

**ESTUDIO DE UNA PROPUESTA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACION  
DE LOS PLANOS DE EVACUACIÓN ANTE AMENAZA DE TSUNAMI DE  
SENAPRED EN PROCESO DE ACTUALIZACIÓN**

Gabriela Ignacia Troncoso Sepúlveda

Informe de Práctica Profesional presentado al  
Departamento de Ciencias Geodésicas y Geomática  
Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles

En cumplimiento del requisito parcial

Para obtener el título de

**Ingeniero Geomático**

Escrito bajo la orientación del/la Tutor/a

M.Sc. Carolina Andrea Bouniot Escobar

Aprobado por la comisión

Mg. Aharon Samuel Cuevas Cordero

Los Ángeles

Marzo, 2024

© Gabriela Ignacia Troncoso Sepúlveda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

## RESUMEN

La Unidad de Mapas de Riesgos del Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) tiene la responsabilidad de actualizar y validar los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami. Una de las principales deficiencias del proceso actual de validación es que no se realiza una verificación de los tiempos de evacuación en las vías propuestas por los municipios, lo que puede llevar a la implementación de planes que, aunque cumplen con los estándares mínimos, no optimizan las rutas de evacuación ni los tiempos disponibles, exponiendo a ciertas áreas a mayores riesgos. Para enfrentar estas limitaciones, esta práctica profesional se orientó al estudio de propuesta metodológica que aproveche herramientas de la geomática para fortalecer el proceso de actualización de los planos de evacuación, mediante la modelación de los tiempos de evacuación. El propósito es validar que las vías definidas en los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami posibilitan la evacuación en un tiempo no superior a 15 minutos, según lo establece MINVU (2017). Con ello se busca generar un panorama sobre la efectividad de las vías de evacuación e identificar necesidades de mejoras. Con la aplicación de los procesos propuesto se logró realizar un análisis detallado y eficiente de los tiempos de evacuación, incorporando el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), brindando resultados que reflejan las condiciones del terreno y su influencia en la velocidad de desplazamiento de las personas. La metodología propuesta constituye una base para orientar decisiones estratégicas en la actualización de los Planos de Evacuación, posibilitando con su implementación la realización de una planificación más completa.

## Índice de Contenidos

RESUMEN .....	iii
1. Introducción.....	vii
2. Objetivos.....	1
2.1.1.    Objetivo General .....	1
2.2.    Objetivos específicos.....	1
3. Descripción tareas y trabajos realizados.....	2
3.1.    Actualización de los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami .....	2
3.2.    Desarrollo de la propuesta metodológica .....	4
3.2.1.    Estimación de los tiempos de recorrido de las vías de evacuación.....	5
3.2.2.    Modelación de los tiempos de recorrido del área de evacuación .....	8
3.2.3.    Modelación de los tiempos de recorrido hasta las vías de evacuación .....	11
3.3.    Validación de la propuesta metodológica .....	14
4. Recomendaciones para la planificación de vías de evacuación .....	14
5. Resultados.....	15
6. Conclusiones .....	21
7. Aprendizajes.....	23
8. Referencias .....	24
9. Anexos .....	26

## Lista de Tablas

Tabla 1. Velocidades de desplazamiento según pendiente en base a et al. Moris (2010). .5	
Tabla 2. Velocidades de desplazamiento para diferentes tipos de evacuados en base a Knoblauch et al. (1996), Sugimoto et al. (2003) y Wood & Schmidlein (2012).....6	
Tabla 3. Detalle resultados de la actividad de actualización Planos de Evacuación Ante Amenaza de Tsunami..... 15	
Tabla 4. Síntesis de los tiempos de recorrido para las vías de evacuación obtenidos en función de las velocidades de escape propuestas en MINVU (2017) para los diferentes tipos de personas que evacuan..... 17	

## Lista de Figuras

Figura 1. Organigrama de la Unidad de Mapas de Riesgo en la Dirección Nacional del SENAPRED. .... viii	
Figura 2. Diagrama de geo procesos para la determinación de los tiempos de recorrido de las vías de evacuación..... 7	
Figura 3. Diagrama de geo procesos para la determinación de los tiempos de recorrido para salir del área de evacuación utilizando la salida más cercana..... 10	
Figura 4. Diagrama de geo procesos para determinar tiempo total de recorrido (min) desde cualquier punto de la red vial a la vía de evacuación más cercana, considerando una determinada velocidad de desplazamiento. .... 12	
Figura 5. Diagrama de geo procesos para determinar tiempo total de recorrido (min) desde cualquier punto de la red vial a la salida de la vía de evacuación más cercana, considerando	

una determinada velocidad de desplazamiento (las velocidades que pueden alcanzar diferentes grupos de personas que evacuan.....	13
Figura 6. Mapa tiempos de recorrido en minutos para las vías de evacuación en función de la categorización de velocidades según pendiente, para una velocidad base de 0,751 m/s. ....	16
Figura 7. Tiempo total de recorrido (min) para llegar a la vía de evacuación más cercana a una velocidad de 1,1 m/s.....	18
Figura 8. Mapa Tiempo total de recorrido (min) para salir del área de evacuación utilizando la salida más cercana a una velocidad de 1,1 m/s. ....	19
Figura 9. Mapa Tiempos de recorrido (min) para salir del área de evacuación utilizando la salida más cercana a una velocidad de 1,1 m/s. ....	20

## **1. Introducción**

La práctica profesional se llevó a cabo en la Unidad de Mapas de Riesgos, perteneciente al Departamento de Gestión de Información Territorial del Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), organismo público nacional encargado de asesorar, coordinar, organizar, planificar y supervisar las actividades relacionadas con la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) de Chile.

Como parte de la Subdirección de Reducción del Riesgo de Desastres, el Departamento de Gestión de Información Territorial tiene la misión de apoyar la gestión del servicio en la reducción del riesgo de desastres, a través de la coordinación, generación, administración y puesta a disposición de la información georreferenciada y estadística, relativa a amenazas, exposición, vulnerabilidad y afectación, entre otros. Para ello, debe gestionar su recopilación, estandarización, disponibilidad y difusión.

Igualmente, se encarga de funciones como el diseño de soluciones y aplicativos tecnológicos para garantizar el acceso y disponibilidad de la información territorial, el asesoramiento y apoyo técnico en las materias relacionadas con su área de especialidad, entre otras.

Para el cumplimiento de sus funciones, como se detalla en la Figura 1, el departamento cuenta con una estructura organizativa dividida en tres unidades. Entre estas, la Unidad de Mapas de Riesgos tiene la responsabilidad de supervisar y coordinar la elaboración de la cartografía destinada a la gestión del riesgo de desastres (GRD).



Figura 1. Organigrama de la Unidad de Mapas de Riesgo en la Dirección Nacional del SENAPRED. Fuente: Elaboración propia

Un ejemplo destacado de este tipo de cartografía son los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami, los cuales son esenciales para la preparación de la población frente a este tipo de desastres naturales. En Chile, la responsabilidad de elaborar estos planos para la protección de los habitantes recae en los Municipios, mientras que su actualización y validación está a cargo de la Unidad de Mapas de Riesgos del SENAPRED. Lo anterior se enmarca en la Ley 21.364, Decreto 86, que regula los organismos técnicos para el monitoreo de amenazas, los instrumentos para la GRD y los procedimientos de elaboración de estos. Asimismo, en la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades (Ley N.º 18.695), que faculta a los municipios para desarrollar funciones relacionadas con la prevención de riesgos y la respuesta ante emergencias.

En el marco de un proceso de mejora continua, la reciente actualización de la cota 30 por parte del Instituto Geográfico Militar, producto de la aplicación de nuevas tecnologías en el levantamiento cartográfico, ha generado la necesidad de actualizar los Planos de Evacuación a nivel nacional. Esta medida busca mejorar la precisión de la información

utilizada para delimitar las áreas de evacuación ante tsunami, dado que la cota 30 es recomendada por SENAPRED como el estándar para su delimitación (ONEMI, 2018). Como resultado, muchos de los planos existentes deben ser ajustados, lo que implica revisar y, en algunos casos, modificar los puntos de encuentro y vías de evacuación.

Una de las principales deficiencias del proceso actual de actualización de los Planos de Evacuación es que la revisión de las vías y puntos de encuentro se limita a verificar si estos permanecen sobre o por debajo de cota 30, es decir, fuera o dentro del área de evacuación. Además, ante situaciones de afectación, desde la Unidad de Mapas de Riesgo, se prioriza la extensión de las vías existentes o el desplazamiento de los puntos de encuentro; si no es posible, se plantea a los municipios que planifiquen nuevas vías o puntos de encuentro.

Estas decisiones reflejan que en la revisión de los planes no existe una evaluación del impacto que estos cambios tienen en los tiempos de evacuación, lo que puede llevar a la implementación de planes que, aunque cumplen con orientar a la población fuera del área de evacuación, no optimicen los tiempos disponibles para evacuar.

Para enfrentar estas limitaciones, esta práctica profesional se orientó al estudio de una metodología que aproveche herramientas de la geomática para fortalecer el proceso de actualización de los planos de evacuación, mediante la modelación de los tiempos de evacuación para validar que la evacuación se realiza de manera efectiva, en un tiempo no superior a 15 minutos, según lo establece MINVU (2017). De esta manera, se busca generar un panorama sobre la efectividad de las vías de evacuación e identificar necesidades de mejoras, para así contribuir a una planificación más completa.

## **2. Objetivos**

### **2.1.1. Objetivo General**

Estudiar una metodología para validar que las vías definidas en los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami posibilitan la evacuación en un tiempo no superior a 15 minutos.

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Revisar la normativa y lineamiento que regulan el procedimiento de elaboración de los planos de evacuación ante Amenaza de Tsunami.
2. Identificar elementos o circunstancias que condicionan la idoneidad de una vía de evacuación.
3. Estimar el tiempo de recorrido de las vías de evacuación.
4. Elaborar un mapa de la distribución espacial del tiempo de evacuación del área de estudio para identificar zonas críticas para el proceso de evacuación.
5. Proponer cambios en las rutas de evacuación que permitan cumplir con los estándares mínimos de tiempos de evacuación.

### **3. Descripción tareas y trabajos realizados**

Las tareas realizadas durante la práctica profesional se dividieron en dos grupos. Por un lado, las responsabilidades encomendadas por la dirección del departamento, las cuales fueron asignadas debido a su importancia para el adecuado funcionamiento de la Unidad de Mapas de Riesgo y el cumplimiento de los plazos establecidos para la actualización de los Planos de Evacuación Ante Amenaza de Tsunami. Por otro lado, el segundo tipo de tareas se relaciona directamente con el desarrollo de propuesta metodológica.

#### **3.1. Actualización de los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami**

Esta labor consistió principalmente en tareas de gabinete orientadas a la actualización de los planos de evacuación para algunas comunas costeras del país, requiriendo el uso de los softwares ArcGIS Pro y Google Earth Pro.

Entre las actividades realizadas se encuentran la modificación de capas de información, la revisión e integración de solicitudes municipales, la actualización de archivos de diseño (ajustes en escalas, simbologías, grillas y otros elementos cartográficos), la creación de nuevos planos y la elaboración de informes detallados que documentan los cambios efectuados y las observaciones identificadas durante el proceso. La bitácora con el detalle de las actividades se encuentra en el [Anexo 1](#).

Las solicitudes municipales, canalizadas a través de las Direcciones Regionales, incluían indicaciones para realizar modificaciones a sus sistemas de evacuación, como la eliminación o incorporación de vías y puntos de encuentro. Estas fueron integradas en el proceso de modificación de capas de información, mientras que la creación de nuevos

planos atendió a peticiones específicas para incluir sectores no contemplados previamente. En el [Anexo 2](#), se muestra un ejemplo de las solicitudes que fueron recibidas y atendidas, específicamente se trata de las solicitudes realizadas por el municipio de Tomé. Otro ejemplo, corresponden a modificaciones solicitadas para los planos de las comunas de Mariquina, Valdivia, Corral y La Unión, las que se detallan en el [Anexo 3](#).

Respecto a la modificación de capas de información, el proceso comenzó con la actualización del área de evacuación y la línea de seguridad, de acuerdo con la versión más reciente de la cota 30 del IGM. A continuación, se evaluó si, tras la modificación, el trazado de las vías lograba conducir a las personas hasta abandonar el área de evacuación y si los puntos de encuentro se encontraban inequívocamente fuera de sus límites. De no cumplirse estas condiciones, se analizó la factibilidad de extender las vías o desplazar los puntos de encuentro, siguiendo los lineamientos del instructivo 'Consideraciones asociadas al desarrollo de Planos de Evacuación' (SENAPRED, 2024), correspondiente al [Anexo 4](#). En caso de no ser viable, se dejó constancia en los informes elaborados para su evaluación posterior por los equipos comunales.

Para las vías y puntos de encuentro que no se vieron comprometidos por la actualización del área de evacuación, igualmente se verificó la coherencia con los lineamientos, corrigiendo errores inadvertidos.

### **3.2. Desarrollo de la propuesta metodológica**

Las labores realizadas se centraron en establecer un flujo de trabajo basado en el uso los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para modelar los tiempos de evacuación, con el propósito de validar las vías definidas en los planos de evacuación, identificar vías que requieran ser replanteadas y áreas críticas en el proceso de evacuación.

El proceso comenzó con una revisión exhaustiva de literatura nacional e internacional sobre evaluación y planificación de evacuación, lo que permitió identificar metodologías, herramientas y enfoques aplicables para la modelación de los tiempos de evacuación. A partir de un diagnóstico de las posibilidades y limitaciones de aplicabilidad de los enfoques, considerando las capacidades de la Unidad de Mapas de Riesgo y las particularidades de la actualización de los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami, se seleccionó la metodología, realizando las adaptaciones necesarias.

Producto de esta etapa se elaboraron diferentes diagramas de geo procesos que representan los flujos de trabajos necesarios para la implementación de la metodología. Los diagramas fueron desarrollados considerando el uso del software ArcGIS.

### 3.2.1. Estimación de los tiempos de recorrido de las vías de evacuación

Para la estimación tiempos de las vías de evacuación, se trabajó un enfoque que permite incluir la pendiente del terreno como factor que influye en la velocidad de la marcha, y por ende en la estimación de los tiempos de evacuación. Este se sustenta en las orientaciones establecidas en la ‘Guía de Referencia para sistemas de evacuación comunales por tsunami’ (MINVU, 2017), elaborada en colaboración con ONEMI y el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN), y de su aplicación en Villagrán (2022).

En este enfoque, para asignar los valores de impedancia producidos por la pendiente en cada tramo de la vía de evacuación, se aplican los criterios de la Tabla 1 , propuestos por Moris et al. (2010), quien plantea una categorización de la pendiente en rangos y una respectiva velocidad de desplazamiento para cada uno de ellos. Luego, se deriva el tiempo de recorrido a partir de la velocidad y la longitud de cada tramo.

<i>Pendiente (°)</i>	<i>Velocidades (Km/h)</i>
<5,6	4,48
5,6 - 8	3,29
8 - 11,2	2,72
11,2 - 14	2,17
14 - 30	1,12
>30	0,08

*Tabla 1. Velocidades de desplazamiento según pendiente en base a et al. Moris (2010). Fuente: Elaboración propia en base a MINVU (2017).*

A lo anterior, se incorporó el ajuste del tiempo estimado en función de la velocidad de desplazamiento de los evacuados, con la finalidad de realizar una evaluación más realista del potencial de evacuación. Para ello a partir de las referencias bibliográficas disponibles (Knoblauch et al., 1996; Sugimoto et al., 2003; Wood & Schmidlein, 2012), se definieron cuatro velocidades de marcha diferentes, especificadas en la Tabla 2.

<i>Categoría</i>	<i>Velocidad (m/s)</i>
Persona caminando moderadamente	1.2
Persona caminando lento	1.1
Persona con un niño	1.02
Grupo de personas ancianas	0.751

*Tabla 2. Velocidades de desplazamiento para diferentes tipos de evacuados en base a Knoblauch et al. (1996), Sugimoto et al. (2003) y Wood & Schmidlein (2012). Fuente: Elaboración propia.*

Los procesos del método se detallan en el diagrama de la Figura 2. El flujo de trabajo corresponde básicamente a una serie de geo procesos entre la capa de vías de evacuación y un ráster de pendientes, derivado de un Modelo Digital de Elevación (DEM) Alos Palsar de la Región de Atacama, con resolución de 12.5 m, obtenido desde el geoportal de la IDE Chile, con datos proporcionados por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN).

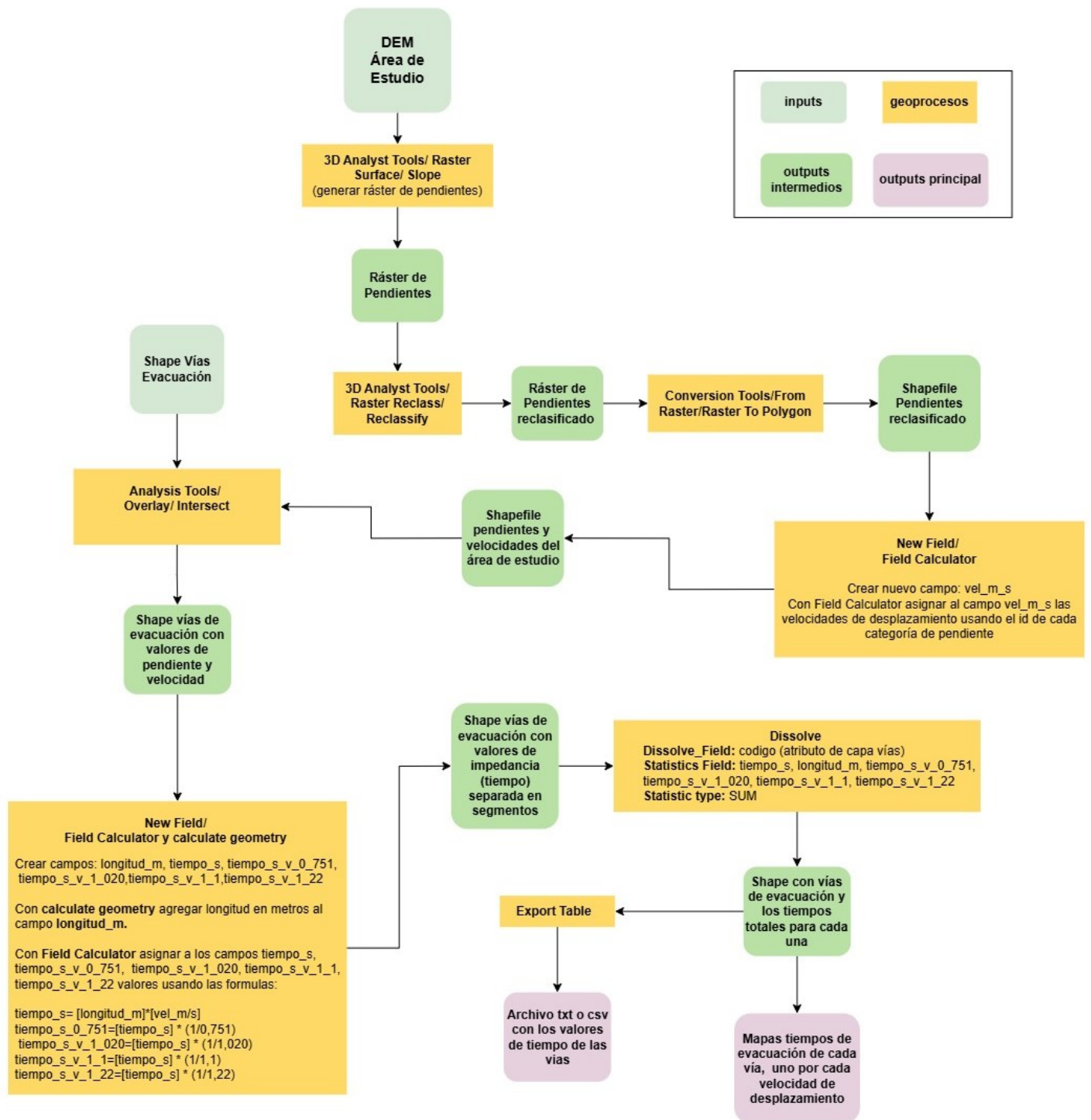


Figura 2. Diagrama de geo procesos para la determinación de los tiempos de recorrido de las vías de evacuación.. Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2. Modelación de los tiempos de recorrido del área de evacuación**

El flujo de trabajo para la modelación de los tiempos de recorrido del área de evacuación y su distribución espacial se basó en la metodología propuesta por Wood & Schmidtlein (2011), la cual fue adaptada para estimar los tiempos de viaje, según las variaciones en la pendiente y la direccionalidad, independientemente de las condiciones de la cobertura de suelo.

El método se basa en el uso de la herramienta 'Path Distance' de ArcGIS, con la que se construye una superficie de costes que estima, para cada celda en el área de evacuación, el coste (tiempo necesario) para llegar a un punto de destino de evacuación más cercano utilizando la ruta más rápida (punto de encuentro o a un punto de salida al área segura).

Para ello, calcula el coste para cada celda del DEM (representando una localización específica en el área de evacuación), utilizando el valor de la pendiente de la celda y un factor de coste vertical basado en la pendiente, especificado en una tabla que asocia los valores de pendiente con los costos en términos de tiempos de desplazamiento (horas por kilómetros), los que son determinados a partir del inverso de la función de senderismo de Tobler (1993). De acuerdo con las bases propuestas Wood & Schmidtlein (2011) si los tiempos se determinan desde los nodos de salida del área de evacuación hacia cualquier punto del área de evacuación, se usa la tabla de factor vertical con los valores invertidos.

Para obtención de los tiempos de evacuación para diferentes tipos de personas que evacuan, la superficie con los costos en términos de tiempo deben ser ponderadas de acuerdo con las velocidades que pueden alcanzar diferentes grupos de personas detalladas previamente.

Para ello, se generan superficies que representaran cada una de estas velocidades (ráster de valor constante). Luego, para transformar dichas velocidades en unidades de tiempo, calculando el inverso multiplicativo mediante el uso de la herramienta Map Algebra ( $1/\text{velocidad}$ ). De esta manera, las superficies que representan las distintas velocidades de evacuación quedan expresadas en términos de segundos por metro, y pueden ser combinadas con los rásteres de la velocidad inversa de evacuación de los peatones, que corresponde a superficies de tiempo (segundos por metro) que representan las distintas velocidades de escape. Para ello, cada ráster de velocidad fue multiplicado por la superficie de costo en Map Algebra y posteriormente transformadas a minutos.

El diagrama de geo procesos que permite elaborar mapas de tiempos de evacuación para el área de evacuación corresponde al de la Figura 3.

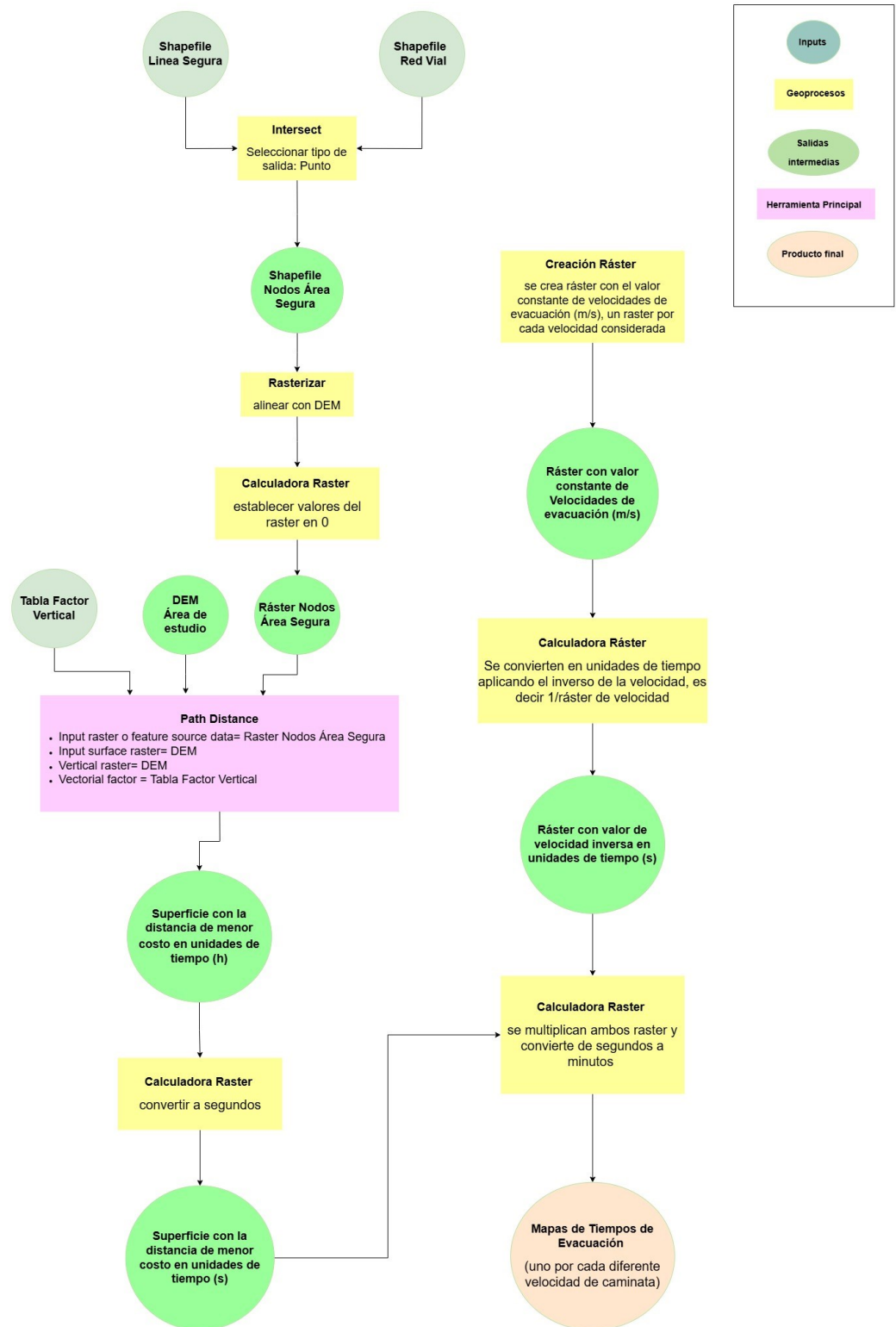


Figura 3. Diagrama de geo procesos para la determinación de los tiempos de recorrido para salir del área de evacuación utilizando la salida más cercana. Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.3. Modelación de los tiempos de recorrido hasta las vías de evacuación**

Siguiendo el mismo enfoque del punto anterior, se desarrolló el diagrama de geo procesos de la Figura 4, para modelar los tiempos de desplazamiento hasta las vías propuestas en los planos de evacuación, esto con el propósito de profundizar en el análisis del sistema de evacuación. Este modelamiento considera que el evacuado ingresará a través de cualquiera de las intersecciones entre las calles por las que pasa la vía de evacuación, y que al llegar a la vía seguirá su recorrido por esta misma.

Al evaluar los tiempos necesarios para llegar a las vías de evacuación, se pueden identificar áreas donde la vía más cercana se encuentra fuera del alcance dentro de un tiempo razonable. De esta manera, se pueden tomar decisiones informadas sobre dónde establecer nuevas rutas alternativas.

Por otro lado, se definió un flujo de trabajo para representar el tiempo de recorrido que tomaría llegar hasta la salida del área de evacuación más cercana, con el propósito de identificar tramos en donde la evacuación sea más rápida para la población, sirviendo como opciones para la planificación de nuevas rutas. Los geo proceso se detallan en el diagrama de la Figura 5 .

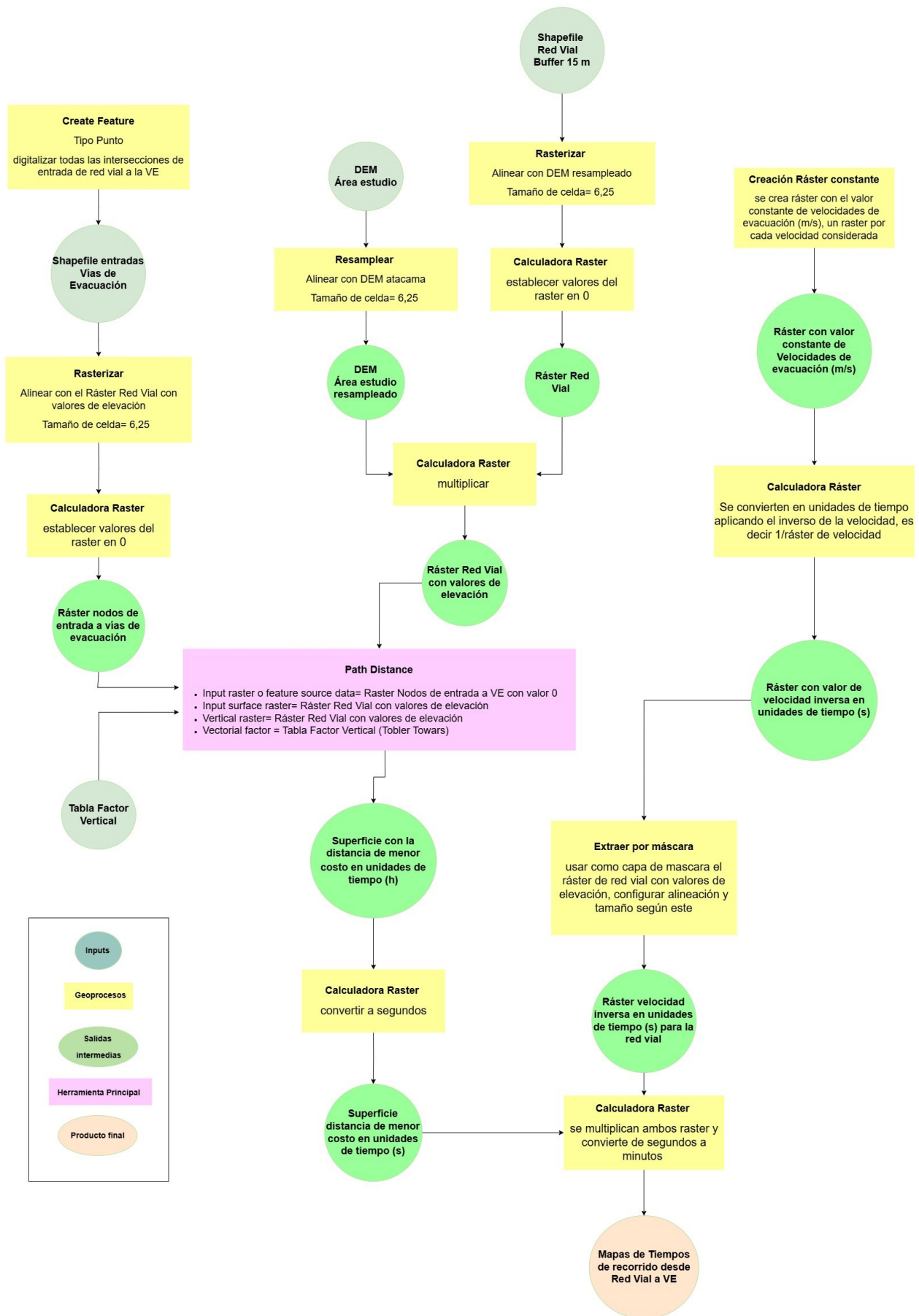


Figura 4. Diagrama de geo procesos para determinar tiempo total de recorrido (min) desde cualquier punto de la red vial a la vía de evacuación más cercana, considerando una determinada velocidad de desplazamiento. Fuente: elaboración propia.

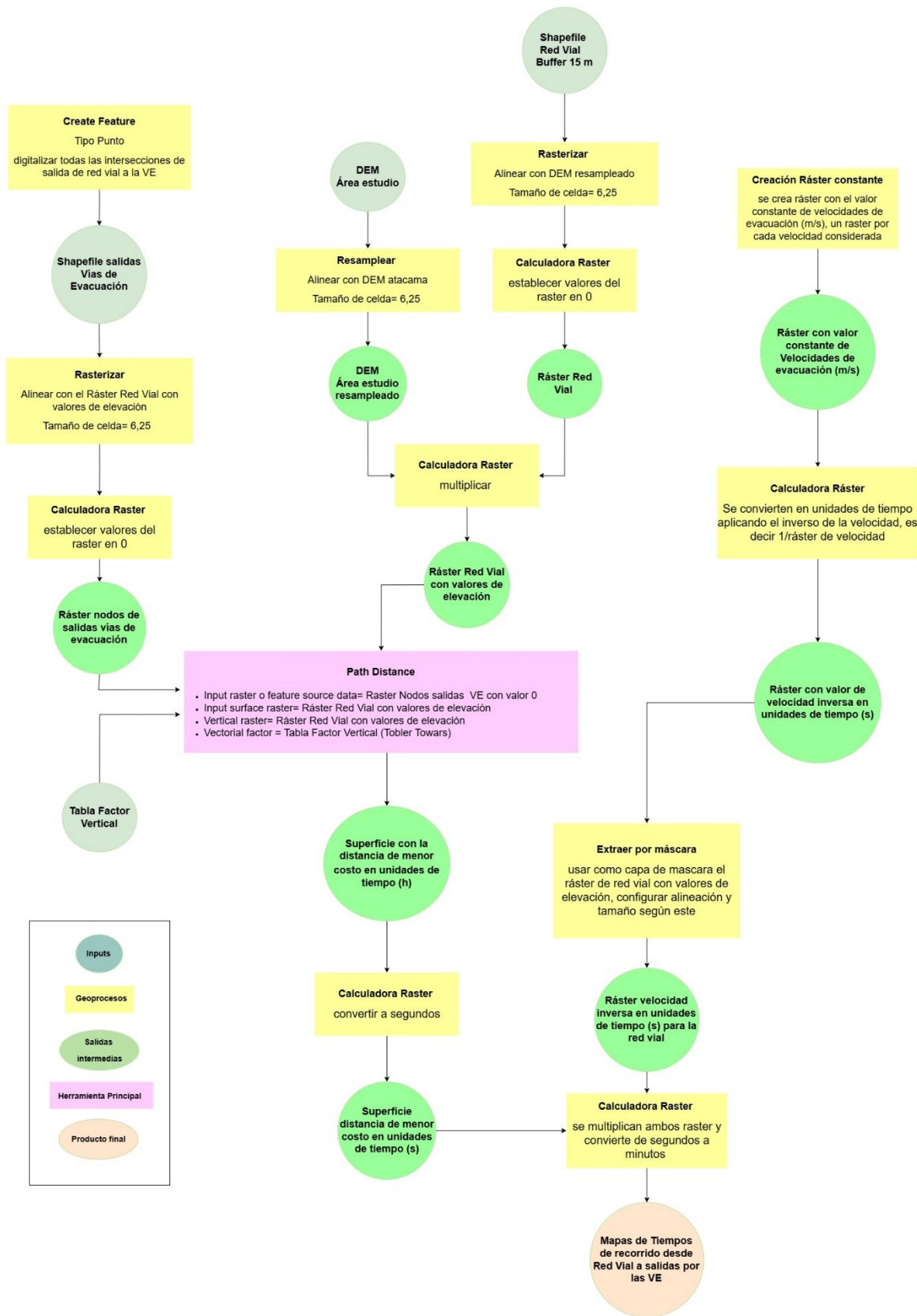


Figura 5. Diagrama de geo procesos para determinar tiempo total de recorrido (min) desde cualquier punto de la red vial a la salida de la vía de evacuación más cercana, considerando una determinada velocidad de desplazamiento (las velocidades que pueden alcanzar diferentes grupos de personas que evacuan. Fuente: Elaboración propia

### **3.3. Validación de la propuesta metodológica**

Esta actividad tuvo como objetivo validar el funcionamiento y replicabilidad de la metodología planteada. Para ello, se aplicaron los flujos de trabajo en la comuna costera de Chañaral, logrando determinar los tiempos de evacuación de las vías y generar los mapas complementarios para analizar el sistema de evacuación. Los resultados se encuentran documentados detalladamente en el [Anexo 5](#).

## **4. Recomendaciones para la planificación de vías de evacuación**

Para planificar nuevas rutas de evacuación, se evaluaron dos enfoques principales orientados a optimizar los tiempos de desplazamiento. El primero, es el Análisis de Redes, adecuado para aquellas comunas con una red vial más desarrollada, dado que no permite incorporar otras coberturas en el análisis (Moris, 2010, Minvu, 2017, Febrina, 2020). Su implementación se realiza en ArcGIS con la extensión Network Analyst, y requiere de dos capas fundamentales de información, la de nodos y arcos de la red vial. Además, es necesario calcular la impedancia de los arcos, en función de la pendiente y el efecto de esta en la velocidad. La preparación de estas capas se lleva a cabo siguiendo el diagrama de geo procesos presentado en el [Anexo 6](#).

El segundo enfoque, permite incorporar distintas coberturas, por lo que es especialmente útil para las comunas costeras más rurales o ciudades más pequeñas, cuya vialidad no se encuentra tan desarrollada. El método se basa en el uso de la herramienta Least Cost Path de ArcGIS. En este enfoque, las distancias de recorrido se calculan utilizando las salidas de la herramienta 'Path Distance'.

## 5. Resultados

Como resultado de las actividades de actualización de los Planos de Evacuación ante amenaza de Tsunami, se consiguió actualizar 17 planos de evacuación, para un total de 50 sectores costeros, de acuerdo con los nuevos antecedentes entregados por el IGM de la cota 30. De este modo, se aportó a la labor de la Unidad de Mapas de Riesgo concluyendo exitosamente la actualización de los planos de evacuación de la comuna de Tomé, y de las regiones de Atacama y Los Ríos. El detalles de los resultados se sintetizan en la Tabla 3.

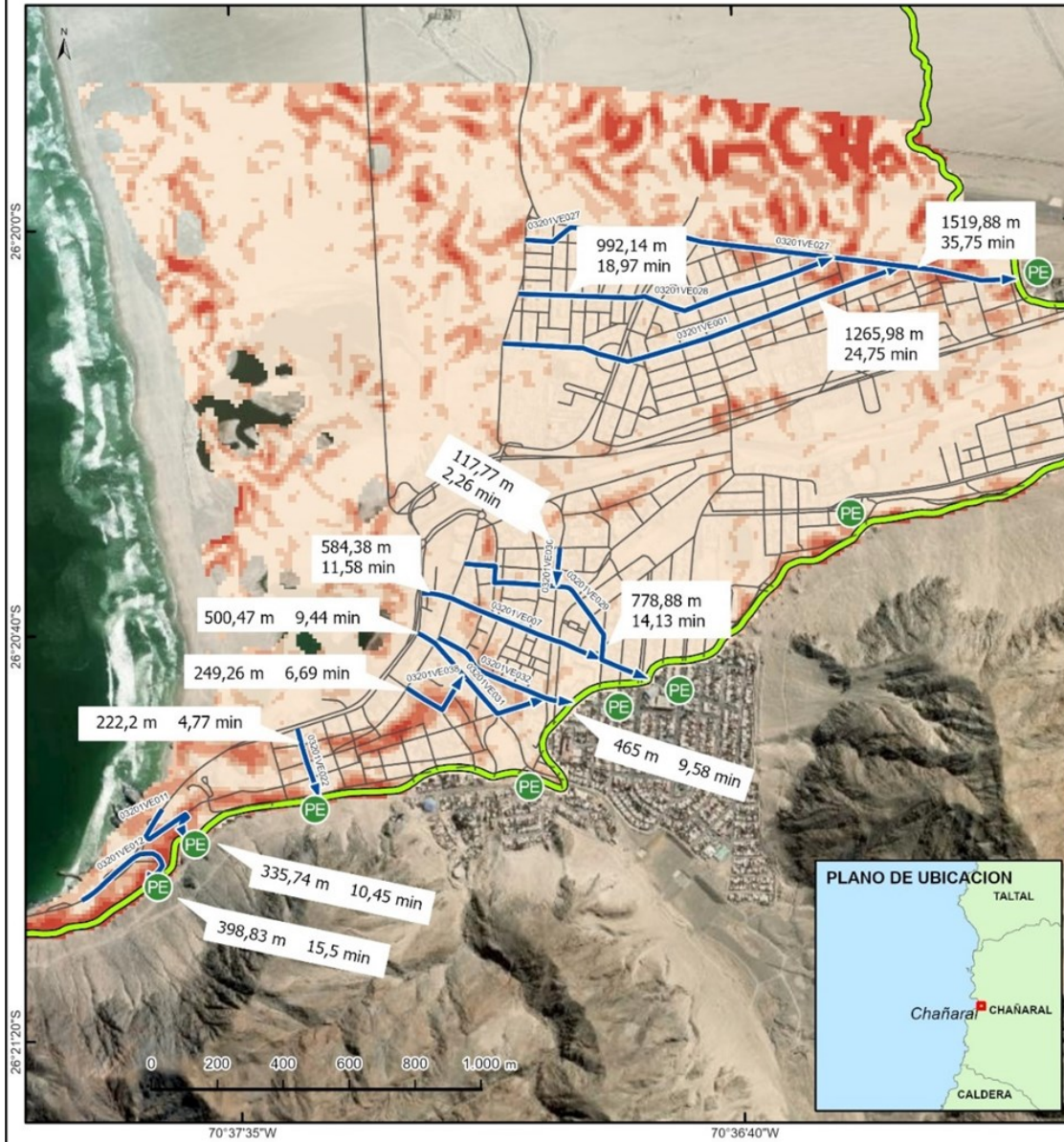
Detalle resultados de la actividad de actualización Planos de Evacuación Ante Amenaza de Tsunami						
Alcance	Nº de planos	Nº Comunas	Nº de sectores actualizados	Nº sectores agregados	Nº nuevos planos elaborados	ANEXO DE LOS PLANOS CORRESPONDIENTES
Región de Atacama	10	5	28			<a href="#">ANEXO 7</a>
Comuna de Tomé	3	1	9	4	1	<a href="#">ANEXO 8</a>
Región de Los Ríos	6	4	19	2	1	<a href="#">ANEXO 9</a>
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>56</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	

Tabla 3. Detalle resultados de la actividad de actualización Planos de Evacuación Ante Amenaza de Tsunami.

Los planos revisados y actualizados son de importancia para la gestión del riesgo, dado que serán usados para diseñar y ejecutar simulacros de evacuación.

En cuanto a los resultados de la metodología se desarrolló una serie de diagramas de geo procesos que hacen posible llevar a cabo el análisis de los tiempos de evacuación. Por otro lado, de los resultados principales de su aplicación en la comuna de Chañaral, se tiene el mapa de la Figura 3, que presenta los tiempos de evacuación de las vía para la velocidad base de un grupo de personas ancianas, en donde se observa que al menos cuatro vías deberían ser replanteadas para optimizar el proceso de evacuación.

MAPA TIEMPOS DE RECORRIDO (MIN) PARA LAS VÍAS DE EVACUACIÓN  
EN FUNCIÓN DE LA CATEGORIZACIÓN DE VELOCIDADES  
SEGÚN PENDIENTE, PARA UNA VELOCIDAD BASE DE 0,751 M/S



**LEYENDA**

Sistema de Evacuación SENAPRED actualización según cota 30 IGM 2023

● PUNTO DE ENCUENTRO  
➔ VÍA DE EVACUACIÓN  
— LINEA SEGURA

Pendiente (°)	
<5,6	11,2 - 14
5,6 - 8	14 - 30
8 - 11,2	>30

**Universidad de Concepción**  
 Campus Los Angeles

PRACTICA PROFESIONAL  
 'PROPUESTA Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN DE LAS VÍAS DE EVACUACIÓN EN LOS PLANOS DE EVACUACIÓN ANTE AMENAZA DE TSUNAMI, AL SERVICIO DE SENAPRED'

Fuente: Elaboración Propia  
 ALUMNA: GABRIELA TRONCOSO

PROYECCIÓN: UTM  
 DATUM: WGS84  
 UNIDAD LINEAL: metros

HUSO: 19 S  
 ESCALA: 1:20.000

Figura 6. Mapa tiempos de recorrido en minutos para las vías de evacuación en función de la categorización de velocidades según pendiente, para una velocidad base de 0,751 m/s. Fuente elaboración propia

Sin embargo, de acuerdo a la Tabla 4, para el resto de las categorías de evacuados, los tiempos disminuyen, logrando reducir el número de vías que esta por sobre los 15 minutos de tiempo necesario para realizar la evacuación.

via	cod_via	Longitud (m)	Tiempo sin normalizar según velocidad tipo (min)	Total a recorrer			
				Tiempo normalizado según velocidad tipo que pueden alcanzar diferentes grupos de personas que evacuan (min)			
				V ( 0.751 m/s)	V ( 1.02 m/s)	V ( 1.1 m/s)	V ( 1.22 m/s)
1	03201VE001	1265.98	18.59	24.75	18.22	16.90	15.24
2	03201VE007	584.38	8.69	11.58	8.52	7.90	7.13
3	03201VE011	335.74	7.85	10.45	7.69	7.13	6.43
4	03201VE012	398.83	11.64	15.50	11.41	10.58	9.54
5	03201VE022	222.20	3.59	4.77	3.52	3.26	2.94
6	03201VE027	1519.87	26.85	35.75	26.32	24.41	22.01
7	03201VE028	992.15	14.25	18.97	13.97	12.95	11.68
8	03201VE029	778.88	10.61	14.13	10.41	9.65	8.70
9	03201VE030	117.78	1.70	2.26	1.67	1.54	1.39
10	03201VE031	500.46	7.09	9.44	6.95	6.44	5.81
11	03201VE032	465.01	7.20	9.58	7.05	6.54	5.90
12	03201VE038	249.26	5.03	6.69	4.93	4.57	4.12

Tabla 4. Síntesis de los tiempos de recorrido para las vías de evacuación obtenidos en función de las velocidades de escape propuestas en MINVU (2017) para los diferentes tipos de personas que evacuan. Fuente: elaboración propia

En la Figura 7 se muestra otro de los resultados obtenidos, este corresponde a un mapa en el cual se categorizan los tiempos de recorrido necesarios para llegar a la vía de evacuación más cercana a una velocidad de 1,1 m/s. En este se puede observar claramente en colores amarillos y rojos, parte del área de evacuación donde las vías definidas se encuentran mayormente distante, entre los 10 a 22,5 minutos, por lo que sería conveniente planificar una vía para esta zona asegurando la reducción de los tiempos de evacuación.



Figura 7. Tiempo total de recorrido (min) para llegar a la vía de evacuación más cercana a una velocidad de 1,1 m/s.  
Fuente: Elaboración propia

El mapa de la Figura 8, da cuenta de los tiempos necesarios para llegar a la salida del área de evacuación más cercana. Comparando la situación del área crítica identificada en la figura 8 con este mapa, se puede observar que usando la salida más cercana del área de evacuación en vez de tomar aquella establecida por la vía, los tiempos se ven reducidos, logrando evacuar hasta en 5 minutos.

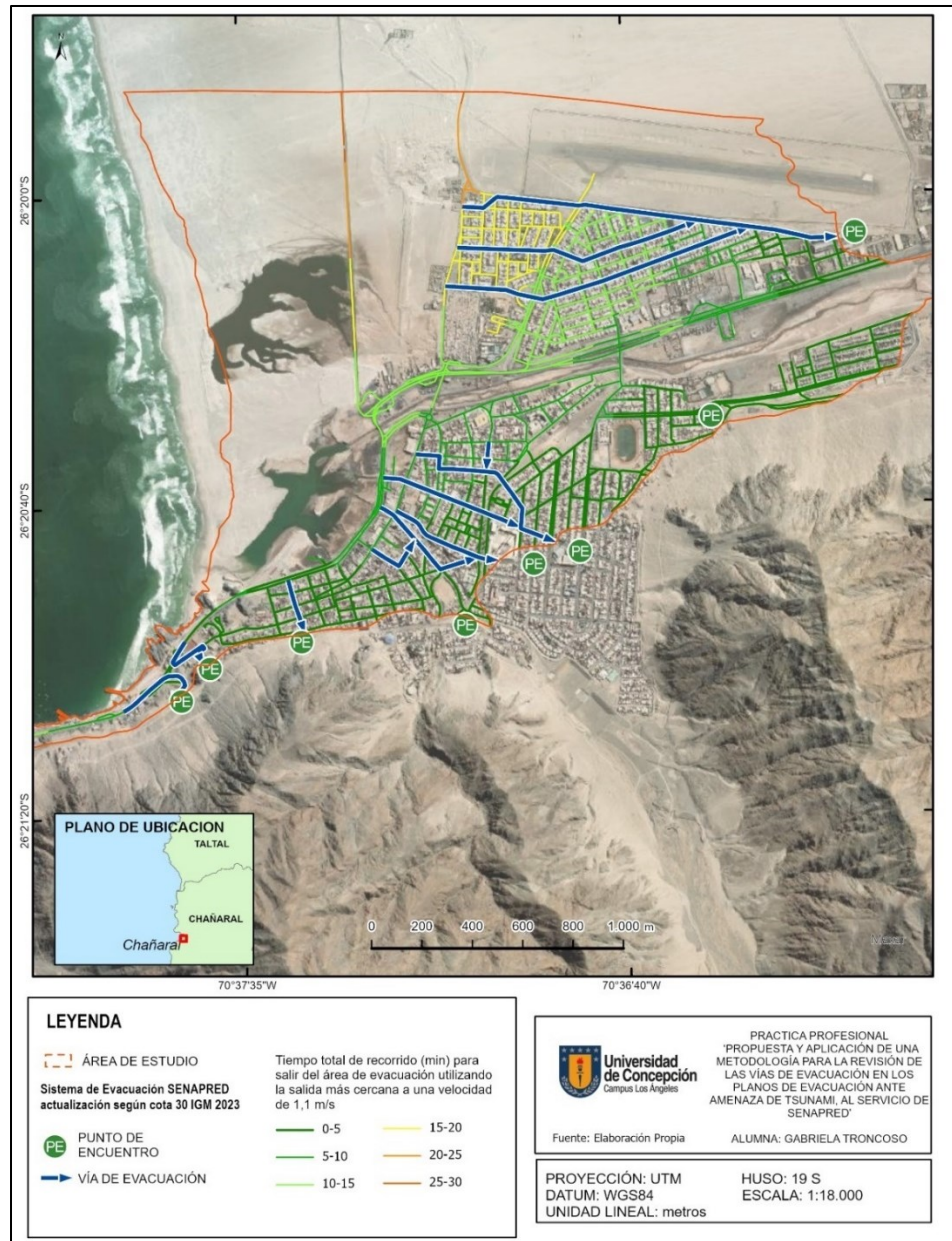


Figura 8. Mapa Tiempo total de recorrido (min) para salir del área de evacuación utilizando la salida más cercana a una velocidad de 1,1 m/s. Fuente: Elaboración propia

Complementando el análisis de los tiempos de evacuación, el mapa de la Figura 9, representa la distribución espacial de los tiempos de evacuación (min) a nivel de área de estudio, en donde las zonas críticas corresponden a las áreas con tiempos por sobre los 15 minutos.

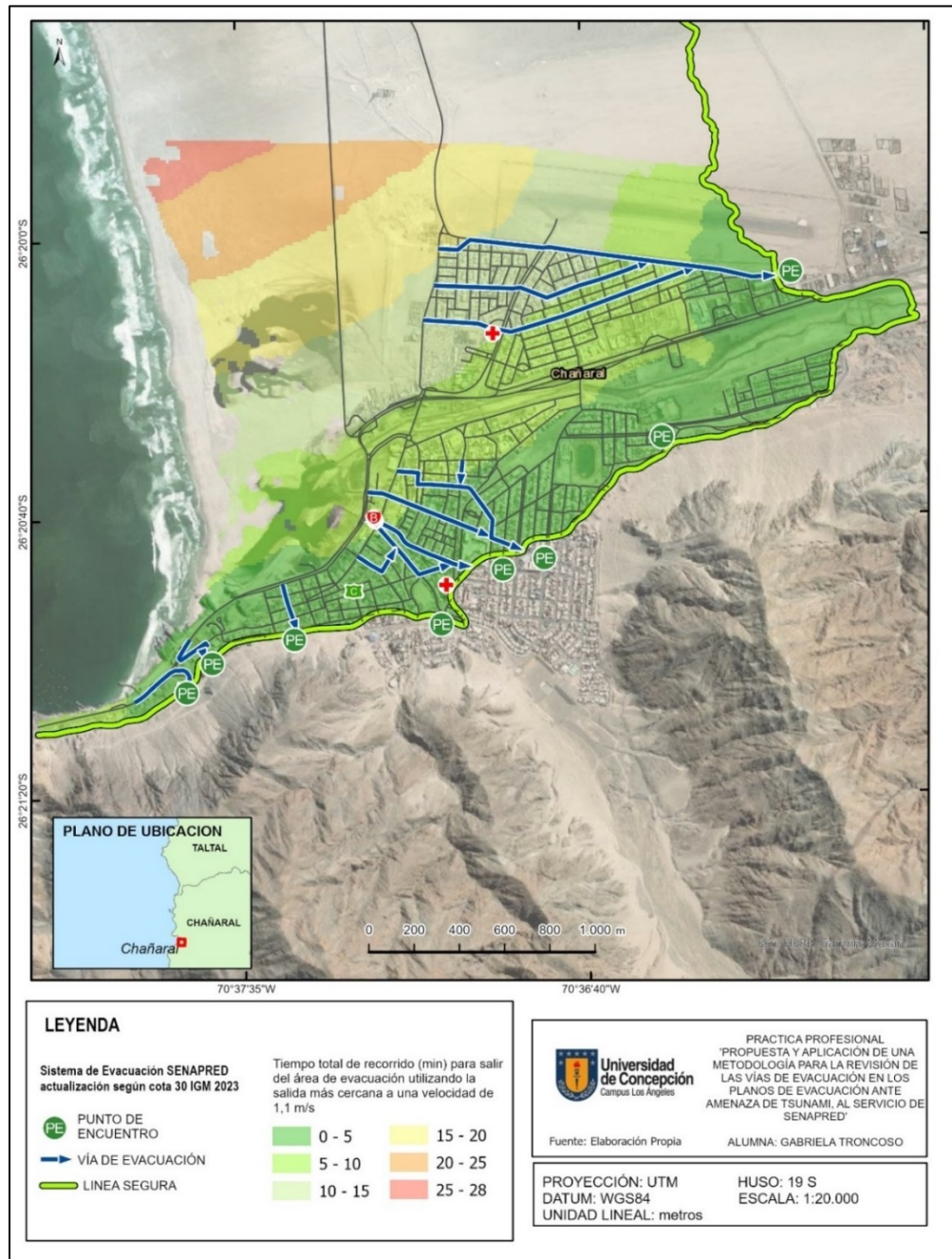


Figura 9. Mapa Tiempos de recorrido (min) para salir del área de evacuación utilizando la salida más cercana a una velocidad de 1,1 m/s. Fuente: Elaboración propia.

## 6. Conclusiones

El sistema de trabajo actual para la planificación de vías de evacuación y puntos de encuentro está a cargo de los gobiernos locales, y es realizado en base a procedimientos que dependen de recorridos presenciales para identificar rutas, sin la garantía de un análisis geoespacial detallado, la aplicación de criterios generales que no son de carácter normativo (lo que no asegura su consideración), y de técnicas como el mapeo comunitario que permite la participación de los habitantes o líderes comunitarios para definir rutas y puntos de encuentro.

Aunque algunos de estos enfoques aportan conocimiento valioso, no siempre se complementa con datos técnicos o análisis objetivos, lo que puede llevar a la implementación de planes que, aunque cumplen con evacuar a la población expuesta, en la práctica no asegura que se logren los tiempos de evacuación ideales, exponiendo a ciertas áreas a mayores riesgos. Esta falta de análisis espacial detallado también dificulta la identificación de puntos críticos y oportunidades de mejora en las rutas o puntos de encuentro propuestos.

Como se ha propuesto, las herramientas de análisis espacial se podrían calcular rutas óptimas basadas en impedancias específicas, como pendientes o tiempos de desplazamiento. De igual manera, se podrían identificar áreas donde los tiempos de evacuación superan los límites aceptables, guiando intervenciones específicas.

En la práctica profesional se estudió y puso a prueba una propuesta metodología para realizar un análisis detallado y eficiente de los tiempos de evacuación, incorporando el uso

de Sistemas de Información Geográfica. Aunque no fue posible proponer cambios en las vías de evacuación debido a diversas dificultades, se evaluaron y propusieron dos enfoques metodológicos para encaminar el proceso de planificación de nuevas vías. De esta manera, se realiza un aporte parcial en cuanto a dichas labores, dando provecho a las metodologías que fueron revisadas, pero que no pudieron ser implementadas como tal durante el desarrollo de la práctica profesional.

Si bien se estudió la proposición de un método detallado, ideado para ser implementado por la unidad encargada de la validación de los planos de evacuación, se constató una limitación significativa en la capacidad operativa y en la disponibilidad de tiempo de la unidad. Esto dificulta atender adecuadamente los requerimientos asociados con una planificación más detallada y robusta, especialmente considerando los tiempos reducidos asignados para estas tareas.

Por esto, sería recomendable que la metodología desarrollada se integrara directamente en las unidades de gestión de riesgo de los gobiernos locales. Estas unidades, al estar encargadas de la planificación y diseño de sistemas de evacuación, cuentan con mayor flexibilidad en los tiempos disponibles para llevar a cabo estos procesos y también cuentan con la oportunidad de optar a fondos para financiar recursos necesarios, como por ejemplo equipos para el levantamiento de datos y contratación de geomáticos, lo cual sería muy útil para mejorar la calidad de los análisis.

## 7. Aprendizajes

En la práctica profesional realizada, se trabajó el estudio y desarrollo de una solución practica en el ámbito de la gestión y prevención de los desastres naturales. Particularmente, se integraron competencias y herramientas de la Geomática para la evaluación de los Planos de Evacuación ante Amenaza de Tsunami, definiendo flujos de trabajo para el análisis de los tiempos de evacuación, evaluando además herramientas para la planificación de vías evacuación optimas.

Los aprendizajes obtenidos de este proceso serán valiosos para abordar futuros proyectos relacionados a la gestión de riesgos, pues no solo se aplicaron conocimientos o capacidades prácticas y analíticas, sino que también se fortalecieron diversas competencias fundamentales para el desempeño profesional de un Ingeniero Geomático en esta u otras áreas.

La formación académica fue clave para el desempeño logrado, ya que las herramientas, habilidades técnicas y conocimientos adquiridos durante el plan de estudios resultaron fundamentales para abordar los desafíos planteados en la práctica. Se constató que la formación recibida no solo aporta soluciones concretas a problemas en la gestión de riesgos, sino que también responde a las crecientes necesidades de profesionales capacitados en esta área.

## 8. Referencias

- Febrina, R., Evan, D. K., Afriani, L., Retno, R. M., & Fitra, H. A. (2020). The analysis of tsunami evacuation route based on geographic information system: A case study in the coast of Lampung Bay. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 807(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/807/1/012022>
- Knoblauch, R., Pietrucha, R., & Nitzburg, M. (1996). Field Studies of Pedestrian Walking Speed and Start-Up Time. *Transportation Research Record*, 1538, 27-38.
- León, J., & March, A. (2014). Urban morphology as a tool for supporting tsunami rapid resilience: A case study of Talcahuano, Chile. *Habitat International*, 43, 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.04.006>
- MINVU (2017). *Guía de Referencia para Sistemas de Evacuación Comunes por Tsunami* (Vol. 6). Monografías y Ensayos: Serie Espacios Públicos Urbanos. Santiago, Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. ISBN: 978-956-9432-16-3.
- Moris, R., R. Cienfuegos, F. Arenas F., J. Giron.s, C. Escauriaza, C. Ledezma, M. Lagos, R. Hidalgo, P. Osses, L. Moya y J. Heitmann. (2010). Estudio de riesgo de sismos y maremoto para comunas costeras de las regiones de O'Higgins y del Maule. Observatorio de Ciudades, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- ONEMI (2018). Plan Nacional Específico por variables de riesgo Tsunami (Versión 0.0). 27-28
- SENAPRED (2024). Instructivo 'Consideraciones asociadas al desarrollo de Planos de Evacuación establecidas por SENAPRED' (Versión 1.2).

- Sugimoto, T., Murakami, H., Kozuki, Y., & Nishikawa, K. (2003). A Human Damage Prediction Method for Tsunami Disasters Incorporating Evacuation Activities. *Natural Hazards*, 29, 585-600.
- Tobler, W. (1993). Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling: Non-isotropic Geographic Modeling; Speculations on the Geometry of Geography; and Global Spatial Analysis. University of California. Center for Geographic Information and Analysis Technical Report, 93(1).
- Villagrán, C. (2022). Vías de Evacuación e Infraestructura Crítica para la Gestión del Riesgo frente a Tsunamis en la ciudad de La Serena: Un Análisis de las Relaciones Territoriales Asociadas. Tesis de Magíster. Universidad de Chile.
- Wood, N. J., & Schmidlein, M. C. (2011). Anisotropic path modeling to assess pedestrian-evacuation potential from Cascadia-related tsunamis in the US Pacific Northwest. *Natural Hazards*, 62(2), 275–300.
- Wood, N., & Schmidlein, M. (2012). Community variations in population exposure to near-field tsunami hazards as a function of pedestrian travel time to safety. *Natural Hazards*, 3(65), 1603-1628.

## 9. Anexos

- Anexo 1 [Bitácora con el detalle de los periodos en los que se llevaron a cabo las actividades de actualización de los planos de evacuación.](#)
- Anexo 2 [Solicitud municipal para la modificación y creación de planos de evacuación de la comuna de Tomé.](#)
- Anexo 3 [Modificaciones solicitadas para los planos de evacuación las comunas de Mariquina, Valdivia, Corral y La Unión.](#)
- Anexo 4 [Consideraciones asociadas al desarrollo de Planos de Evacuación establecidas por SENAPRED.](#)
- Anexo 5 [Reporte de la aplicación de la metodología en la comuna de Chañaral.](#)
- Anexo 6 [Diagrama de geo procesos para la preparación de las capas necesarias para desarrollar un análisis de redes.](#)
- Anexo 7 [Planos de Evacuación Ante Amenaza de Tsunami de la Región de Atacama actualizados.](#)
- Anexo 8 [Planos de Evacuación Ante Amenaza de Tsunami de la Comuna de Tomé actualizados.](#)
- Anexo 9 [Planos de Evacuación Ante Amenaza de Tsunami de la Región de Los Ríos actualizados.](#)