



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE
RIESGO DE EVACUACIÓN POR TSUNAMI DE CAMPO
CERCANO APLICADA A LA CIUDAD DE TALCAHUANO”**

Eduardo Enrique Sánchez Araya

MARZO 2017

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO DE EVACUACIÓN POR
TSUNAMI DE CAMPO CERCANO APLICADA A TALCAHUANO**

Eduardo Enrique Sánchez Araya

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

MAURICIO REYES G.
Profesor guía

FELIPE CASELLI B.
Docente

SERGIO BIDART L.
Docente

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.

Eduardo Sánchez Araya
Alumno

Mauricio Reyes Gallardo
Profesor Guía

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres y hermano por el apoyo incondicional otorgado desde el momento en que decidí estudiar esta hermosa carrera y sobre todo por su apoyo en los momentos más complejos.

A Dios por darme fuerza en las situaciones difíciles.

A Constanza Flores y Alex Lobos quienes fueron unos excelentes compañeros de grupo de trabajo en este largo y difícil proceso de desarrollo del presente proyecto de título.

A mi profesor guía, Mauricio Reyes, por sus consejos y tiempo para atender mis dudas.

A mis amigos como José Zamora, Miguel Aquea, Sebastián Correa y Claudia Pizarro ya que fueron unos grandes compañeros de estudio a lo largo de la carrera.

Finalmente a la persona más especial que conocí durante mi época de estudio, Jazmín Lues. Fuiste y serás la principal persona que me ayudó a sacar adelante esta carrera, gracias a esas interminables frías noches de estudio, por tu apoyo en momentos difíciles, sonrisas y principalmente por tu amor incondicional

¡Gracias a todos!

CONTENIDOS

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 13 |
| 2 | OBJETIVOS | 14 |
| 3 | MATERIALES Y HERRAMIENTAS | 15 |
| 3.1 | SOFTWARE DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA | 15 |
| 3.1.1 | ASPECTOS GENERALES | 15 |
| 3.1.2 | SOFTWARE DE LICENCIA GRATUITA | 16 |
| 3.1.2.1 | Google Earth © | 16 |
| 3.2 | PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO | 17 |
| 3.2.1 | ASPECTOS GENERALES | 17 |
| 4 | SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO | 20 |
| 4.1 | CONCEPTO DE RIESGO | 20 |
| 4.1.1 | ASPECTOS TEÓRICOS | 21 |
| 4.1.1.1 | Análisis de riesgo | 21 |
| 4.1.1.2 | Análisis cualitativo de riesgo | 21 |
| 4.1.1.3 | Análisis cuantitativo de riesgo | 22 |
| 4.1.2 | Análisis multicriterio de riesgo | 23 |
| 4.2 | ESTUDIO DE AMENAZA | 24 |
| 4.2.1 | AMENAZA DE TERREMOTO Y TSUNAMI EN TALCAHUANO | 26 |
| 4.2.1.1 | Amenaza sísmica en Talcahuano | 26 |
| 4.2.1.2 | Amenaza de tsunami en Talcahuano | 27 |
| 4.2.1.3 | Probabilidad de ocurrencia | 30 |
| 4.3 | ESTUDIO DE IMPACTOS | 31 |
| 4.3.1 | ESTIMACIÓN DE IMPACTOS | 31 |
| 4.3.2 | VULNERABILIDAD | 33 |
| 4.3.3 | EXPOSICIÓN | 34 |
| 4.3.4 | CÁLCULO DE RIESGO | 34 |
| 4.3.5 | REPRESENTACIÓN DEL RIESGO USANDO GRÁFICOS DE RADAR | 36 |
| 4.4 | CONTEXTO | 37 |
| 4.4.1 | CONTEXTO INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES | 37 |
| 4.4.2 | PARTICIPACIÓN DE CHILE EN EL MARCO DE REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES A NIVEL INTERNACIONAL. | 39 |
| 4.4.2.1 | Red Interamericana de Mitigación de Desastres (RIMD) | 39 |
| 4.4.2.2 | Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico (PTWC) | 39 |
| 4.4.3 | LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN CHILE | 39 |
| 4.4.3.1 | Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) | 40 |
| 4.4.3.2 | Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile | 40 |
| 4.4.3.3 | Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM) | 40 |
| 4.4.3.4 | Proyecto de ley que crea un nuevo "Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil, y crea la Agencia Nacional de Protección Civil" | 41 |
| 4.4.4 | CIUDAD OBJETIVO - TALCAHUANO | 41 |
| 5 | METODOLOGÍA PROPUESTA | 43 |
| 5.1 | ESTUDIO DE RIESGO | 43 |
| 5.1.1 | CÁLCULO DE RIESGO | 43 |
| 5.1.1.1 | Matriz de riesgo | 43 |
| 5.1.2 | REPRESENTACIÓN DEL RIESGO | 44 |
| 5.2 | ESTUDIO DE AMENAZA | 45 |
| 5.2.1 | DEFINICIÓN DE SECTOR A ANALIZAR | 45 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.2.2 | DEFINICIÓN DE ESCENARIO DE DESASTRE | 46 |
| 5.2.3 | DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE OCURRENCIA DE LA AMENAZA | 47 |
| 5.2.3.1 | Talcahuano | 47 |
| 5.2.4 | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA | 47 |
| 5.2.4.1 | Talcahuano | 48 |
| 5.3 | ESTUDIO DE IMPACTOS | 48 |
| 5.3.1 | VULNERABILIDADES | 48 |
| 5.3.2 | DIMENSIÓN DE IMPACTOS | 51 |
| 5.3.3 | ZONAS EXPUESTAS | 53 |
| 5.3.3.1 | TALCAHUANO | 53 |
| 5.3.4 | ZONIFICACIÓN PARA ESTUDIOS | 53 |
| 5.3.4.1 | Criterios para Zonificación | 53 |
| 5.3.4.2 | Talcahuano | 54 |
| 6 | RECOPIACIÓN DE RESULTADOS | 54 |
| 6.1 | DEMANDA DE EVACUACIÓN | 54 |
| 6.1.1 | DIVISIÓN POR RANGOS DE TIEMPO DE ARRIBO A ZONA DE SEGURIDAD | 55 |
| 6.1.2 | SUBDIVISIÓN POR DENSIDAD DE POBLACIÓN | 57 |
| 6.1.3 | CÁLCULO DE POBLACIÓN EXPUESTA | 60 |
| 6.1.4 | COMPOSICION DE DEMANDA EVACUACIÓN | 64 |
| 6.1.5 | CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA Y DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL | 66 |
| 6.1.5.1 | Definición de la oferta de evacuación horizontal en Talcahuano. | 66 |
| 6.1.5.2 | Resultados generales de las vías de evacuación horizontal ante tsunami | 72 |
| 6.1.6 | BALANCE DE OFERTA Y DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL | 75 |
| 6.1.6.1 | Análisis de vías de evacuación horizontal en Talcahuano | 75 |
| 6.2 | EVACUACIÓN VERTICAL | 81 |
| 6.2.1 | CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL EN TALCAHUANO. | 81 |
| 6.2.2 | DEFINICIÓN DE OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL | 81 |
| 6.2.3 | BALANCE DE OFERTA Y DEMANDA DE EVACUACIÓN VERTICAL | 81 |
| 6.2.4 | EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL | 81 |
| 6.2.5 | CONSIDERACIONES DE PLANIFICACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL | 85 |
| 6.3 | ESTUDIO DE RIESGO | 87 |
| 6.3.1 | RIESGO –SUSCEPTIBILIDAD | 87 |
| 6.3.2 | RIESGO – CONFIABILIDAD | 91 |
| 7 | CONCLUSIONES | 94 |
| 7.1 | RECOMENDACIONES | 96 |
| 8 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 97 |
| 9 | ANEXO A ASPECTOS GENERALES DE SISMICIDAD | 102 |
| 9.1 | TECTONICA DE PLACAS | 102 |
| 9.1.1 | TIPOS DE LÍMITES DE PLACAS | 103 |
| 9.1.1.1 | Dorsales oceánicas | 103 |
| 9.1.1.2 | Fosas marinas | 104 |
| 9.1.1.3 | Fallas de transformación | 105 |
| 9.1.1.4 | Movimiento de placas | 105 |
| 9.1.2 | MEGATERREMOTOS | 106 |
| 9.1.3 | ESCALA DE INTENSIDADES | 107 |
| 9.1.3.1 | Escala de Richter (Ms) | 107 |
| 9.1.3.2 | Escala de Mercalli | 108 |
| 9.1.3.3 | Magnitud de momento (Mw) | 109 |
| 9.1.4 | SISMICIDAD EN CHILE | 109 |
| 10 | ANEXO B REGISTROS DE TERREMOTOS Y TSUNAMIS | 111 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 10.1 | PALEOTSUNAMIS | 111 |
| 10.2 | REGISTROS DE TERREMOTOS Y TSUNAMIS EN CHILE | 112 |
| 11 | ANEXO C ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS | 115 |
| 11.1 | OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA (ONEMI) | 115 |
| 11.1.1.1 | Proyecto de ley que crea un nuevo "Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil, y crea la Agencia Nacional de Protección Civil" | 116 |
| 11.2 | SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA | 117 |
| 11.2.1 | SISTEMA NACIONAL DE ALARMA DE MAREMOTOS (SNAM) | 118 |
| 11.2.1.1 | Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU) | 120 |
| 12 | ANEXO D FICHA DE REGISTRO EH Y GLOSARIO | 125 |
| 13 | ANEXO E, EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI EN TALCAHUANO | 132 |
| 13.1 | RESULTADOS POR RUTA DE EVALUACIÓN DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI | 132 |
| 13.1.1 | RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN MANUEL BAYÓN | 132 |
| 13.1.2 | RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN CALLE ALMIRANTE NEFF | 134 |
| 13.1.3 | RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN CALLE GUILLERMO SOZA | 136 |
| 13.1.4 | RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN CALLE HERNAN MERINO CORREA | 138 |
| 14 | ANEXO F, METODOLOGÍA DEMANDA DE EVACUACIÓN | 140 |
| 14.1 | DEMANDA DE EVACUACIÓN | 140 |
| 14.1.1 | División por rangos de tiempo de arribo a zona segura | 140 |
| 14.1.2 | Subdivisión por densidad de población | 141 |
| 14.1.3 | Procedimiento de cálculo de la población expuesta | 142 |
| 14.1.4 | Composición de la demanda de evacuación | 142 |
| 15 | ANEXO G METODOLOGÍA EVACUACIÓN VERTICAL | 144 |
| 15.1 | EVACUACIÓN VERTICAL | 144 |
| 15.1.1 | Caracterización de la oferta de evacuación vertical | 144 |
| 15.1.2 | Definición de oferta de evacuación vertical | 144 |
| 15.1.3 | Aspectos cualitativos de la oferta existente | 146 |
| 15.1.4 | Zonificación para estudio | 147 |
| 15.1.5 | Área de influencia | 147 |
| 16 | ANEXO H, MATRICES DE RIESGO | 148 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 2-1 Datum geodésico. Sastre (2010)..... | 16 |
| Figura 3-1.- Contenedores arrastrados hacia zonas residenciales de Talcahuano por tsunami 2010. (AFP, 2010)..... | 29 |
| Figura 3-2.- Pesqueros desplazados hacia la ciudad de Talcahuano por tsunami 2010. (AFP, 2010)..... | 30 |
| Figura 3-3.- Mediciones de inundación en la ciudad de Talcahuano. (JICA 2010) | 30 |
| Figura 3-4 Diagrama para el cálculo de impactos. (Reyes, 2013). | 32 |
| Figura 5-1 Sector de estudio. Elaboración propia..... | 46 |
| Figura 5-4 Zona de Estudio. Elaboración propia. | 54 |
| Figura 6-1 Zonificación Talcahuano por tiempo de arribo a zona segura. Elaboración propia. | 56 |
| Figura 6-3 Escenario nocturno. Elaboración propia. | 59 |
| Figura 6-4 Escenario de día de actividades culturales y deportivos | 59 |
| Figura 6-5 Codificación de cuadras de la zona analizada. Elaboración Propia. | 60 |
| Figura 6-6 Anchos efectivos. Elaboración propia. | 61 |
| Figura 6-9 Trazado vías de evacuación en Talcahuano. Elaboración propia. | 68 |
| Figura 6-10 Sector donde se utiliza la velocidad obtenida en Valparaíso | 70 |
| Figura 6-11 Trazado vías de evacuación analizadas en Talcahuano. Elaboración propia. | 72 |
| Figura 6-12 Simbología | 72 |
| Figura 6-13 Cruce línea férrea vía Guillermo Soza. Elaboración propia..... | 73 |
| Figura 6-14 Cruce línea férrea vía Almirante Neff. Elaboración propia..... | 74 |
| Figura 6-15 Cruce línea férrea vía Manuel Bayón. Elaboración propia. | 74 |
| Figura 6-16 Torre Tasukaru, Japón. FEMA (2009)..... | 82 |
| Figura 6-17 Torre Nishiki, Japón. FEMA (2009). | 83 |
| Figura 6-18 Refugio Elevado en Shirahama Beach Resort. FEMA (2009) | 84 |
| Figura 6-19 Diseño de berma de escape. FEMA (2009) | 84 |
| Figura 6-20 Plano de Cortes de berma de escape. FEMA (2009). | 85 |
| Figura 9-1 Deriva continental. Universidad de Sevilla (2011) | 102 |
| Figura 9-2 Distribución de placas tectónicas. (Reyes, 2013). | 103 |
| Figura 9-3 Dorsales oceánicas. (Sevilla, 2011)) | 104 |
| Figura 9-4 Zona de subducción. CSN (2013) | 104 |
| Figura 9-5 Falla de transformación. Universidad de Sevilla (2011) | 105 |
| Figura 9-6.- Dirección de movimientos de las placas tectónicas. Querelle (2015) | 106 |
| Figura 9-7 Placas tectónicas que inciden en Chile. (Passoti, 1977). | 109 |
| Figura 10-1 Excavación paleotsunami. Le Roux & Vargas (2005)..... | 112 |
| Figura 10-2.- Terremotos históricos de Chile. Actualizado desde (Reyes, 2013)..... | 112 |
| Figura 10-3.- Historial de Terremotos Tsunamigénicos de Chile. Actualizado desde (Reyes, 2013) | 113 |
| Figura 11-2.- CITSU en formato PDF año 1997. SHOA..... | 122 |

| | |
|---|-----|
| Figura 11-3.CITSU elaborada con el modelo de simulación numérica COMCOT, retroalimentada con el tsunami 2010. SHOA..... | 123 |
| Figura 11-4 Vías de evacuación ante tsunami en Talcahuano. ONEMI (2013)..... | 124 |
| Figura 15-1 Ficha A de evaluación preliminar de estructuras. Elaboración propia..... | 145 |
| Figura 15-2 Ficha B para evaluación más detalla de estructuras. Elaboración propia..... | 146 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-1 Escala de criterios AHP. (Osorio & Orejuela, 2008; Saaty, 2001) | 19 |
| Tabla 4-2 Definición amenaza natural según su origen. (EIRD/ONU, 2004)..... | 25 |
| Tabla 4-3 Terremotos Tsunamigénicos que han afectado la bahía de Concepción. Elaboración Propia. | 28 |
| Tabla 4-4 Escalas cualitativas de estimación de impactos. (Reyes, 2013; Winckler et al., 2015) | 33 |
| Tabla 4-5 Ejemplo de matriz de riesgo. (Garvey, 1998). | 35 |
| Tabla 4-6 Prioridades del Marco de Acción Hyogo, (ONEMI, 2014)..... | 38 |
| Tabla 4-7 Prioridades del Marco de Sendai. (ONU, 2015)..... | 38 |
| Tabla 4-8 Productos del departamento de gestión del riesgo de Talcahuano. (M. d. Talcahuano, 2016)..... | 42 |
| Tabla 5-2 Definición de Niveles de Riesgo. Reyes (2013). | 44 |
| Tabla 5-3 Matriz Cualitativa de Riesgo. Reyes (2003). | 44 |
| Tabla 5-4 Definición de escenarios. Elaboración propia. | 47 |
| Tabla 5-5 Escala de probabilidad de ocurrencia para la evaluación de riesgos. Reyes (2013)..... | 48 |
| Tabla 5-6 Recopilación de eventos tsunamigénicos en Talcahuano. Elaboración propia. | 48 |
| Tabla 5-8 Escala cualitativa de impacto por confiabilidad. Elaboración propia. | 50 |
| Tabla 5-10 Confiabilidad de rutas de evacuación. Elaboración propia. | 51 |
| Tabla 5-11 Propuesta de matriz de dimensión de impactos. Elaboración propia. | 52 |
| Tabla 6-3 Escenario nocturno. Elaboración propia..... | 63 |
| Tabla 6-4 Escenario de día de eventos culturales y deportivos de alta convocatoria. | 64 |
| Tabla 6-6 Análisis vías de evacuación ciudad Viña de Mar. Elaboración propia..... | 69 |
| Tabla 6-7 Análisis vías de evacuación ciudad Valparaíso. Elaboración propia. | 69 |
| Tabla 6-9 Análisis vías de evacuación de Talcahuano, movilidad reducida. Elaboración propia. | 71 |
| Tabla 6-10 Ponderación mediante AHP – Susceptibilidad de bloqueo. Elaboración Propia. | 76 |
| Tabla 6-11 Ponderación mediante AHP – Confiabilidad de las vías. Elaboración Propia. | 77 |
| Tabla 6-12 Escala de susceptibilidad de bloqueo. Elaboración propia. | 77 |
| Tabla 6-13 Escala de confiabilidad de las vías. Elaboración Propia. | 78 |
| Tabla 9-1 Magnitud Richter vs efectos del terremoto en Chile. (SHOA, 2015)..... | 107 |
| Tabla 9-2 Escala de Mercalli. (SHOA, 2015) | 108 |
| Tabla 11-1 Sistema de Monitoreo de SNAM. (SHOA, 2004). | 119 |
| Tabla 14-1 Criterio de Jacobs. Elaboración propia..... | 141 |
| Tabla 16-1 Matriz de riesgo Manuel Bayón. Elaboración propia..... | 148 |
| Tabla 16-2 Matriz de riesgo Guillermo Soza. Elaboración Propia..... | 148 |
| Tabla 16-3 Matriz de Riesgo Almirante Neff. Elaboración propia..... | 149 |
| Tabla 16-4 Matriz de Riesgo Hernán Merino Correa. Elaboración propia. | 149 |
| Tabla 16-5 Matriz de riesgo Manuel Bayón. Elaboración Propia. | 150 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 16-6 Matriz de riesgo Guillermo Soza. Elaboración Propia..... | 150 |
| Tabla 16-7 Matriz de riesgo Almirante Neff. Elaboración propia..... | 151 |
| Tabla 16-8 Matriz de riesgo Hernán Merino Correa. Elaboración propia..... | 151 |

RESUMEN

Este informe propone una metodología cualitativa y cuantitativa de análisis de riesgo de las rutas de evacuación horizontal ante la amenaza de tsunamis de campo cercano en la ciudad de Talcahuano. Para ello se realiza una evaluación de la vulnerabilidad humana en el aspecto denominado sufrimiento humano. El recorrido de las rutas de evacuación mediante la herramienta Google Street View ©, se realiza con el fin de estudiar los impactos cualitativos en términos de susceptibilidad y confiabilidad de las vías de evacuación de la ciudad en estudio. Luego de obtener indicadores de impactos en términos cualitativos del sistema de evacuación horizontal, se procede a aplicar una matriz de riesgo con el fin obtener indicadores del mismo. Se presentan gráficos de radar que tienen por objetivo visualizar el riesgo y con ello permitir a los tomadores de decisión trabajar en los puntos más críticos del sistema.

Posteriormente, con el uso de Google Earth Pro ©, se desarrolla un cálculo de la demanda de evacuación para determinar la cantidad de personas que necesitan ser evacuadas hacia zonas seguras, dependiendo del escenario en que se desencadene el desastre que caracteriza la amenaza, con la finalidad de obtener el balance de oferta y demanda de evacuación horizontal y con ello revelar posibles zonas donde sería necesario contar con vías de desalojo vertical ante tsunami. Con ello se desarrolla un balance de oferta y demanda de evacuación vertical en el sector de estudio, obteniendo resultados que revelan la inexistencia de oferta de desalojo vertical que cumpla con las recomendaciones de la ONEMI ni de la FEMA, las que indican que hay que refugiarse a partir del piso 8 y piso 5 respectivamente.

Finalmente, la totalidad de lo descrito se enmarca en la creación de una propuesta metodológica para la evaluación de las vías de evacuación ante tsunami, en este estudio, aplicado en la ciudad de Talcahuano, que pretende ser una herramienta para los tomadores de decisión en temas de gestión de riesgo de desastres.

1 INTRODUCCIÓN

En el mundo han ocurrido gran cantidad de terremotos tsunamigénicos, causando diferentes tipos de impactos en las costas de las zonas afectadas. Sismos de gran magnitud, capaces de generar tsunamis, o mega terremotos como los denomina Madariaga (1998), se generan frente a las costas de Chile, debido a que a lo largo de esta se encuentra una zona de subducción, donde la placa de Nazca y Sudamericana convergen debido a su diferencia de densidad. Estos desastres han afectado el territorio nacional causando numerosas víctimas fatales.

A lo largo de los años la población que reside en el borde costero, alrededor de mundo, ha ido en aumento. Chile no ha sido la excepción, donde aproximadamente el 21% de la población vive a menos de 10 [km] del mar (Castro & Alvarado, 2009; ONU, 2015)), por lo tanto, es un grupo de población expuesto a la amenaza de tsunami, más aun en términos económicos, donde todo el país se encuentra expuesto a los impactos asociados a un tsunami.

En Chile han ocurrido grandes terremotos y es de esperar que sigan ocurriendo en el futuro, por lo tanto es importante estudiar esta amenaza natural capaz de generar grandes tsunamis que destruyen lo que se encuentre a su paso. El tsunami del año 2010 dejó 181 víctimas fatales según cifras oficiales del Ministerio del Interior; donde el 50% eran mayores a 50 años y el 21% eran niños y jóvenes de hasta 18 años de edad, según datos de Fiscalía Nacional de Chile; cabe consignar que gran parte de las víctimas no eran residentes de las zonas afectadas, si no que eran turistas con domicilio en ciudades interiores (Contreras & Winckler, 2013). Después del tsunami del 2010 se cambió la forma de pensar en términos de cómo los desastres por tsunami se perciben en Chile, revelando múltiples vulnerabilidades en aspectos cruciales de su gestión (Reyes, 2013).

Talcahuano, donde se centra el presente estudio, es una ciudad costera ubicada en el centro sur de Chile, en la provincia de Concepción, región del Biobío (Talcahuano, 2016). Emplazada Frente al mar y entre las bahías de San Vicente y la bahía de Concepción. Geomorfológicamente constituye un istmo de tierra donde el centro de la ciudad se encuentra a 1 metro sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y el sector Las Higueras entre 5 y 10 m.s.n.m (Talcahuano, 2016) . En cuanto a su población, según proyecciones del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) del Biobío, indica que cuenta con 176.566 habitantes.

Talcahuano a lo largo de la historia ha sido azotada por un gran número de terremotos tsunamigénicos, que han podido ser registrados a través de escritos y/o instrumentos, ocasionando grandes impactos económicos, sociales, pérdidas de vidas humanas, etc.

Este informe se centra en caracterizar las vulnerabilidades del sistema de evacuación de personas ante la ocurrencia de tsunamis de campo cercano en la ciudad de Talcahuano. Para ello se desarrolla una caracterización de las vías de evacuación, con el fin de generar un análisis cualitativo y cuantitativo de riesgo en lo que respecta a la susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad de las vías de evacuación horizontal en caso que se genere un desastre por tsunami, además de definir escenarios de amenaza de terremotos tsunamigénicos con origen cercano a la costa de Talcahuano con el propósito de inferir la factibilidad de disponer vías de evacuación vertical.

2 OBJETIVOS

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

Mientras que los objetivos específicos son los que siguen:

1. Definir escenarios de amenaza de terremoto y tsunami de campo cercano en la ciudad de Talcahuano
2. Analizar vulnerabilidades.
3. Desarrollar un análisis cualitativo y cuantitativo del riesgo de desastre por tsunami en ciudades costeras, en lo que respecta a la evacuación de las zonas expuestas.

3 MATERIALES Y HERRAMIENTAS

3.1 SOFTWARE DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Desde la creación del primer sistema de información geográfica temas como ¿Dónde debería ubicarse un centro hospitalario para dar un buen servicio a la comunidad?, ¿Cuál es el trazado óptimo para construir una carretera?, ¿En qué zona deben destinarse más recursos después de una catástrofe? tomar decisiones para dar una respuesta se ha tornado más fácil (Sitjar, 2009). Los Sistemas de Información Geográficas (SIG) tienen diversos campos donde es posible su uso agrupados en aplicaciones bióticas (agricultura, gestión de recursos naturales), administración y gestión (catastro, planificación y gestión de servicios públicos, planificación urbana, cartografía, defensa y seguridad), socioeconómicas (censos y estadísticas de población) y de carácter global (distintos tipos de bases de datos a nivel mundial) (Comas & Ruiz, 1993).

3.1.1 ASPECTOS GENERALES

Para comenzar es necesario precisar qué es un SIG, pero poder definirlo es un tema complejo, debido a que hay casi tantas definiciones como autores que escriben sobre los SIG (Sitjar, 2009). Un SIG es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica y su función principal es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos geo referenciados (Olaya, 2011). También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información (Sastre, 2010). Según el Centro Nacional de Información Geográfica y Análisis (NCGIA, por sus siglas en inglés), un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Sitjar, 2009).

Al referirse a información geográfica se habla de datos espaciales georreferenciados, que suelen llevar una información alfanumérica asociada (Sastre, 2010). La georreferenciación se refiere al posicionamiento en el que se define la localización de un objeto espacial en un sistema de coordenadas y datum determinado. (Sastre, 2010).

Actualmente los sistemas de coordenadas geográficos más utilizados son coordenadas geográficas y coordenadas UTM; las coordenadas geográficas pueden ser consideradas como coordenadas esféricas: señalan la posición en grados y minutos (y segundos) sobre una superficie esférica a lo largo de paralelos (Latitudes N y S) y meridianos (Longitudes O y E), es el más antiguo y universal de los sistemas de referencia (Sastre, 2010). El sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) está basado en un sistema de proyecciones cilíndricas transversales donde su gran ventaja radica en que sus unidades son metros, por lo que es sencillo utilizarlo para calcular distancias métricas, este sistema está dividido en husos, numerados de 1 a 60, cada uno de 6 grados de amplitud (Sastre, 2010).

El Datum define el elipsoide de referencia y la distancia entre elipsoide y geoide; la mayoría de los datums (hay centenares) no intentan describir la superficie de la tierra entera, sino solo una parte local.

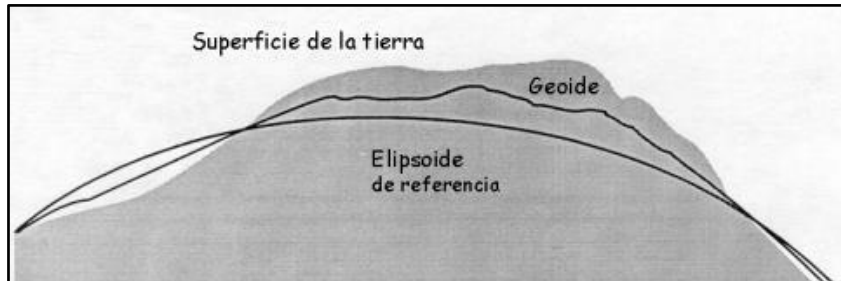


Figura 3-1 Datum geodésico. Sastre (2010).

Los SIG se están transformando en una herramienta habitual en el proceso de toma de decisiones y planes de actuación frente a diversas situaciones; por otro lado, la presencia cada vez más grande de programas SIG de código abierto, además de aportar flexibilidad para el desarrollo de soluciones a medida, suprimen el elevado coste de adquisición de licencias propietarias (Sitjar, 2009).

3.1.2 SOFTWARE DE LICENCIA GRATUITA

Un software libre es aquel que respeta la libertad de los usuarios y la comunidad. A grandes rasgos, significa que los usuarios tienen la libertad de ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, modificar y mejorar el software (R. Gómez, 2005).

Con este tipo de software es posible poner al alcance de pequeñas y medianas empresas, entidades locales centros educativos y/o de investigación, como el caso del presente informe, herramientas donde no tengan que realizar costes de adquisición de licencias, pudiendo de esta forma asegurar el presupuesto de la organización.

3.1.2.1 Google Earth ©

Google Earth ©, en un principio llamado EarthViewer, es un software creado por la compañía Keyhole Inc. En el año 2004 Google©, compra la compañía absorbiendo la aplicación, la cual fue relanzada el año 2005 bajo el nombre que hoy se conoce (Gómez Trigueros, 2010). Es un fenómeno que ha permitido que la información geográfica llegue de forma fácil y directa a un gran número de usuarios no familiarizados con el manejo de datos geográficos y en especial con datos de imágenes de satélites y ortofotos (Revuelto, 2011).

Este software cuenta con un sistema de navegación para manejar el punto de visión, además de un potente motor de búsqueda e incluso buscador de rutas entre otras características (Revuelto, 2011).

Google Earth © combina fotos satelitales, mapas y bases de datos muy completas, permitiendo al usuario navegar libremente por cualquier lugar de la Tierra; cabe destacar

que cuanto más desarrollado sea un país o una zona sea más poblada, o tenga un interés en particular, el detalle y la resolución al que se llega es mucho mayor (Revuelto, 2011).

Para el desarrollo de este documento se utiliza Google Earth © en su versión Pro, el cual hace algunos años dejó de tener un costo monetario. Para obtener la licencia, solo se tiene que registrar una dirección de correo electrónico y la clave GEPFREE proporcionada por Google ©.

Alguna de las funciones adicionales con las que cuenta la versión PRO son las siguientes:

- Ver capas de datos demográficos, catastrales y de tráfico.
- Sacar el máximo provecho a las funciones de importación de datos SIG.
- Medir zonas, radios y circunferencias en el terreno.
- Imprimir capturas de pantalla de alta resolución.
- Hacer atractivas películas sin conexión para compartir.

Street View es una función disponible en Google Maps ©, Google Earth© y Google Maps mobile ©, que permite a los usuarios explorar el mundo a través de imágenes en 360 grados (Google, 2016).



Figura 3-2 Instrumentos para obtener imágenes de Google Street View ©.

Las imágenes de Street View se crean mediante los instrumentos mostrados en la Figura 2-2, las cuales una vez realizadas, se procesan en equipos informáticos para ser mostradas en Google Maps © y Google Earth © y Posteriormente son recopiladas y unidas para crear la vista en 360 grados, luego se aplica un algoritmo, el cual permite identificar caras de personas y matrículas de automóviles con el fin de difuminarlas (Google, 2016).

3.2 PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO

3.2.1 ASPECTOS GENERALES

En términos generales, el proceso de análisis jerárquico, es una teoría de medición, diseñado principalmente para resolver problemas que cuentan con múltiples criterios. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridad que muestra la preferencia global para cada una de las alternativas, lo anterior se logra mediante evaluaciones subjetivas respecto a los criterios y sus importancias relativas. Finalmente quien toma las decisiones,

especifica sus preferencias con respecto a cada una de las alternativas y para cada criterio (Toskano & Gerárd, 2005).

Para realizar un estudio detallado de AHP, se presentan a continuación los pasos a seguir (Saaty, 2001):

1. Identificar objetivo general. ¿Qué se está tratando de lograr? ¿Cuál es el problema principal?
2. Identificar sub-objetivos del objetivo general. Si es relevante, identificar horizontes cronológicos que afectan a la decisión.
3. Identificar los criterios que se deben cumplir para efectuar sub-metas de la meta general.
4. Identificar los sub-criterios en cada criterio. Tener en cuenta que los criterios o sub-criterios pueden especificarse en términos de rangos de valores de parámetros o en términos de intensidades verbales tales como alto, medio, bajo.
5. Identificar los actores involucrados.
6. Identificar los objetivos del actor.
7. Identificar las políticas de los actores.
8. Identificar las opciones o resultados.
9. Para “sí-no” tomar decisiones del resultado más preferido y comparar los beneficios y los costos de la toma de la decisión con las de no hacerlo.
10. Hacer un análisis de costo/ beneficio utilizando los valores marginales. Debido a que se trata de jerarquías de dominancia, es necesario preguntar qué alternativa produce el mayor beneficio; para los costos, qué alternativa cuesta más.

La notación utilizada en AHP es la siguiente (Osorio & Orejuela, 2008):

- Para i objetivos dados $i = 1, 2, \dots, m$; se determinan los respectivos pesos w_i .
- Para cada objetivo i , se comparan las $j = 1, 2, \dots, n$ alternativas y se determinan los pesos w_{ij} con respecto al objetivo i
- Se determina el peso final de la alternativa W_j con respecto a todos los objetivos así $W_j = w_{1j}w_1 + w_{2j}w_2 + \dots + w_{mj}w_m$

Las alternativas se ordenan de acuerdo con el W_j en orden descendente, donde el mayor valor indica la alternativa más preferida. La validez general del AHP está fundamentada en las múltiples y variadas aplicaciones que ha tenido para la solución de problemas de toma de decisiones. (Osorio & Orejuela, 2008).

Para poder entender de mejor forma el método, Osorio & Orejuela (2008) indican que es necesario describir sus tres funciones básicas, que a continuación se detallan:

Estructurar la complejidad: *“El uso de la descomposición jerárquica es una de las grandes virtudes del método, puesto que se descompone una meta u objetivo en factores más simples, es decir, un problema se descompone en subproblemas, los cuales están relacionados directamente con el problema inicial, y al lograr la solución de los subproblemas y manteniendo la relación existente entre ellos, se consigue la solución del problema inicial”* (Osorio & Orejuela, 2008).

Medir en una escala: *“El AHP permite realizar mediciones de factores tanto subjetivos como objetivos a partir de estimaciones numéricas, verbales o gráficas, lo cual le provee una gran flexibilidad, permitiendo esto, gran variedad de aplicaciones en campos tan distintos unos de otros. El hecho de tener definida una escala general, aplicable a cualquier situación, permite la universalidad del método y lo hace sencillo de aplicar para quien toma la decisión”. Además, la escala es clara y provee una gran amplitud para las comparaciones. En la Tabla 3-1 se presenta la escala propuesta por Saaty (Osorio & Orejuela, 2008).*

| ESCALA | DEFINICIÓN | EXPLICACIÓN |
|--------|---------------------------|--|
| 1 | Igualmente preferida | Los dos criterios contribuyen igual al objetivo. |
| 3 | Moderadamente preferida | La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro. |
| 5 | Fuertemente preferida | La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro. |
| 7 | Muy fuertemente preferida | Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio. |
| 9 | Extremadamente preferida | La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro. |

Tabla 3-1 Escala de criterios AHP. (Osorio & Orejuela, 2008; Saaty, 2001)

Síntesis: *“Aunque el nombre incluya la palabra Análisis, el enfoque del AHP es totalmente sistémico, ya que aunque analiza las decisiones a partir de la descomposición jerárquica, en ningún momento pierde de vista el objetivo general y las interdependencias existentes entre los conjuntos de factores, criterios y alternativas, por lo tanto, este método está enfocado en el sistema en general, y la solución que presenta es para la totalidad, no para la particularidad” (Osorio & Orejuela, 2008).*

El proceso de análisis jerárquico es utilizado en el presente informe una vez establecidos los criterios de evaluación de las vías de evacuación propuestas por el equipo de trabajo conformado por Constanza Flores, Jazmín Lues, Alex Lobos, el profesor guía del proyecto Mauricio Reyes y el autor del presente informe Eduardo Sánchez. Estos criterios se proponen con el fin de ser ocupados en la ficha de registros que puede ser revisada en el Anexo D.

Este análisis (AHP) permite identificar los aspectos más relevantes en el proceso de evaluación con el propósito de poner mayor énfasis en resultados con mayor ponderación dentro de los criterios de evaluación de las vías de evacuación horizontal.

4 SITUACIÓN ACTUAL DEL MÉTODO

4.1 CONCEPTO DE RIESGO

El concepto de riesgo es complicado, simboliza algo que parece imaginario, está vinculado constantemente con el azar, con probabilidades, con algo que aún no se ha producido, por lo que anticipa situaciones que no pueden existir en el presente sino sólo en el futuro (O. Cardona, 2003; M. d. Talcahuano, 2016). Las razones por las que O. Cardona (2003) insiste en denominar el concepto de riesgo como complejo, es por su conexión con la psicología personal o colectiva, además de tratarse de una idea compuesta en la cual convergen tres aspectos: el contexto, la eventualidad y las consecuencias.

El empleo de la teoría del riesgo en diferentes disciplinas y con distintos tipos de amenazas, ha llevado al desarrollo de diversas definiciones de riesgo y métodos para su cálculo dentro de la comunidad científica (Reyes, 2013). La gestión de desastres es una de las innumerables aplicaciones de la investigación del riesgo (Reyes, 2013). Para lograr entender de mejor forma es necesario explicar los conceptos de manera estructurada, de este modo se evitan confusiones respecto a los términos a emplear. En primer lugar se detallará el concepto de riesgo de desastre a utilizar en el presente estudio, el cual es el empleado por Reyes (2013) y que se ha de considerar como sigue:

"La probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas de vidas, personas heridas, propiedad, medios de vida, la interrupción de la actividad económica (o ambiente dañados) como resultado de interacciones entre amenazas naturales y humanas inducidas y las condiciones vulnerables." [PNUD, citado en (Pliefke, Sperbeck, Urban, Peil, & Budelmann, 2007)]

La definición de gestión de riesgo a utilizar en el presente estudio es la que sigue:

"La aplicación sistemática de políticas de gestión, procedimientos y prácticas a las tareas de comunicarse, establecer el contexto, identificar, analizar, evaluar, tratar, monitorear y la revisión del riesgo " (Joint Technical Committee OB-007, 2004).

Establecer el contexto se refiere a identificar un de objetivos, actores y/o instituciones cuyo interés y competencias tienen relevancia en el cumplimiento de los objetivos, además es necesario considerar la definición de criterios que en su conjunto sea incorporados y por último definir sistemas claves en donde se analizarán los riesgos (SUBDERE, 2011)

Pliefke et al. (2007) indica que la indentificación del riesgo, se refiere a la condición de ser conciente de una situación de riesgo para el sistema a analizar, por lo tanto, esta indentificación conduce a responder la pregunta "¿qué puede pasar y dónde?".

El análisis corresponde a una indentificación exhaustiva de las amenazas con el objetivo de proporcionar información indispensable para la toma de decisiones. (Rot, 2008).

Por su parte, la evaluación se ajusta a la estimación de las probables pérdidas del sistema, las cuales se pueden especificar en términos de pérdida monetaria, de víctimas mortales o de otras medidas de impactos (Pliefke et al. 2007).

Tratamiento del riesgo se denomina a las estrategias que se implementan para poder reducir la vulnerabilidad del sistema. Estas estrategias se dividen en las denominadas intervenciones previas al desastre (prevención y preparación) y las estrategias posteriores a los desastres (respuesta, recuperación) (Pliefke et al. 2007).

Ya definidos los principales componentes de la gestión del riesgo, es importante mencionar que es necesario que estos pasen por un paso de revisión y monitoreo continuo con el propósito de incluir nueva información, conocimientos y experiencias sobre el riesgo (Pliefke et al. 2007).

4.1.1 ASPECTOS TEÓRICOS

4.1.1.1 Análisis de riesgo

Es una herramienta de la gestión de riesgos, para poder tomar decisiones y manejar los riesgos de forma objetiva, repetible y documentada; el análisis de riesgo realiza una predicción del futuro, basándose en el pasado histórico y un análisis cuidadoso de las amenazas (PNUD, 2012a).

En su mayoría los métodos de análisis de riesgo intentan estimar la probabilidad de ocurrencia y el impacto de los acontecimientos futuros, por lo tanto se hace necesaria la incorporación de información de eventos pasados y las características del sistema a analizar (SUBDERE, 2011). Los métodos cuantitativos y cualitativos son dos grupos de métodos fundamentales que se aplican para el análisis de riesgo (Rot, 2008).

4.1.1.2 Análisis cualitativo de riesgo

Un análisis de riesgos cualitativo prioriza los riesgos identificados, utilizando una escala de calificación predefinido; los riesgos se puntuarán en función de su probabilidad o posibilidad de ocurrencia y en el impacto ocasionado en el sistema, en caso que se produzcan (Belinda, 2015). La principal característica del modelo cualitativo es el uso de índices subjetivos, como la jerarquía ordinal de bajo a mediano, alto, de vital importancia-crítico, importante, etc. (Mazareanu, 2007).

El análisis de riesgo es, en general, una forma rápida y económica para comenzar a esbozar los primeros planeamientos de respuestas a los riesgos identificados y usualmente sienta las bases para la realización de un análisis cuantitativo de riesgos, si se requiere (Monterrey, 2010).

A todo riesgo identificado, se establecen estimaciones de probabilidad e impacto; los riesgos pueden ser evaluados en entrevistas o reuniones con participantes seleccionados por su familiaridad con las categorías de riesgo; es necesario el juicio de expertos, ya que es posible que haya poca información sobre los riesgos (Monterrey, 2010). Mientras se

realizan las reuniones o entrevistas, se evalúa la probabilidad de cada riesgo y su impacto en el sistema (Monterrey, 2010).

Para la evaluación de importancia de cada riesgo identificado, es decir, cual riesgo es necesario priorizar, se utiliza la matriz de probabilidad e impacto, la cual especifica combinaciones de valores para la probabilidad y para el impacto de cada riesgo, permitiendo de esta forma clasificar los riesgos dependiendo de su prioridad, ya sea, baja, moderada o alta (Monterrey, 2010).

4.1.1.3 Análisis cuantitativo de riesgo

El análisis de riesgo cuantitativo se basa en mediciones objetivas e intenta demostrar los procesos de causalidad, es decir, la valoración del mismo se obtiene con el uso de medidas numéricas y los recursos son definidos en cantidades, como la frecuencia de la amenaza, número de eventos, y sensibilidad por el valor de la probabilidad de la pérdida o daño (SUBDERE, 2011).

A través del análisis cuantitativo de riesgo se pretende obtener algunos resultados numéricos para expresar la probabilidad de cada factor de riesgo y sus consecuencias sobre el sistema, como también el riesgo en todo el nivel de proyecto (Mazareanu, 2007).

En los métodos cuantitativos: El análisis permite evaluar de manera numérica los posibles escenarios que enfrenta un sistema, y en base a sus resultados, establecer respuestas adecuadas a los mismos escenarios con que se enfrentará un sistema (Monterrey, 2010; Rot, 2008).

Según el Centro Tecnológico de Monterrey (2010), las técnicas nombradas anteriormente permiten:

- Determinar la probabilidad de alcanzar un objetivo de proyecto específico.
- Cuantificar la exposición al riesgo para el sistema, determinar el tamaño del costo y programar las reservas para contingencia que puedan ser necesarias.
- Identificar los riesgos que requieren más atención mediante la cuantificación de su contribución relativa al riesgo del sistema.
- Identificar las metas realistas y alcanzables en costo, tiempo y alcance.

El análisis de riesgos cuantitativo, generalmente, sigue al análisis cualitativo, aunque en ocasiones se lleva a cabo directamente tras la identificación de riesgos; este tipo de análisis resulta fundamental en la definición de estrategias y decisiones específicas respecto a la probabilidad de ocurrencia de situaciones determinadas y sus consecuencias en el sistema (Monterrey, 2010). El análisis cuantitativo de riesgos debe revisarse después de la planificación de respuesta a los riesgos, como parte del seguimiento y control de estos, para determinar si el riesgo general del sistema ha sido reducido (Rot, 2008).

En la Tabla 4-1 se presentan las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos.

| Análisis de Riesgo | Método Cuantitativo | Método Cualitativo |
|--------------------|---|---|
| Ventajas | a) Facilita el análisis y ayuda en la selección de medidas de mitigación. b) Entrega una estimación del riesgo más precisa. | a) Permite la determinación de áreas de riesgo en un tiempo menor y a bajo costo. b) El análisis es relativamente fácil y barato. |
| Desventajas | a) Medidas cuantitativas dependen del alcance y la exactitud para definir la escala. b) Los resultados del análisis pueden ser no exactos y aún confusos. c) Métodos normales deben ser enriquecidos con descripciones para la interpretación. d) El análisis es conducido con el uso de aquellos métodos generalmente más caros, exigiendo una mayor experiencia. | a) No utiliza medidas numéricas. b) El Análisis es más difícil para estimar pérdidas y daños. c) El análisis es más difícil para definir las medidas de mitigación. d) Los resultados tienden a ser más generales y aproximados. |

Tabla 4-1 Ventajas y desventajas del análisis cuantitativo y cualitativo. (SUBDERE, 2011)

4.1.2 Análisis multicriterio de riesgo

En cualquier actividad de la vida diaria se presentan problemáticas en donde se ven involucrados múltiples criterios en la toma de decisiones, es habitual que estos criterios estén en conflicto unos con otros, de esta forma la toma de decisiones se vuelve un proceso complejo (J. C. O. Gómez & Cabrera, 2008).

Gómez & Cabrera (2008) indican que es necesario contar con la información más confiable y detallada posible, de esta forma se tomará la mejor decisión, la cual se determina dentro de un conjunto de posibles alternativas, que son evaluadas frente a múltiples criterios. El producto final, es un proceso complejo, por lo tanto es necesario contar con herramientas que mejoren este procedimiento (J. C. O. Gómez & Cabrera, 2008).

Existen diversos métodos que permiten realizar el análisis multicriterio, los cuales se pueden agrupar en cuatro categorías, según señala EuropeAid (2015):

“Sin compensación: estos métodos incorporan una jerarquización de criterios y una definición de índices binarios para cada uno de estos. Cada acción es sometida a un examen sistemático en relación con cada criterio, eliminando o seleccionando las opciones. Las acciones escogidas se analizan según los criterios siguientes, y así sucesivamente.”

“Agregación completa: se procede por síntesis a determinar un valor que permite representar la agregación de la totalidad de los criterios. Esto conlleva que dichos criterios sean serios y que las preferencias sean matemáticamente racionales. En

esta categoría del análisis multicriterio, se permiten realizar compensaciones y todas las alternativas son comparables. Se aplica en situaciones sencillas y delimitadas. Algunos métodos que pertenecen a esta categoría son: media ponderada, utilidad aditiva (UTA), Goal Programming ("programación por metas"), Analytic Hierarchy Process ("proceso analítico jerárquico", AHP), Multi Attribute Utility Theory ("teoría de la utilidad multiatributo", MAUT)."

"Agregación parcial: Los métodos por agregación parcial se caracterizan por la consideración de situaciones no comparativas, para las que se adopta un sistema de preferencias. El análisis se centra en la comparación de acciones clasificadas por pares, y toma como base un índice de superación. Este tipo de métodos presenta la ventaja de permitir la comparación entre situaciones complejas, originalmente incomparables, incluyendo criterios de carácter muy diverso (objetivos y subjetivos). Esta categoría engloba los métodos más conocidos (como Electre, Prométhée, Oreste, Macbeth, etc.)"

"Agregación local: La particularidad de los métodos por agregación local radica en su carácter iterativo, basado en las preferencias del decisor. En este tipo de métodos se selecciona una opción, se elabora una propuesta con algunas alternativas y luego se retoma el análisis en bucle. Estos enfoques sólo permiten abarcar un número reducido de acciones y requieren una gran implicación por parte de los decisores. Entre estos métodos se encuentran: programación lineal múltiple, PREFCALC, UTA interactivo, etc."

El presente estudio se basará en la utilización del proceso de Análisis jerárquico para evaluar distintos criterios enfocados a la caracterización de las rutas de evacuación. Por otra parte, para el cálculo de riesgo la importancia para cada parámetro a evaluar, ya sea susceptibilidad de bloqueo o confiabilidad de ruta, se utilizara el método del Valor Máximo.

4.2 ESTUDIO DE AMENAZA

Amenaza se define como un evento físico, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental (EIRD/ONU, 2004).

A continuación, en la Tabla 4-2, se presenta las definición de amenaza natural según su origen y los fenómenos que las caracterizan.

| ORIGEN | FENÓMENOS / EJEMPLOS |
|---|--|
| Amenazas hidrometeorológicas Procesos o fenómenos naturales de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico, que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. | <ul style="list-style-type: none"> - Inundaciones, flujos de lodo y - Ciclones tropicales, marejadas, vientos, lluvias y otras tormentas severas, ventiscas, rayerías. - Sequías, desertificación, incendios forestales, temperaturas extremas, tormentas de arena o polvaredas. - Heladas, avalanchas de nieve. |
| Amenazas geológicas Procesos o fenómenos naturales terrestres, que puedan causar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental. | <ul style="list-style-type: none"> - Terremotos, tsunamis. - Actividad y erupciones volcánicas. - Movimientos de masas, deslizamientos, desprendimiento de - Colapso de superficies, actividad de fallas geológicas. |
| Amenazas biológicas Procesos de origen orgánico o transportados por vectores biológicos, incluidos la exposición a micro organismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas, que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, disfunciones sociales y económicas o degradación ambiental. | <ul style="list-style-type: none"> - Brotes de enfermedades epidémicas, contagio de plantas y animales y pandemias. |

Tabla 4-2 Definición amenaza natural según su origen. (EIRD/ONU, 2004).

El concepto de amenaza, según Cardona (2003), se refiere a un peligro latente o factor de riesgo extremo de un sistema o de un sujeto expuesto, que se puede representar en forma matemática como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un suceso con cierta intensidad, en un sitio específico y durante un tiempo de exposición determinado.

Para poder obtener la probabilidad de que se presente un evento de una u otra intensidad durante un periodo de exposición, es necesario contar con información, la más completa posible, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y acerca de la intensidad que tuvieron los mismos (O. D. Cardona, 1993).

El uso de tecnología satelital, la capacidad computacional de procesamiento de datos y la gran cantidad de información existente a través de internet, ha llevado a experimentar un crecimiento acelerado de la capacidad de predicción de amenazas naturales; no obstante lo anterior, la presencia de incertezas temporales, espaciales y de magnitud han llevado a que todavía exista un trecho entre la predicción y la amenaza real, con esto la imposibilidad de responder preguntas de cuándo, dónde y qué tan grande se va a concretar la amenaza (Winckler, Contreras, Reyes, Cortes, & Beyá, 2015).

Lagos & Cisternas (2004) indican que Chile por su larga costa se encuentra constantemente expuesto a la amenaza de tsunami que se traduce en un riesgo permanente para la población localizada en el borde costero del país. En cuanto a los tsunamis en Chile, la principal validación de las áreas de inundación proviene de los escasos e incompletos registros escritos y gráficos de tsunamis pasados y menor grado testimonios de sobrevivientes a tsunamis del pasado; gracias a la tecnología existente y esfuerzos de investigadores, los paleotsunamis, entregan gran información a través de registros geomorfológicos y sedimentarios relativo a la intensidad y niveles de inundación alcanzados (Lagos & Cisternas, 2004).

4.2.1 AMENAZA DE TERREMOTO Y TSUNAMI EN TALCAHUANO

Como se explicó anteriormente, y descrito por O. D. Cardona (2003), para obtener la probabilidad de que un evento ocurra durante un periodo de exposición, se necesita contar con la información más completa posible, esto conlleva a investigar el número de eventos que han ocurrido en el pasado y la intensidad que tuvieron dichos eventos.

4.2.1.1 Amenaza sísmica en Talcahuano

Talcahuano a lo largo de la historia ha sido azotada por un gran número de terremotos, generando situaciones con gran impacto social. En 1570, según el Servicio Sismológico de la Universidad de Chile, ocurrió un terremoto de Mw 8.0 con epicentro en el mar, cuando la ciudad de Concepción aún se ubicaba en el lugar donde actualmente se sitúa la ciudad de Penco, siendo este el terremoto más antiguo registrado en la región del Biobío, causando la muerte de un total de 2.000 personas, para ese entonces la ciudad de Talcahuano aún no existía como tal (Lomnitz, 2004; PNUD, 2012b).

En el año 1657, en el antiguo Concepción, ocurre un terremoto cercano a las 20 horas según registros escritos, con magnitud ligeramente menor a Mw 8.0 con epicentro ubicado mar adentro, destruyendo la ciudad. Alrededor de 20.000 personas vivían en la ciudad en ese tiempo (Lomnitz, 1970).

A pesar de no saber el día exacto del terremoto de 1751, las fechas probables de este evento oscilan entre el 23 y 25 de mayo (PNUD, 2012b). La magnitud del terremoto se estima en Mw 8.5 causando la destrucción del antiguo Concepción a causa de un tsunami, obligando su reubicación en el sitio que se encuentra emplazado actualmente. Este evento también causó gran destrucción en Chillán y Talca entre otras ciudades y a la vez ocasionó daños menores en la zona que luego se constituiría la ciudad de Talcahuano (Lomnitz, 2004; PNUD, 2012b). El tsunami se propagó en el Pacífico y originó daños en la isla de Juan Fernández, Callao y Japón según indica Lomnitz (2004).

En el año 1833, Talcahuano se establece administrativamente como ciudad. El 20 de febrero de 1835, ya en ese entonces ciudad de Talcahuano, es azotada por un Terremoto de magnitud Ms 8-8.5 con epicentro ubicado mar adentro, originando un tsunami que en conjunto con el terremoto causó gran destrucción en los asentamientos que ya existían en ese tiempo, obligándolos a emigrar del sector, volviéndose a poblar luego de cinco años, incentivado por la gran circulación de barcos a vapor por el sector (Lomnitz, 2004; PNUD, 2012b).

El 24 de enero del año 1939, a eso de las 23:30 horas, se produce un terremoto con una magnitud Ms 8.3 que causó la destrucción del 95% de las viviendas de Concepción, además causando grandes daños en la región, incluyendo Talcahuano. Luego de este terremoto se comenzó a aplicar normas antisísmicas en los diseños de las construcciones, por lo que los daños de eventos posteriores se reducirían significativamente (PNUD, 2012b).

Mención aparte para el terremoto más grande de la historia, registrado instrumentalmente, ocurrido a las 15:10 horas el 22 de mayo de 1960, el cual tuvo una magnitud Mw= 9.5, causando destrucción desde Concepción hasta Aysén (Alvarez, Ramirez, Paredes, & Canales, 2010; Lagos & Cisternas, 2004). Durante el terremoto del sur de Chile con epicentro en Valdivia, el margen occidental de la placa Sudamericana se desplazó hasta 24 metros con relación a la placa de Nazca, lo cual produjo el levantamiento de la plataforma continental, en una extensión de casi 1.000 km, generando un tsunami destructivo. El terremoto y tsunami causaron más de 2.000 muertes y produjeron daños estimados en US\$ 550 millones (dólar de 1960). El tsunami impactó California, Hawaii, Japón e islas de Oceanía muchas horas después, generando daños y muertes en sus costas (SHOA, 2000a).

El 27 de febrero del año 2010 a las 03:34 horas en la zona centro sur de Chile, se produjo un terremoto con origen en la zona de subducción; la ruptura asociada al evento se extendió por cerca de 450 km de largo y 150 km de ancho, frente a las costas de la región comprendida entre la península de Arauco y un poco al norte de Pichilemu. El epicentro fue situado en la costa de la Región del Maule (Barrientos, 2010), aproximadamente 335 km al suroeste de la ciudad de Santiago (capital de Chile), y 105 km al norte de Concepción (JICA, 2010), alcanzando una magnitud Mw=8.8 (Barrientos, 2010). Este evento sísmico fue capaz de generar un tsunami destructivo, causando daños en ciudades costeras de Chile como Talcahuano, Coquimbo, Antofagasta y Caldera, así como las islas Juan Fernández entre otras; además se reportaron daños a barcos y un muelle en San Diego, California (EEUU), e inundación en el norte de Japón (Pararas-Carayannis, 2010).

4.2.1.2 Amenaza de tsunami en Talcahuano

Históricamente, se conoce la ocurrencia de siete terremotos que generaron tsunamis en la bahía de Concepción. Las bahías son muy vulnerables debido a que por ser costas semi cerradas las olas chocan y rebotan contra sus costas y se produce un efecto de resonancia que amplifica los efectos destructivos de la fuerza del mar (Muñoz, 2010).

| Fecha | Mw | Largo estimado de la dislocación [Km] | Variación máxima del nivel del mar [m] | Tipo de Registros |
|------------|---------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| 08/02/1570 | 8.0-8.5 | 140 | 4 | Escritos / Paleotsunami |
| 15/03/1657 | 8 | 120 | 4 | Escritos |
| 25/03/1751 | 8.5 | 260 | 3.5 | Escritos |
| 20/02/1835 | 8-8.5 | 210 | 13 | Escritos |
| 20/04/1939 | 8.3 | - | - | Escritos |
| 22/05/1960 | 9.5 | 950 | 15 | Instrumental |
| 27/02/2010 | 8.8 | 650 | 5 | Instrumental |

Tabla 4-3 Terremotos Tsunamigénicos que han afectado la bahía de Concepción. Elaboración Propia.

Conocer el peor escenario es de vital importancia, debido a que permite contar con un margen de seguridad, es por esto que es necesario la documentación sobre las amenazas vinculadas a los tsunamis en cada comunidad costera para identificar los recursos y la población amenazada (Lagos & Cisternas, 2008). Para realizar esta evaluación es necesario conocer las posibles fuentes de tsunami (en Chile generalmente terremotos), la probabilidad de ocurrencia, y las características de los tsunamis producidos por esa fuente cuando impactan en los diferentes lugares de la costa; esta información luego se traduce en mapas de peligro de tsunami, instrumentos que permiten educar a las comunidades costeras y tomar mejores decisiones en sus territorios (UNESCO, 2013).

El tsunami generado por el terremoto del 20 de febrero de 1835 es un evento extremo para la bahía de Concepción, documentado por el naturalista inglés Charles Darwin, el cual detalla: "Más o menos a media hora después de la sacudida, el mar se había alejado ya tanto, que quedaban en seco hasta las naves ancladas, parecían a la vista todos los peñascos de arrecifes de la bahía, cuando una descomunal ola pasó rápidamente a lo largo de la costa occidental de la bahía de Concepción, barriendo todo lo que podía oponerse a su avance, su altura alcanzaba a 30 pies (9.1 metros). Después de pocos minutos las naves se encontraron de nuevo en seco y se vio a otra gran ola que se acercaba con gran ruido e impetuosidad mayor aún, pero sus efectos no fueron tan desastrosos, pues no quedaba más por destruir. Después de unos minutos de terrible suspenso se vio a una tercera enorme ola entre Quiriquina y el continente, aparentemente más grande que las dos primeras barriendo con todo Talcahuano" (Quezada). Lomnitz (2004) indica que el tsunami inundó completamente Talcahuano causando numerosas víctimas fatales. Además destruyó las instalaciones portuarias ubicadas en Juan Fernández.

Con el tsunami de 1960, causado por el terremoto Mw=9.5, en Talcahuano las olas no alcanzaron a superar los 3 metros de altura sobre el nivel medio del mar, con lo cual se produjo solo inundación sin destrucción (SHOA, 2000b).

El tsunami del año 2010, al ser el más reciente, es el mejor documentado y que gracias al avance tecnológico es posible cuantificar y cualificar los efectos que tuvo este evento

sobre la ciudad de Talcahuano. El tsunami del 27 de febrero tuvo su epicentro de propagación en las cercanías de Cobquecura y de allí las olas se expandieron hacia el norte y hacia el sur; en este sentido, la orientación y la morfología litoral son determinantes en los efectos del tsunami, en este caso, es muy claro el impacto que tuvo en las costas y bahías abiertas hacia el norte, donde recibieron en forma directa el tren de olas, siendo este el caso de la bahía de Concepción- Talcahuano (Muñoz, 2010).

La primera onda de tsunami en llegar a Talcahuano arribó 19 minutos después del terremoto de magnitud $M_w = 8.8$ (Barrientos, 2010). Muñoz (2010) indica que el impacto del mar generó olas de hasta 5 metros de altura, las cuales arrastraron contenedores hacia el centro de la ciudad, cubriendo de agua, barro y escombros sus calles además de causar grandes daños a la infraestructura portuaria de la Base Naval y astilleros de ASMAR.



Figura 4-1.- Contenedores arrastrados hacia zonas residenciales de Talcahuano por tsunami 2010. (AFP, 2010)

Se observaron desplazamientos significativos de embarcaciones menores en prácticamente toda la costa afectada, de pesqueros de mayor tonelaje en puertos como Talcahuano ($36^{\circ}43'S$) y de naves de gran tonelaje como el buque oceanográfico “Cabo de Hornos” en los Astilleros ASMAR Talcahuano. Las olas asolaron casi 600 km de la costa de Chile central y fueron la causa de un tercio de las víctimas fatales (181 sobre un total de 521) (Contreras & Winckler, 2013).



Figura 4-2.- Pesqueros desplazados hacia la ciudad de Talcahuano por tsunami 2010. (AFP, 2010)

Estudios realizados por JICA (2010) muestra la inundación alcanzada en varios sitios de la ciudad, donde la máxima medición alcanzó los 205 [cm], mientras que la mínima fue de 55 [cm], siendo este el sector de medición el más alejado de la costa.



Figura 4-3.- Mediciones de inundación en la ciudad de Talcahuano. (JICA 2010)

4.2.1.3 Probabilidad de ocurrencia

Los sismos, con la tecnología existente, aún no son predecibles, por lo tanto, no se puede establecer el momento exacto de cuándo ocurrirá un tsunami (SHOA, 2014). Como se menciona en el punto 4.2, O. D Cardona (1993) indica que para obtener la probabilidad de ocurrencia de una amenaza es necesario tener información lo más detallada posible, considerando el número de eventos que han ocurrido en el pasado y la intensidad que tuvieron los mismos.

La investigación sobre tsunamis históricos puede ser de gran ayuda para analizar la probabilidad de ocurrencia (SHOA, 2014). El Anexo B, punto 10.1, se refiere a los paleotsunamis donde Le Roux & Vargas (2005) indican que Chile al ser una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, se convierte en un gran laboratorio natural donde abundan los depósitos más recientes y antiguos de tsunamis. Con lo anterior, eventos pasados permiten reconstruir la ciclicidad de estos eventos en Chile y diferentes partes del mundo, precisando la magnitud de eventos históricos e incrementando las estadísticas con eventos prehistóricos (Lagos & Cisternas, 2004).

4.3 ESTUDIO DE IMPACTOS

4.3.1 ESTIMACIÓN DE IMPACTOS

Diversos son los impactos que puede causar un desastre, los cuales varían dependiendo de las características propias de los elementos expuestos y la naturaleza del mismo; el impacto es capaz de causar distintos tipos de alteraciones que pueden ser categorizadas como pérdidas directas e indirectas, que se describen a continuación.

Pérdidas directas: *“Las pérdidas directas están relacionadas con el daño físico, expresado en víctimas, en daños en la infraestructura de servicios públicos, en las edificaciones, el espacio urbano, la industria, el comercio y el deterioro del medio ambiente, es decir, la alteración física del hábitat” (O. D. Cardona, 1993).*

Pérdidas indirectas: *“Generalmente pueden subdividirse en efectos sociales tales como la interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información y la desfavorable imagen que puede tomar una región con respecto a otras; y en efectos económicos que representan la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja en la producción, la desmotivación de la inversión y la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción”(O. D. Cardona, 1993).*

El impacto de cualquier desastre se enfrenta directamente en términos de sufrimientos humanos inmediatos, al igual que en pérdidas económicas y sociales, entre otros; en muchas regiones del mundo este impacto agrava las condiciones de pobreza, la cual es reconocida como una de las causas principales de la vulnerabilidad (EIRD/ONU, 2004). A mediano y a largo plazo, el impacto afecta a los sectores principales de la economía, incluyendo la industria, agricultura, salud y educación (EIRD/ONU, 2004).

Un grupo de personas de un mismo sector, puede estar expuesta a una misma amenaza, en donde los impactos ocasionados por un desastre serán distintos de acuerdo a su capacidad de resiliencia frente al efecto adverso de la amenaza, donde los medios económicos, acceso a servicios básicos, a la salud, educación, tecnología, entre otros, pueden permitir enfrentarla de manera tal de que se evite el desastre (SUBDERE, 2011).

Los impactos de los desastres en el desarrollo son inmediatos y visibles (como puede ser la pérdida de vidas humanas e infraestructura), pero también más complejos, difíciles de

medir y de efectos acumulativos en el largo plazo, como por ejemplo, la pérdida de medios de vida y destrucción de los mercados locales, así como los problemas psicosociales que pueden afectar a la población que sobrevivió al desastre (SUBDERE, 2011)

Reyes (2013) realizó una revisión del procedimiento Project Cycle Management (PCM), con el fin de discutir la comprensión sistémica del Riesgo de Desastres por Tsunami (TDR) en una ciudad costera. Con ello el autor citado, estructuró mediante un esquema piramidal la evaluación de impactos, donde TDR está compuesto por cuatro niveles objetivos básicos, mostrados en la Figura 3-4.

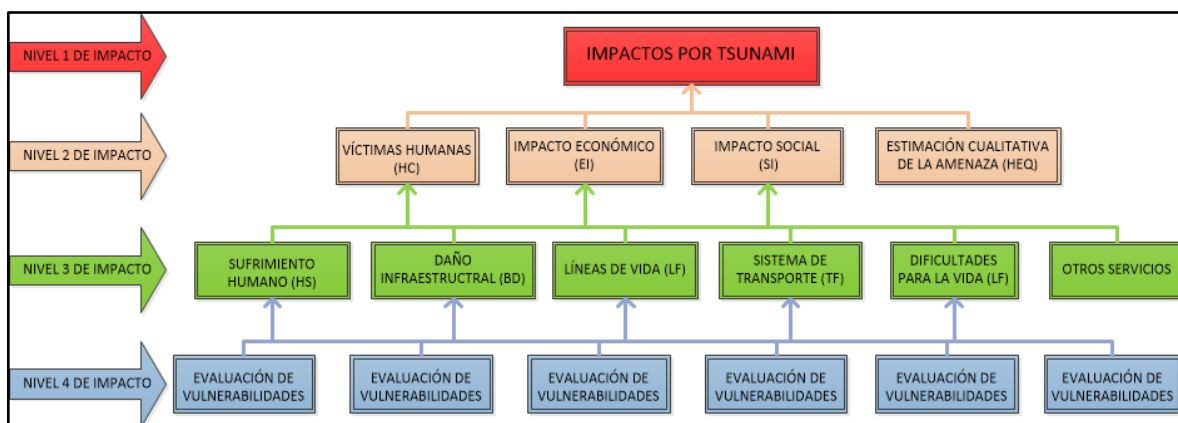


Figura 4-4 Diagrama para el cálculo de impactos. (Reyes, 2013).

La transferencia de impacto del nivel menor al superior es posible resolverla mediante uso de la suma ponderada, promedio, o el valor máximo, entre otros, cuya definición es parte de la estrategia de control del riesgo que se defina (Winckler et al., 2015). El criterio de selección del máximo valor de impacto entre las vulnerabilidades del nivel inferior es conservador, pero con frecuencia es aplicado en sistemas industriales de control del riesgo (Winckler et al., 2015).

La estimación de impactos se consigue mediante escalas discretas cualitativas o cuantitativas, de esta forma puede inferirse el factor de impacto de cada componente del sistema e incorporarla en matrices de riesgos (Winckler et al., 2015).

| ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (CONFIABILIDAD) | | ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (SUSCEPTIBILIDAD) | |
|---|---|---|---|
| NO CONFIABLE | 5 | NO SUSCEPTIBLE | 1 |
| BAJA CONFIABILIDAD | 4 | BAJA SUSCEPTIBILIDAD | 2 |
| CONFIABLE | 3 | SUSCEPTIBLE | 3 |
| ALTA CONFIABILIDAD | 2 | ALTA SUSCEPTIBILIDAD | 4 |
| MUY ALTA CONFIABILIDAD | 1 | MUY ALTA SUSCEPTIBILIDAD | 5 |

| ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL) | | ESCALA CUALITATIVA DE IMPACTO (VULNERABILIDAD GENERAL) | |
|--|---|--|---|
| NO CONFIABLE / SIN CÓDIGO DE DISEÑO / CONSTRUCCIÓN NO CONTROLADA | 5 | MUY BAJA VULNERABILIDAD | 1 |
| BAJA CONFIABILIDAD | 4 | BAJA VULNERABILIDAD | 2 |
| CONFIABLE | 3 | VULNERABLE | 3 |
| ALTA CONFIABILIDAD | 2 | ALTA VULNERABILIDAD | 4 |
| MUY ALTA CONFIABILIDAD/ CÓDIGO DE DISEÑO PLENAMENTE APLICADO/ ALTO CONTROL | 1 | MUY ALTA VULNERABILIDAD | 5 |

Tabla 4-4 Escalas cualitativas de estimación de impactos. (Reyes, 2013; Winckler et al., 2015)

Dimensionar los impactos según los niveles de daño es común en gestión del riesgo en faenas mineras o industriales, donde se mide el impacto de una vulnerabilidad expuesta a la amenaza de acuerdo a diferentes dimensiones (por ejemplo, impactos operacionales, sobre activos, salud y seguridad, infraestructura, medio ambiente, entre otros) (Winckler et al., 2015).

Para el caso de riesgo en la zona costera ante la amenaza de tsunamis, se sugiere considerar al menos las siguientes dimensiones de impacto: impactos en personas, seguridad, económicos, sociales, culturales, ambientales, legales, reputación, entre otros.

4.3.2 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, según Cardona (2003), se entiende como un factor de riesgo interno que matemáticamente está expresado como la factibilidad de que el sujeto o sistema expuesto sea afectado por el fenómeno que caracteriza la amenaza.

PNDU (2012b), define la vulnerabilidad como las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

Dada la relación existente entre las carencias de desarrollo (económico, demográfico y político) y la vulnerabilidad, Cardona (2001), propone los siguientes factores de los cuales se originan la vulnerabilidad:

a) *“Fragilidad física o exposición, que es la condición de susceptibilidad que tiene el asentamiento humano de ser afectado por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su falta de resistencia física ante los mismos.”*

b) *“La fragilidad social, que se refiere a la predisposición que surge como resultado del nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socioeconómicos.”*

c) *“La falta de resiliencia, que expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto”*

4.3.3 EXPOSICIÓN

Exposición se refiere a la población, los edificios y obras civiles, los servicios públicos, las actividades económicas, la infraestructura expuesta a un área de peligro (SUBDERE, 2011).

La exposición física refleja la posición geográfica del sistema en relación a una amenaza, y permite identificar el sistema o componente que puede ser afectado por una amenaza. La importancia del análisis de exposición física radica en que permite discriminar rápidamente la parte del sistema o componentes que se verá afectada y avanzar en el análisis de vulnerabilidad con respecto de la amenaza descartando a aquellos que no estén expuestos (SUBDERE, 2011).

En Winckler et al. (2015) indican que para el caso de los sistemas humanos, la exposición es prácticamente inevitable, por lo que se vuelve aún más relevante el tratamiento de vulnerabilidades como vía de acceso al control del riesgo.

Los tipos de impactos no pueden ser comparados directamente en una misma matriz de riesgo, tales como el impacto en el medio ambiente, la vida humana, o de la economía. Éstos no pueden ser utilizados juntos como categorías separadas dentro de una única matriz de riesgos, cualquiera de cada tipo de impacto requiere su propia matriz de riesgo por separado (Duijm, 2015).

Finalmente, los impactos pueden ser puntualizados mediante descripciones cualitativas, como por ejemplo, “insignificante”, “serio”, “catastrófica”. En una matriz de riesgos, las categorías tienen que estar situadas en orden, es decir, de la menos a más severa (Duijm, 2015).

4.3.4 CÁLCULO DE RIESGO

Cardona (2003) indica que desastre es la materialización del riesgo, por lo tanto, es necesaria una forma de poder medir el riesgo. Pliefke et al. (2007) presenta una serie de fórmulas para poder cuantificar el riesgo.

$$R = H \times V \times E \quad (1)$$

$$R = H \times V \quad (2)$$

$$R = P \times C \quad (3)$$

$$R = P \times L \quad (4)$$

Con:

R: Riesgo

H: Amenaza

V: Vulnerabilidades

E: Exposición

P: Probabilidad de ocurrencia

C: Consecuencias

L: Pérdidas

D: Daño

El cálculo del riesgo que se emplea en el presente trabajo es el utilizado por Reyes (2003), el cual consiste en la Eq. 3, pero introduciendo en los criterios de escala de riesgo el concepto de crisis, descrito por Cardona (2003), y los impactos o niveles de consecuencias.

$$R = P \times I \quad (5)$$

Con:

R: Riesgo

P: Probabilidad de ocurrencia del escenario de amenaza

I: Impacto o nivel de consecuencias, dependiendo de la vulnerabilidad y la exposición.

Para obtener el nivel de riesgo, el procedimiento que se realiza es intersectar la probabilidad de ocurrencia con el nivel de impacto. A continuación en la Tabla 4-5 se muestra un ejemplo de matriz cualitativa de impactos.

| | | Niveles de Impactos | | | | |
|----------------------------|---------|---------------------|-------|----------|-------|---------|
| | | Despreciable | Menor | Moderado | Serio | Crítico |
| Probabilidad de Ocurrencia | 0-10% | Bajo | Bajo | Bajo | Medio | Medio |
| | 11-40% | Bajo | Bajo | Medio | Medio | Alto |
| | 41-60% | Bajo | Medio | Medio | Medio | Alto |
| | 61-90% | Medio | Medio | Medio | Medio | Alto |
| | 91-100% | Medio | Alto | Alto | Alto | Alto |

Tabla 4-5 Ejemplo de matriz de riesgo. (Garvey, 1998).

La Tabla 2-3, extraída de Garvey (1998), es una aproximación para generar un enfoque que permita identificar, clasificar y evaluar los riesgo de un sistema, donde muestra los niveles de impactos, probabilidad de ocurrencia y la posible escala de riesgo a utilizar en el estudio realizado por autor.

En capítulos siguientes se entrega información de cómo se obtiene la probabilidad de ocurrencia del evento que caracteriza a la amenaza.

4.3.5 REPRESENTACIÓN DEL RIESGO USANDO GRÁFICOS DE RADAR

Los gráficos de radar se componen de ejes o radios que inician desde un centro, permitiendo representar diferentes tipos de variables y/o factores de un evento o fenómeno determinado. Es necesario graduar los ejes y variables, de esta forma escenificar sus niveles y posibles umbrales en una escala, ya sea, normal o logarítmica.

En el estudio realizado Reyes (2013) unas de los métodos utilizados para la representación del riesgo fueron los gráficos de radar, donde su objetivo es mejorar el análisis de este con herramientas de control. La existencia de un único valor de riesgo, incluye la posibilidad de considerar su valor como un “verdadero” cuando en la realidad contiene múltiples incertidumbres (Reyes, 2013). Por lo tanto, el autor indica que para controlar el sistema y entender su comportamiento será más fácil si se presenta la mayor cantidad de información posible de la forma más sencilla, con esto también es posible mostrar donde se encuentran las incertidumbres del riesgo, por lo que para los tomadores de decisiones el significado de riesgo será más fiable para el control del sistema (Reyes, 2013).

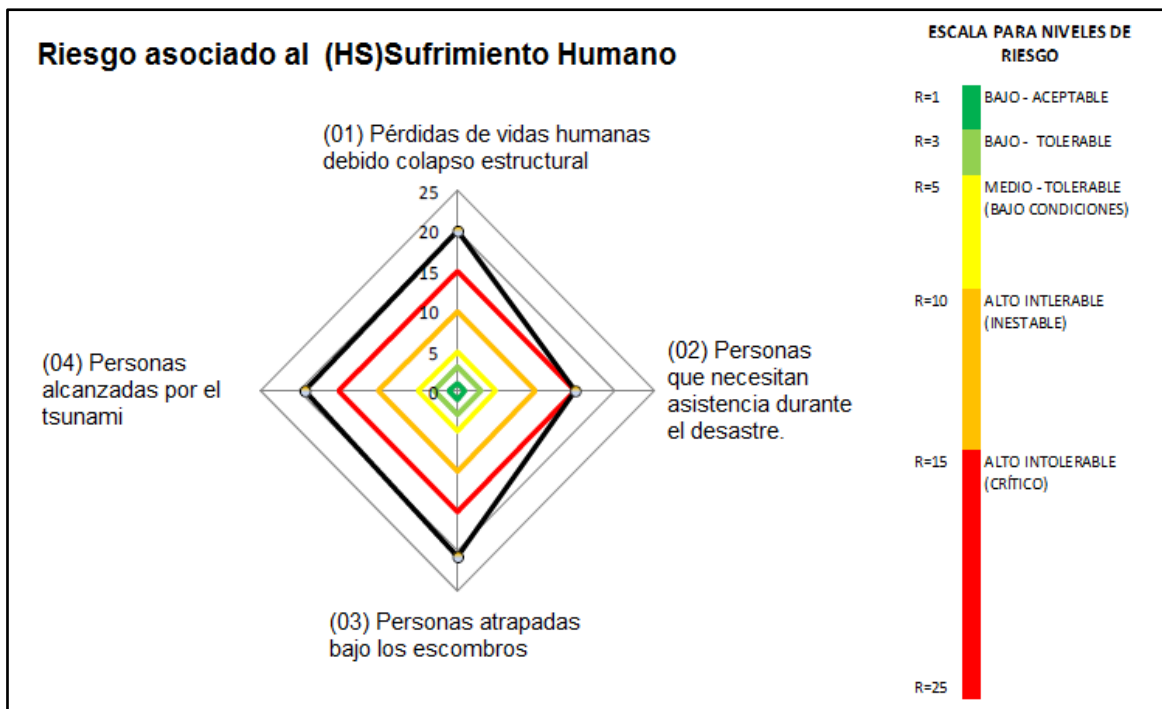


Gráfico 4-1 Ejemplo gráfico de radar de riesgo asociado al sufrimiento humano. Reyes (2013).

HS01, HS02, HS03, HS04 son vulnerabilidades asociadas con lo humano, específicamente con el sufrimiento humano frente a la amenaza de tsunami. Poder visualizar el riesgo mediante un gráfico de radar ayuda a entender los aspectos más críticos del sistema y con ello controlar y comprender su comportamiento será más fácil si se presenta con tanta información como sea posible y de la manera más sencilla.

4.4 CONTEXTO

4.4.1 CONTEXTO INTERNACIONAL PARA LA REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES

En el mundo existe una creciente preocupación en cuanto a las consecuencias de los desastres naturales a nivel global, es por esto que la Asamblea General de las Naciones Unidas, donde Chile es miembro desde 1945, se ha esforzado en mejorar la gestión de desastres naturales; en el año 1990 se declaró el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), que abarcó el periodo 1990-1999 bajo el lema “Construir una Cultura de Prevención”, donde se firmaron las bases para asumir un compromiso generalizado de los estados miembros, para mitigar las consecuencias adversas de los desastres de origen natural. Con el pasar de los años, se han elaborado diversas estrategias y planes para mejorar la gestión de desastres naturales, como la Estrategia y Plan de Acción de Yokohama para un Mundo más Seguro, donde el objetivo principal era que “todos los países tienen la responsabilidad soberana y fundamental de proteger a su población, su infraestructura y su patrimonio nacional, social y económico de los desastres de origen natural”, donde se determinó que la actividad humana juega un papel de gran importancia en la reducción de la vulnerabilidad de las sociedades ante todo tipo de amenazas. La Asamblea General de las Naciones Unidas, en el año 2002, estableció la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD), como sucesora del DIRDN, el cual “proporciona un marco de acción de carácter mundial para reducir las pérdidas humanas, sociales, económicas y ambientales a que dan lugar las amenazas naturales y otros fenómenos tecnológicos y ambientales conexos” con el objetivo de buscar comunidades capaces de enfrentar desastres naturales (ONEMI, 2014).

En la novena sesión plenaria de la Conferencia mundial sobre la Reducción de Desastres, realizada el 22 de enero del 2005 en Kobe, Japón, se aprobó el Marco de Acción de Hyogo (MAH) para el periodo 2005- 2015 (ONEMI, 2014). El MAH es la herramienta más importante para la implementación de la reducción de riesgos de desastres de los estados pertenecientes a las Naciones Unidas; donde su objetivo principal es aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, logrando hacia el 2015 una reducción de las pérdidas en términos de vidas humanas, bienes sociales, económicos y ambientales de las comunidades y países (PNUD, 2012a).

Cinco áreas preferentes para la toma de acciones, al igual que principios rectores y medios prácticos para aumentar la resiliencia de las comunidades vulnerables a los desastres son las que establece el MAH (ONEMI, 2014), que se presentan en la Tabla 3.6.

| Prioridad 1 | Prioridad 2 | Prioridad 3 | Prioridad 4 | Prioridad 5 |
|--|--|---|--|---|
| Velar por que la Reducción de Riesgo de Desastre (RRD) constituya una prioridad nacional y local con una sólida base institucional de aplicación | Identificar, evaluar y seguir de cerca el riesgo de desastre y potenciar la alerta temprana. | Utilizar el conocimiento, la innovación y la educación para establecer una cultura de seguridad y resiliencia a todo nivel. | Reducir los factores subyacentes del riesgo. | Fortalecer la preparación ante los desastres para lograr una respuesta eficaz a todo nivel. |

Tabla 4-6 Prioridades del Marco de Acción Hyogo, (ONEMI, 2014).

En la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres, realizada en el mes de marzo del año 2015 en Sendai, Japón, se aprobó el “Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030” (ONU, 2015).

Las prioridades de acción del Marco de Sendai que los Estados deben tomar en los planos local, nacional, regional y mundial, son:}

| Prioridad 1 | Prioridad 2 | Prioridad 3 | Prioridad 4 |
|-----------------------------------|--|--|--|
| Comprender el riesgo de desastres | Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo | Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia | Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz, y “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción |

Tabla 4-7 Prioridades del Marco de Sendai. (ONU, 2015)

El presente estudio se enmarca principalmente en la Prioridad 1, que indica que las políticas y practicas para la gestión del riesgo de desastres deben basarse en una comprensión del riesgo de desastres en todas sus dimensiones de vulnerabilidad, capacidad, grado de exposición de personas y bienes, características de las amenazas y entorno. Esos conocimientos se pueden aprovechar para la evaluación del riesgo previo a los desastres, para la prevención y mitigación y para la elaboración y aplicación de medidas adecuadas de preparación y respuesta eficaz para casos de desastre (ONU, 2015) .

4.4.2 PARTICIPACIÓN DE CHILE EN EL MARCO DE REDUCCIÓN DE DESASTRES NATURALES A NIVEL INTERNACIONAL.

4.4.2.1 Red Interamericana de Mitigación de Desastres (RIMD)

En el año 2010, el Gobierno de Chile, firmó una carta de intención con la Secretaría General de la OEA, con el fin de formar parte e implementar la Red Interamericana de Mitigación de Desastres, donde se acuerdan una serie de acciones que incluye el intercambio de información y experiencia, apoyo de Chile a iniciativas de desarrollo de la RIMD con el objetivo de apoyar a otros países, entre otros (PNUD, 2012a)

A continuación se presenta la misión Red Interamericana de Mitigación de Desastres: *“La misión de la RIMD consiste en apoyar el intercambio de información y conocimientos con respecto a desastres del pasado, reducción de la vulnerabilidad, preparación y prácticas y estrategias de respuesta y mitigación de desastres naturales, para integrar la Gestión de Riesgos de Desastres Naturales y la Mitigación de Desastres Naturales en los planes y políticas públicas de desarrollo nacionales y regionales; mejorar la coordinación de los planes de cooperación e inversiones internacionales, y respaldar la implementación de acuerdos multinacionales para sistemas transfronterizos de alerta temprana y actividades encaminadas a compartir e intercambiar datos.”* (RIMD, 2015)

4.4.2.2 Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico (PTWC)

El Centro de Alerta de Tsunami del Pacífico (PTWC), establecida por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), fue establecida con el objetivo de realizar un estudio sistemático de las mareas y otros fenómenos asociados con las variaciones anormales del nivel del mar, como es el caso de los tsunamis; cabe destacar que la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), perteneciente a la UNESCO, está compuesta por 144 países y Chile es uno de los 40 países que integra el Consejo Ejecutivo (PNUD, 2012a), donde el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) es su representante.

“Desde 1966, el SHOA opera el Sistema Nacional de Alarma de maremotos (SNAM) y representa oficialmente al Estado de Chile ante el Sistema Internacional de Alerta de Tsunamis del Pacífico, cuyo centro de operaciones es el Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) ubicado en Hawaii (Estados Unidos)” (SHOA, 2015).

4.4.3 LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES EN CHILE

Las amenazas tanto de origen natural como antrópico que afectan al territorio chileno, en lo que respecta a su manejo metódico, se fundamenta en la Constitución Política de la República de Chile en su Artículo 1°, inciso 5°, señalando que “Es deber del Estado dar protección a la población y a la familia”, de esta forma, diferentes órganos Administrativos del Estado cuentan con las competencias y facultades para implementar dicha garantía (PNUD, 2012a).

4.4.3.1 Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI)

La Oficina Nacional de Emergencia es el organismo del Estado encargado de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil frente a amenazas de origen natural o antrópico (ONEMI, 2015).

Misión: *“Planificar, coordinar y ejecutar las actividades destinadas a la prevención, mitigación, alerta, respuesta y rehabilitación que demanda el funcionamiento del Sistema Nacional de Protección Civil frente a amenazas y situaciones de emergencias, desastres y catástrofes; con el fin de resguardar a las personas, sus bienes y ambiente a nivel nacional, regional, provincial y comunal”*(ONEMI, 2015) .

Visión: *“Ser la institución que lidere a nivel nacional, regional y comunal la interacción coordinada de todos los integrantes del Sistema Nacional de Protección Civil logrando que la Reducción del Riesgo de Desastres sea una prioridad nacional; alcanzar un desarrollo sostenible con comunidades resilientes y ser un referente en el manejo del ciclo de riesgos y emergencias”* (ONEMI, 2015) .

Para el desarrollo de las funciones, la ONEMI, cuenta con el Plan Nacional de Protección Civil, el cual establece el cómo se desarrolla la gestión del Sistema Nacional de Protección Civil. Una explicación más completa del Plan Nacional de Protección Civil se encuentra en el ANEXO C ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS

4.4.3.2 Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), tiene como principal misión otorgar elementos, información y asistencia técnica para la navegación. Además es el servicio oficial del Estado en cuanto a la hidrografía, oceanografía y cartografía náutica, entre otras.

Como fue mencionado, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada es el representante oficial de Chile ante el Sistema Internacional de Alarma de Tsunami del Pacífico

4.4.3.3 Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM)

Este sistema es coordinado, operado y mantenido por el SHOA, haciendo llegar la información a las entidades correspondientes, como por ejemplo, las Fuerzas Armadas y el Sistema Internacional de Alarma de Tsunami del Pacífico en caso de un posible tsunami ocasionado en las costas del país.

Para el monitoreo de los parámetros oceanográficos y sísmicos de un tsunami, el SHOA cuenta con instrumentos y sistemas que detallan en el Anexo C.

Las cartas de inundación por tsunami (CITSU), son elaboradas por el SHOA bajo el criterio de inundación producida por un evento. Luego de la participación del SHOA en el Proyecto TIME, se comenzó a utilizar sistemas de información geográfica en la

elaboración de las CITSU relacionando topografía y batimetría. Para mayor detalle en relación al tema, revisar Anexo C del presente informe.

4.4.3.4 Proyecto de ley que crea un nuevo “Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil, y crea la Agencia Nacional de Protección Civil”

Este Proyecto de ley ingresó a la cámara de diputados el año 2011 y a la fecha que se escribe el presente informe se encuentra en un segundo trámite constitucional en el Senado.

El objetivo del proyecto “*será promover e implementar las acciones de prevención, respuesta y atención de emergencias que produzcan o puedan producir daños colectivos en las personas, bienes o medio ambiente*” (Nacional, Hacienda, Pública, & Urbanismo, 2011).-

La Agencia Nacional de Protección Civil se perfila a ser el principal organismo ejecutor del Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil, y asumirá el trabajo realizado hoy en día por la ONEMI desde un punto de vista enfocado hacia la prevención y asesoría en la emergencia (Nacional et al., 2011; PNUD, 2012a).

El presente Proyecto de Ley se encuentra en mayor detalle en el Anexo C.

4.4.4 CIUDAD OBJETIVO - TALCAHUANO

El Municipio de Talcahuano, luego del evento del 2010, fue el primer ente administrativo local que modificó su estructura organizacional e instauró el Departamento de Gestión Integral de Riesgo de Desastre con el objetivo de fortalecer las capacidades territoriales en la preparación y respuesta ante situaciones de crisis y emergencia, atendiendo las vulnerabilidades del territorio y estudiando las amenazas presentes en cada sector (M. d. Talcahuano, 2016).

En el año 2012, el Departamento de Gestión del Riesgo postuló a un proyecto con fondos de la Unión Europea orientado a fortalecer las capacidades comunitarias en temas de protección civil (M. d. Talcahuano, 2016).

La misión del departamento de gestión del riesgo es: “*Planificar, articular, ejecutar y sociabilizar acciones de educación, prevención y preparación con el fin de disminuir las vulnerabilidades y conocer las amenazas de desastres, a través del fortalecimiento de las capacidades de su población, el equipo municipal y la promoción de medidas de intervención en el territorio para reducir el riesgo de desastres. Del mismo modo, frente a una situación de emergencia apoyar las labores de respuesta y recuperación frente a eventos de riesgo o amenazas tanto de origen natural como antrópicos*” (M. d. Talcahuano, 2016).

Desde su creación, el departamento de gestión del riesgo cuenta con una amplia lista de logros que se traducen en numerosas actividades, que de manera permanente, son

desarrolladas con la comunidad, colegios, universidades, empresas y funcionarios municipales (M. d. Talcahuano, 2016). A continuación, se detallan los principales productos que el departamento sustancia en la comuna de Talcahuano (M. d. Talcahuano, 2016).

| Productos del departamento de gestión del riesgo de Talcahuano. | |
|---|--|
| Fortalecimiento del curso de información en Gestión del Riesgo y Primera Respuesta CEPA, con más de 1500 personas capacitadas. | Ampliación de la red de comunicación y protocolos de uso para los equipos de radio que se van incorporando a la mencionada red. |
| SIG: sistemas de información geográfica online orientado a la gestión de las capacidades instaladas en cada territorio de la comuna. | Alianzas estratégicas: Trabajo constante del equipo para mantener activas las redes que integran las organizaciones de la comuna. |
| Estrategia Territorial: recoger las particularidades de las amenazas que afectan a los territorios de la comuna y creación de planes para enfrentarlos desde la propia comunidad. | Desarrollo de un modelo escolar: El modelo incorpora a las estructuras curriculares ya existentes contenido de gestión del riesgo para los niños. |
| Asociación pública y privada para RRD: Más de una veintena de empresas de la comuna participan del convenio que busca ampliar la cobertura del departamento y sus contenidos. | Agrupar en un consejo a los colegios particulares y particulares subvencionados para una mejor gestión del riesgo en el ámbito comunal. |
| Fortalecimiento del equipo municipal de emergencias con capacitaciones permanentes en el uso de las herramientas disponibles, por ejemplo los SIG. | Instalación de una metodología de sensibilización y capacitación escolar en materia de RRD, a través de las caravanas y campamentos escolares de la seguridad. |

Tabla 4-8 Productos del departamento de gestión del riesgo de Talcahuano. (M. d. Talcahuano, 2016)

5 METODOLOGÍA PROPUESTA

5.1 ESTUDIO DE RIESGO

5.1.1 CÁLCULO DE RIESGO

Como se estableció en el punto 4.3.4, el cálculo del riesgo que se emplea en el presente documento es el utilizado por Reyes (2003), donde el riesgo es medido a través del producto entre la probabilidad de ocurrencia de una amenaza natural y el impacto que se ocasiona sobre un sistema (Reyes, 2013).

5.1.1.1 Matriz de riesgo

La matriz de riesgo a usar en la presente metodología es la empleada por Reyes (2013). Esta matriz es una modificación a la propuesta por (Garvey, 1998), a la cual se le variaron los criterios de clasificación de impactos de la amenaza. En este informe, al igual que en Reyes (2013) el peor nivel de impacto a utilizar es Severo, dejando para el riesgo el adjetivo “crítico”, de esta manera se le da un significado más político al concepto de riesgo y se enmarca a las circunstancias particulares que los desastres pueden tener en Chile.

| MATRIZ DE RIESGO | | | NIVELES DE IMPACTO | | | | |
|-------------------------------------|------------------------------|---|--------------------|-------|----------|-------|--------|
| Probabilidad de Ocurrencia (Factor) | | | DESPRECIABLE | MENOR | MODERADO | SERIO | SEVERO |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| TIEMPO ESPERADO DE OCURRENCIA [T] | 1000 [años] ≤ T | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 500 [años] ≤ T < 1000 [años] | 2 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | 100 [años] ≤ T < 500 [años] | 3 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| | 10 [años] ≤ T < 100 [años] | 4 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| | T < 10 [años] | 5 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |

Tabla 5-1 Matriz de riesgo numérica, Fuente elaboración

En gestión del riesgo es usual dividir la matriz anterior en distintos niveles, con respecto a su aceptabilidad (Reyes, 2013). Por lo tanto, a continuación se definen los niveles de riesgo que se aplicarán en esta metodología.

| NIVELES DE RIESGO | |
|------------------------------------|-----------|
| BAJO - ACEPTABLE | 1 ≤R< 3 |
| BAJO - TOLERABLE | 3 ≤R< 5 |
| MEDIO TOLERABLE (BAJO CONDICIONES) | 5 ≤R< 10 |
| ALTO - INTOLERABLE (INESTABLE) | 10 ≤R< 15 |
| ALTO - INTOLERABLE (CRÍTICO) | 15 ≤R< 25 |

Tabla 5-2 Definición de Niveles de Riesgo. Reyes (2013).

Para la obtención del nivel de riesgo, se procede a intersectar el impacto cualitativo con la probabilidad de ocurrencia de la amenaza en la matriz de riesgo.

| MATRIZ DE RIESGO | | | NIVELES DE IMPACTO | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| PROBABILIDAD DE OCURRENCIA | | | DESPRECIABLE | MENOR | MODERADO | SERIO | SEVERO |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| TIEMPO ESPERADO DE OCURRENCIA [T] | 1000 [años] ≤T | 1 | BAJO - ACEPTABLE | BAJO - ACEPTABLE | BAJO - TOLERABLE | BAJO - TOLERABLE | MEDIO TOLERABLE (CONDICIONAL) |
| | 500 [años] ≤ T < 1000 [años] | 2 | BAJO - ACEPTABLE | BAJO - TOLERABLE | MEDIO TOLERABLE (CONDICIONAL) | MEDIO TOLERABLE (CONDICIONAL) | ALTO - INTOLERABLE (INESTABLE) |
| | 100 [años] ≤ T < 500 [años] | 3 | BAJO - TOLERABLE | MEDIO TOLERABLE (CONDICIONAL) | MEDIO TOLERABLE (CONDICIONAL) | ALTO - INTOLERABLE (INESTABLE) | ALTO - INTOLERABLE (CRÍTICO) |
| | 10 [años] ≤ T < 100 [años] | 4 | BAJO - TOLERABLE | MEDIO TOLERABLE (CONDICIONAL) | ALTO - INTOLERABLE (INESTABLE) | ALTO - INTOLERABLE (CRÍTICO) | ALTO - INTOLERABLE (CRÍTICO) |
| | T < 10 [años] | 5 | MEDIO TOLERABLE (CONDICIONAL) | ALTO - INTOLERABLE (INESTABLE) | ALTO - INTOLERABLE (CRÍTICO) | ALTO - INTOLERABLE (CRÍTICO) | ALTO - INTOLERABLE (CRÍTICO) |

Tabla 5-3 Matriz Cualitativa de Riesgo. Reyes (2003).

5.1.2 REPRESENTACIÓN DEL RIESGO

Para poder visualizar y controlar el riesgo, esta metodología incluye la utilización de gráficos de radar, con el fin facilitar su visualización.

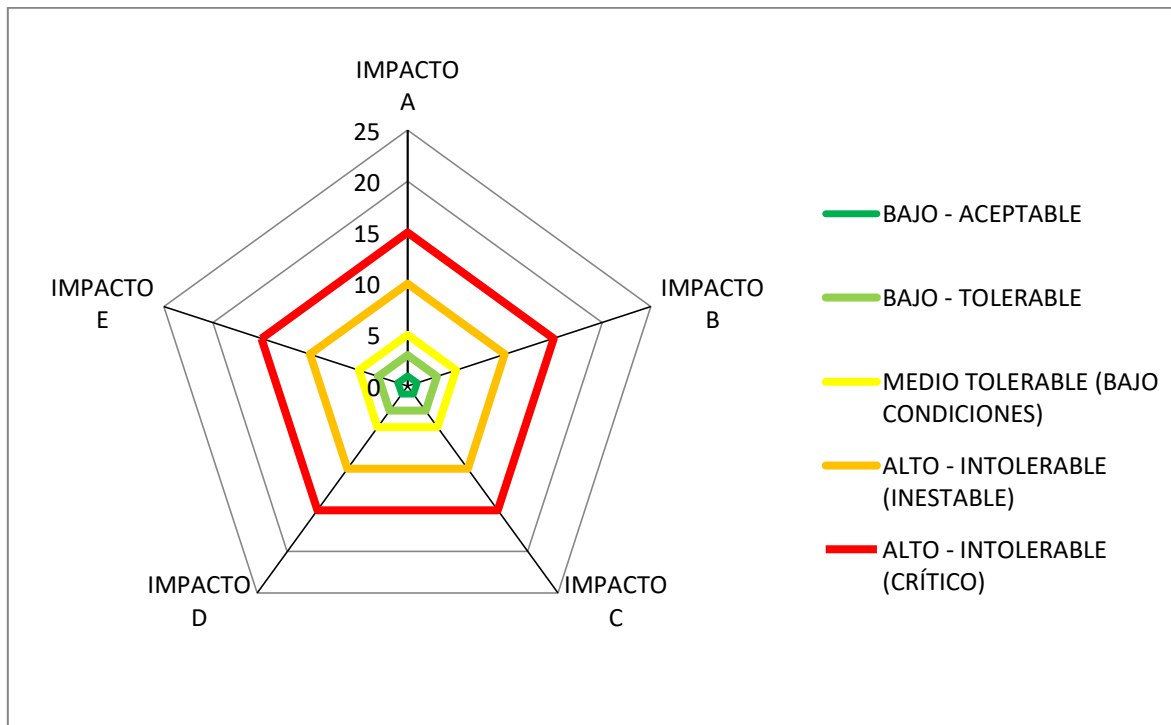


Gráfico 5-1 Gráfico de radar para la representación del riesgo donde los ejes radiales corresponden a aspectos de impacto. Los polígonos muestran los niveles de riesgo definido en la Tabla 5-3. Modificado de Reyes (2003).

5.2 ESTUDIO DE AMENAZA

5.2.1 DEFINICIÓN DE SECTOR A ANALIZAR

La zona de estudio corresponde al sector Las Salinas y Las Higueras. Las Salinas limita al Norte con el sector centro y donde se ubica la marisma Rocuant y el Morro por Avenida vasco Núñez Balboa, al Sur con el territorio medio Camino y el puente Perales, al Este con la Bahía de Concepción y al Oeste con la Línea férrea y la Avenida Cristóbal Colón (Talcahuano, 2016). Este sector se encuentra atravesado por el canal Ifarle y el Morro, que se extiende de Norte a Sur por lo que es necesario conectar mediante puentes que en momentos de ocurrencia de un evento sísmico pueden llegar a colapsar y provocar aislamiento (Talcahuano, 2016). En cuanto a su entramado urbano, es observable una trama rectangular desordenada que describe el poblamiento y crecimiento de su territorio, el cual en los últimos años presenta un fuerte aumento hacia la costa en terrenos históricamente del humedal (Talcahuano, 2016).

El sector Las Higueras hacia el Norte limita con el sector Centro de Talcahuano, al Suroeste con la comuna de Hualpén, al Noroeste confluye con la Bahía de San Vicente, la línea férrea marca el límite con Salinas hacia el Este, por último, al Sur limita con el Territorio de Medio Camino (Talcahuano, 2016). Higueras se encuentra limitado para el desplazamiento de personas en situaciones de crisis debido a la presencia de cerros ubicados al Oeste y Este, sumado a la existencia de una extensa red ferroviaria que limita

el sector debido a los escasos pasos habilitados para el cruce de peatones (Talcahuano, 2016).

A continuación, la Figura 5-1 presenta la vista en plata del sector de estudio, descrito en los párrafos anteriores.

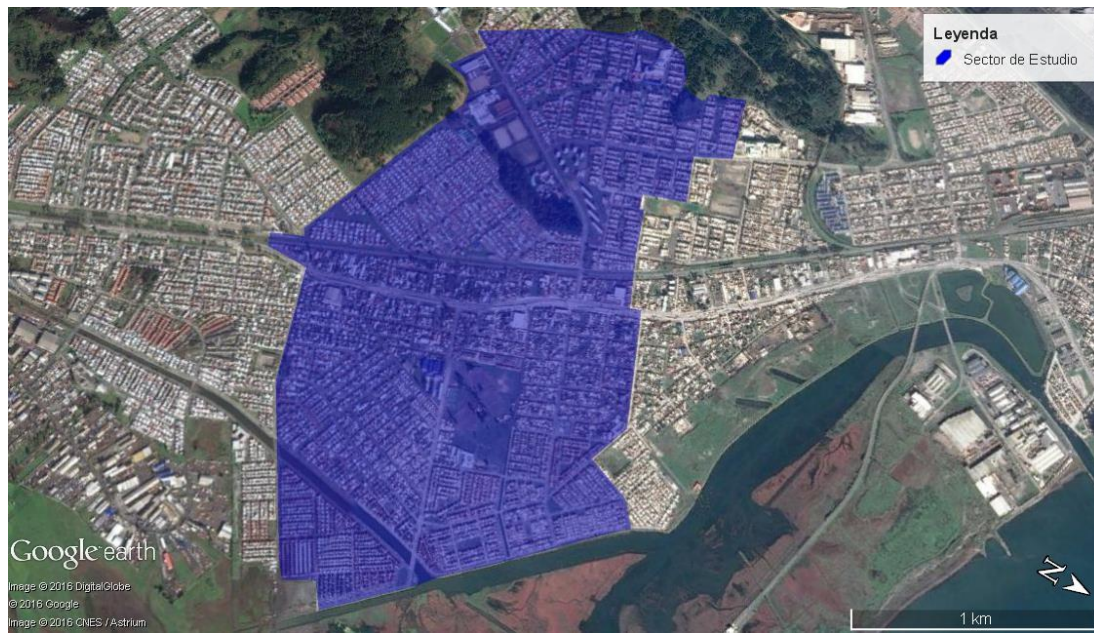


Figura 5-1 Sector de estudio. Elaboración propia

5.2.2 DEFINICIÓN DE ESCENARIO DE DESASTRE

De acuerdo a los antecedentes que se presentan en el Anexo B, Talcahuano está ubicado en una zona donde han ocurrido y seguirán ocurriendo grandes terremotos tsunamigénicos que ponen en riesgo la vida de las personas. La Tabla 5-6 presenta los eventos tsunamigénicos que han afectado la ciudad, por lo tanto, es muy importante estar preparados para la ocurrencia de eventos de igual o más magnitud. Teniendo en cuenta el comportamiento de los terremotos por subducción en Chile, a continuación se presenta la definición de escenario de amenaza asumido por el autor del presente informe.

- Ocurrencia de al menos un terremoto de subducción con magnitud mayor o igual a 8.0 Mw, que provocaría un tsunami de campo cercano que llegaría a la costa en menos de 12 minutos, como lo ocurrido en caleta Totoral tras el terremoto del año 2015 (Aranguiz et al., 2015).

5.2.3 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE OCURRENCIA DE LA AMENAZA

La definición de escenarios se realiza bajo el criterio de estudiar el o los peores contextos, en cuanto a la cantidad de personas en el sector de estudio, ya sea a pie o en automóviles, que se pueden presentar en un momento determinado del año.

5.2.3.1 Talcahuano

Los escenarios definidos para la ciudad de Talcahuano son los siguientes:

| Escenarios | |
|---|----|
| Día laboral en Horario punta | T1 |
| Escenario Nocturno | T2 |
| Día de eventos culturales y deportivos de alta convocatoria | T3 |

Tabla 5-4 Definición de escenarios. Elaboración propia.

El sector bajo análisis tiene una vocación residencial, con un gran número de establecimientos educacionales. Por ello, el escenario de día laboral en horario punta se define debido a que en el sector se contabilizan 15 establecimientos educacionales, además de una avenida y la línea férrea que cruzan el sector a analizar.

El escenario de día de eventos culturales y deportivos de alta convocatoria, se define bajo el criterio de que en las canchas del sector Las Salinas se celebra la fiesta de la chilenidad los días 17, 18 y 19 de septiembre, evento al que concurre gran cantidad de personas. Otro criterio de selección es la presencia del Estadio CAP del Club Deportivo Huachipato, el cual en días de eventos deportivos puede atraer gran cantidad de personas.

Por último el escenario nocturno se selecciona bajo el criterio de poder estudiar el sector principalmente con las personas residentes del área en estudio.

5.2.4 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

La probabilidad de ocurrencia de tsunamis con poder destructivo se vincula al área de ruptura y la magnitud del sismo, entre otros factores (PNUD, 2012a). La investigación sobre tsunamis históricos puede ser de gran ayuda para analizar la frecuencia de ocurrencia de ellos (SHOA, 2014).

A continuación se presenta la escala de probabilidad de ocurrencia para la evaluación de riesgos a utilizar en esta metodología.

| Probabilidad de ocurrencia | Factor (P) |
|---|------------|
| Un evento se produce una vez dentro de los próximos 10 [años] | 5 |
| Un evento se produce una vez dentro de los próximos 10 a 100 [años] | 4 |
| Un evento se produce una vez dentro de los próximos 100 a 500 [años] | 3 |
| Un evento se produce una vez dentro de los próximos 500 a 100[años] | 2 |
| Un evento se produce una vez dentro de los próximos 1000 [años] o más | 1 |

Tabla 5-5 Escala de probabilidad de ocurrencia para la evaluación de riesgos. Reyes (2013).

5.2.4.1 Talcahuano

En la Tabla 3-3 se detallan los terremotos tsunamigénicos que han afectado a Talcahuano a lo largo de su historia, donde se infiere que la ciudad es perjudicada por la amenaza de tsunami, en promedio, cada 63 años.

| AÑO | MAGNITUD [Mw] |
|------------------------|---------------|
| 1570 | 8 |
| 1657 | 8 |
| 1751 | 8.5 |
| 1835 | 8.5 |
| 1939 | 8.3 |
| 1960 | 9.5 |
| 2010 | 8.8 |
| UN EVENTO CADA 63 AÑOS | |

Tabla 5-6 Recopilación de eventos tsunamigénicos en Talcahuano. Elaboración propia.

Con el resultado de la Tabla 5-6 se puede asumir el factor de probabilidad de ocurrencia, para la ciudad en estudio, haciendo uso de la Tabla 5-8. Dado lo anterior, se obtiene que para Talcahuano un evento, como el asumido en la sección 5.2.2, se produce una vez dentro de los próximos 10 a 100 [años] con un factor de probabilidad de ocurrencia (P) igual a 4.

5.3 ESTUDIO DE IMPACTOS

5.3.1 VULNERABILIDADES

A continuación se presenta la sistematización de la vulnerabilidad global para ciudades costeras.



Figura 5-2 Árbol de vulnerabilidades. Modificado de Reyes (2013) y Winckler et al. (2015)

Esta metodología estudia aquellas vulnerabilidades relacionadas con lo humano, específicamente su subnivel denominado “Sufrimiento Humano”. Al igual que Reyes (2013), este informe considera las siguientes vulnerabilidades como componentes del sufrimiento humano:

- HS01: Pérdidas de vidas humanas debido colapso estructural.
- HS02: Personas que necesitan asistencia durante el desastre.
- HS03: Personas atrapadas bajo los escombros.
- HS04: Personas alcanzadas por el tsunami.

A continuación se presenta la sistematización de la vulnerabilidad HS04 realizada por Reyes (2013).

- HS04-01: Población expuesta (OEP) por amenaza de tsunami.
- HS04-02: Consideración del tiempo y/o la temporada en el escenario de riesgos y OEP.
- HS04-03: Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana de tsunamis formales o informales.
- HS04-04: Confiabilidad de la infraestructura de evacuación, la planificación y simulacros.
- HS04-05: Confiabilidad de la estimación de personas alcanzadas por tsunami
- HS04-06: Experiencia de tsunamis anteriores o educación sobre tsunamis.
- HS04-07: Grupos profesionales de rescate de tsunami, equipos, instalaciones, formación, disponibilidad, acceso y/o cobertura.
- HS04-08: Grupos de rescate comunitario de tsunami, equipos, instalaciones, formación, disponibilidad, acceso y/po cobertura.

Esta metodología se enfoca en la vulnerabilidad HS04-04, en lo que concierne a la susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad de la infraestructura de las vías de evacuación horizontal.

Con el uso de escalas cualitativas se logra la evaluación del impacto asociado a la vulnerabilidad HS04-04, de esta forma puede inferirse el factor de impacto de cada

componente del sistema e incorporarla en matrices de riesgo como la presentada en Tabla 5-3 (Winckler et al., 2015). A continuación se presentan las escalas cualitativas de impacto de “susceptibilidad de bloqueo” y “confiabilidad de la vía” utilizadas en las campañas de terreno realizadas en Viña del Mar y Valparaíso, y luego empleada, bajo ciertos criterios en la campaña de caracterización cualitativa de las rutas de evacuación para la ciudad de Talcahuano.

| Escala Cualitativa de Impacto por Susceptibilidad de Bloqueo | |
|--|---|
| No Susceptible | 1 |
| Baja Susceptibilidad | 2 |
| Susceptibilidad Media | 3 |
| Alta Susceptibilidad | 4 |
| Muy Alta Susceptibilidad | 5 |

Tabla 5-7 Escala cualitativa de impacto por susceptibilidad. Elaboración propia.

| Escala Cualitativa de Impacto por Confiabilidad | |
|---|---|
| No Confiable | 5 |
| Baja Confiabilidad | 4 |
| Confiabilidad Media | 3 |
| Alta Confiabilidad | 2 |
| Muy Alta Confiabilidad | 1 |

Tabla 5-8 Escala cualitativa de impacto por confiabilidad. Elaboración propia.

A continuación se presentan los parámetros evaluados mediante la susceptibilidad bloqueo y confiabilidad de las vías de evacuación:

| Susceptibilidad de Bloqueo |
|--|
| Bloqueo por escombros |
| Bloqueo por atochamiento vehicular |
| Bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre |
| Bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros |
| Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos |
| Bloqueo por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva de personas |
| Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano |
| Bloqueo por colapso del tendido eléctrico |

Tabla 5-9 Susceptibilidad de rutas de evacuación. Elaboración propia.

| Confiabilidad de las Vías |
|--|
| Presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas |
| Tiempo de desplazamiento desde la zona inundable hasta el punto de encuentro |
| Ancho útil para desplazamiento |
| Pendiente (pronunciada o suave) |
| Señalética disponible durante el recorrido |
| Evacuación de personas con movilidad reducida |
| Evacuación en escenario nocturno |

Tabla 5-10 Confiabilidad de rutas de evacuación. Elaboración propia.

5.3.2 DIMENSIÓN DE IMPACTOS

A continuación, la Tabla 5-11 presenta una propuesta de matriz que permite dimensionar los impactos que tiene perder seres humanos sobre la ciudad a causa de un desastre por tsunamis. Cabe destacar que al ser solo una propuesta, queda sujeta a las realidades de cada ciudad. El objetivo de dimensionar los impactos es controlar riesgos y de esta forma originar mejoras en materia de gestión de riesgo.

| NIVEL DE IMPACTO | TIPOS DE IMPACTOS | | | |
|------------------|---|---|---|---|
| | PERSONAS | ECONÓMICO FINANCIERO | REPUTACIÓN | LEGAL |
| DESPRECIABLE | Lesiones leves o inconvenientes subjetivos de bajo nivel. No hay víctimas fatales. No requiere atención médica. Tratamiento in situ. 3 o menos personas heridas. Pérdida de tiempo menor a un día. | No se necesita capacitar a nuevos empleados para que se mantengan la producción de bienes y/o servicios. Personal lesionado no necesita ausentarse. Lesiones de sujetos económicamente activos no provocan pérdidas de producción. | Preocupación pública restringida a reclamos locales. Leve interés de medios de prensa. No es necesario hacer esfuerzos adicionales para eliminar mala imagen de la ciudad en el ámbito de seguridad ante tsunamis. Ciudad cuenta con capacidad para atraer y retener personas y/o inversionistas. | Problemas legales de baja importancia. No aplica indemnización. |
| MENOR | Lesiones menores con incapacidades objetivas pero reversibles. No hay víctimas fatales. Requiere atención médica sin hospitalización. Tratamiento fuera del sitio del suceso, nivel atención primaria de urgencia. Entre 4 y 10 personas heridas. Pérdida de tiempo entre 2 y 3 días. | No se necesita capacitar a nuevos empleados para que se mantengan la producción de bienes y/o servicios. Personal lesionado puede ausentarse por breve periodo de tiempo. Lesiones de sujetos económicamente activos no provocan pérdidas de producción. | Atención pública o mediática local adversa y reclamos. Interés limitado en prensa. Mínimo esfuerzo adicional para eliminar mala imagen de la ciudad en el ámbito de seguridad ante tsunamis. Capacidad para atraer y retener personas y/o inversionistas se ve afectada levemente, pero recuperables a corto plazo (6 mes). | Problemas legales menores. Indemnización menor. |
| MODERADO | Lesiones menos graves con incapacidades objetivas, pero reversibles. No hay víctimas fatales. Requiere atención médica con hospitalización e intervenciones quirúrgicas menores. Tratamiento fuera del sitio del suceso, nivel atención primaria de urgencia. Entre 11 y 50 personas heridas. Pérdida de tiempo entre 3 días a 2 semanas | No se necesita capacitar a nuevos empleados para que se mantengan la producción de bienes y/o servicios. Mismo personal contratado puede asumir las responsabilidades por breve periodo de tiempo. Lesiones de sujetos económicamente activos provocan pérdidas con carácter de despreciables o menores en terminos de % de PIB de la ciudad. | Atención pública o mediática a nivel regional y/o alta preocupación por parte de las comunidades locales. Impacto considerable en medios de prensa regionales y menor a nivel nacional. Mesurado esfuerzo adicional para eliminar mala imagen de la ciudad en el ámbito de seguridad ante tsunamis. Capacidad para atraer y retener personas y/o inversionistas se ve afectada llegando a un nivel tolerable, pero recuperables de mediano a largo plazo (mayor a 6 meses menor a 1 año) . | Problemas legales mayores. Indemnizaciones considerables |
| SERIO | Lesiones graves con incapacidades objetivas permanentes (<30% del cuerpo). Menos de 20 víctimas fatales. Requiere atención médica prolongada e intervenciones quirúrgicas mayores. Tratamiento fuera del sitio del suceso, nivel atención secundaria de urgencia. Entre 51 y 100 personas heridas Pérdida de tiempo mayor a dos semanas | Se requiere capacitar a nuevos empleados para que se mantenga la producción de bienes y/o servicios. Fatiga y exceso de trabajo en el personal contratado que asume más responsabilidades. Lesiones y muertes de sujetos económicamente activos provocan pérdidas con carácter de moderado o serio en terminos de % de PIB de la ciudad. | Público a nivel nacional, ONG's reaccionan adversamente. Impacto nacional grave (cobertura mediática adversa extensiva) y menor a nivel internacional. Importante esfuerzo adicional para eliminar mala imagen de la ciudad en el ámbito de evacuación ante tsunamis. Capacidad para atraer y retener personas y/o inversionistas se ven afectadas llegando a un nivel grave pero recuperables a largo plazo (Mayor a 1 año) . | Litigios civiles de importancia. Procesos por incumplimientos criminales con/sin penas de cárcel para quienes resulten responsables. Graves indemnizaciones. |
| SEVERO | Lesiones graves con incapacidades objetivas permanentes (>30% del cuerpo). Más de 20 víctimas fatales. Requiere atención médica prolongada, intervenciones quirúrgicas, cuidados intensivos y requerimientos permanentes de atención médica. Tratamiento fuera del sitio del suceso, nivel atención secundaria de urgencia. Más de 100 personas heridas. Sin retorno. | Se requiere capacitar a nuevos empleados para que se mantenga la producción de bienes y/o servicios. Fatiga y exceso de trabajo en el personal contratado que asume más responsabilidades de forma permanente. Lesiones graves y muertes de sujetos económicamente activos provocan pérdidas de carácter severo en terminos de % de PIB de la ciudad. | Público a nivel internacional, ONG's reaccionan adversamente. Efectos mediáticos mayores a 6 meses a nivel internacional. Esfuerzo adicional para eliminar mala imagen de la ciudad en el ámbito de evacuación ante tsunami no da resultado. Capacidad para atraer y retener personas y/o inversionistas se ven afectadas llegando a un nivel intolerable no recuperables. | Litigios civiles de importancia. Procesos por incumplimientos criminales derivando en penas de cárcel para quienes resulten responsables. Indemnizaciones severas |

Tabla 5-11 Propuesta de matriz de dimensión de impactos. Elaboración propia.

5.3.3 ZONAS EXPUESTAS

5.3.3.1 TALCAHUANO

Para Talcahuano la carta de inundación por tsunami (CITSU) fue elaborada con el modelo de simulación numérica COMCOT ingresando parámetros del evento extremo ocurrido en 1835 y retroalimentada con el suceso del año 2010.



Figura 5-3 Exposición Talcahuano. SHOA

5.3.4 ZONIFICACIÓN PARA ESTUDIOS

5.3.4.1 Criterios para Zonificación

Los criterios a utilizar para la zonificación de la ciudad en estudio son los siguientes:

- Tiempo de arribo a la zona de seguridad.
- Densidad de población.

El detalle de la metodología utilizada para realizar la zonificación con los criterios descritos es especificado en el ANEXO F.

5.3.4.2 Talcahuano



Figura 5-4 Zona de Estudio. Elaboración propia.

Para Talcahuano los sectores a analizar son Las Salinas y Las Higueras. Con los criterios de zonificación, expuestos en el punto anterior, se obtuvieron 6 zonas las cuales fueron subdivididas en 3 subzonas cada una, siguiendo detalladamente la metodología del Anexo F. Las 6 zonas obtenidas se muestran en la Figura 6-1. Figura 6-1 Zonificación Talcahuano por tiempo de arribo a zona segura. Elaboración propia.

6 RECOPIACIÓN DE RESULTADOS

6.1 DEMANDA DE EVACUACIÓN

La demanda de evacuación, tal como se indica en el Anexo F se compone de demanda de evacuación horizontal y demanda de evacuación vertical, considerando a todas las personas que desean evacuar ante la ocurrencia de un tsunami, por lo tanto, considera al total de la población expuesta.

Para el cálculo de demanda de evacuación se utiliza la metodología explicada en el Anexo F. A continuación se aplica para la ciudad de Talcahuano, específicamente para el sector Las Salinas y Las Higueras.

6.1.1 DIVISIÓN POR RANGOS DE TIEMPO DE ARRIBO A ZONA DE SEGURIDAD

Para la zonificación de la ciudad, se utiliza la velocidad promedio de una persona a paso apresurado, mostrada en la Tabla 6-6 , obtenida en la campaña de terreno realizada en la ciudad de Valparaíso y que corresponde a 1.41 [m/s], siendo un valor más conservador en comparación a los 1.50 [m/s], según la Tabla 6-7 obtenidos en Viña del Mar. Con lo anterior, se zonifica la ciudad marcando una intersección cada 5 minutos, por cada vía de evacuación analizada en el Anexo E medido desde la zona de seguridad hacia la zona costera. De esta forma se delimita cada zona como se muestra en la Figura 6-1.

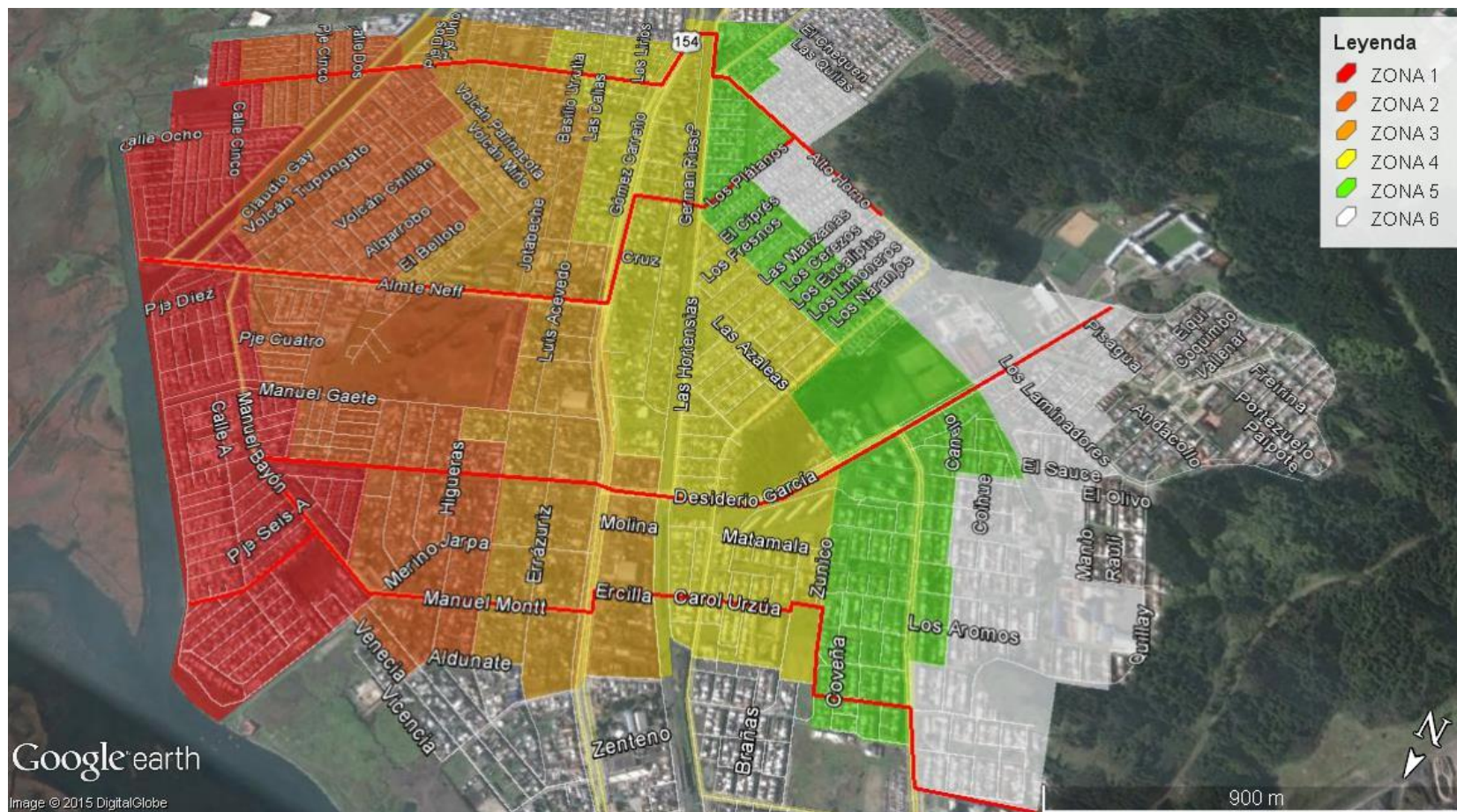


Figura 6-1 Zonificación Talcahuano por tiempo de arribo a zona segura. Elaboración propia.

6.1.2 SUBDIVISIÓN POR DENSIDAD DE POBLACIÓN

Cada zona se dividió en tres subzonas asociadas a una densidad dependiendo del momento de ocurrencia de la amenaza. La densidad de la población se obtiene como indica la metodología expuesta en el Anexo F.

La Tabla 6-1 muestra la distribución de valores que ha sido asumida para caracterizar la población expuesta en tres momentos de ocurrencia de la amenaza.

| DISTRIBUCIÓN DE DENSIDADES EN FUNCIÓN DEL MOMENTO DE OCURRENCIA | | | | |
|---|---------|-------------|----|----|
| MOMENTO DE OCURRENCIA | | Factor [un] | | |
| | | T1 | T2 | T3 |
| ZONA | SUBZONA | | | |
| Z1 | Z1-1 | 1 | 1 | 1 |
| | Z1-2 | 1 | 1 | 1 |
| | Z1-3 | 1 | 1 | 1 |
| Z2 | Z2-1 | 1 | 1 | 1 |
| | Z2-2 | 1 | 1 | 1 |
| | Z2-3 | 1 | 1 | 2 |
| Z3 | Z3-1 | 2 | 1 | 2 |
| | Z3-2 | 2 | 1 | 2 |
| | Z3-3 | 1 | 1 | 2 |
| Z4 | Z4-1 | 2 | 1 | 2 |
| | Z4-2 | 2 | 1 | 2 |
| | Z4-3 | 2 | 1 | 2 |
| Z5 | Z5-1 | 1 | 1 | 2 |
| | Z5-2 | 1 | 1 | 2 |
| | Z5-3 | 1 | 1 | 2 |
| Z6 | Z6-1 | 1 | 1 | 2 |
| | Z6-2 | 1 | 1 | 2 |
| | Z6-3 | 1 | 1 | 2 |

Tabla 6-1 Distribución de densidad definido por momento de ocurrencia de la amenaza.
Elaboración propia.

Dónde:

T_1 : Día laboral en horario peak.

T_2 : Escenario Nocturno.

T_3 : Día de actividades culturales y deportivos.

En el Anexo F se indica que el cálculo de superficie donde se concentra la multitud se debe realizar dependiendo de su aglomeración. En zonas de aglomeración media (Zonas naranjas) y baja (zonas amarillas), como las que se muestran en la Tabla 6-1, se debe medir solamente la superficie en veredas.

Los distintos escenarios reflejados en la tabla anterior, son presentados mediante la utilización del software Google Earth ©, pudiendo de esta forma visualizar la densidad poblacional en los distintos momentos de ocurrencia.

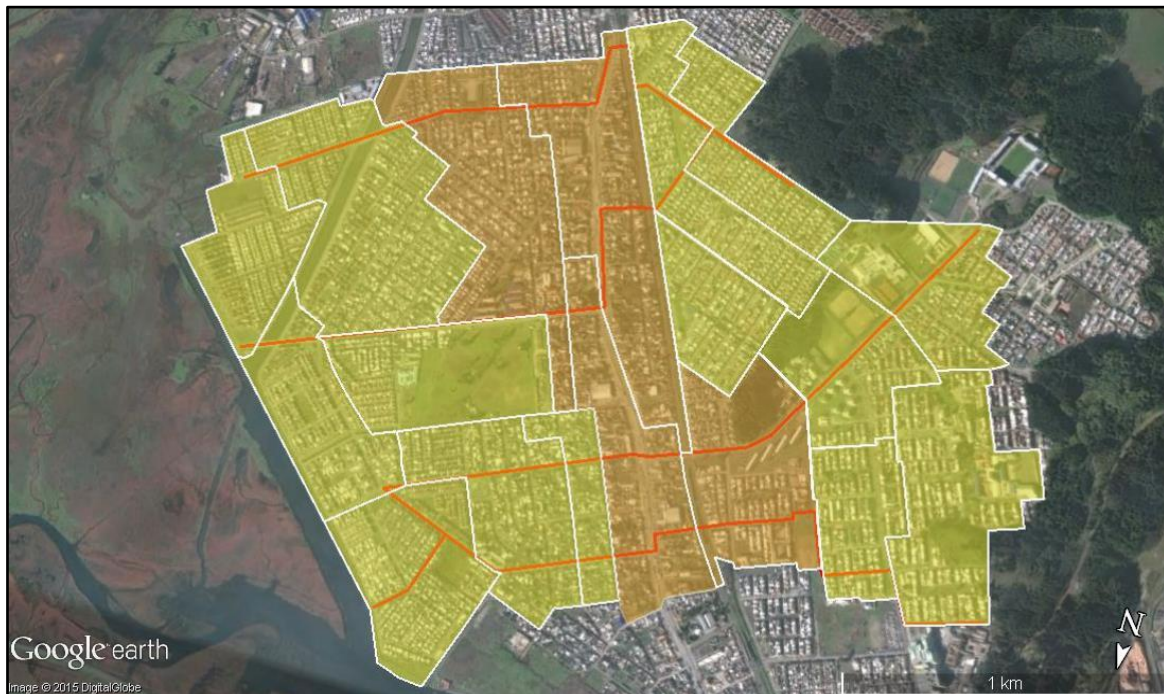


Figura 6-2 Escenario día laboral en horario punta. Elaboración propia.

El escenario de día laboral en horario punta, considera una densidad media en los sectores donde se concentra gran cantidad de establecimientos educacionales, vías principales y la línea férrea entre otros.



Figura 6-3 Escenario nocturno. Elaboración propia.

En el escenario nocturno se estima una baja densidad poblacional, asumiendo que la población presente en la zona de análisis, corresponde en mayor número a los residentes.

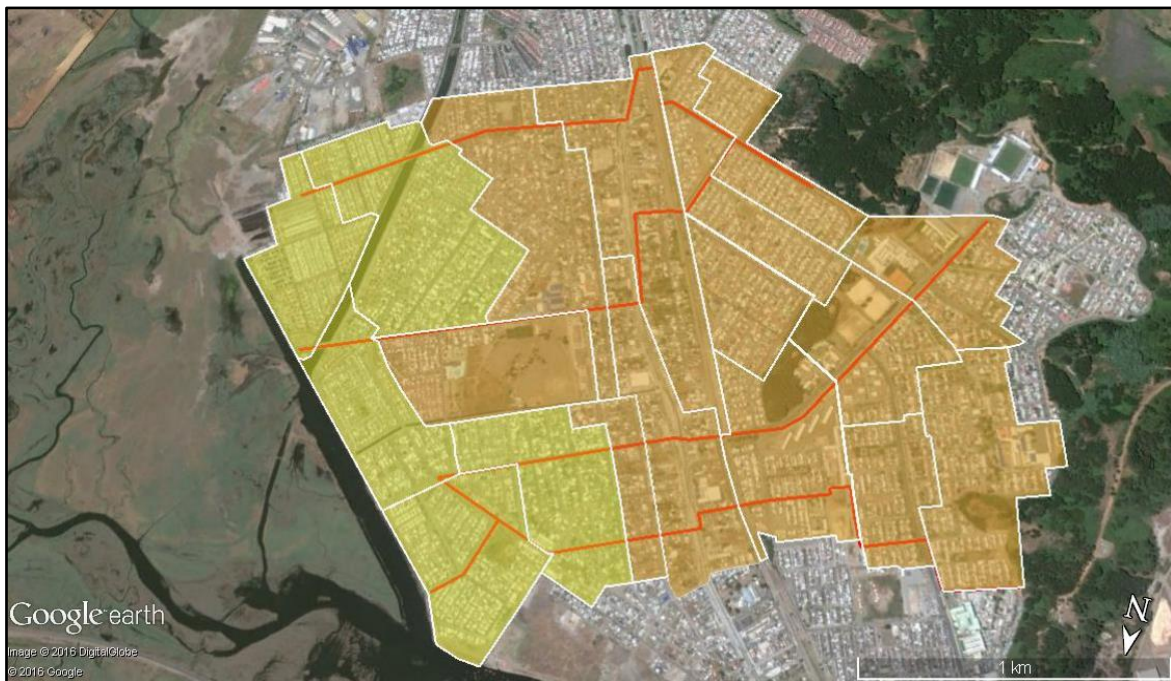


Figura 6-4 Escenario de día de actividades culturales y deportivos

En este escenario se consideraron zonas de densidad media debido a la existencia de un estadio de futbol del equipo local de la ciudad que milita en la primera división del fútbol chileno. Por otro lado, se encuentran el sector Las Canchas de Las Salinas, donde se realiza la fiesta de la chilenidad para la fecha de fiestas patrias.

Cabe destacar que mediante contactos con la Ilustre Municipalidad de Talcahuano, a través de su Dirección de Turismo y Cultura, se ha verificado que el sector analizado no es un sector turístico, más bien corresponde a una zona meramente residencial.

6.1.3 CÁLCULO DE POBLACIÓN EXPUESTA

Para el cálculo de la población expuesta, en primer lugar, se procede a la enumeración de todas las cuadras de la zona expuesta como se muestra a continuación.

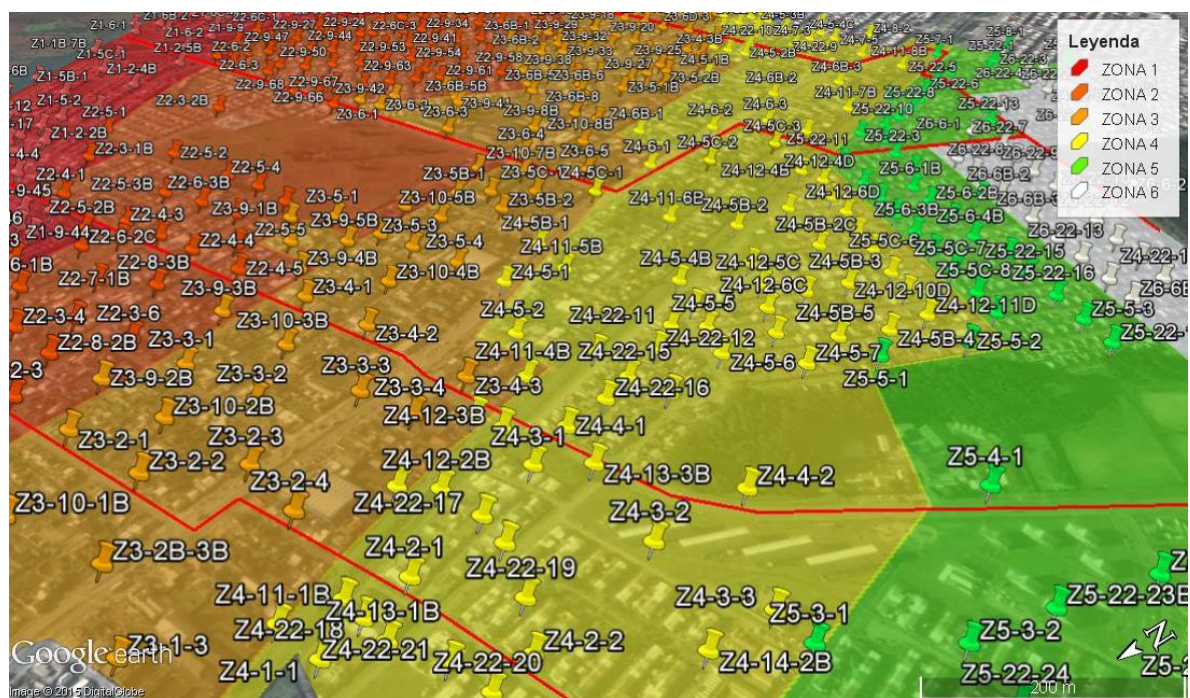



Figura 6-5 Codificación de cuadras de la zona analizada. Elaboración Propia.

Luego con la herramienta Google Street View© se obtiene una fotografía de cada uno de los puntos codificados, con el propósito de utilizar la metodología expuesta en el ANEXO F. A continuación se presenta un ejemplo de la metodología utilizada para medir los anchos efectivos de cada uno de los puntos codificados según muestra la figura anterior.

| | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Código | Z3-4B-5B | | | | | | | | |
| Zona | Z3 | | | | | | | | |
| Calle | 4 | | | | | | | | |
| Cuadra | 5 | | | | | | | | |
| Largo cuadra | 110 | | | | | | | | |



| Ancho Vereda Izq [m] | Ancho árboles izq [m] | Ancho calzada [m] | Ancho árboles der [m] | Ancho Vereda Der [m] | Total | Área Estimada zona | Área Estimada zona | Área Estimada zona roja |
|----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| 2 | 0 | 5 | 0 | 2 | 9 | 440 | 440 | 990 |

Figura 6-6 Anchos efectivos. Elaboración propia.

Con las densidades de las subzonas, para cada escenario definidas en la Tabla 6-1 y con las áreas efectivas para cada subzona, se procede al cálculo de población expuesta, para los momentos de ocurrencia de la amenaza, utilizando la Ecuación 14-1, mostrada en el Anexo F.

| T1 | Sub Zonas | Área Subzonas [m ²] | Densidad [$\frac{per}{m^2}$] | Número de Personas [per] |
|--------|-----------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Zona 1 | Z1-1 | 72273 | 0.026 | 1884 |
| | Z1-2 | | | |
| | Z1-3 | | | |
| Zona 2 | Z2-1 | 37638.8 | 0.026 | 981 |
| | Z2-2 | | | |
| | Z2-3 | | | |
| Zona 3 | Z3-1 | 37586.7 | 0.052 | 1959 |
| | Z3-2 | | | |
| | Z3-3 | 7087.6 | 0.026 | 185 |
| Zona 4 | Z4-1 | 29187.5 | 0.052 | 1521 |
| | Z4-2 | | | |
| | Z4-3 | 9774.5 | 0.026 | 255 |
| Zona 5 | Z5-1 | 29396.9 | 0.026 | 766 |
| | Z5-2 | | | |
| | Z5-3 | | | |
| Zona 6 | Z6-1 | 39956.6 | 0.026 | 1041 |
| | Z6-2 | | | |
| | Z6-3 | | | |
| | | | | Total [per] |
| | | | | 8592 |

Tabla 6-2 Escenario de día laboral en horario punta. Elaboración propia.

La tabla anterior indica que la población expuesta en un día laboral en horario punta es de un total de 8592 personas.

| T2 | SubZonas | Área Subzonas [m ²] | Densidad [$\frac{per.}{m^2}$] | Número de Personas [per] |
|--------------------|----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Zona 1 | Z1-1 | 72273 | 0.026 | 1884 |
| | Z1-2 | | | |
| | Z1-3 | | | |
| Zona 2 | Z2-1 | 37638.8 | 0.026 | 981 |
| | Z2-2 | | | |
| | Z2-3 | | | |
| Zona 3 | Z3-1 | 44674.3 | 0.026 | 1164 |
| | Z3-2 | | | |
| | Z3-3 | | | |
| Zona 4 | Z4-1 | 38962 | 0.026 | 1015 |
| | Z4-2 | | | |
| | Z4-3 | | | |
| Zona 5 | Z5-1 | 29396.9 | 0.026 | 766 |
| | Z5-2 | | | |
| | Z5-3 | | | |
| Zona 6 | Z6-1 | 39956.6 | 0.026 | 1041 |
| | Z6-2 | | | |
| | Z6-3 | | | |
| Total [per] | | | | 6852 |

Tabla 6-3 Escenario nocturno. Elaboración propia

Este escenario cuenta con 6852 personas que podrían encontrarse en el área disponible calculada.

| T3 | Sub Zonas | Área Subzonas [m ²] | Densidad [$\frac{per}{m^2}$] | Número de Personas [per] |
|--------|-----------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Zona 1 | Z1-1 | 72273 | 0.026 | 1884 |
| | Z1-2 | | | |
| | Z1-3 | | | |
| Zona 2 | Z2-1 | 34976.75 | 0.026062993 | 912 |
| | Z2-2 | | | |
| | Z2-3 | 2662 | 0.052125986 | 139 |
| Zona 3 | Z3-1 | 44674.3 | 0.052125986 | 2329 |
| | Z3-2 | | | |
| | Z3-3 | | | |
| Zona 4 | Z4-1 | 38962 | 0.052125986 | 2031 |
| | Z4-2 | | | |
| | Z4-3 | | | |
| Zona 5 | Z5-1 | 29396.9 | 0.052125986 | 1532 |
| | Z5-2 | | | |
| | Z5-3 | | | |
| Zona 6 | Z6-1 | 39956.6 | 0.052125986 | 2083 |
| | Z6-2 | | | |
| | Z6-3 | | | |
| | | | | Total [per] |
| | | | | 10909 |

Tabla 6-4 Escenario de día de eventos culturales y deportivos de alta convocatoria.

El escenario de eventos culturales y deportivos de alta convocatoria tiene un total de 10909 personas. Al igual que el escenario 1, el área calculada para este escenario es un área disponible para contener la cantidad total de personas mostradas en la Tabla 6-4, en otras palabras esto indica que la cantidad de personas calculadas no se encuentran cada vez que ocurra este escenario, pero que se tiene el área necesaria para que se acumule tal cantidad de personas en las calles del sector en estudio.

Con el cálculo de población expuesta ya realizado, se procede a realizar la composición de demanda de evacuación.

6.1.4 COMPOSICION DE DEMANDA EVACUACIÓN

Como se indica en el Anexo F, para la población de adultos mayores y personas con discapacidad, se considera la velocidad promedio de 0,89[m/s] que propone la FEMA debido a que presentan una velocidad de desplazamiento notoriamente inferior a las personas que evacúan a paso acelerado.

Según se señala en el Anexo F, actualmente, 1 de cada 7 personas pertenece al rango de población de adulto mayor; por otro lado 1 de cada 8 personas presenta algún tipo de

discapacidad; este porcentaje de la población, debido a los altos tiempos de arribo a las zonas seguras, no podría realizar una exitosa evacuación horizontal; por ello el criterio para definir los sectores donde se concentra la demanda de EV es dicha distancia máxima medida desde la línea de costa hacia el continente, y desde el límite de la zona de seguridad hacia la costa. Por lo tanto, la distancia máxima que podrían recorrer personas a velocidad reducida, considerando un tiempo de arribo del tsunami de 10 minutos, es de 534 metros. Con el valor anterior se zonifica el sector en estudio realizando una marcación cada 10 minutos o 534 metros medidos desde la zona costera hacia la zona de seguridad, de esta forma quedan definidos los puntos donde debería existir evacuación vertical (puntos de color rojo).

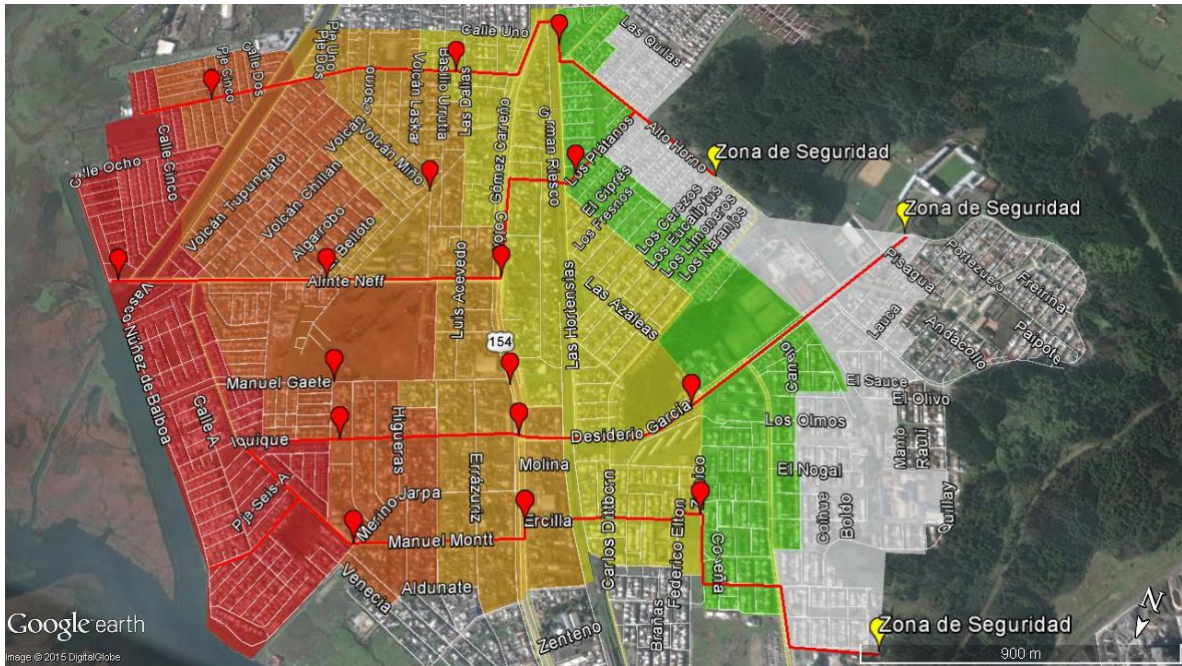


Figura 6-7 Disposición de puntos de evacuación vertical. Elaboración Propia.

Es importante mencionar que para las vías Guillermo Soza y Almirante Neff, se ubicaron puntos de evacuación vertical antes del cruce del canal Ifarle, debido a que ante un evento sísmico, los puentes podrían colapsar y aislar a los habitantes.

Para cada escenario asumido anteriormente, se calcula la cantidad de personas que necesitan evacuación vertical, que para efectos de este estudio se compone de personas adultas mayores y personas que presentan alguna capacidad diferente.

| Momento de ocurrencia | Total [per] | Discapacidad [per] | Adulto Mayor [per] | Total EV. [per] |
|--|-------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Día laboral en Horario punta | 8592 | 1074 | 1227 | 2301 |
| Escenario Nocturno | 6852 | 857 | 979 | 1836 |
| Día de eventos culturales y deportivos | 10909 | 1364 | 1558 | 2922 |

Tabla 6-5 Personas que requieren de evacuación vertical. Elaboración propia.

6.1.5 CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA Y DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL

6.1.5.1 Definición de la oferta de evacuación horizontal en Talcahuano.

El análisis que a continuación se efectúa, se realiza mediante la medición de aspectos cualitativos fundamentales de las rutas de evacuación. Se propone evaluar la calidad de las vías mediante dos aspectos complementarios, la susceptibilidad de bloqueo y confiabilidad. Estos conceptos permiten evidenciar los puntos fuertes y débiles de las rutas frente al desarrollo de desastres por tsunamis. En los próximos párrafos se entra en más detalle respecto a estos dos aspectos.

Es importante señalar, que este método fue aplicado y verificado en las ciudades de Viña del Mar y Valparaíso, con la colaboración de 20 alumnos de la carrera Ingeniería Civil Oceánica y el profesor guía del proyecto. El trabajo se realizó con la definición de 5 grupos de 4 personas que recorrieron las vías asignadas, donde dos personas representaron a personas sin discapacidad, una persona con discapacidad y un lazarillo. Luego se ejecutó el recorrido de vuelta con la finalidad de realizar observaciones y de rellenar la ficha presentada en el Anexo D.

Luego de verificar el análisis, se aplica en la ciudad objetivo del presente informe. Es importante destacar que el recorrido en Talcahuano fue realizado mediante la herramienta Google Street View ©, y fue realizado solo por el autor del documento. En Talcahuano las rutas de evacuación analizadas fueron las que comienzan en las calles (desde la costa), Manuel Bayón, Almirante Neff, Guillermo Soza, Hernán Merino Correa, ubicadas en el sector Las Salinas de la ciudad. Cabe destacar, que el criterio de elección de estas rutas fue debido a que en su mayoría, presentan distancias considerables entre la costa y las zonas de seguridad.

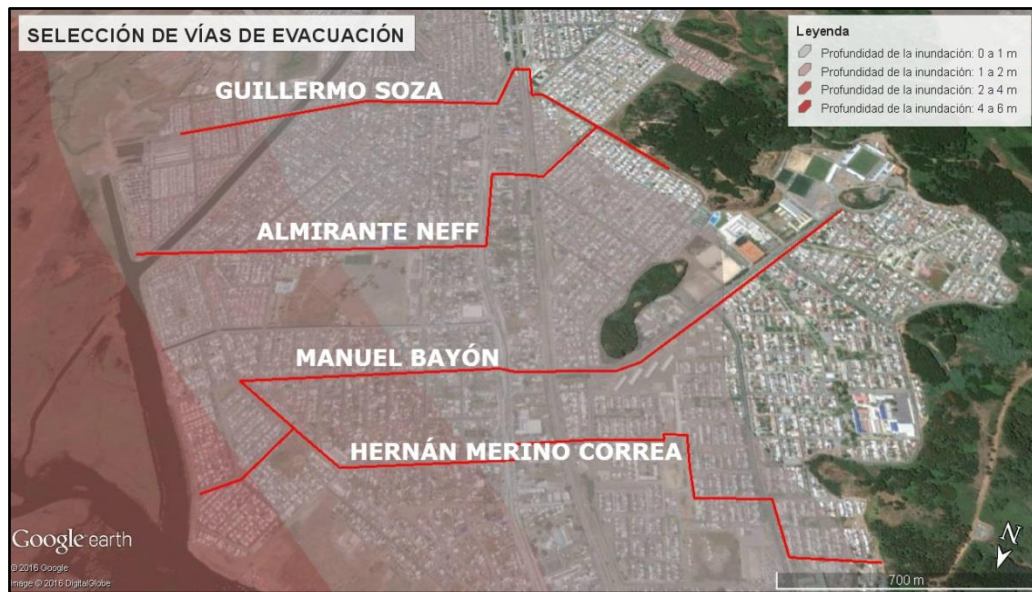


Figura 6-8 Vías de evacuación seleccionadas. Elaboración Propia.

| Vías | Distancia [m] | Velocidad de desplazamiento [m/s] | |
|----------------|---------------|-----------------------------------|--------------------|
| | | Paso apresurado | Movilidad reducida |
| Calle 2 Norte | 2870 | 1.48 | 1.37 |
| Calle 4 Norte | 2559 | 1.44 | 1.25 |
| Calle 6 Norte | 2243 | 1.50 | 1.44 |
| Calle 8 Norte | 1998 | 1.47 | 0.93 |
| Calle 10 Norte | 1556 | 1.61 | 1.38 |
| | | 1.50 | 1.27 |

Tabla 6-6 Análisis vías de evacuación ciudad Viña de Mar. Elaboración propia.

| Vías | Distancia [m] | Velocidad de desplazamiento [m/s] | |
|-----------|---------------|-----------------------------------|--------------------|
| | | Paso apresurado | Movilidad reducida |
| Ecuador | 520 | 1.59 | 1.13 |
| Edwards | 620 | 1.59 | 0.83 |
| Francia | 1200 | 1.84 | 1.48 |
| Rodríguez | 720 | 0.92 | 0.67 |
| Uruguay | 820 | 1.11 | 0.83 |
| | | 1.41 | 0.99 |

Tabla 6-7 Análisis vías de evacuación ciudad Valparaíso. Elaboración propia.

Luego con el promedio de las velocidades de desplazamiento de paso apresurado de cada ciudad (Viña del Mar y Valparaíso), se obtiene el tiempo de desplazamiento para cada vía analizada de Talcahuano. Antes de lo mencionado, se realiza una medición de distancia que abarca la línea férrea y la calle Gomez Carreño, que para motivos de este análisis se considera que tienen características similares a las rutas de Valparaíso, principalmente por el estrechamiento ocasionado por la línea férrea y obstáculos a lo largo del tramo mencionado, el resto de la vía se calcula utilizando la velocidad obtenida en la ciudad de Viña del mar.

tiempo para cada tramo, que sumados da como resultado el tiempo total que se demora en recorrer la ruta una persona a paso apresurado hasta alcanzar la zona segura.

Para las personas con movilidad reducida, se utiliza el tiempo que indica la literatura. FEMA (2009) señala que una persona con movilidad reducida se desplaza a una velocidad de 0.89 [m/s]. De esta forma se utiliza un criterio conservador para poder caracterizar los tiempos promedios de desplazamiento, de este porcentaje de la población, a lo largo de las vías de evacuación horizontal hasta alcanzar la zona de seguridad.

| Vías | Distancia [m] | Velocidad Movilidad Reducida según FEMA [m/s] | Tiempo de desplazamiento [Min] |
|----------------------|---------------|---|--------------------------------|
| Manuel Bayón | 2448 | 0.89 | 45:51 |
| Almirante Neff | 2328 | 0.89 | 43:36 |
| Guillermo Soza | 2221 | 0.89 | 41:36 |
| Hernán Merino Correa | 2443 | 0.89 | 45:45 |

Tabla 6-9 Análisis vías de evacuación de Talcahuano, movilidad reducida. Elaboración propia.

Como se observa en las Tablas 6-8 y 6-9, los tiempos de desplazamiento con ambas velocidades, paso apresurado y movilidad reducida, son bastantes extensos, tomando mayor relevancia los tiempos de una persona con movilidad reducida, que en su mayoría superan los 30 minutos. Lo mencionado anteriormente, se justifica en que las rutas analizadas se ubican en una zona con poca pendiente, lo que trae por consecuencia una mayor distancia desde los sectores costeros hasta alcanzar la cota 30 recomendada por el SHOA, que sumado a los distintos obstáculos que se encuentran en las rutas, pone en riesgo la seguridad de los ciudadanos ante la ocurrencia de un tsunami.

6.1.5.2 Resultados generales de las vías de evacuación horizontal ante tsunami

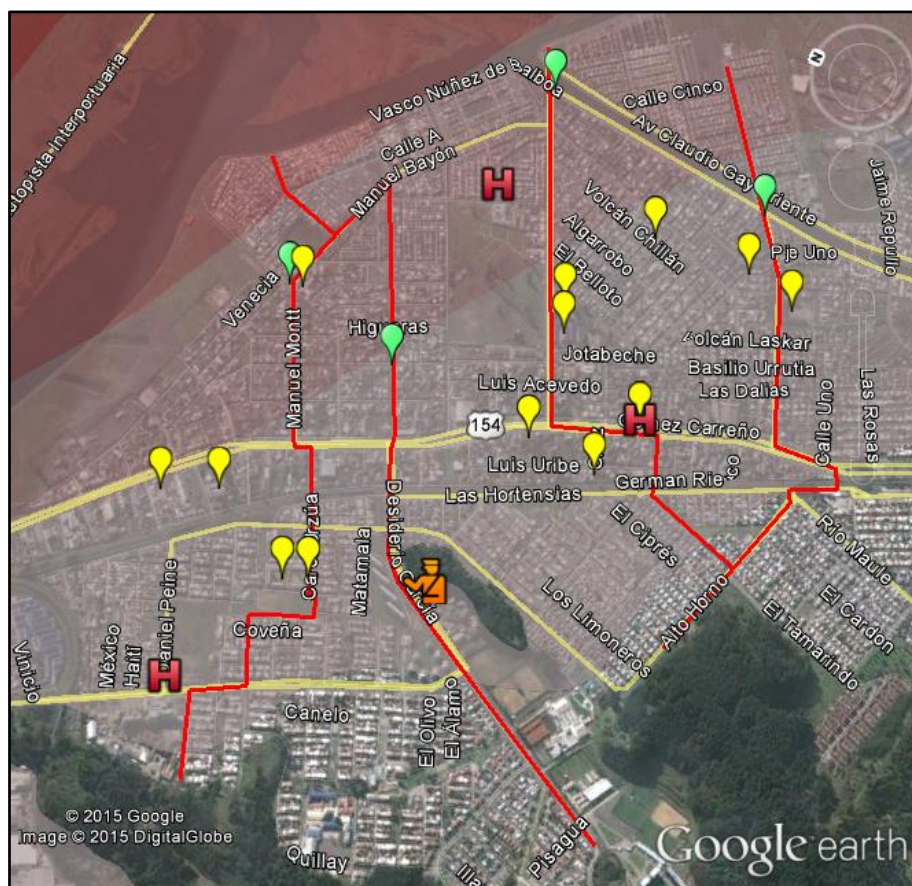


Figura 6-11 Trazado vías de evacuación analizadas en Talcahuano. Elaboración propia.

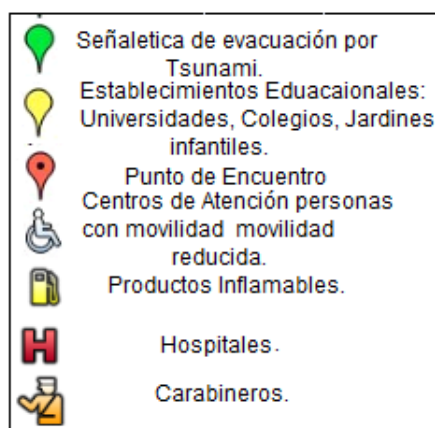


Figura 6-12 Simbología

De la Figura 6-11 se desprende que existe una gran deficiencia en cuanto a la señalética disponible para informar los recorridos necesarios para la evacuación de las personas en caso de ocurrencia de un tsunami, esto se sustenta recorriendo las vías con la herramienta Google Street View ©, donde se contabiliza un total de cuatro señaléticas que indican por donde evacuar.

Es importante destacar que todas las vías evaluadas son intersectadas por una línea férrea, que conecta Hualqui y Talcahuano, produciendo estrechamientos en sectores específicos necesarios para poder cruzar y continuar por la ruta de evacuación. Existen trece establecimientos educacionales en la zona analizada, que por lo demás es un área inundable, que en su mayoría obligadamente tienen que cruzar por la línea férrea para evacuar, pudiendo de esta forma causar atochamientos en los estrechamientos de las vías en sectores de cruce de la línea férrea.



Figura 6-13 Cruce línea férrea vía Guillermo Soza. Elaboración propia sobre imagen de Google Street View©.



Figura 6-14 Cruce línea férrea vía Almirante Neff. Elaboración propia sobre imagen de Google Street View©.



Figura 6-15 Cruce línea férrea vía Manuel Bayón. Elaboración propia sobre imagen de Google Street View©.

Por otro lado, tres hospitales se encuentran en zona inundable, dos de ellos ubicados antes de la línea férrea, donde personas con movilidad reducida pueden ver afectado su

desplazamiento por razones de estrechamientos de las vías y obstáculos que se oponen a su trayectoria, entre otras consecuencias. El tercero, si bien se ubica en sector inundable, se encuentra cercano a la zona de seguridad de la ruta.

6.1.6 BALANCE DE OFERTA Y DEMANDA DE EVACUACIÓN HORIZONTAL

El balance de oferta y demanda de las vías de evacuación horizontal puede realizarse mediante métodos cuantitativos y cualitativos. Este proyecto, considera el procedimiento cualitativo, debido a las incertezas que existen en relación a las densidades sectoriales en las ciudades, asimismo los métodos cuantitativos pueden no tomar en cuenta sucesos que podrían presentarse en las vías en escenarios de desastre.

De esta manera, la utilización de métodos cualitativos apunta a caracterizar las vías de evacuación, mediante factores y propiedades que con un análisis cuantitativo no son representables, o bien resultaría en extremo compleja su cuantificación.

6.1.6.1 Análisis de vías de evacuación horizontal en Talcahuano

En cuanto a los resultados entregados por el Proceso de Análisis Jerárquico, donde sus aspectos generales se encuentran definidos en la sección 3.2, aplicados a los criterios usados en las fichas de registros expuestas en el Anexo D, se identifican los tres factores más influyentes a partir de la Tabla 6-10. Bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre, Bloqueo por atochamiento de personas en horarios peak o afluencia masiva de personas y Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos en la vía, con un 31,1%, 21,4% y 14,5% respectivamente. Por lo tanto, es importante trabajar con mayor énfasis en estos aspectos.

| | 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 |

Tabla 6-10 Ponderación mediante AHP – Susceptibilidad de bloqueo. Elaboración Propia.

Por otro lado, en cuanto a la confiabilidad de las vías los factores con mayor ponderación y por ende a los que hay que poner mayor atención en lo que respecta a su evaluación, corresponden al Tiempo de desplazamiento desde la zona de inundación a la zona de seguridad de la vía, Señalética disponible durante el recorrido de la vía y ancho útil de la vía de evacuación con un 44.6%, 15.5% y 11.2%, respectivamente.

| | 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 |

Tabla 6-11 Ponderación mediante AHP – Confiabilidad de las vías. Elaboración Propia.

Una vez realizado el recorrido por la ciudad de Talcahuano a través de la herramienta Google Street View ©, se procede a rellenar las fichas de registros mostradas en el ANEXO D. Estas fichas evalúan la susceptibilidad y confiabilidad de las vías de evacuación horizontal. Estos términos están íntegramente relacionados entre sí, debido a que si una vía es susceptible, por ejemplo, a ser bloqueada por algún tipo de elemento que impida el libre flujo de personas, es menos confiable, por lo tanto, la gente tiene que buscar distintas alternativas para poner a salvo sus vidas.

En el presente estudio, se proponen dos escalas cualitativas para caracterizar la susceptibilidad de bloqueo y la confiabilidad de las vías de evacuación horizontal.

| Escala Cualitativa de Impacto por Susceptibilidad | |
|---|---|
| No Susceptible | 1 |
| Baja Susceptibilidad | 2 |
| Susceptibilidad Media | 3 |
| Alta Susceptibilidad | 4 |
| Muy Alta Susceptibilidad | 5 |

Tabla 6-12 Escala de susceptibilidad de bloqueo. Elaboración propia.

| Escala Cualitativa de Impacto por Confiabilidad | |
|---|---|
| No Confiable | 5 |
| Baja Confiabilidad | 4 |
| Confiabilidad Media | 3 |
| Alta Confiabilidad | 2 |
| Muy Alta Confiabilidad | 1 |

Tabla 6-13 Escala de confiabilidad de las vías. Elaboración Propia.

Los parámetros evaluados con las escalas recién expuestas se exhiben en la ficha de registro (revisar ANEXO D). Los resultados se presentan utilizando gráficos de radar, con el propósito de evidenciar de mejor forma los aspectos donde las rutas son más débiles. A continuación se presentan los promedios de los resultados obtenidos. Los detalles específicos de las rutas se encuentran en el Anexo E.

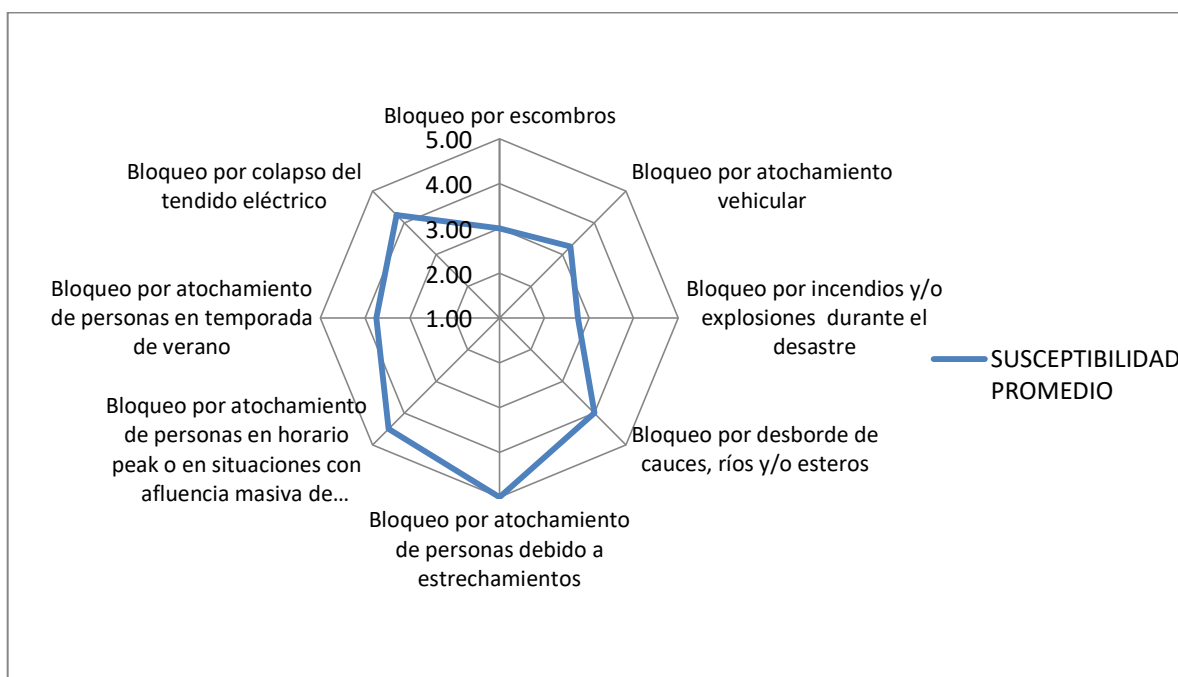


Gráfico 6-1 Susceptibilidad promedio de las vías de evacuación horizontal. Elaboración Propia.

El punto con mayor susceptibilidad es el bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos en las vías de evacuación de Talcahuano. Esto se explica, al igual que el bloqueo de personas y en horario peak, a que todas las rutas son perpendiculares a una línea férrea que cruza todo el sector en estudio con orientación Norte-Sur, por lo tanto, los cruces peatonales con los que cuenta dicho obstáculo son bastante estrechos, lo que complica la movilidad de una persona en silla de ruedas en situación de caos.

Las vías son susceptibles a ser bloqueadas por tendido eléctrico, ya que, se observan torres de alta y mediana tensión, las cuales en situación de desastres pueden ser un gran obstáculo para la libre evacuación de personas

La existencia de cursos de aguas al inicio de las rutas de evacuación, las hace susceptible al bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros y con ello pone en peligro una evacuación exitosa de las personas.

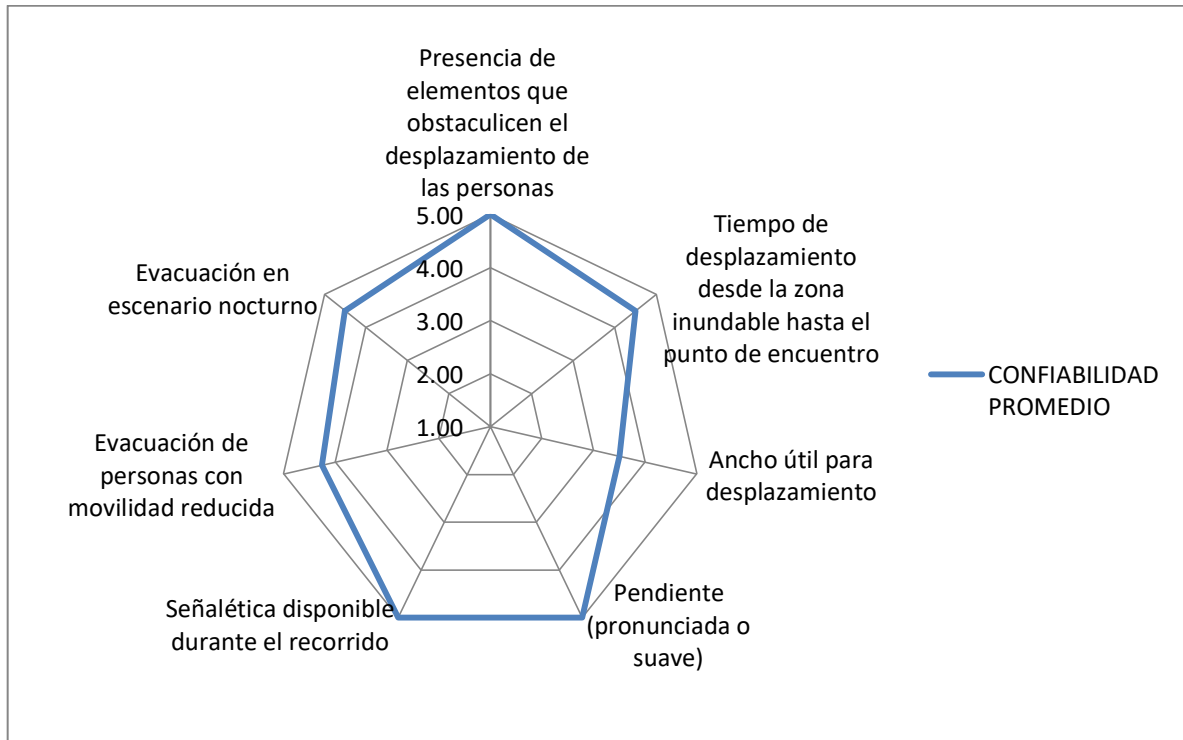


Gráfico 6-2 Confiabilidad promedio de las vías de evacuación horizontal. Elaboración Propia

La presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas, como la línea férrea, hacen a la vía muy poco confiable. Lo anterior, no permite que la evacuación de personas con movilidad reducida sea de forma fluida, entre otros elementos. La evacuación en escenario nocturno no es confiable, ya que, algunas rutas pasan por sitios eriazos o canchas de fútbol, que no cuentan con iluminación.

Por otra parte el tiempo de desplazamiento desde la zona inundable hasta el punto de encuentro está ligado a la pendiente de la vía de evacuación, ya que, al tener pendiente suave, las rutas son más extensas, por lo tanto, los tiempos para alcanzar la zona segura son mayores y como resultado la confiabilidad disminuye.

Como se indica en la Figura 6-11, el sector en análisis cuenta con muy poca señalética disponible, lo que causa gran confusión entre las personas que requieren evacuación. Cabe destacar que el análisis de las rutas, como se dijo anteriormente, se realizó con Google Street View ©, donde las imágenes con las que se contaba era de los años 2012 al 2015 dependiendo de la zona, por lo tanto, existe la posibilidad que hoy en día exista mayor número de señalética debido, eventualmente, al mejoramiento continuo en materia de gestión del riesgo en Talcahuano

Es importante destacar que un análisis más detallado se encuentra ANEXO E. Finalmente a modo de concluir el análisis de las vías de evacuación de Talcahuano, es importante señalar que el mapa de las rutas de evacuación que se obtiene desde la página de ONEMI⁵, es una versión del año 2013 desactualizada, a la fecha que se escribe este documento, por lo tanto, las rutas utilizadas en el presente informe son las indicadas en el sitio web del Departamento de Gestión del Riesgo de la Ilustre Municipalidad de Talcahuano⁶, las cuales han sido actualizadas en noviembre del año 2014, gracias al último simulacro realizado en la ciudad. Lo anterior, más que una debilidad, a criterio del autor de este documento, es una fortaleza, debido a que demuestra el trabajo de las autoridades locales con los habitantes de la ciudad, sabiendo de forma directa las debilidades, fortalezas y características de la ciudad y las personas y con ello tomar mejores decisiones.

⁵ <http://www.onemi.cl/wp-content/uploads/2014/05/TALCAHUANO.pdf>

⁶ <http://deptoriesgo.aeurus.cl>

⁷ Subsidiaridad: Tendencia favorable a una participación meramente subsidiaria del Estado en apoyo de las actividades privadas o comunitarias.

6.2 EVACUACIÓN VERTICAL

6.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL EN TALCAHUANO.

En el sector de estudio, la oferta de evacuación vertical es nula para quienes la evacuación horizontal se les torne dificultosa, y/o el tiempo de evacuación para llegar a la zona de seguridad sea mayor 15 [min], ya que no existen estructuras con 8 pisos o más como lo recomienda la ONEMI para ser utilizados como refugio.

6.2.2 DEFINICIÓN DE OFERTA DE EVACUACIÓN VERTICAL

Sabiendo que la oferta de evacuación vertical es nula en el sector de estudio, no es posible aplicar la metodología correspondiente para la definición de la oferta de evacuación vertical desarrollada en el Anexo G.

6.2.3 BALANCE DE OFERTA Y DEMANDA DE EVACUACIÓN VERTICAL

En el punto 6.1.4 se detallan los resultados de la cantidad de personas con discapacidad y adultos mayores presentes en la zona de estudio, donde el valor varía dependiendo del escenario. Hoy en día, estas personas no cuentan con alternativas de evacuación vertical que les permitan alcanzar zonas de seguridad en el menor tiempo posible, debido a la inexistencia de estas en el área de interés del proyecto.

Es por lo anterior, que a continuación se pasan a detallar estructuras que a nivel internacional han sido diseñadas y construidas para ser utilizadas como vía de evacuación vertical ante tsunamis y que podrían, eventualmente, ser una alternativa en los puntos definidos en la Figura 6-7.

6.2.4 EJEMPLOS DE ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL

Unos de los países con mayor desarrollo en estructuras de desalojo vertical es Japón (FEMA, 2009). Las estructuras que a continuación se presentan, fueron diseñadas y construidas en el país nipón, con el propósito de ser una vía de evacuación vertical ante tsunami y a la vez un refugio para sobrevivir el mayor tiempo posible.



Figura 6-16 Torre Tasukaru, Japón. FEMA (2009)

La Torre Tasukaru o Torre de Salvar Vidas, es una estructura simple y económica que ofrece refugio en altura de manera temporal; posee una altura de 5.8 [m] desde el suelo y una separación de 5.4 [m] entre los postes de soporte, tiene la capacidad de albergar 50 personas (FEMA, 2009).

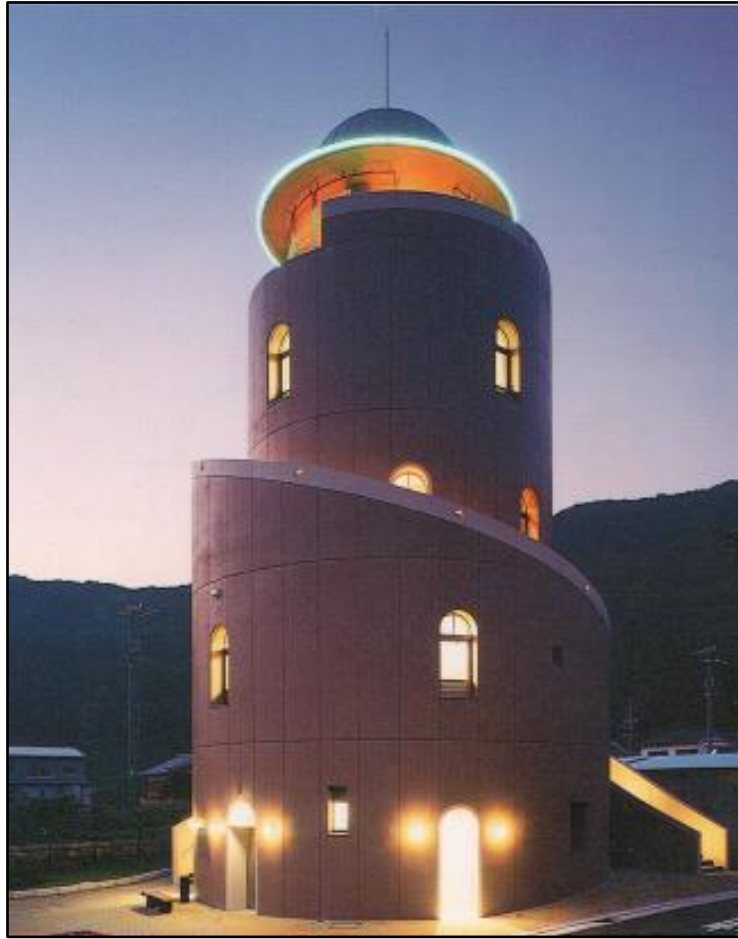


Figura 6-17 Torre Nishiki, Japón. FEMA (2009).

Torre Nishiki, construida en el pueblo de Kise, Japón, es una estructura de 22 [m] de altura, tiene 22 [m] de altura y cuenta con una escalera en espiral en el exterior; diseñada específicamente como refugio vertical de tsunam pero es utilizada para otros propósitos en días normales; cuenta con baños públicos en el primer nivel, salas de reuniones en el segundo, el tercer nivel tiene una biblioteca de archivos de desastres naturales y para finalizar el cuarto y quinto nivel cuenta con 72 [m²] de espacio para ser utilizado como refugio para los evacuados (FEMA, 2009)



Figura 6-18 Refugio Elevado en Shirahama Beach Resort. FEMA (2009)

El Refugio Elevado en Shirahama Beach Resort está diseñado para acomodar 700 refugiados en un área de 700 [m²]; la elevación de inundación de diseño es de 7.5 [m], basada en la información histórica del Terremoto de Ansei-Tokai de 1854 (M 8.4) y el tsunami resultante; con un francobordo planificado de 4 metros, la plataforma de desalojo está a una altura de 11.5 [m] (FEMA, 2009).

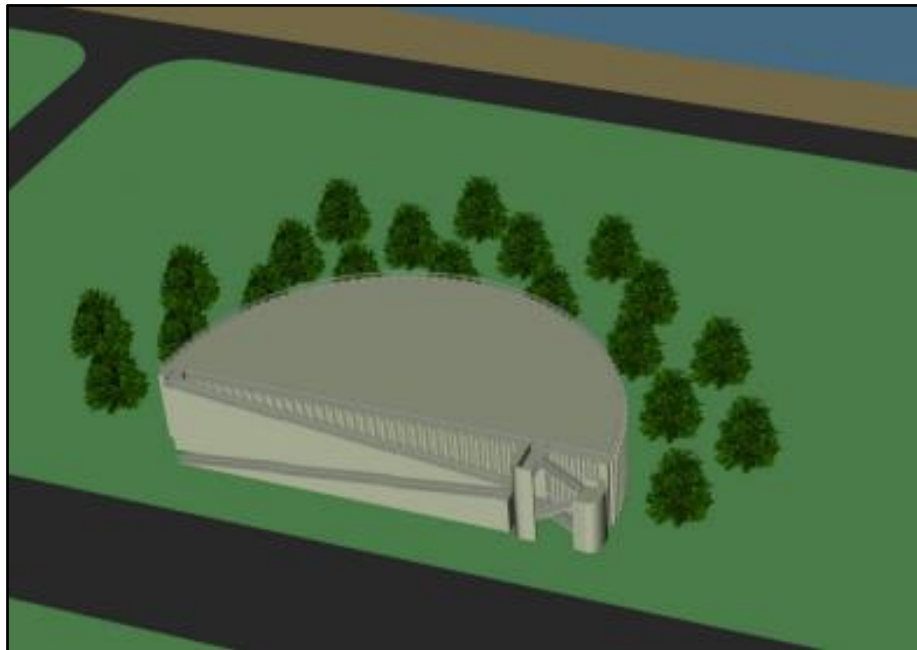


Figura 6-19 Diseño de berma de escape. FEMA (2009)

El diseño de la berma de escape, presentado en la Figura 6-19, tiene una configuración semicircular para ayudar a desviar las aguas del tsunami y los posibles escombros en el agua. El área elevada tiene más de 2880 [m²], y puede acomodar 3000 evacuados a 0.92 [m²] por persona. Hay suficiente espacio en el área elevada para acomodar una estación de descanso que puede utilizarse diariamente con propósitos recreativos (FEMA, 2009).

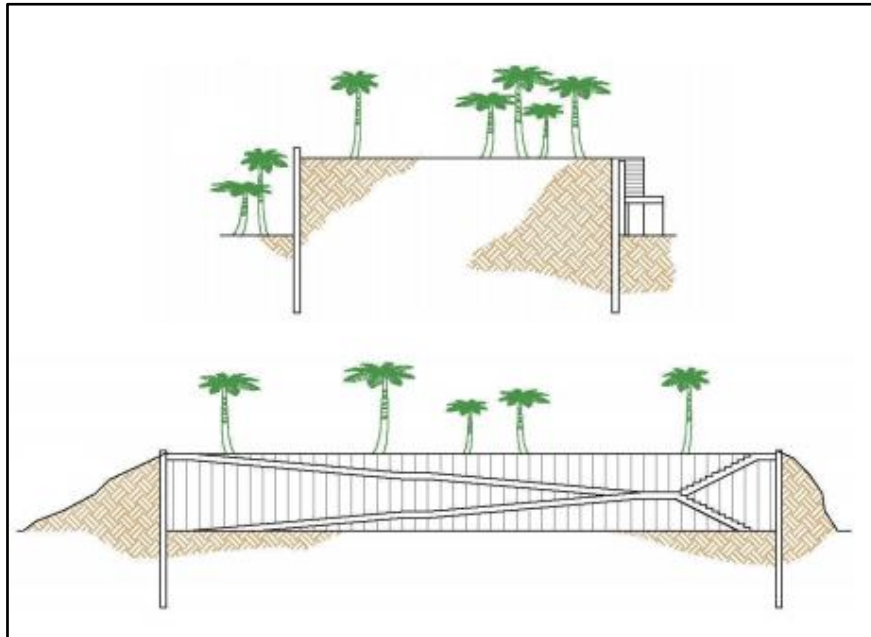


Figura 6-20 Plano de Cortes de berma de escape. FEMA (2009).

Los árboles y otros elementos de jardinería se pueden utilizar para esconder el lado vertical y crear una figura estéticamente atractiva; las escaleras y rampas proveen acceso primario para propósitos recreativos y de emergencias. Los materiales utilizados para crear la berma necesitan estar contruidos lo suficientemente profundos para asegurar que el sistema de contención no falle por la socavación alrededor del perímetro de la berma; las superficies inclinadas a los lados de la berma pueden usarse para proveer acceso adicional, y para canalizar los escombros flotantes lejos de la base de las rampas y escaleras para minimizar el riesgo de bloqueo (FEMA, 2009).

6.2.5 CONSIDERACIONES DE PLANIFICACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE EVACUACIÓN VERTICAL

Accesos: Si al llegar a la estructura de evacuación vertical, los evacuados no pueden entrar, ocurrirá más confusión y pánico al ya existente, por lo tanto, se debe asegurar el acceso en caso de tsunami; idealmente, un refugio de desalojo vertical debe configurarse para que esté siempre accesible, o que se pueda ingresar sin apoyo de personal de emergencia (FEMA, 2009).

Personas con impedimentos: El diseño para el ingreso y posterior circulación dentro de la estructura de evacuación vertical debe considerar las necesidades de personas con

movilidad reducida o con algún tipo de discapacidad hasta donde sea posible; dadas las posibles limitaciones en el funcionamiento de fuentes de energía y de sistemas de transporte vertical (elevadores y escaleras eléctricas) en caso de un terremoto de origen cercano, los ocupantes con impedimentos pueden necesitar asistencia para llegar hasta las áreas de refugio en estructuras de desalojo vertical (FEMA, 2009).

Estacionamiento: Esta consideración puede ocasionar un problema en estructuras de desalojo vertical; el embotellamiento del tráfico puede afectar el acceso además de que los vehículos pueden convertirse en escombros pudiendo de esta forma dañar la estructura de evacuación, por lo tanto, para la planificación de estacionamiento para estructuras de desalojo vertical, debe primar la imposición de limitaciones (FEMA, 2009).

Mascotas: Si bien los refugios no se piensan típicamente para el alojamiento de mascotas, es importante aplicar cuidadosamente una política acerca de mascotas durante la planificación, debido a que muchas personas evacuadas no dejan atrás a sus mascotas durante un desastre por tsunami (FEMA, 2009).

Limitaciones de ocupación: Al determinar la ocupación máxima de un refugio, debe considerarse el momento del día, día de la semana, o temporada del año que resulte en el mayor número de desalojados. La ocupación máxima puede tener que aumentarse para acomodar ocupantes adicionales inesperados o visitantes en el área (FEMA, 2009).

Protección de funciones críticas: Una estructura de evacuación vertical tiene que estar operativa para servir a su propósito en caso de un tsunami. En referencia a las funciones que son críticas a corto plazo, o de facilidades de respuesta de emergencia, cuidado médicos, o de refugio a largo plazo, las cuales están localizadas dentro del área del refugio y fuera del alcance del tsunami; entre otras funciones se debe incluir energía de emergencia, equipo de comunicaciones, necesidades sanitarias básicas, suministros médicos y farmacéuticos u otros suministros de emergencia (FEMA, 2009)

6.3 ESTUDIO DE RIESGO

Luego de aplicar la metodología propuesta, a continuación se presentan los resultados de medición del riesgo a través de gráficos de radar, con la finalidad de visualizarlo y controlarlo de mejor forma.

6.3.1 RIESGO –SUSCEPTIBILIDAD

Analizando los gráficos que presentan a continuación, los niveles de riesgo de las vías de evacuación de la zona de estudio en Talcahuano, con una probabilidad de ocurrencia factor 4 (un terremoto tsunamigénico ocurrirá dentro los próximos 10 a 100 años) en los tres escenarios asumidos, se observa lo siguiente:

- Bloqueo por escombros: Las cuatro vías de desalojo horizontal presentan un nivel de riesgo Alto Intolerable (Inestable), quedando en evidencia la deficiencia en la conservación de muros en diversos sectores de las rutas de evacuación. Es por lo anterior que el resultado es elevado para la escala utilizada en la medición y se hace necesario trabajar en ello para disminuir los niveles de riesgo presentes debido al ítem en cuestión.
- Bloqueo por Atochamiento Vehicular: En cuanto a este ítem, el nivel de riesgo Medio – Tolerable (Bajo Condiciones) se presenta en la ruta Manuel Bayón, básicamente por el cruce de la avenida Gómez Carreño, la cual presenta un tráfico considerable en algunas horas del día, no obstante, exhibe un nivel menor en comparación a las demás rutas, que presentan desde Alto - Intolerable al nivel más alto de riesgo, a causa de que el trayecto que deben realizar las personas a través de la avenida, es mayor.
- Bloqueo por incendio y/o explosiones durante el desastre: La vía Almirante Neff presenta Alto – Intolerable (Crítico) nivel de riesgo para el punto en evaluación, debido a la existencia de grandes tubos de gas, en cierto tramo de la vía, lo que podría ocasionar un corte de esta durante el desastre. Lo anterior implica necesariamente reducir el nivel de riesgo por parte de las autoridades pertinentes, al igual que otras rutas que entregan un nivel de riesgo Medio – Tolerable.
- Bloqueo por desborde de cauces, río y/o esteros: Un nivel Alto – Intolerable (Crítico) de riesgo se presenta en las vías Guillermo Soza, Almirante Neff y Hernán Merino Correa debido a que se encuentra cerca o son cruzadas por cauces que presentan un importante flujo de agua, que pueden concentrar la inundación por tsunami y ocasionar el bloqueo de las rutas. Ubicar vías de evacuación vertical antes del cruce del curso de agua puede ayudar a disminuir los niveles de riesgo en las rutas.
- Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos: La totalidad de las rutas de desalojo horizontal presentan una línea férrea que las cruza, lo que obliga a utilizar los pasos peatonales que en su mayoría son estrechos causando “cuellos de botellas” durante la evacuación. El nivel de riesgo asociado a este ítem

es Alto – Intolerable (Crítico) y a juicio del autor debe estudiarse con urgencia medidas de mejoramiento de las rutas en este punto.

- Bloqueo por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva de personas: Al igual que el punto anterior, la totalidad de las rutas presenta un nivel de riesgo Alto – Intolerable (Crítico) por las mismas razones que han sido mencionadas en el punto anterior.
- Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano: Primordialmente este punto se centra, al igual que los dos puntos anteriores, en la línea férrea que cruza el sector en estudio. Las rutas Manuel Bayón y Guillermo Soza tienen un nivel Alto – Intolerable (Inestable) de riesgo. Por otra parte las dos rutas restante su nivel de riesgo es menor alcanzando un nivel Medio – Tolerable. Cabe destacar que el sector analizado no presenta gran cantidad de veraneantes en época estival, pero la presencia de la ya mencionada línea férrea eleva los niveles de riesgos asociados a este ítem.
- Bloqueo por colapso del tendido eléctrico: las rutas Manuel Bayón, Guillermo Soza y Almirante Neff cuentan con un Alto – Intolerable (Crítico) nivel de riesgo. Lo anterior se debe principalmente a la presencia de tendido de alta tensión y mediana tensión, además de acumulación de cableado en sus postes, elevando los niveles de riesgo a lo indicado anteriormente.

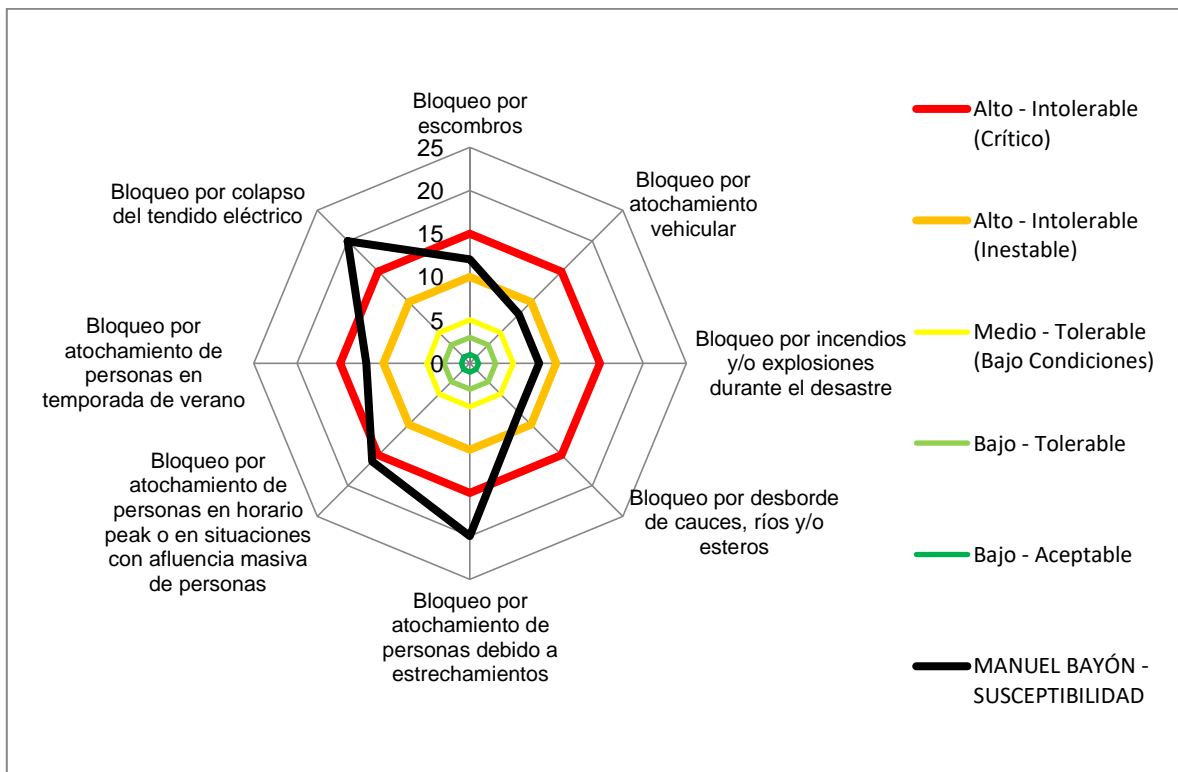


Gráfico 6-3 Riesgo vía de evacuación Manuel Bayón. Elaboración propia.

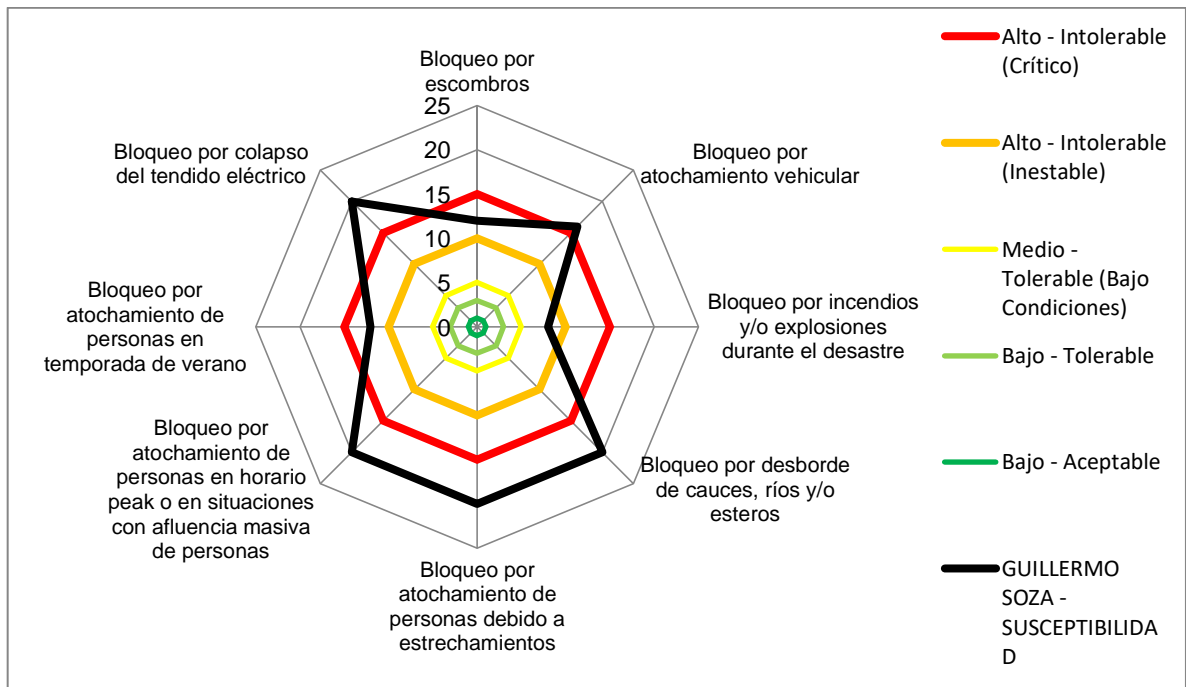


Gráfico 6-4 Riesgo vía de evacuación Guillermo Soza. Elaboración propia.

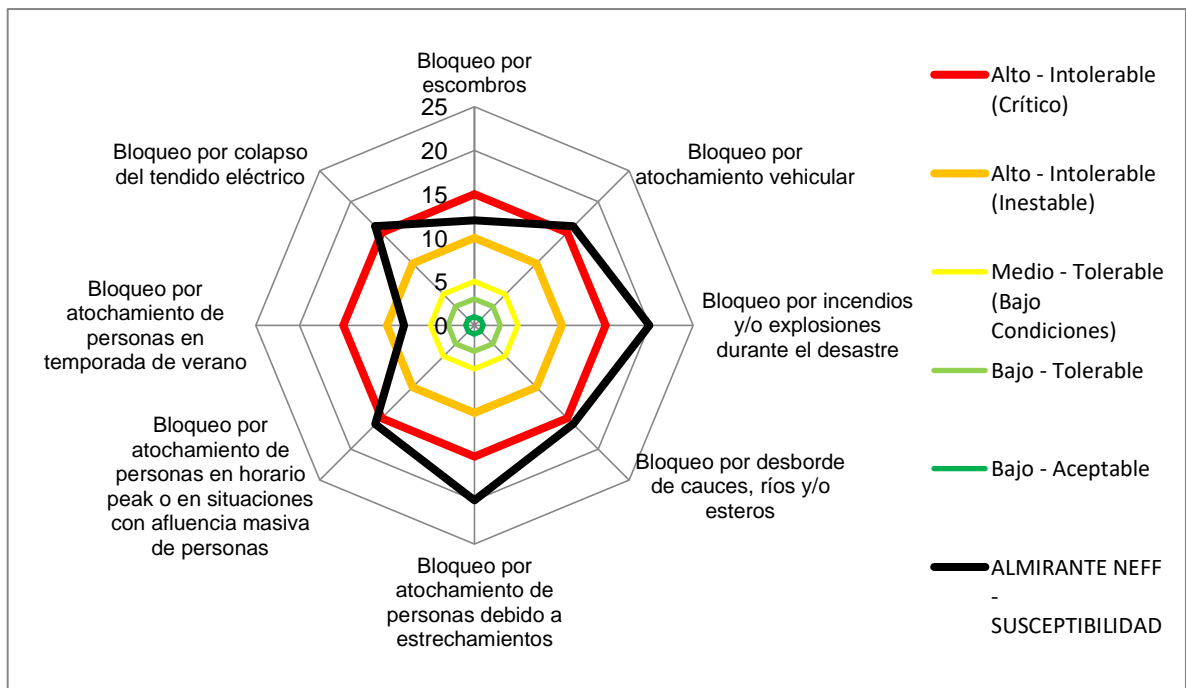


Gráfico 6-5 Riesgo vía de evacuación Almirante Neff. Elaboración Propia.

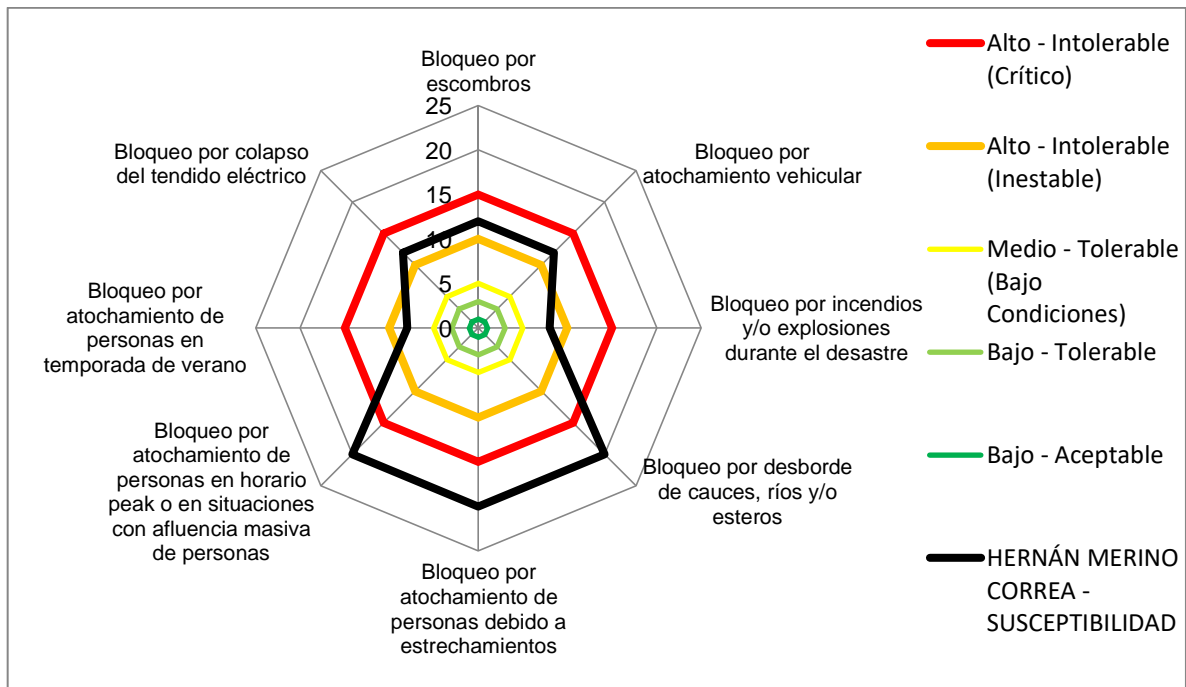


Gráfico 6-6 Riesgo vía de evacuación Hernán Merino Correa. Elaboración Propia.

6.3.2 RIESGO – CONFIABILIDAD

- Elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas: La totalidad de las vías de evacuación presentan un Alto – Intolerable (Crítico) nivel de riesgo en lo que respecta a este ítem, debido a que precisamente la línea férrea se transforma en un obstáculo para el libre flujo de personas al momento de realizar la evacuación.
- Tiempo de desplazamiento desde zona inundable hasta el punto de encuentro: un nivel Alto – Intolerable (crítico) de riesgo se exhibe en todas las rutas de evacuación, debido principalmente a los largos trayectos que se presentan en las vías para lograr la zona de seguridad.
- Ancho útil para desplazamiento: en general las rutas son bastantes anchas, pero como se dijo anteriormente, la presencia de la línea férrea y sus pasos peatonales angostos, transforman a las vías riesgosas llevándolas, en su totalidad, a un nivel Alto Intolerable (Crítico).
- Pendiente (pronunciada o suave): este punto depende desde el punto de vista que se le mira. En el presente estudio cuenta con un nivel Alto Intolerable (Crítico) en todas las vías, debido a que tienen una pendiente suave, lo que resulta en largos tiempos de desde la costa hacia la zona segura.
- Señalética disponible: Cabe destacar que las fechas de las imágenes de Google Street View © corresponde al año 2012 en su mayoría, por lo que los resultados asociados a este punto puede que cambien en el presente. Nivel de riesgo Alto - intolerable (crítico) se presente en esta vía debido a la poca señalética presente, lo que puede causar confusión de los evacuados.
- Evacuación de personas con movilidad reducida: esquina sin rampas y la presencia, nuevamente, de la línea férrea, son obstáculos para personas con movilidad reducida, por lo que niveles de riesgo se elevan a Alto Intolerable (Crítico) para las rutas Guillermo Soza, Almirante Neff y Hernán Merino Correa.
- Evacuación en escenario nocturno: La totalidad de las vías presenta un nivel Alto – Inestable para la evacuación nocturna, debido a sitios eriazos, canchas sin iluminación entre otros que presentan en las rutas, componentes que otorgan un elevado nivel de riesgo.

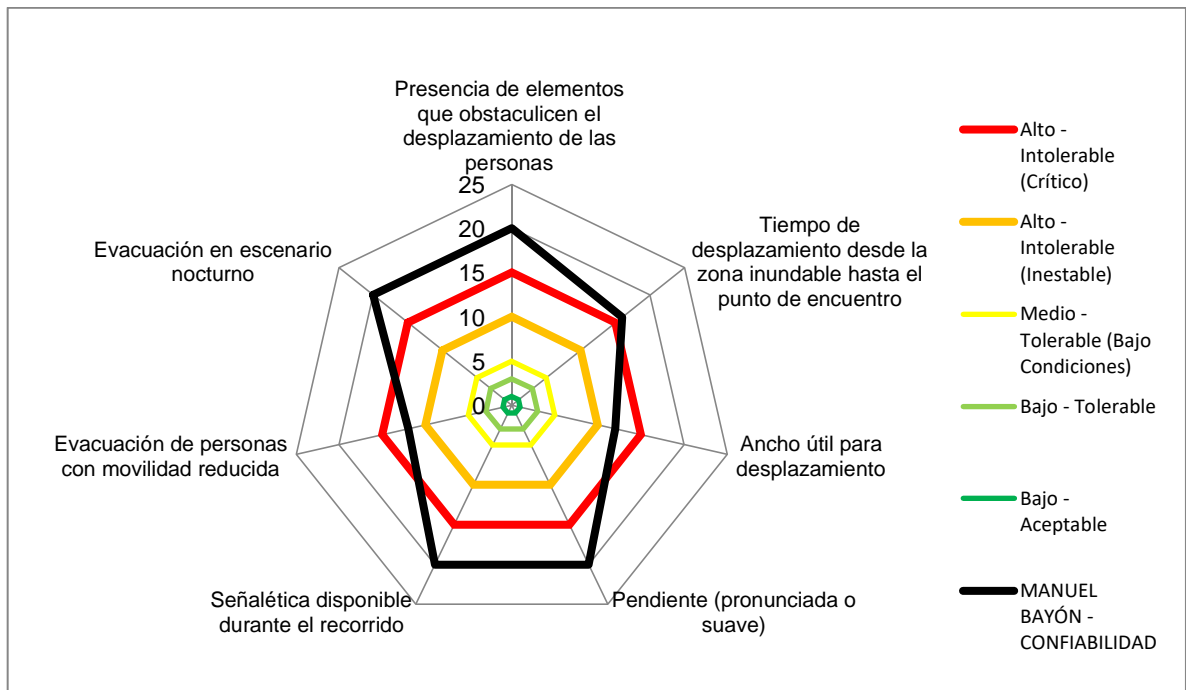


Gráfico 6-7 Riesgo vía Manuel Bayón. Elaboración Propia.

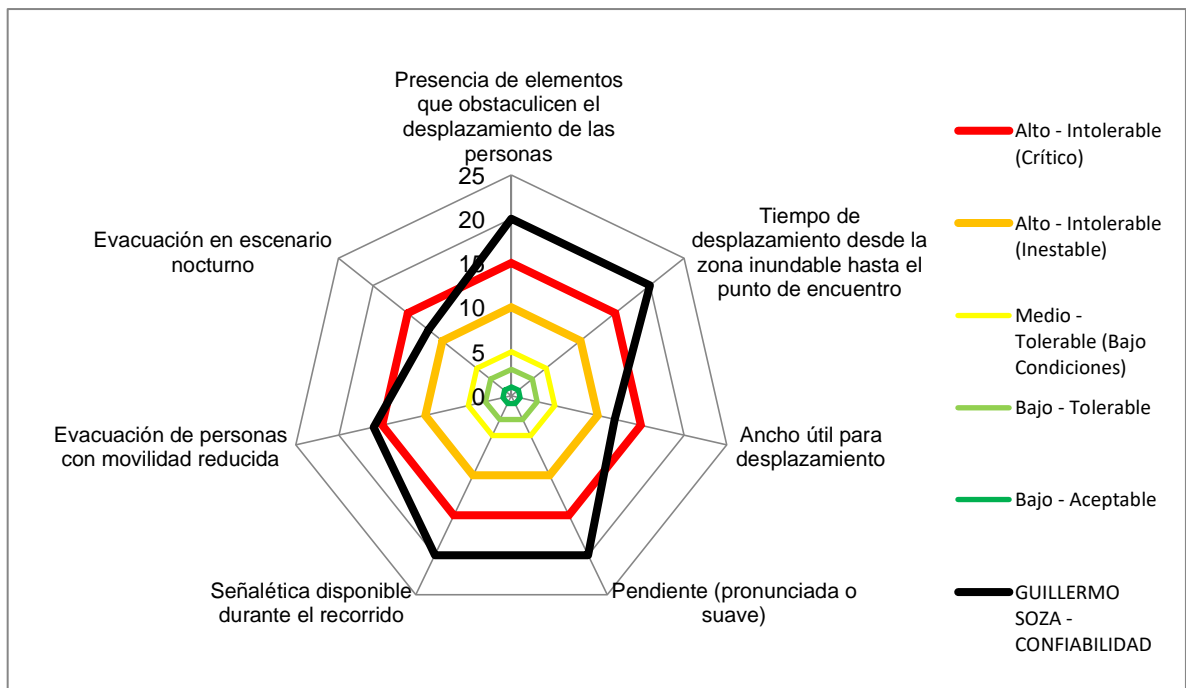


Gráfico 6-8 Riesgo vía Guillermo Soza. Elaboración Propia.

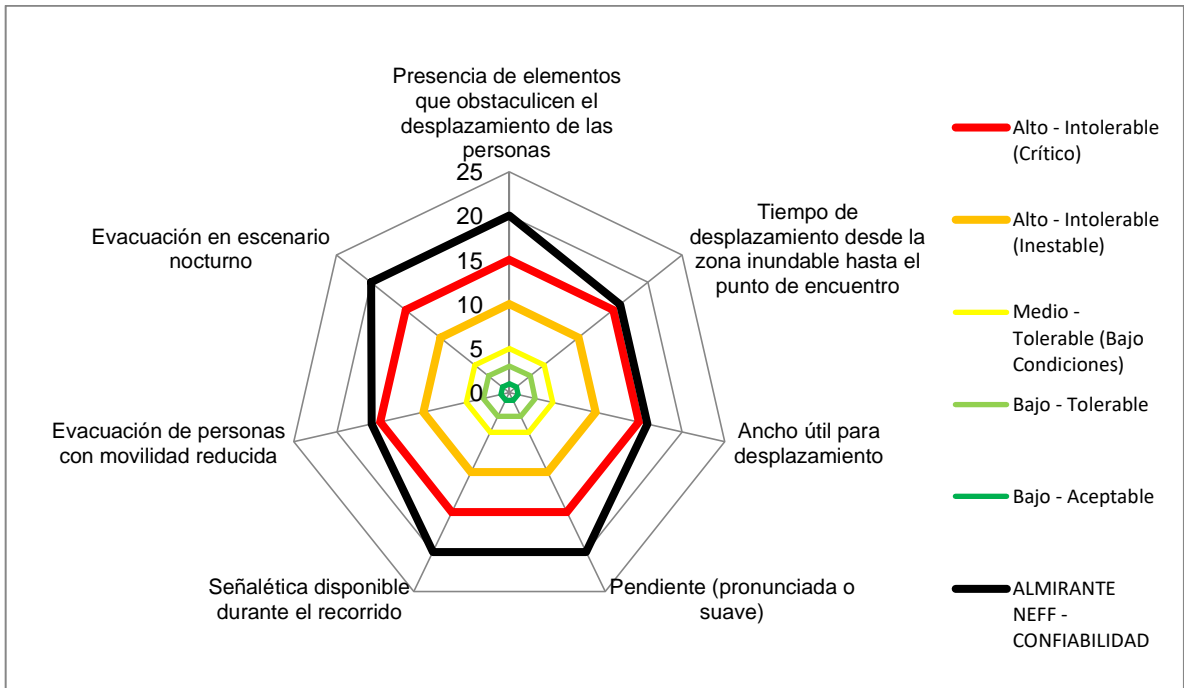


Gráfico 6-9 Riesgo vía Almirante Neff. Elaboración Propia.

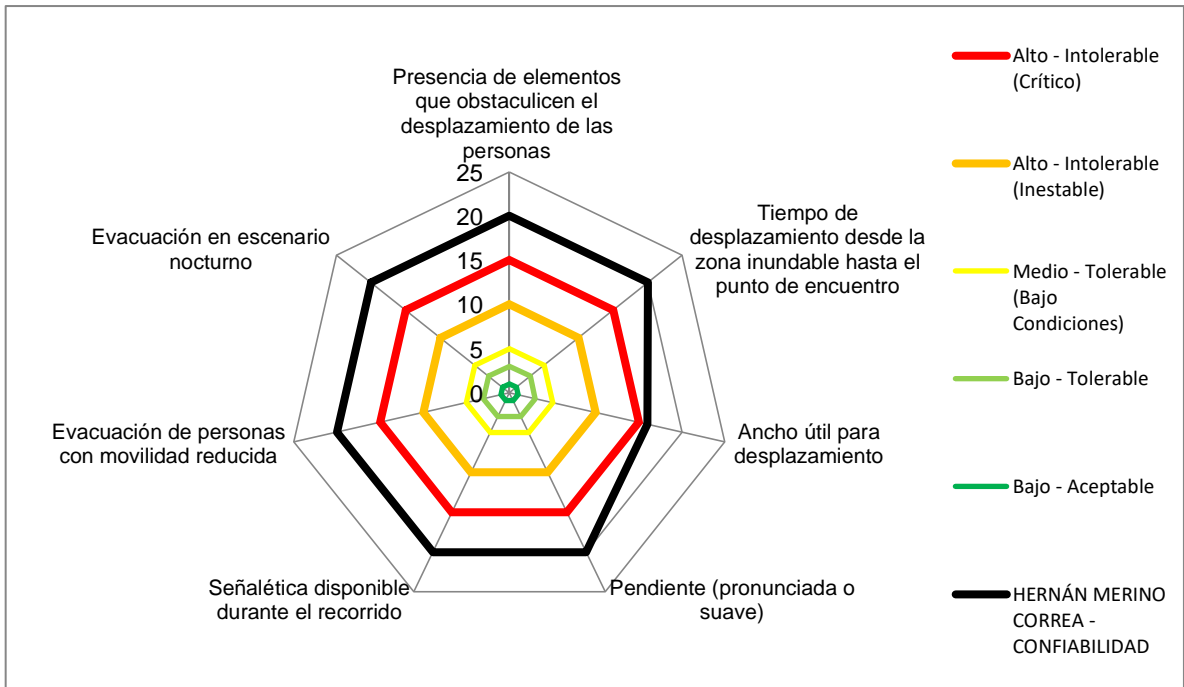


Gráfico 6-10 Riesgo vía Hernán Merino Correa. Elaboración Propia.

7 CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha propuesto una metodología para el análisis de riesgo de las vías evacuación por tsunami aplicado en la ciudad de Talcahuano, con el objetivo de caracterizar las vulnerabilidades del sistema de evacuación y controlar el riesgo y de esta forma generar mecanismos que permitan mejorar la toma de decisiones en materia de gestión del riesgo de desastres.

Desde el punto de vista de la metodología empleada en este proyecto de título, se definieron los puntos fundamentales para crear las bases sólidas que sustentan los resultados obtenidos.

- La utilización de matrices de riesgo, en este informe, establecen una herramienta de control y de gestión con el fin de determinar el nivel de riesgo a los cuales se encuentran sometidos los sistemas, en este caso, el sistema de evacuación horizontal.
- La utilización de gráficos de radar, son un instrumento eficaz que permite facilitar la visualización del riesgo, siendo este un aspecto fundamental al momento de trabajar los puntos críticos del sistema en estudio.
- En cuanto a la amenaza, estudiar la probabilidad de ocurrencia, en base a la evidencia histórica de los fenómenos de terremoto y tsunami, entrega información valiosa para realizar el análisis de riesgo.
- Por otro lado, caracterizar las vías de evacuación mediante escalas cualitativas de impactos, es un mecanismo que permite evidenciar las falencias y virtudes de las vías, y entrega resultados “concretos” debido a que se realiza mediante un recorrido virtual por Google Street View®. Es importante mencionar que el resultado es afectado por lo actualizado que se encuentre Google Street View®.
- Al no existir datos que permitan obtener un número de población en el sector de estudio, se optó por la creación de una metodología a partir de las características de las calles, criterios respecto a la aglomeración de personas en distintos escenarios y el criterio de Jacobs.

Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología propuesta, deben suscitar interés para las políticas en materia de gestión de riesgo de tsunamis de campo cercano, con el propósito de generar un círculo virtuoso que permita la mejora continua y con ello minimizar los impactos asociados al desastre en estudio.

- En cuanto a la demanda de evacuación, se estima que sobre un total de 10.909 personas, 2.922 de ellas necesitan ser evacuadas verticalmente en un escenario de eventos culturales y deportivos, las cuales en su mayoría son personas con movilidad reducida y adultos mayores, lo cual lo sitúa en el peor momento de ocurrencia de un desastre por tsunami.
- El análisis de las vías de evacuación, respecto a las distancias recorridas para lograr alcanzar la zona de seguridad y el tiempo de desplazamiento a paso apresurado y

personas con movilidad reducida, indican que la vía con mayor distancia a recorrer es Manuel Bayón con 2.448 metros, con un tiempo de desplazamiento a paso apresurado y personas con movilidad reducida de 27:29 y 45:51 minutos respectivamente.

- Bloqueo por colapso del tendido eléctrico, por atochamiento de personas debido a estrechamientos, bloqueo en temporada de verano y en horario punta, hacen que las vías se tornen muy susceptibles en momentos de ejecutar la evacuación por ocurrencia de tsunami. Lo anterior se debe a cruces angostos de línea férrea, 17 establecimientos educacionales, escasas de señalética, entre otros.
- La caracterización de las vías de evacuación entrega resultados que muestran ciertas cualidades de las rutas, que se asocian a vulnerabilidades frente a la amenaza de tsunami. La presencia de una línea férrea, cauces, tendido eléctrico de alta tensión, escasa señalética, entre otras, hacen de la oferta de evacuación horizontal poco confiable para los usuarios.
- Respecto a la demanda de evacuación, se llega a la conclusión de que es necesaria la presencia de vías de desalojo vertical, con el propósito de disminuir los tiempos para personas con movilidad reducida o aquellas que por su lejanía no alcancen las zonas de seguridad y/o para personas donde los cauces que cruzan las vías no le permitan continuar con la evacuación.
- Por otro lado, en la zona analizada, no existen edificios diseñados para ser utilizados como vía de evacuación vertical. Como parte de este estudio se diseñó una metodología para caracterizar edificios que cumplan respecto a su calidad estructural y a las especificaciones indicadas por la ONEMI y la FEMA.
- En el área de estudio no se encuentran edificios que permitan ser utilizados como vías de desalojo vertical. Es importante mencionar que contar solo con oferta de estructuras de desalojo vertical no es suficiente, pues es necesario mejorar el sistema de vías de evacuación horizontal con el fin de entregar un abanico de posibilidades de evacuación.
- En el documento se resalta la existencia de angostamientos de las rutas por la línea férrea, cauces que intersectan las rutas de evacuación, escasa señalética que permita el adecuado desplazamiento por las vías, gran longitud de las rutas, alta cantidad de establecimiento educacionales, torres de alta tensión y la casi nula adecuación de las vías para personas con discapacidad. La totalidad de las características de las vías mencionadas, hacen que el nivel de riesgo se eleve por encima del nivel Alto-Intolerable (Inestable) según sea el caso de la ruta evaluada.
- Dado que el riesgo siempre estará presente, es importante manejarlo desde el punto de vista de la gradualidad en que las amenazas pueden impactar los sistemas, en este caso la infraestructura de evacuación horizontal. Por parte de la población, el riesgo suele tenerse en cuenta solo mientras transcurre la emergencia, lo cual trae por consecuencia directa en que la ciudadanía no percibe idóneamente su rol en la aparición y manejo del riesgo.

7.1 RECOMENDACIONES

Con el objetivo de disminuir los niveles de riesgos asociados a las vías de evacuación Horizontal, se presentan una serie de recomendaciones.

- Utilizar Google Street View © permitió al autor del documento realizar el estudio desde gabinete sin tener que visitar la ciudad de estudio, por ende, los resultados pueden verse afectado a qué tan actualizados se presentan las imágenes del software. Lo anterior puede verse solucionado con la realización en primera instancia desde Google Street View© y en puntos donde no se tenga certeza, permitirse una visita a la zona de estudio.
- Trabajar en los cruces peatonales de la línea férrea, ya sea en su ensanchamiento, elevación de línea férrea o algún otro tipo de intervención que permita el libre desplazamiento en caso de desalojo vertical.
- Aumento de señalética la cual indique la calle hacia donde evacuar con el propósito de generar claridad en momentos de crisis en la población e idealmente con algún de sistema de iluminación con energía solar que permita su visualización en caso de cortes de energía eléctrica.
- Generar cambios en las rutas con mayor presencia de rampas para personas con discapacidad, lo que permita un desplazamiento con menos obstáculos.
- Gestar una mejora continua de las rutas de evacuación en cuanto su desempeño en simulacros liderados por comités de expertos ligados a la autoridad competente.
- Trabajar a nivel de establecimientos educacionales y juntas vecinales con el propósito de educar respecto los riesgos y su rol en cuanto al manejo y disminución de este.
- Trabajar en proyectos de infraestructura de evacuación vertical como los indicados en el capítulo 6.2.4, con el propósito de entregar un cúmulo de posibilidades de evacuación para la población y con ello disminuir los riesgos asociados al desalojo de personas con movilidad reducida, al tiempo de desplazamiento para lograr la zona de seguridad, algún tipo de bloqueo que impida el desplazamiento, etc.
- Trabajar con esta metodología e incorporar la utilización de modelos matemáticos con el fin de estudiar los flujos de evacuación de personas y con ello mejorar los puntos claves en las rutas, con el propósito de la disminución del riesgo.

Finalmente, la realidad nacional indica que es necesario contar con un desarrollo continuo de políticas y programas orientados al fortalecimiento de instituciones competentes con el objetivo de responder de manera eficaz ante la ocurrencia de desastres naturales.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFP. (2010). El terrible panorama de Talcahuano tras terremoto y tsunami. Extraído desde www.terra.cl
- Alvarez, G., Ramirez, J., Paredes, L., & Canales, M. (2010). ZONAS OSCURAS EN EL SISTEMA DE ALARMA DE ADVERTENCIA DE TSUNAMI EN CHILE. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 18, 316-325.
- Aranguiz, R., González, G., González, J., Catalán, P., Cienfuegos, R., Yuji, Y., . . . Rojas, C. (2015). The 16 September 2015 Chile Tsunami from the Post-Tsunami Survey and Numerical Modeling Perspectives. In. *Pure and Applied Geophysics*: Springer International Publishing.
- Barrientos, S. E. (2010). Terremoto (M=8.8) del 27 de febrero de 2010 en Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67, 412-420.
- Belinda. (2015). Qualitative vs Quantitative Risk Analysis. Extraído desde <https://www.passionatepm.com/blog/qualitative-risk-analysis-vs-quantitative-risk-analysis-pmp-concept-1>
- Bergoeing, J. P., & Q, M. P. (2009). Tectónica de placas y sismicidad en América Central. (Spanish). *Revista Geográfica*(146), 153-169.
- Cardona, O. (2003). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. "Una Crítica y una Revisión Necesaria para la Gestión".
- Cardona, O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. *En: A. Maskrey (ed.) Los desastres no son naturales*, 51-74.
- Castro, C., & Alvarado, C. (2009). La Gestión del Litoral Chileno: Un Diagnóstico..
- Cisternas, M., Atwater, B. F., Torrejón, F., Sawai, Y., Machuca, G., . . . Husni, M. (2005). Predecessors of the giant 1960 Chile earthquake. *Nature*, 437(7057), 404-407. doi:10.1038/nature03943
- Comas, D., & Ruiz, E. (1993). *Fundamentos de los sistemas de información geográfica*: Ariel.
- Contreras, M., & Winckler, P. (2013). Pérdidas de vidas, viviendas, infraestructura y embarcaciones por el tsunami del 27 de Febrero de 2010 en la costa central de Chile. *Obras y proyectos*, 6-19.
- CSN. (2013). Sismicidad y Terremotos en Chile.
- Duijm, N. J. (2015). Recommendations on the use and design of risk matrices. *Safety Science*, 76, 21-31. doi:10.1016/j.ssci.2015.02.014

- EIRD/ONU. (2004). Vivir con el Riesgo Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. In (Vol. 1 & 2).
- FEMA. (2009). Vertical Evacuation from Tsunamis: A Guide for Community Officials .
- Garvey. (1998). Risk Matrix. *Air force Journal*.
- Google. (2016). Preguntas frecuentes Street View. Extraído desde <https://maps.google.com/intl/es/help/maps/streetview/partners/faq.html#q1>
- Guíñez Cabezas, D., & Gaete Vásquez, C. (2013). Diagnóstico de Talcahuano.
- Gómez, J. C. O., & Cabrera, J. P. O. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 2(39).
- Gómez, R. (2005). Tipos de licencias de software.
- Gómez Trigueros, I. M. (2010). Análisis del paisaje físico y humano de la provincia de Alicante: Google Earth como herramienta docente en las clases de Geografía.
- Lagos, M., & Cisternas, M. (2004). Depósitos de Tsunami como indicadores de riesgo: evidencias sedimentarias. *Terra Australis*, 329-351.
- Lagos, M., & Cisternas, M. (2008). El nuevo riesgo de tsunami: considerando el peor escenario. In (Vol. 12): Scripta nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales.
- Le Roux, J. P., & Vargas, G. (2005). Hydraulic behavior of tsunami backflows: insights from their modern and ancient deposits. *Environmental Geology*, 49(1), 65-75.
- Lockridge, P. A. (1985). Tsunamis in Peru-Chile. In. Boulder, CO :: The Center ::
- Lomnitz, C. (1970). Major earthquakes and tsunamis in Chile during the period 1535-1955. *Geologische Rundschau*, 59(3), 938-960.
- Lomnitz, C. (2004). Major earthquakes of a Chile: A Historical Survey, 1535 -1960. *Seismological Research Letters*, 75(3), 368-378.
- Madariaga, R. (1998). Sismicidad de Chile. In (Vol. 10, pp. 221-255): Física de la Tierra.
- Mazareanu, V. P. (2007). Risk management and analysis: risk assessment (qualitative and quantitative). Available at SSRN 1549186.
- McCaffrey, R. (2007). The Next Great Earthquake. *Science*, 315(5819), 1675-1676. doi:10.1126/science.1140173

- Monterrey, T. d. (2010). Análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos.
- Muñoz, R. M. (2010). Terremoto y Tsunami del 27 de Febrero de 2010. Efectos urbanos en localidades de la Provincia de Arauco. *Revista URBANO*, 13(22), 43-62.
- Nacional, M. D., Hacienda, M., Pública, M. I. y. S., & Urbanismo, M. V. y. (2011). Proyecto de Ley "Sistema Nacional De Emergencia Y Protección Civil, Agencia Nacional De Protección Civil".
- Olaya, V. (2011). Sistemas de Información Geográfica.
- ONEMI. (2002). Plan Nacional de Protección Civil.
- ONEMI. (2014). Política Nacional para la Gestión de Riesgo de Desastres.
- ONEMI. (2015). Presentación - ONEMI: Ministerio del Interior y Seguridad Pública -. Extraído desde <http://www.onemi.cl/presentacion/>
- ONU. (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030.
- Osorio, J., & Orejuela, J. (2008). El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación.
- Pararas-Carayannis, G. (2010). The Earthquake and tsunami of 27 February 2010 in Chile—Evaluation of Source Mechanism and of Near and Far-field Tsunami Effects. *Tsunami Society International*, 29(8755-6839), 96-126.
- Passoti, P. (1977). Placas Tectónicas, 1ra parte. *Boletín de la Filial Rosario de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*.
- Pliefke, T., Sperbeck, S., Urban, M., Peil, U., & Budelmann, H. (2007). *A standardized methodology for managing disaster risk—An attempt to remove ambiguity*. Paper presented at the Proceedings of the 5th International Probabilistic Workshop, Ghent, Belgium.
- PNUD. (2012a). Análisis de Riesgos de Desastres en Chile.
- PNUD. (2012b). Documento: Guí-a participativa de orientaciones de respuesta frente a emergencias de terremoto-tsunami a partir de la experiencia de Talcahuano, Chile. In (Vol. 19368).
- Quezada, J. 20 de febrero de 1835. Extraído desde http://www2.udec.cl/gema/Tsunamis/20_2_1835.html
- Revuelto, R. M. L. (2011). El uso de la cartografía y la imagen digital como recurso didáctico en la enseñanza secundaria. Algunas precisiones en torno a Google Earth. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*(55), 183-210.

- Reyes, M. (2013). A proposal of tsunami risk assessment method for Iquique city, Chile.
- RIMD. (2015). Red Interamericana de Mitigación de Desastres. Extraído desde <http://www.rimd.org/documento.php?id=317>
- Rot, A. (2008). IT risk assessment: Quantitative and qualitative approach. *Resource*, 283, 284.
- RSN. (2016). ¿Cual es la diferencia entre magnitud momento y magnitud Richter? Retrieved from <http://rsn.ucr.ac.cr/index.php/faq/sismologia/2326-cual-es-la-diferencia-entre-magnitud-momento-y-magnitud-richter>
- Saaty, T. L. (2001). ANALYTIC HIERARCHY PROCESS. In (pp. 19-28): Springer Science & Business Media B.V. / Books.
- Sastre, P. (2010). Sistemas de Información Geográfica (SIG), Técnicas básicas para estudios de biodiversidad.
- Satake, K., & Atwater, B. F. (2007). Long-Term Perspectives on Giant Earthquakes and Tsunamis at Subduction Zones*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 35(1), 349-374. doi:doi:10.1146/annurev.earth.35.031306.140302
- Sevilla, U. d. (2011). Deriva Continental, Tectónica de Placas y Estructura de la Tierra.
- SHOA. (2000a). Como Sobrevivir a un Maremoto. In (1 ed.). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- SHOA. (2000b). El Maremoto del 22 de Mayo de 1960 en las Costas de Chile. In (2 ed.). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- SHOA. (2004). Sistema Nacional de Alarma de Maremotos de Chile.
- SHOA. (2014). Tsunami las grandes olas.
- SHOA. (2015). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. Retrieved from <http://www.snamchile.cl/>
- Sitjar, J. (2009). Tecnologías de la información geográfica.
- Sobarzo, C. (2011). Nuevas cartas de inundación por Tsunami, Arcgis como principal herramienta. Retrieved from <http://www.usuarios.cl/presentaciones/Shoa.pdf>
- SUBDERE. (2011). Guía análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial.
- Talcahuano. (2016). Estrategias territoriales para la reducción del riesgo de desastre.

- Talcahuano, M. d. (2016). Departamento de Gestión Integral de Riesgo de Desastre. Retrieved from <http://www.talcahuano.cl/minisitio/gestion-de-riesgo/quianes-somos/>
- Toskano, H., & Gerárd, B. (2005). El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores : aplicación de la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L..
- UNESCO. (2013). Tsunami Glossary.
- Winckler, P., Contreras, M., Reyes, M., Cortes, F., & Beyá, J. (2015). Evaluación de riesgos de infraestructura costera en un contexto de cambio climático.
- Winckler, P., Reyes, M., & Sepúlveda, I. (2010). Evaluación del tsunami del 27-02-2010 poblado de San Juan Bautista, isla Robinson Crusoe, Archipiélago Juan Fernández.

9 ANEXO A ASPECTOS GENERALES DE SISMICIDAD

9.1 TECTONICA DE PLACAS

La deriva continental es una hipótesis desarrollada por el alemán Alfred Wegener en 1912, que explica el desplazamiento de las masas continentales unas respecto a otras a lo largo de millones de años de la historia geológica de la Tierra, que en un principio estuvieron unidas en una gran masa de tierra denominada Pangea .

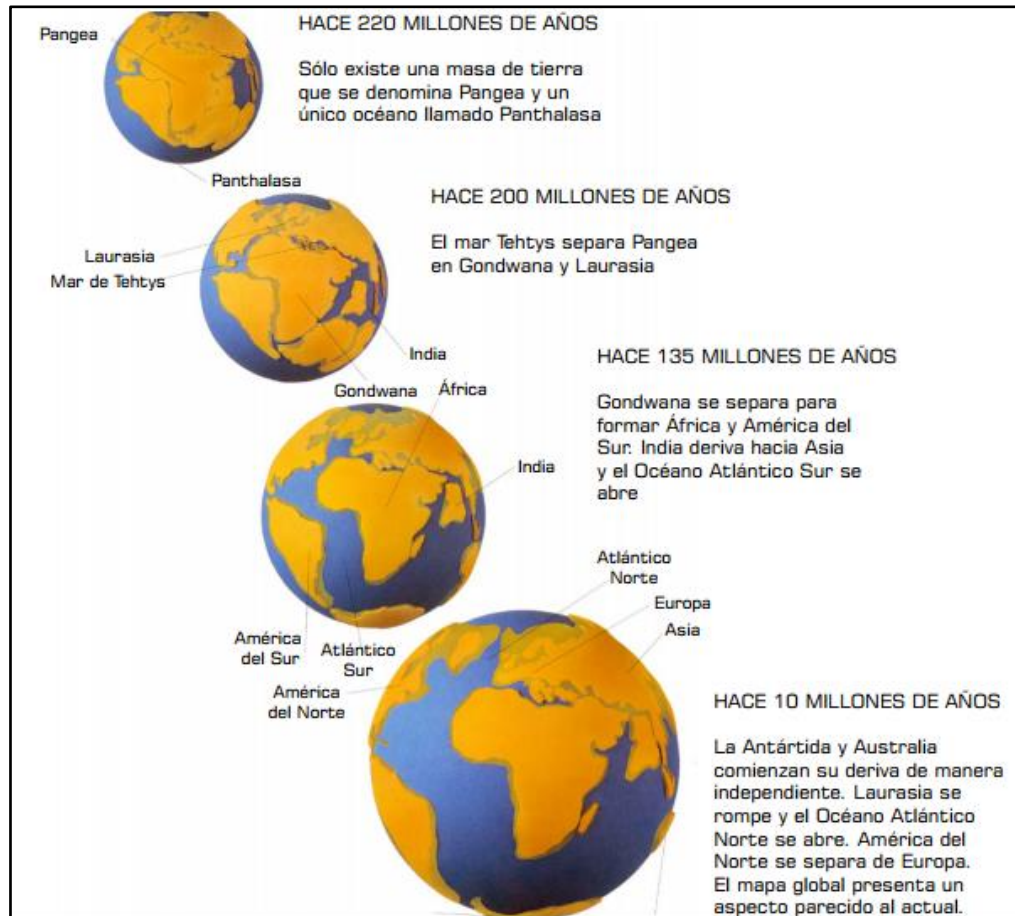


Figura 9-1 Deriva continental. Universidad de Sevilla (2011)

La teoría de la deriva continental evolucionó dando lugar a la teoría de tectónica de placas, la cual ilustra la forma en que está estructurada la litósfera, a grandes rasgos indica la división de ésta en varios y extensos segmentos relativamente estables de roca rígida, denominados placas, que se extienden por el globo como caparazones curvos sobre una esfera (Passoti, 1977).

Sus límites pueden ser de tres tipos, dependiendo del movimiento relativo de las placas: dorsales oceánicas, fosas marinas, fallas de transformación. Esta teoría se funda sobre el concepto de que la tierra no es rígida, sino que los continentes y cuencas oceánicas

derivan lentamente fracturándose y reuniéndose y quizás creciendo.(Bergoeing & Q, 2009)

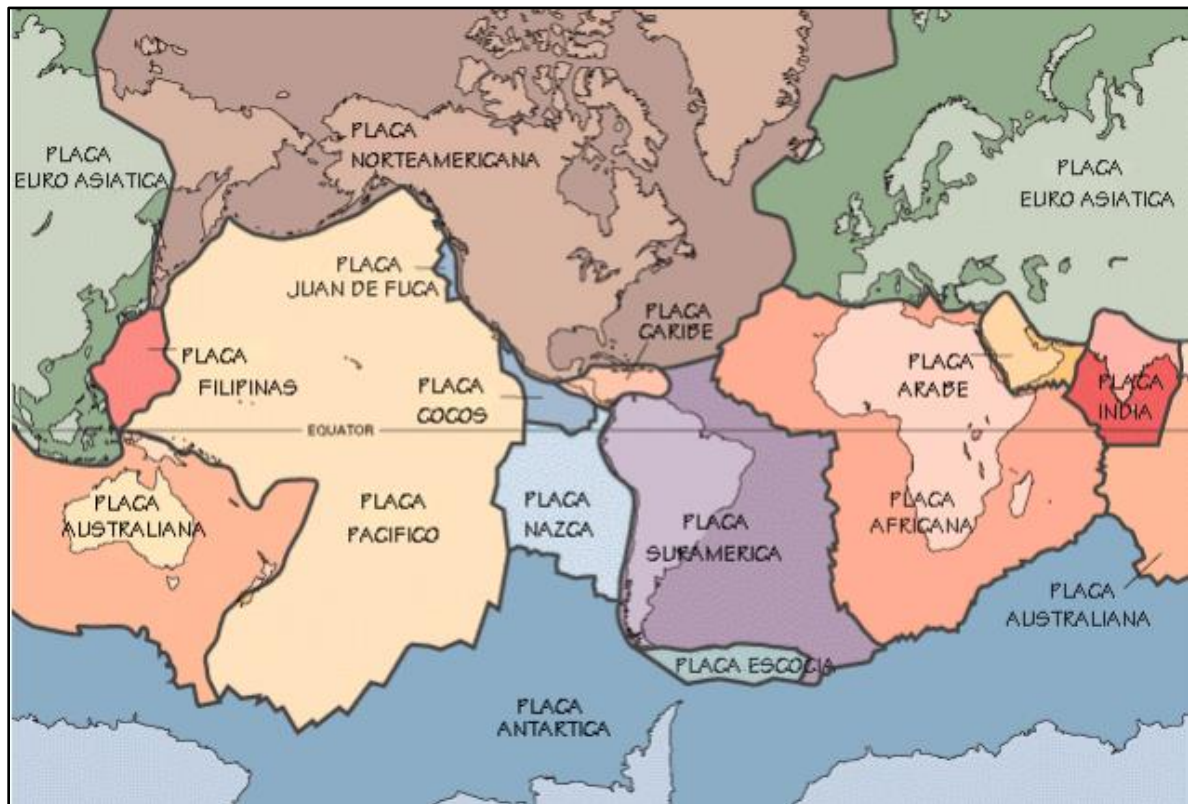


Figura 9-2 Distribución de placas tectónicas. (Reyes, 2013).

9.1.1 TIPOS DE LÍMITES DE PLACAS

9.1.1.1 Dorsales oceánicas

En las dorsales oceánicas se produce un movimiento de separación de placas, en donde la teoría de “Expansión del Fondo Oceánico”, publicada por Harry Hess en 1962, propone que material del manto surge en la zona de la dorsal oceánica, produciendo acumulación, presionando y causando desplazamiento de las placas en direcciones opuestas. Esta idea fue aceptada y no ha cambiado en el presente (CSN, 2013).

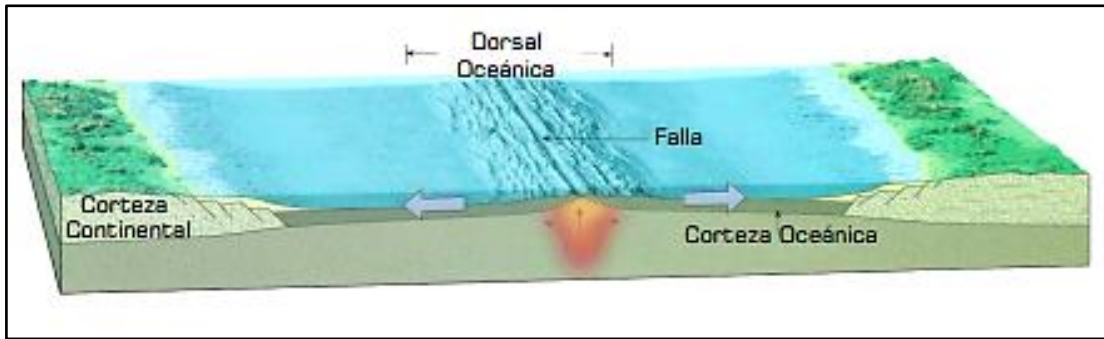


Figura 9-3 Dorsales oceánicas. (Sevilla, 2011))

9.1.1.2 Fosas marinas

En las fosas marinas la placa más densa se sumerge bajo la litósfera continental en un proceso que se denomina subducción. A estos límites también se les denomina zona de subducción y culmina generalmente a profundidades de hasta 700 km, donde la litósfera oceánica es absorbida por el manto. Dado el contacto presentado por ambas placas la zona de subducción presenta gran sismicidad y vulcanismo (CSN, 2013).

Este proceso se presenta con la placa de Nazca, la cual se desplaza hacia el Este y subduce por debajo de la placa Sudamericana que se desplaza hacia el Oeste, con un desplazamiento anual de aproximadamente 46 mm y 32 mm, respectivamente (CSN, 2013).

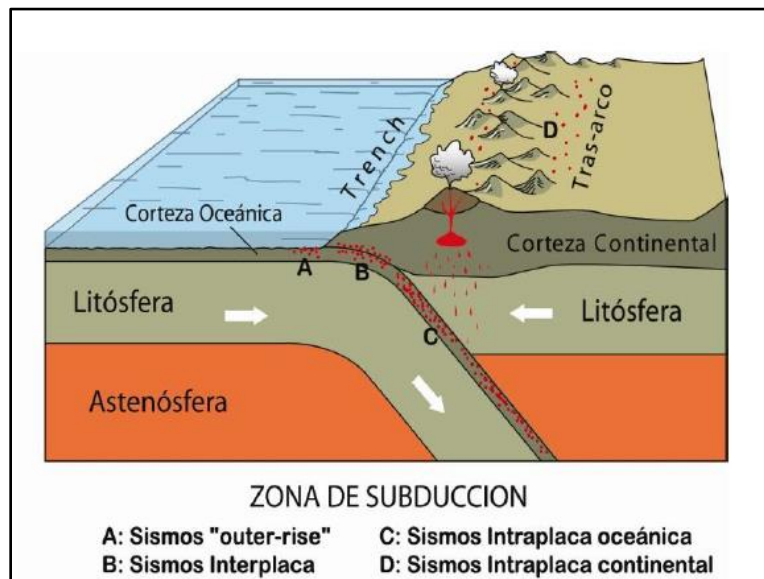


Figura 9-4 Zona de subducción. CSN (2013)

A) Sismos “outer-rise”: Son sismos que ocurren costa afuera de la fosa oceánica, debido a deformación de la placa de Nazca al tratar de introducirse bajo la placa continental. Generalmente este tipo de sismo no supera los 8.0 Mw (CSN, 2013).

B) Sismos Interplaca: Se producen por el trabamamiento de las placas producida por la fuerza de roce. Cuando la fuerza neta de la zona interplaca es mayor que la fuerza de roce entre las placas, se produce un movimiento relativo ocasionando un sismo de magnitud proporcional al área que logró moverse y a cuánto se movió; estos son los sismos de mayor magnitud y a veces causantes de tsunamis (CSN, 2013).

C) Sismos Interplaca Oceánica: ocurren a profundidades mayores a 60 [km]. los daños causados por este tipo de sismos son mayores que los sismos de interplaca de la misma magnitud (CSN, 2013).

D) Sismos Interplaca Continental: básicamente son sismos que ocurren dentro de la placa continental a profundidades menores que 30 [km] dada la deformación por la convergencia de placas y esfuerzos locales (CSN, 2013).

9.1.1.3 Fallas de transformación

En estas fallas las placas tectónicas no entran en colisión directa, más bien se mueven en sentidos opuestos. Son conocidos también por zonas de falla transformante o límites transcurrentes y presentan una intensa sismicidad.

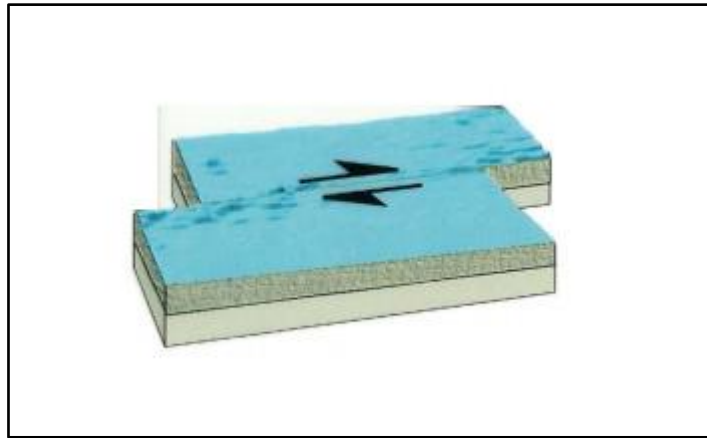


Figura 9-5 Falla de transformación. Universidad de Sevilla (2011)

9.1.1.4 Movimiento de placas

Finalmente el mecanismo que incide en el movimiento de las placas es explicado en la teoría de las corrientes de convección. Esta teoría explica que por la mayor temperatura del manto superior terrestre, se produce un elevamiento de las masas fundidas y que al ponerse en contacto con la parte inferior de la corteza, se dividen en dos ramas que se

desplazan en dirección opuesta y que al enfriarse descienden cerrando el ciclo de convección (CSN, 2013).

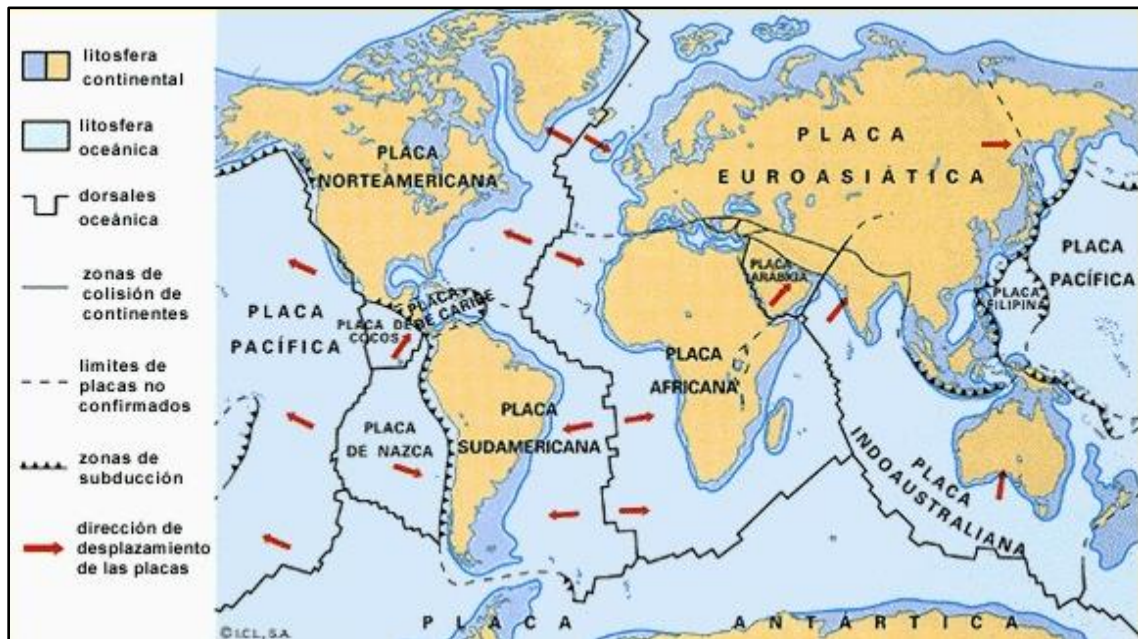


Figura 9-6.- Dirección de movimientos de las placas tectónicas. Querelle (2015)

9.1.2 MEGATERREMOTOS

Los terremotos gigantes son eventos que alcanzan magnitudes iguales o superiores a 9 (Lagos & Cisternas, 2008). El 22 de mayo de 1960, la zona centro sur de Chile fue azotado por un gigantesco terremoto, siendo el primer y mayor evento sísmico registrado por la historia instrumental, no solo teniendo un gran impacto destructivo en el país, sino que también en la forma en que la sismicidad en el mundo y en particular en la cuenca del Pacífico iba a ser entendido en el futuro (Reyes, 2013).

La historia sísmica de Sumatra solo registraba terremotos de magnitud estimada en 7.5-a 7.9 en el año 1847, 7.9 en 1881 y 7.7 en 1971 de los cuales ninguno superó los 150 [km] de longitud de ruptura (Satake & Atwater, 2007). Todo hacía pensar que la ocurrencia de un terremoto $M_w \sim 9$ era prácticamente imposible por la edad la placa (demasiada vieja) (Satake & Atwater, 2007), pero desde la ocurrencia del sismo de 2004 en Sumatra-Andaman ($M_w \sim 9$), los conceptos teóricos que rodean la explicación de ese tipo de grandes eventos fueron fuertemente cuestionados (Reyes, 2013).

Hoy en día, los países alrededor del Océano Índico y del mundo anhelan conocer qué tan a menudo un terremoto de la magnitud del 2004 sucede realmente (Satake & Atwater, 2007), debido a que ocurren su mayoría bajo el océano generando olas de tsunami destructivos (McCaffrey, 2007). Científicos de todas partes del planeta, se encuentran en búsqueda de respuestas, en donde los rastros geológicos de terremotos y tsunamis similares a los del 2004 son la principal evidencia, reflejándose en sedimentos depositados costa adentro y cambios de nivel de la tierra (Satake & Atwater, 2007).

Saber dónde y cuándo será el próximo gran terremoto son cuestionamientos difíciles de responder en base a registros escritos dados que rara vez abarcan intervalos de tiempos sucesivos para grandes terremotos, por otro lado la evidencia geológica por sí sola puede no ser suficiente (Satake & Atwater, 2007)

Así, los sismólogos han tratado de estimar la máxima magnitud de un terremoto en algunas zonas de subducción por medio de analogías de placa tectónica. Por ejemplo, una comparación de la zona de subducción del terremoto de Cascadia (Mw=9.0) con la zona sur de Chile y el suroeste de Japón, en donde la edad de corteza oceánica es de aproximadamente 10 millones de años y las tasas de subducción son de 4 a 8 cm/año, similares a los de Cascadia (Satake & Atwater, 2007). Hoy, esas analogías no parecen tan fuertes como solían, el mejor ejemplo es que el terremoto de Sumatra ocurrió en una zona de subducción considerada vieja, por lo que no se esperaba un evento de tal magnitud (Satake & Atwater, 2007)

McCaffrey (2007) argumenta que la ruptura de cualquier segmento contiguo totalizando ~ 800 [km] de longitud o más puede producir un terremoto Mw=9.0. El evento sísmico de Tohoku 2011 reveló una compacidad espacial cercana a la mitad de la longitud que se supone para los terremotos M9 (~300 [km]). Por otro lado, Kagan y Jackson (2011), sugieren que terremotos magnitud Mw=10 no se pueden considerar imposible.

La tierra en los años 2004 y 2011 dio a los científicos del mundo un duro recordatorio de la importante diferencia entre improbabilidad e imposibilidad. La comprensión de donde y cuando será el próximo gran terremoto es compleja, por lo que es necesario quizás muchos siglos, o muchos terremotos, o ambos para entender el patrón de comportamiento de un terremoto mayor o igual a Mw=9.0, si es que existe (McCaffrey, 2007).

9.1.3 ESCALA DE INTENSIDADES

9.1.3.1 Escala de Richter (Ms)

Creada por Charles Francis Richter, mide la fuerza de los terremotos en cuanto a su magnitud, es decir, a la energía liberada durante el sismo la cual es medida utilizando datos que entregan los sismógrafos que registran las ondas sísmicas, por lo tanto, esta es una escala que utiliza datos científicos y no percepciones de la gente (SHOA, 2015).

| Magnitud Escala Richter | Efectos del Terremoto |
|-------------------------|--|
| Menos de 3.5 | Generalmente no se siente, pero es registrado. |
| 3.5 a 5.4 | A menudo se siente, pero sólo causa daños menores. |
| 5.5 a 6.0 | Ocasiona daños ligeros a edificios. |
| 6.1 a 6.9 | Puede ocasionar daños severos en áreas donde vive mucha gente. |
| 7.0 a 7.9 | Terremoto mayor. Causa graves daños. |
| 8.0 o superior | Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas. |

Tabla 9-1 Magnitud Richter vs efectos del terremoto en Chile. (SHOA, 2015).

La magnitud Richter tiene la desventaja de saturarse; es decir, para sismos muy grandes, el valor de magnitud ya no permite describir satisfactoriamente el tamaño del temblor (RSN, 2016).

9.1.3.2 Escala de Mercalli

La escala de Mercalli, toma el nombre del físico Giuseppe Mercalli quien la desarrolló en el siglo XIX, es una escala subjetiva que evalúa la percepción basándose en lo que sintieron las personas que vivieron el sismo o en los daños ocasionados, medido en escala de intensidades.

| Escala modificada Mercalli de intensidades de Sismos. | |
|---|--|
| I | No se advierte sino por unas pocas personas y en condiciones de perceptibilidad especialmente favorables. |
| II | Se percibe sólo por algunas personas en reposo, particularmente las ubicadas en los pisos superiores de los edificios. |
| III | Se percibe en los interiores de los edificios y casas. Sin embargo, muchas personas no distinguen claramente que la naturaleza del fenómeno es sísmica, por su semejanza con la vibración producida por el paso de un vehículo liviano. Es posible estimar la duración del sismo. |
| IV | Los objetos colgantes oscilan visiblemente. Muchas personas lo notan en el interior de los edificios aún durante el día. En el exterior, la percepción no es tan general. Se dejan oír las vibraciones de la vajilla, puertas y ventanas. Se sienten crujiir algunos tabiques de madera. La sensación percibida es semejante a la que produciría el paso de un vehículo pesado. Los automóviles detenidos se mecen. |
| V | La mayoría de las personas lo percibe aún en el exterior. En los interiores, durante la noche, muchas despiertan. Los líquidos oscilan dentro de sus recipientes y aún pueden derramarse. Los objetos inestables se mueven o se vuelcan. Los péndulos de los relojes alteran su ritmo o se detienen. Es posible estimar la dirección principal del movimiento sísmico. |
| VI | Lo perciben todas las personas. Se atemorizan y huyen hacia el exterior. Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran los vidrios de las ventanas, la vajilla y los objetos frágiles. Los juguetes, libros y otros objetos caen de los armarios. Los cuadros suspendidos de las murallas caen. Los muebles se desplazan o se vuelcan. Se producen grietas en algunos estucos. Se hace visible el movimiento de los árboles, o bien, se les oye crujiir. Se siente el tañido de las campanas pequeñas de iglesias y escuelas. |
| VII | Los objetos colgantes se estremecen. Se experimenta dificultad para mantenerse en pie. El fenómeno es percibido por los conductores de automóviles en marcha. Se producen daños de consideración en estructuras de albañilería mal construidas o mal proyectadas. Sufren daños menores (grietas) las estructuras corrientes de albañilería bien construidas. Se dañan los muebles. Caen trozos de estucos, ladrillos, parapetos, comisas y diversos elementos arquitectónicos. Las chimeneas débiles se quiebran al nivel de la techumbre. Se producen ondas en los lagos; el agua se enturbia. Los terraplenes y taludes de arena o grava experimentan pequeños deslizamientos o hundimientos. Se dañan los canales de hormigón para regadío. Tañen todas las campanas. |
| VIII | Se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños de consideración y aún el derrumbe parcial en estructuras de albañilería bien construidas. En estructuras de albañilería bien proyectadas y construidas sólo se producen daños leves. Caen murallas de albañilería. Caen chimeneas en casa e industrias; caen igualmente monumentos, columnas, torres y estanques elevados. Las casas de madera se desplazan y aún se salen totalmente de sus bases. Los tabiques se desprenden. Se quiebran las ramas de los árboles. Se producen cambios en las corrientes de agua y en la temperatura de vertientes y pozos. Aparecen grietas en el suelo húmedo, especialmente en la superficie de las pendientes escarpadas. |
| IX | Se produce pánico general. Las estructuras de albañilería mal proyectadas o mal construidas se destruyen. Las estructuras de albañilería bien construidas se dañan y a veces se derrumban totalmente. Las estructuras de albañilería bien proyectadas y bien construidas se dañan seriamente. Los cimientos se dañan. Las estructuras de madera son removidas de sus cimientos. Sufren daños considerables los depósitos de agua, gas, etc. Se quiebran las tuberías (cañerías) subterráneas. Aparecen grietas aún en suelos secos. En las regiones aluviales, pequeñas cantidades de lodo y arena son expelidas del suelo. |
| X | Se destruye gran parte de las estructuras de albañilería de toda especie. Se destruyen los cimientos de las estructuras de madera. Algunas estructuras de madera bien construidas, incluso puentes, se destruyen. Se producen daños en represas, diques y malecones. Se producen grandes desplazamientos del terreno en los taludes. El agua de canales, ríos, lagos, etc. sale proyectada a las riberas. Cantidades apreciables de lodo y arena se desplazan horizontalmente sobre las playas y terrenos planos. Los rieles de las vías férreas quedan ligeramente deformados. |
| XI | Muy pocas estructuras de albañilerías quedan en pie. Los rieles de las vías férreas quedan fuertemente deformados. Las tuberías (cañerías subterráneas) quedan totalmente fuera de servicio. |
| XII | El daño es casi total. Se desplazan grandes masas de roca. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. |

Tabla 9-2 Escala de Mercalli. (SHOA, 2015)

9.1.3.3 Magnitud de momento (Mw)

La magnitud momento (Mw) se comenzó a usar en 1979 y se considera más estándar que las otras. La magnitud de momento, a diferencia que la magnitud de Richter, no se satura y permite describir eficazmente los tamaños de los sismos a través de la cantidad de energía liberada durante el evento sísmico.

9.1.4 SISMICIDAD EN CHILE

La posición particular y la orientación de Chile hacen que sea muy sensible al comportamiento de las placas tectónicas (Reyes, 2013). El país 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 la placa de Scotia se desliza horizontalmente respecto a la placa Sudamericana, en un borde de placas transcurrente; 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, 2013).

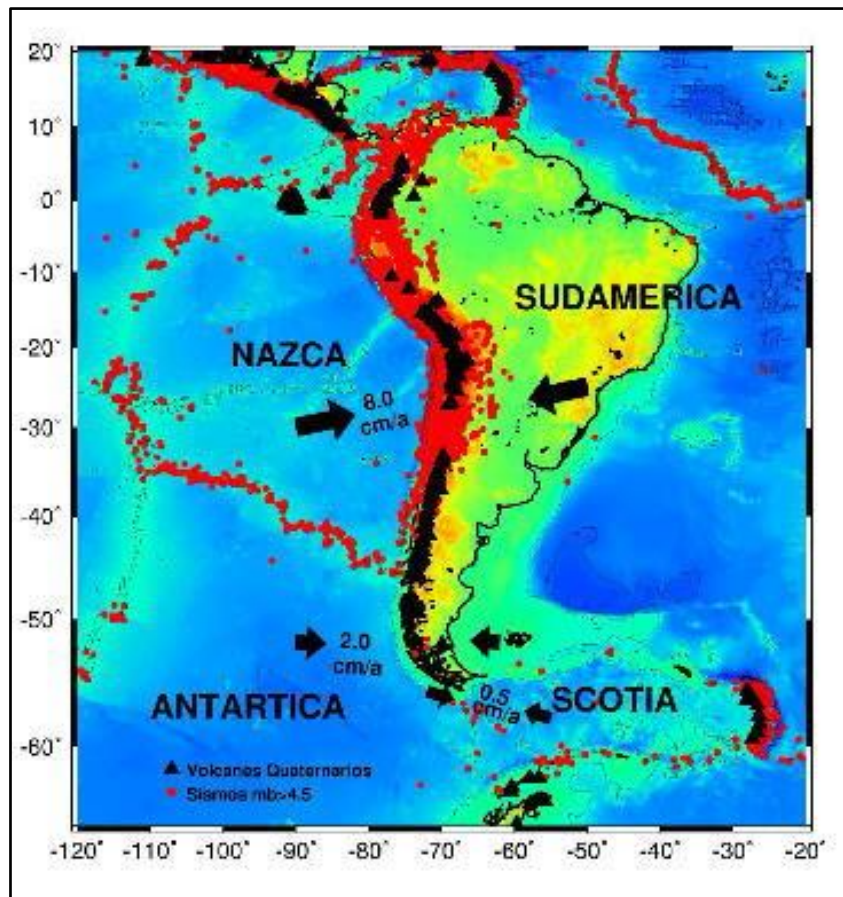


Figura 9-7 Placas tectónicas que inciden en Chile. (Passoti, 1977).

Madariaga (1988), indica que la sismicidad en Chile está dominada por sismos de subducción. Una zona de subducción ocurre en bordes de placas convergentes, en donde la placa más densa o más pesada penetra bajo la menos densa, debido al peso de la placa subductada; en el caso de las placas de Nazca y Sudamérica en Chile, la placa oceánica de Nazca, más densa que la placa continental de Sudamérica, penetra bajo el continente, formando una zona de subducción (CSN, 2013).

Es por lo anterior que Chile emerge como la región más altamente sísmica en el mundo, después de Japón (Lomnitz, 1970), donde es posible que se originen mega terremotos que alcanzan magnitudes cercanas o superiores M_w 9, causando gran destrucción en diversos puntos del país (Madariaga, 1998). Además de liberar gran cantidad de energía, estos mega terremotos son destructivos por su capacidad de generar tsunamis (Contreras & Winckler, 2013).

Un tsunami es un fenómeno que ocurre principalmente en el mar, generado por un disturbio sísmico u otros procesos geológicos como erupciones volcánicas o deslizamientos, que impulsan y desplazan verticalmente la columna de agua originando un tren de ondas progresivas gravitacionales largas, con longitudes de onda del orden de cientos de kilómetros y alturas en agua profunda inferiores a un metro. (Lagos & Cisternas, 2008).

Las condiciones básicas para que un sismo de origen tectónico sea generador de un tsunami, corresponde en primer lugar a que el epicentro del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino y a una profundidad menor a 60 [km], en segundo lugar a 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, y por último que el sismo libere suficiente energía y que el mecanismo de falla a través del cual ésta es transformada en energía hidrodinámica sea efectivo (Winckler, Reyes, & Sepúlveda, 2010).

10 ANEXO B REGISTROS DE TERREMOTOS Y TSUNAMIS

10.1 PALEOTSUNAMIS

Se denomina paleotsunamis a tsunamis ocurridos antes del registro histórico o para el que no hay observaciones escritas. Los estudios de paleotsunamis se basan principalmente en la identificación y la datación de tsunamis que se encuentran en las zonas costeras y su correlación con sedimentos similares hallados en otra localidad o quizás al otro lado de la cuenca oceánica. La investigación de tsunamis durante los últimos 20 años ha logrado el descubrimiento de registros que abarcan miles de años (Lagos & Cisternas, 2008) y con ello aportando a la evaluación del riesgo de tsunami.

Chile al ser una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, se convierte en un gran laboratorio natural donde abundan los depósitos más recientes y antiguos de tsunamis. (Le Roux & Vargas, 2005). A pesar de la importancia del fenómeno sísmico y tsunamigénico en Chile, existen muy pocos estudios científicos relacionados a los registros sedimentarios o geomorfológicos dejados por estos eventos en el litoral de nuestro país (Lagos & Cisternas, 2004). El tsunami generado por el terremoto de 1960 es el mejor documentado en registros escritos y ahora cada vez más en base a registros sedimentarios.

Al estudiar la frecuencia histórica de los terremotos de los años 1575, 1737, 1837, 1960 mediante estudios sedimentarios en Río Maullín, se puede concluir que el intervalo promedio de recurrencia es de cerca de 300 años para los tsunamis que dejaron registros geológicos en el sitio de estudios y no de 128 años como lo indican los registros históricos (Le Roux & Vargas, 2005). Las excavaciones realizadas en Río Maullín entregaron como resultado acumulación sedimentaria solo del tsunami del año 1575 (Figura 10-1); los terremotos de 1737 y 1837, probablemente liberaron poco momento sísmico a lo largo de la rotura de 196 km, por lo tanto, no fueron capaces de generar un tsunami apto para depositar sedimentos en el Río Maullín (Le Roux & Vargas, 2005). Es por lo anterior que la placa acumuló tal cantidad de energía que fue liberada con el devastador terremoto de 1960. (Satake & Atwater, 2007; (Cisternas et al., 2005).

En conclusión, los depósitos de tsunami pasados han permitido reconstruir la ciclicidad de estos eventos en diferentes partes del mundo, precisando la magnitud de eventos históricos e incrementando las estadísticas con eventos prehistóricos, finalmente no se debe olvidar que los grandes tsunamis son eventos poco frecuentes, sin embargo, cuando ocurren son altamente destructivos. (Lagos & Cisternas, 2004)

La Figura 10-2 es una actualización, al momento de escribir este informe, de Reyes (2013) al cual se le adicionó el terremoto de Iquique con magnitud $M_w= 8.2$ ocurrido el 1 de Abril del 2014 y su réplica principal, de magnitud 7.6, entre otros.

La mayor parte de los terremotos en Chile no son tsunamigénico (ver Figura 10-3), pero existe poca recurrencia de terremotos con epicentro hacia el interior (No obstante, existen registros de terremotos muy destructivos con epicentros asociado al interior); en consecuencia, la zona de ruptura es generalmente bajo el agua, por lo tanto, existe un riesgo permanente de generación de tsunamis, dependiendo de la magnitud del evento sísmico entre otros aspectos (Reyes, 2013).

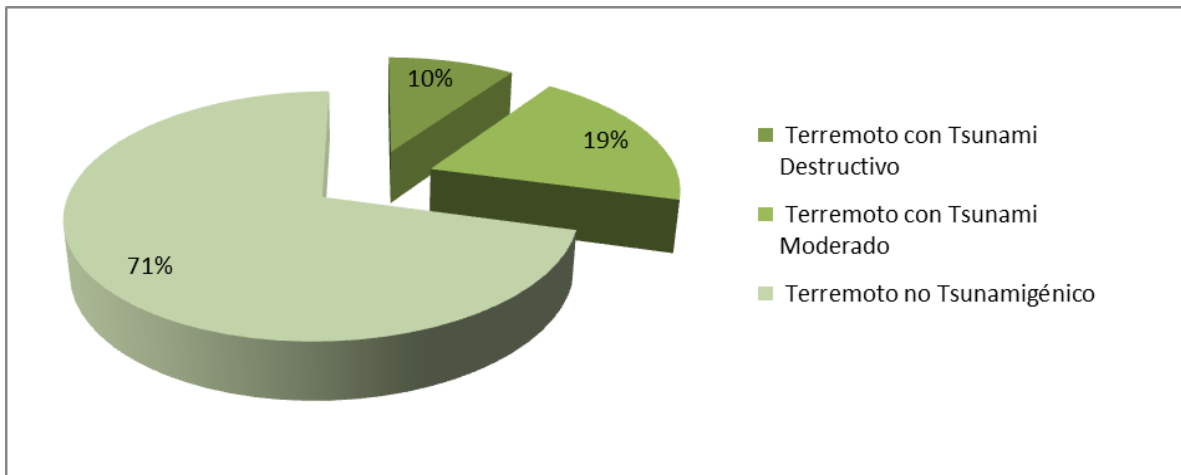


Figura 10-3.- Historial de Terremotos Tsunamigénicos de Chile. Actualizado desde (Reyes, 2013)

Al igual que los registros históricos de terremotos, la principal base de registros de tsunamis a través de la historia provino de escritos, pero estos carecen de información respecto de la inundación, probablemente porque las áreas inundadas no estaban habitadas (Lagos & Cisternas, 2004), hoy en día se trabaja en lo que se denomina paleotsunamis.

Un terremoto tsunamigénico que afecte al Pacífico entero se produce en Chile en promedio una vez cada 25 años; además el 40% de los tsunamis destructivos en el siglo XX se generaron en Chile (Lockridge, 1985).

Lomnitz (2004) hace una recopilación de terremotos históricos sucedidos en Chile a partir del año 1562 con la estimación de hora, día, mes, locación y magnitud (M_s) del evento sísmico, además de sus características.

Lomnitz (2004) indica que el terremoto de 1570 de magnitud $M_s= 8$ probablemente con epicentro costa afuera en la bahía de Talcahuano generó un tsunami sin registro de colonos españoles muertos; el terremoto de 1730 generó la destrucción total de Valparaíso dado que la ciudad era muy pequeña y situada sobre terrenos blandos, el tsunami generado por el sismo de 1730 causó muy pocas muertes en Concepción ya que la población huyó hacia las colinas, se informaron daños en Callao y Japón a causa del tsunami. De acuerdo a la misma publicación, el terremoto del 13 de agosto de 1868 tuvo

una magnitud $M_s=8.5$, generó graves daños en Arequipa y otras ciudades al sur de Perú, fue sentido desde Guayaquil hasta Valparaíso, con epicentro cercano al sur de Perú, Arica fue destruido por el tsunami y los daños ocasionados por este alcanzaron los puertos del Callao hasta Talcahuano, exceptuando Valparaíso.

Mención aparte para el terremoto más grande de la historia de la humanidad, registrado instrumentalmente, ocurrido a las 15:10 horas el 22 de mayo de 1960, el cual tuvo una magnitud $M_w= 9.5$, causando destrucción desde Concepción hasta Aysén (Alvarez et al., 2010; Lagos & Cisternas, 2004). Durante el terremoto del sur de Chile con epicentro en Valdivia, el margen occidental de la placa sudamericana se desplazó hasta 24 metros con relación a la placa de Nazca, lo cual produjo el levantamiento de la plataforma continental, en una extensión de casi 1.000 km., generando un tsunami destructivo. El terremoto y tsunami causaron más de 2000 muertes y produjeron daños estimados en US\$ 550 millones (dólar de 1960); el tsunami impactó California, Hawaii, Japón e islas de Oceanía muchas horas después, generando daños en sus costas. (SHOA, 2000a)

El 27 de febrero del año 2010 a las 03:34 en la zona centro sur se produjo un terremoto con origen en la zona de subducción; la ruptura asociada al evento se extiende por cerca de 450 km de largo y 150 km de ancho, frente a la costa de la región comprendida entre la península de Arauco y un poco al norte de Pichilemu con epicentro situado en la costa de la Región del Maule (Barrientos, 2010), aproximadamente 335 km al suroeste de Santiago, capital de Chile, y 105 km al norte de Concepción (JICA, 2010), alcanzando una magnitud $M_w=8.8$ (Barrientos, 2010). Este evento sísmico fue capaz de generar un tsunami destructivo, causando daños en ciudades costeras como Talcahuano, Coquimbo, Antofagasta y Caldera, así como las islas Juan Fernández entre otras; además se reportaron algunos daños a los barcos y un muelle en San Diego, California e inundación en el norte de Japón (Pararas-Carayannis, 2010). El tsunami del 2010 es el evento con mayor número de muertes, desde el ocurrido en Tumaco en las costas de Colombia, con 181 víctimas fatales según cifras oficiales entregadas por el Ministerio del Interior y Fiscalía Nacional de Chile (Contreras & Winckler, 2013).

11 ANEXO C ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS

11.1 OFICINA NACIONAL DE EMERGENCIA (ONEMI)

La oficina Nacional de Emergencia (ONEMI), institución formalizada el año 1974 con el Decreto de Ley 369 que establece su dependencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, es el organismo técnico del Estado de Chile encargado de asesorar, coordinar, evaluar y controlar el ejercicio eficaz de la gestión permanente del Estado en la planificación y organización de los recursos (públicos y privados) destinados a la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural o antrópico, además de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil frente a amenazas y situaciones de emergencias, desastres y catástrofes; con el fin de resguardar a las personas, sus bienes y ambiente a nivel nacional, regional, provincial y comunal (ONEMI, 2015; PNUD, 2012a)-

La ONEMI actualmente cuenta con el “Plan Nacional de Protección Civil” con el fin de desarrollar sus funciones. El objetivo general de este plan es *“Disponer de una planificación multisectorial en materia de Protección Civil, de carácter indicativo, destinada al desarrollo de acciones permanentes para la prevención y atención de emergencias y/o desastres en el país, a partir de una visión integral de manejo de riesgos”* (ONEMI, 2002).

Este Plan establece el cómo se desarrollará la gestión del Sistema Nacional de Protección Civil, que se materializa tanto a nivel nacional, regional, provincial y comunal donde es dirigido y coordinado por las intendencias, gobernaciones y municipalidades, respectivamente, donde estas instituciones deben mantener o adaptar sus sistemas organizativos y de funcionamiento para cumplir con los roles y funciones que se le asignan en los planes de protección civil, manteniendo su identidad y autonomía jurisdiccional (PNUD, 2012a).

Cada nivel administrativo tiene el deber de contar con un Comité de Protección Civil, que se encargue del diseño de planes y prioricen y ejecuten actividades de prevención, mitigación y preparación, de acuerdo a las necesidades del sector que representen; estos comités se encuentran conformados por representantes de organismos de origen público y privado con un estructura conforme al nivel territorial que representan (ONEMI, 2002; PNUD, 2012a).

Una vez declarada una emergencia, operan los mecanismos dispuestos a través del Plan, y se constituyen los Comités de Emergencia, conformados por representantes de los organismos que forman parte del Comité de Protección Civil, con competencias y capacidades específicas relacionadas a la emergencia. Este comité ejerce su misión en un Centro de Operaciones de Emergencia (COE), donde se coordinan las decisiones y acciones de respuesta y rehabilitación. Los COE son presididos por el Intendente, Gobernador o Alcalde, según corresponda. (ONEMI, 2002; PNUD, 2012a).

11.1.1.1 Proyecto de ley que crea un nuevo “Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil, y crea la Agencia Nacional de Protección Civil”

Este proyecto de ley tiene como fecha de ingreso a la cámara de diputados el martes 22 de marzo del año 2011 y se encuentra, a la fecha que se escribe el presente informe, en un segundo trámite constitucional en el Senado, donde se le otorga la urgencia simple al proyecto.

“El objetivo de este Sistema será promover e implementar las acciones de prevención, respuesta y atención de emergencias que produzcan o puedan producir daños colectivos en las personas, bienes o medio ambiente” (Nacional et al., 2011).

Los principios que recoge el nuevo Sistema Nacional de Emergencias, en el proyecto de ley propuesto, son la Prevención, Subsidiaridad⁷ e Intersectorialidad (Nacional et al., 2011)

“En relación al primer pilar basado en la prevención para salvar vidas, el proyecto de ley incorpora tres grandes innovaciones a la normativa actualmente vigente. Primero, crea la Agencia Nacional de Protección Civil que, adquiere una serie de funciones y competencias en materia de prevención y reducción de riesgos. Segundo, el proyecto de ley crea el Consejo Nacional de Protección Civil como instancia representativa en la que participan distintos sectores del ejecutivo y de la sociedad civil, y cuya misión esencial es asesorar en la elaboración de una estrategia nacional de reducción de riesgos y vulnerabilidades. Tercero, crea el Fondo Nacional para la Protección Civil con el fin de asegurar un mínimo financiamiento a diferentes iniciativas sectoriales cuyo objetivo es prevenir, reducir vulnerabilidades, mejorar la preparación de la población a nivel local y regional, y aumentar la capacidad de reacción de instituciones públicas y privadas” (Nacional et al., 2011).

“En relación al principio de subsidiariedad, el proyecto de ley también incorpora innovaciones importantes. En primer lugar, reconoce el rol fundamental que debiesen cumplir los municipios y les asigna la labor de elaborar y aprobar un plan comunal de protección civil. Asimismo, crea los Comités Regionales responsables de elaborar una Estrategia Regional de Protección Civil.” (Nacional et al., 2011).

“Por último, y recogiendo las recomendaciones de expertos vinculadas a la necesidad que los sistemas nacionales cuenten con un enfoque multisectorial, el proyecto de ley fortalece, además, la coordinación en el actuar institucional durante la etapa de respuesta. Esto se materializa mediante la incorporación de las Fuerzas Armadas en labores de ayuda humanitaria y de atención de la emergencia.” (Nacional et al., 2011).

“En efecto, el proyecto de ley define, dentro del ámbito propio de las Fuerzas Armadas, un rol clave en la realización de actividades y labores de apoyo para afrontar la emergencia.”

⁷ Subsidiaridad: Tendencia favorable a una participación meramente subsidiaria del Estado en apoyo de las actividades privadas o comunitarias.

Esta innovación tiene por finalidad poner al servicio del Sistema Nacional de Emergencia las capacidades existentes al interior de las Fuerzas Armadas.” (Nacional et al., 2011).

En resumen el Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil estará constituido por la Agencia Nacional de Protección Civil, el Consejo Nacional de Protección Civil, los Comités de Protección Civil y los Comités de Operaciones de Emergencia.(PNUD, 2012a).

La Agencia Nacional de Protección de Emergencia y Protección Civil se perfila a ser el principal organismo ejecutor del Sistema Nacional de Emergencia y Protección Civil, en donde asumirá el trabajo realizado hoy en día por la ONEMI, desde un punto de vista principalmente enfocado hacia la prevención y asesoría en la emergencia, cambiando rotundamente la forma en que a nivel nacional se afrontan las situaciones de emergencias (Nacional et al., 2011; PNUD, 2012a).

En lo que respecta al Consejo Nacional de Protección Civil, este *“será una instancia multisectorial responsable de asesorar al Ministro del Interior y Seguridad Pública en la elaboración de la Estrategia Nacional de Protección Civil. Este órgano consultivo será presidido por el Subsecretario del Interior y estará integrado por distintos organismos”* (Nacional et al., 2011). La Agencia Nacional de Protección Civil actuará como Secretaría Ejecutiva del Consejo con el objetivo de que apoyar la ejecución de las acciones que emanen del Consejo Nacional de Protección Civil (Nacional et al., 2011).

Los Comités de Protección Civil *“serán los órganos consultivos permanentes del Intendente Regional y otras autoridades que, conforme a la Ley, ejerzan el gobierno interior en una determinada zona geográfica. Estos órganos estarán integrados por instituciones públicas, privadas y el voluntariado del nivel territorial respectivo”* (Nacional et al., 2011).

Los Comités de Operaciones de Emergencia serán órganos no permanentes a nivel comunal, regional o nacional, con el objetivo de planificar, coordinar y dirigir acciones en el ámbito de respuestas y rehabilitación en zonas afectadas por el desastre (PNUD, 2012a). *“Las Fuerzas Armadas también participan en los Comités de Operaciones de Emergencia (“COE”) en la etapa de respuesta a la misma”* (Nacional et al., 2011).

11.2 SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), tiene como principal misión otorgar elementos, información y asistencia técnica para la navegación. Además es el servicio oficial del Estado en cuanto a la hidrografía, oceanografía, cartografía náutica, entre otras.

El 11 de Enero de 1966, el Decreto Supremo N° 26, designa al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada como representante oficial de Chile ante el Sistema Internacional de Alarma de Tsunami del Pacífico, cuyo centro de operaciones, Pacific Tsunami Warning Center (PTWC), se ubica en Honolulu, Hawaii. El mismo decreto, además, crea el Sistema Nacional de Alarma de Maremotos (SNAM) teniendo el SHOA la

responsabilidad de coordinarlo, operarlo y mantenerlo. Chile, por intermedio del SHOA, actualmente interactúa constantemente con el PTWC, para lo cual cuenta con una serie de elementos tecnológicos que le permiten monitorear principalmente la actividad sísmica y el nivel del mar en el sector de la cuenca del océano Pacífico bajo su jurisdicción (SHOA, 2004).

11.2.1 SISTEMA NACIONAL DE ALARMA DE MAREMOTOS (SNAM)

El SHOA es el organismo encargado de coordinar, operar y mantener el Sistema Nacional de Alarma de Maremotos. Dicho lo anterior, el SHOA hace llegar al Sistema Internacional de Alarma de Tsunami del Pacífico además de entidades Civiles, de las Fuerzas Armadas y Carabineros ubicadas en los puertos y caletas del litoral, la información relacionada con la magnitud y hora estimada de arribo de un posible tsunami con origen en las costas chilenas (SHOA, 2004)

Para el monitoreo de los parámetros oceanográficos y sísmicos de un tsunami, el SHOA cuenta con:

| Plataformas digitales satelitales | Boyas Dart | Sistema TREMORS | Sistema EMWIN |
|--|--|--|---|
| De marca VAISALA, instaladas a lo largo de la costa de Chile y en territorio insular, que han reemplazado a partir del año 2000 los mareógrafos automáticos convencionales instalados en nuestra costa desde el año 1941. Este moderno instrumental permite realizar estudios sistemáticos de marea y monitorear en tiempo real las variaciones anormales del nivel del mar. | Boyas que permite confirmar rápidamente la existencia de un tsunami potencialmente destructivo. Capaz de detectar oscilaciones del nivel del mar de 1 cm de altura. Mediante el sistema satelital GOES, al SHOA y al PTWC (Pacific Tsunami Warning Center) en tiempo real. | Sistema de Evaluación en Tiempo Real del Riesgo de Tsunami a Través del Momento Sísmico. Moderno equipamiento automático que permite monitorear la actividad sísmica y detectar los sismos potencialmente generadores de tsunamis. Está integrado por una estación sísmica que procesa en tiempo real las señales sísmicas y obtiene de los parámetros de un evento, lo que permite obtener una estimación cuantitativa del riesgo de tsunamis en la costa de Chile. | Es un receptor satelital de mensajes informativos y boletines de Alertas y Alarmas emitidos por los centros internacionales de vigilancia y monitoreo de emergencias. |

Tabla 11-1 Sistema de Monitoreo de SNAM. (SHOA, 2004).

Sobre la base de la información recolectada, el SHOA emite, recibe y transmite boletines informativos sobre eventos sísmicos, y mensajes de Alerta y/o Alarma de tsunami cuando corresponde. (SHOA, 2004). En la Figura 11-1, se representa el flujo de información que el SHOA recibe, evalúa y entrega.

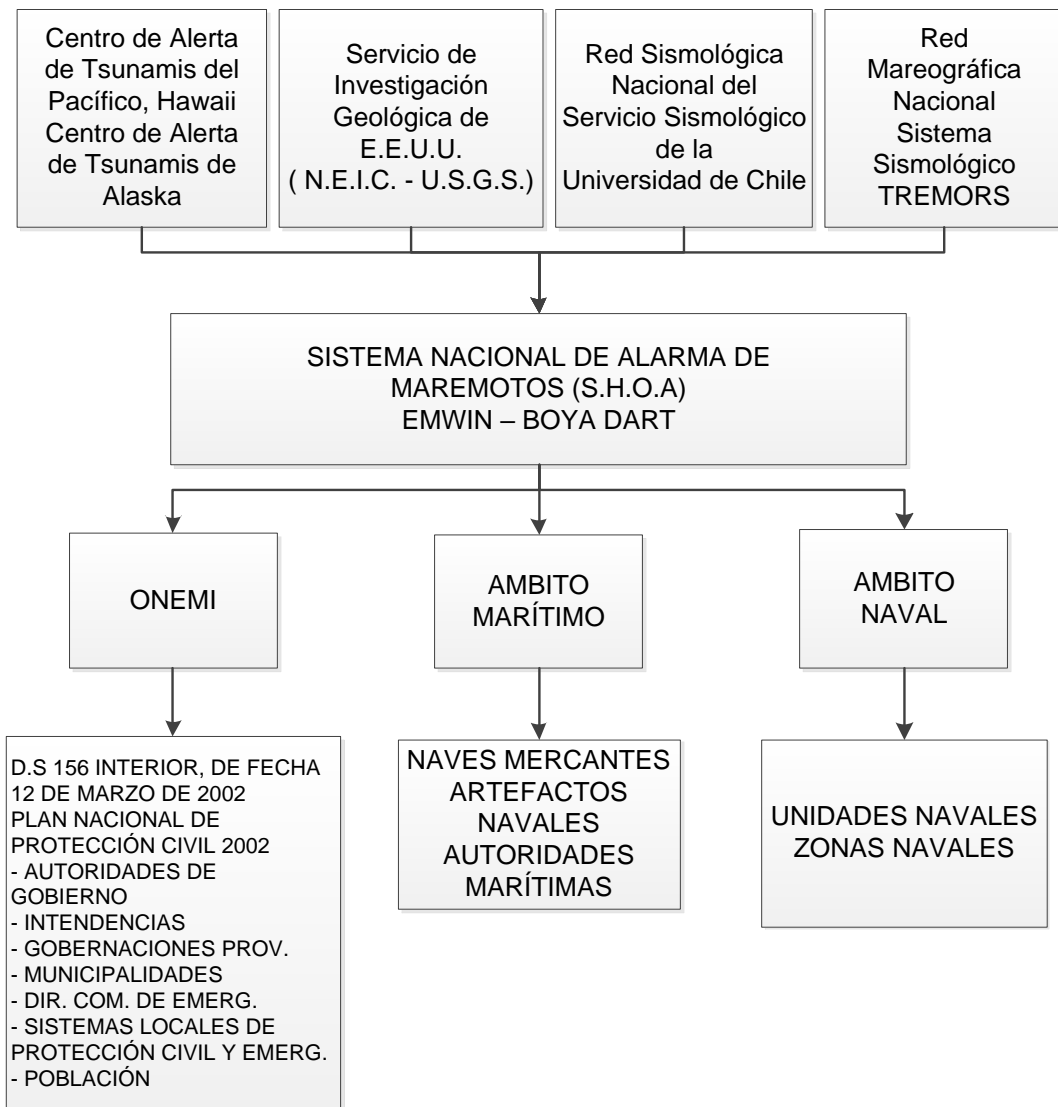


Figura 11-1 Flujo de información SNAM. (SHOA, 2004)

11.2.1.1 Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU)

Las cartas de inundación otorgadas por el SHOA, son una herramienta que permiten definir los niveles de inundación máximas esperadas para las principales zonas urbanas y portuarias del país, ante un tsunami de campo cercano (SHOA, 2004).

El SHOA participó en el Proyecto TIME (Tsunami Inundation Modeling Exchange), el cual otorgaba herramientas para la realización de simulación numérica, con el objeto de desarrollar la investigación y elaborar Cartas de Inundación por Tsunami (CITSU). Una de las desventajas de las CITSU era que se encontraban en formato de dibujo Corel, donde se graficaba la información topográfica y la inundación correspondiente, finalmente eran publicadas en formato PDF, lo cual no permitía interactuar de manera eficiente con estas. Por lo tanto, el SHOA comenzó durante el año 2010 la elaboración de

CITSU, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) con lo cual se relacionó topografía y batimetría permitiendo describir la propagación de las ondas hacia la costa y el impacto de éstas de mejor forma y con ello entregar un producto más amigable y manipulable (Sobarzo, 2011).

Es importante destacar que las CITSU hoy en día se encuentran elaboradas bajo el criterio de inundación producida por un evento histórico (hoy en día se trabaja con el evento más extremo conocido) en particular en el borde costero.

La carta de inundación de Talcahuano, se elaboró con el modelo de simulación numérica COMCOT (Sobarzo, 2011). Amalgamando información topográfica, batimétrica y el plano urbano correspondiente, se pudo caracterizar la inundación referida al tsunami generado por el terremoto del año 1835.

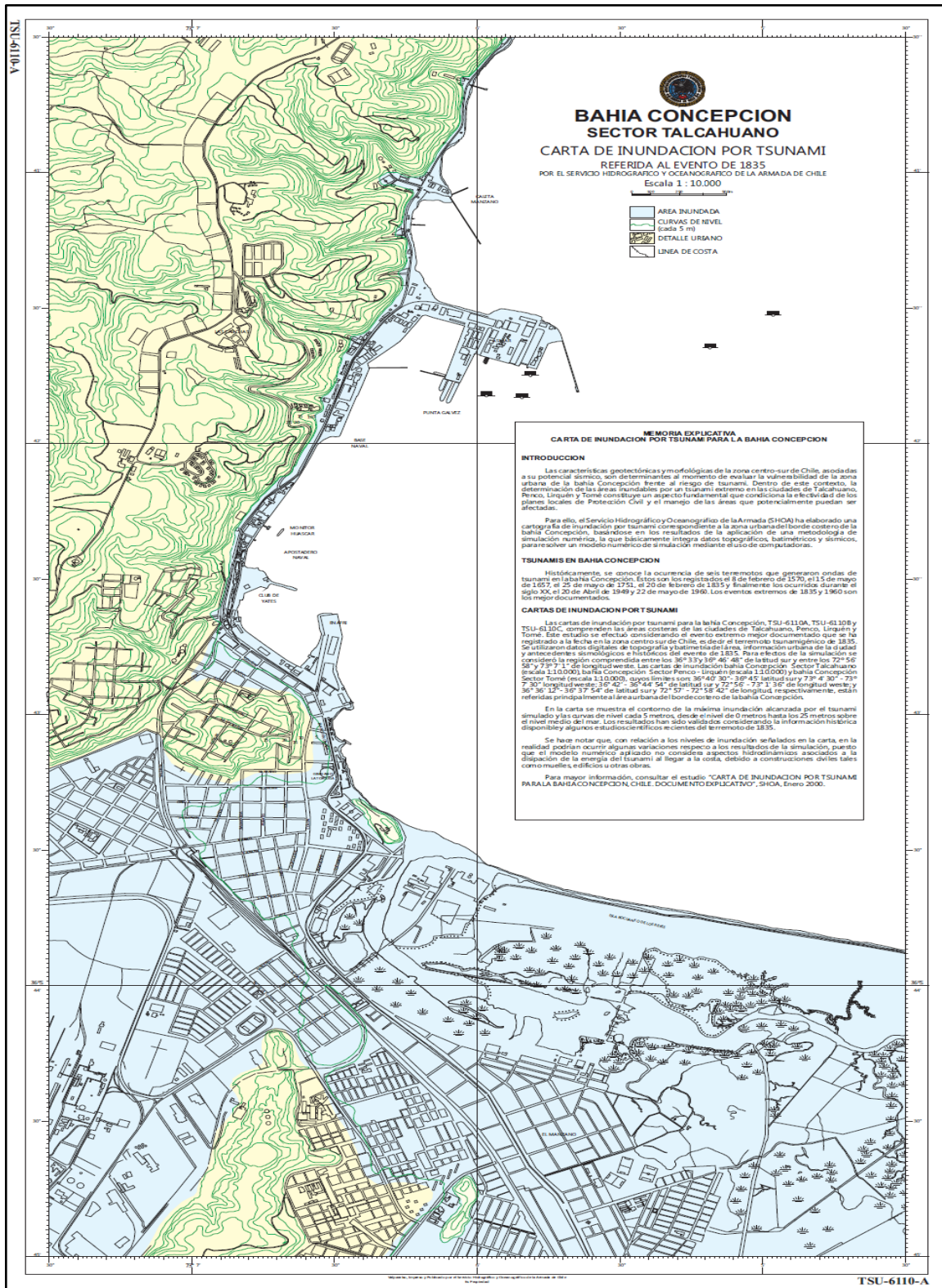


Figura 11-2.- CITSU en formato PDF año 1997. SHOA

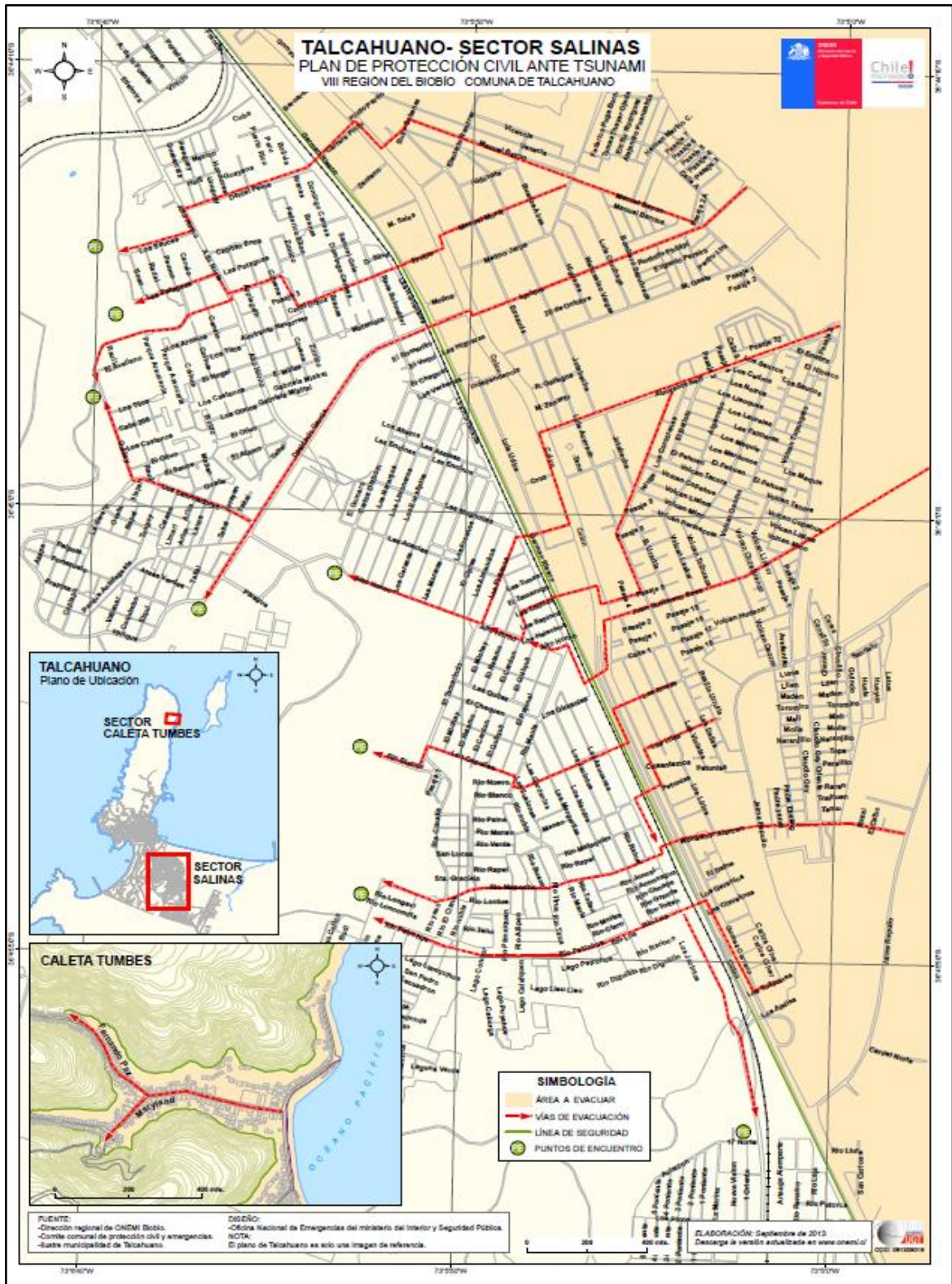


Figura 11-4 Vías de evacuación ante tsunami en Talcahuano. ONEMI (2013)

12 ANEXO D FICHA DE REGISTRO EH Y GLOSARIO

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 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 desborde de cauces, ríos y/o esteros

OBS:

1.5 La vía es susceptible al bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos

1

2

3

4

5

OBS:

1.6 La vía es susceptible al bloqueo por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva de personas

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 colapso del tendido eléctrico

1

2

3

4

5

OBS:

| Escala Cualitativa de Impacto por Susceptibilidad | |
|---|---|
| No Susceptible | 1 |
| Baja Susceptibilidad | 2 |
| Susceptibilidad Media | 3 |
| Alta Susceptibilidad | 4 |
| Muy Alta Susceptibilidad | 5 |

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, jardineras, árboles)

OBS:

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

OBS:

2.3 La vía es confiable en consideración de su ancho útil para desplazamiento

OBS:

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

OBS:

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

OBS:

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

OBS:

2.7 La vía es confiable para la evacuación en escenario nocturno

OBS:

| Escala Cualitativa de Impacto por Confiabilidad | |
|--|---|
| No Confiable | 1 |
| Baja Confiabilidad | 2 |
| Confiabilidad Media | 3 |
| Alta Confiabilidad | 4 |
| Muy Alta Confiabilidad | 5 |

Documento complementario con definiciones para realizar encuesta

Susceptible: Indica la probabilidad que algo suceda, está vinculado a aquello capaz de ser modificado o de recibir impresión por algo o alguien.

Bloqueo por escombros: Probabilidad de bloqueo por un conjunto de fragmentos o restos de ladrillos, hormigón, acero, madera, entre otros, provenientes de derrumbes de muros y/o estructuras. Presencia de cornisas o edificios antiguos.

Bloqueo por atochamiento vehicular: Dificultad para circular por la vía de evacuación debido a la ocupación de ésta por el masivo flujo de vehículos.

Bloqueo por incendio o explosiones: Bloqueo de las vías de evacuación por las probabilidades de sufrir un incendio o explosiones por presencia de bombas de bencina, tanques de gas, edificaciones de material ligero, etc.

Bloqueo por colapso de cauces, ríos y esteros: Probabilidad que la vía de evacuación sea inundada por la existencia de cauces, ríos o esteros cercanos que sean desbordados por el crecimiento del flujo de agua.

Bloqueo por atochamiento de personas por vías estrechas: Dificultad para circular por la vía de evacuación debido a la aglomeración de personas provocado por un angostamiento de la vía.

Bloqueo por atochamiento de personas en horario peak: Dificultad para circular por la vía de evacuación en horarios de mayor circulación de personas (ej: horarios de entrada y salida de trabajo, colegios, etc).

Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano: Dificultad para circular por la vía de evacuación en periodos de mayor acumulación de personas; en lugares como playas, borde costero, mall, etc. y eventos como año nuevo y fiestas masivas, etc.

Bloqueo por presencia de tendido eléctrico: Probabilidad que la vía de evacuación sea bloqueada por caída de postes de alumbrado público y/o existencia de cables electrificados.

Confiabilidad: Probabilidad de que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas.

Elementos que obstaculicen el desplazamiento: Se entiende como aquellos elementos tales como, rejas, barreras de contención, baches y resaltos que puedan obstaculizar el desplazamiento de personas durante la emergencia.

Zona inundable: Es aquella zona demarcada, en la carta de inundación del SHOA, que frente a un tsunami sería inundada.

Punto de encuentro: Punto demarcado en el Plano de Evacuación frente a Tsunami, elaborado por la ONEMI, en el cual se especifica el punto al que debe llegar y permanecer la población evacuada durante la emergencia.

Tiempo de desplazamiento: Lapso de tiempo que los individuos se tardan en desplazarse desde un punto a otro durante la emergencia.

Pendiente: Plano inclinado presente en las vías de evacuación, ya sea suave (ligeramente inclinada) o fuerte (bastante inclinada).

Señalética disponible: Mecanismo de información basado en el uso de dibujos o señales que sirvan de orientación a la población durante la evacuación por Tsunami.

Personas con movilidad reducida: Son aquellos individuos que poseen dificultades físicas para trasladarse, causadas ya sea por edad, enfermedad, accidente o deficiencia mental.

Escenario nocturno: Se entenderá como escenario nocturno aquel momento del día en el que la luz solar comienza a escasear hasta el punto de quedar completamente oscuro, teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados (tiempo de desplazamiento, obstáculos, pérdida de sistemas de alumbrado público, señalética especial, etc.).

Ancho de Vía: Se debe evaluar el ancho de la vía de evacuación respecto al flujo de gente que utilice dicha vía. Para esto, se pueden considerar variables como densidad de población (que está directamente relacionada con el flujo de gente), locación de la vía, etc. El objetivo es justamente, fundamentar si el ancho de la vía de evacuación responde correctamente a su uso y no es causa de atochamientos humanos.

13 ANEXO E, EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI EN TALCAHUANO

13.1 RESULTADOS POR RUTA DE EVALUACIÓN DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN ANTE TSUNAMI

13.1.1 RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN MANUEL BAYÓN

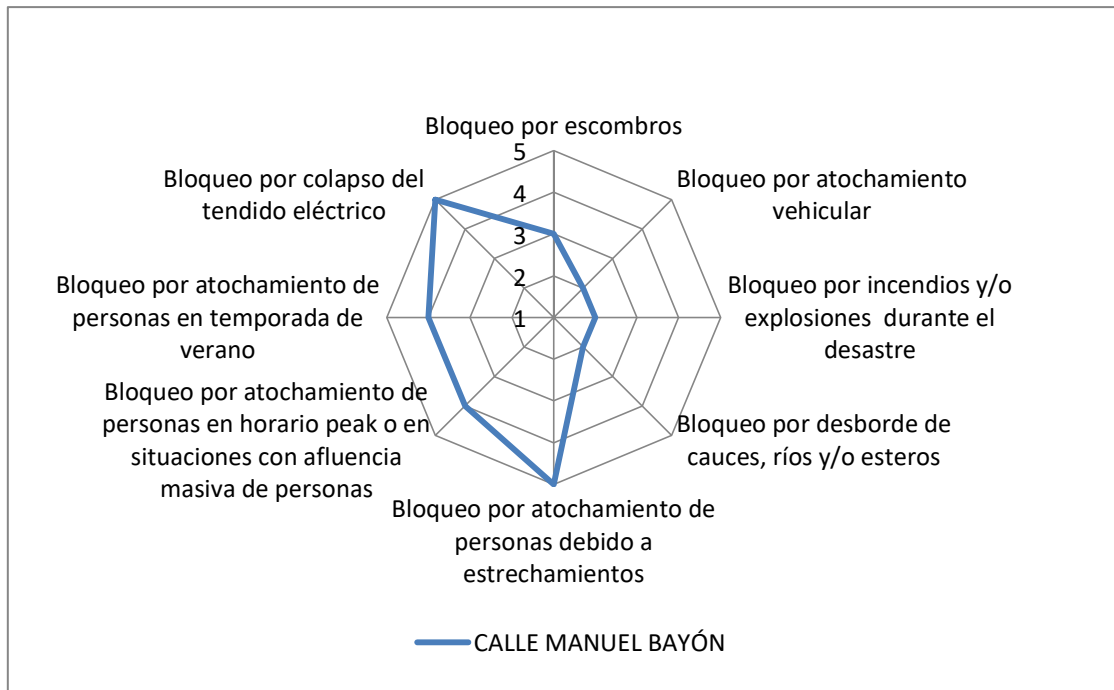


Gráfico 13-1 Resultados susceptibilidad ruta calle Manuel Bayón. Elaboración propia.

Los puntos más críticos en lo que a la susceptibilidad respecta, es que en el sector de cruce de la línea férrea no existen veredas para peatones, dificultando el paso de estos provocando atochamiento de personas en situación de caos si el cruce se encuentra bloqueado por vehículos. Otro punto crítico es el relacionado con la obstrucción por tendido eléctrico, dado que se encuentran torres de alta tensión que debido a situaciones de desastres podrían eventualmente caer y bloquear las vías. Por último existe la presencia de un pequeño cauce que podría ocasionar algún accidente en situación de caos.

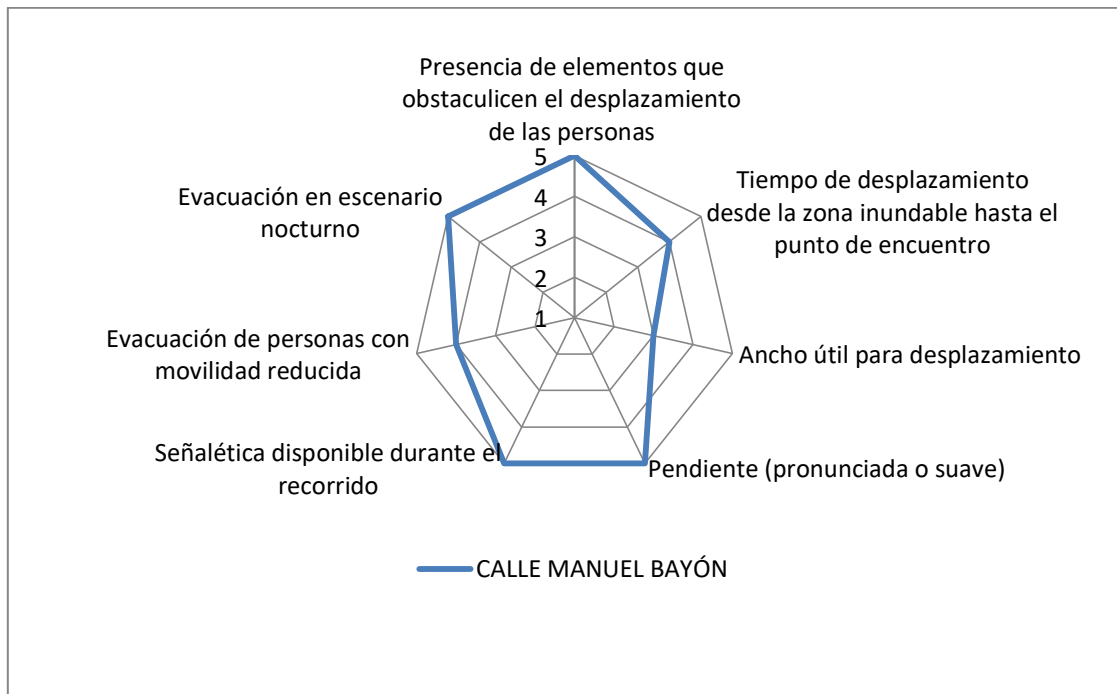


Gráfico 13-2 Resultado confiabilidad calle ruta Manuel Bayón. Elaboración propia.

Esta vía de evacuación cuenta con solo dos señaléticas, una de ellas corresponde a las que indican zona de amenaza de tsunami. Esto es una debilidad de la vía, dado que la hace poco confiable en ese aspecto debido a que causa confusión entre las personas que se encuentran en el lugar y con ello una situación de caos.

Para la evacuación de personas con movilidad reducida, existen sectores donde su trayectoria se podría ver entorpecida debido a los obstáculos impuestos a lo largo de la vía. Por ejemplo los obstáculos descritos en la sección susceptibilidad.

Finalmente es una vía que cuenta con una pendiente suave lo que la hace bastante extensa, en consecuencia los tiempos de desplazamientos desde donde comienza la ruta hacia la zona de seguridad son prolongados.

13.1.2 RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN CALLE ALMIRANTE NEFF

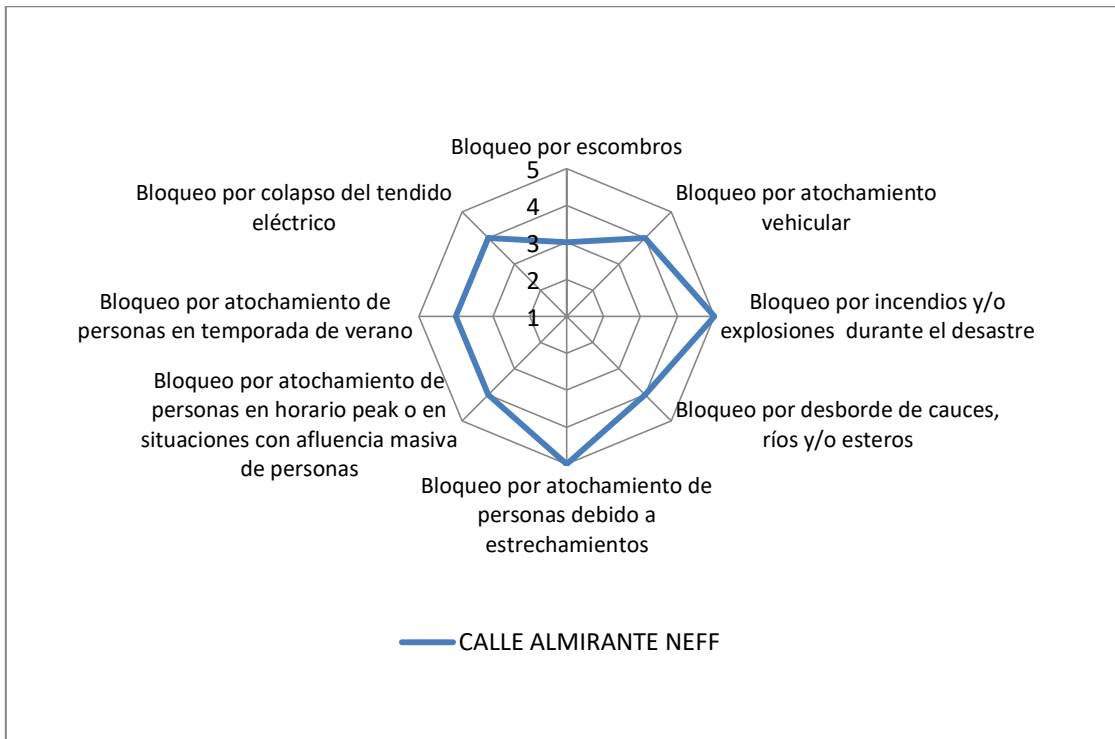


Gráfico 13-3 Resultado confiabilidad calle ruta Almirante Neff. Elaboración propia

El sector cercano al cruce de la línea férrea es susceptible al bloqueo por atochamiento vehicular, al igual que el sector de la calle Gómez Carreño. La existencia de más de un gran tubo de gas licuado externo hace a la ruta muy susceptible al bloqueo por incendio y/o explosiones durante el desastre. Al comienzo de la ruta es necesario cruzar un puente, donde el cauce podría ocasionar el bloque de la vía debido a su desborde o también bloqueo por la caída del puente por efectos del desastre. Al igual que las rutas anteriores, la línea férrea es un sector crítico en lo que respecta al atochamiento de personas debido a estrechamiento, a esto se le suma que el tramo cercano a la zona de seguridad nuevamente se visualiza estrechamiento, no al nivel de la línea férrea pero de igual forma es susceptible al bloqueo.

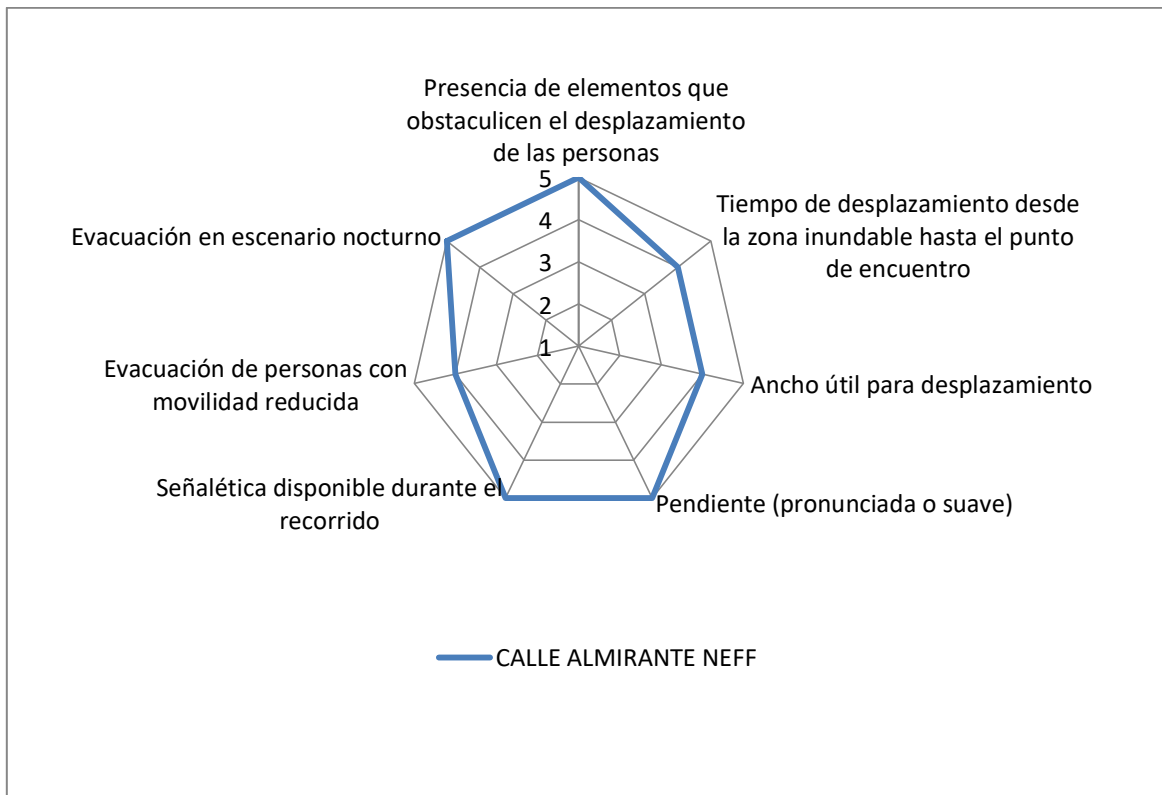


Gráfico 13-4 Resultado confiabilidad calle ruta Almirante Neff. Elaboración propia

La existencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas, como la reja que se extiende a lo largo de la línea férrea y el pequeño cauce al costado de la calle Los Plátanos, hace la vía no confiable en ese aspecto, pudiendo de esta forma dificultar el desplazamiento y generar accidentes al momento de la evacuación, siendo más propenso a estos en horario nocturno. La vía es bastante cambiante respecto al ancho útil de desplazamiento, comenzando desde calles bastante anchas, pasando por el cruce de la línea ferroviaria que es muy angosta, para finalmente encontrar calles estrechas. Respecto a la señalética disponible, solo se encuentra una de estas, la cual dirige hacia otra calle distinta a la que indica la ONEMI. Para personas con movilidad reducida, existen obstáculos como veredas en mal estado y sectores difíciles de maniobrar como los obstáculos que existen en el cruce de la línea férrea.

13.1.3 RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN CALLE GUILLERMO SOZA

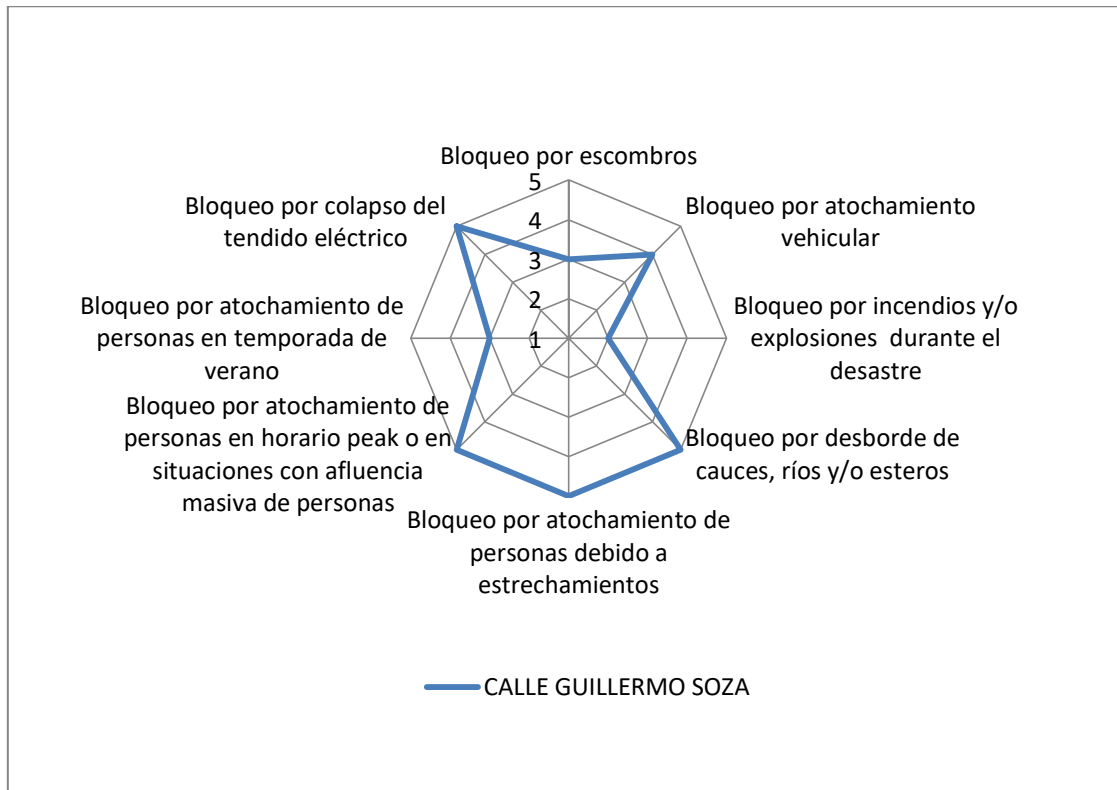


Gráfico 13-5 Resultado susceptibilidad calle ruta Guillermo Soza. Elaboración propia

La presencia de tendido eléctrico de alta, media y obviamente de baja tensión, hace la vía muy susceptible al bloqueo por tendido eléctrico. En cuanto a la existencia de señalética, al recorrer la vía, se encuentra solo una de estas, por lo cual la evacuación por la ruta se torna demasiado dificultosa. Para lograr la evacuación es necesario cruzar un cauce el cual puede complicar evacuación debido a un eventual desborde de este. Al igual que las rutas anteriores, el sector donde se cruza la línea férrea es susceptible al bloqueo por atochamiento de personas.

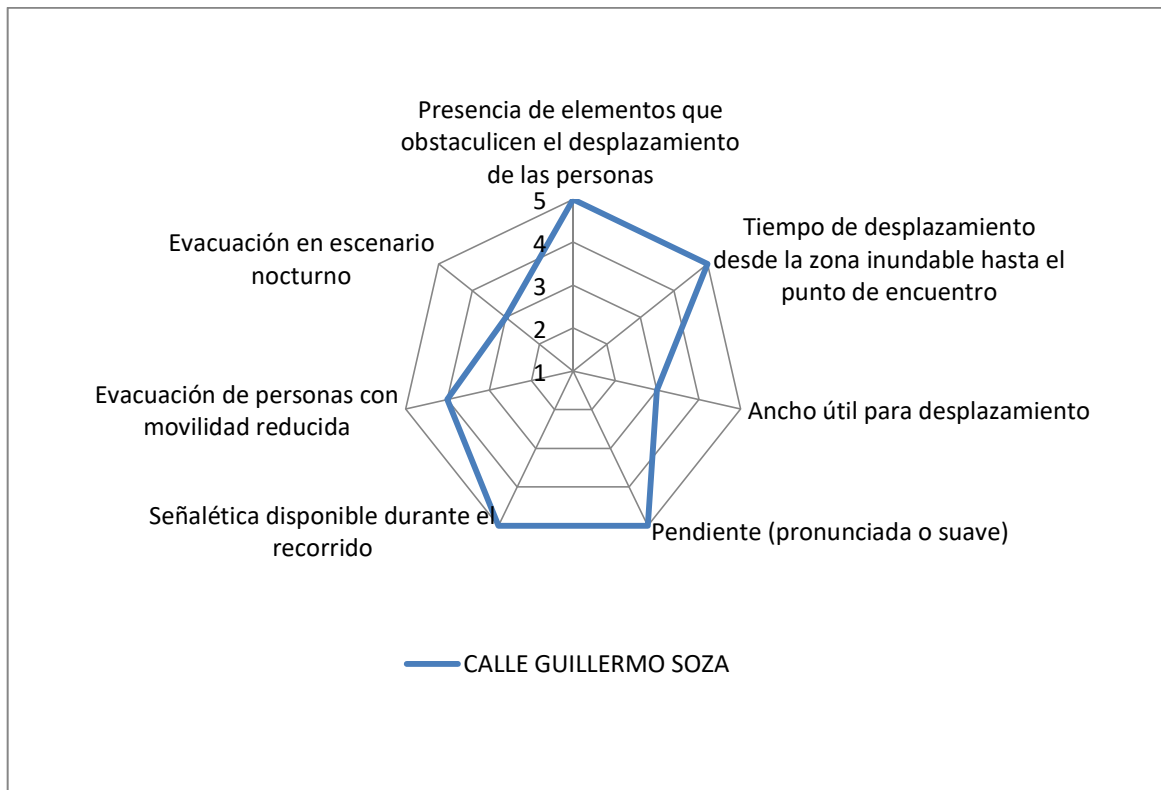


Gráfico 13-6 Resultado confiabilidad calle ruta Guillermo Soza. Elaboración propia

Árboles, jardines y reja de la línea férrea son elementos que obstaculizan el desplazamiento a través de esta ruta. Al recorrer la vía se contabiliza la presencia de solo una señalética. Es una ruta bastante larga y de poca pendiente, por lo cual los tiempos de desplazamientos son extensos. En el sector del cruce de la línea férrea es difícil el desplazamiento para personas con movilidad reducida debido a obstáculos.

13.1.4 RESULTADOS VÍA DE EVACUACIÓN CALLE HERNAN MERINO CORREA

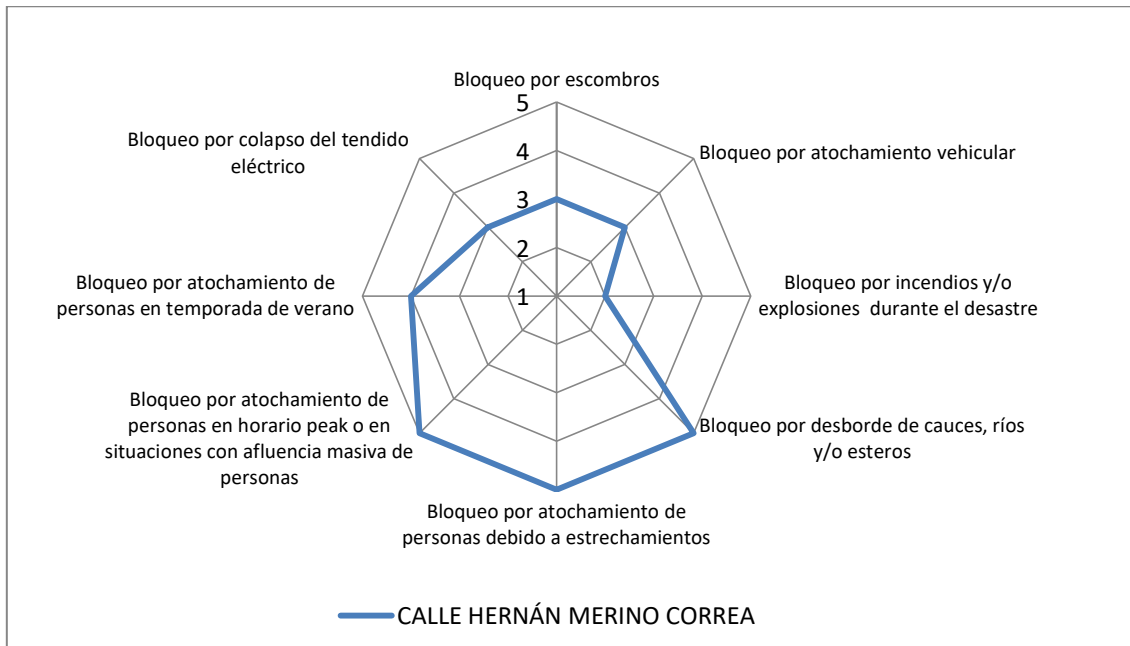


Gráfico 13-7 Resultado susceptibilidad calle ruta Hernán Merino Correa. Elaboración Propia

Principalmente las susceptibilidades a las que se encuentra sujeta esta vía de evacuación son al bloqueo por desborde de cauces, debido a que el comienzo la ruta es perpendicular a uno de estos; bloqueo por atochamiento de personas a causa de estrechamientos, dado que para cruzar la línea férrea se genera un angostamiento importante de la ruta; finalmente bloqueo por atochamiento de personas en horario peak, consecuencia de que se visualizan tres establecimientos educacionales a lo largo de la ruta, además de un hospital.

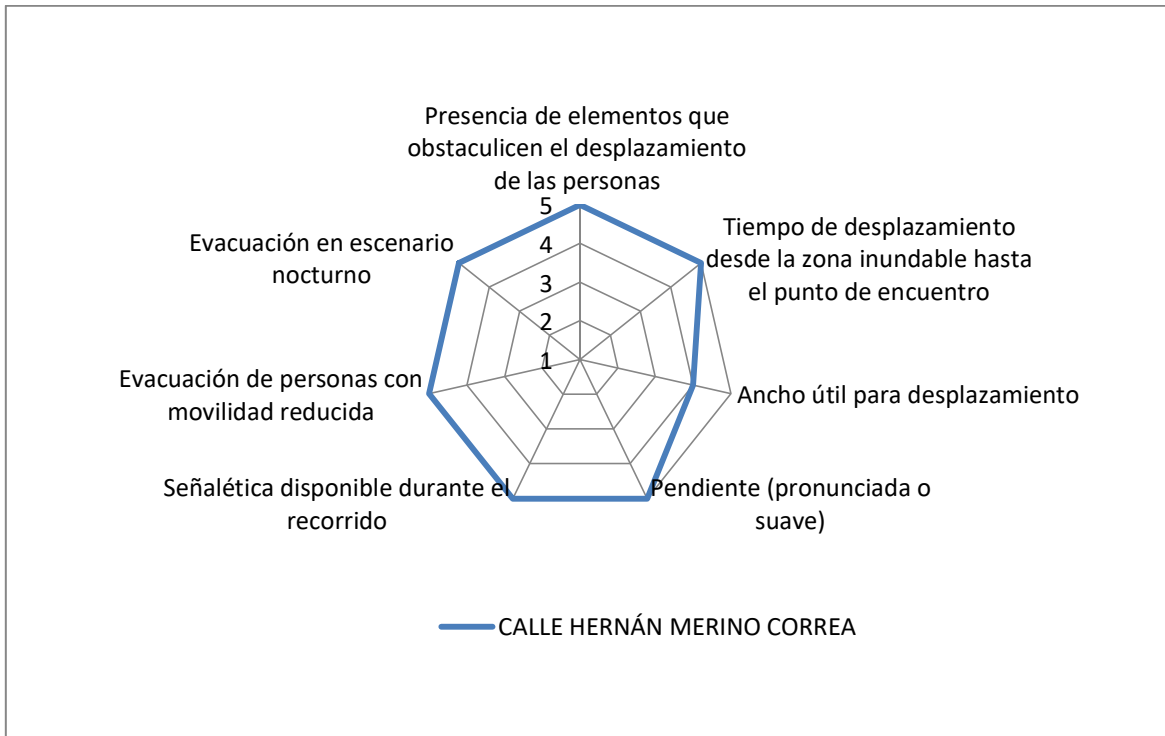


Gráfico 13-8 Resultado confiabilidad calle ruta Hernán Merino Correa. Elaboración Propia

Sectores angostos, principalmente en el cruce de la línea férrea además la casi nula señalética disponible para indicar la ruta de evacuación y además de poca pendiente hacen que la vía de evacuación sea poco confiable en caso de ocurrencia de un tsunami, debido a los largos tiempos de evacuación, paso apresurado y movilidad reducida, necesarios para lograr la zona de seguridad

14 ANEXO F, METODOLOGÍA DEMANDA DE EVACUACIÓN

14.1 DEMANDA DE EVACUACIÓN

Considerando que todas las personas pretenden evacuar ante la ocurrencia de un tsunami, la demanda de evacuación corresponde al total de la población expuesta. La demanda de evacuación considera demanda de evacuación horizontal y demanda de evacuación vertical y con una prioridad lógica de evacuación horizontal como primera alternativa y vertical cuando la primera posible.

De acuerdo a los siguientes criterios, independientes, se calcula la demanda de evacuación:

- Rangos de tiempo de arribo a zona de seguridad.
- Densidad de población en zonas de tránsito peatonal

14.1.1 División por rangos de tiempo de arribo a zona segura

De acuerdo al criterio de tiempo de arribo a la zona de seguridad, se evalúa una velocidad promedio asumiendo que dicha velocidad representa el comportamiento del total de la población. El propósito del criterio utilizado es concienciar la composición de la demanda de evacuación de acuerdo al tiempo teórico de arribo del tsunami

Para la zonificación de la ciudad se necesita la velocidad promedio la cual se consigue con datos obtenidos en las campañas de terreno ejecutadas en Viña del mar y Valparaíso. Para el presente estudio se ocupa la velocidad promedio (1.41 [m/s]), para una persona a paso acelerado, obtenida en la ciudad de Valparaíso al ser la velocidad más conservadora. Para una persona con movilidad reducida se ocupa la velocidad que indica la literatura, en este caso la Fema (2009), que indica que la velocidad de evacuación para una con dichas característica, es de 0.89 [m/s]. Cabe destacar que el límite de zonificación definido por el tiempo que toma evacuar a zonas seguras es un límite difuso. Luego de obtener las velocidades, se procede a zonificar la ciudad marcando una intersección cada 5 minutos por cada ruta recorrida, medido desde la zona de seguridad hacia la zona costera, para luego dibujar polígonos, mediante Google Earth ©, como se observa en la Figura 6-1.

Debido a la escasa información respecto a las características de la población y su distribución en las ciudades chilenas, se asume como principal suposición que luego de ocurrido el evento sísmico todas las personas que habitan o circulan en la zona de estudio toman la decisión de evacuar hacia la calle, ocupando áreas a partir de cuyo cálculo se estima la población expuesta.

14.1.2 Subdivisión por densidad de población

Cada zona se divide en 3 subzonas las cuales se asocian a factor dependiendo del momento de ocurrencia. La densidad se basa en el criterio modificado de Jacobs que a continuación se detalla.

| Tipo de Multitud | [per/m ²] |
|--------------------|-----------------------|
| Multitud fluida | 1 |
| Multitud densa | 2 |
| Multitud muy densa | 4 |

Tabla 14-1 Criterio de Jacobs. Elaboración propia.

Para esta metodología se optó por modificar el criterio planteado por Jacobs mostrado en la Tabla 14-1 (ya que estaba sobrestimando la densidad poblacional). Los factores mostrados en la Tabla 14-2 representan la aglomeración de personas, la cual multiplicado por la densidad poblacional y áreas de las sub zonas generan como producto la demanda de evacuación.

| Tipo de Multitud | Factor |
|---------------------------|--------|
| Multitud fluida | 1 |
| Multitud densa | 2 |
| Multitud muy densa | 4 |

Tabla 14-2 Criterio modificado. Elaboración Propia.

La ecuación para determinar demanda es la que se muestra a continuación:

$$D = F * d_{i,j} * A \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Dónde:

- D: demanda de evacuación, medida en cantidad de personas
- F: factor de aglomeración de personas
- d: densidad de personas
- i: subzona
- j: indicador del momento de ocurrencia de la amenaza,
- A: superficie donde se genera la demanda de evacuación.

La densidad poblacional para las sub zonas, obtenida en esta metodología, no es función del escenario de amenaza asumido, sino que depende de las condiciones o características del sistema urbano al momento de su ocurrencia. Lo anterior se refiere a

que desde el punto de vista del autor el escenario es un “todo” que engloba demasiadas variables, lo que valdría trabajar en otro proyecto.

Tabla 6-1, muestra la distribución de valores que ha sido asumida para caracterizar la población expuesta en tres momentos de ocurrencia de la amenaza en la ciudad de Talcahuano.

La densidad poblacional de la ciudad es 0.002 (*per/m²*) y se obtuvo desde Guíñez Cabezas & Gaete Vásquez, (2013), la cual ayudo a encontrar la población del sector de estudio, la alcanza los 6852 habitantes.

El cálculo de la superficie donde se concentra la multitud, se realiza dependiendo de su acumulación. Para zonas donde la aglomeración es baja y media, amarillo y naranja respectivamente, se realiza la medición solo de la superficie de veredas, por otro lado, para zonas donde se concentra una alta aglomeración, zona de color rojo, se mide la superficie en veredas, calles, parques y playas.

14.1.3 Procedimiento de cálculo de la población expuesta

El proceso para este cálculo, es enumerar todas las cuadras de la zona expuesta, desde la línea de costa en dirección hacia la zona de seguridad. Para aquellas cuadras ubicadas en la frontera entre una zona y otra, se considera que pertenece a la zona siguiente. La codificación a utilizar es zona – calle- cuadra.

Luego, con la ayuda de Google Street View ©, se procede a obtener una fotografía en la mitad de cada cuadra analizada, de tal manera que permita visualizar el ancho de vereda, áreas verdes y calzadas de cada calle, valores que al ser multiplicados por la longitud de cada cuadra permite conocer el área donde se ubicarían las personas al iniciar la evacuación.

14.1.4 Composición de la demanda de evacuación

Como se dijo anteriormente, la evacuación se puede ejecutar de dos formas, ya sea evacuación vertical y evacuación horizontal.

Dentro de la población, existen personas que presentan velocidades de desplazamiento notoriamente inferior, como por ejemplo las personas adultas mayores y personas con discapacidad. Como se dijo anteriormente la velocidad a utilizar para este tipo de personas es la otorgada por la literatura (Fema (2009)), la cual es de 0.89 [m/s]. Con este valor, se zonifica la ciudad realizando una marcación cada diez minutos por todas y cada una de las rutas evaluadas, medidos desde la zona costera hacia la zona de seguridad y con ello quedando establecido los lugares donde deberían existir refugios de desalojo vertical (Figura 6-7).

Actualmente, 1 de cada 7 personas se encuentra en el rango de población adulto mayor. Por otra parte 1 de cada 8 personas presentan algún tipo de discapacidad. Realizar una evacuación horizontal exitosa, para las personas descritas anteriormente, se torna muy difícil por lo que contar con alternativas para la evacuación sería una posible solución.

Finalmente cabe destacar que se estudió la propuesta de Fema (2009) donde indica que la estructura de evacuación vertical debiera ubicarse a una distancia de 1 milla desde un punto de inicio, y la distancia entre dos estructuras debe ser de 2 millas para un tsunami de campo cercano con un tiempo de aviso de treinta minutos. Sin embargo este supuesto, considera desplazamientos de las personas de manera lineal, no representando el verdadero desplazamiento en forma de zigzag por el recorrido de las calles.

15 ANEXO G METODOLOGÍA EVACUACIÓN VERTICAL

15.1 EVACUACIÓN VERTICAL

15.1.1 Caracterización de la oferta de evacuación vertical

Las estructuras, en Chile, no han sido diseñadas ni construidas para las cargas que un tsunami adiciona sobre la estructura, por lo tanto, la oferta de evacuación vertical no existe o no se presenta de manera óptima en la actualidad. A nivel internacional, estructuras no diseñadas contra cargas de tsunamis han servido como refugio. En Chile, la ONEMI recomienda refugiarse en estructuras de ocho o más pisos de altura, a quienes se les torne difícil la evacuación horizontal o si el tiempo para lograr la zona de seguridad es superior a 15 [min].

15.1.2 Definición de oferta de evacuación vertical

La definición de la oferta de evacuación vertical se realiza a través de Google Street View © con el fin de analizar las estructuras existentes en la ciudad en estudio. Previo a realizar el recorrido con la herramienta anteriormente nombrada, se ejecuta una definición de criterios para los edificios con fin de someter a las estructuras a una evaluación con fichas generadas a través de Microsoft Access. A partir de ellas se genera la base de datos de las estructuras que eventualmente pueden ser utilizadas como refugio de desalojo vertical.

La Ficha A, mostrada en la Figura 15-1, recopila información dividida en dos áreas. En primera instancia compila información obtenida a través de Google Earth Pro © y por otra parte, recopila información adquirida gracias a Google Street View ©.

Los criterios mínimos que un edificio tiene que cumplir, para pasar a la segunda fase de evaluación que se realiza con la Ficha B (Figura 15-2), son los siguientes:

- Igual o superior a 8 pisos de altura según el manual de “Recomendaciones para la preparación y respuesta ante tsunami” elaborado por la ONEMI en 2014.
- Material de construcción sólido de hormigón armado según FEMA (2008).
- Estructuras construidas con códigos sísmicos recientes con fecha posterior a 1985 cuya categoría de uso sea II, III ó IV según NCH 433of96Mod2009 o C1 según NCH2369of2003.


| FICHA A | |
|--|--|
| INFORMACIÓN GOOGLE EARTH | |
| PAIS | CHILE |
| CIUDAD | VIÑA DEL MAR |
| CÓDIGO EDIFICIO | VDM-2N-3P-SE |
| DIRECCIÓN | 2 NORTE CCN 3 PONIENTE ESQ SUR-ESTE |
| COORDENADAS UTM | 0000S 86754W |
| FECHA DE VISUALIZACIÓN | 01/07/2015 |
| FECHA SATELITAL | 01/01/2015 |
| DISTANCIA DESDE LÍNEA DE COSTA | 2000 |
| DISTANCIA DESDE EDIFICIO A ZONA SEGURA | 1500 |
| INFORMACIÓN GOOGLE STREET VIEW | |
| FECHA IMAGEN GSV | 01/02/2012 |
| NÚMERO DE PISOS | 8 |
| ACCESO | <p style="text-align: center;">N</p>  |
| MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN | HORMIGÓN ARMADO |
| USO DE LA ESTRUCTURA | NCH-2369 Categoría C3, Obras menores, equipos provisionales. |
| TIPO DE SUELO SEGÚN FEMA | ARENA DENSA |
| TIPO DE SUELO SEGÚN DS n°61 | TIPO A: ROCA, SUELO CEMENTADO |
| ALTURA DE INUNDACIÓN | 2 |
| OBSERVACIONES | MUCHO CABLE EN EL CRUCE. |
| IMAGEN FRONTAL | |
| IMAGEN PLANTA | |
| IMAGEN UBICACIÓN | |

Figura 15-1 Ficha A de evaluación preliminar de estructuras. Elaboración propia.

como alternativa de evacuación en caso de que se generara un tsunami como lo indica la ONEMI.

15.1.4 Zonificación para estudio

Para zonificar la ciudad es necesario conocer el entorno así como también los tiempos de evacuación por tsunami, que servirán como herramienta para la toma de decisiones que permitirán determinar la mejor ubicación de estructuras de desalojo vertical, teniendo en cuenta las limitaciones del sistema urbano analizado. Con la correcta selección de las zonas donde deberían existir alternativas de evacuación vertical y actitud positiva de las entidades pertinentes, es posible diseñar y construir estructuras de desalojo vertical que a nivel internacional han sido desarrolladas para cumplir este objetivo.

15.1.5 Área de influencia

A continuación, los criterios para determinar el área de influencia.

- Distancia desde la línea de costa a la estructura.
- Distancia entre la estructura y la zona segura de evacuación horizontal.
- Presencia o no de cursos de agua y distancia del curso de agua a la estructura.
- Tiempo de desplazamiento desde línea de costa hasta estructura de evacuación.
- Tiempo de desplazamiento desde línea de costa hasta zona segura de evacuación horizontal.
- Presencia de zonas portuarias o zonas con alta densidad de escombros y distancia hasta la estructura.
- Presencia de gasolineras o lugares de potenciales focos de incendios y distancia hasta la estructura.

16 ANEXO H, MATRICES DE RIESGO

| MANUEL BAYÓN - SUCEPTIBILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RISK | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Bloqueo por escombros | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Bloqueo por atochamiento vehicular | 2 | 5 | 0.13 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 1 | 1 | 1 |
| Bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre | 2 | 5 | 0.13 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 1 | 1 | 1 |
| Bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros | 2 | 5 | 0.13 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 1 | 1 | 1 |
| Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva | 4 | 5 | 0.13 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2 | 2 | 2 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Bloqueo por colapso del tendido eléctrico | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| | | | 40 | | | | | | |

Tabla 16-1 Matriz de riesgo Manuel Bayón. Elaboración propia.

| GUILLERMO SOZA - SUCEPTIBILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RISK | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Bloqueo por escombros | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Bloqueo por atochamiento vehicular | 4 | 5 | 0.13 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2 | 2 | 2 |
| Bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre | 2 | 5 | 0.13 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 1 | 1 | 1 |
| Bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Bloqueo por colapso del tendido eléctrico | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| | | | 40 | | | | | | |

Tabla 16-2 Matriz de riesgo Guillermo Soza. Elaboración Propia.

| ALMIRANTE NEFF - SUCEPTIBILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RISK | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Bloqueo por escombros | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Bloqueo por atochamiento vehicular | 4 | 5 | 0.13 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2 | 2 | 2 |
| Bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros | 4 | 5 | 0.13 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2 | 2 | 2 |
| Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva | 4 | 5 | 0.13 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2 | 2 | 2 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano | 2 | 5 | 0.13 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 1 | 1 | 1 |
| Bloqueo por colapso del tendido eléctrico | 4 | 5 | 0.13 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2 | 2 | 2 |
| | | | | 40 | | | | | |

Tabla 16-3 Matriz de Riesgo Almirante Neff. Elaboración propia.

| HERNÁN MERINO CORREA - SUCEPTIBILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RISK | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Bloqueo por escombros | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Bloqueo por atochamiento vehicular | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| Bloqueo por incendios y/o explosiones durante el desastre | 2 | 5 | 0.13 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 1 | 1 | 1 |
| Bloqueo por desborde de cauces, ríos y/o esteros | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas debido a estrechamientos | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en horario peak o en situaciones con afluencia masiva | 5 | 5 | 0.13 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Bloqueo por atochamiento de personas en temporada de verano | 2 | 5 | 0.13 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 1 | 1 | 1 |
| Bloqueo por colapso del tendido eléctrico | 3 | 5 | 0.13 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| | | | | 40 | | | | | |

Tabla 16-4 Matriz de Riesgo Hernán Merino Correa. Elaboración propia.

| MANUEL BAYÓN - CONFIABILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RIESGO | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Tiempo de desplazamiento desde la zona inundable hasta el punto de encuentro | 4 | 5 | 0.14 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2.3 | 2.3 | 2.3 |
| Ancho útil para desplazamiento | 3 | 5 | 0.14 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| Pendiente (pronunciada o suave) | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Señalética disponible durante el recorrido | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Evacuación de personas con movilidad reducida | 3 | 5 | 0.14 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| Evacuación en escenario nocturno | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |

Tabla 16-5 Matriz de riesgo Manuel Bayón. Elaboración Propia.

| GUILLERMO SOZA - CONFIABILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RIESGO | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Tiempo de desplazamiento desde la zona inundable hasta el punto de encuentro | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Ancho útil para desplazamiento | 3 | 5 | 0.14 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |
| Pendiente (pronunciada o suave) | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Señalética disponible durante el recorrido | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Evacuación de personas con movilidad reducida | 4 | 5 | 0.14 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2.3 | 2.3 | 2.3 |
| Evacuación en escenario nocturno | 3 | 5 | 0.14 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 1.7 | 1.7 | 1.7 |

Tabla 16-6 Matriz de riesgo Guillermo Soza. Elaboración Propia.

| ALMIRANTE NEFF - CONFIABILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RIESGO | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Tiempo de desplazamiento desde la zona inundable hasta el punto de encuentro | 4 | 5 | 0.14 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2.3 | 2.3 | 2.3 |
| Ancho útil para desplazamiento | 4 | 5 | 0.14 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2.3 | 2.3 | 2.3 |
| Pendiente (pronunciada o suave) | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Señalética disponible durante el recorrido | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Evacuación de personas con movilidad reducida | 4 | 5 | 0.14 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2.3 | 2.3 | 2.3 |
| Evacuación en escenario nocturno | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |

Tabla 16-7 Matriz de riesgo Almirante Neff. Elaboración propia.

| HERNÁN MERINO CORREA - CONFIABILIDAD | IMPACTO | LEVEL 3 | | RIESGO | | | RIESGO PONDERADO | | |
|--|---------|---|------|--------------|--------------|--------------|---|-----|-----|
| | | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | ESCENARIO T1 | ESCENARIO T2 | ESCENARIO T3 | (04) PERSONAS ALCANZADAS POR EL TSUNAMI | | |
| LEVEL 4 | | IMPORTANCIA/PESO | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Presencia de elementos que obstaculicen el desplazamiento de las personas | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Tiempo de desplazamiento desde la zona inundable hasta el punto de encuentro | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Ancho útil para desplazamiento | 4 | 5 | 0.14 | 16.0 | 16.0 | 16.0 | 2.3 | 2.3 | 2.3 |
| Pendiente (pronunciada o suave) | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Señalética disponible durante el recorrido | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Evacuación de personas con movilidad reducida | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |
| Evacuación en escenario nocturno | 5 | 5 | 0.14 | 20.0 | 20.0 | 20.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 |

Tabla 16-8 Matriz de riesgo Hernán Merino Correa. Elaboración propia.