



INSTITUTO DE GEOGRAFÍA
FACULTAD DE HISTORIA, GEOGRAFÍA
Y CIENCIA POLÍTICA

El Boletín Electrónico de Geografía (BeGEO) es una publicación que intenta crear un espacio de difusión de los estudios realizados por los estudiantes del Instituto de Geografía de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

BeGEO reúne artículos originales de alta calidad que son elaborados por los estudiantes de pregrado en las distintas actividades curriculares impartidas por docentes del Instituto de Geografía.

ISSN 0719-5028

www.geografia.uc.cl

BeGEO

Boletín electrónico de Geografía

BeGEO, 2018, N°6

Diagnóstico y recomendaciones al Plan de evacuación por tsunami de la localidad de Cáhuil, Comuna de Pichilemu¹

Nikole Guerrero Mancilla²

Resumen

Se realiza un diagnóstico del actual plan de evacuación por tsunami de la localidad de Cáhuil, comuna de Pichilemu, región del Libertador Bernardo O'Higgins, con el objeto de elaborar propuestas para su mejora. Para esto se utilizó la extensión de ArcGIS "Pedestrian Analyst", desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), con base en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que trabaja mediante el análisis de costo para establecer los tiempos de evacuación hacia las zonas seguras, destaca por su complejidad al considerar las características propias del terreno, por lo que se asemeja de mejor manera al comportamiento de la realidad, obteniendo modelos de evacuación con un mayor nivel de certeza (Martínez, Morris, & Quense, 2016). Se destaca la validación en terreno de los modelos diseñados y las recomendaciones realizadas como un apoyo a la mejora de los planes de evacuación y a la planificación del territorio.

Palabras Claves: Tsunami, Plan de evacuación, Análisis pedestre, Planificación territorial.

Abstract

A diagnosis of the current tsunami evacuation plan is made in the town of Cáhuil, commune of Pichilemu, Libertador Bernardo O'Higgins region, in order to develop proposals for its improvement. For this, the ArcGIS extension "Pedestrian Analyst", developed by the United States Geological Survey (USGS), was used, based on the Geographic Information Systems (GIS), which works through the cost analysis to establish the times of evacuation to safe areas, noted for its complexity when considering the characteristics of the terrain, so it resembles better the behavior of reality, obtaining evacuation models with a higher level of certainty (Martínez, Morris, & Quense, 2016). The field validation of the models designed and the recommendations made as a support to the improvement of the evacuation plans and the planning of the territory are highlighted.

Key word: Tsunami, Evacuation Plan, Pedestrian analyst, Territorial planning.

¹ Artículo recibido el 10 de diciembre de 2018, aceptado el 20 de diciembre de 2018 y corregido el 28 de diciembre de 2018.

² Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile). E-mail: nfguerrero@uc.cl

Grandes eventos tsunamigénicos han tenido lugar en la cuenca del Pacífico dejando un alto número de muertes, además de un rastro de desolación y devastación en las costas de al menos 17 países (Løvholt et al., 2014). Chile, no ha quedado excluido de estos eventos, siendo uno de los países con mayor afectación en la última década, teniendo como consecuencia la pérdida de vidas y altos costos económicos debido a la reconstrucción.

Ante esto, surge la necesidad de contar con Planes de Protección Civil (PPC) que permitan dar soluciones a las distintas fases del Ciclo del riesgo (Martínez, Morris, & Quense, 2016), mediante decisiones de corto plazo, que vayan desde ocurrida la amenaza, hasta decisiones a largo plazo que consideren formas de planificación acorde a las zonas de riesgo. En este contexto, los Municipios de Chile, cuentan con PPC que incluyen planes de evacuación para las localidades costeras, siendo esto una de las primeras medidas para poder disminuir la pérdida de vidas en la población.

Sin embargo, el alto número de Municipios expuestos a la amenaza tsunamigénica impide que parte de estos Planes de Protección puedan ser realizados de la mano de la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI), ente gubernamental encargado del manejo de emergencias a nivel nacional, por lo que muchas veces su realización queda en manos de Municipios que no cuentan con la capacidad profesional y económica para realizar grandes estudios que den paso a los Planes de evacuación, o para poder actualizarlos frente al crecimiento urbano.

Ante esta necesidad, surge el presente estudio como una forma de poder analizar el Plan de evacuación de la localidad de Cáhuil, ubicada al sur de la Comuna de Pichilemu, región del Libertador Bernardo O’Higgins, la cual destaca por ser una localidad rural, que concentra gran cantidad de población flotante durante el periodo estival producto de la cultura local y playas de la zona. Bajo este marco, este estudio tiene como objetivo en primer lugar dar un diagnóstico del estado actual del plan de evacuación, para posteriormente brindar propuestas para el mejoramiento de este plan de ser necesario y finalmente entregar información sobre la capacidad de carga de las vías, como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones con respecto a la planificación del territorio.

Metodología

Con el objeto de responder a los objetivos del estudio se realizaron los siguientes pasos metodológicos.

Evaluación del Plan de Evacuación

Para diagnosticar el estado del sistema de evacuación de Cáhuil, comuna de Pichilemu, se identificó en primer lugar las vías de evacuación decretadas en el PPC de la comuna (Oficina Nacional de Emergencias, 2016), con las cuales se procedió a establecer los tiempos de evacuación actual que debiese presentar la localidad mediante el modelo “Pedestrian Analyst”, extensión del software ArcGIS Desktop 10.5, diseñado por el USGS.

Posteriormente, se determinó un método de evaluación y parámetros para analizar el estado de las vías, como un insumo necesario para el trabajo en terreno. En este contexto, se recurrió al método de Análisis Jerárquico de Saaty el cual permite brindar puntajes a los distintos parámetros dentro de una categoría y ponderaciones a cada una de estas según las prioridades que el investigador les otorgue. En cuanto a los parámetros, se consideró los establecidos en la guía de “Referencias para sistemas de evacuación comunales por tsunami” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo et al., 2017), en la cual se establecen los requerimientos mínimos y deseables que cada vía de evacuación debiese contener.

Debido a lo anterior, se determinaron categorías de evaluación con respuestas preestablecidas apoyadas en la bibliografía mencionada, con puntajes para cada una de ellas, según los niveles de vulnerabilidad alto (5), medio (3) y bajo (1) (Cuadro N°1). Estas categorías, a su vez, se clasificaron en dos dimensiones, la primera orientada a conocer las características de las vías de evacuación y la segunda destinada a analizar los factores de vulnerabilidad presentes en ellas; a cada una de ellas se le brindo una ponderación diferenciada con respecto al valor final de cada vía, siendo de 0,4 y de 0,6, respectivamente (Cuadro N°2). La diferencia en las ponderaciones radica en la mayor afectación que tienen los factores de vulnerabilidad sobre el grado de eficiencia de las vías ante un proceso de evacuación.

A partir de las dimensiones y categorías determinadas se procedió a construir la tabla de recolección de datos en el software Survey123, el cual simplifica el tratamiento de los datos posterior al terreno.

Cuadro N°1
Asignación de puntajes

Asignación de puntajes para evaluación de vías de evacuación		
Puntaje	Nivel de vulnerabilidad	Rango de puntaje
5	Alto	3,01 – 5,00
3	Medio	1,01 – 3,00
1	Bajo	0 – 1

Fuente. Elaboración propia.

Cuadro N°2
Puntajes y ponderaciones por categoría

Dimensión n°1. Características de las vías de evacuación			Dimensión n°2. Factores de riesgo de las vías de evacuación		
Categorías	Indicadores de respuesta	Puntaje	Categorías	Indicadores de respuesta	Puntaje
Ancho de la vía	>11 metros	1	Ancho constante de la vía	Si	1
	< 11 metros	5		No	5
Presencia de postes y tendido eléctrico en mal estado	No	1	Estado del pavimento	Buen estado aparente	1
	Si	3		Presencia de desnivel	3
Sentido del tránsito vehicular	Hacia la costa	1		Presencia de grietas u hoyos	5
	Ambos sentidos	3	Presencia de obstáculos	No	1
	Hacia el valle	5		Si, enrejados y cercos livianos	3
Tipo de pavimento	Asfalto, hormigón	1		Si, muros	5
	Tierra	3	Cercanía a áreas de exclusión (Quebradas, acantilados, áreas de derrumbe, diferencias de nivel >90 cm.)	No	1
	Arena	5		Si	5
Tipo de vía	Vía local	1	Presencia de ferias o vendedores ambulantes en las calles o veredas	No	1
	Terciaria	3	Si	5	
	Camino o huella	5	Acceso de servicios de emergencia	Si	1
Accesibilidad universal	Si	1		Parcial	3
	No	5		No	5

Fuente: Elaboración propia en base a la guía “Referencias para sistemas de evacuación comunales por tsunami”. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo *et al.*, 2017).

Definidos los insumos para el análisis de las vías, se realizó la salida a terreno con el objeto de conocer la factibilidad de cada una de ellas frente a un proceso real de evacuación. El trabajo se realizó mediante el levantamiento de información a través de la tabla construida en el software Survey123 de ESRI, permitiendo el ingreso de datos e imágenes georreferenciadas, desarrollando de esta forma un análisis a microescala.

Realizado el trabajo en terreno y posterior al análisis de los datos obtenidos, se procedió a evaluar la validez de las vías planteadas por el PPC de la comuna de Pichilemu, proponiendo modificaciones a las vías de ser necesario y presentando el mapa de tiempos real que podría suponer el área de estudio en la actualidad, además de un mapa con las vías a decretar para el nuevo mapa de evacuación del área de estudio.

Determinación de nuevas vías de evacuación

El presente objetivo buscó determinar nuevas rutas de evacuación que fortalezcan el proceso de evacuación frente a un evento de tsunami en el área de estudio, mediante el desarrollo de dos pasos metodológicos.

El primer paso, se orientó a la determinación de todas aquellas vías que conectaran el área amenazada con el área segura, como insumo para el trabajo a desarrollar posteriormente en terreno. El segundo paso, por su parte, se orientó a catastrar en terreno la factibilidad

de las vías de insumo anteriormente determinadas, con el objeto de establecer aquellas que si son factibles según la realidad del área de estudio para el diseño de un nuevo plan de evacuación.

En mayor detalle, el primer paso se realizó mediante el proceso de “Network Analyst”, a través del software ArcGIS Desktop 10.3, bajo el supuesto de búsqueda del punto de seguridad más cercano. Con esto, se pudieron obtener todas aquellas vías que conectan con cota segura dentro del área de estudio, siendo estas el insumo principal para el desarrollo del terreno.

En este contexto, se comenzó con la digitalización de la red vial de Cáhuil, debido a la inexistencia de una cobertura detallada del área de estudio dentro de las bases de datos del Ministerio de Obras Públicas o de una IDE institucional, necesaria para la configuración del Network Dataset. Posterior a esto, se realizó una serie de geo procesos de análisis espacial entre la cobertura de red vial y un DEM del área de estudio, para obtener los valores de pendiente promedio porcentual para cada uno de los arcos de calle, necesarios para conocer la impedancia de las vías.

Asociados los valores de pendiente a cada arco, se pudo asignar una velocidad promedio de recorrido a cada uno de ellos, según lo indicado en la guía de “Referencias para sistemas de evacuación comunales por tsunami” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo et al., 2017), los cuales se indican en el Cuadro N° 3. Determinados estos valores, se pudo establecer el tiempo de recorrido de cada arco, al dividir el largo de cada uno por su velocidad y, por tanto, de las vías.

Cuadro N°3
Velocidades de flujo en función de la pendiente

Pendiente promedio	Velocidad de flujo (m/s)
< 3%	1,22
3% - 5%	1,22
5% - 10%	0,74
Pendiente promedio	Velocidad de flujo (m/s)
10% - 15%	0,53
15% - 20%	0,37
20% - 30%	0,22
>30%	0,22

Fuente: Guía “Referencias para sistemas de evacuación comunales por tsunami”.
(Ministerio de Vivienda y Urbanismo et al., 2017).

Posteriormente, se creó una cobertura puntual con las ubicaciones de todas aquellas calle que sobrepasan la cota 30, las cuales servirían como objeto de búsqueda dentro del proceso de “Network Analyst” en la determinación de las posibles vías de evacuación, esto al ser consideradas como “facilidades”, en otras palabras, el proceso de “Network Analyst” diseñaría las rutas en base al punto de seguridad más cercano. Con la realización de estas dos capas se configuró finalmente el “Network Dataset” y se dio paso al proceso de “Network Analyst”, mediante el cual se obtuvieron las vías de insumo para el área de estudio.

El segundo paso, por su parte, se orientó a determinar las vías factibles de aquellas de insumo, mediante el análisis en terreno de los factores de vulnerabilidad presentes en cada una de las vías, esto a causa de que la cobertura de red vial con la que se trabajó el proceso de Network Analyst para la elaboración de las vías de insumo, fue elaborada en base a imágenes satelitales, por lo cual, barreras como muros o cercos que impiden o cortan el paso de una vía pudieron haber pasado inadvertidas durante el proceso de digitalización, afectando de este modo la identificación de las posibles vías. Para la evaluación de viabilidad de las vías, se realizó el mismo procedimiento metodológico que el descrito en el objetivo N°1.

Una vez realizado el trabajo en terreno y el análisis de los datos, se definieron las vías factibles que podrían ser decretadas para la elaboración del nuevo mapa de evacuación de Cahuil.

Para finalizar, cabe destacar que la determinación de los insumos para terreno si bien no es un paso obligatorio para el desarrollo de la presente investigación, su desarrollo si presenta ventajas al momento de la visita en terreno, ya que, conocer las posibles vías de evacuación permite disminuir los tiempos de trabajo en terreno, de esta manera no es necesario recorrer el área de estudio en su totalidad buscando las vías posibles, sino que permite evaluar las ya consideradas y solo determinar su factibilidad.

Propuestas al Plan de Protección

El presente objetivo se orientó a la definición de las propuestas de las vías de evacuación a decretar. De esta manera se determinaron los nuevos tiempos de evacuación y la capacidad de carga para cada propuesta.

Para su realización, en primer lugar, se definieron dos propuestas de creación para el nuevo mapa de evacuación de Cahuil, para esto se tomaron como base las vías factibles presentadas en los objetivos N°1 y N°2. Determinadas las propuestas, se establecieron los tiempos de evacuación para cada una de ellas, mediante el Modelo de Evacuación Pedestre del USGS, bajo dos escenarios distintos según la velocidad de flujo de la población: Slow Run (1,79 m/s) y Slow Walk (1,1 m/s).

Una vez establecidos los tiempos de evacuación y elaborados los mapas de tiempo, se procedió a determinar la capacidad de carga para cada vía y, por tanto, para cada propuesta. Para esto, se utilizó como método de referencia, el indicado en la guía “Referencias para sistemas de evacuación comunales por tsunami” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo *et al.*, 2017), el cual permite obtener la capacidad de carga según las características de las vías. Sin embargo, se realizaron modificaciones al método, debido a que este contempla 15 minutos como el tiempo máximo de evacuación para cada vía, permitiendo calcular el tiempo residual para cada una de ellas, lo cual no se corresponde con la realidad del estudio, razón por la que tan solo se consideró el tiempo real de recorrido.

Para su desarrollo, se contempló la determinación de ciertos antecedentes mínimos de cada vía de evacuación, como lo son:

- Longitud de las vías (L): Propio para cada vía, en metros.
- Pendiente promedio de la vía (I): Propio para cada vía.
- Velocidad de flujo según la pendiente promedio (Vf): Propia para cada vía a partir de lo expuesto en el Cuadro n°3
- Ancho de la vía (B, en metros): Propia para cada vía.
- Densidad de flujo (D, en personas/m²): Para efectos de este análisis, se utilizó un criterio de 0,60 persona por metro cuadrado (ONEMI, 2017).
- Tiempo de evacuación de la vía (T, segundos): Propio para cada vía.

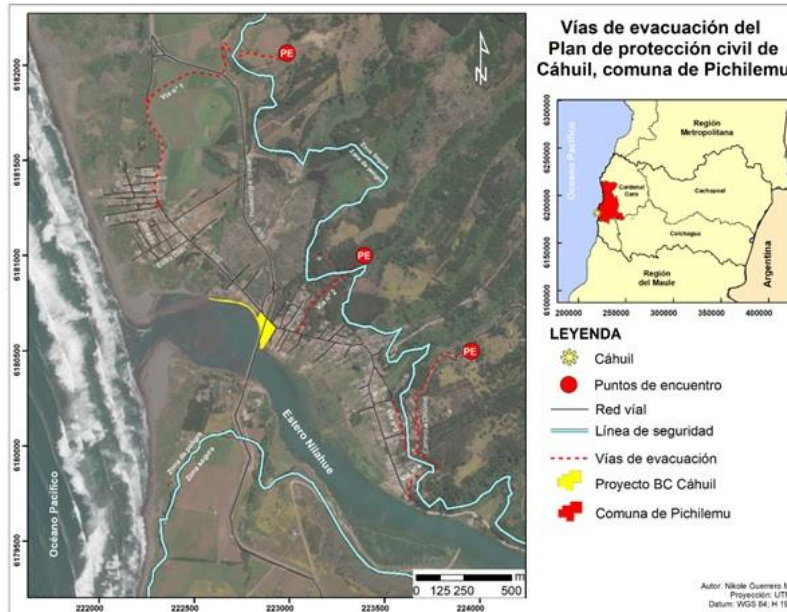
Obtenidos estos antecedentes, se procedió a desarrollar el cálculo para la obtención de la capacidad de carga, de acuerdo con la siguiente fórmula, donde N indica el número máximo de personas que pueden evacuar en la vía durante el tiempo de evacuación determinado y según las características de esta.

$$N = L * Vf * B * D * T$$

Evaluación del Plan de Evacuación

A partir de la revisión del PPC de la comuna de Pichilemu (ONEMI, 2016), se determinó que en el área de estudio actualmente existen 4 vías de evacuación declaradas (Figura N°1)

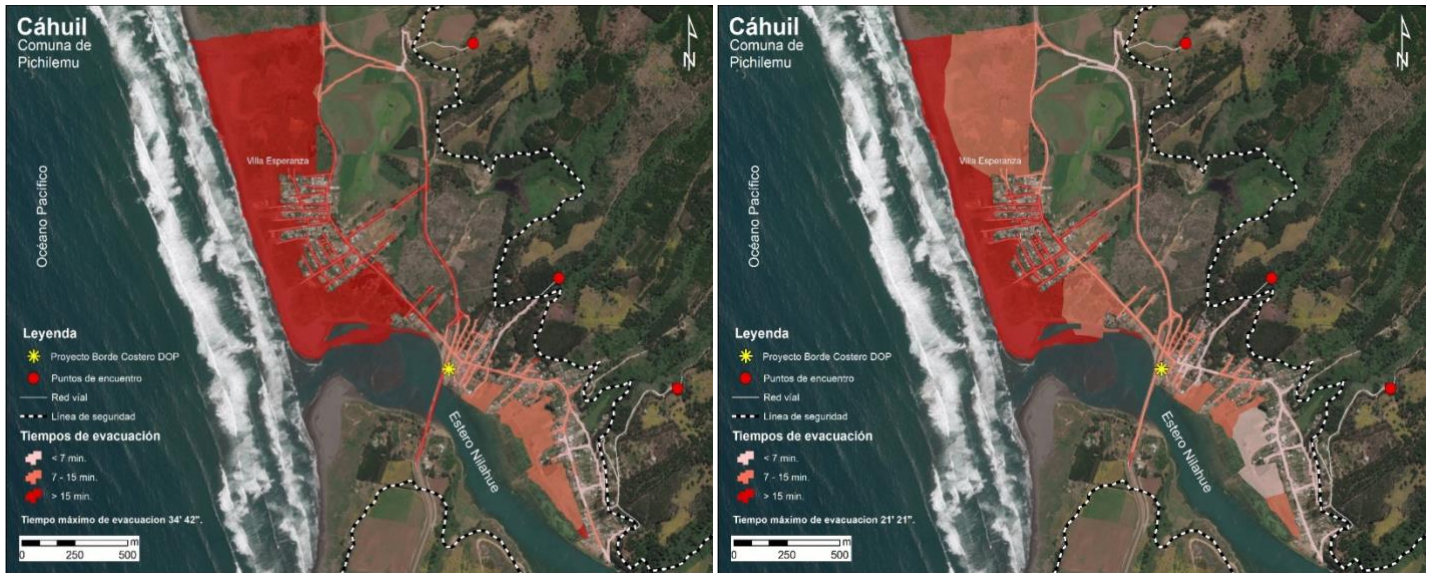
Figura N°1
Vías de evacuación del PPC de Cáhuil



Fuente: Elaboración propia

Determinadas las vías, se determinaron los tiempos de evacuación que presentaría actualmente Cáhuil considerando lo indicado en su PPC, bajo 2 escenarios distintos: Slow Walk (1.1 m/s) y Slow Run (1.79 m/s), obteniendo los modelos presentados en la Figura N°2. A partir de estos modelos, se estableció que de cumplirse lo indicado en el Plan de Protección presentando todas sus vías operativas para una inminente evacuación, el tiempo máximo de evacuación bajo el escenario 1 es de 34 minutos 42 segundos, mientras que para el escenario 2 de 21 minutos 21 segundos.

Figura N°2
Modelos de evacuación Slow Walk y Slow Run



Fuente: Elaboración propia

Bajo este contexto, el sector de Villa Esperanza es el más afectado del área, presentando tiempos de evacuación en ambos escenarios superiores a 15 minutos, el cual es el indicado como el óptimo para evacuar luego de ocurrido un evento sísmico. Por el contrario, el sector sur de Cahuil se percibe como un área segura para el proceso de evacuación.

Posteriormente, se realizó la visita a terreno donde se recogieron los datos sobre las características de las vías, los que se analizaron en gabinete, permitiendo la determinación de los factores de vulnerabilidad de cada una de las vías y con ello su nivel vulnerabilidad frente a un proceso de evacuación, en el Cuadro N°4 se pueden observar los valores obtenidos.

Cuadro N°4
Nivel de vulnerabilidad de las vías del PPC

ID VÍA	Puntaje vía	Nivel de vulnerabilidad
1	3,37	Alto
2	2,77	Medio
3	2,43	Medio
4	3,13	Alto

Fuente. Elaboración propia en base a la guía “Referencias para sistemas de evacuación comunales por tsunami”, (Ministerio de Vivienda y Urbanismo et al., 2017).

A partir de estos resultados, se determinó que la vía N°1, presenta los niveles de vulnerabilidad más altos dentro de las vías contempladas en el PPC, destacando el hecho de que presenta barreras que impiden el paso hacia la cota de seguridad debido a que gran parte de la vía es de propiedad privada, encontrándose varias barreras que impedirían el paso de la población ante una eventual emergencia. Por su parte, la vía n°4 presenta un alto nivel de vulnerabilidad debido a su cercanía a áreas de exclusión y el estado del camino, sin embargo, se puede considerar como una vía factible, ante la inexistencia de barreras en ella.

Con respecto a las otras vías, se determinó que estas presentan un nivel de vulnerabilidad “Medio” y no presentan ninguna barrera que impida el paso de los agentes hacia la cota segura, por lo que se pueden establecer como vías factibles. Tan solo, en la vía n°2 se estableció que el punto de encuentro decretado no era óptimo, razón por la cual se debería modificar en su último tramo.

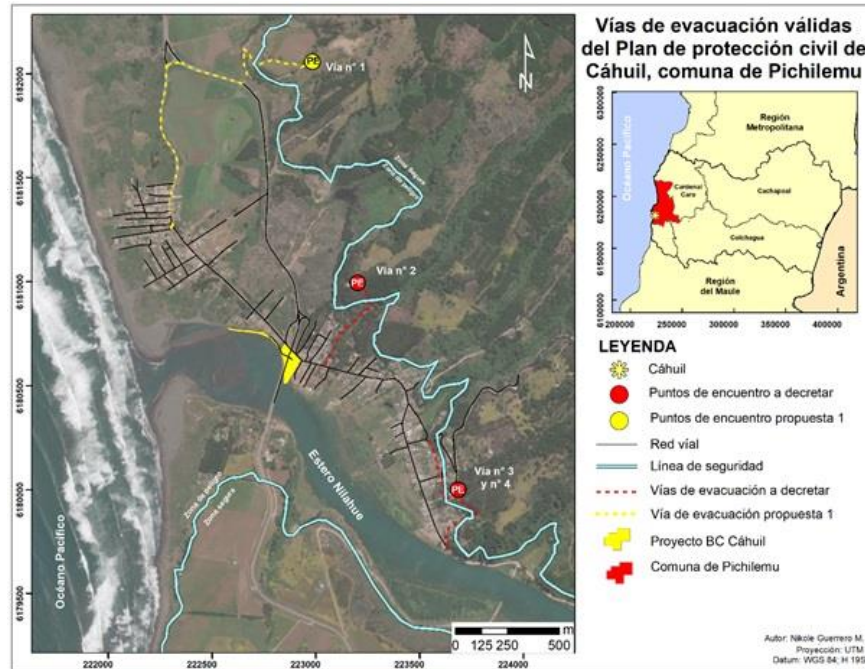
Considerando lo anterior, es posible advertir que el plan de evacuación propuesto en el PPC no es totalmente válido, debido a las características que presenta la vía N°1. Ante esto, se establecieron nuevamente los tiempos de evacuación considerando esta vez solo las vías que se establecieron como factibles (vías N°2, N°3 y N°4) (Figura N°3), obteniendo tiempos de evacuación máximos de aproximadamente 59 minutos (Slow Walk) y de 36 minutos (Slow Run).

De esta manera, los tiempos de evacuación de Cahuil al considerar tan solo las vías factibles, aumentaron en gran medida frente a los tiempos de evacuación que se presentaron en un comienzo, donde se consideraban todas las vías de evacuación. Por su parte, Villa Esperanza es el sector más afectado, al verse sin ninguna vía de evacuación cercana, mientras que el sector sur, no presentó mayores cambios en los tiempos de evacuación, al no verse afectadas sus vías de evacuación.

En este contexto, queda demostrada la importancia de decretar una vía factible para el sector norte de Cahuil que permita disminuir los tiempos de evacuación para el sector, considerando que 15 minutos es el tiempo óptimo para evacuar desde ocurrido el evento telúrico (Ministerio de Vivienda y Urbanismo et al., 2017). Ante esto, se propone como

alternativa una modificación de la vía n°1 en su recorrido y la opción de expropiar el terreno ubicado en el último tramo de la vía, donde actualmente se encuentra el cerco que impide el paso hacia cota segura, con el propósito de poder declararla como factible.

Figura N°3
Vías factibles del PPC



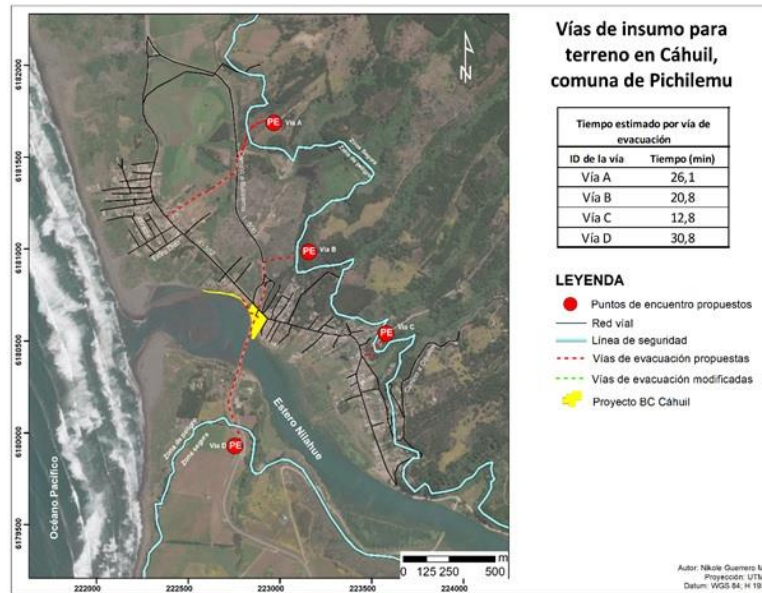
Fuente: Elaboración Propia

Determinación de nuevas vías de evacuación

Identificación de nuevas vías

Se identificaron 4 posibles vías de evacuación, que fueron identificadas con las letras A, B, C, D (Figura N°4). Las 4 vías identificadas se ubican distribuidas a lo largo de Cáhuil, siendo la vía A de vital importancia al presentarse como única vía de evacuación para el sector de Villa Esperanza, zona con altos tiempos de evacuación según lo establecido en el objetivo N°1.

Figura N°4
Identificación de nuevas posibles vías de evacuación (Vías de insumo)



Fuente: Elaboración propia.

De estas 4 vías de insumo se determinaron, además, los tiempos de evacuación aproximados para cada una de ellas, con el propósito de tener un estimado de referencia para comparar con los tiempos reales de evacuación de las vías del PPC. En este sentido, se observó que los tiempos calculados son similares, inclusive inferiores, a los de las vías declaradas en el PPC, siendo la vía A la de mayor relevancia al presentar un tiempo de evacuación de tan solo 26 minutos para el sector de Villa Esperanza, donde el tiempo de actual, en el peor escenario, es de aproximadamente 59 minutos.

Sin embargo, estos valores son referenciales, ya que cabe recordar nuevamente, que estas vías solo fueron un insumo para el desarrollo del terreno, y que su factibilidad como vías de evacuación debió ser comprobada.

Evaluación de factibilidad y análisis de factores de vulnerabilidad

En primer lugar, se obtuvieron los niveles de vulnerabilidad de las vías de insumo, a partir del análisis de los datos levantados en terreno sobre los factores de vulnerabilidad, los cuales se sintetizaron en valores promedios para cada vía, que se observan en el Cuadro N°5.

Cuadro N°5
Niveles de vulnerabilidad de las vías tentativas

ID VÍA	Puntaje vía	Nivel de vulnerabilidad
A	2,58	Medio
B	2,50	Medio
C	2,87	Medio
D	1,50	Medio

Fuente. Elaboración propia.

De manera similar a lo ocurrido con las vías del PPC, las vías tentativas presentan un nivel de vulnerabilidad “Medio”, siendo la vía D la que cuenta con las mejores características para hacer frente a un proceso de evacuación, además, esta vía destaca por contar con escaleras en su tramo inicial que cumplen con la normativa de accesibilidad establecidas en la OGUC (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1992), a pesar de ello, estas requieren de un mantenimiento continuo o de un cambio en los materiales de construcción. Cabe destacar, sin embargo, que esta vía de evacuación contempla el paso por el puente de Cáhuil, razón por lo cual su factibilidad y uso estará sujeto al estado en que se encuentre el puente posterior al movimiento telúrico.

Por el contrario, la vía C se presenta con el valor más alto de vulnerabilidad, sin embargo, esto se debe en mayor medida a las características de suelo y pendiente que posee y no por la presencia de barreras que impidan el paso para alcanzar cota segura. Por su parte, la vía B si bien no presenta niveles altos de vulnerabilidad, es en gran porcentaje parte de propiedad privada, lo que dificulta incluso la identificación del camino producto de los muros existentes, razón por la que no es una vía factible para un nuevo mapa de evacuación. Cabe destacar, además, que la vía A sin ostentar el nivel de vulnerabilidad más alto de las vías en análisis, si presenta barreras físicas que impiden el paso de los agentes, producto de que los terrenos que atraviesa la vía son de propiedad privada, lo cual impide que esta sea factible para decretar en un nuevo mapa de evacuación. Sin embargo, su desarrollo es de gran relevancia debido a su ubicación dentro del área con mayor tiempo de evacuación, de acuerdo con lo observado anteriormente. Por esta razón, se propone el desarrollo de esta vía como una forma de disminuir los tiempos de evacuación del sector “Villa Esperanza”, mediante un proceso de expropiación de los terrenos afectados.

Por otro lado, en terreno se determinó la existencia de otra posible vía de evacuación, a la que se identificó como Vía E, la cual favorablemente resulto factible para decretar según los

valores obtenidos en la evaluación de niveles de vulnerabilidad (Cuadro N°6) y sin la existencia de barreras físicas que obstruyeran su paso.

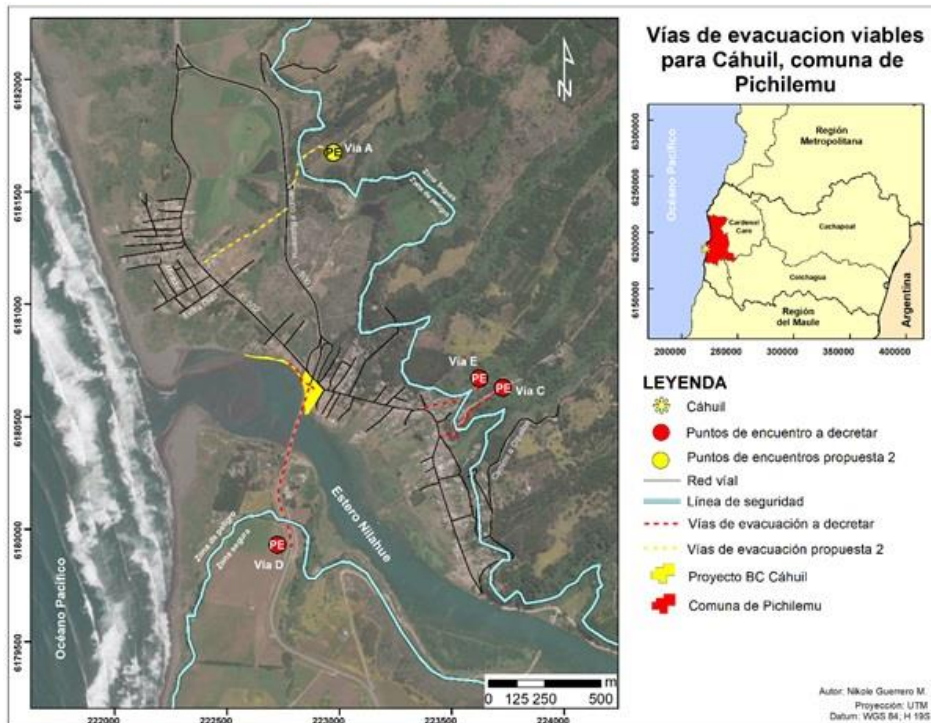
Cuadro N°6
Nivel de vulnerabilidad vía E

ID Vía	Puntaje vía	Nivel de riesgo
E	2,77	Medio

Fuente. Elaboración propia

Considerando lo anterior, se elaboró la carta con las vías factibles de incluir en el nuevo mapa de evacuación de Cáhuil, que se observa en la Figura N°5. En ella se observa las vías C, D y E como vías listas a decretar, mientras que la vía A se presenta como una propuesta debido a que para su decreto se debe realizar un proceso de expropiación de terrenos o un acuerdo con los dueños para eliminar las barreras existentes por los sectores que atraviesa la vía.

Figura N° 5
Vías factibles para incorporarse al Plan de Protección

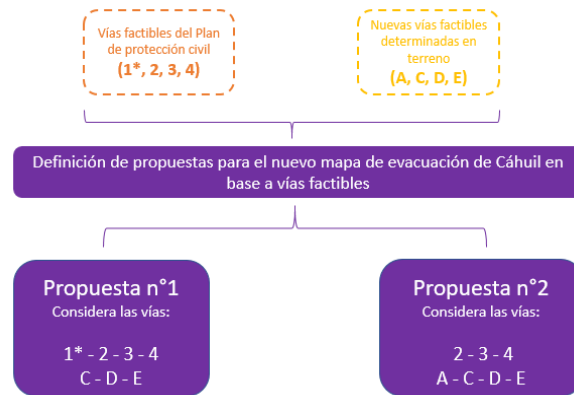


Fuente: Elaboración propia.

Propuestas al Plan de Protección

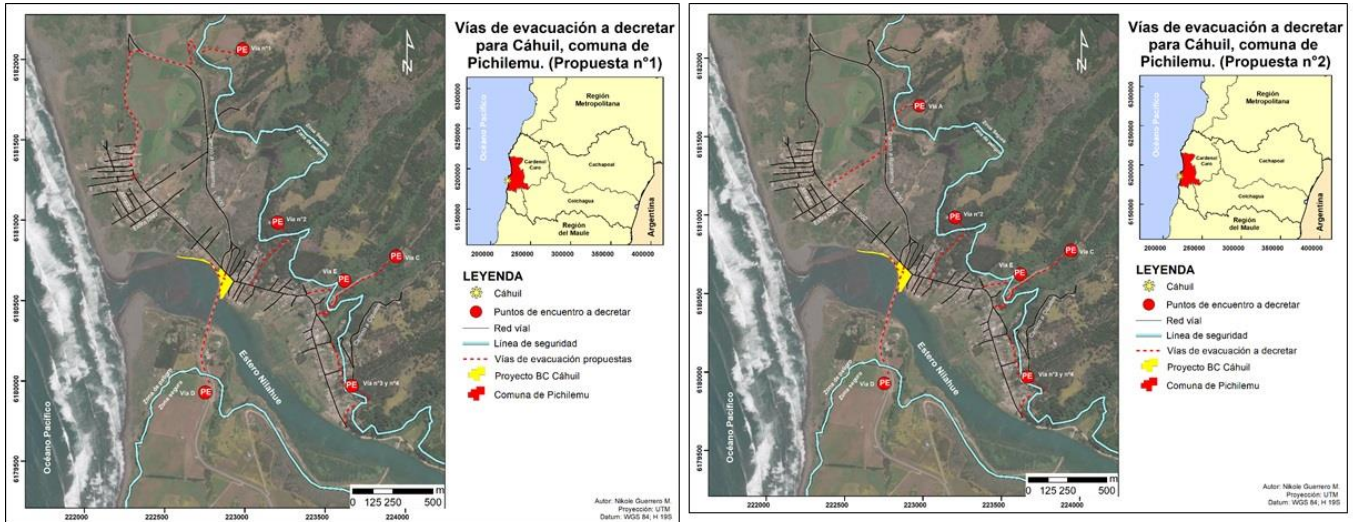
A partir de lo expuesto en los resultados de los objetivos n°1 y n°2, se pudieron identificar 2 propuestas de mapas de evacuación para el área de estudio, las cuales combinan las vías factibles del PPC con las nuevas vías identificadas como válidas. Estas dos propuestas se diferencian por presentar diferentes alternativas de evacuación para el sector de “Villa Esperanza”, que recordemos es el sector con mayor nivel de vulnerabilidad ante un evento de tsunami debido a los altos tiempos de evacuación que presenta. En el Cuadro N°7, se observa el proceso de creación de las dos propuestas para el nuevo PPC de Cáhuil y en la Figura N°6 las cartas de cada propuesta.

Cuadro N° 7
Proceso de creación de las propuestas para el nuevo PPC de Cáhuil



Fuente: Elaboración propia

Figura N°6
Propuestas para el nuevo PPC



Fuente: Elaboración propia.

Establecimiento de los tiempos de evacuación de las propuestas presentadas

Elaboradas las propuestas, se realizaron los modelos de evacuación, obteniendo los tiempos de evacuación pedestre para cada una de ellas. La propuesta n°1 permite una gran disminución en los tiempos de evacuación con respecto a los que presenta actualmente Cahuil; en el escenario 1 (Slow Run) se redujo el tiempo máximo de evacuación inicial de 35'43" a un tiempo de 22'34", mientras que en el escenario 2 (Slow Walk) se redujo el tiempo en aproximadamente 20 minutos, pasando de un tiempo máximo de evacuación de 58'6" a uno de 22'34".

En este contexto, es posible apreciar como la modificación de la vía n°1 permite la disminución de los tiempos de evacuación en el sector norte de "Villa Esperanza", mientras que la vía D tuvo un efecto similar sobre el sector sur, ambos bajo el escenario de slow run. Sin embargo, cabe destacar, que el sector de "Villa Esperanza" sigue siendo un área vulnerable. Por su parte, el sector sur de Cahuil también se ve beneficiado con la propuesta 1, permitiendo disminuir aún más los tiempos actuales de evacuación.

Con respecto a la propuesta n°2, también se observa una disminución en los tiempos de evacuación frente a los que presenta actualmente el área de estudio. En este sentido, para el escenario Slow Run los tiempos se redujeron desde 35'43" a 24'46", mientras que en el escenario Slow Walk, se disminuyó el tiempo de evacuación de 58'6" a un tiempo de 40'29". En relación a la implementación de la propuesta n°2 y en específico de la vía A, permitirá una disminución de los tiempos de evacuación en gran parte de "Villa Esperanza" al menos

bajo el escenario Slow Run, lo cual se presenta como una gran ventaja frente a la propuesta n°1, debido a la ubicación que presenta la vía A con respecto al sector residencial de “Villa Esperanza”, permitiendo una evacuación más rápida de los agentes a diferencia de la vía 1, la cual se encuentra en el sector norte de la Villa donde el número de agentes es menor y, por tanto, requiere un mayor desplazamiento del resto de la población, aumentando de esta forma el tiempo de recorrido. Con respecto al resto del área de estudio, los tiempos de evacuación no presentan variación ya que las vías de evacuación modeladas son las mismas.

Análisis de la capacidad de carga

A partir de los mapas de evacuación elaborados, se procedió a analizar la máxima capacidad de carga de las vías durante el periodo de evacuación, como una herramienta de ayuda para la correcta planificación del territorio (Cuadro N°8).

Cuadro N°8
Máxima capacidad de carga de las vías de evacuación

ID de la vía	Capacidad de carga máxima
1	232.179
2	43.521
3	185.811
4	175.873
A	75.770
C	36.210
D	183.471
E	29.070

Fuente. Elaboración propia

De esta manera, cada zona aledaña a las vías de evacuación no debiese superar en total a la máxima capacidad de carga de la vía para lograr una evacuación sin atochamientos ni retrasos.

Conclusiones y recomendaciones

A partir del estudio realizado se logró determinar que el actual plan de evacuación definido en el PPC de Pichilemu es deficiente y, como tal, requiere de una modificación urgente que permita disminuir el tiempo de evacuación de la población, considerando que en los escenarios modelados se supera con creces los 15 minutos estipulados como seguros por parte de ONEMI.

Frente a esto, se comprobó la existencia de nuevas vías de evacuación que se podrían sumar al actual plan de evacuación, siendo la propuesta n°2 la que se presenta como la mejor opción para ser incluida dentro del Plan de Protección, debido al mayor número de

población que se puede evacuar dentro de los 15 primeros minutos desde ocurrido un evento telúrico.

Se recomienda a su vez, y según los datos recogidos en terreno, la incorporación de luminaria solar al menos en las vías de evacuación, debido al mal estado de la actual luminaria en algunos sectores de Cáhuil y a la alta probabilidad de cortes de energía eléctrica producto de los movimientos sísmicos. A esto se suma, la idea de dotar y proveer los puntos de encuentro con implementos de primera necesidad ante un proceso de evacuación.

Bajo este marco, se recomienda el establecimiento de un tótem con el plano del plan de evacuación de la localidad, con el propósito de que la población conozca y se interiorice con las vías de evacuación, lo cual puede ir de la mano con el desarrollo de un plan educativo sobre riesgos socio-naturales diferenciado para la población residente y flotante.

Se destaca a su vez, que la localidad de Cáhuil es imposible de evacuar dentro de los 15 minutos determinados como seguros, considerando las propuestas desarrolladas en este estudio, por lo que se recomienda la evaluación de otros métodos de evacuación para la zona como torres de evacuación vertical, principalmente para el sector norte de la localidad que resultaría ser uno de los más afectados frente a una amenaza de tsunami.

En cuanto al estudio, finalmente se aconseja tomarlo como una herramienta de apoyo para las decisiones de Planificación Territorial considerando las evaluaciones realizadas y principalmente porque entrega el número máximo de población que podrían sostener las vías de evacuación.

Referencias bibliográficas

Løvholt, F.; Setiadi, N.; Birkmann, J.; Harbitz, C.; Bach, C.; Fernando, N.; Kaiser, G. & Nadim, F. Tsunami risk reduction – are we better prepared today than in 2004? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2014, Vol. 10, p. 127-142.

Martínez, C.; Morris, R. & Quense, J. Valoración de las áreas de riesgo por tsunami y potencial de evacuación: propuestas para la reducción del riesgo de desastres a escala local. *Concurso de políticas públicas UC*, 2016, p. 243 - 278.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Ministerio de Energía, Oficina Nacional de Emergencias, Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales. *Guía de referencia para sistemas de evacuación comunales por tsunami*. Santiago de Chile: MINVU, 2017, Vol. 6.

Sitio web de la Oficina Nacional de Emergencias. *Plan de Protección Civil ante tsunami, Comuna de Pichilemu*. Disponible en Internet:
<http://www.onemi.cl/wp-content/uploads/2016/09/Pichilemu.jpg>, 2016.