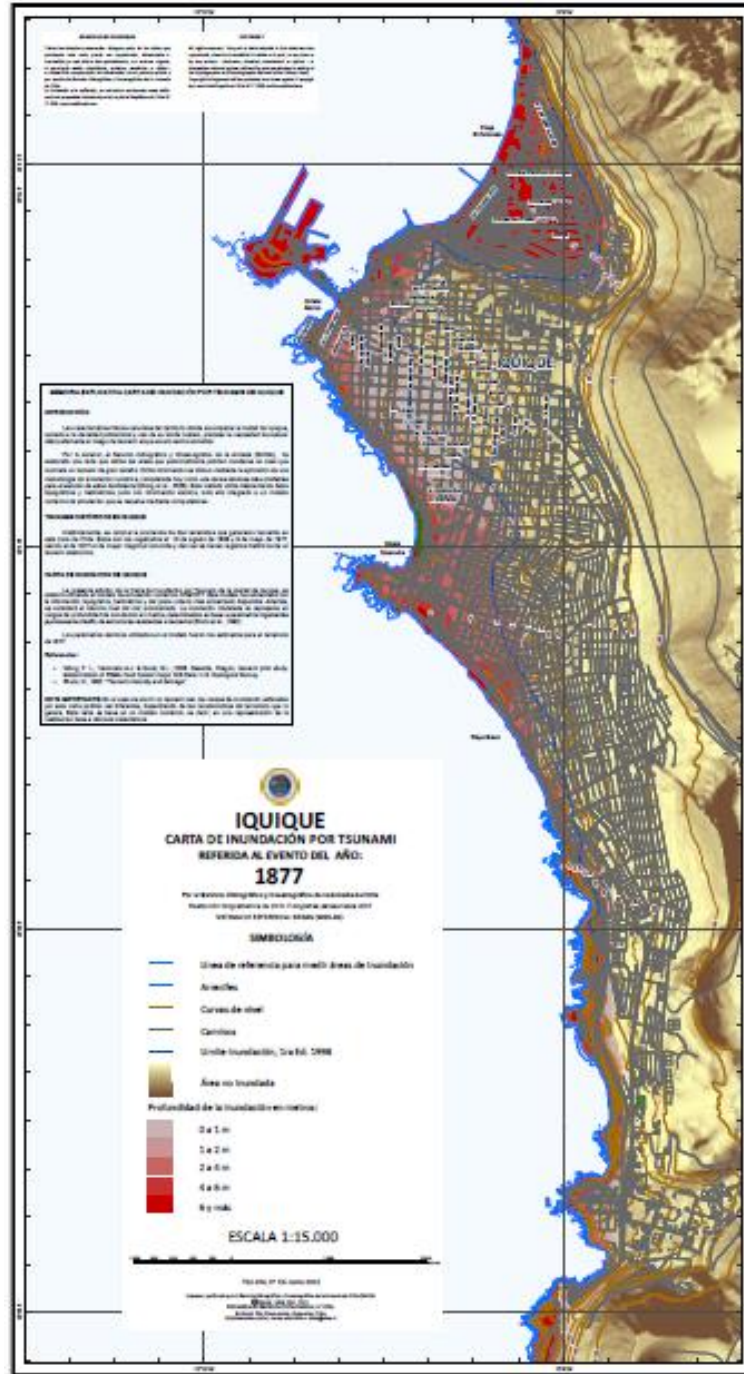
Figura 45: Primera versión de la carta de inundación de Iquique por efectos de un tsunami.



Fuente: (SHOA, 1998).

De esta manera, el error detectado en términos concretos, corresponde a la introducción errónea o nula de casi el 70% de la zona de generación de tsunami, basado en la estimación aproximada expuesta (Reyes, 2012).

Figura 46: Tercera versión de la carta de inundación de Iquique por efectos de un tsunami.



Fuente: (SHOA, 2012).

ANEXO C: ANÁLISIS FODA (PCM)

Tabla 18: Análisis FODA - Fortalezas y Debilidades.

PARTES INTERESADAS	FORTALEZAS	DEBILIDADES
C.1 Comunidad de personas de Iquique	C.1 [F1] Homogeneidad cultural (Lenguaje)	C.1 [D1] Desigualdades sociales
	C.1 [F2] Conocimiento de la comunidad respecto a la evacuación de tsunamis.	C.1 [D2] Inexperiencia en los procedimientos de evacuación.
		C.1 [D3] Escases de estudios de riesgo de desastre publicados a la comunidad.
C.2 Habitantes de ciudades o pueblos alrededor de Iquique.	C.2 [F1] Homogeneidad cultural (Lenguaje)	C.2 [D1] Desigualdades sociales
		C.2 [D2] Inexperiencia en los procedimientos de evacuación.
		C.2 [D3] Escases de estudios de riesgo de desastre publicados a la comunidad.
C.3 Organizaciones comunitarias.	C.3 [F1] Organizaciones comunitarias históricas.	C.3 [D1] Baja participación
	C.3 [F2] Bases legales e institucionales	C.3 [D2] Sistema económico-social que no promueve la participación.
	C.3 [F3] Experiencia en simulacros de evacuación ante la amenaza de tsunami.	C.3 [D3] Escases de estudios de riesgo de desastre.
G.1 Gobernación local de Iquique	G.1 [F1] Bases legales e institucionales.	G.1 [D1] Falta de conocimientos técnicos en la gestión del riesgo y planes de prevención.
	G.1 [F2] El riesgo de desastre ante tsunami es considerado parcialmente en algunos aspectos de planificación.	G.1 [D2] Componentes básicos del sistema se encuentran en la zona de peligro.
	G.1 [F3] Experiencia en simulacros de evacuación ante la amenaza de tsunami.	G.1 [D3] Dependencia política y geográfica en la toma de decisiones.
		G.1 [D4] Baja capacidad de medición de riesgos (previsión de riesgos, la medición de riesgos, evaluación de la vulnerabilidad, evaluación de daños, etc.)
G.2 Gobernación local (ciudades y pueblos de alrededor de Iquique)	G.2 [F1] Bases legales e institucionales.	G.2 [D1] Fuertemente dependientes de Iquique.
		C.3 [D2] Dependencia política y geográfica en la toma de decisiones.
		C.3 [D3] Escases de estudios de riesgo de desastre.
G.3 Gobernación regional (I Región de Tarapacá)	G.3 [F1] Bases legales e institucionales.	G.3 [D1] Falta de conocimientos técnicos en la gestión del riesgo y planes de prevención.
	G.3 [F2] El riesgo de desastre ante tsunami es considerado parcialmente en algunos aspectos de planificación.	G.3 [D2] Componentes básicos del sistema se encuentran en la zona de peligro.
	G.3 [F3] Experiencia en simulacros de evacuación ante la amenaza de tsunami.	G.3 [D3] Dependencia política y geográfica en la toma de decisiones.
		G.3 [D4] Baja capacidad de medición de riesgos (previsión de riesgos, la medición de riesgos, evaluación de la vulnerabilidad, evaluación de daños, etc.)
G.4 Gobernación nacional	G.4 [F1] Bases legales e institucionales.	G.4 [D1] Dependencia política y geográfica (centralizada) en la toma de decisiones.
	G.4 [F2] El riesgo de desastre ante tsunami es considerado parcialmente en algunos aspectos de planificación.	G.4 [D2]] Baja capacidad de medición de riesgos (previsión de riesgos, la medición de riesgos, evaluación de la vulnerabilidad, evaluación de daños, etc.)
	G.4 [F3] Experiencia en simulacros de	G.4 [D3] Escases de estudios formales de

	evacuación ante la amenaza de tsunami. G.4 [F4] Experiencia en situación real de desastre ante tsunami.	gestión del riesgo de desastre.
G.5 Fuerzas militares y de seguridad	G.5 [F1] Bases legales e institucionales.	G.5 [D1] Entrenados para situación de guerra y no específicamente para situación de desastre.
	G.5 [F2] El riesgo de desastre ante tsunami es considerado parcialmente en algunos aspectos de planificación.	G.5 [D2] Componentes básicos del sistema se encuentran en la zona de peligro.
	G.5 [F3] Experiencia en simulacros de evacuación ante la amenaza de tsunami.	G.5 [D3] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre.
	G.5 [F4] Experiencia en situación real de desastre ante tsunami.	
P.1 Microempresas (situadas en Iquique)	P.1 [F1] Capacidad de emprendimiento.	P.1 [D1] Fondo de financiamiento débil. P.1 [D2] Muy sensible al comportamiento de la ciudad. P.1 [D3] Falta de conocimientos técnicos en la gestión del riesgo y planes de prevención. P.1 [D4] Deficiencia en la cobertura de seguros. P.1 [D5] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre.
P.2 Pequeñas y medianas empresas (situadas en Iquique)	P.2 [F1] Capacidad de emprendimiento.	P.2 [D1] Fondo de financiamiento débil. P.2 [D2] Muy sensible al comportamiento de la ciudad. P.2 [D3] Falta de conocimientos técnicos en la gestión del riesgo y planes de prevención. P.2 [D4] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre
P.3 Grandes empresas (situadas en Iquique)	P.3 [F1] Capacidad de gestión de riesgo.	P.3 [D1] Muy sensible al comportamiento de la ciudad. P.3 [D2] Componentes básicos del sistema se encuentran en la zona de peligro. P.3 [D3] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre
	P.3 [F2] Fondo financiero.	
	P.3 [F3] Capacidad de planificación.	
	P.3 [F4] Cobertura de seguro.	
P.4 Microempresas (Situadas en los alrededores de Iquique)	P.4 [F1] Capacidad de emprendimiento.	P.4 [D1] Fondo de financiamiento débil. P.4 [D2] Muy sensible al comportamiento de la ciudad. P.4 [D3] Falta de conocimientos técnicos en la gestión del riesgo y planes de prevención. P.4 [D4] Deficiencia en la cobertura de seguros. P.4 [D5] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre.
P.5 Pequeñas y medianas empresas (situadas en los alrededores de Iquique)	P.5 [F1] Capacidad de emprendimiento.	P.5 [D1] Fondo de financiamiento débil. P.5 [D2] Muy sensible al comportamiento de la ciudad. P.5 [D3] Falta de conocimientos técnicos en la gestión del riesgo y planes de prevención. P.5 [D4] Deficiencia en la cobertura de seguros. P.5 [D5] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre.
P.6 Grandes empresas (situadas en los alrededores de Iquique)	P.6 [F1] Capacidad de gestión de riesgo.	P.6 [D1] Muy sensible al comportamiento de la ciudad. P.6 [D2] Componentes básicos del sistema se encuentran en la zona de peligro.
	P.6 [F2] Fondo financiero.	

	P.6 [F3] Capacidad de planificación.	P.6 [D3] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre
	P.6 [F4] Cobertura de seguro.	
P.7 Organizaciones científicas y universidades	P.7 [F1] Bases legales e institucionales.	P.7 [D1] Financiamiento limitado.
	P.7 [F2] Aumento de la experiencia en los estudios de tsunami.	P.7 [D2] Funcionamiento centralizado.
		P.7 [D3] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre
		P.7 [D4] Escases instrumentación para la cooperación con otras instituciones.
P.8 Medios de comunicación y radiodifusión	P.8 [F1] Bases legales e institucionales.	P.8 [D1] Fuertemente dependiente de las condiciones de mercado.
	P.8 [F2] Estructura de negocio basada en hardware y software robustos.	P.8 [D2] Degradación sistemática de sus fines educativos.
	P.8 [F3] Difusión masiva de la información.	P.8 [D3] Algunos de sus componentes básicos se encuentran en la zona de peligro.
		P.8 [D4] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre.
P.9 Otras compañías de comunicaciones	P.9 [F1] Bases legales e institucionales.	P.9 [D1] Fuertemente dependiente de las condiciones de mercado.
	P.9 [F2] Estructura de negocio basada en hardware y software robustos.	P.9 [D2] Algunos de sus componentes básicos se encuentran en la zona de peligro.
	P.9 [F3] Difusión masiva de la información.	P.9 [D3] Escases de estudios formales de gestión del riesgo de desastre.
P.10 Organizaciones no gubernamentales	P.10 [F1] Bases legales e institucionales.	P.10 [D1] Bajo fondo de financiamiento.
	P.10 [F2] Experiencia en situación real de desastre ante tsunami.	P.10 [D2] Acciones centralizadas.
	P.10 [F3] Experiencia en simulacros de evacuación ante la amenaza de tsunami.	P.10 [D3] No existen plataformas formales de coordinación.
	P.10 [F4] Muchas de ellas involucradas en trabajos de evaluación de riesgo.	
P.11 Donantes	P.11 [F1] Bases legales e institucionales.	P.11 [D1] Bajo fondo de financiamiento.
		P.11 [D2] Acciones centralizadas.
		P.11 [D3] Procesos lentos debidos a la burocracia del sistema para la reducción de impuesto en el caso de las donaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Análisis FODA - Oportunidades y Amenazas.

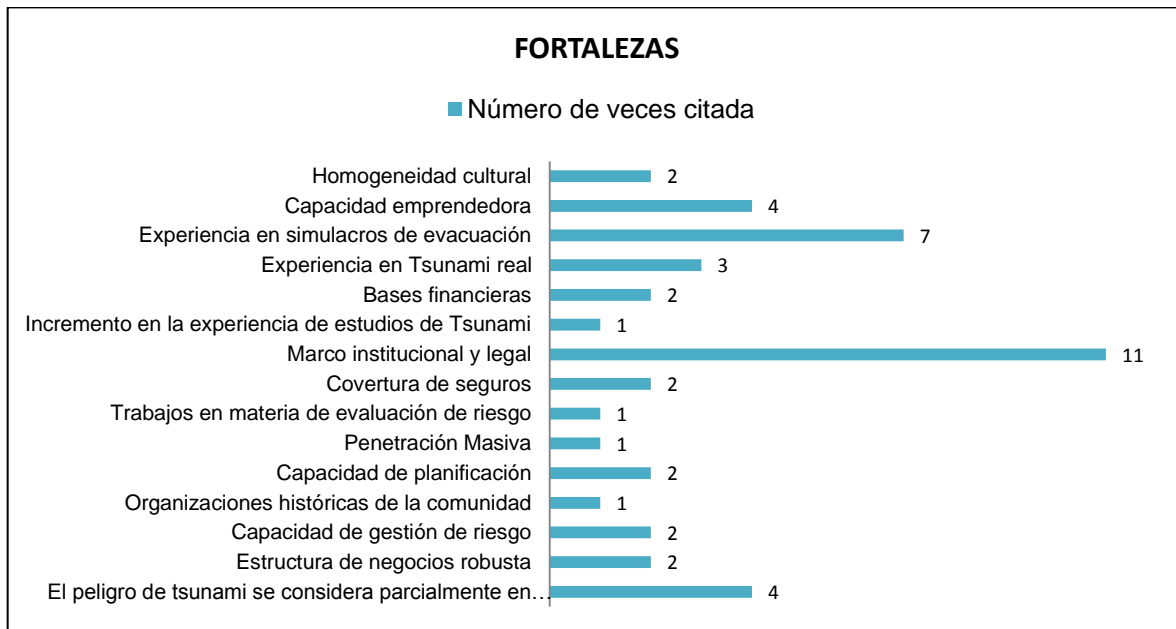
PARTES INTERESADAS	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
C.1 Comunidad de personas de Iquique	C.1 [O1] Buena cobertura educacional.	C.1 [A1] Desorden social post-desastre.
C.2 Habitantes de ciudades o pueblos alrededor de Iquique.	C.2 [O1] Buena cobertura educacional.	C.2 [A1] Desorden social post-desastre.
C.3 Organizaciones comunitarias.	C.3 [O1] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	C.3 [A1] Los intereses políticos que pueden bloquear la promoción de la participación comunitaria.
	C.3 [O2] Oportunidades para la formación del personal.	C.3 [A2] Falta de preparación puede retrasar el proceso de toma de decisiones.
	C.3 [O3] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo para escenarios de desastre.	
G.1 Gobernación local de Iquique	G.1 [O1] Acceso a tecnología.	G.1 [A1] Presencia de intereses políticos que pueden bloquear la promoción de contramedidas ante riesgo de tsunami.
	G.1 [O2] Oportunidades para la formación del personal.	G.1 [A2] La reducción de los recursos financieros.
	G.1 [O3] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	G.1 [A3] La pérdida de personal capacitado.
		G.1 [A4] Falta de preparación puede retrasar el proceso de toma de decisiones y medidas preventivas.
G.2 Gobernación local (ciudades y pueblos de alrededor de Iquique)	G.2 [O1] Acceso a tecnología.	G.2 [A1] Presencia de intereses políticos que pueden bloquear la promoción de contramedidas ante riesgo de tsunami.
	G.2 [O2] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	G.2 [A2] La reducción de los recursos financieros.
	G.2 [O3] Oportunidades para la formación del personal.	G.2 [A3] La pérdida de personal capacitado.
	G.2 [O4] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo para escenarios de desastre.	G.2 [A4] Falta de preparación puede retrasar el proceso de toma de decisiones y medidas preventivas.
G.3 Gobernación Regional (I Región de Tarapacá)	G.3 [O1] Acceso a tecnología.	G.3 [A1] Presencia de intereses políticos que pueden bloquear la promoción de contramedidas ante riesgo de tsunami.
	G.3 [O2] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	G.3 [A2] La reducción de los recursos financieros.
	G.3 [O3] Oportunidades para la formación del personal.	G.3 [A3] La pérdida de personal capacitado.
	G.3 [O4] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo para escenarios de desastre.	G.3 [A4] Falta de preparación puede retrasar el proceso de toma de decisiones y medidas preventivas.
G.4 Gobernación Nacional	G.4 [O1] Acceso a tecnología.	G.4 [A1] Presencia de intereses políticos que pueden bloquear la promoción de contramedidas ante riesgo de tsunami.
	G.4 [O2] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	G.4 [A2] La reducción de los recursos financieros.
	G.4 [O3] Oportunidades para la formación del personal.	G.4 [A3] La pérdida de personal capacitado.
	G.4 [O4] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo para escenarios de desastre.	G.4 [A4] Falta de preparación puede retrasar el proceso de toma de decisiones y medidas preventivas.
G.5 Fuerzas Militares y de Seguridad	G.5 [O1] Estructura administrativa.	G.5 [A1] Falta de preparación puede retrasar el proceso de toma de decisiones

		y medidas preventivas.
	G.5 [O2] Capacidad de Movilidad.	G.5 [A2] Pérdida, reubicación y / o promoción de personal capacitado
	G.5 [O3] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	
	G.5 [O4] Red de comunicaciones militares en caso de emergencia.	
	G.5 [O5] Acceso a tecnología.	
	G.5 [O6] Oportunidades para la capacitación del personal	
P.1 Microempresas (Situadas en Iquique)	P.1 [O1] Fomentar en la planificación y / o gestión de riesgos para la mejora de la capacidad de planificación de negocios.	P.1 [A1] Falta de preparación ante escenario de desastre, puede retrasar el proceso de toma de decisiones.
	P.1 [O2] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo ante posibles escenarios de desastre.	
	P.1 [O3] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	
P.2 Pequeñas y Medianas Empresas (Situadas en Iquique)	P.2 [O1] Fomentar en la planificación y / o gestión de riesgos para la mejora de la capacidad de planificación de negocios.	P.2 [A1] Falta de preparación ante escenario de desastre, puede retrasar el proceso de toma de decisiones.
	P.2 [O2] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo ante posibles escenarios de desastre.	
	P.2 [O3] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	
	P.2 [O4] Acceso a tecnología.	
P.3 Grandes Empresas (Situadas en Iquique)	P.3 [O1] Desarrollo de plan de continuidad de negocio.	P.3 [A1] Falta de preparación ante escenario de desastre, puede retrasar el proceso de toma de decisiones.
	P.3 [O2] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	
	P.3 [O3] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo ante posibles escenarios de desastre.	
	P.3 [O4] Acceso a tecnología.	
P.4 Microempresas (Situadas en los alrededores de Iquique)	P.4 [O1] Fomentar en la planificación y / o gestión de riesgos para la mejora de la capacidad de planificación de negocios.	P.4 [A1] Falta de preparación ante escenario de desastre, puede retrasar el proceso de toma de decisiones.
	P.4 [O2] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo ante posibles escenarios de desastre.	
	P.4 [O3] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	
P.5 Pequeñas y Medianas Empresas (Situadas en los alrededores de Iquique)	P.5 [O1] Fomentar en la planificación y / o gestión de riesgos para la mejora de la capacidad de planificación de negocios.	P.5 [A1] Falta de preparación ante escenario de desastre, puede retrasar el proceso de toma de decisiones.
	P.5 [O2] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo ante posibles escenarios de desastre.	
	P.5 [O3] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	
	P.5 [O4] Acceso a tecnología.	
P.6 Grandes Empresas (Situadas en los alrededores de Iquique)	P.6 [O1] Desarrollo de plan de continuidad de negocio.	P.6 [A1] Falta de preparación ante escenario de desastre, puede retrasar el proceso de toma de decisiones.
	P.6 [O2] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para	

	generar soluciones innovadoras y prácticas. P.6 [O3] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo ante posibles escenarios de desastre. P.6 [O4] Acceso a tecnología.	
P.7 Organizaciones científicas y universidades	P.7 [O1] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	P.7 [A1] Financiamiento limitado.
	P.7 [O2] Las posibilidades de financiación / acondicionamiento de instalaciones experimentales o adquisición de tecnología de punta para efectos de investigación.	P.7 [T2] Pérdida de personal capacitado
	P.7 [O3] Las posibilidades de especialización de los investigadores y profesores	
P.8 Medios de comunicación y radiodifusión	P.8 [O1] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	P.8 [A1] Financiamiento limitado.
	P.8 [F2] Acceso a tecnología.	
P.9 Otras compañías de comunicaciones	P.9 [O1] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	P.9 [A1] Financiamiento limitado.
	P.9 [O2] Acceso a tecnología.	
P.10 Organizaciones no gubernamentales	P.10 [O1] Oportunidades para la capacitación del personal.	P.10 [A1] Financiamiento limitado.
	P.10 [O2] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	
	P.10 [O3] La flexibilización de los procesos con el fin de poder preparar o adaptarlo ante posibles escenarios de desastre.	
P.11 Donantes	P.11 [O1] La plataforma de herramientas de comunicación disponibles es suficiente para generar soluciones innovadoras y prácticas.	P.11 [A1] Falta de claridad en cuanto a las bases de evaluación.

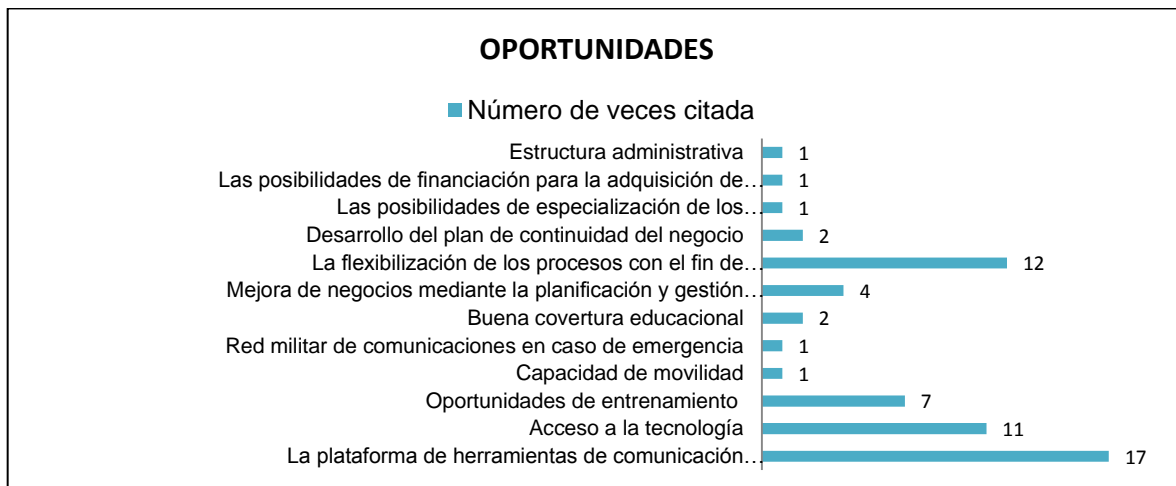
Fuente: Elaboración propia.

Figura 47: Resultados de las fortalezas (FODA).



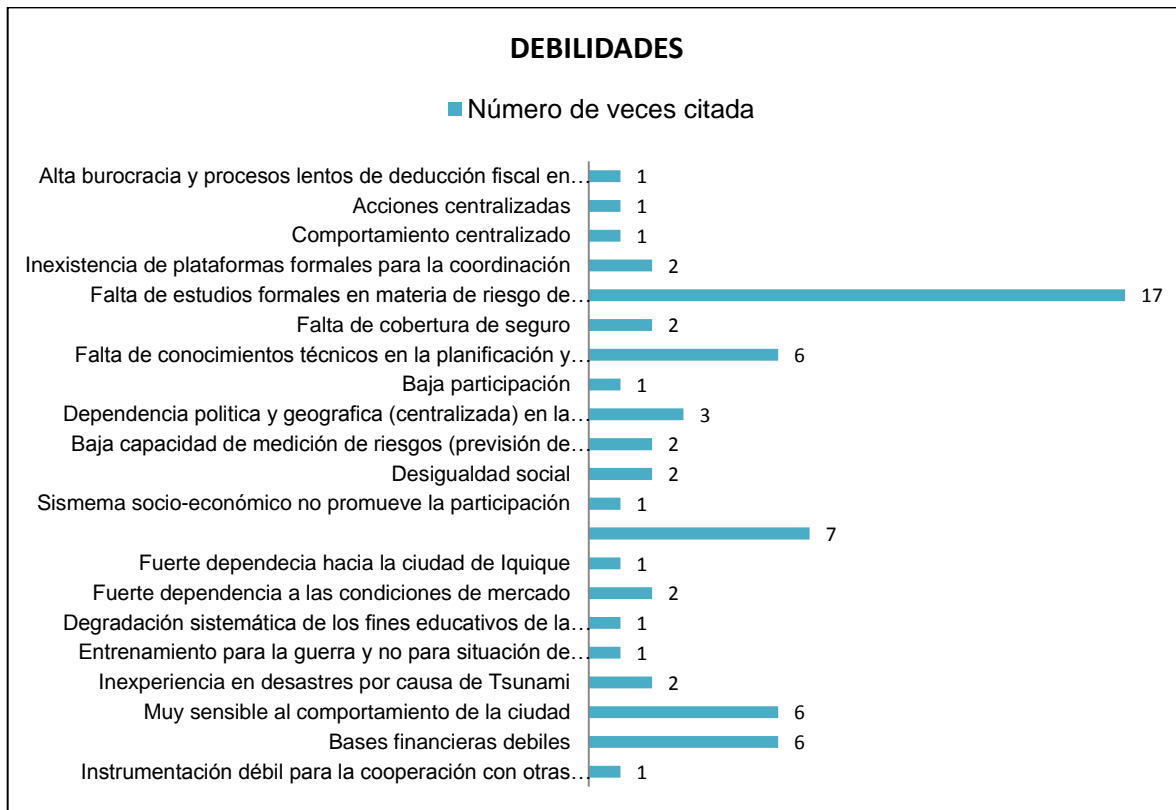
Fuente: Elaboración propia.

Figura 48: Resultados de las oportunidades (FODA).



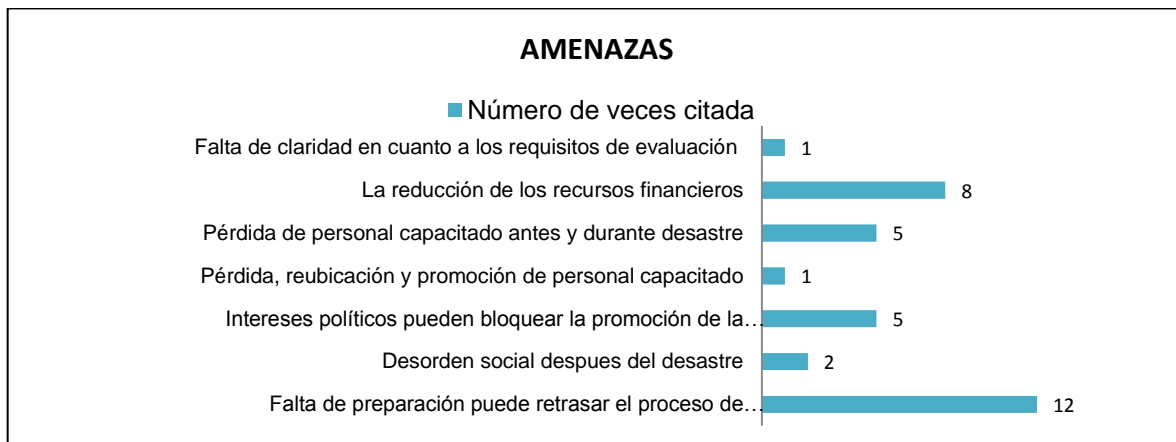
Fuente: Elaboración propia.

Figura 49: Resultados de las debilidades (FODA).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50: Resultados de las amenazas (FODA).



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO D: FICHA DE EVALUACIÓN EH

FICHA DE REGISTRO- CAMPAÑA DE TERRENO **“EVALUACIÓN CUALITATIVA DE VÍAS DE EVACUACIÓN HORIZONTAL EN** **VALPARAÍSO Y VIÑA DEL MAR”**

1.- Susceptibilidad de bloqueo de la vía de evacuación

1.1 La vía de evacuación es susceptible al bloqueo por escombros

OBS:

1.2 La vía es susceptible al bloqueo por atochamiento vehicular

OBS:

1.3 La vía es susceptible al bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre

OBS:

1.4 La vía es susceptible al bloqueo por colapso de cauces, ríos y esteros

OBS:

1.5 La vía es susceptible al bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechez de la misma

OBS:

1.6 La vía es susceptible al bloqueo por atochamiento de personas en horario peak

1

2

3

4

5

OBS:

1.7 La vía es susceptible al bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano

1

2

3

4

5

OBS:

1.8 La vía es susceptible al bloqueo por presencia de tendido eléctrico

1

2

3

4

5

OBS:

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:

2.3 La vía es confiable respecto al ancho

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

OBS:

2.4 La vía es confiable respecto a la pendiente (pronunciada o suave)

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

OBS:

2.5 La vía es confiable respecto a la señalética disponible durante el recorrido

1 2 3 4 5

OBS:

2.6 La vía es confiable para la evacuación de personas con movilidad reducida

1 2 3 4 5

OBS:

2.7 La vía es confiable para la evacuación en escenario nocturno

1 2 3 4 5

OBS:

ANEXO E: LICENCIA DE HERRAMIENTA AHPCALC

License

THE WORK (AS DEFINED BELOW) IS PROVIDED UNDER THE TERMS OF THIS CREATIVE COMMONS PUBLIC LICENSE ("CCPL" OR "LICENSE"). THE WORK IS PROTECTED BY COPYRIGHT AND/OR OTHER APPLICABLE LAW. ANY USE OF THE WORK OTHER THAN AS AUTHORIZED UNDER THIS LICENSE OR COPYRIGHT LAW IS PROHIBITED.

BY EXERCISING ANY RIGHTS TO THE WORK PROVIDED HERE, YOU ACCEPT AND AGREE TO BE BOUND BY THE TERMS OF THIS LICENSE. TO THE EXTENT THIS LICENSE MAY BE CONSIDERED TO BE A CONTRACT, THE LICENSOR GRANTS YOU THE RIGHTS CONTAINED HERE IN CONSIDERATION OF YOUR ACCEPTANCE OF SUCH TERMS AND CONDITIONS.

1. Definitions

- a. "**Adaptation**" means a work based upon the Work, or upon the Work and other pre-existing works, such as a translation, adaptation, derivative work, arrangement of music or other alterations of a literary or artistic work, or phonogram or performance and includes cinematographic adaptations or any other form in which the Work may be recast, transformed, or adapted including in any form recognizably derived from the original, except that a work that constitutes a Collection will not be considered an Adaptation for the purpose of this License. For the avoidance of doubt, where the Work is a musical work, performance or phonogram, the synchronization of the Work in timed-relation with a moving image ("synching") will be considered an Adaptation for the purpose of this License.
- b. "**Collection**" means a collection or compilation of literary or artistic works or other works or subject matter, such as encyclopedias and anthologies, or performances, phonograms or broadcasts, other than works listed in Section 1(f) below, which, by reason of the selection and arrangement of their contents, constitute intellectual creations, in which the Work is included in its entirety in unmodified form along with one or more other contributions, each constituting separate and independent works in themselves, which together are assembled into a collective whole. A work that constitutes a Collection will not be considered an Adaptation (as defined above) for the purposes of this License.
- c. "**Distribute**" means to make available to the public the original and copies of the Work or Adaptation, as appropriate, through delivery, or sale or other transfer of ownership.
- d. "**Licensor**" means the individual, individuals, entity or entities that offer(s) the Work under the terms of this License.
- e. "**Original Author**" means, in the case of a literary or artistic work, the individual, individuals, entity or entities who created the Work or if no individual or entity can be identified, the publisher; and in addition (i) in the case of a performance the actors, singers, musicians, dancers, and other persons who act, sing, deliver,

- declaim, play in, interpret or otherwise perform literary or artistic works or expressions of folklore; (ii) in the case of a phonogram the producer being the person or legal entity who first fixes the sounds of a performance or other sounds; (iii) in the case of broadcasts, the organization that transmits the broadcast; and (iv) in the case of a photograph, the person who took the photograph.
- f. **"Work"** means the literary and/or artistic work offered under the terms of this License including without limitation any production in the literary, scientific and artistic domain, whatever may be the mode or form of its expression including digital form, such as a book, pamphlet, computer program and other writing; a lecture, address, sermon or other work of the same nature; a dramatic or dramatico-musical work; a choreographic work or entertainment in dumb show; a musical composition with or without words; a cinematographic work to which are assimilated works expressed by a process analogous to cinematography or any aggregate of visual images embodied in an article or thing capable of being shown as a moving picture, including the aggregate of the sounds embodied in a soundtrack associated with such visual images; a work of drawing, painting, architecture, sculpture, engraving or lithography or photography, or a photographic work to which are assimilated works expressed by a process analogous to photography, whether the work is of artistic quality or not; a work of applied art; an illustration, map, plan, sketch or three-dimensional work relative to geography, topography, architecture or science, whether the work is of artistic quality or not; a work of artistic craftsmanship; a performance including a performance of a dance, or the performance (or improvisation) of a dramatic work or musical work, or the reading, recitation or delivery of a literary work or improvised literary work, or any part thereof, whether in the presence of an audience or otherwise; a broadcast, cable programme or published edition of a work; a phonogram or sound recording; a compilation of data or other relevant material to the extent it is protected as a copyrightable work; or a work performed by a variety or circus performer to the extent it is not otherwise considered a literary or artistic work.
- g. **"You"** means an individual or entity exercising rights under this License who has not previously violated the terms of this License with respect to the Work, or who has received express permission from the Licensor to exercise rights under this License despite a previous violation.
- h. **"Publicly Perform"** means to perform public recitations of the Work and to communicate to the public those public recitations, by any means or process, including by wire or wireless means or public digital performances; to make available to the public Works in such a way that members of the public may access these Works from a place and at a place individually chosen by them; to perform the Work to the public by any means or process and the communication to the public of the performances of the Work, including by public digital performance; to broadcast and rebroadcast the Work by any means including signs, sounds or images.
- i. **"Reproduce"** means to make copies of the Work by any means including without limitation by sound or visual recordings and the right of fixation and reproducing fixations of the Work, including storage of a protected performance or phonogram in digital form or other electronic medium.

2. Fair Dealing Rights. Nothing in this License is intended to reduce, limit, or restrict any uses free from copyright or rights arising from limitations or exceptions that are provided for in connection with the copyright protection under copyright law or other applicable laws.

3. License Grant. Subject to the terms and conditions of this License, Licensor hereby grants You a worldwide, royalty-free, non-exclusive, perpetual (for the duration of the applicable copyright) license to exercise the rights in the Work as stated below:

- a. to Reproduce the Work, to incorporate the Work into one or more Collections, and to Reproduce the Work as incorporated in the Collections
- b. to create and Reproduce Adaptations provided that any such Adaptation, including any translation in any medium, takes reasonable steps to clearly label, demarcate or otherwise identify that changes were made to the original Work. For example, a translation could be marked "The original work was translated from English to Spanish," or a modification could indicate "The original work has been modified.";
- c. to Distribute and Publicly Perform the Work including as incorporated in Collections; and
- d. to Distribute and Publicly Perform Adaptations.

The above rights may be exercised in all media and formats whether now known or hereafter devised. The above rights include the right to make such modifications as are technically necessary to exercise the rights in other media and formats. All rights not expressly granted by Licensor are hereby reserved, including but not limited to the rights described in Section 4(d).

4. Restrictions. The license granted in Section 3 above is expressly made subject to and limited by the following restrictions:

- a. You may Distribute or Publicly Perform the Work only under the terms of this License. You must include a copy of, or the Uniform Resource Identifier (URI) for, this License with every copy of the Work You Distribute or Publicly Perform. You may not offer or impose any terms on the Work that restrict the terms of this License or the ability of the recipient of the Work to exercise the rights granted to that recipient under the terms of the License. You may not sublicense the Work. You must keep intact all notices that refer to this License and to the disclaimer of warranties with every copy of the Work You Distribute or Publicly Perform. When You Distribute or Publicly Perform the Work, You may not impose any effective technological measures on the Work that restrict the ability of a recipient of the Work from You to exercise the rights granted to that recipient under the terms of the License. This Section 4(a) applies to the Work as incorporated in a Collection, but this does not require the Collection apart from the Work itself to be made subject to the terms of this License. If You create a Collection, upon notice from any Licensor You must, to the extent practicable, remove from the Collection any credit as required by Section 4(c), as requested. If You create an Adaptation, upon notice from any Licensor You must, to the extent practicable, remove from the Adaptation any credit as required by Section 4(c), as requested.
- b. You may not exercise any of the rights granted to You in Section 3 above in any manner that is primarily intended for or directed toward commercial advantage or

private monetary compensation. The exchange of the Work for other copyrighted works by means of digital file-sharing or otherwise shall not be considered to be intended for or directed toward commercial advantage or private monetary compensation, provided there is no payment of any monetary compensation in connection with the exchange of copyrighted works.

- c. If You Distribute, or Publicly Perform the Work or any Adaptations or Collections, You must, unless a request has been made pursuant to Section 4(a), keep intact all copyright notices for the Work and provide, reasonable to the medium or means You are utilizing: (i) the name of the Original Author (or pseudonym, if applicable) if supplied, and/or if the Original Author and/or Licensor designate another party or parties (e.g., a sponsor institute, publishing entity, journal) for attribution ("Attribution Parties") in Licensor's copyright notice, terms of service or by other reasonable means, the name of such party or parties; (ii) the title of the Work if supplied; (iii) to the extent reasonably practicable, the URI, if any, that Licensor specifies to be associated with the Work, unless such URI does not refer to the copyright notice or licensing information for the Work; and, (iv) consistent with Section 3(b), in the case of an Adaptation, a credit identifying the use of the Work in the Adaptation (e.g., "French translation of the Work by Original Author," or "Screenplay based on original Work by Original Author"). The credit required by this Section 4(c) may be implemented in any reasonable manner; provided, however, that in the case of a Adaptation or Collection, at a minimum such credit will appear, if a credit for all contributing authors of the Adaptation or Collection appears, then as part of these credits and in a manner at least as prominent as the credits for the other contributing authors. For the avoidance of doubt, You may only use the credit required by this Section for the purpose of attribution in the manner set out above and, by exercising Your rights under this License, You may not implicitly or explicitly assert or imply any connection with, sponsorship or endorsement by the Original Author, Licensor and/or Attribution Parties, as appropriate, of You or Your use of the Work, without the separate, express prior written permission of the Original Author, Licensor and/or Attribution Parties.
- d. For the avoidance of doubt, the Licensor reserves the right to collect royalties, whether individually or, in the event that the Licensor is a member of a collecting society that administers voluntary licensing schemes, via that society, from any exercise by You of the rights granted under this License that is for a purpose or use which is otherwise than noncommercial as permitted under Section 4(b).

5. Representations, Warranties and Disclaimer

UNLESS OTHERWISE MUTUALLY AGREED TO BY THE PARTIES IN WRITING AND TO THE FULLEST EXTENT PERMITTED BY APPLICABLE LAW, LICENSOR OFFERS THE WORK AS-IS AND MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND CONCERNING THE WORK, EXPRESS, IMPLIED, STATUTORY OR OTHERWISE, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, WARRANTIES OF TITLE, MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, NONINFRINGEMENT, OR THE ABSENCE OF LATENT OR OTHER DEFECTS, ACCURACY, OR THE PRESENCE OF ABSENCE OF ERRORS, WHETHER OR NOT DISCOVERABLE. SOME JURISDICTIONS DO NOT ALLOW THE EXCLUSION OF IMPLIED WARRANTIES, SO THIS EXCLUSION MAY NOT APPLY TO YOU.

6. Limitation on Liability. EXCEPT TO THE EXTENT REQUIRED BY APPLICABLE LAW, IN NO EVENT WILL LICENSOR BE LIABLE TO YOU ON ANY LEGAL THEORY FOR ANY SPECIAL, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE OR EXEMPLARY DAMAGES ARISING OUT OF THIS LICENSE OR THE USE OF THE WORK, EVEN IF LICENSOR HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

7. Termination

- a. This License and the rights granted hereunder will terminate automatically upon any breach by You of the terms of this License. Individuals or entities who have received Adaptations or Collections from You under this License, however, will not have their licenses terminated provided such individuals or entities remain in full compliance with those licenses. Sections 1, 2, 5, 6, 7, and 8 will survive any termination of this License.
- b. Subject to the above terms and conditions, the license granted here is perpetual (for the duration of the applicable copyright in the Work). Notwithstanding the above, Licensor reserves the right to release the Work under different license terms or to stop distributing the Work at any time; provided, however that any such election will not serve to withdraw this License (or any other license that has been, or is required to be, granted under the terms of this License), and this License will continue in full force and effect unless terminated as stated above.

8. Miscellaneous

- a. Each time You Distribute or Publicly Perform the Work or a Collection, the Licensor offers to the recipient a license to the Work on the same terms and conditions as the license granted to You under this License.
- b. Each time You Distribute or Publicly Perform an Adaptation, Licensor offers to the recipient a license to the original Work on the same terms and conditions as the license granted to You under this License.
- c. If any provision of this License is invalid or unenforceable under applicable law, it shall not affect the validity or enforceability of the remainder of the terms of this License, and without further action by the parties to this agreement, such provision shall be reformed to the minimum extent necessary to make such provision valid and enforceable.
- d. No term or provision of this License shall be deemed waived and no breach consented to unless such waiver or consent shall be in writing and signed by the party to be charged with such waiver or consent.
- e. This License constitutes the entire agreement between the parties with respect to the Work licensed here. There are no understandings, agreements or representations with respect to the Work not specified here. Licensor shall not be bound by any additional provisions that may appear in any communication from You. This License may not be modified without the mutual written agreement of the Licensor and You.

ANEXO F: RIESGO DE DESASTRES

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

GENERALIDADES

En el mundo, existe un número importante de poblaciones que se encuentran ubicadas en zonas propensas a la ocurrencia de ciertos fenómenos de la naturaleza, que de alguna manera, pueden manifestarse en diferentes regiones del planeta y causar efectos a quienes se encuentran en su área de influencia o a los elementos físicos que allí han sido construidos (UNICAN, 2000).

En la actualidad, existe una gran inquietud respecto a la influencia humana en la recurrencia y magnitud de algunos fenómenos naturales ya que los impactos causados sobre el ambiente, en muchos casos han sido responsables de acelerar o catalizar procesos que fomentan la ocurrencia de estos fenómenos adversos para el hombre. Sin embargo, aunque exista cierta conciencia respecto a la influencia de las actividades del hombre sobre su entorno natural, es imposible lograr un total entendimiento de este tipo de eventos ni mucho menos un manejo en la ocurrencia de éstos (Espinoza, 1995).

El progresivo incremento en la recurrencia de estos eventos extremos, considerándolos como amenazas, ha venido acompañado de un aumento significativo de las vulnerabilidades, las que constantemente se ven reflejadas en una mayor concentración de personas en zonas que no cumplen con las garantías de seguridad suficientes para su utilización con fines urbanos, como por ejemplo, las zonas costeras (Espinoza, 1985).

Desde el punto de la gestión de desastres, y en la planificación de planes de manejo urbano ante eventos de este tipo, es indispensable contar con la mayor cantidad de información posible en relación a los impactos que pueda tener sobre una población. Esto se traduce en una clara evaluación del grado de vulnerabilidad que presenta la zona de interés, con el objetivo de poder implementar líneas de acción y/o mitigación, que disminuyan el riesgo ante el cual está expuesta (Espinoza, 1985).

Hasta la actualidad, el concepto de riesgo es muy difuso en su aplicación para estudios de evaluación de este mismo y es muy común que se confunda con el concepto de vulnerabilidad. Es por esta razón, que en materia de riesgo, es clave definir correctamente los conceptos básicos y bajo qué punto de vista se están estudiando (social, económico, ingenieril, etc.) (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

RIESGO: DEFINICIÓN DEL CONCEPTO

La concepción de riesgo y la terminología asociada a su definición no solo ha variado con el tiempo, sino que también hasta el día de hoy, existen discrepancias entre autores ligados al estudio del riesgo. Es por esta razón que se puede afirmar que el riesgo es un concepto problemático; no sólo en el sentido de que es un factor abstracto, que representa algo que parece irreal por anticipar acontecimientos que sólo existen en el futuro, sino que también hay elementos de aleatoriedad (Cardona, 2003).

La afirmación anterior se traduce en que si hay certezas, entonces no hay riesgo, por lo que está íntimamente ligada a la psicología individual o social, incluso cuando hay intentos de crear un sentido de la objetividad (Cardona, 2003). Con el fin de comprender plenamente los riesgos, Cardona (2003) propuso tres factores a ser considerados en la estimación del riesgo: contexto, eventualidad y consecuencias.

El contexto particular (que se refiere a la capacidad de gestión y las preocupaciones de las partes involucradas), determina las razones, los objetivos, las interacciones y las limitaciones que deben considerarse. Por lo tanto, el contexto particular debe considerarse en todos los aspectos relevantes para cada una de las fases del estudio de riesgo (Cardona, 2003).

La aplicación de la teoría del riesgo en diferentes disciplinas y para distintas amenazas ha conducido al desarrollo de una gran diversidad de sus definiciones y métodos dentro de la comunidad científica. Sin embargo, la gran cantidad de definiciones existentes para principios similares dentro de los procesos de gestión del riesgo a menudo llevan a una constante confusión de los conceptos asociados a este campo de estudio (Pliefke, 2007).

En la actualidad, las distintas partes involucradas han intentado estandarizar el concepto, con la finalidad de establecer patrones en común debido a que el estudio del riesgo es una actividad altamente multidisciplinar. Pero hasta ahora, esto ha llevado generalmente a diversas definiciones parciales de riesgo, influenciadas principalmente por las filosofías que son o bien objetivista o construccionista. Esto genera una inconsistencia, reflejada en la incomprensión y la confusión debido a las definiciones y conceptos que chocan (Reyes, 2012).

Con el fin de establecer una línea de investigación concreta, para efectos de la realización de este estudio se considera la siguiente definición:

“La probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas de vidas, personas heridas, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica (o el medio ambiente dañado) resultantes de interacciones entre amenazas naturales o inducidas humanas y las condiciones vulnerables” (Reyes, 2012).

Sin embargo, no sólo el concepto de riesgo presenta un conjunto de interpretaciones divergentes (según sea el campo de aplicación e investigación), sino que también existen varias definiciones para las actividades relacionadas con este mismo. Este es el caso de la gestión de riesgos, evaluación de riesgos y análisis de riesgos (Reyes, 2012).

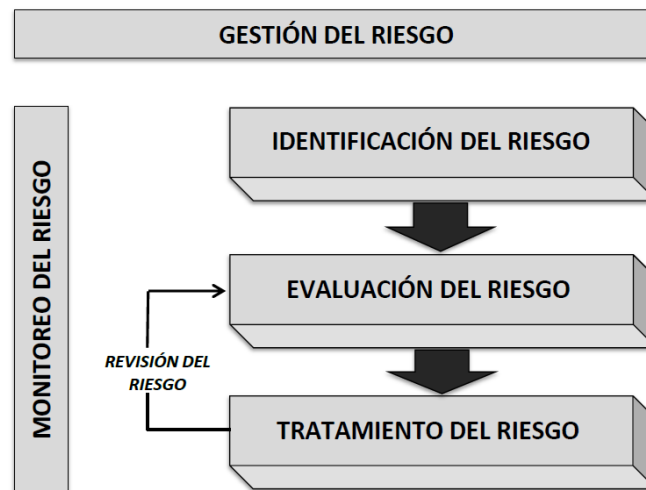
Para efectos de esta investigación, se considera la definición de la gestión del riesgo según la guía de conceptos generales elaborada por la PNUD Chile (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo).

“Es el proceso planificado, concertado, participativo e integral de reducción de las condiciones de riesgo de desastres de una comunidad, una región o un país. Implica la complementariedad de capacidades y recursos locales, regionales y nacionales y está íntimamente ligada a la búsqueda del desarrollo sostenible. Es el conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales para implementar políticas y estrategias con el fin de reducir el impacto de amenazas naturales y desastres ambientales y tecnológicos.” (PNUD Chile, 2012)

Análogamente, Pliefke et al. (2007), esquematiza el concepto de gestión de riesgos, como se muestra en la Figura 51.

Para efectos del desarrollo de esta investigación y la discusión de los aspectos relacionados, se considera como foco principal, los fundamentos relacionados con la evaluación del riesgo asociado a la eventual amenaza de tsunami en Iquique, en función de las vulnerabilidades identificadas en el proceso de análisis.

Figura 51: Adaptación en español del esquema de gestión de riesgos de Pliefke (2007).



Fuente: Elaboración propia.

EVALUACIÓN DEL RIESGO

Descripción General

Una vez que se tienen los fundamentos preliminares del modelo de riesgo y se identificaron todos los posibles peligros o amenazas para el sistema, comienza la fase de evaluación del riesgo. Esta etapa representa un paso fundamental dentro del marco de la gestión de riesgos.

La evaluación del riesgo en sí consta de dos sub-procedimientos, el análisis de riesgos y el módulo de evaluación de riesgos, cuyas tareas son para ser visto en la cuantificación del riesgo y compararlo con otros riesgos en competencia, respectivamente (Pliefke, 2007).

Análisis del Riesgo

El proceso de análisis de riesgos (descrito en esta sección según Pliefke 2007), representa la parte más compleja en la evaluación de riesgos, cuya finalidad principal radica en la cuantificación del riesgo mediante la definición de parámetros a los cuales se les asigna un valor peso u orden de importancia (ver Figura 52).

En primera instancia, dentro del proceso de análisis de riesgos, se realiza una aproximación cuantitativa de los parámetros de intensidad y frecuencia para cada tipo de riesgo identificado en relación al sistema predefinido. Una vez que los datos sobre riesgos se cuantifican, se procede a la fase de análisis. Esto se traduce en la evaluación de la exposición de los componentes del sistema, con el objetivo de definir el potencial del peligro asociado al impacto de la amenaza (Pliefke, 2007).

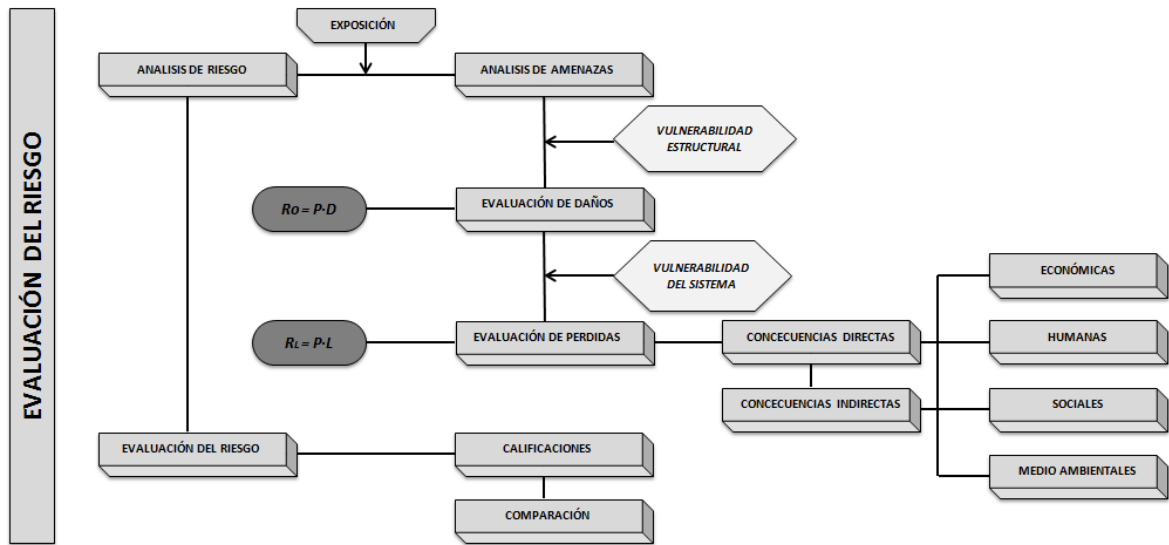
De esta manera, se realiza una subdivisión del sistema en base a los elementos en riesgo (EAR) y los elementos que no representan riesgo (EaNR), en función la amenaza. Como los EaNR, por definición no representan una exposición, no se ven amenazados por el peligro y por lo tanto pueden ser excluidos del análisis. Por otro lado, un edificio u otro elemento de infraestructura arbitraria se caracterizan por varios parámetros que tienen que ser determinados para la evaluación de su exposición. Entre ellos se encuentran los parámetros ubicación exacta en el sistema, la información sobre el uso funcional (residencial, comercial, industrial), ocupación (inventario de los contenidos, el número de personas que viven o trabajan en el interior) y el tipo de construcción (materiales de construcción, número de plantas, año de construcción). Además, para facilitar el análisis, los EAR de similares características se pueden agrupar en clases o tipologías, en función del riesgo que se trate. Entonces, el análisis superior puede concentrarse en una representación típica de cada clase EAR, suponiendo que todos los demás EAR de la misma categoría mostrará un comportamiento similar (Pliefke, 2007).

Por lo tanto, la vulnerabilidad es una característica específica que indica el grado de susceptibilidad física hacia el impacto de la amenaza.

Posteriormente a la predicción del comportamiento estructural de todos los EAR, se debe analizar la exposición de los elementos (asociada a un determinado nivel de daño y las consecuencias para el sistema definido) (Pliefke, 2007).

El autor citado en esta anteriormente, distingue entre las consecuencias directas, que ocurren simultáneamente a la vez que el desastre se lleva a cabo y las consecuencias indirectas, que se generan con un desfase temporal como resultado de las consecuencias directas. Las consecuencias directas están en una línea recta ligada a la capacidad de control del sistema, es decir, la capacidad de resistir las fuerzas de la naturaleza y para la respuesta inmediata ante ellas. Las consecuencias indirectas están vinculadas a la capacidad de recuperación, es decir, la capacidad resiliente para seguir funcionando y recuperarse del desastre. Además, cada clase de consecuencia se subdivide en las consecuencias materiales o económicas, que son directamente cuantificables en términos monetarios y consecuencias intangibles, que no son directamente medibles. Algunos ejemplos de esta última categoría son, lesiones y muertes, la contaminación del medio ambiente, la pérdida de valores sociales e históricos culturales, etc.

Figura 52: Esquema de evaluación de riesgo.



Fuente: Elaboración propia a partir de Pliefke (2007).

La fase de análisis de riesgos termina con la cuantificación del riesgo que se compone a partir de toda la información recopilada anteriormente.

El riesgo total tiene como objetivo principal, considerar todas las consecuencias, tanto tangibles como intangibles. Por otra parte, esta transformación de los resultados intangibles no es necesaria y el riesgo total se puede dividir de acuerdo con las respectivas tipologías de consecuencia para indicar su contribución relativa. Considerando lo anterior, la determinación del riesgo total es una forma más exhaustiva para su evaluación, en comparación al riesgo estructural como potencial total para el sistema en consideración.

Evaluación del Riesgo

Una vez terminado el procedimiento de análisis de riesgos, se inicia la fase de evaluación. El objetivo de la etapa de evaluación es hacer que el riesgo que se considere comparable a otros competitivos en el sistema mediante el uso de las medidas adecuadas (Pliefke, 2007).

En este contexto, las llamadas curvas de probabilidad de excedencia se han transformado en una herramienta útil para ilustrar gráficamente riesgo. En una curva de probabilidad de excedencia, se representa la probabilidad de que un cierto nivel de pérdida sea superada en un período de tiempo, frente a los diferentes niveles de pérdida. En la actualidad, la pérdida para el sistema se puede especificar en términos de mermas económicas, víctimas mortales u otras medidas de impacto adecuadas según sea el caso (Pliefke, 2007).

Finalmente, después de analizar el riesgo en función de las medidas de riesgo adecuadas, éste puede ser clasificado, en función de la percepción de riesgo individual.

VULNERABILIDAD

En terminos generales, la vulnerabilidad puede ser definida como la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, tecnológica o antrópica, pueda sufrir daños humanos y materiales en el momento del impacto del fenómeno o desastre. La magnitud de estos daños estará asociado con el grado de vulnerabilidad. Una forma resumida de definir la vulnerabilidad puede ser la probabilidad de que, debido a la intensidad del evento y a la fragilidad de los elementos expuestos, ocurran daños en la economía, la vida humana y el ambiente (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

Este enfoque hacia la vulnerabilidad se fundamenta en un conjunto de factores físicos, sociales, políticos, tecnológicos, ideológicos, institucionales, culturales y educativos que, a su vez, se relacionan dentro de la realidad de la vulnerabilidad (Cardona, 2003).

Aunque en un principio la percepción del concepto de vulnerabilidad era algo confusa, las discusiones entre distintos autores respecto a la terminología ha contribuido a dar una mayor claridad a los conceptos de riesgo y desastre. Estos dos conceptos, fueron relacionados con una posibilidad y a un hecho, asociados a una sola causal que se traduce en el fenómeno ante el cual no existían muchas líneas de acción. Sin embargo, el desarrollo del marco conceptual de la vulnerabilidad se da a partir de la experiencia humana, producto de situaciones en que la vida cotidiana era difícil de distinguir ante un desastre. Para ese entonces, el proceso de desarrollo ya se comenzaba a considerar como una armonía entre el hombre y el medio ambiente. El resultado de este proceso de desarrollo, fue la identificación de la vulnerabilidad en distintos grupos sociales, entendida como la capacidad reducida de adaptación ante una determinada situación o circunstancia (Cardona, 2003).

En la actualidad, el término de amenaza se refiere a un peligro latente o factor de riesgo ajeno a un sistema establecido o ante la exposición de un sujeto, que puede ser expresado matemáticamente como la probabilidad de excedencia ante un nivel de ocurrencia de un suceso con una cierta intensidad, en un contexto físico y temporal de exposición. A su vez, la vulnerabilidad se entiende como un factor de riesgo interno que, en términos matemáticos, se expresa como la factibilidad de que un sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza la amenaza (Cardona, 2003). Considerando lo anterior, se puede definir el riesgo como el potencial de pérdidas asociadas al sujeto o sistema expuesto, resultado de la convolución (mutuo condicionamiento) entre la amenaza y la vulnerabilidad. Es decir, que no existe vulnerabilidad si no hay amenaza y no existe una condición de amenaza para un sujeto o sistema si no está expuesto y vulnerable ante la acción potencial que representa dicha amenaza (Reyes, 2012).

Considerando lo anterior, la vulnerabilidad se puede definir como la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños como consecuencia ante la acción de un fenómeno desestabilizador de origen natural o antrópico.

DESASTRE

Definición del concepto

Los desastres son eventos extraordinarios que originan destrucción considerable de bienes materiales y pueden dar por resultado muerte, lesiones físicas y sufrimiento humano. Estos sucesos pueden ser naturales o causados por el hombre. En la primera categoría se incluyen los incendios, los conflictos bélicos, los disturbios civiles, los actos terroristas y la contaminación química. Por otro lado, las inundaciones, los terremotos, las marejadas, los tornados o los huracanes son calamidades de carácter natural.

Las dos categorías guardan similitud en cuanto a sus posibles consecuencias en la salud mental, pero los autores del manual, con base en sus experiencias, se enfocan principalmente en los desastres naturales (Giraldo & Gamarra, 2010).

Las catástrofes usualmente son hechos inesperados y a la vez que inevitables, que tienen diversas características. Algunas surgen con lentitud, mientras que otras lo hacen de manera repentina y sin advertencia alguna. Hay eventos de este tipo que afectan un área extensa, mientras que otras ejercen sus efectos en un sitio específico con una menor área de impacto. También varía su duración. Algunas persisten durante horas, y otras, sólo duran segundos o minutos (Giraldo & Gamarra, 2010).

Por último, cada desastre produce daños materiales y pérdidas humanas en grado variable. Por ejemplo, un terremoto causa daños materiales o humanos mínimos en un área despoblada, mientras que en otra densamente poblada la destrucción material y humana puede ser considerable (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

Amenazas naturales

Las amenazas naturales son aquellos elementos del medio ambiente que son peligrosos para el hombre y que están causados por fuerzas ajenas o externas a él, asociadas a su entorno medio ambiental (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

Para efectos de desastre, la amenaza se refiere específicamente a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (sísmicos y volcánicos), y a los incendios por su ubicación, severidad, y frecuencia, que tengan el potencial de afectar adversamente al ser humano, sus estructuras y actividades (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

Pese al término “natural” una amenaza tiene elementos de participación humana. Por ejemplo un evento físico como la erupción volcánica que no afecta al ser humano, es un fenómeno natural y no una amenaza natural. Un fenómeno natural que ocurre en regiones pobladas es un evento peligroso. Un evento peligroso que causa fatalidades y/o serios daños más allá de la capacidad de respuesta es un desastre natural. Un desastre no es un proceso exclusivamente natural, si no es un evento natural que ocurre en lugares donde hay actividades humanas (USAID, 1991).

Las amenazas naturales se pueden clasificar según sus características físicas. Algunas de éstas son:

- Amenazas con características hidrológicas (inundaciones costeras, sequías, etc.)
- Amenazas con características atmosféricas (huracanes, tormentas, tornados, etc.)
- Amenazas con características sísmicas y volcánicas (tsunamis, terremotos, etc.)
- Amenazas con características de incendios

- Amenazas con características geológicas e hidrológicas (avalanchas, desprendimientos de roca, deslizamientos de suelo, etc.)

Ciclo de desastres

El ciclo de los desastres comprende tres fases generales (o cuatro dependiendo de la lectura o referencia), que ligadas por la relación íntima y secuencia que mantienen, han sido convenientemente reconocidas como ciclo de la administración para desastres. Cada una de estas fases y etapas identifican las actividades que se deben realizar a fin de manejar el desastre en sí y, por consiguiente, poder controlar sus efectos (Espinoza, 1995).

Figura 53: Diagrama del ciclo de desastres.



Fuente: Elaboración Propia.

El estudio de la administración de desastres en forma de ciclos con fases y etapas, relacionados entre sí, más los elementos y actividades propias que se deben ejecutar en cada una de ellas son bastante recientes. Esta organización cronológica es útil, porque permite contar con una organización de trabajo, mediante la cual se puedan elaborar planes para evitar o atenuar los efectos de los desastres sobre la población, la economía y el medio ambiente (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009)

Todas las etapas están basadas en el desarrollo socioeconómico por la relación que tiene este factor con cada uno de los diferentes momentos considerados en el ciclo. Por ello,

este proceso, con las fases mencionadas, ha sido denominado por la OPS (Organización Panamericana de la Salud) como ciclo del desarrollo, ya que los países incrementan sus capacidades y reducen su vulnerabilidad mediante las potencialidades y posibilidades reales de actuación (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

El desarrollo sustentable es producto de la planificación integral que incorpora al análisis de riesgo por desastres y a la estrategia de protección del medio ambiente, la valoración del crecimiento económico, lo que permite mejorar los niveles de vida de toda la población, así como la preparación integral del territorio para enfrentar eventos adversos (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

ETAPAS DEL CICLO DESASTRE

Como se menciona anteriormente, para su estudio, el ciclo de desastres generalmente se agrupa en tres fases generales (USAID, 1991), en función del tiempo con referencia al evento. Cada fase puede durar desde unos pocos segundos hasta meses y años, y una fase puede prolongarse hasta la siguiente.

Cada fase agrupa varias etapas asociadas con el evento en cuestión (ver Tabla 20), y adquieren la denominación de antes, durante y después, y pueden vincularse al sinónimo de *fase primaria*, *fase secundaria* y *fase terciaria*.

Tabla 20: Organización secuencial del ciclo de desastre.

<i>Fases y Actividad Fundamental</i>	<i>Antes del Evento (Planificación)</i>	<i>Durante el Evento (Respuesta)</i>	<i>Después del Evento (Recuperación)</i>
<i>Etapas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención • Mitigación • Preparación • Alerta 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto • Emergencia - Aislamiento - Rescate 	<ul style="list-style-type: none"> • Rehabilitación • Reconstrucción
<i>Objetivos Principales</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Impedir que sucesos naturales determinen un desastre. • Reducir Impacto • Reducir Vulnerabilidad • Estructurar componentes de respuesta • Establecer Precauciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo y asistencia a los afectados. • Medidas de evaluación y atenuación de las consecuencias. • Prevención de la prolongación de los daños y su amplitud. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de servicios básicos. • Educación Sanitaria • Reparación con alcance de desarrollo igual o superior al anterior al desastre.

Fuente: Elaboración propia a partir de USAID (1991).

Antes del desastre (planificación)

Corresponde a las actividades anteriores al desastre (en la literatura especializada se puede identificar como interdesastre o predesastre), es decir, cuando se tiene un período de calma. Durante esta fase se aprecian los valores de riesgo del territorio y se evalúa el nivel de preparación de la población ante las amenazas potenciales más frecuentes. Se educa a la población, se capacitan a los recursos humanos necesarios, se realizan inventarios y se acopian los recursos para su movilización rápida (Giraldo & Gamarra, 2010).

Es el período más importante del proceso de planificación, el más largo y de mayores posibilidades para cumplir medidas de prevención, mitigación y preparación contra emergencia y desastre, según el fenómeno que se esté analizando. Es también la fase de reducción de riesgo previo al desastre, de vital importancia en el proceso de prevención por las mayores posibilidades de desarrollar medidas de mitigación y preparación contra emergencias y desastres. Suele tener mayor duración y comprende las etapas siguientes (Giraldo & Gamarra, 2010):

- Prevención
- Mitigación
- Preparación
- Alerta

Esta es la fase más importante del proceso de planificación y la que resulta más larga y de mayores dimensiones.

Prevención

Contempla un conjunto de acciones cuyo objeto es impedir o evitar que sucesos naturales o generados por la actividad humana, causen desastres. Algunos ejemplos prácticos en relación de la base anteriormente definida, son los siguientes (PNUD Chile, 2012):

- Sistemas de irrigación, direccionamiento y canalización para evitar posibles sequías.
- Reubicación de viviendas y espacios de alta densidad de población en zonas de alta amenaza de inundación ante tsunamis, crecidas de cauces de ríos, etc.
- Sistemas de cierre automático de válvulas ante escapes de sustancias tóxicas.

Las medidas de prevención contra los efectos de los desastres deben considerarse como parte fundamental del proceso de desarrollo integral a escala territorial, y dependen en gran medida de la evaluación de riesgos, lo que necesitan para esto la colaboración intersectorial (PNUD Chile, 2012).

Mitigación

Es el conjunto de actividades que se realizan antes de un desastre, para reducir o atenuar el efecto de su impacto en la población, la economía y el medio ambiente. La mitigación es una intervención con el fin de modificar (PNUD Chile, 2012):

- Las características de un fenómeno, con el objetivo de reducir el impacto de la amenaza.
- Las características intrínsecas de un sistema biológico, físico o social, para reducir la vulnerabilidad.

La gran mayoría de los desastres no son previsible, sin embargo, siempre existe alguna posibilidad de mitigar; minimizar y atenuar sus consecuencias sobre la población, la economía y el medio ambiente. La mitigación tiende a reducir los efectos dañinos que sobre vidas y propiedades causan los desastres que no puedan prevenirse (como se menciona en la fase anterior), y es necesario establecer prioridades para poner en práctica las medidas más adecuadas según sea el caso (PNUD Chile, 2012).

El riesgo que se asume al producirse un desastre se fundamenta en la intervención de los factores (amenazas o peligros y vulnerabilidad). Además de las acciones de prevención, es necesario mitigar los efectos de los fenómenos naturales para reducir la vulnerabilidad con el propósito de que no se sufran daños humanos y materiales. Los desastres son prevenibles en el grado en que las prácticas humanas puedan influir para que las medidas de mitigación se incluyan en la planificación del desarrollo, con el fin de reducir la vulnerabilidad, y crear estructuras físicas y sociales con mayor resistencia a los efectos perjudiciales (Joice, Wright, Samsonov, & Ambrocia, 2009).

Preparación

Conjunto de medidas cuyo objetivo es organizar y estructurar la respuesta de la comunidad a las condiciones adversas; educar y capacitar a la población con el objeto de facilitar las acciones para un efectivo y oportuno aviso, control, evacuación y conducta que permitan una restauración lo más pronto posible, tanto física como social (USAID, 1991).

La preparación es una tarea fundamentalmente multisectorial y multidisciplinaria y está encaminada a reducir las muertes, lesionados y daños materiales, con un uso racional de los recursos disponibles (USAID, 1991).

Esta etapa de preparación exige una cuidadosa planificación de sus acciones, así como el seguimiento y la evaluación oportuna de su idoneidad, acorde con los objetivos trazados, y la magnitud de su alcance, con precisa introducción de las variantes necesarias que se deben considerar, según las circunstancias imperantes (USAID, 1991).

A esta etapa del ciclo de los desastres corresponden, entre otras, las actividades siguientes:

- Definición de las funciones de los organismos operativos.
- Inventario de recursos.
- Información a la comunidad, acerca de los riesgos e instrucciones que se deben cumplir en caso de desastres.
- Señalización de rutas de evacuación a las zonas de refugios.
- Información y educación a trabajadores, dirigentes y población general.
- Importancia de la organización general de ejercicio de simulacro de desastres para poner a prueba los mecanismos de respuesta.

Alerta

Tradicionalmente la alerta ha sido tratada como parte de la preparación, pero dada su enorme importancia es conveniente considerarla como una etapa más con sus particularidades (USAID, 1991).

Es el estado declarado con el fin de tomar precauciones específicas, debido a la probable y cercana ocurrencia de un evento adverso. La alerta es la notificación formal, en algunos casos legales, para anunciar la activación de la respuesta adoptada en función de la evaluación de la amenaza, y tiende a limitar el impacto del fenómeno por medio de las acciones de preparación (USAID, 1991).

Durante del Desastre (Respuesta)

Esta fase comprende la respuesta planificada y oportuna, para que una amenaza no se convierta en desastre; se lleva a cabo inmediatamente después de ocurrido un evento adverso y requiere la realización de un conjunto de acciones integradas, multifactoriales y multisectoriales, para salvar vidas, reducir sufrimientos, pérdidas económicas y daños al medio ambiente. Esta fase comprende las etapas de impacto y emergencia (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

En el *impacto* es cuando ocurren las muertes, los traumatismos y las destrucciones, lo que varía ampliamente según los diferentes factores que intervienen en el mismo (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

La *emergencia* es el periodo en que se procede de inmediato a realizar acciones para salvar vidas. En este se consideran dos momentos: el primero caracterizado por el aislamiento, y el segundo, por las medidas externas de rescates y socorros (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

En esta fase es esencial realizar una valoración preliminar de los daños, desde el impacto del evento o inmediatamente después de este, para determinar la magnitud de los daños, las prioridades de atención y las necesidades. La emergencia comienza al finalizar el impacto del evento y persiste hasta que ha pasado el efecto inmediato; es cuando se les debe brindar apoyo y asistencia a las víctimas (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

Los planes para la respuesta se puntualizan en el periodo anterior al desastre, y se comprueban todos los años mediante ejercicios de simulación que permiten perfeccionarlos. Es importante para la respuesta contar con planes de preparación previamente elaborados y actualizados, que contribuyan a la reducción de la morbilidad y mortalidad relacionada con el desastre (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

Después del Desastre (Recuperación)

Esta es la fase posterior al desastre, corresponde al proceso de recuperación y en la cual se realizan actividades para restablecer las consecuencias resultantes a corto, mediano o a largo plazo; comprende las etapas siguientes (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009):

Rehabilitación

Esta fase ya ha comenzado durante la etapa de respuesta, y en ella se va dando prioridad a la prestación de servicios habituales indispensables en instalaciones provisionales, abastecimiento de agua mediante camiones cisternas y servicios médicos en las instalaciones provisionales. Las medidas de salud ambiental e instalación de albergues de urgencias reciben entonces particular atención (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

La rehabilitación es la recuperación a corto plazo de los servicios básicos, e inicio de la reparación de los daños físicos, sociales, evacuación de la población damnificada, así como la aplicación de medidas educativas a la población en riesgo. Por ejemplo, restablecimiento de los servicios de agua potable, recogida de desechos sólidos, líquidos y otros (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

Reconstrucción

Se refiere al proceso de reparación del daño físico, social y económico, a mediano y largo plazo, a un nivel de desarrollo igual o superior al existente antes del desastre. Esta etapa es la que más recursos y esfuerzos exige y la que menos se presta para motivar a la solidaridad internacional; sin embargo, puede ofrecer oportunidades para introducir medidas de prevención y mitigación, a fin de que la comunidad esté preparada para otro desastre en el futuro próximo; en algunas ocasiones por pérdidas de interés, o de ayuda económica, durante este periodo, los efectos devastadores adquieren permanencia (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

En esta fase, es importante reflexionar sobre las lecciones aprendidas de desastres sufridos, para la implementación de mejoras continuas mediante la inclusión de medidas de prevención y mitigación, con el fin de superar el nivel de desarrollo alcanzado y contar con mayores posibilidades integrales para enfrentar a futuros eventos (Narváez, Lavell, & Pérez, 2009).

ANEXO G: GESTIÓN DEL CICLO DE PROYECTOS (PCM)

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

DESCRIPCIÓN GENERAL

La Gestión del Ciclo de Proyecto⁷, es un conjunto de herramientas de diseño y gestión de proyectos basada en el *método del marco lógico*. Se entiende por proyecto a una serie de actividades destinadas a lograr objetivos claramente especificados, dentro de un periodo de tiempo establecido y con un presupuesto definido (Comisión Europea EuropeAid, 2001).

El método del marco lógico es un proceso analítico, y a la vez un conjunto de herramientas utilizadas para la planificación y gestión de proyectos. Proporciona una serie de conceptos entrelazados que se utilizan para la estructuración y el análisis sistemático de un proyecto. Permite la formulación de preguntas, identificación de puntos débiles y que la toma de decisiones se haga de manera informada, basada en la comprensión racional del proyecto, con objetivos claros y el camino a seguir para alcanzarlos (European Commission, 2004). Analiza los elementos más importantes que deben estar presentes en cada fase del proyecto, los criterios de coherencia y viabilidad a lo largo del proyecto. Ésta herramienta pretende ser un instrumento sencillo que ayude a identificar aquellos factores que condicionan el éxito de un proyecto (Comisión Europea EuropeAid, 2001). Cabe destacar que el éxito de un proyecto, así como el cumplimiento de los objetivos planteados, depende del profesionalismo del equipo que toma las decisiones, de la lógica del proyecto, el diseño del proyecto y de la calidad de la información entregada por los interesados y destinatarios del proyecto.

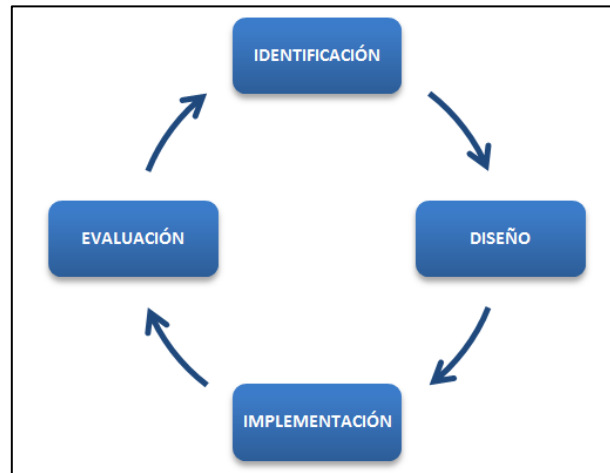
El marco lógico considera dos etapas; la primera es la de análisis y la segunda corresponde a la confección de la matriz del marco lógico (Comisión Europea EuropeAid, 2001). Para efectos de esta investigación, se evaluará sólo la primera etapa analítica, debido a que no se contempla la fase de implementación, pues este proyecto se encuentra en su etapa de preliminar de desarrollo y sus estudios posteriores podrían incluir fases más avanzadas del ciclo de proyectos.

La etapa de análisis contempla los siguientes aspectos:

- Análisis de las partes interesadas
- Análisis de problemas
- Análisis de objetivos
- Análisis de estrategias

⁷ Conocido también por sus siglas en inglés PCM (Project Cycle Management)

Figura 54: Diagrama del ciclo de gestión de proyectos.



Fuente: Elaboración Propia.

ANÁLISIS DE LAS PARTES INTERESADAS

Las partes interesadas son todos aquellos individuos, comunidades, grupos u organizaciones interesadas en el resultado de un proyecto o programa (Comisión Europea EuropeAid, 2001).

El análisis de las partes interesadas permite identificar las partes susceptibles de ser afectadas por el proyecto, ya sea positiva o negativamente, y la manera en la que éstas serían afectadas (European Commission, 2004).

Para llevar a cabo este análisis, se pueden utilizar una serie de herramientas para diferenciar por categorías las partes interesadas. Dentro de estas se encuentran:

- Análisis de partes interesadas a través del uso matricial
- Análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas)
- Diagramas de Venn
- Diagramas de araña

Cabe destacar que en el uso de cualquiera de estas herramientas, la calidad de la información se verá influenciada directamente por el proceso de obtención de la misma.

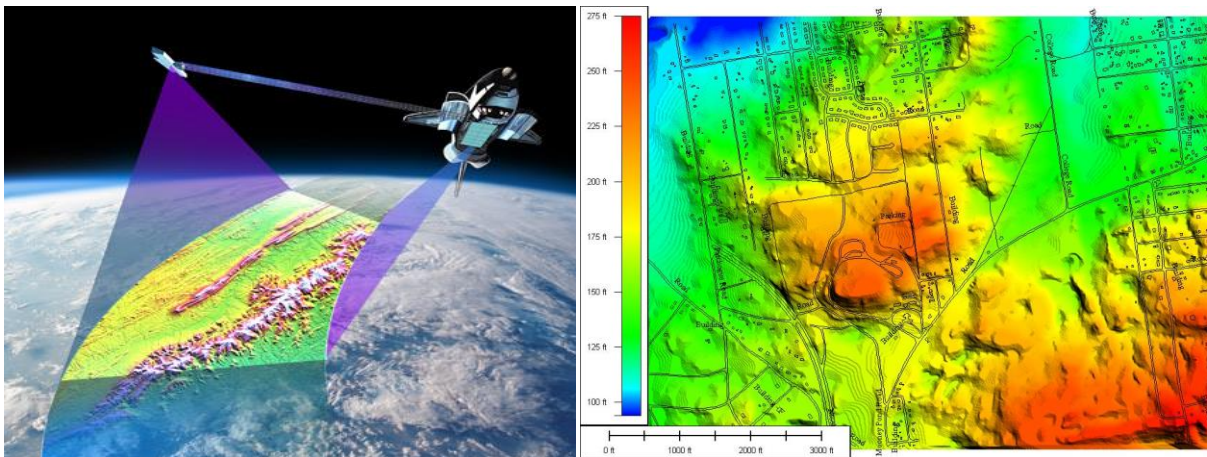
ANEXO H: TELEOBSERVACIÓN

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

DESCRIPCIÓN GENERAL

La teledetección, tal como es entendida hoy, contempla la extracción de datos mediante instrumentos especiales llamados sensores, situados tanto en aviones, helicópteros, globos u otras naves aéreas como otros colocados en el espacio exterior en satélites artificiales (ver Figura 55) (Fonseca, 2004).

Figura 55: Extracción de datos por medio de la teledetección satelital y output de elevación obtenido.



Fuente: Adaptación de Fonseca (2004).

Aunque este término es relativamente nuevo, ya que no sobrepasa las cuatro décadas de existencia, la teleobservación fue aplicada desde mucho antes de su aparición. En efecto la primera fotografía aérea, considerada como fue la primera forma de teledetección, data de fines del siglo XIX e inicios del XX, solo que el término de teledetección se instaura en la década del setenta del siglo XX, cuando el desarrollo tecnológico posibilitó el uso de otros métodos, que acopiaban información más allá de la recogida por las películas fotográficas, y desde mayor altura (naves espaciales) (Chuvieco, 1990).

En la actualidad, los avances en la teleobservación y sus tecnologías de aplicación hacen posible el uso de datos de imágenes de sensores remotos para evaluar la vulnerabilidad de un área y para la captura de la distribución de los daños ocasionados por los desastres. Para obtener el escenario previo y post-evento de información espacial en relación al entorno natural y urbano, existen una serie de métodos, tales como el estudio de campo, teledetección aérea y la teledetección por satélite (Yamazaki, 2007).

Debido a su capacidad para cubrir áreas extensas en un tiempo de adquisición determinado, la teleobservación por satélite ha sido una herramienta muy poderosa para controlar el estado de la superficie de la tierra. Gracias a las imágenes satelitales de alta resolución con las que se cuenta en la actualidad, la teleobservación por satélite se ha hecho muy útil en el manejo de desastres, ya que incluso el estado de los daños de los edificios y las infraestructuras individuales pueden ser identificados sin necesidad de visitar los sitios de los desastres (Yamazaki, 2007).

PRINCIPALES APLICACIONES DE LA TELEOBSERVACIÓN

Los avances tecnológicos en el ámbito de la investigación de la teleobservación, han ido abriendo constantemente los campos de aplicación de esta, cosa que ha sido demostrada hasta la fecha en distintos aportes a nivel mundial (Office of Technology Assessment, 1984).

En el informe citado anteriormente se pueden distinguir las siguientes áreas de aplicación:

- Estudios erosivos de playas y arenales.
- Inventarios regionales del medio ambiente para la preparación de estudios de impacto ambiental.
- Cartografía geológica para la exploración mineral y petrolífera.
- Cartografía de nuevos dispositivos volcánicos.
- Cambios previsibles en la disponibilidad de energía hidroeléctrica.
- Monitoreo y control de movimiento de icebergs en zonas polares.
- Estimación de modelos de escorrentía y erosión.
- Inventario del agua superficial.
- Análisis en tiempo real de masas nubosas de escala media y pequeña.
- Medición de aguas superficiales y humedales para la evaluación del hábitat de aves acuáticas.
- Verificación de contenidos de salinidad en las principales corrientes de agua.
- Cartografía termina del mar.
- Verificación y control de la calidad física del agua, rapidez y contenido de algas.
- Control de movimiento de corrientes marinas.
- Cartografía de la cobertura vegetal del suelo.
- Evaluación de condiciones de estrés en la vegetación, por efectos de la sequía o deforestación.
- Uso del suelo.
- Inventarios forestales.
- Selección de rutas óptimas para nuevas vías de comunicación.
- Cartografía e inventario de cultivos por especies.

Cabe resaltar que el campo de aplicación crece constantemente, siendo la teleobservación una herramienta bastante versátil no solo para la ingeniería, sino para toda área de estudio.

VENTAJAS DE LA TELEOBSERVACIÓN

La mayor parte de las aplicaciones anteriormente de las aplicaciones que citadas anteriormente no son exclusivas de la teledetección espacial, si no que comparten su empleo con la fotografía aérea en conjunto con los trabajos de campo. No obstante, el uso de la teledetección espacial, facilita en estos casos, un apoyo muy conveniente para reducir costos o tiempo invertido en obtener resultados. Ambos elementos, costos y tiempo, se justifican por las propias características de la observación espacial (Chuvieco, 1990).

Frente a los antecedentes revisados hasta ahora, se pueden enunciar las siguientes ventajas (Chuvieco, 1990):

- *Cobertura global y periódica de la superficie terrestre.* Gracias a las características orbitales del satélite se puede obtener imágenes repetitivas de la mayor parte de la tierra, incluso áreas inaccesibles.
- *Visión panorámica.* La altura orbital del satélite le permite detectar grandes espacios, proporcionando una visión amplia de los hechos geográficos.
- *Homogeneidad en la toma de datos.* Se detecta una amplia superficie por el mismo sensor y en una fracción pequeña de tiempo. Esto asegura la coherencia necesaria en los datos obtenidos para abordar un estudio sobre grandes espacios.
- *Información sobre regiones no visibles del espectro.* Los sensores ópticos-electrónicos facilitan imágenes sobre áreas no accesibles con la fotografía convencional: infrarrojo medio y termino, micro-ondas, etc. Estas bandas del espectro proporcionan una valiosa información para estudios medio ambientales, registrando problemas imperceptibles al ojo humano.
- *Formato digital de imágenes.* Este agiliza su tratamiento con la ayuda de equipos adecuados y reduce los costos para integrar posteriormente los resultados con otro tipo de cartografía más convencional.

Esta relación no implica, naturalmente, que consideremos a la teleobservación espacial como un elemento para detectar cualquier problema que afecte el medio ambiente.

ANEXO I: DEMANDA DE EVACUACIÓN

CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE EVACUACIÓN

DEFINICIÓN GENERAL

Se define la demanda de evacuación como la totalidad de la población expuesta ante la amenaza de tsunami, teniendo en cuenta la consideración de que todas las personas deben de evacuar en dicho escenario de emergencia. La demanda de evacuación está compuesta por la demanda de evacuación horizontal (DEH) y la demanda de evacuación vertical (DEV).

Para la estimación de la demanda de evacuación, se zonificó el territorio expuesto a la inundación por tsunami mediante la división de este en secciones según su nivel de impacto en base a dos criterios independientes:

- Rangos de tiempo de arribo a la zona seguridad establecida
- Distribución de densidad de población en zonas de tránsito peatonal

Los criterios utilizados y propuestos para efectos de la caracterización de la demanda y zonificación, se explican a continuación.

ZONIFICACIÓN POR RANGOS DE TIEMPO DE ARRIBO A ZONA DE SEGURIDAD

Mediante la zonificación en función del tiempo de arribo a la zona de seguridad, se puede obtener una velocidad promedio de desplazamiento de las personas, con la cual se puede simplificar el comportamiento individual en un comportamiento representativo del total de la población expuesta.

Para efectos de esta investigación se observaron las velocidades obtenidas en terreno tanto para Valparaíso como Viña del Mar y se calculó la velocidad promedio de desplazamiento para cada una de ellas. Considerando ciertas similitudes en cuanto a la distribución urbana y pendientes entre Viña del Mar e Iquique, se optó por asumir de manera conservadora la velocidad promedio de Viña del Mar que corresponde a 1,5 [m/s] a diferencia de la velocidad que propone la FEMA de 1,78 [m/s]. De esta manera, se pudo identificar puntos por intervalos de 5 minutos sobre cada ruta de evacuación, desde su inicio hasta la zona de seguridad. Además, de manera conservadora y teniendo en cuenta que gran parte de la población corresponde a personas de la tercera edad, también se consideró la velocidad para una persona con movilidad reducida propuesta por la FEMA que es de 0,89 [m/s] en comparación de la velocidad promedio de 1,1 [m/s]

registrada en Viña del Mar, para una segunda zonificación por rango de tiempo de arribo a zona segura. Una vez que los tiempos de desplazamiento fueron calculados e identificados en cada ruta de evacuación, se generaron polígonos sobre los ejes de las calles para la delimitación de cada zona expuesta. Esta metodología fue aplicada mediante el uso de la herramienta Google Earth Pro. Los resultados de esta zonificación son presentados en la sección 5.3.2.

ZONIFICACIÓN POR DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN

Una vez identificadas las zonas de exposición, se subdividió cada una de ellas en tres partes en función de la distribución de densidad de población dependiendo del momento de ocurrencia de la inundación por tsunami. Debido a la falta de información demográfica, la distribución de densidades se basó en una adaptación del criterio de Jacob (ver Tabla 21), considerando que las zonas costeras concentran una mayor cantidad de personas, debido a su carácter turístico y de uso para actividades de recreación.

Tabla 21: Criterio de densidad de población propuesto.

TIPO DE MULTITUD	Factor de Densidad [pers/m ²]
Multitud Fluida	0,085
Multitud Densa	0,171
Multitud Muy Densa	0,225

Fuente: Elaboración Propia.

Junto con lo anterior, se propuso un análisis en base a tres escenarios de desastre en función del tiempo de ocurrencia. Los tres escenarios propuestos son:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \text{Día de Invierno} \\
 T_2 &= \text{Día de Verano} \\
 T_3 &= \text{Noche de Verano}
 \end{aligned}$$

Este análisis permite sensibilizar la población expuesta y comparar las situaciones de desastre entre los distintos escenarios, además de sus niveles de impacto y demanda requerida para los sistemas de evacuación. La asignación de las densidades para cada escenario de desastre, se presenta a continuación en la Tabla 22.

Tabla 22: Asignación de densidades por zona y momento de ocurrencia.

DISTRIBUCIÓN DE DENSIDAD POR ZONA Y ESCENARIO				
ZONA	SUBZONA	DENSIDAD		
		T1	T2	T3
Z1	Z1-1	1	4	4
	Z1-2	1	4	2
	Z3-3	1	2	2
Z2	Z2-1	1	1	1
	Z2-2	1	1	1
	Z2-3	1	1	1
Z3	Z3-1	1	1	1
	Z3-2	1	1	1
	Z3-3	1	1	1
Z4	Z4-1	1	1	1
	Z4-2	1	1	1
	Z4-3	1	1	1

Fuente: Elaboración Propia.

ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE EVACUACIÓN

Para la determinación de la demanda de evacuación se propone la siguiente formulación matemática:

Ecuación 2: Demanda de evacuación.

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

Dónde:

D = Demanda de evacuación

$d_{i,j}$ = Densidad de personas por unidad de superficie

i = Indicador de subzona definido en Tabla 22

j = Indicador de momento de ocurrencia definido en Tabla 22

A = Superficie donde se evalúa la demanda de evacuación

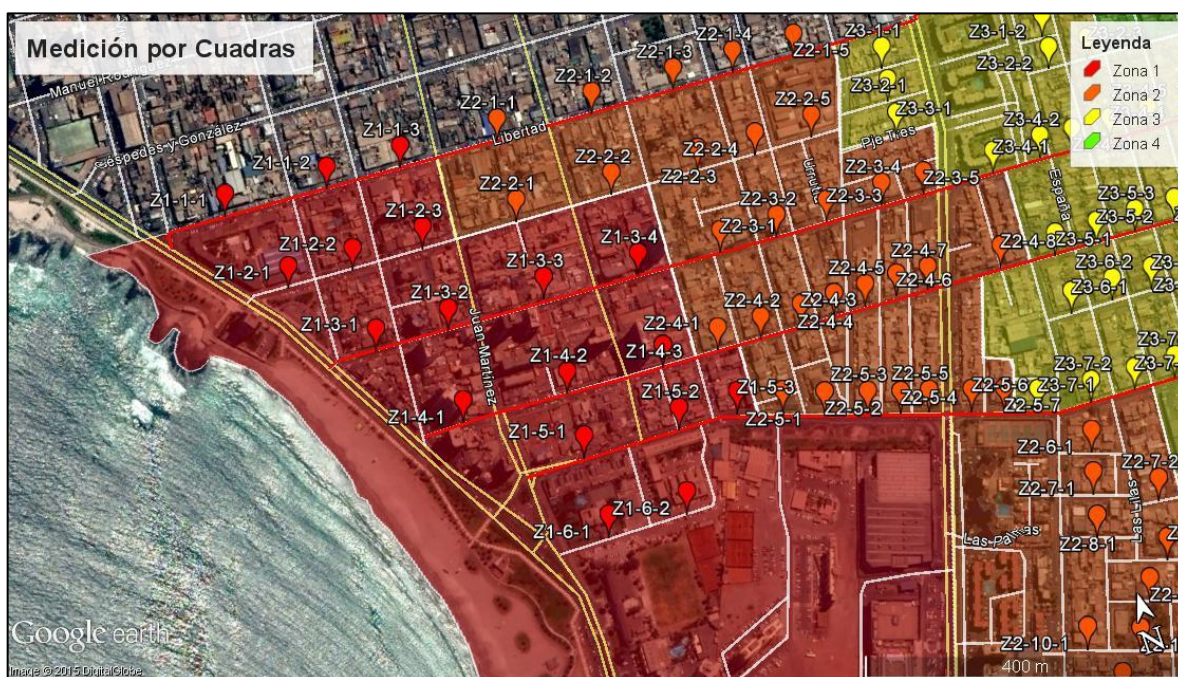
Esta metodología fue aplicada para sección, realizando un levantamiento por cada mitad de cuadra paralela y perpendicular a la costa.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE LA POBLACIÓN EXPUESTA

Mediante el uso de la herramienta Google Street View de Google Earth, se realizaron mediciones por cada mitad de cuadra, dentro de la zona de estudio, además de registrar una fotografía para efectos de la identificación visual de otros factores de incidencia, en relación a la evaluación de la calidad de las vías de evacuación (ver Figura 56).

Con el fin de estimar el ancho útil para efectos de una evacuación, se midió el ancho de la calle y las veredas laterales, además del largo de cuadra (ver Figura 57). Para efectos de esta investigación, se propone el ancho útil como la suma de los anchos mencionados anteriormente. De esta manera, no se consideran áreas verdes, árboles, ni obstáculos que interfieran con el desplazamiento de la personas en su correcta evacuación.

Figura 56: Identificación de puntos de medición por mitad de cuadra.



Fuente: Elaboración Propia.

Cabe resaltar que se generó una codificación para cada punto en base a la zona, número de calle y cuadra, sin embargo en algunas partes fue muy difícil mantener la continuidad y homogeneidad de esta debido a las irregularidades en la delimitación de las cuadras. De esta manera se pudo ordenar y manipular los datos de manera más ordenada. En total se levantaron datos de 387 puntos, con el objetivo de caracterizar la superficie total expuesta en la zona de estudio.

Figura 57: Ejemplo de toma de datos por cuadra.



Fuente: Elaboración Propia.

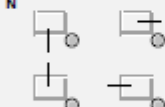
Finalmente se realizó la suma total de la superficie expuesta y la densidad de población por unidad de superficie, obteniendo de esta manera la población total expuesta, que corresponde en este estudio, a la demanda total de población a evacuar en la zona de estudio.



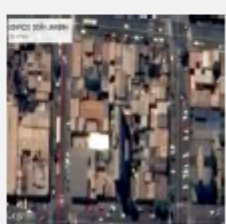
ANEXO J: FICHAS DE EVALUACIÓN EV

FICHAS A

Figura 58: Ficha Access A EV1

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
PAIS	CHILE
CIUDAD	IQUIQUE
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV1-AMU
DIRECCIÓN	AV. AMUNATEGUI 1810
COORDENADAS UTM	380214.80 m E 7763104.00 m S
FECHA DE VISUALIZACIÓN	05-01-2016
FECHA SATELITAL	28-10-2015
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	280 m
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	940 m

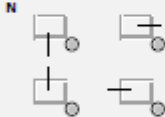
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
FECHA IMAGEN GSV	01-09-2012
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	<p>N</p> 
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoría II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARCILLA RÍGIDA
TIPO DE SUELO SEGÚN NCH 433	TIPO C: SUELO DENSO O FIRME
ALTURA DE INUNDACIÓN	1 a 2 m
OBSERVACIONES	




<p>IMAGEN FRONTAL</p> 
<p>IMAGEN PLANTA</p> 
<p>IMAGEN UBICACIÓN</p> 

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 59: Ficha Access A EV2.

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
PAIS	CHILE
CIUDAD	IQUIQUE
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV2-TOM
DIRECCIÓN	TOMÁS BONILLA ESQUINA 18 DE SEPTIEMB
COORDENADAS UTM	380214.80 m E 7763104.00 m S
FECHA DE VISUALIZACIÓN	05-01-2016
FECHA SATELITAL	28-10-2013
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	534 m
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	868 m

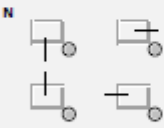
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
FECHA IMAGEN GSV	01-09-2012
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	<p>N</p> 
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoría II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARCILLA RÍGIDA
TIPO DE SUELO SEGÚN NCH 433	TIPO C: SUELO DENSO O FIRME
ALTURA DE INUNDACIÓN	1 a 2 m
OBSERVACIONES	


<p>IMAGEN FRONTAL</p> 
<p>IMAGEN PLANTA</p> 
<p>IMAGEN UBICACIÓN</p> 

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 60: Ficha Access A EV3.

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
PAIS	CHILE
CIUDAD	IQUIQUE
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV3-ART
DIRECCIÓN	ARTURO FERNANDEZ ESQUINA HERNAN FU
COORDENADAS UTM	380470.76 m E 7762854.89 m S
FECHA DE VISUALIZACIÓN	03-01-2016
FECHA SATELITAL	28-10-2015
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	446 m
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	910 m

INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
FECHA IMAGEN GSV	01-09-2012
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	<p>N</p> 
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoría II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARCILLA RÍGIDA
TIPO DE SUELO SEGÚN NCH 433	TIPO C: SUELO DENSO O FIRME
ALTURA DE INUNDACIÓN	1 a 2 m
OBSERVACIONES	

<p>IMAGEN FRONTAL</p> 
<p>IMAGEN PLANTA</p> 
<p>IMAGEN UBICACIÓN</p> 

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 61: Ficha Access A EV4.

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
PAIS	CHILE
CIUDAD	IQUIQUE
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV4-HER
DIRECCIÓN	HEROES DE LA CONCEPCIÓN CON DIEGO PO
COORDENADAS UTM	380827.29 m E 7762537.13 m S
FECHA DE VISUALIZACIÓN	05-01-2016
FECHA SATELITAL	28-10-2015
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	682 m
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	534 m

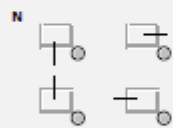
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
FECHA IMAGEN GSV	01-09-2012
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoría II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARCILLA RÍGIDA
TIPO DE SUELO SEGÚN NCH 433	TIPO C: SUELO DENSO O FIRME
ALTURA DE INUNDACIÓN	2 a 4 m
OBSERVACIONES	



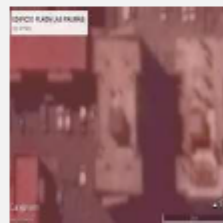
IMAGEN FRONTAL	
	
IMAGEN PLANTA	
	
IMAGEN UBICACIÓN	
	

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 62: Ficha Access A EV5.

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
PAIS	CHILE
CIUDAD	IQUIQUE
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV5-ACH
DIRECCIÓN	HEROES DE LA CONCEPCIÓN CON LAS ACHI
COORDENADAS UTM	380759.00 m E 7762347.00 m S
FECHA DE VISUALIZACIÓN	03-01-2016
FECHA SATELITAL	28-10-2013
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	617 m
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	600 m

INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
FECHA IMAGEN GSV	01-09-2012
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoría II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARCILLA RÍGIDA
TIPO DE SUELO SEGÚN NCH 433	TIPO C: SUELO DENSO O FIRME
ALTURA DE INUNDACIÓN	2 a 4 m
OBSERVACIONES	

<p>IMAGEN FRONTAL</p> 
<p>IMAGEN PLANTA</p> 
<p>IMAGEN UBICACIÓN</p> 

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 63: Ficha Access A EV6.

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
PAIS	CHILE
CIUDAD	IQUIQUE
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV6-ACH
DIRECCIÓN	HEROES DE LA CONCEPCIÓN CON LAS ACHI
COORDENADAS UTM	380749.72 m E 7762316.85 m S
FECHA DE VISUALIZACIÓN	03-01-2016
FECHA SATELITAL	28-10-2015
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	610 m
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	532 m

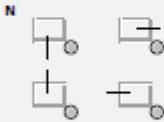



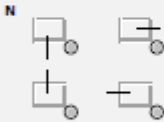
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
FECHA IMAGEN GSV	01-09-2012
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoría II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARCILLA RÍGIDA
TIPO DE SUELO SEGÚN NCH 433	TIPO C: SUELO DENSO O FIRME
ALTURA DE INUNDACIÓN	2 a 4 m
OBSERVACIONES	




IMAGEN FRONTAL

IMAGEN PLANTA

IMAGEN UBICACIÓN


Fuente: Elaboración Propia.

Figura 64: Ficha Access A EV7.

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
PAIS	CHILE
CIUDAD	IQUIQUE
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV7-TAD
DIRECCIÓN	HEROES DE LA CONCEPCIÓN CON LOS ALELI
COORDENADAS UTM	380598.00 m E 7761819.00 m S
FECHA DE VISUALIZACIÓN	03-01-2016
FECHA SATELITAL	28-10-2015
DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA	320 m
DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA	860 m

INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
FECHA IMAGEN GSV	01-09-2012
NÚMERO DE PISOS	>8
ACCESO	
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	HORMIGÓN ARMADO
USO DE LA ESTRUCTURA	NCH-433 Categoría II, Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público
TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA	ARCILLA RÍGIDA
TIPO DE SUELO SEGÚN NCH 433	TIPO C: SUELO DENSO O FIRME
ALTURA DE INUNDACIÓN	2 a 4 m
OBSERVACIONES	

<p>IMAGEN FRONTAL</p> 
<p>IMAGEN PLANTA</p> 
<p>IMAGEN UBICACIÓN</p> 

Fuente: Elaboración Propia.

FICHAS B

Figura 65: Ficha Access B EV1.

FICHA B	
INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV1-AMU
SUPERFICIE EN PLANTA	171
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	MEDIANAMENTE ABUNDANTE
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	<1985
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	2000
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	MEDIANAMENTE CONSERVADO
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	NO
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	0
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	5
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	OPACO
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	RESISTENCIA DEFICIENTE
OBSERVACIONES	Se descarta como opción de EV
ACCIONES	

IMAGEN FRONTAL




IMAGEN PLANTA





IMAGEN UBICACIÓN



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 66: Ficha Access B EV2.

FICHA B	
INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV2-TOM
SUPERFICIE EN PLANTA	308
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	POCO ABUNDANTE
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	<1985
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	2014
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	SI
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	1
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	5
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	OPACO
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	BUENA RESISTENCIA
OBSERVACIONES	Se considera como opción de EV (Azotea de gran superficie)
ACCIONES	

IMAGEN FRONTAL




IMAGEN PLANTA





IMAGEN UBICACIÓN



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 67: Ficha Access B EV3.

FICHA B	
INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV3-ART
SUPERFICIE EN PLANTA	572
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	POCO ABUNDANTE
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	<1985
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	2008
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	SI
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	1
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	5
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	SEMI- TRANSPARENTE
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	BUENA RESISTENCIA
OBSERVACIONES	Se considera como opción de EV (Azotea de gran superficie)
ACCIONES	

IMAGEN FRONTAL




IMAGEN PLANTA

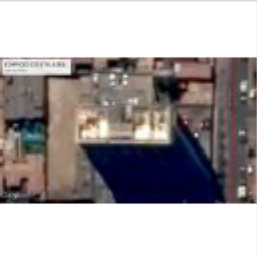



IMAGEN UBICACIÓN



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 68: Ficha Access B EV4.

FICHA B

INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV4-HER
SUPERFICIE EN PLANTA	315
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	MEDIANAMENTE ABUNDANTE

INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	<1985
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	2000
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	MEDIANAMENTE CONSERVADO
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	NO
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	0
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	5
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	OPACO
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	RESISTENCIA DEFICIENTE
OBSERVACIONES	Se descarta como opción de EV.

ACCIONES

IMAGEN FRONTAL




IMAGEN PLANTA

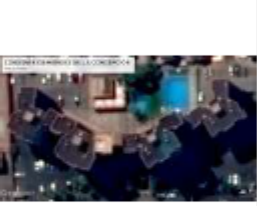



IMAGEN UBICACIÓN



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 69: Ficha Access B EV5.

FICHA B	
INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV5-ACH
SUPERFICIE EN PLANTA	400
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	MEDIANAMENTE ABUNDANTE
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	<1985
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	2000
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	NO
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	0
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	5
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	OPACO
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	RESISTENCIA MEDIA
OBSERVACIONES	Se considera como opción de EV.
ACCIONES	

IMAGEN FRONTAL




IMAGEN PLANTA





IMAGEN UBICACIÓN



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 70: Ficha Access B EV6.

FICHA B	
INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV6-ACH
SUPERFICIE EN PLANTA	430
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	MEDIANAMENTE ABUNDANTE
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	<1985
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	2008
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	NO
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	0
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	5
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	OPACO
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	RESISTENCIA MEDIA
OBSERVACIONES	Se considera como opción de EV.
ACCIONES	

IMAGEN FRONTAL




IMAGEN PLANTA





IMAGEN UBICACIÓN



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 71: Ficha Access B EV7.

FICHA B	
INFORMACIÓN GOOGLE EARTH	
CÓDIGO EDIFICIO	IQ-EV7-TAD
SUPERFICIE EN PLANTA	434
CANTIDAD DE OBJETOS FLOTANTES	MEDIANAMENTE ABUNDANTE
INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW	
TIPO DE OBJETOS FLOTANTES	BAJO TONELAJE (<12 TON)
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	<1985
AÑO ESTIMADO DE CONSTRUCCIÓN	2008
ESTADO DE CONSERVACIÓN EXTERIOR	BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN
ACCESO VEHICULAR A SUBTERRÁNEO	SI
NÚMERO DE SUBNIVELES ESTIMADO	>1
POTENCIAL DE SOCAVACIÓN	5
OPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	OPACO
RESISTENCIA DEL EDIFICIO ANTE IMPACTO	RESISTENCIA MEDIA
OBSERVACIONES	
ACCIONES	

IMAGEN FRONTAL




IMAGEN PLANTA





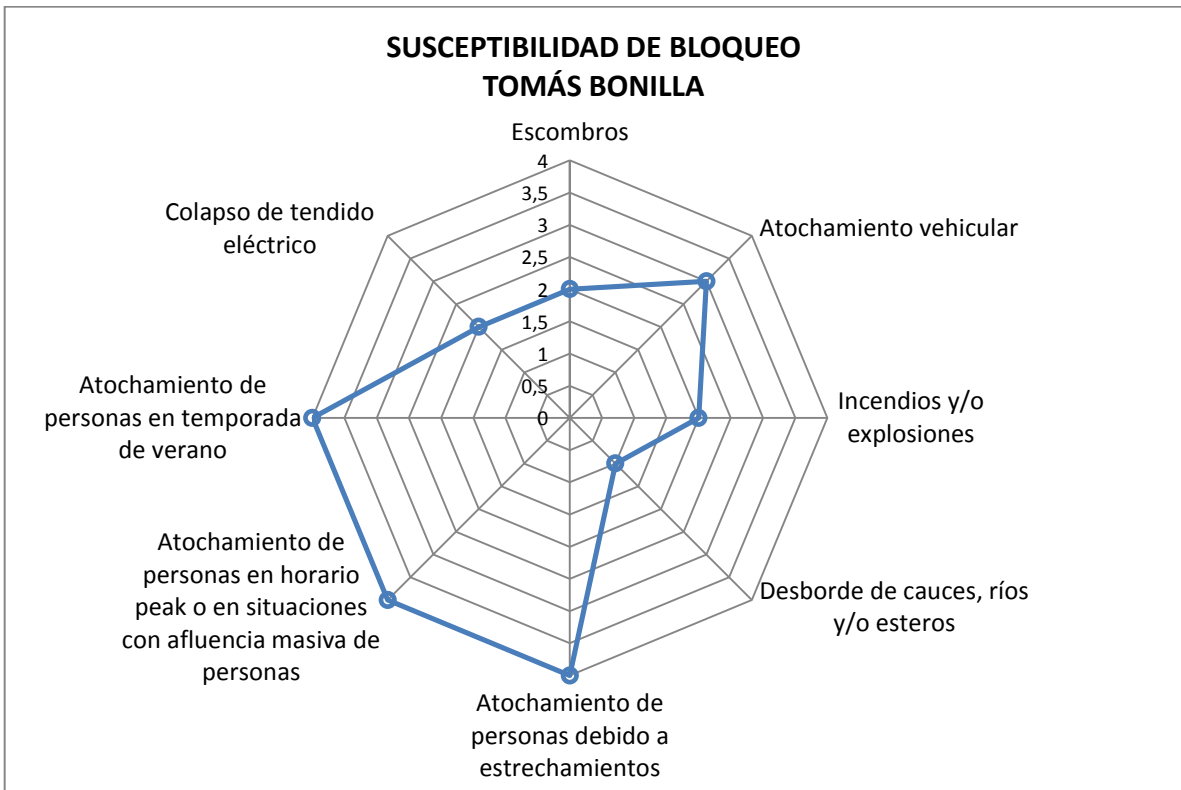
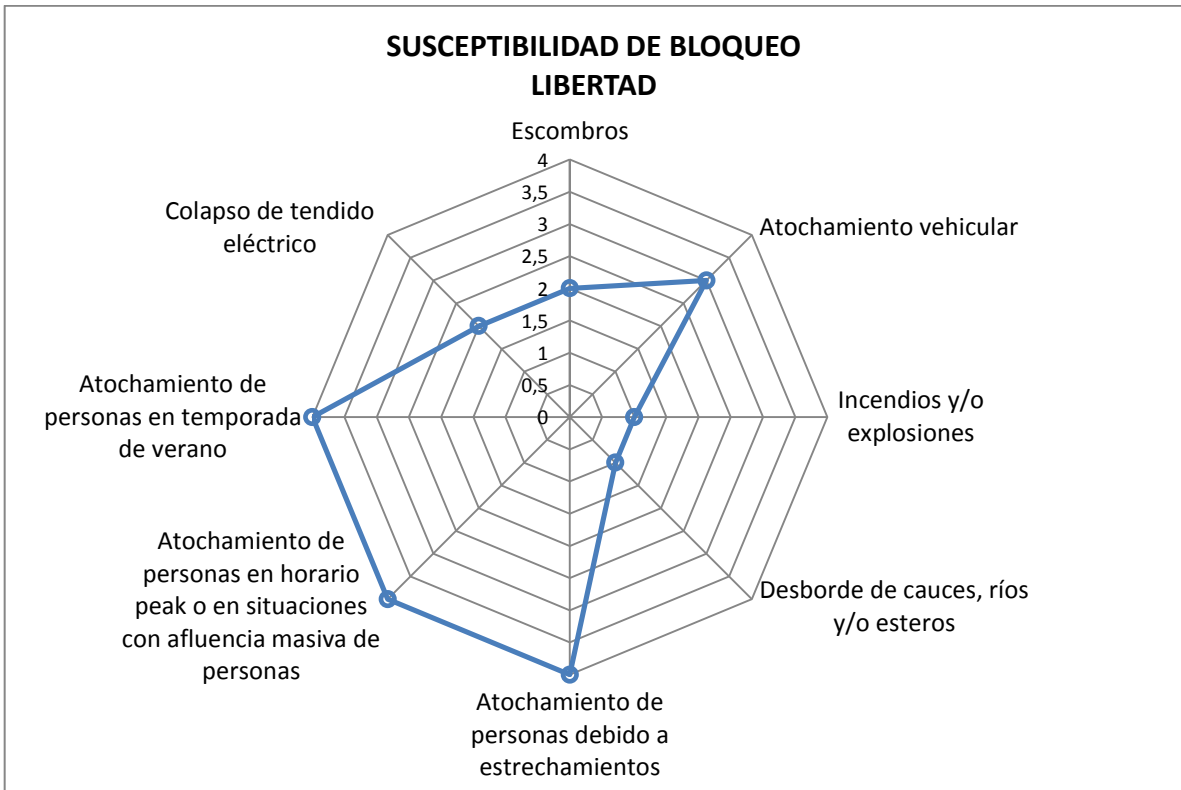
IMAGEN UBICACIÓN

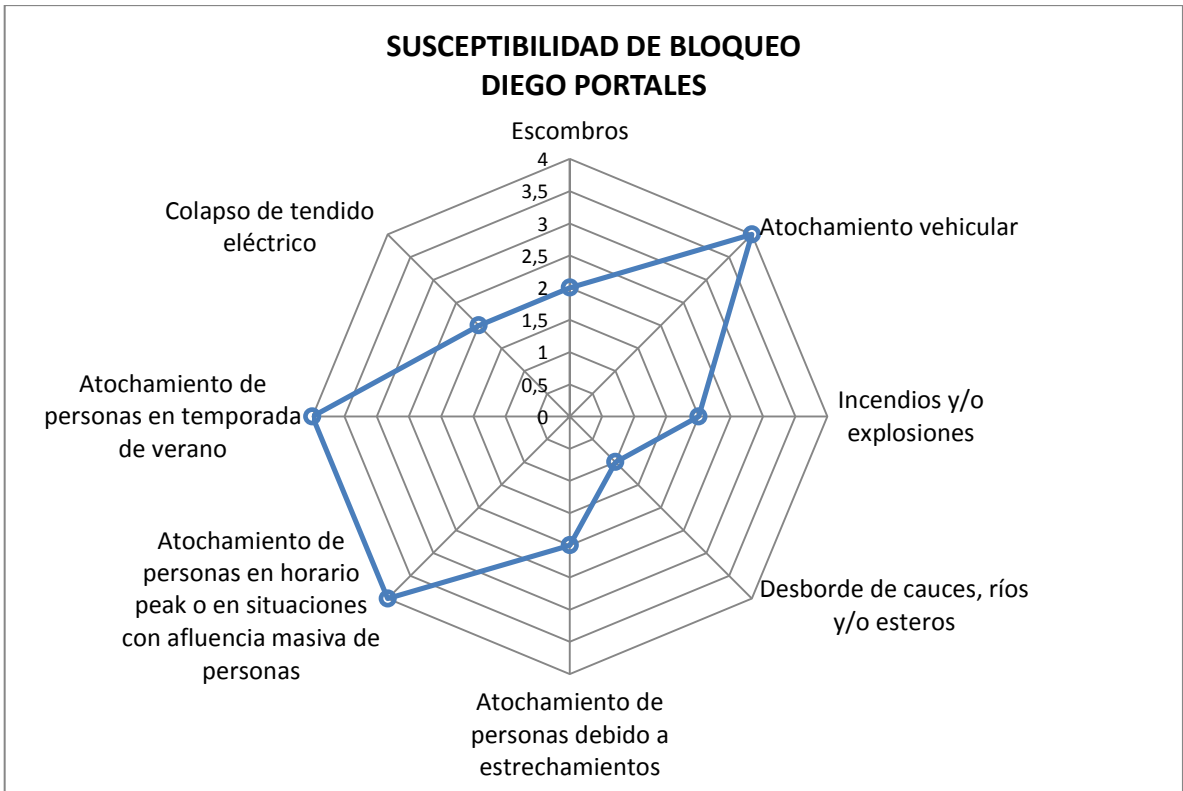
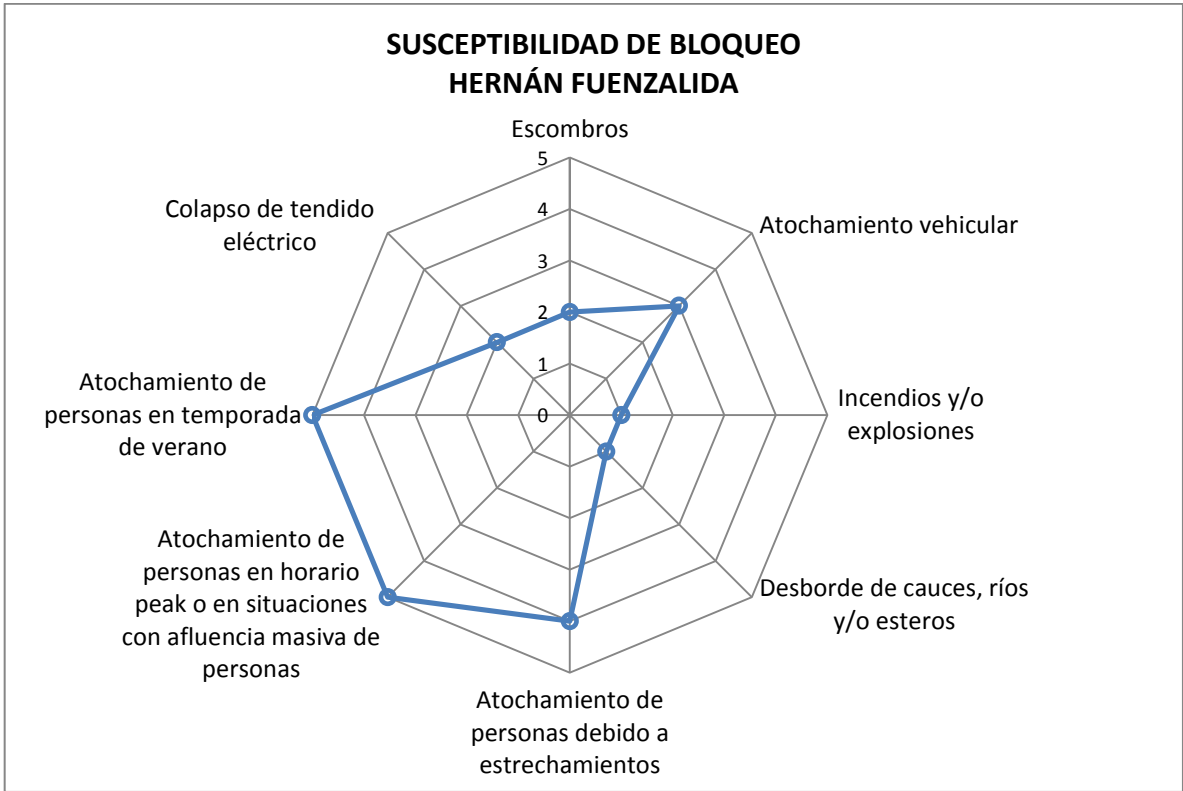


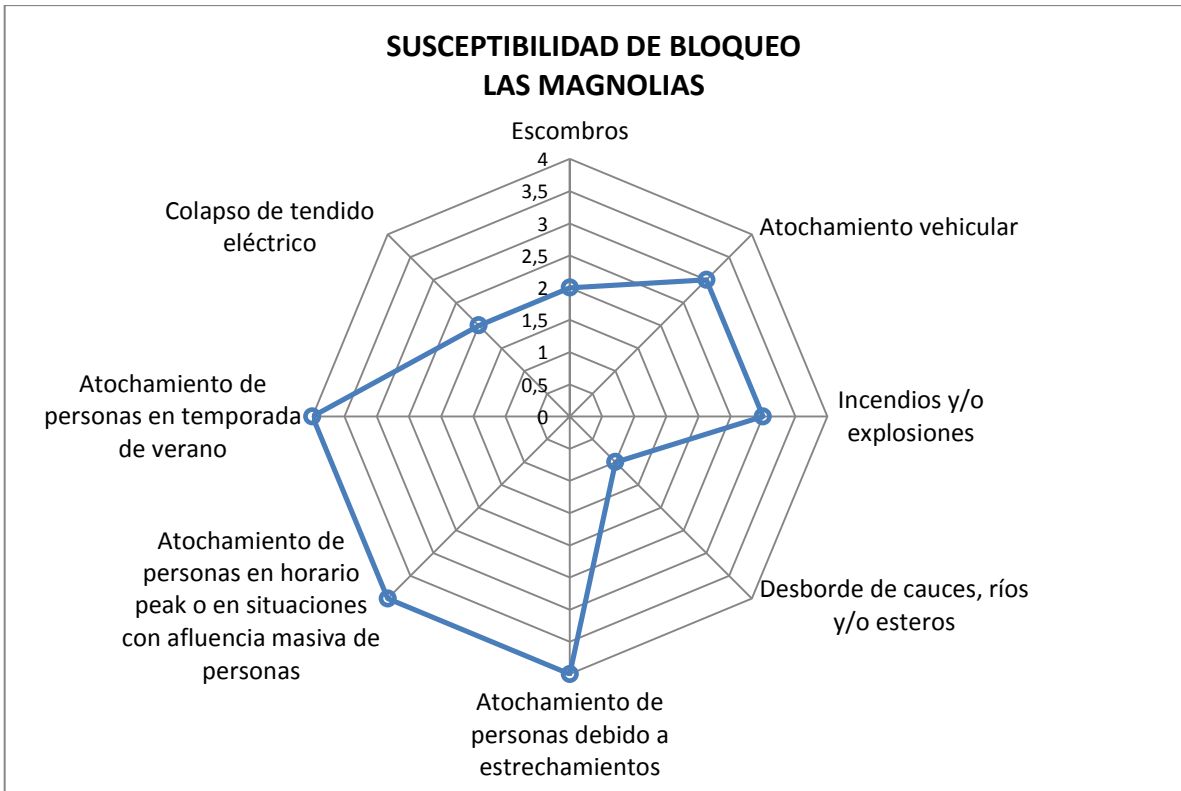
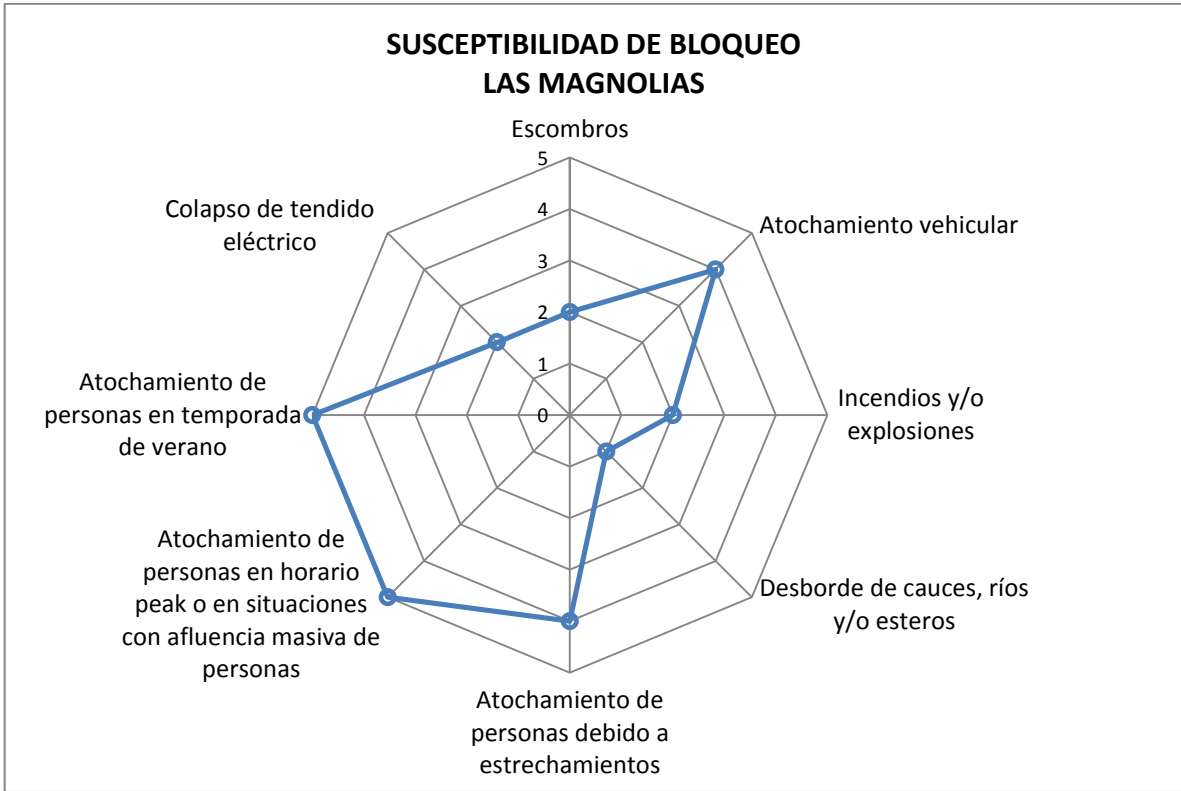
Fuente: Elaboración Propia.

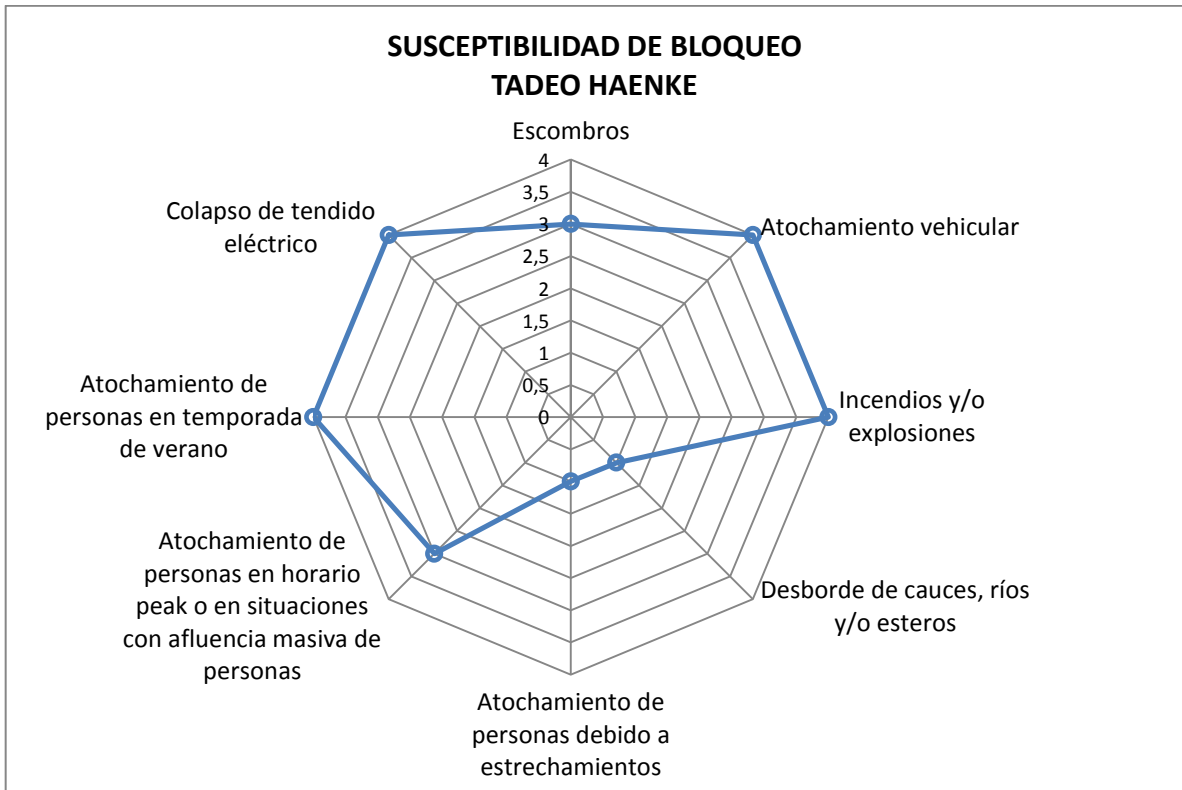
ANEXO K: GRÁFICOS DE RADAR

SUSCEPTIBILIDAD DE BLOQUEO DE LAS VÍAS

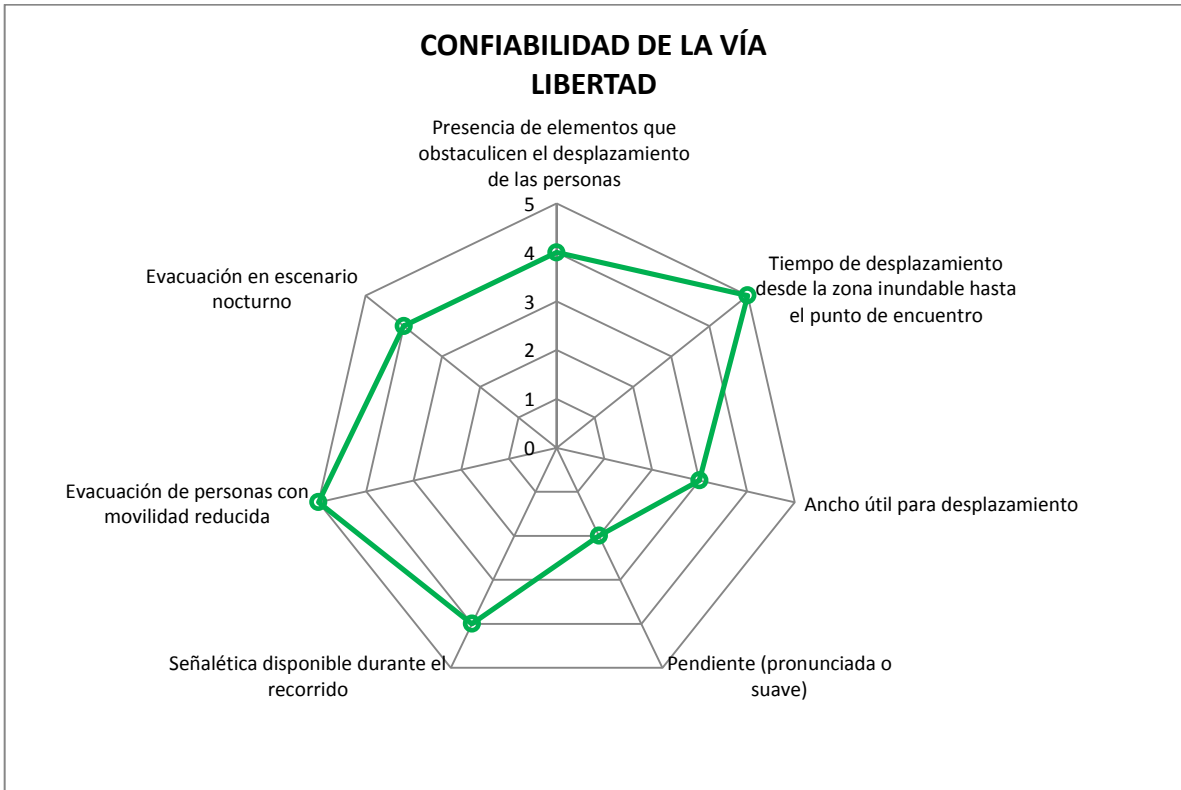
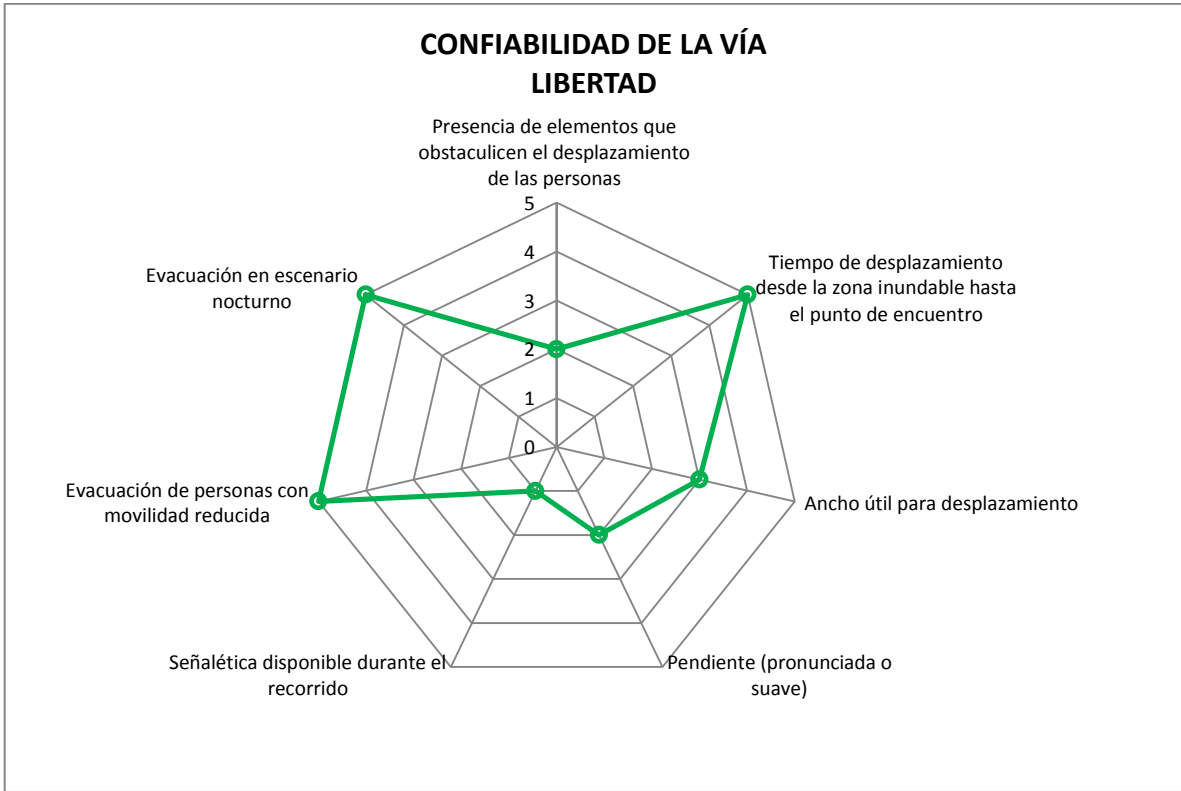


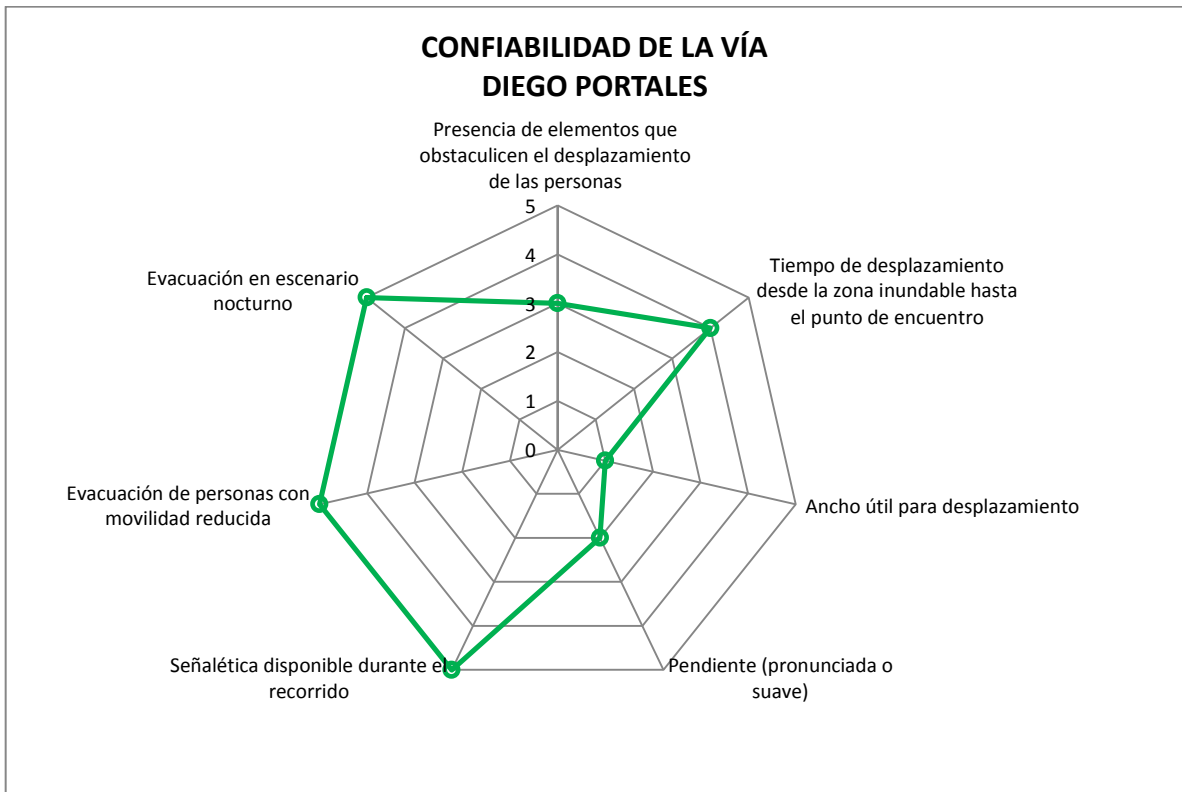
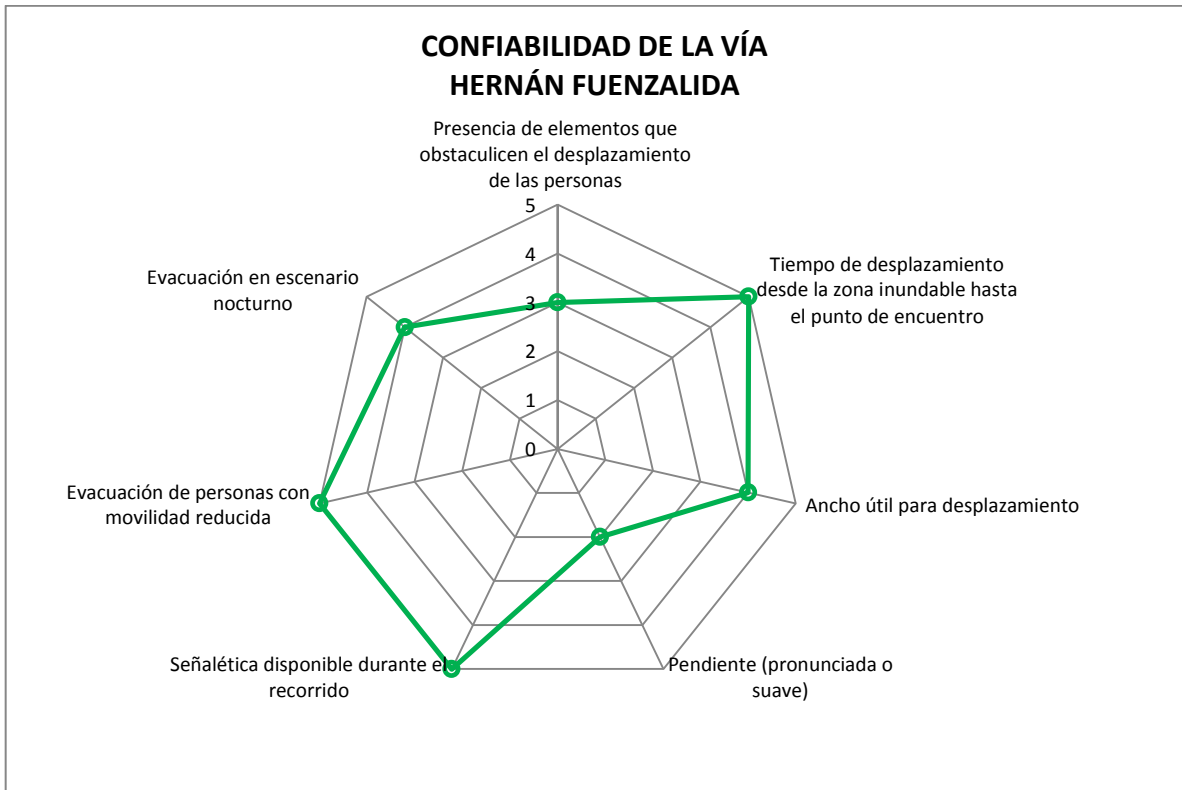


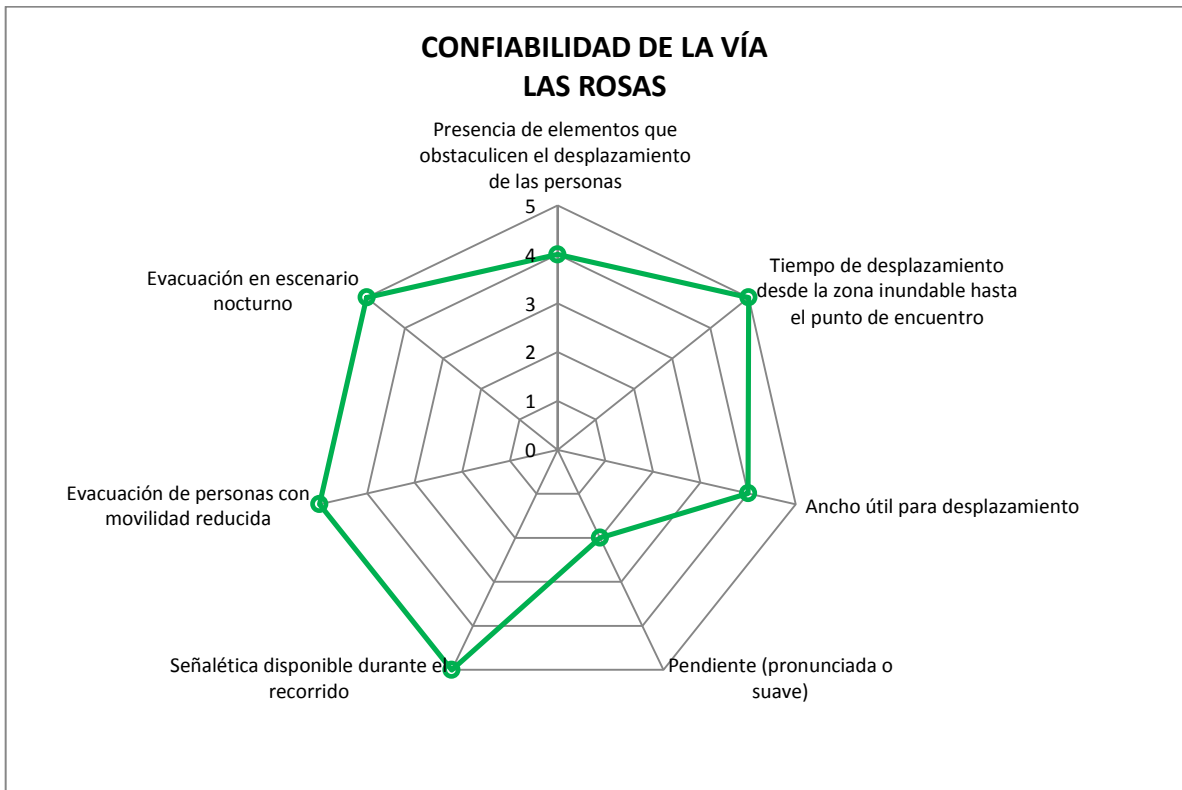
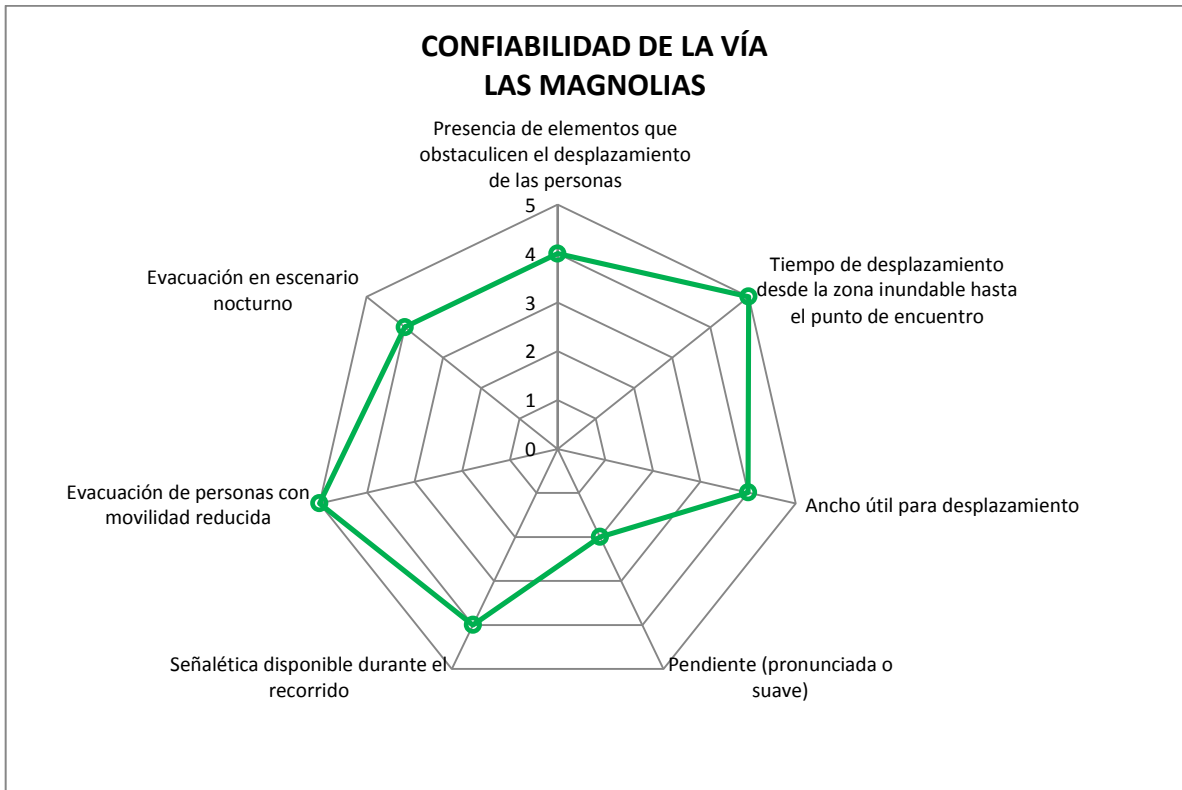


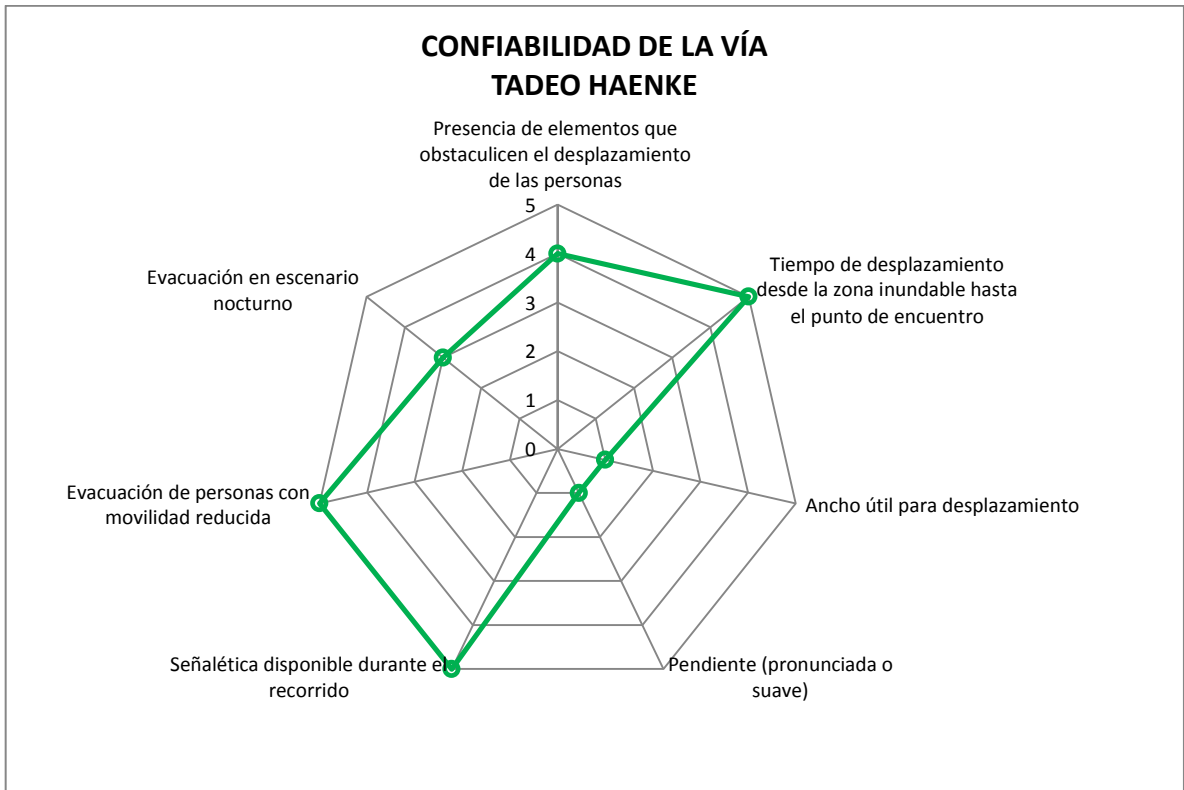


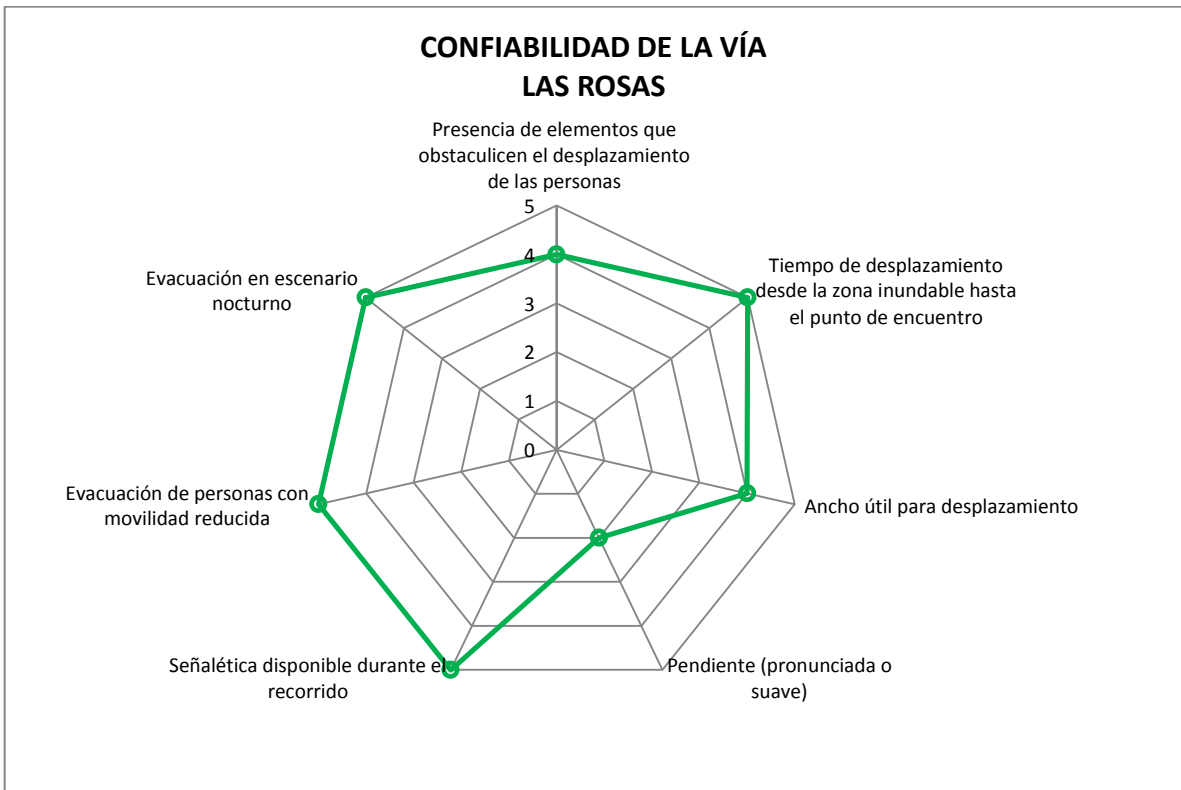
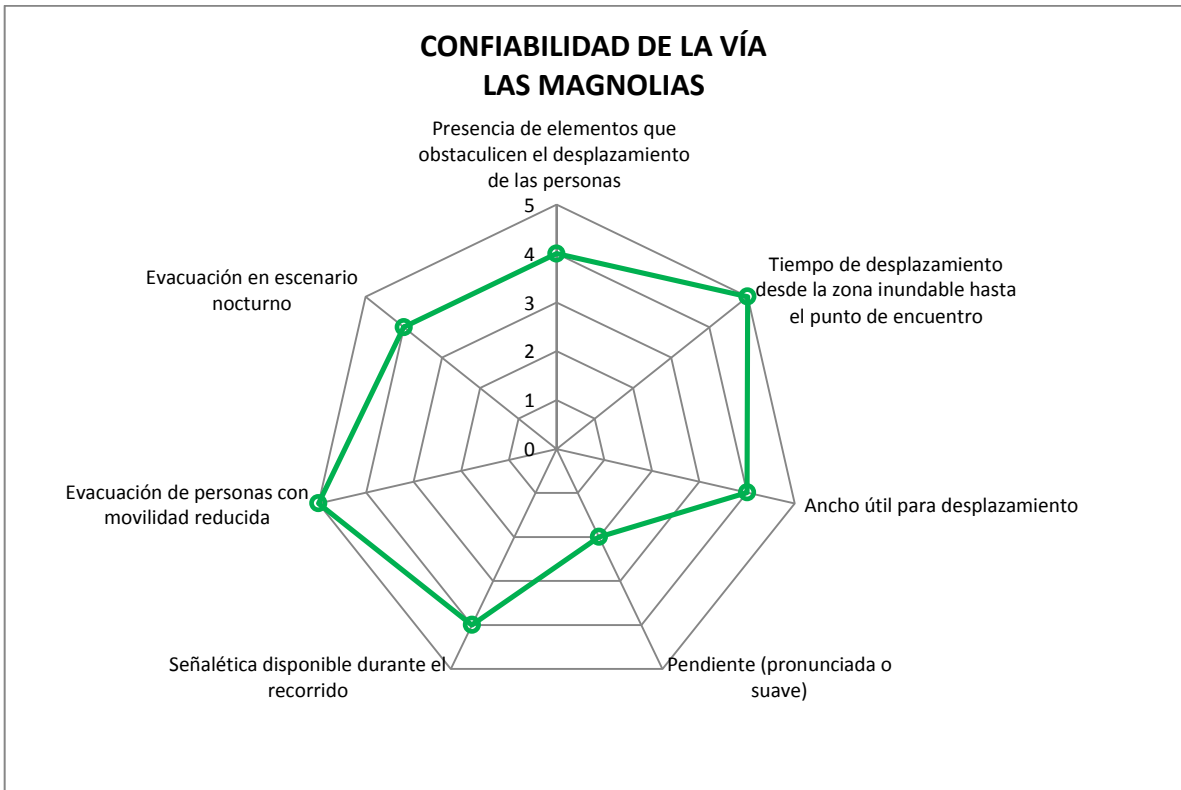
CONFIABILIDAD DE LAS VÍAS











ANEXO J: DATOS KMZ

REFERENCIAS

- Aránguiz, e. (2015). The 16 September 2015 Chile Tsunami from the Post-Tsunami Survey and Numerical Modeling Perspectives. *Pure and Applied Geophysics*.
- Bryant, E. (2001). *Geological Indicators of Large Tsunami in Australia*. Queensland, Australia.: Kluwer Academic Publishers.
- Cardona, O. (2003). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. (U. d. Andes, Ed.) *Centro de estudios sobre desastres y riesgos CEDERI*.
- Chardon, C. (2002). *Indicadores para la gestión del riesgo*. Manizales.
- Chlieh et al., M. (2011). Interseismic coupling and seismic potential along the Central Andes subduction zone. *Journal of Geophysical Research*.
- Chlieh, M. (2011). Interseismic coupling and seismic potential along the Central Andes subduction zone. *Journal of Geophysical Research*.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de la teledetección*. Madrid: Rialp.
- Cicco, F. (1980). *Evaluación de Riesgos*.
- Comisión Europea EuropeAid. (2001). *Manual Gestión del Ciclo de Proyecto*.
- Comte, D., & Pardo, M. (1991). Reappraisal of Great Historical Earthquakes in the Northern Chile and Southern Peru Seismic Gaps. *Natural Hazards*.
- Contreras-Reyes, E. (2012). *Abrupt change in the dip of the subducting plate beneath north Chile*.
- CSN. (2014). Informe Técnico Terremoto de Iquique Mw=8.2 - 1 de abril de 2014. *Centro Sismológico Nacional - Universidad de Chile*.
- CSN Universidad de Chile. (2009). *Sismicidad y Terremotos en Chile*. Santiago, Chile.
- CSN Universidad de Chile. (2014). *Servicio Sismológico de Chile*. Recuperado el 16 de 06 de 2014, de Servicio Sismológico de Chile: <http://www.sismologia.cl/>
- Dall'Osso, F., Gonella, G., Gabbianelli, G., & Dominey-Howes, D. (2009). *A method for assessing the vulnerability of buildings to catastrophic (tsunami)*. Sydney.
- Diario La Estrella de Iquique. (2010). *La Estrella de Iquique*. Recuperado el 07 de 01 de 2016, de http://www.estrellaiquique.cl/prontus4_notas/site/artic/20101029/pags/20101029001005.html
- Dominey-Howes, D., Dunbar, P., & Vernar, J. (2009). *Estimating probable maximum loss from a Cascadia tsunami*.
- Espinoza, G. (1985). Los desastres y su relación con el manejo de recursos naturales en Chile. (F. d. Laboratorio de Ecología, Ed.)
- Espinoza, G. (1995). *El manejo de los desastres naturales: Conceptos y definiciones básicas aplicadas a Chile*. Santiago, Chile.
- European Commission. (2004). *Project Cycle Management Guidelines*. Bruselas.
- Farreras, S., Domínguez, R., & Gutierrez, C. (2005). *Tsunamis*. Mexico: CENAPRED.
- FEMA. (2009). *Vertical Evacuation from Tsunami: A Guide for Community Officials*. California: NOAA.

- Fonseca, J. (2004). La teledetección en el manejo de riesgo de desastres. *Medio ambiente y sociedad*.
- Giraldo, M., & Gamarra, L. (2010). *Preparación ante Desastre Sísmico y/o Tsunami y Recuperación Temprana en Lima y Callao*. Lima, Peru: UNESCO.
- Goncalves, E., & Pereira, M. (2002). Integrating Geographical Information Systems and Multi-Criteria Methods: A Case Study. *Kluwer Academic Publishers*.
- Google. (2015). *Google Official Blog*. Recuperado el 14 de Agosto de 2015, de <http://googleblog.blogspot.cl/2011/10/google-earth-downloaded-more-than-one.html>
- INE. (2008). *Población y Sociedad: Aspectos Demográficos*. Santiago, Chile: Gobierno de Chile.
- INE. (2014). *Instituto nacional de estadísticas*. Obtenido de <http://www.ine.cl/>
- Joice, K., Wright, K., Samsonov, S., & Ambrocia, V. (2009). Remote sensing and the disaster management cycle. (I. Published, Ed.) *GNS Science*.
- Kausel, E., & Campos, J. (1992). The Ms=8 tensional earthquake of 9 December 1950 of northern Chile and its relation to the seismic potential of the region. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*.
- Lagos, M. (2002). Tsunamis de origen cercano a las costas de Chile. *Revista de geografía norte grande*.
- Lagos, M., & Cisterna, M. (2004). Depósitos de Tsunami como indicadores de riesgo: Evidencias Sedimentarias. *Revista geográfica de Chile: Terra Australis*, 329-351.
- Lagos, M., & Cisterna, M. (2008). El nuevo riesgo de tsunami: considerando el peor escenario. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales.*, 11.
- Levin, B. (2009). *Physics of the Tsunamis*. Moscow, Rusia: Springer.
- Mahedra, R., Mohanty, P., Srinivasa, T., & Nayak, S. (s.f.). Assessment and management of coastal multi-hazard vulnerability along the CuddaloreVillupuram, east coast of India using geospatial techniques. *Ocean & Coastal Management*, 54(4), 302-311.
- Martinez, E. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de una localización de una pyme. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*.
- Métois et al., M. (2013). Revisiting the North Chile seismic gap segmentation using GPS-derived interseismic coupling. *Geophysical Journal International*.
- Narváez, L., Lavell, A., & Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres: Un enfoque basado en procesos*. Lima, Perú: PREDECAN.
- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. (2005). Tsunamis - Case Studies and Recent Developments. (K. Satake, Ed.) *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, 23.
- NOAA. (2005). *The Global Reach of the 26 December 2004 Sumatra Tsunami*. USA: NOAA.
- NOAA. (s.f.). *NOAA - Center for tsunami research*. Recuperado el 03 de Diciembre de 2013, de NOAA - Center for tsunami research: <http://nctr.pmel.noaa.gov/sumatra20100406/>

- Office of Technology Assessment. (1984). *Remote Sensing and the Private Sector: Issues for Discussion*. Washington, D.C.
- ONEMI. (2001). Metodología básica para la elaboración de un plan comunal de prevención y respuesta ante un Tsunami. . Santiago: ONEMI.
- ONEMI. (2013). *Plano de Protección Civil ante Tsunami - I Región de Tarapacá*. Iquique.
- ONEMI. (2014). *Reomendaciones para la Preparación y Respuesta ante un Tsunami*. Santiago: SHOA.
- Pliefke, T. (2007). A Standardized Methodology for Managing Disaste rRisk – An Attempt to Remove Ambiguity. (T. B. Institute of Steel Structures, Ed.) *International Graduate College 802 “Risk Management on the Built Environment”*.
- PNUD Chile. (2012). *Conceptos Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País*. Santiago, Chile: PNUD Chile.
- RAE. (2015). *Real Academia Española*. Recuperado el 28 de 10 de 2015, de <http://dle.rae.es/?id=2Vga9Gy#5tUX9CP&o=h>
- Reyes, M. (2012). A Proposal Of Tsunami Risk Assessment Method for Iquique City, Chile. (D. M. Program, Ed.) *National Graduate Institute for Policy Studies*.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.
- Saaty, T. (1997). Método Analítico Jerárquico (AHP): Principios Básicos. En E. Martinez, & M. Escudey, *Evaluación y decisión multicriterio: reflexiones y experiencias* (págs. 10-16). Santiago: USACH.
- 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.
- Satty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*.
- SHOA. (1998). Carta de Inundación por Tsunami de Iquique. En S. H. Chile. Valparaíso, Chile.
- SHOA. (2012). Carta de Inundación por Tsunami de Iquique. En S. H. Chile. Valparaíso, Chile: Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile.
- SHOA. (2014). *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada*. Obtenido de <http://www.shoa.cl>: <http://www.shoa.cl>
- Soldano, A. (2009). *Conceptos sobre el riesgo*. Cordoba.
- UNESCO. (2008). *Tsunami Glossary*. Paris: Intergovernmental Oceanographic Commission.
- UNICAN. (2000). *Documento de Referencia - Dinámicas*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- UNICAN. (2000). *Documento de Referencia - Dinámicas*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- USACE. (1984). *Shore Protection Manual*. Vicksburg, Mississippi: Coastal Engineering Research Center.
- USAID. (1991). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. Washington, D.C. .

- USGS. (2014). *USGS U.S. Geological Survey*. Recuperado el 16 de 06 de 2014, de <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html>
- Vargas, G. (2005). Paleoseismic inferences from a high-resolution marine sedimentary record in northern Chile (238S). *Tectonophysics*.
- Winckler, P., Reyes, M., & Sepulveda, I. (2010). *Evaluación del Tsunami 27-02-2010 en poblado de San Juan Bautista, Isla Robinson Crusoe*. Valparaíso, Chile.
- Woods Hole Oceanographic Institution*. (s.f.). Recuperado el 02 de Diciembre de 2013, de <http://www.whoi.edu/page.do?pid=96767>
- Yamasaki, F., & Matsuoka, M. (2007). Remote sensing technology in post-disaster damage assessment. *Journal of Earthquakes and Tsunamis, World Scientific Publishing Company, Vol. 1 No. 3*, 193-210.
- Yamazaki, F. (2004). Earthquake Damage Detection Using High Resolution Satellite Images. *Department of Urban Environment - Chiba University*.
- Yamazaki, F. (2007). *Remote Sensing Technologies in Post-Disaster*.
- ZOFRI S.A. (2013). Memoria Anual ZOFRI 2013. Iquique, Chile.

IDENTIFICACIÓN PROYECTO:

Nombre del alumno :
Tema :

COMISIÓN EVALUADORA:

		Observaciones
Evaluador 1		
Aprueba		
Fecha		
Firma		
Evaluador 2		
Aprueba		
Fecha		
Firma		
Evaluador 3		
Aprueba		
Fecha		
Firma		

OBSERVACIONES GENERALES (COORDINADOR DE PROYECTOS):

--