

**EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURAS PARA UNA EVACUACIÓN
INCLUSIVA EN CALETA LENGA:
Una oportunidad para todos**

C. Valenzuela Monsalve.¹, M.T. Bull Torres.², C. Oyarzo Vera.³

RESUMEN

Chile es frecuentemente afectado por terremotos y con alto riesgo de tsunamis de origen sísmico, eventos que dejan en especial riesgo a personas no autovalentes y con discapacidades. En 2010, un sismo de magnitud M_w 8.8 azotó a la Región del Maule y Biobío, el cual expuso la falta de planes de emergencia ante desastres naturales, especialmente en lo que se refiere a infraestructura inclusiva para la evacuación.

En el presente estudio, se analiza la vulnerabilidad y amenaza ante el peor escenario de un tsunami al que se ven expuestos niños, adultos mayores y personas con discapacidad en Caleta Lenga, perteneciente a la comuna de Hualpén, Región del Biobío. Para ello, se investigó la normativa a nivel mundial y nacional sobre la inclusión en planes de emergencia y se recopiló información demográfica de la zona de estudio. Por otro lado, se obtuvo el evento más catastrófico posible con el modelo numérico probabilístico de amenaza de tsunami, desarrollado por Aránguiz (2022). Adicionalmente, se evaluó si la actual vía de evacuación permite evacuar a tiempo a las personas con movilidad reducida, para lo cual se realizó el cálculo de los tiempos de evacuación considerando factores como velocidad de evacuación, pendientes, diseño inclusivo, entre otros. En base a lo anterior, se determinaron los factores más incidentes al momento de evaluar la vulnerabilidad y la amenaza sobre la población, estimándose que en Caleta Lenga la población bajo estudio representa el 54.05% del total de residentes, además, el tsunami más destructivo inundaría las viviendas de la bahía con profundidades de hasta 8 m en aproximadamente 22 minutos, tiempo que no sería suficiente para que todos evacuen debido al estado e inaccesibilidad de la ruta. Ante esta necesidad nace el objetivo de este trabajo, en el que se proponen dos posibles soluciones estructurales cuyo diseño se centra en atender las necesidades de la población con discapacidades y no autovalentes.

Palabras claves: Tsunami, Evacuación, Inclusiva

¹ Estudiante, Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, cvalenzuelam@ing.ucsc.cl

² Profesor Guía, Departamento Ingeniería Civil Industrial, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, mbull@ucsc.cl

³ Profesor informante, Departamento Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, coyartzov@ucsc.cl

ABSTRACT

Chile is frequently affected by earthquakes and with a high risk of tsunamis of seismic origin, events that leave non-auto valent and disabled people at special risk. In 2010, an earthquake of magnitude M_w 8.8 struck the Maule and Biobío Region, which exposed the lack of emergency plans for natural disasters, especially regarding inclusive infrastructure for evacuation.

In the present study, the vulnerability and threat are analyzed in the worst-case scenario of a tsunami to which children, the elderly, and people with disabilities are exposed in Caleta Lenga, belonging to the Hualpén commune, Biobío Region. To do this, the regulations at the global and national levels on inclusion in emergency planes were investigated and demographic information was collected from the study area. On the other hand, the most catastrophic event possible was obtained with the probabilistic numerical model of the tsunami threat, developed by Aránguiz (2022). Additionally, it was evaluated if the real evacuation route allows people with reduced mobility to evacuate on time, for which the calculation of evacuation times was carried out considering factors such as evacuation speed, slopes, inclusive design, among others. Based on the above, the most incident factors were determined when evaluating the vulnerability and threat to the population, estimating that in Caleta Lenga the population under study represents 54.05% of the total number of residents, in addition, the most destructive tsunami would flood the dwellings of the bay with depths of up to 8 m in approximately 22 minutes, time that would not be enough for everyone to evacuate due to the state and inaccessibility of the route. Faced with this need, the objective of this work was born, in which two possible structural solutions are proposed whose design focuses on meeting the needs of the population with disabilities and non-auto valent.

Keywords: Tsunami, Evacuation, Inclusive

1. INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica de Chile hace al país propenso a fenómenos naturales, siendo catalogado como uno de los países miembros de la OCDE más expuestos a amenazas de origen natural, con un 54% de su población y un 12.9% de su superficie total expuesta a tres o más tipos de amenazas (Dilley et al., 2005). Estos eventos catastróficos han impactado directamente a las infraestructuras, causando pérdidas materiales y más importante aún, numerosas muertes. Sus riesgos se encuentran estrechamente relacionado con la vulnerabilidad que presentan las personas ante estos sucesos. En diferentes estudios, han sido identificado como grupos potencialmente vulnerables a niños, mujeres, personas de tercera edad, con discapacidad y de bajos recursos.

Pese a que se ha progresado en investigaciones sobre los impactos de los desastres y vulnerabilidad en la sociedad, poco trabajo empírico ha examinado los efectos en las personas con discapacidades (Peek & Stough, 2010), careciendo de información y estrategias de evacuación inclusiva, pues, las acciones de socorro y vías de evacuación están como un “diseño universal”. Diversas investigaciones indican que gran parte de la población que se encuentra en situación de discapacidad no logran o deciden no evacuar, pues, podrían no ser capaces de dirigirse o subir a zonas de seguridad o probablemente presenten dificultad para seguir señales o reconocer los riesgos, y como resultado, “después de un suceso devastador, se ha encontrado que la mortalidad de las personas con trastornos mentales y con discapacidades físicas era de 1.5 a 2.5 veces mayor que la que no presentan discapacidad” (Chou, Y. J., 2004). Este grado de vulnerabilidad aumenta cuando se trata de niños y ancianos en situación de discapacidad, causando que los efectos de estos desastres sobre ellos sean desproporcionados.

En base a esto, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres de la ONU (2015) enfatiza claramente cómo la planificación de la gestión de desastres debe incluir a las personas con necesidades especiales. En 2010, Chile promulgó la Ley N° 20.422 de Inclusión Social de las Personas con Discapacidad con el objetivo de aumentar la resiliencia y reducir el riesgo de desastres naturales, así como también, desarrolló la Política Nacional en Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD) que trabaja en conjunto con otras asociaciones. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos del Estado, no ha sido suficiente para atender las necesidades especiales de los grupos más vulnerable, sobre todo en la infraestructura para una evacuación segura e inclusiva.

En la Región del Biobío se ubica Caleta Lengua perteneciente a la comuna de Hualpén, la cual, es uno de los principales atractivos turísticos de la región, gracias a su costa y el Santuario de la Naturaleza de Hualpén, además de ser uno de los puntos más destacados por su gastronomía, atrayendo así cientos de turistas cada año. En ella, se ha registrado que residen 420 personas aproximadamente, y se estima que aproximadamente la mitad de la población comprenda el grupo de personas con discapacidad, niños y adultos mayores, pudiendo aumentar la cantidad por la visita de turistas. En cuanto a la amenaza frente a un terremoto y posterior tsunami, Caleta Lengua presenta un alto riesgo, debido a su ubicación, morfología costera, pendientes, topografía, etc., destacando el riesgo de inundación, en vista de que su altitud en relación con el nivel de mar está por debajo de la cota 30. La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) publicó en 2014 el plano de evacuación ante un tsunami en el sector, la cual fue actualizada en 2022, sin embargo, los vecinos describen ambas rutas como inseguras y prácticamente inaccesible para llegar a la zona segura.

El presente estudio tiene como objetivo analizar el riesgo que presentaría las personas con discapacidad y no autovalentes mediante la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y vías de evacuación existentes ante un tsunami extremo en Caleta Lengua, con el fin de establecer si las condiciones y plan de emergencia actuales permite evacuar a todos los ciudadanos presentes en la bahía o es necesario implementar un mayor nivel de integración a través de infraestructura inclusiva de evacuación.

2. MARCO NORMATIVO PARA LA INCLUSION EN PLANES DE EVACUACIÓN FRENTE A SITUACIONES DE EMERGENCIAS

2.1 Marco normativo universal sobre planes de evacuación inclusivos

En 2005, se aprobó el Marco de Acción de Hyogo (MAH) que es el instrumento más importante para la implementación de la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) que adoptaron los Estados miembros de Naciones Unidas cuyo objetivo general es aumentar la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2016).

Luego, las Naciones Unidas publicó en 2008 la “Convención Sobre Los Derechos De Las Personas Con Discapacidad” donde en el artículo 11 establece que, en situaciones de peligro y emergencias humanitarias, los Estados tomarán todas las medidas necesarias para garantizar la seguridad y protección de las personas con discapacidad en situaciones de riesgo.

En la misma línea, la UNICEF junto con CEPREDENAC, en 2019, publicaron normas para la inclusión en situaciones de emergencia, el cual, tiene como mira “servir de instrumento de referencia para identificar e implementar acciones y conductas mínimas deseables para incluir, proteger y atender a las personas con discapacidad en las situaciones de crisis generadas por conflictos, emergencias y desastres, promoviendo a la vez una participación real y activa de las personas con discapacidad y las organizaciones que las representan, en el diseño y toma de decisiones sobre las medidas requeridas para asegurar esta inclusión” (UNICEF, CEPREDENAC, 2019).

2.2 La inclusión en situaciones de emergencias en Chile

“Chile es un país expuesto de manera permanente a amenazas de origen tanto natural como antrópicas, entre las que destacan los terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones, incendios forestales, entre otras, por lo que la formulación de una política y su posterior promulgación va a contribuir a contar con un país más preparado y resiliente frente a los desastres” (Decreto 1512, 2016).

Es por esto que, se ha desarrollado planes de evacuación que determinan vías de evacuación, zonas de seguridad y su gestión, con el objetivo de evacuar, si es necesario, en el menor tiempo posible para garantizar la máxima seguridad a los ciudadanos. Sin embargo, a nivel nacional y regional se presentan diversas falencias con respecto a la accesibilidad y el desplazamiento en las rutas de evacuación. Esto genera una gran desventaja a la hora de evacuar, por tanto, se produce una inequidad en la seguridad, lo cual es preocupante porque las personas con discapacidad tienen los mismos derechos que los demás, siendo imprescindible un diseño inclusivo con fácil acceso a zonas seguras. Otra problemática que se presenta es que, en muchos casos, las personas en situación de discapacidad no son identificadas por falta de datos e información, lo que las invisibiliza ante el sistema.

En conjunto, desde la perspectiva inclusiva, “la asistencia humanitaria debe ser tal que incluya de manera razonable y proporcional las necesidades de todas las personas afectadas por los desastres, situaciones de emergencias y alertas. Para esto es necesario superar barreras actitudinales, contextuales e institucionales que enfrentan las personas con discapacidad, mediante acciones específicas de accesibilidad para asegurar una mayor y mejor respuesta” (UNICEF, CEPREDENAC, 2019). Por esta razón, no basta con la atención y apoyo familiar o social ante un desastre natural, también es fundamental disponer de una infraestructura accesible e inclusiva, con apoyos técnicos y un diseño arquitectónico universal que garantice una evacuación adecuada, rápida, segura y autónoma para todos, lo que actualmente es muy deficiente en muchos lugares.

2.2.1 Marco normativo sobre la evacuación inclusiva en Chile

Para dar cumplimiento a la formulación de una Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), se constituyó una Plataforma Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres liderada por la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (Decreto 1512, 2016) cuya política tiene como fin guiar a instituciones del Estado para disminuir el impacto de conlleva un desastre natural implementando medidas que consideren factores de equidad (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2016). Dentro de esta política, se encuentra el Servicio Nacional de la Discapacidad (SENADIS), la cual tiene como finalidad “incluir la Reducción del riesgo de Desastres (RRD) enfocada en reducir la exposición a la amenaza a través de medidas de gestión del riesgo, como adaptar la infraestructura, adoptar planes de contingencia, o incorporar medidas de mitigación, que permitirán reducir el impacto del riesgo asociado a desastres” (Ministerio de Desarrollo Social, 2017).

En 2010 se promulga la Ley 20.422 sobre Igualdad de Oportunidades e Inclusión Social de Personas con Discapacidad, donde en su Artículo 1° establece como objetivo “asegurar el derecho a la igualdad de oportunidades de las personas con discapacidad, con el fin de obtener su plena inclusión social, asegurando el disfrute de sus derechos y eliminando cualquier forma de discriminación fundada en la discapacidad”. Además, exige a las municipalidades un seguimiento del estado, ejecución y accesibilidad de las vías de evacuación especificadas en los mapas de seguridad. Por otro lado, el Ministerio De Vivienda Y Urbanismo en 2016 establece el Decreto 50 como la normativa general de urbanismo y construcción para dar cumplimiento a la Ley 20.422, la cual, mayormente no se ve aplicada cuando se determinan las vías de evacuación.

2.2.2 Diseño estructural inclusivo

Si bien es cierto, no existe una norma que determine un diseño estructural específico para rutas de evacuación que atienda cada tipo de discapacidad, si existen exigencias generales y estudios que recomiendan un diseño accesible y funcional para todos, dado que, uno de los principales problemas al momento de evacuar es realizarlo en el menor tiempo posible y de forma segura, por ende, su implementación permitirá obtener mejores resultados durante la evacuación.

En Chile, el Comité Nacional de Operaciones de Emergencia es el encargado de la gestión de evacuación, en el cual considera:

- Monitorear la condición de infraestructura e instalaciones críticas.
- Evaluar constantemente las necesidades especiales de la población.
- Brindar la mayor seguridad posible, en zonas seguras y puntos de encuentro, a la población.

Uno de los eventos catastróficos más temibles en el país son los terremotos y tsunamis, y en esta línea, Rodrigo Cienfuegos, ingeniero hidráulico, profesor en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica e investigador del CIGIDEN menciona que: “Hay lugares donde puedes calcular, con los modelos de propagación, los tiempos de llegada de las olas y en qué minuto y cuánto tiempo tardaría un lugar en ser inundado (...), puedes decir cuál es el tiempo de evacuación de esos individuos, qué es lo que uno esperaría como respuesta. Y si hay zonas donde simplemente el tiempo no alcanza, hay que buscar alternativas y esas alternativas son los refugios o edificaciones de evacuación vertical”. En este último caso, se busca implementar la evacuación vertical cumpliendo con características fundamentales para resistir tal suceso, para lo cual, en el 2013 el Ministerio de Vivienda y Urbanismo desarrolló la norma NTM 007 que establece requisitos estructurales y métodos de protección por inundación por tsunami, asimismo, en 2015 se publica la Normativa accesibilidad universal, OUGC Chile, que también indica requerimientos para vías de evacuación en edificaciones con uso público y en el mismo año se publica la normativa NCh 3363 “Diseño estructural — Edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche”.

A continuación, en la Tabla 1 y 2, se resume los requisitos de una vía de evacuación para personas en situación de discapacidad, de acuerdo con la investigación de diversos autores. Se referirá a requisitos mínimos generales aquellos elementos básicos aplicables para todo tipo de vía de evacuación, los específicos externos serán los elementos de una vía de evacuación que no se encuentre dentro de una edificación y que cubra las necesidades específicas de personas en situación de discapacidad y los específicos internos será igual que el anterior, pero en este caso cuando se encuentre dentro de una edificación. En la Tabla 2 se detalla las dificultades que enfrentan las personas con discapacidad según su tipo y especifica algunas de sus necesidades de gestión e infraestructural.

Tabla 1: Requerimientos mínimos generales para las vías de evacuación.

| Requerimientos mínimos de evacuación |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none">– Vías de evacuación despejadas para el desplazamiento (Universidad Austral de Chile, 2013).– Señalética con dimensiones no inferiores a 850x600 mm, ubicadas en un lugar despejado y que permita la visibilidad desde corta o larga distancia (ONEMI, 2017).– La ruta accesible en espacios públicos tendrá un ancho continuo mínimo de 1,5 m. Al interior del edificio, el ancho de la ruta accesible corresponderá al ancho determinado para las vías de evacuación, con un mínimo de 1,10 m, y su altura mínima será de 2,10 m (Decreto, 50, 2016).– Los pasamanos deben tener estar ubicados entre los 0.90 y los 1.10 m de alto, con diámetro de 40 a 50 mm de diámetro y a una distancia de 45 y 55 mm de la pared (D. Ortuño, 2016).– En presencia de escaleras, principalmente, se ha de poner atención en que los pasamanos sean continuos en ambos lados y cuyo final sea horizontal con un largo de 0.2m (Corporación Ciudad Accesible, 2021).– El pavimento sea antideslizante y que las rutas cuenten con una buena iluminación que no ocasione deslumbramientos o reflejos y que posea un sistema de emergencia en caso de existir un corte en el suministro de electricidad (Corporación Ciudad Accesible, 2021). |

Tabla 2: Dificultades y necesidades específicas, externas e internas, en vías de evacuación según tipo de discapacidad

| Discapacidad | Dificultades | Necesidades específicas Externas | Necesidades específicas Internas |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Movilidad reducida | <ul style="list-style-type: none"> - Las personas con movilidad reducida tardarán más en evacuar, debido a la falta o dificultad para usar una parte de su cuerpo, mala coordinación motora, parálisis, etc. Factores adicionales que retrasan la evacuación son el uso de sillas de ruedas, muletas, bastones u otros elementos o equipos que necesiten como apoyo. Este grupo también incluye mujeres embarazadas, personas con coche o personas con problemas de salud. - Lo anterior lo hace aún más difícil si la ruta de evacuación es un camino difícil o inaccesible, como también, si la evacuación es de forma vertical, ya que los ascensores estarán fuera de servicio en caso de emergencia. - Por otro lado, las personas especialmente en sillas de ruedas necesitarán un amplio espacio para maniobrar y desplazarse. | <ul style="list-style-type: none"> - Las rejillas utilizadas en zonas transitables deben de tener una malla con huecos que no constituya un peligro para ruedas, bastones o similares. (D. Ortuño, 2016). - Evitar aceras resbaladizas, secas o mojadas, escalones, alfombras sueltas, etc (D. Ortuño, 2016).* - Pasamanos a ambos lados de las rampas a dos alturas, una entre los 0.90 y los 1.10 m y la otra entre 0.65 y 0.75 m para facilitar el agarre a niños o personas en sillas de ruedas (D. Ortuño, 2016).* - Una vía de evacuación no podrá tener un ancho inferior a 2.20 m efectivos, correspondiente al ancho mínimo para evacuar en paralelo a dos personas en silla de ruedas, o la combinación de una silla de ruedas y un coche para niños pequeños, con un distanciamiento de 15 cm hacia ambos costados (ONEMI, 2018).* - El ancho de una rampa debe ser entre 80 a 90 cm con una pendiente entre 10 a 12% en tramos inferiores a 3 m y de 8 a 10% en tramos de 3 a 9 m (Universidad Austral de Chile, 2013; Decreto 50, 2016).* | <ul style="list-style-type: none"> - Procurar que las puertas tengan un ancho de 90 cm (Universidad Austral de Chile, 2013). - Procurar que las manillas de las puertas sean de palanca y no de pomo, situadas a una altura accesible para una persona en silla de ruedas (Universidad Austral de Chile, 2013). - En caso de consultar rampas, su ancho deberá corresponder a la vía de evacuación o de la que es parte, debiendo comenzar y finalizar su recorrido en un plano horizontal del mismo ancho y de 1,50 m de largo como mínimo (Decreto 50, 2016). |

| Discapacidad | Dificultades | Necesidades específicas Externas | Necesidades específicas Internas |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Discapacidad visual | <ul style="list-style-type: none"> - En el caso de las personas con discapacidad visual, les resulta más difícil reconocer las situaciones de emergencia e identificar las mismas rutas de evacuación, también, pueden no ser capaces de darse cuenta de que la multitud esta evacuando y hacia qué dirección van, generando en ellos desorientación. En cuanto a la infraestructura, tanto en la evacuación vertical como horizontal, se presentan obstáculos con los cuales pueden tropezar o chocar con elementos voladizos situados a baja altura y si utilizan equipo de apoyo requieran de más espacio en las vías de evacuación. - Uno de los métodos más útiles para evacuar esta población es la señalización táctil, que utiliza diferentes texturas en aceras, escaleras, desniveles, etc. Por otro lado, si la sirena suena fuerte, les será difícil comunicarse porque, además de su tacto, necesitan de su audición para guiarse. | <ul style="list-style-type: none"> - En pasamanos y aceras se recomienda el uso de diferentes texturas, ya que, esto les proporcionará información táctil para orientarse (D. Ortuño, 2016).* - El incorporar técnicas acústicas, en las que se atenúa o absorbe el sonido también es una forma de guiarlos, pues, permite entregar información acústica (D. Ortuño, 2016).* - En caso de rampa antideslizante, en el nivel de la vereda, deberá ser antecedida, por un pavimento podotáctil de alerta, adosado a la rampa y de un ancho mínimo de 0,4 m y máximo de 0,8 m (Decreto 50, 2016).* | <ul style="list-style-type: none"> - El pavimento por emplear como alerta tendrá textura de botones que alerten de los cambios de dirección o peligro en la vereda o en la circulación peatonal (Decreto 50, 2016). - La superficie de piso de las escaleras deberá tener una franja de pavimento con contraste cromático y una textura distinta de a lo menos 0,60 m de ancho. (Decreto, 50, 2016). - En caso de existir estructuras sobresalientes, se sugiere que sean menor a 15 cm (D. Ortuño, 2016). |
| Discapacidad auditiva | <ul style="list-style-type: none"> - Este grupo de personas presentan dificultades con la comunicación no verbal, por lo que además de la señalización visual, las alertas como las | <ul style="list-style-type: none"> - El uso de colores para contrastar los escalones, del mismo modo en los pavimentos, para orientar al usuario, desde el inicio hasta el final de la vía | <ul style="list-style-type: none"> - |

| Discapacidad | Dificultades | Necesidades específicas Externas | Necesidades específicas Internas |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Discapacidad auditiva | <p>sirenas son indispensables.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una buena iluminación es fundamental para facilitar la lectura de labios, ya que, gran parte de la población no sabe el lenguaje de señas. - En este grupo no solo se encuentran las personas con problemas de audición, sino también las personas que usan dispositivos que pueden agotar sus baterías. | <p>(Corporación Ciudad Accesible, 2021).*</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se recomienda que funcionarios a cargo de la seguridad (Carabineros, Bomberos, etc.), conozcan el lenguaje de señas para comunicarse con una persona con discapacidad auditiva (SENADIS, 2010).* | |
| Discapacidad intelectual | <p>Las discapacidades intelectuales limitan la capacidad de las personas, y en una situación de emergencia pueden tener dificultades para comprender lo que sucede a su alrededor, pues, perciben el riesgo de manera diferente que otras personas, debido a que su capacidad cognitiva para identificar y entender las alertas es menor que las personas sin esta discapacidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las alarmas, sirenas o grandes luces pueden ocasionarles estrés, confusión y desorientación. - Es necesario otorgarles instrucciones claras, en pasos simples, ya que instrucciones más detalladas dificultarían su comprensión. | <ul style="list-style-type: none"> - En este caso es crucial tener el foco en la gestión al momento de evacuar, dado que, aquellas personas necesitan más asistencia para orientarse que un diseño de infraestructura en específico. * - Dotar en algún punto instalaciones con Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC), que tienen como objetivo, aumentar y/o compensar las dificultades de comunicación y lenguaje de personas con discapacidad - Los recursos que utilizan incluyen diversos sistemas de símbolos, tanto gráficos como | |

| Discapacidad | Dificultades | Necesidades específicas Externas | Necesidades específicas Internas |
|--------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Discapacidad intelectual | | gestuales (D. Ortuño, 2016).* – Es importante incluir señalización escrita y pictográfica y acompañar los mensajes que se transmitan por altavoces con avisos visuales en paneles (A. Carpio, 2014).* | |

Nota: A modo de simplificar, los requerimientos (*) también pueden ser aplicables a los internos.

3. SISMICIDAD Y TSUNAMI

3.1 Conceptos básicos

“Serie de ondas marinas de longitud y período sumamente largos de ocurrencia natural que resulta de una perturbación rápida y a gran escala de una masa de agua” (CIGIDEN et al., 2018). Sus características se condicionan fundamentalmente por la batimetría de la zona en que se propaga, cuyas variables se pueden ver en la Figura 1, y de la configuración de la bahía, que podrían generar mayor concentración o divergencia de la energía del tsunami.

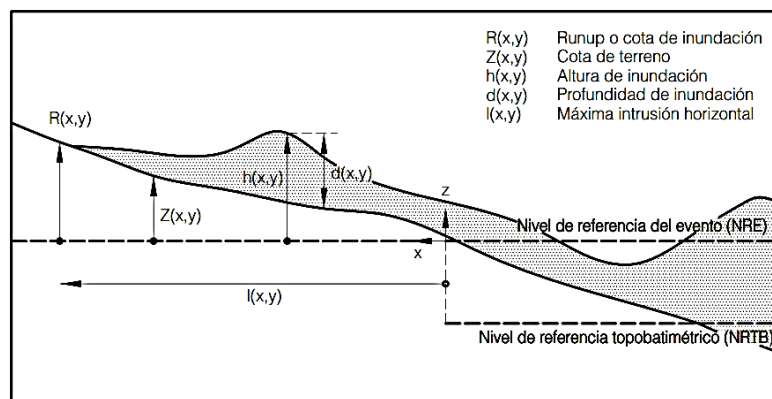


Figura 1. Variables de un tsunami. Fuente NCH 3363, 2015

Donde, según la terminología de Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) sus variables se definen como:

- Altura de Inundación, $h(x,y)$: Elevación alcanzada por el agua del mar en el lado tierra medida respecto a un datum dado por el nivel de referencia del evento (NRE) en una distancia de inundación específica. La altura de inundación es la suma de la profundidad de inundación y la cota de elevación del terreno local (ver ecuación 1). Su unidad de medida es el metro (m).

$$h(x,y) = d(x,y) + z(x,y) \quad (1)$$

- Profundidad de Inundación, $d(x,y)$: También llamada profundidad de flujo, es la profundidad del agua del tsunami sobre la cota del terreno medido en un sitio específico. Su unidad de medida es el metro (m).
- Cota de terreno, $z(x,y)$: Cota de elevación del terreno, referida al Nivel de Referencia Topobatimétrico (NRTB). Su unidad de medida es el metro (m).
- Nivel de Referencia del Evento, NRE: Nivel vertical único referido al NRTB, que representa el nivel del mar al momento del evento. De modo conservador, se sugiere utilizar el nivel de la pleamar máximo en sicigias, la cual puede ser estimada a partir de las Tablas de Marea Astronómica, provistas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile
- Runup, $R(x,y)$: Diferencia entre la cota de terreno en el punto de máxima inundación horizontal alcanzado por el tsunami y el nivel de referencia del tsunami NRE. Se calcula de acuerdo con la ecuación 2. Su unidad de medida es el metro (m).

$$R(x, y) = z(l(x, y)) - NRE \quad (2)$$

- Inundación horizontal o distancia de inundación, $I(x, y)$: Distancia horizontal inundada, medida desde la línea de costa hasta el límite tierra adentro de penetración del tsunami (runup). Generalmente medida en forma perpendicular a la costa

“Un tsunami que se propaga en el océano pacífico ($h \sim 4$ km) posee una longitud de onda mucho mayor a la profundidad, y por lo tanto se puede aplicar el concepto de onda en aguas someras por su relación entre la profundidad en la cual se propaga el tsunami y la longitud de onda” (Murata et al., 2010). En ese caso, la velocidad de propagación del tsunami se puede expresar mediante la ecuación 3.

$$C = \sqrt{gh} \quad (3)$$

Donde:

g = aceleración de gravedad

h = profundidad del mar a la cual se propaga el tsunami

“Un fenómeno que afecta a la propagación del tsunami es la refracción, es decir, un cambio de dirección de una onda a causa de los cambios de profundidad, pues, el frente de onda del tsunami comienza a desacelerar donde la profundidad es menor y gira hacia aguas someras, además, producto de esto, la energía del tsunami podría concentrarse (en penínsulas y cabos) o atenuarse (en bahías), dependiendo de la batimetría. Por otro lado, a medida que el tsunami se acerca a la costa rápidamente crece en altura, fenómeno denominado como asomeramiento” (Aránguiz, 2018). De hecho, los tsunamis con mayor poder destructivo son aquellos de campo cercano, es decir, con epicentro marítimo a menos de 200 kilómetros.

3.2 Actividad sísmica y tsunamis en Chile

Los tsunamis en Chile son principalmente originados por sismos interplaca en la zona de subducción de ruptura entre la placa Nazca y la placa Sudamericana que, según registros, ha alcanzado decenas de kilómetros. Estos fenómenos están entre los más catastróficos y complejos de la naturaleza resultando ser potencialmente peligrosos cuando llegan a la costa, causando pérdidas de vidas, bienes y daños al medio ambiente.

En 1960 un sismo de magnitud M_w 9.5, catalogado como el sismo más grande a nivel mundial, presentó una zona de ruptura que alcanzó los 850 km de largo y 120 km de ancho (Barrientos y Ward, 1990). Dentro de los años 2000, se produjeron tres terremotos de magnitud M_w 8.0 o superior en la zona de subducción, lo que provocó tsunamis y causó enormes daños al país. El mayor de ellos ocurrió en la zona centro-sur de Chile en 2010 de magnitud M_w 8.3 con epicentro en la Región del Maule que generó una zona de ruptura de 450 kilómetros de largo y 150 kilómetros de ancho. “Este terremoto causó 33 víctimas en la zona costera de la Región del Biobío y las alturas de inundación del tsunami en Cobquecura, la Bahía de Concepción y el Golfo de Arauco alcanzaron aproximadamente los 5 m. También se produjeron inundaciones y daños a más de un kilómetro tierra adentro a lo largo de varios otros ríos, como Coliumo y Tubul” (Fritz, 2011). Luego en el norte del país en 2014 se originó un sismo de magnitud M_w 8.1 afectando principalmente a la ciudad de Iquique y zonas aledañas, finalmente, al año siguiente un sismo de M_w 8.3 con epicentro cerca de Illapel provocó un tsunami que afectó a la ciudad de Coquimbo cuyo impacto llegó hasta la zona costera de Tongoy.

4. FACTORES POR CONSIDERAR PARA LA EVALUACION DE UNA VÍA DE EVACUACIÓN

Existen diferentes formas de evaluar el riesgo que presenta una población frente a un desastre natural. Los factores principales para evaluar el riesgo de desastres corresponden a la vulnerabilidad, la amenaza y la resiliencia (ONEMI, 2015). Adicionalmente, se incorporará el factor de accesibilidad e inclusividad en la ruta de evacuación.

4.1 Amenaza

Para evaluar la amenaza sobre el territorio será primordial realizarlo con respecto al peor escenario posible, debido a que se trata de una vía de evacuación cuya principal función es garantizar la seguridad de las personas. Las características que más predominan son: Probabilidad de ocurrencia, Profundidad de inundación y Tiempos de arribo, como se puede observar en la Tabla 3:

Tabla 3: Propuesta de escala para la evaluación de amenaza

| AMENAZA | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Características del Evento | Probabilidad | | |
| | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Probabilidad de Ocurrencia | Posible: Fenómeno que posee con escasos estudios y registros o con un porcentaje de ocurrencia en 50 años inferior al 10% | Probable: Fenómeno que posee investigaciones suficientes que predicen su acontecimiento o con un porcentaje de ocurrencia en 50 años entre el 10% al 40% | Inminente: Fenómeno que posee suficientemente argumentación y antecedentes de que ocurrirá o con un porcentaje de ocurrencia en 50 años sobre el 40% |
| Inundación | Se presentan profundidades de inundación menor a 2 metros | Se presentan profundidades de inundación entre 2 a 6 metros | Se presentan profundidades de inundación sobre los 6 metros |
| Tiempos de arribo | El primer tren de ola llega a la costa en un periodo de tiempo igual o superior a los 40 minutos | El primer tren de ola llega a la costa en un periodo de tiempo superior a 15 minutos e inferior a 40 minutos | El primer tren de ola llega a la costa en un periodo de tiempo menor o igual a 15 minutos |

Fuente: Elaboración propia. Nota: los niveles se definieron en base a registros históricos y diversos estudios (ONEMI, 2018; Lagos, 2000; ONEMI, 2014)

4.2 Vulnerabilidad

Para la evaluación de la vulnerabilidad, es fundamental conocer la demográficamente la población más vulnerable, que corresponden a infantes, adultos mayores y personas en situación de discapacidad, además de tener en cuenta el tiempo de evacuación de dichos grupos y la distancia a la que se encuentran las personas de la costa, es decir, qué tan cerca se asientan las viviendas, restaurantes, colegios, comercios, etc. La Tabla 4 es el formulario de evaluación de la vulnerabilidad en un determinado territorio.

Tabla 4: Propuesta de escala para la evaluación de vulnerabilidad

| VULNERABILIDAD | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Factor de Vulnerabilidad | Impacto | | |
| | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Densidad demográfica del grupo más vulnerable (infantes, adultos mayores, personas con discapacidad) | Menos del 30% del total de la población pertenece al grupo más vulnerable | Entre el 30% y el 60% del total de la población pertenece al grupo más vulnerable | Más del 60% del total de la población pertenece al grupo más vulnerable |
| Tiempos de evacuación | El tiempo de evacuación no supera los 15 minutos desde que se emite la alarma de Tsunami | El tiempo de evacuación ronda entre los 15 y 40 minutos desde que se emite la alarma de Tsunami | El tiempo de evacuación es mayor a 40 minutos desde que se emite la alarma de Tsunami |
| Asentamiento de la Población | Menos del 30% de la población reside a menos de un kilómetro de la línea de la costa | Entre el 30% y el 70% de la población reside a menos de un kilómetro de la línea de la costa | Más del 70% de la población reside a menos de un kilómetro de la línea de la costa |

Fuente: Elaboración propia. Nota: los niveles se definieron en base a registros históricos y diversos estudios (ONEMI, 2018; Lagos, 2000; ONEMI, 2014; SENADIS, 2016)

4.3 Accesibilidad e inclusividad para la evacuación

Las rutas de evacuación adecuadas y su infraestructura permitirán que las personas evacuen de una manera más rápida y segura, especialmente cuando incluye un diseño accesible para todos. Para su evaluación, Tabla 5 ha sido elaborada en base a la Tabla 1 y 2.

Tabla 5: Propuesta de escala para evaluación de diseño inclusivo en una ruta de evacuación

| 1. Requerimientos mínimos generales | | SI | NO |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 1.1 | Vías de evacuación despejadas | | |
| 1.2 | Señalética con dimensiones no inferiores a 850x600 mm ubicadas en un lugar que permita la visibilidad desde corta y larga distancia | | |
| 1.3 | Buena iluminación con sistema de emergencia pero sin ocasionar deslumbramiento | | |
| 1.4 | La ruta accesible en espacios públicos tendrá un ancho continuo mínimo de 1,5 m. En edificaciones, la ruta debe tener un mínimo de ancho de 1,10 m y una altura de 2,10 m | | |
| 1.5 | Sistema de Alarma visible y auditivo | | |
| 1.7 | De requerirse pasamanos, estos deben encontrarse a ambos lados con diámetro entre 40-50 mm situados entre 0,95-1,05 m, continuos y su final horizontal con un largo de 0,2m | | |
| 1.8 | Las vías de evacuación deben ser rasas y antideslizantes | | |
| Total de puntos: 0 a 1 Deficiente; 2 a 3 Regular; 4 a 6 Bueno; 7 a 8 Excelente; SI=1; NO=0 | | | |
| 2. Requerimientos Específicos Externos | | SI | NO |
| 2.1 | Ancho de la vía de evacuación superior a 2,20 metros efectivos que permita maniobrar a personas en sillas de ruedas | | |
| 2.2 | De requerirse pasamanos, deben estar a ambos lados con diámetro entre 40-50 mm ubicados con una segunda altura entre 0,65-0,75 m | | |
| 2.3 | Pasamanos y/o vía con información táctil | | |
| 2.4 | Técnicas acústicas que atenúen o absorban el sonido como modo guía | | |
| 2.5 | Utiliza colores para contrastar pavimentos en toda la ruta | | |
| 2.6 | Las rampas tendrán un ancho igual a la de la vía de evacuación o de la que es parte, con un mínimo de 0,8 m, deberá comenzar y finalizar su recorrido en un plano horizontal del mismo ancho y de 1,50 m de largo como mínimo | | |
| 2.7 | Rampas con pendiente entre 10 a 12% en tramos inferiores a 3 m y de 8 a 10% en tramos de 3 a 10 m | | |
| 2.8 | Rampa antideslizante con pavimento podotáctil de alerta de ancho mínimo 0,4 m y máximo 0,8 m | | |
| 2.9 | En caso de rejillas utilizadas en zonas transitables deben de tener una malla con huecos que no constituya un obstáculo o peligro para ruedas, bastones o similares. | | |
| Total de puntos: 0 a 2 Deficiente; 3 a 4 Regular; 5 a 6 Bueno; 7 a 9 Excelente; SI=1; NO=0 | | | |
| 3. Requerimientos específicos Internos | | SI | NO |
| 3.1 | Las puertas de acceso y salida tienen un ancho igual o mayor a 90 cm que permiten el paso de equipos de apoyo | | |
| 3.2 | La altura mínima libre interior de las vías de evacuación es de 2,10 m medidos verticalmente en obra terminada desde el piso hasta la proyección más cercana del cielo, vigas u otros elementos salientes. | | |
| 3.3 | El ancho del corredizo cuenta con un mínimo de 1,10 m que permite el paso o maniobra de equipos de apoyo, además de tener una altura mínima de 2,10 m. | | |
| 3.4 | Las manillas de las puertas son de palanca y están situadas a una altura accesible para una persona en silla de ruedas | | |
| 3.5 | De requerirse pasamanos, deben estar a ambos lados con diámetro entre 40-50 mm ubicados con una segunda altura entre 0,65-0,75 m | | |
| 3.6 | Pasamanos y/o vía con información táctil | | |
| 3.7 | Técnicas acústicas que atenúen o absorban el sonido como modo guía | | |
| 3.8 | Utiliza colores para contrastar pavimentos en toda la ruta | | |
| 3.9 | Las rampas tendrán un ancho igual a la de la vía de evacuación o de la que es parte, con un mínimo de 0,8 m, deberá comenzar y finalizar su recorrido en un plano horizontal del mismo ancho y de 1,50 m de largo como mínimo | | |
| 3.10 | Rampas con pendiente entre 10 a 12% en tramos inferiores a 3 m y de 8 a 10% en tramos de 3 a 10 m | | |
| 3.11 | Rampa antideslizante con pavimento podotáctil de alerta de ancho mínimo 0,4 m y máximo 0,8 m | | |
| 3.12 | En presencia de escaleras, debe tener una franja de pavimento con contraste cromático y una textura distinta de a lo menos 0,60 m de ancho | | |
| 3.13 | En caso de existir estructuras sobresalientes, se sugiere que sean menor a 0,15 m | | |
| Total de puntos: 0 a 2 Deficiente; 3 a 5 Regular; 6 a 9 Bueno; 10 a 13 Excelente; SI=1; NO=0 | | | |

Fuente: Elaboración propia. Nota: En base a las recomendaciones y exigencias indicadas en la Tabla 1 y 2.

5. CASO DE ESTUDIO: CALETA LENGA

5.1 Descripción del territorio

El estudio se realiza en Caleta Lengua, ubicada en el borde costero, al sur de la bahía de San Vicente perteneciente a la comuna de Hualpén, provincia de Concepción, específicamente en las coordenadas 36.77° de Latitud Sur y en 73.17° de Latitud Oeste de la Región del Biobío. Comprende una superficie total de 34.000 m^2 y se encuentra cerca de Caleta Peroné y Caleta Chome, además de estar emplazada dentro del Santuario de la Naturaleza de Hualpén, declarado así en 1976, convirtiéndose en el único santuario de la naturaleza de la Región del Biobío, con una extensión de 2.662 hectáreas, cuyo objetivo preservar el patrimonio natural y cultural por su amplia presencia de su flora y fauna. En este santuario se realizan diferentes actividades como cabalgata, ciclismo, trekking, etc., y su costa permite practicar deportes como el velerismo y windsurf, además, de destacarse por su variada gastronomía, lo que motiva cada año la llegada de un importante número de turistas.

Con respecto a su morfología litoral, es preciso señalar que es considerada una bahía amplia y que presenta una baja altitud en relación con el nivel del mar, donde casi todo el territorio se encuentra bajo la cota 30. Por otro lado, hacia el Oeste de la caleta se ubica el Río Lengua, el cual conecta directamente el mar con el humedal. Su ubicación se muestra en la Figura 2.

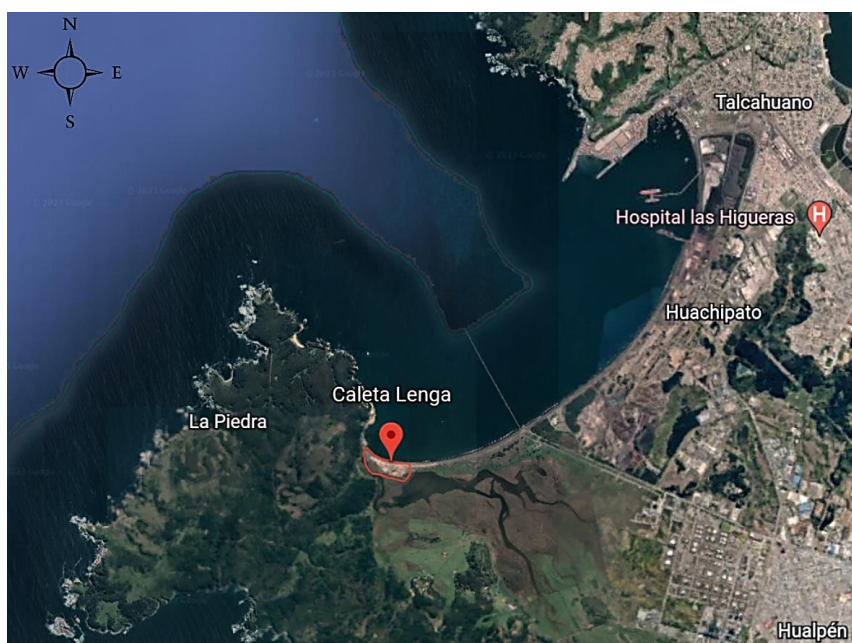


Figura 2: Ubicación Caleta Lengua, $36^\circ46'00''\text{S}$, $73^\circ10'17''\text{W}$. Fuente: Google Earth.

La caleta nació como un asentamiento temporal para la habitación de trabajadores durante la primera explotación de la cantera existente en el fundo Ramuntcho, en 1940 (CONAMA, 2005). Está constituida principalmente por pescadores artesanales que se dedican a la extracción de recursos marinos, al cultivo de la *Gracilaria chilensis* (alga) y a la gastronomía típica, basada en los recursos marinos (Zelada, 1993). Actualmente, se destaca principalmente por su actividad pesquera y gastronómica, realizándose también trabajos en faenas comerciales, industriales y en el área turística, por ende, su economía depende netamente de su zona litoral y alrededores.

5.2 Registro de tsunamis en el territorio

El Plan de Reducción de Riesgo de Desastre de la Región del Biobío de la ONEMI, en 2018 identificó que la Región del Biobío se encuentra expuesta a riesgos geológicos, como terremotos, tsunamis y erupciones volcánicas. Entre los años 1562 y 2010 destacan 8 sismos de magnitud sobre M_w 8 que originaron tsunamis en la zona central de Chile (1562, 1570, 1657, 1730, 1751, 1835, 1960 y 2010). Por otro lado, Lagos (2000) en su investigación de tsunamis de origen cercano en Chile, estableció una escala de grados de tsunamis que va desde el cero al cuatro, como se muestra en la Tabla 6. En la Región del Biobío, destaca la actividad en el Golfo de Arauco con tres eventos con tsunami grado $m=3$ que generaron una inundación entre los 8 a 12 m.

Además, a nivel nacional, ocurrieron entre los años 1562 y 2000 tsunamis de grado $m=3$ cada 44 años y entre los años 1730 y 2000 tsunamis de grado $m=4$ cada 68 años.

Tabla 6: Grados de tsunamis en Chile, según altura de ola, cota de inundación y daños

| Grado Tsunami m | Altura de la ola (m) | Cota máxima de inundación r (m) | Descripción de los daños |
|-----------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 0 | 1 a 2 | 1 a 1,5 | No produce daños |
| 1 | 2 a 5 | 2 a 3 | Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados |
| 2 | 5 a 10 | 4 a 6 | Hombres, barcos y casas son barridos |
| 3 | 10 a 20 | 8 a 12 | Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa |
| 4 | > 30 | 16 a 24 | Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera |

Fuente: Lagos, 2000

El mayor impacto por un tsunami en la comuna de Hualpén ocurrió en 1835, donde se registra que el territorio más afectado fue aquél que se interna tierra adentro, a una distancia de 2 kilómetros de la línea de costa, incluyendo la desembocadura del río Biobío (Soto, 1994). “El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), generó una carta de inundación por tsunami en la bahía San Vicente y Concepción, aplicando el escenario extremo del año 1835, causando una inundación que cubriría Caleta Lengua y parte del territorio donde se encuentra el humedal con profundidades de 4 a 6 m” (Núcleo Científico Tecnológico, 2021), lo cual se puede observar en la Figura 3.

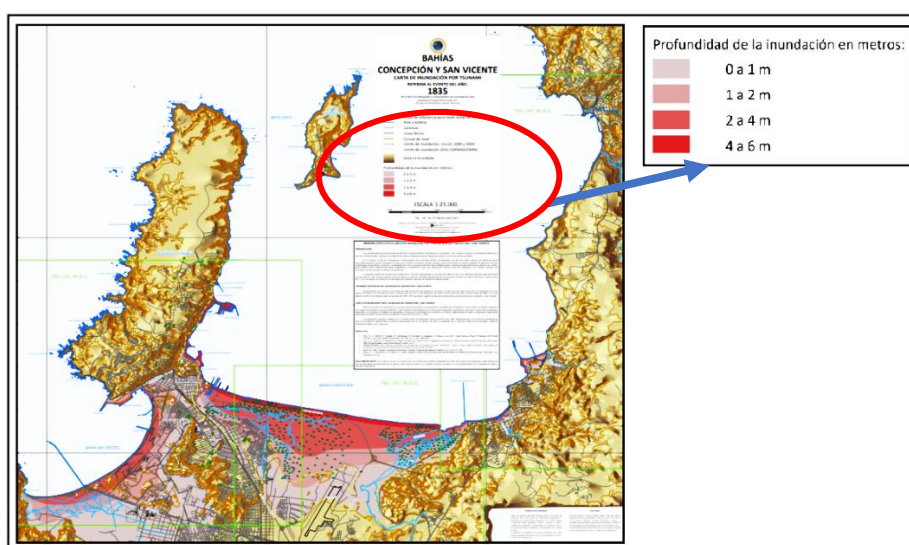


Figura 3: Carta de inundación por tsunami en la bahía San Vicente y Concepción. Fuente: SHOA.

Sin embargo, el área de inundación por el tsunami del 27/F en Caleta Lengua no fue significativa (ver Figura 4), pues, afectó principalmente la zona que no se encuentra protegida por el muro costero, el cual finaliza aproximadamente al llegar al Río Lengua, como se muestra en las Figura 5 y 6.

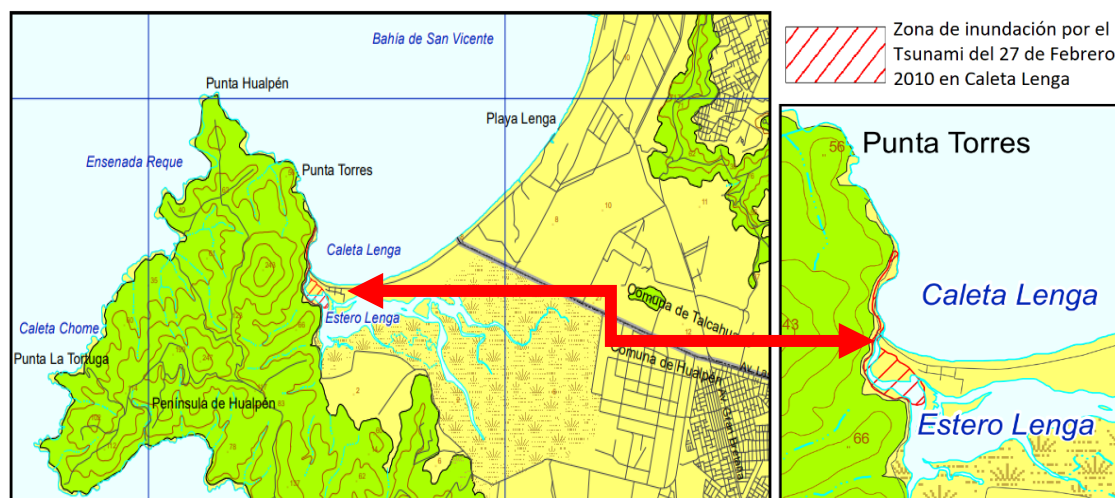


Figura 4: Área inundada por el tsunami del 27 de febrero 2010. Fuente: Sernageomin.



Figura 5: Muro costero de Caleta Lengua

Fuente: Fotografía propia



Figura 6: Fin del muro Costero en Caleta Lengua

Fuente: Fotografía propia

Esto no quiere decir que Caleta Lengua no presente un potente riesgo frente a estas amenazas, ya que, como se mencionó anteriormente, a medida que el tsunami se aproxima a la costa, la batimetría afecta la propagación del tsunami y los procesos de transformación, tales como refracción, difracción y asomeramiento, pueden focalizar o dispersar la energía del tsunami. “En las cercanías de la costa, el proceso de asomeramiento es más evidente y la amplitud del tsunami puede aumentar de un metro a una decena de metros, por lo que el comportamiento del tsunami puede ser muy impredecible debido a la influencia de la batimetría y topografía” (Aránguiz, 2018), por lo tanto, no se debe descartar un desastre mayor en Caleta Lengua que el ocurrido en 2010.

5.3 Modelación numérica del caso más desfavorable

La modelación numérica utilizada para el presente caso de estudio corresponde a la elaborada por Aránguiz (2022), quien desarrollo diversos escenarios de terremotos en todo el segmento de Chile central, desde Coquimbo a la península de Arauco, que, además, desde 1730 no se ha registrado un terremoto altamente tsunamigénico (Carvajal, cisterna y Catalán 2017). La simulación consideró terremotos con magnitudes entre los M_w 8.0 a 9.2 y desplazamientos de interplaca que van desde cero a 25 m. Además, determinaron tramos con diferencia de 0.2 en su magnitud y cada uno con 50 escenarios. El tramo 6 comprende magnitudes M_w 9.0 a 9.2 donde se determinaron ocho escenarios más desfavorables para San Vicente, los cuales se pueden observar en la Figura 7.

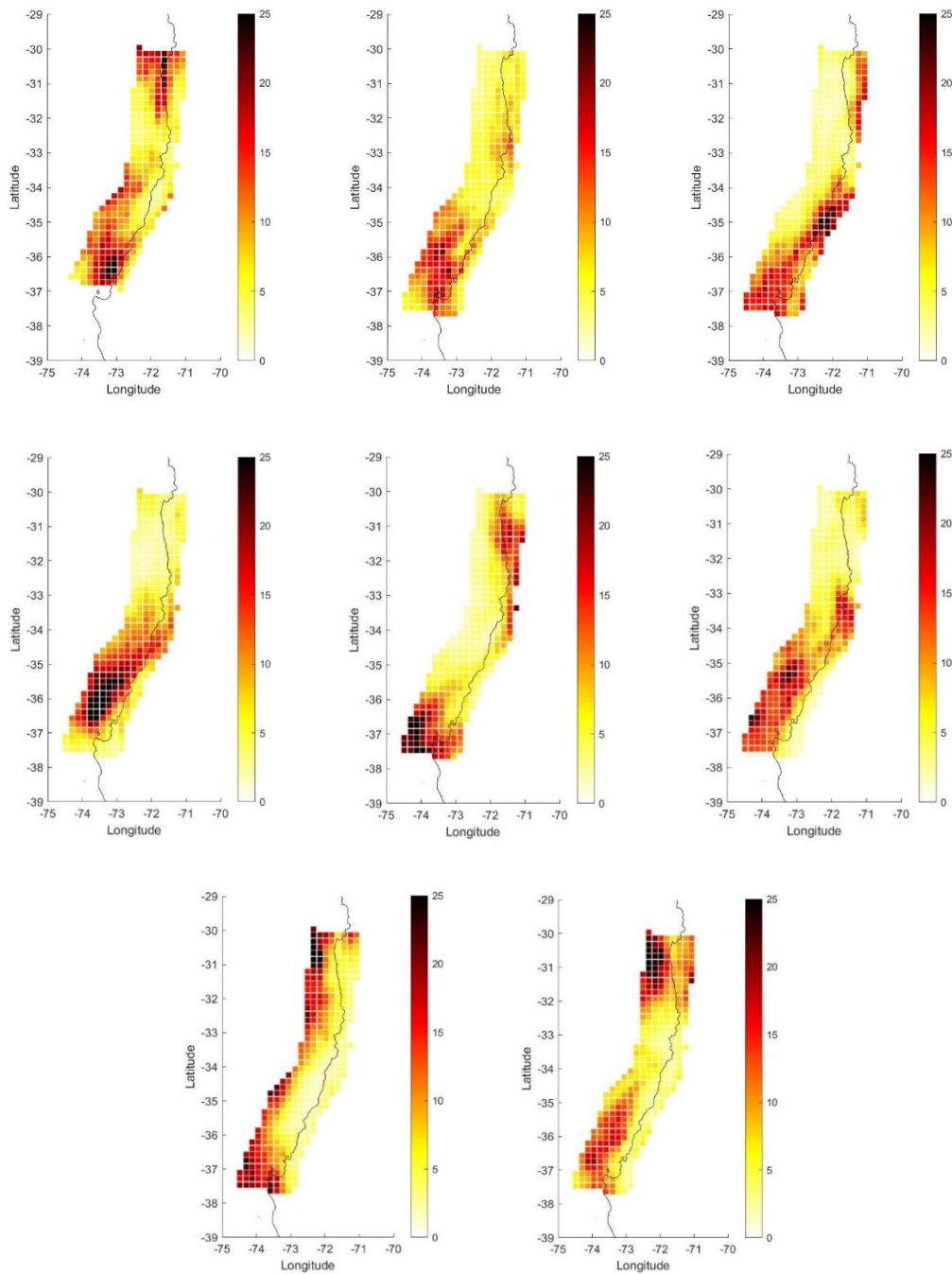


Figura 7: Ocho escenarios más catastróficos de magnitudes entre M_w 9.0 a 9.2 en la bahía de San Vicente.
 Nota: Simulación numérica con una malla de resolución máxima de 30 m y su respectiva envolvente de tiempos de arribo y profundidades de inundación. Fuente: Proyecto FONDEF ID19I10021

En base a esta simulación numérica, el escenario más desfavorable de inundación en Caleta Lengua sería por un sismo de magnitud de M_w 9 originando un tsunami de campo cercano frente a la Bahía San Vicente.

5.3.1 Profundidad de inundación

De acuerdo con las condiciones de la modelación anteriormente planteada, se determinan profundidades de inundación de hasta los 9.5 m, las cuales son preocupantes, puesto que la inundación, a lo largo de la costanera, podría exceder el nivel del muro de la costanera, ingresando hacia las viviendas e inundándolas con columnas de agua entre los 3 a 8 m. Adicionalmente, el tren de olas también ingresa por el Río Lengua causando que el humedal presente una inundación de alrededor de los 7.5 m. Por lo tanto, además de ser un tsunamigénico frente a la bahía, los altos niveles de inundación se ven favorecidas por la baja elevación del terreno llano costero, dejando la población expuesta a un alto riesgo. Un extracto de tal simulación se puede observar en la Figura 8.

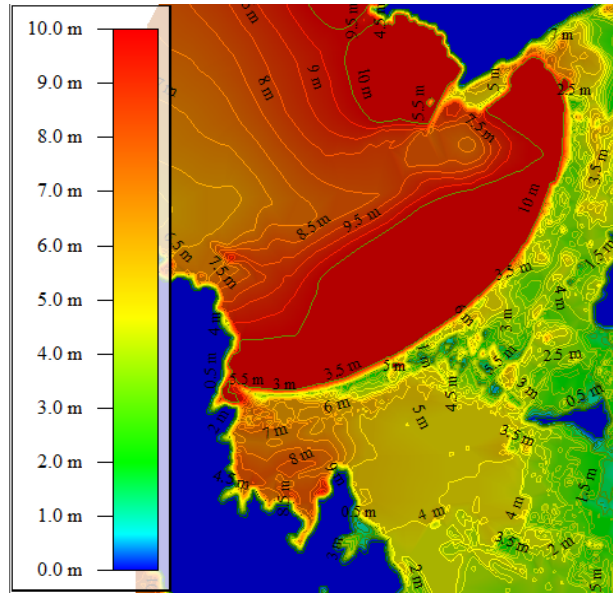


Figura 8: Profundidades de inundación del tsunami por un sismo M_w 9 y epicentro frente a la bahía San Vicente.

5.3.2 Tiempos de arribo

Como se mencionó anteriormente, la profundidad tiene una relación directa con la velocidad de propagación del tren de olas, tal como se muestra en la ecuación 3, por lo que, debido a las profundidades que presenta la bahía de San Vicente, el tsunami puede llegar a la costa en un corto periodo de tiempo, además, a medida el tsunami se acerca a la costa, éste va disminuyendo su velocidad, sin embargo, la altura de ola se incrementa.

A partir de la simulación numérica planteada en la sección 5.3, efectivamente los tiempos son considerablemente cortos, pues la primera llegada del tren de olas se estima en un mínimo de 10 minutos ingresando primeramente por el Río Lenga y alcanzando las viviendas que no se encuentran protegidas por el muro costero, asimismo las viviendas ubicadas a lo largo de la costa se verían afectadas en un periodo de 14 a 22 minutos. Por otro lado, cabe señalar que, incide en gran manera el ingreso del flujo por el río y a través de las aguas subterráneas del humedal, considerando que el tsunami tiene un mayor paso, por ende, la población se inundaría de forma más rápida.

5.3.3 Probabilidad de ocurrencia

La estimación del peligro sísmico es fundamental para la prevención y planificación, puesto que, nos permite conocer la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos que exceden una determinada magnitud en un periodo de tiempo (Aquiles, 2018). Para ello, se utilizará la ley truncada de Gutenberg Richter que calcula la tasa de excedencia de una intensidad sísmica que se define como el número de veces, por unidad de tiempo, en que el valor de esa intensidad sísmica es excedido. Dicha tasa de excedencia está dada por la ecuación 4:

$$\lambda_m = v \left[\frac{e^{-\beta(m-M_{min})} - e^{-\beta(M_{m\acute{a}x})-M_{min}}}{1 - e^{-\beta(M_{m\acute{a}x})-M_{min}}} \right] \quad (4)$$

Donde:

λ_m = tasa media anual de excedencia de la magnitud de m de un segmento sísmico

$$v = e^{(\alpha - \beta M_{min})}$$

$$\alpha = 2.303a$$

$$\beta = 2.303b$$

a y b corresponden a parámetros de Gutenberg-Richter cuyos valores para la zona bajo estudio son 5.23 y 0.94 respectivamente (Becerra, 2020).

Además, se tomará la magnitud mínima como $M_{min} = 5.0$ y la magnitud máxima $M_{m\acute{a}x} = 9.2$, según registros históricos y la modelación numérica del apartado 5.3. Por lo tanto, si tenemos una magnitud de interés de M_w 9.0, la cual es la utilizada para el presente estudio, y se reemplaza en la ecuación 4, se obtiene $\lambda_m = 0.0002$,

por lo que su periodo de retorno TR ($M_w > 9.0$) sería de 4839 años y la probabilidad de ocurrencia de un 1.02% cada 50 años.

Por otro lado, cabe destacar que un terremoto con una magnitud de M_w de 9.1–9.3 afectó la zona centro de Chile en 1730 registrándose como el más grande ocurrido en dicha zona (Carvajal, Cisternas y Catalán, 2017), por lo tanto, desde tal fecha al año 2022 no acontecido un terremoto sobre los M_w 9.0, es decir, hace 292 años, y a medida que pasa más el tiempo, la probabilidad de ocurrencia incrementa.

5.4 Población vulnerable en el territorio

Para la valoración de los grupos más vulnerables se utilizarán los datos proporcionados por el último Censo realizado en 2017 por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en la localidad de Hualpén. De acuerdo con los resultados, Hualpén cuenta con un total de 91,773 habitantes, de los cuales el 53% corresponde a mujeres y el 47% a hombres. En cuanto a la edad de la población, la Figura 9 muestra que el grupo de 45 a 64 años es el que predomina constituyendo el 26% del total de residentes de la comuna. Por otro lado, en el mismo gráfico se puede ver los principales cambios con respecto al registro del Censo de 2002 y 2017, son la disminución del 4% en el grupo de 0 a 14 años, un aumento del 7% y 5% en el grupo de 45 a 64 años y de 65 o más años respectivamente.

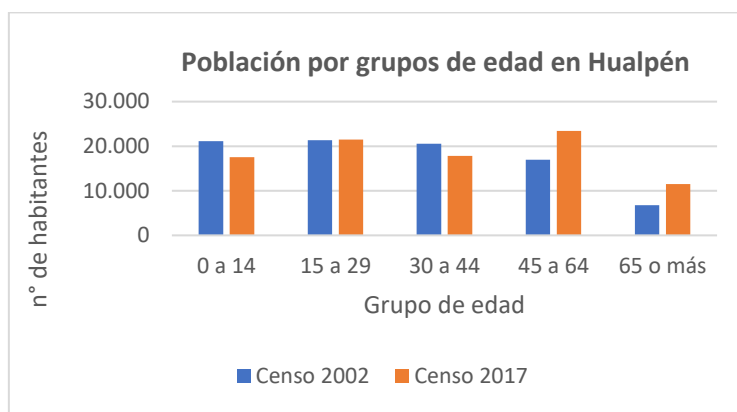


Figura 9: Distribución de la población por grupos de edad Censo 2002 y 2017. Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del Censo 2002 y 2017 (INE).

En Caleta Lengua el número de habitantes en 2017 era de aproximadamente 420 personas, de las cuales se estima que gran parte pertenece al grupo de 45 a 64 años lo indica el Censo del 2017 de la comuna de Hualpén.

5.4.1 Adultos mayores

En diversos estudios los adultos mayores han sido categorizado como un grupo potencialmente en riesgo, pues se trata de personas frágiles o que presentan algún tipo de enfermedad o discapacidad (Fernández et al., 2002; Morrow, 1999). El Servicio Nacional de Adultos Mayores define como adulto mayor a toda persona que ha cumplido los 60 años, sin diferencia entre hombres y mujeres. Por lo tanto, en la comuna de Hualpén residen un total de 16.098 adultos mayores representando el 17.54%.

“Frente alguna eventualidad catastrófica, la mayoría de los adultos mayores necesitan ser asistidos, pues, para ellos es un desafío adicional si necesitan evacuar con rapidez, especialmente si requieren algún equipo” (Robin, 2000). Una persona de la tercera edad con movilidad reducida tiene en promedio una velocidad de escape menor en comparación con aquellas sin ningún tipo de problema (Knoblauch et al., 1996; Sugimoto et al., 2003). Por ende, si en Caleta Lengua se considera que con el tiempo sigue aumentando el porcentaje de adultos mayores, como se muestra en la Figura 9, podría incrementarse el número de adultos semivalente.

5.4.2 Niños y adolescentes

Al comparar el número de muertes y víctimas de desastres naturales a nivel mundial, los niños y adolescentes resultan ser uno de los grupos más vulnerables. Esto se debe a que son individuos que dependen netamente de sus tutores, especialmente los niños.

De acuerdo con la información entregada por el INE en 2017, “la comuna de Hualpén tiene 15.109 habitantes que se encuentran en la edad de entre 0 a 12 años y 7.407 que se encuentran entre los 13 a los 18 años. Por otra parte, específicamente en Caleta Lengua, se contabilizan 51 lactantes e infantes entre 0 a 5 años, y 57 niños, niñas y preadolescentes de entre 6 a 14 años” (Núcleo Científico Tecnológico, 2021). Además, cabe señalar

que el único jardín infantil en Caleta Lengua en octubre del 2021 albergaba 30 niños, con edades comprendidas entre los 9 meses y 3 años aproximadamente, es más, es necesario mencionar que el jardín infantil se encuentra dentro de la zona de riesgo de inundación por tsunami y que personal encargado del cuidado de los menores ha expresado su gran preocupación con respecto a las rutas de evacuación existentes.

5.4.3 Personas con discapacidad

“Los estudios sobre vulnerabilidad social y desastres a menudo enumeran tanto a los niños como a las personas con discapacidades como poblaciones en riesgo particular cuando ocurre un desastre” (Peek & Stough, 2010). Por ello, se busca evaluar la población en este aspecto, donde en la plataforma del INE se encuentran registros a nivel nacional y regional. No obstante, es de suma importancia resaltar la necesidad de realizar un levantamiento de datos para obtener este tipo de información, por lo menos, a nivel comunal, a fin de que los estudios sean más específicos.

Mencionado lo anterior, el INE publicó el Segundo Estudio Nacional de la Discapacidad 2015, el cual obtuvo una muestra efectiva que estimó un total de 2.836.818 personas en situación de discapacidad (PeSD), de las cuales el 92% correspondía a personas mayores de 18 años y el 8% a menores de edad entre 2 y 17 años. Según el tipo de discapacidad la mayor parte de la población presenta discapacidad motriz, seguida por ceguera y falta de audición, que representan el 36.9%, 11.9% y 8.2% respectivamente. Adicionalmente, se estima que el 75.6% utiliza alguna ayuda técnica¹ y el 44.6% necesita alguna ayuda técnica.

Ahora bien, el 18.3% del total a nivel nacional correspondían a la Región del Biobío, de los cuales, 21.539 corresponden a menores de 2 a 17 años y 345.348 a mayores de edad. El grupo etario con mayor porcentaje de discapacidad son los de 60 o más años con un 43%, seguido del grupo de 45 a 59 años con un 21.1%. En cuanto al grado de discapacidad se presenta mayor proporción de discapacidades con grado leve a moderado. En las Figuras 10 y 11 se puede observar la distribución de esta población según rango de edad y grado de la discapacidad.

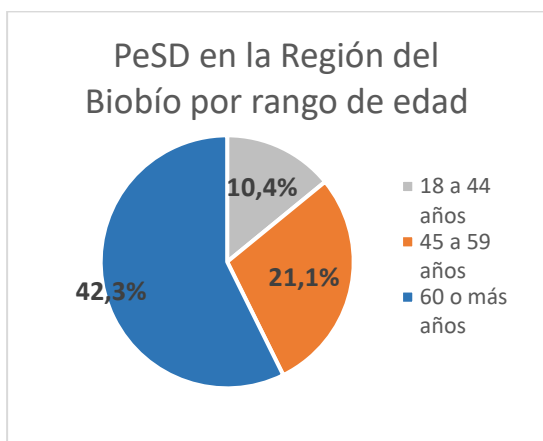


Figura 10: Distribución de personas con discapacidad en la Región Biobío según grupo de edad. Fuente: II Estudio Nacional de la Discapacidad 2015.

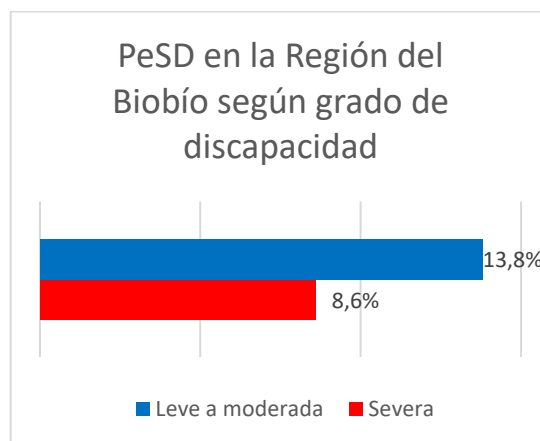


Figura 11: Distribución de personas con discapacidad en la Región Biobío según su grado. Fuente: II Estudio Nacional de la Discapacidad 2015.

Además, los resultados del estudio muestran que la situación de discapacidad está estrechamente relacionada con el envejecimiento de las personas (Ministerio de Desarrollo Social, 2016).

¹Ayuda técnica: elemento de gran importancia para la autonomía y calidad de la vida de las personas en situación de discapacidad (SENADIS, 2015)

5.5 Evacuación en la zona de estudio

5.5.1 Vías de evacuación presentes

Actualmente, ONEMI establece la cota 30 como referencia y recomendación general para establecer la línea de seguridad especialmente en zonas urbanas, sin embargo, para los casos en los que la cota 30 se extienda muchos kilómetros desde la costa hacia el interior, se considerará una distancia máxima de 10 kilómetros para establecer la línea de seguridad (ONEMI, 2018).

En 2014, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior publicó el plano de evacuación ante un tsunami en Caleta Lengua. Esta vía de evacuación recorre toda la costa por la Avenida Las Golondrinas, luego, cruza el Río Lengua en dirección al norte de la caleta, contemplando así una distancia de aproximadamente 1.2 km desde el punto de partida marcado en la Figura 12 (considerado como el punto más desfavorable) y sin considerar el trayecto que se debe recorrer para ascender a la cota 30.

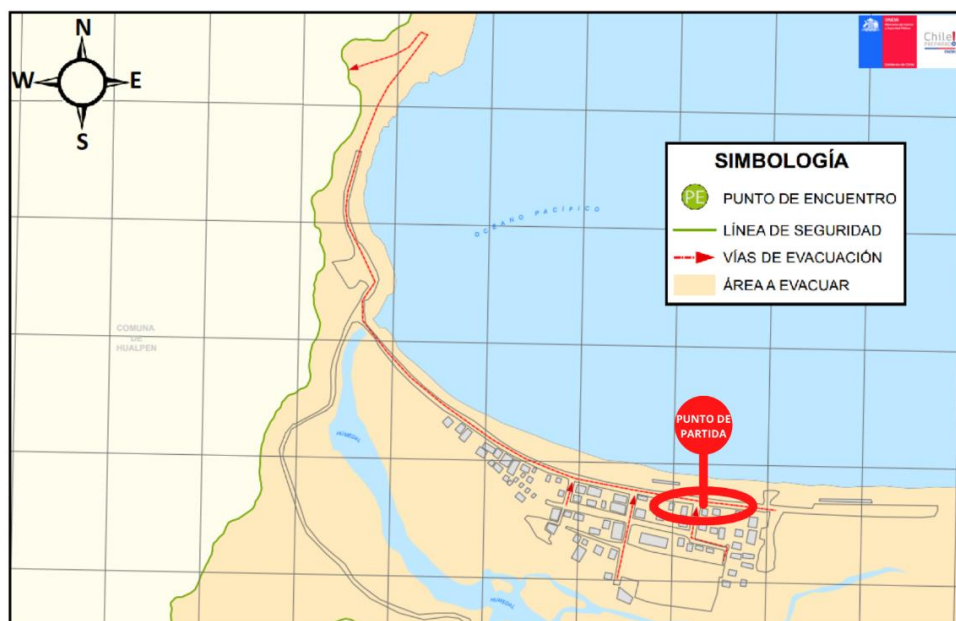


Figura 12: Ruta 1: Vía de evacuación ante tsunami en Caleta Lengua, septiembre 2014. Fuente: ONEMI

Esta ruta de evacuación presentaba problemáticas que preocupaban a los residentes, quienes describían la vía como poco insegura, debido a que, existe un tramo de 600 m aproximadamente de camino no pavimentado después de cruzar el Río Lengua hasta el punto donde se debiese comenzar a subir hacia la cota 30, lo que dificulta el desplazamiento de personas en situación de discapacidad, tercera edad, personas que utilizan equipo de apoyo, embarazadas o personas con niños, con o sin coche. Además, para poder ascender hacia la zona segura, los vecinos deben pasar por una propiedad privada la cual tiene un portón que obstaculiza el paso, tal como se puede observar en la Figura 13.



Figura 13: Portón de ingreso al sector privado que bloquea el acceso.

La Avenida Las Golondrinas es la única vía principal de la bahía, la cual colapsa en temporada alta de turismo, ya sea por el alto tráfico de vehículos, peatones, puestos de ambulantes y ferias. En consecuencia, la ruta de evacuación está casi por completo bloqueada, lo que dificulta la evacuación de las personas en caso de emergencia (ver Figura 14).

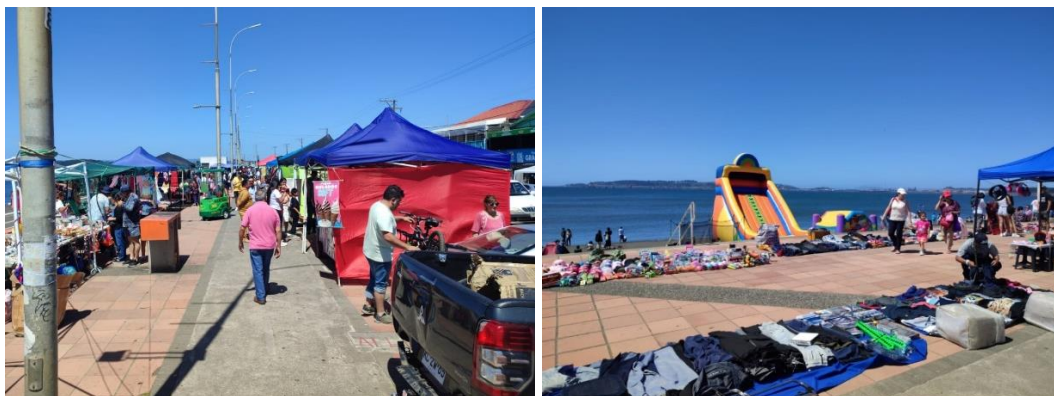


Figura 14: Puesto de feriantes, ambulantes y flujo peatonal en Avenida Las Golondrinas en Caleta Lengua, diciembre 2022. Fuente: Fotografías propias.

Adicionalmente, de acuerdo con los antecedentes y relatos de los pobladores, los principales daños provocados por el tsunami del 2010 en Caleta Lengua fueron en aquellas zonas que se encontraban sin protección del muro costero y al norte de la caleta, es más aún, en base a lo expuesto en la sección 5.3.2, el primer ingreso del tren de olas sería en 10 minutos a través del Río Lengua, por lo tanto, las personas corren un alto riesgo al evacuar por esta ruta, especialmente aquellas con discapacidad y/o movilidad reducida.

Por esta razón, la junta vecinal tuvo diversas reuniones con autoridades, entidades corporativas e instituciones con el objetivo de buscar soluciones para reducir el riesgo de eventuales desastres naturales. Una de ellas se llevó a cabo en 2022 con el Núcleo CT de la Universidad Católica la Santísima Concepción (UCSC), en la cual se realizó una encuesta con la participación de instituciones y residentes de la caleta, y se concluyó que uno de los fenómenos naturales y/o antrópicos que más les preocupa era el tsunami y el nivel de preocupación con respecto a las rutas de evacuación fue alta, pues la califican como mala o muy mala. Por otro lado, el programa de Gestión de Riesgos y Resiliencia del Núcleo CT para el Desarrollo Costero Sustentable de la UCSC, la junta de vecinos y la Municipalidad de Hualpén pudieron identificar que la ruta de evacuación establecida en 2014 presenta carencias y que necesitaba ser mejorada o buscar otra vía para evacuar.

Como resultado, la Municipalidad de Hualpén actualizó la ruta de evacuación en Caleta Lengua ante un tsunami (ver Figura 15), la cual, cambia de dirección al cruzar el Río Lengua y su tramo está comprendido en alrededor de 700 m desde el punto de partida indicada en la misma figura, sin embargo, cabe recalcar que dicha distancia es antes de comenzar a subir por el cerro para alcanzar la cota 30.



Figura 15: Ruta 2: Actualización de la vía de evacuación ante tsunami en Caleta Lengua en julio 2022. Fuente: ONEMI

Esta nueva ruta de evacuación no posee un portón que obstruya el paso y permitió reducir el tramo por recorrer, pero, si se refiere a la accesibilidad para llegar a la zona segura, es prácticamente inaccesible para una persona con discapacidad e incluso para quien no se encuentra en situación de discapacidad, debido a que, el suelo muy poco compacto, con muchas hojas y arbustos, por lo que es fácil resbalarse, la inclinación que presenta este camino es muy alta, sobre todo al comienzo, donde prácticamente es necesario sostenerse de ramas para subir y para estar en una zona segura es indispensable ascender, pues, en ningún momento las personas se alejarían del borde costero. Dicho camino se puede observar en la Figura 16.



Figura 16: Acceso para ascender por la nueva ruta de evacuación. Fuente: Fotografía propia.

No obstante, en casos anteriores, los habitantes han preferido dirigirse hacia sur de la bahía después de cruzar el Río Lenga, (ver Figura 17), donde se recorre un tramo de 1.75 km aprox., desde el punto de partida hasta antes de comenzar a subir el cerro, cuyo camino es más plano y menos dificultoso que los anteriores, pero, al igual que en la vía establecida en 2014, su ingreso también se encuentra impedido por un portón, como se puede ver en la Figura 18.



Figura 17: Ruta 3: Ruta de evacuación ante tsunami tomada por los residentes de Caleta Lenga. Fuente: Elaboración propia



Figura 18: Bloqueo en entrada a propiedad privada. Fuente: Fotografía propia

Ahora bien, cabe señalar que aún existen problemas en las tres rutas, debido a que algunos tramos de la vía se encuentran en mal estado y no pavimentados, también, se debe cruzar el río al cual llega el tren de olas en un tiempo muy limitado. Además, para ascender a una altura segura se debe pasar por sectores privados cuyos accesos están bloqueados con portones. Por último, los caminos de ascenso son escabrosos y con pendientes altas, por lo que la velocidad de desplazamiento será menor, resultando ser fundamental minimizar el tiempo de recorrido horizontal.

5.5.2 Tiempo de evacuación con la vía actual

La actual vía de evacuación, (ver Figura 15) se dividirá en tres tramos considerando el punto de partida (1) como el punto más crítico de evacuación. El primero será la Avenida Las Golondrinas de inicio a fin de la Caleta cuyo camino es plano, con pendiente menor al 3%, se encuentra pavimentado y tiene una longitud de 427 m, luego, el segundo tramo será nuevamente con inclinación menor al 3%, pero no se encuentra pavimentado y su longitud es de 223 m, finalmente, el tercer tramo corresponderá cuando se comienza a subir hacia la zona segura, donde tampoco se encuentra pavimentados y presenta una pendiente promedio del 23%. Los Tramos se detallan en la Figura 19.



Figura 19: Demostración ilustrativa de los tramos establecidos para la actual vía de evacuación.

La Guía de Referencia para Sistemas de Evacuación Comunales por Tsunami (CIGIDEN et al., 2018), presenta una tabla que determina diferentes factores, los cuales se pueden ver en la Tabla 7. Con ella, se realizará una interpolación para obtener los valores para la pendiente del tramo 3.

Tabla 7: Velocidad del flujo, grado y longitud en función de la pendiente de la vía.

| Pendiente Promedio | Ángulo (a) | Velocidad (m/s) | Longitud mínima para alcanzar H=30 m |
|--------------------|------------|-----------------|--------------------------------------|
| 3% o menos | 1,7° | 1,22 | 1011 |
| 5% | 2,4° | 1,22 | 716 |
| 10% | 5,7° | 0,74 | 302 |
| 15% | 8,5° | 0,53 | 203 |
| 20% | 11,3° | 0,37 | 153 |
| 23% | 12,9° | 0,33 | 138 |
| 30% | 16,7° | 0,22 | 104 |

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Gobierno de Chile, 2017

El comienzo del tramo 3 se encuentra aproximadamente en la cota 10, por lo tanto, para llegar a la cota 30 resta una altura de 20 m. El cálculo de la longitud necesaria por recorrer se realizará en función de la ecuación 5 y el ángulo (a) de una pendiente del 23% obtenido de la Tabla 7:

$$L = \frac{H}{\text{sen}(a)} = \frac{20}{\text{sen}(12,9^\circ)} = 89,59 \text{ m} \sim 90 \text{ m} \quad (5)$$

Por otro lado, dado que la velocidad obtenida (0.33 m/s) es para personas sin discapacidad, se utilizarán datos de otros estudios que determinan velocidades de personas con diferentes tipos de discapacidad, con niños y adultos mayores en plano nivelado (pendiente < 3%). Esto con el fin de relacionar la proporcionalidad de sus capacidades de desplazamiento y velocidad en una pendiente del 23% de la Tabla 7, dando como resultado las velocidades indicadas en la Tabla 8.

Tabla 8: Velocidad de desplazamiento según agente y pendiente

| Velocidad según agente (m/s) | Pendiente Promedio | |
|-------------------------------|--------------------|------|
| | 3% o menos | 23% |
| Sin discapacidad | 1,22 | 0,33 |
| Silla de ruedas no motorizada | 0,89 | 0,24 |
| Discapacidad Auditiva | 1,22 | 0,33 |
| Discapacidad visual | 0,86 | 0,23 |
| Adulto mayor (> 65 años) | 0,90 | 0,24 |
| Una persona con un niño | 1,02 | 0,28 |

Fuente: Manley & Kim (2012); Knoblauch et al. (1996); Sugimoto et al. (2003).

Nota: De acuerdo con la Tabla 7, una persona sin discapacidad, es decir, con el 100% de su capacidad de desplazamiento, tiene una velocidad de 1.22 m/s en pendientes menores al 3%, en cambio, según otras investigaciones (Manley & Kim, 2012; Knoblauch et al., 1996; Sugimoto et al., 2003), una persona en silla de ruedas tiene una velocidad de 0.89 m/s para la misma pendiente, ocupando así el 76% de su capacidad. Por lo tanto, para el cálculo de velocidades según agente y pendiente, realizó una relación proporcional de su capacidad y velocidad de desplazamiento.

Como la vía de evacuación presenta tres tramos con diferentes tipos de suelo, se tomará un valor de conservación de velocidad para distintas coberturas de suelo (SCV) indicadas en la Tabla 9, y se multiplicará por las velocidades obtenidas en la Tabla 8, luego, con la longitud de cada tramo y la velocidad resultante se tienen los tiempos de evacuación total en cada caso con la actual ruta, cuyos valores se indican en la Tabla 10, obteniendo un tiempo de evacuación en promedio de 20 minutos.

Tabla 9: Factor de conservación de velocidad para distintas coberturas de suelo (SCV)

| Camino | SCV |
|--------------------------|-----------|
| Camino asfaltado | 1,00 |
| Camino de tierra | 0,91 |
| Urbanizado | 0,91 |
| Terreno baldío | 0,56 |
| Cultivo | 0,83 |
| Bosque | 0,67 |
| Matorral/Arbustivo | 0,67 |
| Pastizal/Herbáceo (bajo) | 0,83 |
| Pastizal/Herbáceo (alto) | 0,75 |
| Humedal | 0,56 |
| Construcción | 0,05 |
| Canal | 0,56 |
| Agua | 0,00 |
| Cerca intraspasable | 0,00 |
| Cerca traspasable | 0,50 |
| Arena | 0,48 |
| Red vial | 0,50-1,00 |
| Sin clasificar | 0,00 |

Fuente: Tamburini (2015) sobre la base de Soule & Goldman (1972), Mück (2008), White & Barber (2012) y Wood & Schmidlein (2012).

Tabla 10: Tiempo de evacuación para cada caso con la actual ruta de evacuación

| Tramo | Longitud del tramo (m) | SCV | Velocidad (m/s) | | | | Velocidad promedio por tramo (m/s) |
|----------------------------|------------------------|------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| | | | No discapacitado y discapacidad auditiva | Silla de ruedas no motorizada y adultos mayores | Discapacidad visual | Persona con un niño | |
| 1 | 427 | 1 | 1,22 | 0,89 | 0,86 | 1,02 | 1,00 |
| 2 | 223 | 0,91 | 1,11 | 0,81 | 0,78 | 0,93 | 0,91 |
| 3 | 90 | 0,67 | 0,22 | 0,16 | 0,15 | 0,19 | 0,18 |
| Tiempo de evacuación (min) | | | 16 | 22 | 23 | 19 | 20 |

Para una mejor visualización, estos tiempos de evacuación se representan gráficamente en la Figura 20, donde se puede observar que, a los 500 m de recorrido, aproximadamente cuando termina el muro costero, el tren de olas alcanza a personas en sillas de ruedas, adultos mayores y personas con discapacidad visual. Cabe señalar que, aunque la pendiente del tercer tramo es del 23%, es necesario realizar cuantiosas maniobras para comenzar a ascender, debido a que es un tramo de camino indefinido, el suelo es suelto y la subida es prácticamente vertical al comienzo, siendo incluso difícil de acceder para una persona sin discapacidad, por lo que es probable que en dicho tramo se tome más tiempo de lo calculado o sea netamente inaccesible.

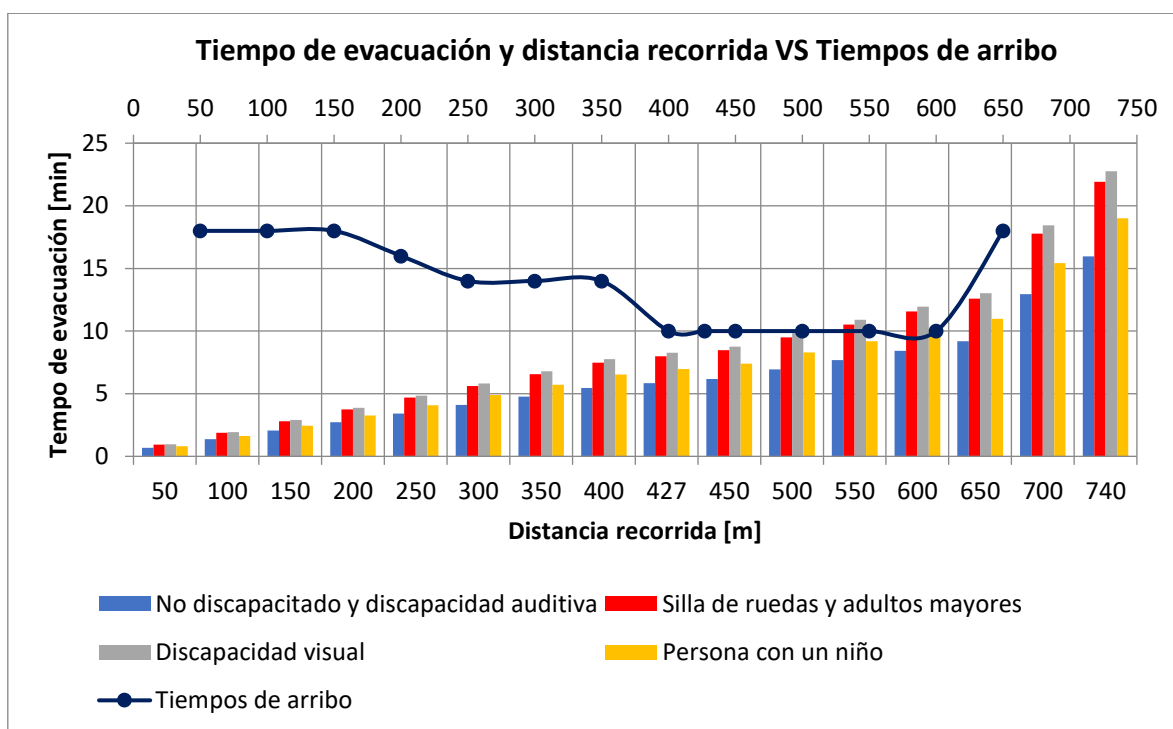


Figura 20: Representación gráfica de la evacuación para cada caso en relación con los tiempos de arribo por la ruta de evacuación actual.

6. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN CALETA LENGA

Se evaluará la amenaza, vulnerabilidad y la actual ruta de evacuación en Caleta Lengua, basadas en las tablas 3, 4 y 5.

6.1 Evaluación de la amenaza en la zona de estudio

La potencial amenaza se evaluará considerando el peor escenario planteado en la sección 5.3, donde se obtuvo una probabilidad de ocurrencia de 1.02% cada 50 años, profundidades de inundación en el área donde se encuentra ubicadas las viviendas entre los 3 a 8 m y la llegada del primer tren de olas a la línea costera en alrededor de 10 minutos. Dicha evaluación se puede observar en la Tabla 11.

Tabla 11: Escala de evaluación de amenaza actualmente en Caleta Lengua

| AMENAZA | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Características del Evento | Probabilidad | | |
| | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Probabilidad de Ocurrencia | Posible: Fenómeno que posee con escasos estudios y registros o con un porcentaje de ocurrencia en 50 años inferior al 10% | Probable: Fenómeno que posee investigaciones suficientes que predicen su acontecimiento o con un porcentaje de ocurrencia en 50 años entre el 10% al 40% | Inminente: Fenómeno que posee suficientemente argumentación y antecedentes de que ocurrirá o con un porcentaje de ocurrencia en 50 años sobre el 40% |
| Nivel | X | | |
| Inundación | Se presentan profundidades de inundación menor a 2 metros | Se presentan profundidades de inundación entre 2 a 6 metros | Se presentan profundidades de inundación sobre los 6 metros |
| Nivel | | | X |
| Tiempos de arribo | El primer tren de ola llega a la costa en un periodo de tiempo igual o superior a los 40 minutos | El primer tren de ola llega a la costa en un periodo de tiempo superior a 15 minutos e inferior a 40 minutos | El primer tren de ola llega a la costa en un periodo de tiempo menor o igual a 15 minutos |
| Nivel | | | X |

De la Tabla 11 se puede ver que, la probabilidad de ocurrencia corresponde a un nivel bajo, pues, es inferior al 10%, no obstante, el nivel de inundación y los tiempos de arribo del evento más catastrófico son altos, predominando en la evaluación.

6.2 Evaluación de la vulnerabilidad en la zona de estudio

En el caso del diagnóstico de vulnerabilidad, se consideró la densidad poblacional según el censo de 2017 realizado en Hualpén, en el cual se registró que el 17.54% corresponde a adultos mayores, por lo tanto, asumiendo el mismo porcentaje para el total de 420 vecinos que viven en Caleta Lengua, se tiene que residen 74 personas mayores de 60 años, además, se contabilizan un total de 108 menores de 14 años (Núcleo Científico Tecnológico, 2021). Otro grupo vulnerable son las personas con discapacidad, y que, por falta de información específica, se relacionará el porcentaje de personas con discapacidad a nivel regional (18.3%) con el total de residentes en la bahía, por lo que se estima que 77 personas que viven en Caleta Lengua tienen algún tipo de discapacidad, de los cuales, 32 personas corresponden a mayores de 60 años. Por lo tanto, el porcentaje de personas considerara como más vulnerables para este estudio representa 54.05%.

El resumen de la evaluación de vulnerabilidad se muestra a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12: Escala de evaluación de vulnerabilidad actualmente en Caleta Lengua

| Factor de Vulnerabilidad | VULNERABILIDAD | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | Impacto | | |
| | BAJO | MEDIO | ALTO |
| Densidad demográfica del grupo más vulnerable (infantes, adultos mayores, personas con discapacidad) | Menos del 30% del total de la población pertenece al grupo más vulnerable | Entre el 30% y el 60% del total de la población pertenece al grupo más vulnerable | Más del 60% del total de la población pertenece al grupo más vulnerable |
| Nivel | | X | |
| Tiempos de evacuación | El tiempo de evacuación no supera los 15 minutos desde que se emite la alarma de Tsunami | El tiempo de evacuación ronda entre los 15 y 40 minutos desde que se emite la alarma de Tsunami | El tiempo de evacuación es mayor a 40 minutos desde que se emite la alarma de Tsunami |
| Nivel | | X | |
| Asentamiento de la Población | Menos del 30% de la población reside a menos de un kilómetro de la línea de la costa | Entre el 30% y el 70% de la población reside a menos de un kilómetro de la línea de la costa | Más del 70% de la población reside a menos de un kilómetro de la línea de la costa |
| Nivel | | | X |

A partir de la evaluación de la Tabla 12 se concluye que el nivel de impacto con respecto al asentamiento de la población es alto, debido a que el 100% de su población tienen sus viviendas a una distancia menor a un kilómetro medidos desde la línea costera. En cuanto a los demás factores, Caleta Lengua posee un nivel de impacto medio que predomina su evaluación.

6.3 Accesibilidad e inclusividad de las vías de evacuación

Basado en la Tabla 5 se evaluarán las vías de evacuación mencionadas en la sección 5.5.1. Esta evaluación se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13: Requerimientos mínimos generales, específicos externos y específicos internos en una vía de evacuación

| | 1. Requerimientos mínimos generales | Ruta 1 | | Ruta 2 | | Ruta 3 | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|--------|----|--------|----|
| | | SI | NO | SI | NO | SI | NO |
| 1.1 | Vías de evacuación despejadas | | X | | X | | X |
| 1.2 | Señalética con dimensiones no inferiores a 850x600 mm ubicadas en un lugar que permita la visibilidad desde corta y larga distancia | | X | | X | | X |
| 1.3 | Buena iluminación con sistema de emergencia pero sin ocasionar deslumbramiento | | X | | X | | X |
| 1.4 | La ruta accesible en espacios públicos tendrá un ancho continuo mínimo de 1,5 m. En edificaciones, la ruta debe tener un mínimo de ancho de 1,10 m y una altura de | X | | X | | X | |
| 1.5 | Sistema de Alarma visible y auditivo | | X | | X | | X |
| 1.6 | En presencia de escaleras, los peldaños tienen un ancho de huella superior a 0,28m en proyección horizontal y una altura de contrahuella no mayor a 0,18 m ni menor a 0,13 m | | | | | | |
| 1.7 | De requerirse pasamanos, estos deben encontrarse a ambos lados con diámetro entre 40-50 mm situados entre 0,95-1,05 m, continuos y su final horizontal con un largo de 0,2m | | X | | X | | X |
| 1.8 | Las vías de evacuación son rasas y antideslizantes | | X | | X | | X |
| Total de puntos: 0 a 1 Deficiente; 2 a 3 Regular; 4 a 6 Bueno; 7 a 8 Excelente; SI=1; NO=0 | | | | | | | |
| | 2. Requerimientos Específicos Externos | SI | NO | SI | NO | SI | NO |
| 2.1 | Ancho de la vía de evacuación superior a 2,20 metros efectivos que permita | X | | X | | X | |
| 2.2 | De requerirse pasamanos, deben estar a ambos lados con diámetro entre 40-50 mm ubicados con una segunda altura entre 0,65-0,75 m | | X | | X | | X |
| 2.3 | Pasamanos y/o vía con información táctil | | X | | X | | X |
| 2.4 | Técnicas acústicas que atenúen o absorban el sonido como modo guía | | X | | X | | X |
| 2.5 | Utiliza colores para contrastar pavimentos en toda la ruta | | X | | X | | X |
| 2.6 | Las rampas tendrán un ancho igual a la de la vía de evacuación o de la que es parte, con un mínimo de 0,8 m, deberá comenzar y finalizar su recorrido en un plano horizontal del mismo ancho y de 1,50 m de largo como mínimo | | X | | X | | X |
| 2.7 | Rampas con pendiente entre 10 a 12% en tramos inferiores a 3 m y de 8 a 10% en tramos de 3 a 10 m | | X | | X | | X |
| 2.8 | Rampa antideslizante con pavimento podotáctil de alerta de ancho mínimo 0,4 m y máximo 0,8 m | | X | | X | | X |
| 2.9 | En caso de rejillas utilizadas en zonas transitables deben de tener una malla con huecos que no constituya un obstáculo o peligro para ruedas, bastones o similares | | | | | | |
| Total de puntos: 0 a 2 Deficiente; 3 a 4 Regular; 5 a 6 Bueno; 7 a 9 Excelente; SI=1; NO=0 | | | | | | | |

Nota: Aquellas que no fueron marcadas son las que no son aplicables a la ruta de evacuación evaluada. El punto 3 de la Tabla 5 no se considera ya que las rutas evaluadas corresponden a rutas externas, es decir, fuera de una edificación.

Los resultados de la evaluación estructural son ciertamente preocupantes dado que en las tres rutas no cumplen, en su mayoría, con los requerimientos mínimos generales, y menos aún con los requisitos de infraestructura inclusiva. Si bien es probable que las personas sin discapacidad sigan teniendo posibilidad de evacuar, no es igual para los que no son autovalentes, vulnerando así su derecho de seguridad y protección ante situaciones de riesgos.

7. PROPUESTA

En el riesgo de desastre, Jain y McLean (2006) consideran cinco fases de gestión, las cuales son prevención, preparación, respuesta, recuperación y mitigación. Este último busca desarrollar estrategias para reducir el impacto en la comunidad ante una próxima amenaza. “Las actividades de mitigación se han vuelto importantes para aumentar la resiliencia de la comunidad ante las amenazas naturales, una de las cuales es la mitigación estructural que implica diseñar y construir infraestructuras para disminuir el impacto y el daño causado por una determinada catástrofe, mejorar la localización y crear infraestructuras que eviten una respuesta reducida” (Bull, 2018)

La zonificación y el diseño de estructuras para la evacuación requiere de la aplicación de metodologías basados en estudios especializados, que, para el caso de tsunamis, permitan conocer las áreas inundadas, estimaciones de impacto de tsunami y la población expuesta ante esta amenaza frente al peor escenario, de esta forma, posibilitar el traslado de forma óptima y segura a los puntos de encuentro.

Si bien, la probabilidad de ocurrencia del peor escenario de un tsunami es baja, otros eventos de menor intensidad pueden ocurrir con mayor frecuencia, por lo que las vías de evacuación son fundamentales para la

seguridad de la comunidad. Sin embargo, la falta de accesibilidad y diseño inclusivo imposibilita o ralentiza la evacuación, vulnerando aún más a esta población. En este sentido, los residentes de la caleta han expresado su preocupación por el problema, ya que llevan años tratando de que les brinden una solución.

A continuación, se establecen dos posibles soluciones estructurales para la evacuación ante un tsunami en Caleta Lengua basado en el estudio de la amenaza (considerando el peor escenario) y la vulnerabilidad de la comunidad expuesta en las secciones anteriores, además de la aplicación de metodologías simples de instituciones especializadas en el campo. Todo esto con un enfoque plenamente inclusivo, con el fin de no vulnerar los derechos de estas personas.

7.1 Propuesta evacuación horizontal

La ONEMI establece como zona de seguridad ante un tsunami una altura de 30 metros sobre el nivel del mar, que, para llegar a ella, los residentes deben de dirigirse al cerro, cuyo camino por la vía de evacuación actual presenta un alto grado de dificultad, pues, resultaría difícil para personas con discapacidad, personas de la tercera edad y para las educadoras del jardín infantil, el cual alberga 51 infantes, pues se trata de pendientes muy pronunciadas con un suelo poco compacto que prácticamente imposibilita dirigirse a la cota 30.

Ahora bien, si se planteará como solución realizar un camino más accesible donde se tenga que intervenir el cerro, resultaría ser de un alto costo, por lo que, una solución más factible sería disminuir el tiempo de desplazamiento horizontal para disponer de más tiempo al momento de ascender.

Como solución se propone diseñar una estructura tipo pasarela que pueda ser utilizada como vía de evacuación la cual cruce el humedal con el fin de conectar el sector donde se encuentra la cancha deportiva de la caleta con el camino que normalmente suelen tomar los vecinos al momento de evacuar, tal como se mencionó en el apartado 5.5.1, ya que este camino se encuentra en mejores condiciones, es más accesible y posee una pendiente de 20% aproximadamente. El primer tramo será desde el punto de partida (1), el cual se considera como el más crítico al momento de evacuar, hasta la cancha deportiva (2) comprendiendo una distancia de 383 m, luego el segundo tramo corresponderá a la infraestructura propuesta que, para el presente estudio se asumirá una longitud de 400 m (la distancia desde el punto 2 al 3 medida linealmente y a grandes rasgos es de 323 m). Después de cruzar por la pasarela, se debe recorrer por un camino no pavimentado con una distancia de 257m para llegar al punto 4 donde se comienza a ascender hasta llegar a la zona segura. Estos puntos se pueden ver en la Figura 21.



Figura 21: Puntos relevantes para el cálculo del tiempo de evacuación.

Adicionalmente, se buscará agregar un valor turístico, puesto que su diseño se realizaría para acceder y recorrer el humedal permitiendo observar las especies propias del lugar, como también para impulsar el movimiento deportivo. Su diseño se puede asemejar al proyecto Parque Humedal El Culebrón propuesto por DHEEN

Arquitectos propuesto en Coquimbo (ver Figura 22), con la diferencia de que su diseño sea para resistir un tsunami cumpliendo con todas las normativas requeridas.



Figura 22: Modelo proyecto Parque Humedal El culebrón, Coquimbo. Fuente: <https://d-heen.cl/portfolio/parque-humedal-el-culebron-coquimbo/>

El punto 4 se encuentra aproximadamente en la cota 10, por lo tanto, para ascender a 30 metros sobre el nivel del mar resta una altura de 20 m. La distancia necesaria para llegar a la zona segura es de 103 m calculados en función a la ecuación 5 pero con el ángulo de una pendiente del 20% (ver Tabla 7).

$$L = \frac{H}{\text{sen}(a)} = \frac{20}{\text{sen}(11.3^\circ)} = 102.07 \text{ m} \sim 103 \text{ m} \quad (5)$$

La velocidad al momento de ascender en cada caso se calcula realizando nuevamente la relación de la Tabla 8, por lo que las velocidades resultantes para una pendiente del 20% se indican en la Tabla 14.

Tabla 14. Velocidad de desplazamiento según agente y pendiente

| Velocidad según agente (m/s) | Pendiente promedio | |
|-------------------------------|--------------------|------|
| | 3% o menos | 20% |
| Sin discapacidad | 1,22 | 0,37 |
| Silla de ruedas no motorizada | 0,89 | 0,27 |
| Discapacidad Auditiva | 1,22 | 0,37 |
| Discapacidad visual | 0,86 | 0,26 |
| Adulto mayor (> 65 años) | 0,90 | 0,27 |
| Una persona con un niño | 1,02 | 0,31 |

En resumen, la distancia total recorrida es de 1,043 m, por lo que existe una reducción de 607 m respecto a la ruta 3 (ver Figura 17). En la Tabla 15 se pueden ver los tiempos de evacuación cuyo tiempo promedio es de 24 minutos y en la Figura 23 se muestran gráficamente dichos resultados con el tiempo de arribo del tsunami.

Tabla 15: Tiempo de evacuación para cada tramo con la ruta propuesta

| Tramo | Longitud del tramo (m) | SCV | Velocidad (m/s) | | | | Velocidad promedio por tramo (m/s) |
|----------------------------|------------------------|------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| | | | No discapacitado y discapacidad auditiva | Silla de ruedas no motorizada y adultos mayores | Discapacidad visual | Persona con un niño | |
| (1)-(2) | 383 | 1 | 1,22 | 0,89 | 0,86 | 1,02 | 1,0 |
| (2)-(3) | 400 | 1 | 1,22 | 0,89 | 0,86 | 1,02 | 1,0 |
| (3)-(4) | 257 | 0,91 | 1,11 | 0,81 | 0,78 | 0,93 | 0,9 |
| (4)-(cota 30) | 103 | 0,91 | 0,34 | 0,25 | 0,24 | 0,28 | 0,3 |
| Tiempo de evacuación (min) | | | 20 | 27 | 28 | 24 | 24 |

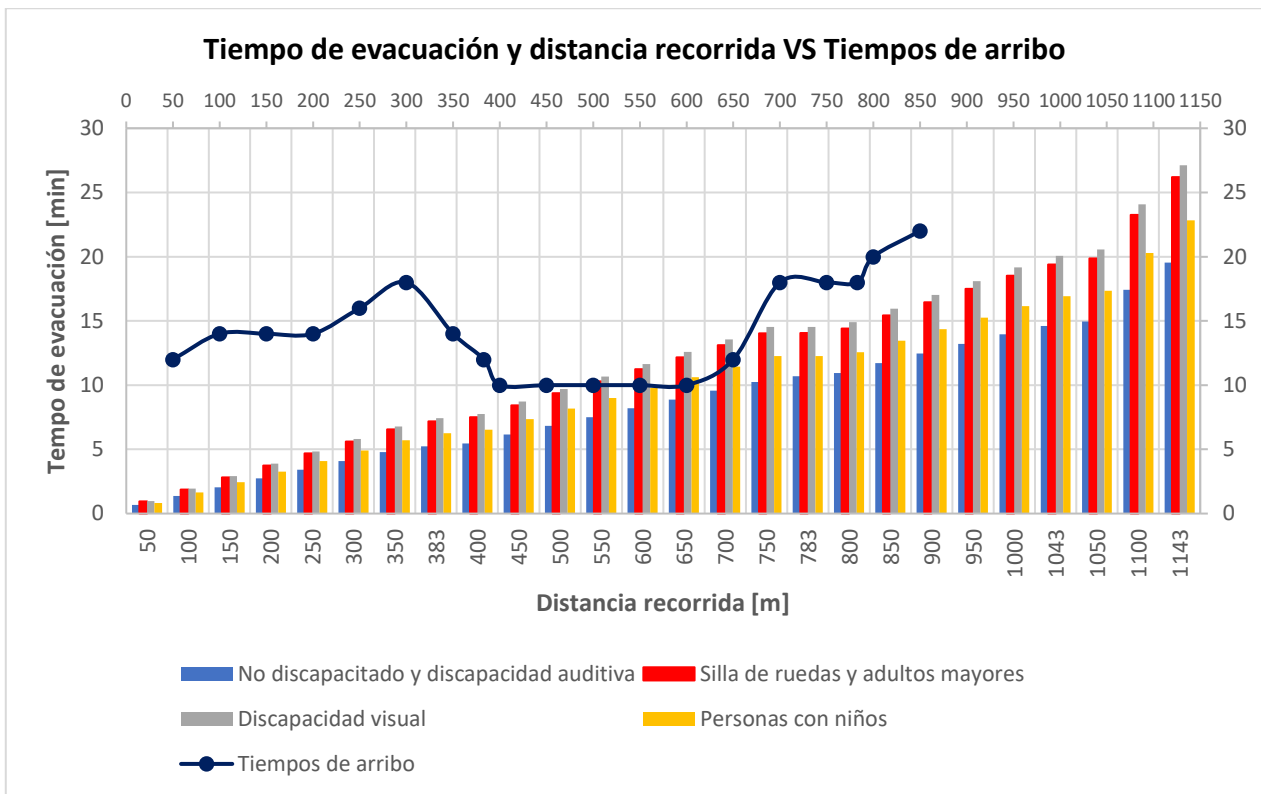


Figura 23: Representación gráfica de la evacuación por la ruta de la solución horizontal propuesta para cada caso en relación con los tiempos de arribo.

En la Figura 23 se puede ver que personas en silla de ruedas, con discapacidad visual y adultos mayores se encuentran transitando por la infraestructura cuando llega el tsunami (aproximadamente desde los 500 a 750 m), por lo que se necesita un diseño que resista a todas las fuerzas involucradas por un tsunami, además, en base a la modelación numérica, el humedal presentaría alturas de agua de 7.5 m, por lo tanto, la infraestructura debe diseñarse con altura superior.

Si bien es cierto que, existe un aumento en los tiempos de evacuación en comparación con la ruta actual, la propuesta prevé mayor accesibilidad y seguridad, además, dado que para llegar al punto 4 hay que alejarse de la costa, podrían llegar todas las personas antes de que el tsunami inunde esa zona, permitiéndoles el tiempo suficiente para ascender a la cota 30.

Para que esta ruta de evacuación sea inclusiva, se recomienda cumplir con los requisitos estructurales detallados en la Tabla 5.

7.2 Propuesta evacuación Vertical

En 2015, ONEMI publicó "Recomendaciones para la preparación y respuesta ante un tsunami", que muestra un diagrama de flujo donde establece que, si las zonas seguras se encuentran ubicadas a distancias mayores a 15 minutos, es preferiblemente optar por la evacuación vertical. En el apartado anterior, el tiempo de evacuación resultó ser superior a 15 minutos, por lo que se recomienda diseñar una estructura de evacuación vertical que refugie principalmente a las personas más vulnerables, ya que esta estructura tendrá una carga de ocupación limitada.

Algunos de los países que han implementado estructuras para la evacuación vertical son Japón, Reino Unido y Estados Unidos, las cuales se pueden observar en las Figura 24, y en su mayoría poseen un diseño inclusivo. Sin embargo, cabe destacar que, en Chile no existen estructuras públicas para este fin.



Figura 24. (a): Torre ahora evacuación vertical en Prefectura Shizuoka, Japón. Fuente: <https://www.pixtastock.com/photo/20700290>



Figura 24. (b): Estructura de evacuación vertical de tsunami en Sendai, Miyagi, Japón. Fuente: <https://www.pixtastock.com/photo/20700290>

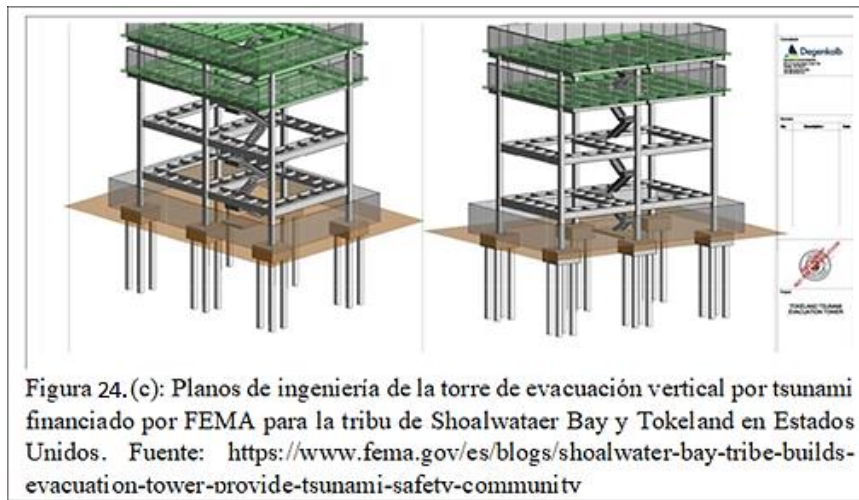


Figura 24. (c): Planos de ingeniería de la torre de evacuación vertical por tsunami financiado por FEMA para la tribu de Shoalwater Bay y Tokeland en Estados Unidos. Fuente: <https://www.fema.gov/es/blogs/shoalwater-bay-tribe-builds-evacuation-tower-provide-tsunami-safety-community>

Debido a que este tipo de estructuras están diseñadas para hacer frente a la posibilidad de desastres naturales, pueden permanecer sin uso durante gran parte de su vida útil, causando pérdidas económicas significativas a las comunidades con presupuestos limitados. Por tal motivo, se propone que dicha estructura sea utilizada como un mirador representativo de la Caleta Lengua, agregándole así valor turístico, además, en el nivel cero (cota del terreno) se puede habilitar un espacio para una feria artesanal, para impulsar pequeños y medianos emprendimientos de la zona, de esta forma despejar en lo posible la Avenida Las Golondrinas que ocupa el recinto ferial, y a su vez, tener otro punto de atracción turística para distribuir mejor la densidad de la población.

De acuerdo con el modelo numérico, la profundidad de inundación en el lado Este de las viviendas de la caleta, es menor en comparación con los otros puntos, con alturas entre los 3 y 6 m, como se muestra en la Figura 25, por lo que se propone que la estructura sea ubicada en dicha zona, lo que permitiría considerar una menor altura de diseño permitiendo abaratar costos, no obstante, esto depende de los estudios de suelos por realizar.

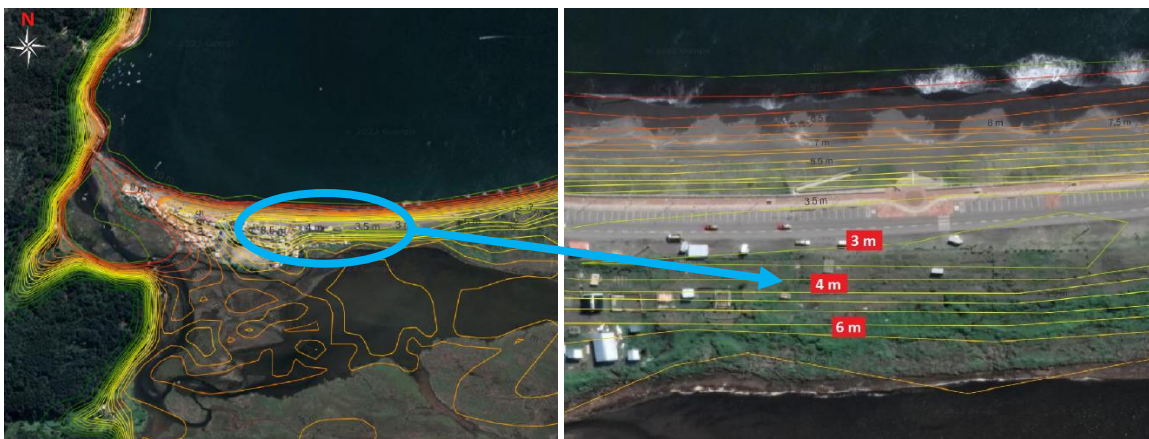


Figura 25: Propuesta de ubicación para el mirador donde el nivel del agua sería menor.

Para calcular el tiempo de evacuación, se dividirá la ruta en tres tramos, siendo el tercero al momento de subir la torre. El primer tramo no se encuentra pavimentado, comienza en el punto 1 (punto más crítico de evacuación) hasta el punto 2 con una longitud de 209 m, luego el tramo dos va desde el punto 2 al 3, el cual es un camino pavimentado con una longitud total de 617 m (ver Figura 26). Ambos tienen pendientes menores a 3% por lo que el tiempo de viaje se puede obtener en función de la velocidad de la pendiente indicada en la Tabla 7 y las velocidades para el resto de la población vulnerable de la Tabla 8.



Figura 26: Puntos relevantes para el cálculo del tiempo de evacuación.

La altura de diseño de la torre tendría 6 m adicionales a la profundidad máxima de inundación en el área seleccionada, por lo tanto, la altura total será de 12 m, y se dividirá en 4 plantas con una altura de 3 m cada una (excluyendo la planta 0 correspondiente a la cota del terreno). La pendiente de la rampa corresponderá a 8%, por lo que, interpolando la Tabla 7 se obtiene la velocidad para una persona sin discapacidad y su ángulo, además, se debe correlacionar las velocidades de personas con discapacidad como se realizó en la Tabla 8 de esta forma se tienen las velocidades de la Tabla 16. Adicionalmente, con el ángulo de la pendiente y la altura de cada planta se calcula la longitud de la pendiente, como se muestra en la ecuación 5.

Tabla 16: Velocidad de desplazamiento según agente y pendiente

| Velocidad según agente (m/s) | Pendiente promedio | |
|-------------------------------|--------------------|------|
| | 3% o menos | 8% |
| Sin discapacidad | 1,22 | 0,93 |
| Silla de ruedas no motorizada | 0,89 | 0,68 |
| Discapacidad Auditiva | 1,22 | 0,93 |
| Discapacidad visual | 0,86 | 0,66 |
| Adulto mayor (> 65 años) | 0,90 | 0,69 |
| Una persona con un niño | 1,02 | 0,78 |

$$L = \frac{H}{\text{sen}(a)} = \frac{3}{\text{sen}(4.38^\circ)} = 39 \text{ m} \quad (5)$$

Nota: Se desprecia el espesor de las losas para simplicidad de los cálculos.

La rampa tendrá una longitud de 39 m por cada nivel, pero, dado que el largo máximo con una pendiente del 8% según normativa es de 9 m, se implementaría una rampa de 9 m con un descanso de 1.5 m, repitiéndose hasta llegar a los 39 m, resultando así un total de 42 m para cada nivel, por lo tanto, dicha distancia se multiplica por los cuatro niveles y obteniendo una longitud total desde el punto 3 hasta el último nivel del edificio es de 168 m.

Con todo lo anterior, se obtuvo la Tabla 17, donde se muestran los tiempos de evacuación en cada tramo, siendo el tiempo máximo de 21 minutos y un promedio de 18 minutos, reduciendo el tiempo promedio en un 10% con respecto a la vía actual. Si bien, no existe grandes variaciones en los tiempos de evacuación con respecto a la actual vía, esta propuesta brinda mayor seguridad y accesibilidad, además, como se muestra en la Figura 27 el tiempo de arribo del tsunami no alcanza en ningún momento a las personas con discapacidad y/o movilidad reducida.

Tabla 17: Tiempo de evacuación para cada caso con propuesta de evacuación vertical

| Tramo | Longitud del tramo (m) | SCV | Velocidad (m/s) | | | | Velocidad promedio por tramo (m/s) |
|----------------------------|------------------------|------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| | | | No discapacitado y discapacidad auditiva | Silla de ruedas no motorizada y adultos mayores | Discapacidad visual | Persona con un niño | |
| (1)-(2) | 209 | 0,91 | 1,11 | 0,81 | 0,78 | 0,93 | 0,9 |
| (2)-(3) | 617 | 1 | 1,22 | 0,89 | 0,86 | 1,02 | 1,0 |
| (3)-(H=12) | 168 | 1 | 0,93 | 0,68 | 0,66 | 0,78 | 0,8 |
| Tiempo de evacuación (min) | | | 15 | 20 | 21 | 18 | 18 |

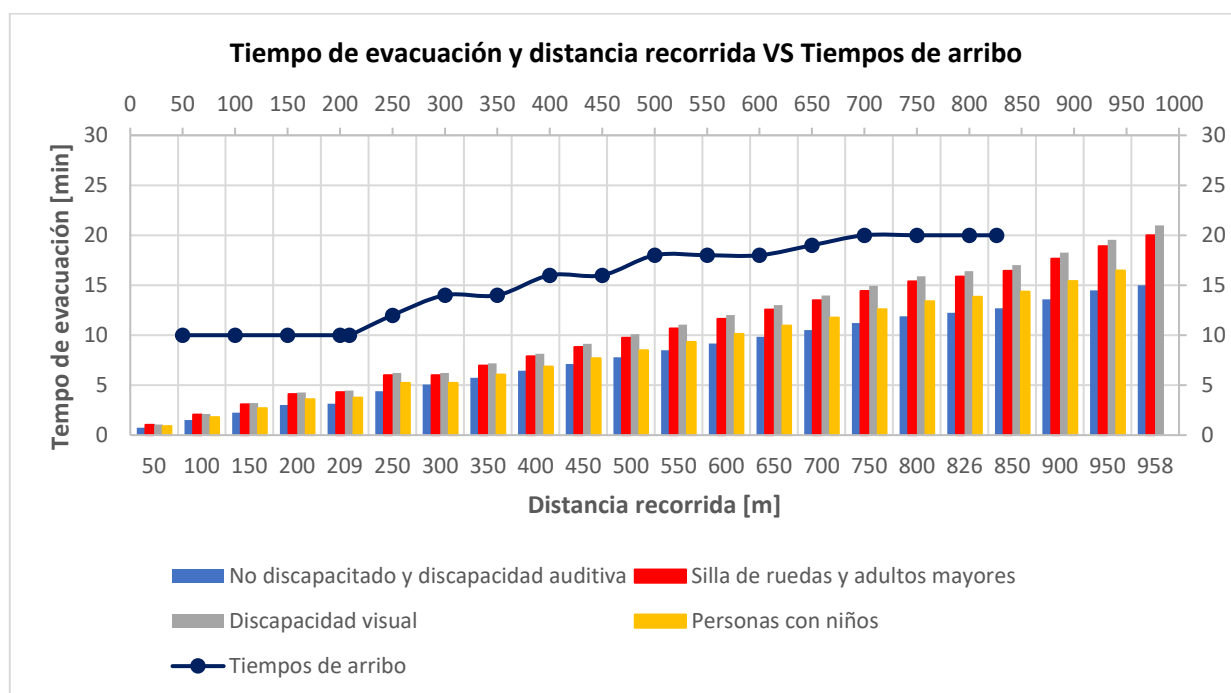


Figura 27: Representación gráfica de la evacuación por la ruta de la solución vertical propuesta para cada caso en relación con los tiempos de arribo.

En cuanto a la carga ocupacional, se tomará un valor de 0.25 m²/persona, que corresponde a recintos de espectáculos (áreas de espectadores de pie) según la Guía de Referencia para Sistemas de Evacuación Comunes por Tsunami (CIGIDEN et al., 2018). Por otro lado, considerando los datos del apartado 6.2, se realiza el supuesto que en Caleta Lengua viven 77 personas con discapacidad, 74 personas mayores de 60 años (32 de ellas con discapacidad) y 108 menores de 14 años, además, se tendrá en cuenta que el 60% de ellos irá acompañado con un “tutor”, lo que da como resultado 364 personas. Debido a la falta de información sobre la afluencia de turistas a la caleta, se realizará el supuesto de que 500 personas perteneciente al más grupo vulnerable bajo estudio, visita Caleta Lengua y que, también el 60% de ellos, necesitará de su tutor, lo que significa un total de 800 personas. Al final, el número total de personas por evacuar corresponde a 1,164. En base a una carga ocupacional de 0.25 m²/persona, el edificio requiere un área de 291 m², sin embargo, se aumentará el área en un porcentaje conservador de 10% por el espacio para los pasillos y otro 20% por el espacio que ocupan las personas que necesitan de equipos de apoyo, coches, etc. En definitiva, la estructura debiese tener una superficie para el punto de encuentro de 379 m².

Por otro lado, se establecen las siguientes recomendaciones no estructurales tanto para la propuesta horizontal y vertical:

- Funcionarios encargados del plan de contingencia tengan conocimiento de lenguaje no verbal
- Uso de Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC) que corresponden a expresiones diferentes al lenguaje verbal, tales como señalización escrita y/o cartas pictográficas
- Incorporar en puntos estratégicos mapas de inundación y sus vías para que turistas con o sin discapacidad tengan noción de respuesta ante la amenaza de un tsunami.
- Identificar las personas con discapacidad para facilitar su traslado a la zona segura.

7.3 Cuadro comparativo

A continuación, se presenta la Tabla 18 con el fin de realizar un cuadro comparativo entre la actual vía de evacuación y las soluciones propuestas.

Tabla 18: Cuadro comparativo de las propuestas planteadas

| Agente | Ruta Actual | Propuesta 1 | Propuesta 2 |
|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Tiempo promedio de evacuación | 20 minutos | 24 minutos | 18 minutos |
| Pasa por recinto privado | SI | SI | NO |
| Accesibilidad hacia la zona segura | BAJA ACCESIBILIDAD | ACCESIBLE | ALTA ACCESIBILIDAD |
| Dificultad de ascenso | ALTA | MEDIA | BAJA |
| La vía de evacuación cumple con requerimientos mínimos | NO | SI | SI |
| La vía de evacuación dispone de un diseño inclusivo | NO | SI | SI |
| Capacidad de evacuación (personas que pueden evacuar) | MEDIA | ALTA | BAJA |

7.4 Normativa estructural aplicable para las soluciones propuestas

En general, para el diseño de cada estructura es importante guiarse por las normativas, tales como:

- NCh3171, Diseño estructural - Disposiciones generales y combinaciones de cargas
- FEMA P646/June 2008, Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis
- Norma sísmica vigente
- Ordenanza de construcciones oficial de Honolulu, Hawaii EEUU año 2002 - 2010 “Revised Ordinances Honolulu”
- NCH 3363, Diseño estructural — Edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche

La norma NCh3363 hace referencia a fuerzas, cargas, parámetros y estudios necesarios para el tipo de estructuras que se propusieron como solución. Algunas de ellas son:

- “Se debe implementar al diseño componentes estructurales que tengan la capacidad de resistir fuerzas hidrostáticas, hidrodinámicas, boyante, de arrastre, de impacto del frente de olas, de impacto por objetos flotantes, de apilamiento de objetos flotantes, hidrodinámicas verticales, de levantamiento y sobrecarga gravitacional. Además, diseñar con todas las combinaciones de cargas de tal manera que el efecto combinado de ellas, de lugar a cargas y tensiones máximas.”
- “La estructura debe cumplir con el factor de seguridad tanto para deslizamiento, vuelco y flotación.”
- “Utilizar tabiques colapsables bajo carga de tsunami que no pongan en riesgo la estructura principal de la edificación.”
- “Se deben realizar los estudios permitentes sobre los efectos de la saturación del suelo y/o socavación en el comportamiento de la fundación para establecer las medidas de protección necesarias.”
- “Las edificaciones elevadas que permiten el paso del agua deben tener espacio libre entre los elementos de soporte, superior a 2.40 m entre los puntos más cercanos.”

- “Los pilares deben ser compactos y libres de apéndices innecesarios, que actúan como trampa o restringen el libre paso de los escombros durante una inundación. Sólo se permiten muros colapsables.”
- “Los arriostramientos utilizados para proporcionar estabilidad lateral se deben diseñar de forma que minimicen la obstrucción al flujo de inundación y reducir la posibilidad de atrapar los escombros que flotan.”
- “Las edificaciones pueden ser construidas sobre material de relleno controlado, excepto en las zonas donde el relleno esté específicamente prohibido por la Autoridad Competente, como soporte estructural de las construcciones. El diseño del relleno debe demostrar que no altera sustancialmente las características del escurrimiento consideradas en los planos de inundación, tampoco debe afectar a otras construcciones existentes ni a otras instalaciones o sistema de drenaje.”

En ambas propuestas se requerirá de un estudio de impacto ambiental, siendo para el caso de evacuación horizontal la más rigurosa, pues, tendría gran intervención el humedal que forma parte del Santuario de la Naturaleza, Península de Hualpén.

8. CONCLUSIÓN

A pesar de los esfuerzos del gobierno chileno, cubrir las necesidades específicas de las personas con discapacidad en los planes de emergencia sigue siendo un desafío, especialmente en lo que respecta a la infraestructura de evacuación. Esto aumenta su importancia, ya que Chile es considerado uno de los países con mayor actividad sísmica, principal causante de tsunamis a lo largo de toda la costa.

En Caleta Lengua, se estima que el 54,05% de sus habitantes pertenece al grupo más vulnerable, comprendido para este estudio por discapacitados, adultos mayores y menores de 14 años. En cuanto a la amenaza, un tsunami puede impactar de gran manera a Caleta Lengua, tal como lo demuestra el modelo numérico desarrollado por Aránguiz (2022) del que se obtuvo el peor escenario y del que se basó el presente estudio. El modelo muestra que las viviendas de la bahía se inundan en 22 minutos aproximadamente con profundidades de hasta los 8 m, además, el primer tren de ola ingresaría por el Río Lengua inundando en alrededor de 10 minutos parte de la ruta de evacuación, tiempo insuficiente para que las personas discapacitadas y no autovalentes puedan evacuar.

Con todo lo anterior, se proponen las Tablas 3 y 4 para evaluar la amenaza y vulnerabilidad de una determinada zona, adicionalmente, se elabora la Tabla 5 para evaluar la ruta de evacuación e identificar si cumplen con requerimientos mínimos generales y especiales. De esto se concluye que, las tres rutas de evacuación evaluadas en el presente estudio no cumplen las condiciones de inclusividad, y en especial, la actual ruta de evacuación adolece de falta de infraestructura inclusiva. Por esta razón es que, en Caleta Lengua existe la necesidad de implementar medidas estructurales de mitigación, ya que, ninguna de las tres rutas evaluadas brinda seguridad, por lo que se propuso dos posibles soluciones. La primera propuesta implica una evacuación horizontal incorporando una pasarela que cruza el Río Lengua con el fin de reducir el tramo por recorrer, sin embargo, esta solución no logra disminuir los tiempos de evacuación, pero si ofrece mayor accesibilidad. Cabe mencionar que, la pasarela debe diseñarse con la altura y resistencia necesaria para enfrentar el tsunami, puesto que, una parte de las personas más vulnerables se encontraría cruzando la estructura cuando llegue el tren de olas, además, como esta ruta llega a un sector privado, será necesario llegar a un acuerdo con los propietarios para que las personas puedan llegar sin problemas en caso de evacuación o por turismo. La segunda propuesta implica la evacuación vertical mediante la construcción de una torre en el punto más alto de la costanera, lo que redujo el tiempo promedio de evacuación en un 10%, además, esta solución permite que el tren de ola no alcance en ningún momento a las personas con discapacidad y/o movilidad reducida, sin embargo, la mayor desventaja de esta propuesta es la capacidad, ya que ésta será limitada, pues, diseñarla en grandes dimensiones implica un alto costo, en consecuencia, sería construido principalmente para evacuar a personas discapacitadas y no autovalentes. Finalmente, En ambas propuestas se busca agregar a las estructuras un valor turístico a fin de aprovechar su vida útil.

Pese a los altos costos que podría conllevar estas propuestas, es de suma importancia disponer de una infraestructura accesible e inclusiva que garantice una evacuación rápida, segura y autónoma para todos, especialmente en áreas expuestas a una alta amenaza, puesto que, no basta con la atención y apoyo familiar o social ante un desastre natural.

9. REFERENCIAS

- Aránguiz, R.** (2018). *“Tsunamis en la Región del Biobío. Desde una mirada multidisciplinaria”*. pp. 82-139.
- Aránguiz, R.** (2022). *“Propuesta de guía, elaboración de mapas y plataforma de multiamenazas para toma de decisiones críticas y adaptación al cambio climático de regiones metropolitanas y grandes conurbaciones de Chile”*. Proyecto FONDEF ID19I10021,
- Aránguiz, R., Catalán, P., Cienfuegos, R., González, G., Gubler, A., Urrea, L., González, J., Zelaya, C.** (s.f). *“Guía para la Estimación de Peligro de Tsunami”* Proyecto de Investigación para el Mejoramiento de Tecnología para desarrollar una Comunidad Resiliente ante los Tsunamis (Proyecto SATREPS Tsunami). pp 12-30.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, BCN** (2016). *“Decreto 1512. Aprueba Política Nacional Para La Gestión Del Riesgo De Desastres”*. Ministerio Del Interior Y Seguridad Pública. pp. 1.
- Carpio, A.** (2014). *“Guía de accesibilidad y seguridad para casos de emergencias en edificios de servicios sociales”*. Proyecto de fin de grado, Escuela Técnica Superior Ingeniería de Edificación. pp 20.
- Centro de Ciencias Ambientales EULA, Chile.** (2009). *“Elaboración del Expediente Técnico, Plan de Gestión y Administración del Área Marina Costera Protegida Península de Hualpén”*. Universidad de Concepción.
- Chou, Y.-J.** (2004). *“Who Is at Risk of Death in an Earthquake?”*. American Journal of Epidemiology, 160(7). pp. 688–695.
- Corporación ciudad accesible** (2021). *“Ficha N° 16: Criterios De Evacuación Accesible”*. pp 3-4.
- Corporación ciudad accesible** (2021). *“Normativa Accesibilidad Universal”*. OGUC CHILE. pp 34-56.
- Dilley, M.** (2015). *“Natural disaster hotspots: a global risk analysis”*
- Fritz H.M., Petroff C.M., Catalán P.A., Cienfuegos R., Winckler P., Kalligeris N., Ebeling C.** (2011) *“Field survey of the 27 February 2010 Chile tsunami”*. Pure Appl Geophys.
- Kaiser, Carlos; Vásquez, Armando; Vásquez, Daniela (eds.)** (2013). *“Manual de gestión inclusiva de emergencias: derechos humanos de las personas con discapacidad durante emergencias”*. pp. 33-36.
- Knoblauch, R., Pietrucha, R., & Nitzburg, M.** (1996). *“Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time”*. Transportation Research Record. pp. 27-38.
- Lagos, M.** (2000). *“Tsunamis de origen cercano a las costas de Chile”*. Revista de Geografía Norte Grande. pp. 93-102.
- Lay, T., Ammon, C. J., Kanamori, H., Koper, K. D., Sufri, O., & Hutko, A. R.** (2010). *“Teleseismic inversion for rupture process of the 27 February 2010 Chile (Mw8.8) earthquake”*. Geophysical Research Letters.
- León, J., Zamora, N., Castro, S., Jünemann, R., Gubler, A., Cienfuegos, R.** (2019). *“Evacuación vertical como medida de mitigación del riesgo de tsunamis en Chile”*. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres, CIGIDEN. pp. 9-10.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo** (2016). *“Modifica Decreto Supremo N°47, De Vivienda Y Urbanismo, De 1992, Ordenanza General De Urbanismo Y Construcciones en el sentido de actualizar sus normas a las disposiciones de la Ley N°20.422, Sobre Igualdad De Oportunidades E Inclusión Social De Personas Con Discapacidad”*. pp 3-10.
- Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales, Japan Science and Technology Agency, Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Programa de Apoyos y Recursos para la Inclusión, Science And Technology Research Partnership For Sustainable Development,** (2017) *“Guía de Referencia para Sistemas de Evacuación Comunales por Tsunami”*. pp 12-41.
- Naciones Unidas** (2015). *“Discapacidad, desastres naturales y situaciones de emergencia”*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.

- Nishikiori, N., Abe, T., Costa, D. G., Dharmaratne, S. D., Kunii, O., & Moji, K.** (2006). “*Who died as a result of the tsunami? – Risk factors of mortality among internally displaced persons in Sri Lanka: a retrospective cohort analysis*”. BMC Public Health.
- Núcleo Científico Tecnológico para el Desarrollo Costero Sustentable, UCSC** (2021). “*Diagnóstico de Riesgos Territoriales Costeros Comuna de Hualpén, Región del Biobío*”. Programa Gestión de Riesgos y Resiliencia. pp. 13-14.
- Núcleo Científico Tecnológico para el Desarrollo Costero Sustentable, UCSC** (2021). “*Informe Hito 06 Programa Educación Cultura E Identidad Local*”. Programa Gestión de Riesgos y Resiliencia. Pp 9-11.
- Ortuño, D.** (2016). “*Estudio para la evacuación de personas discapacitadas en edificio de pública concurrencia*”. Universidad Miguel Hernández. España. pp 9-56.
- Osaki, Y., & Minowa, M.** (2001). “*Factors Associated with Earthquake Deaths in the Great Hanshin-Awaji Earthquake, 1995*”. American Journal of Epidemiology. pp. 153–156.
- Park, E.-S., Yoon, D. K., & Choi, Y.-W.** (2019). “*Leave no one behind: Experiences of persons with disability after the 2017 Pohang earthquake in South Korea*”. International Journal of Disaster Risk Reduction.
- Peek L & Stough L. M.** (2010). “*Children With Disabilities in the Context of Disaster: A Social Vulnerability Perspective. Child Development*”. pp. 1260 – 1270
- Plan Regulador Comunal de Hualpén** (n.d). “*Estudio de Riesgos y de Protección Ambiental*”. pp 9.
- SENADIS.** (2016). “*Estudio Nacional de la Discapacidad 2015*”. II Estudio Nacional De La Discapacidad En Chile. pp. 9-243.
- Servicio Nacional de la Discapacidad** (2010). “*Ayudando a Personas con Discapacidad En situaciones de Emergencia*”. Gobierno de Chile. pp 7.
- Solís, I. A., & Gazmuri, P.** (2017). “*Evaluation of the risk and the evacuation policy in the case of a tsunami in the city of Iquique, Chile*”. Natural Hazards. pp. 503-532.
- Solís, I. A., & Gazmuri, P.** (2017). Evaluation of the risk and the evacuation policy in the case of a tsunami in the city of Iquique, Chile.
- Solís, I. A., y Gazmuri, P.** (2017). “*Evaluation of the risk and the evacuation policy in the case of a tsunami in the city of Iquique, Chile*”. Natural Hazards. pp. 1-30.
- Statista** (2021). Catástrofes naturales globales 2010-2021. <https://es.statista.com/estadisticas/641148/catastrofes-naturales-a-nivel-mundial>
- Sugimoto, T., Murakami, H., Kozuki, Y., & Nishikawa, K.** (2003). “*A Human Damage Prediction Method for Tsunami Disasters Incorporating Evacuation Activities*”. Natural Hazards. pp. 585-600.
- Unidad de Gestión del Sistema Nacional de Protección Civil** (2019). “*Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*”. ONEMI Ministerio del Interior y Seguridad Pública. pp. 19-32.
- Valdés, O., & Espinoza, V.** (2017). “*Metodología Complementaria para la Evaluación de Riesgo de Desastres de Proyectos de Infraestructura Pública*”. Ministerio de Desarrollo Social. pp. 17.
- Zelada A.** (1993). “*Uso del suelo en el área del río o estero Lengua, en Proyecto EULA*”. Planificación y Gestión de la Zona Costera. pp.75-77