

VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS FRENTE AL RIESGO VOLCÁNICO

Diseño constructivo en la localidad de Chaitén, Región de Los Lagos

Estudiante
Josefa Martí R

Profesor Guía
Jaime Díaz B

Universidad de Chile
Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Seminario de Investigación
Tecnología

Resumen

La investigación surge en los términos de generar una propuesta metodológica para analizar la vulnerabilidad física de las edificaciones de uso residencial expuestas a la amenaza volcánica. Para ello, se escoge el caso de estudio de la erupción volcánica que afecta a la ciudad de Chaitén el año 2008. El objetivo principal es identificar y caracterizar la vulnerabilidad de los elementos constructivos susceptibles a daños ante el riesgo volcánico.

En ese sentido, se utiliza un método que consiste en recopilar información y registro fotográfico de lo ocurrido para luego analizar las características y daños de las viviendas de estudio. Con esto, se definen las variables de vulnerabilidad y las ponderaciones para comenzar a trabajar con las tablas de niveles de vulnerabilidad física. Una vez evaluadas las viviendas, se recomiendan modificaciones respecto a los elementos constructivos con mayor nivel de vulnerabilidad, entre ellos, fundaciones, cubierta, revestimiento exterior y vanos. La mayoría de las medidas de reducción de vulnerabilidad están relacionadas a la protección de los elementos ante agentes externos para evitar patologías constructivas por procesos volcánicos, la caída de ceniza volcánica y el lahar, como también por fenómenos del lugar, como las precipitaciones y la presencia de mar y ríos.

Palabras claves: *Riesgo volcánico; Viviendas; Vulnerabilidad Física; Chaitén*

Abstract

The research arises in terms of generating a methodological proposal to analyze the physical vulnerability of buildings for residential use exposed to the volcanic threat. To do this, the case study of the volcanic eruption that affects the city of Chaitén in 2008 is chosen. The main objective is to characterize the vulnerability of construction elements susceptible to damage to volcanic risk.

For this case, a method is used that consists of collecting information and photographic recording of what happened and then analyzing the characteristics and damage of the studio homes. With this, vulnerability variables and weights are defined to start working with the physical vulnerability level tables. Once the houses have been evaluated, modifications are recommended with respect to the construction elements with the highest level of vulnerability, including foundations, roof, exterior cladding and openings. Most vulnerability reduction measures are related to the protection of the elements from external agents to avoid constructive pathologies due to volcanic processes, the fall of volcanic ash and lahar, as well as local phenomena, such as rainfall and the presence of sea and rivers.

Keywords: *Volcanic risk; Housing; Physical Vulnerability; Chaitén*

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
RIESGO VOLCÁNICO	3
VULNERABILIDAD	6
ÁREA DE ESTUDIO	7
LOCALIDAD DE CHAITÉN	7
ERUPCIÓN VOLCÁN CHAITÉN	8
METODOLOGÍA	13
CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS	14
ESTUDIO DE VIVIENDAS CHAITÉN	19
ANÁLISIS CUALITATIVO DE DAÑOS OBSERVADOS	22
ANÁLISIS CUANTITATIVO VARIABLES VULNERABILIDAD FÍSICA	34
DISCUSIÓN	38
MEDIDAS DE REDUCCIÓN VULNERABILIDAD FÍSICA	40
CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS	47
ANEXOS	50

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La actividad volcánica es una de las amenazas naturales más dañinas para la sociedad y su territorio. Esta situación conduce al aumento del riesgo volcánico de asentamientos ubicados en áreas donde la amenaza es inminente, así, la probabilidad de experimentar daños materiales y humanos es muy alta. En cuanto a los procesos volcánicos, la mayoría de ellos son altamente destructivos y se pueden asociar directamente de la actividad volcánica, como los flujos de lava, flujo de piroclastos, emisiones de gases tóxicos y la caída de ceniza volcánica, sin embargo, el entorno natural genera otros procesos que inciden de la misma manera en el lugar, como las avalanchas y los lahares.

Para esta investigación, se estudia la vulnerabilidad de las viviendas expuestas al peligro volcánico, por medio de los efectos y daños sobre las edificaciones, las que pueden verse afectadas por factores de localización y de exposición a la amenaza. Sobre esto, Chile es el quinto país del mundo con más volcanes activos, 90 volcanes en total, de los cuales la mitad se encuentran monitoreados instrumentalmente por la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV) del Sernageomin (SERNAGEOMIN, 2018). No obstante, en la mayoría de ellos, los centros poblados se sitúan en áreas expuestas por ubicarse en un radio de influencia de 30 km del volcán, esto ocurre particularmente en la zona centro-sur del país. Pese a ello, la escasez de información asociada a la vulnerabilidad de las edificaciones frente a la amenaza volcánica, por sobre todo en la práctica y desde la perspectiva de la arquitectura chilena es ínfima. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es analizar la vulnerabilidad de los elementos constructivos de las viviendas expuestas al riesgo volcánico y el impacto de los fenómenos volcánicos desde un análisis en el diseño constructivo y estructural de las edificaciones. Para lograrlo, se utilizó un caso de estudio de la erupción del Volcán Chaitén ocurrido el año 2008 en las cercanías de la ciudad de Chaitén ubicada en la Región de los Lagos, localidad en la que se encuentra mayor material físico y analítico de las viviendas de Chaitén.

En primera instancia se presentan los antecedentes más relevantes de la amenaza volcánica y el área de estudio, seguidamente de la metodología, donde se detallan las herramientas y técnicas que permiten desarrollar la investigación, para luego continuar con la discusión y el análisis de los resultados. La investigación finaliza con la conclusión y anexos que entregan información adicional relacionada al tema de investigación. En cuanto a la estrategia metodológica se decidió por utilizar un análisis cualitativo a través del estudio del material fotográfico y, un análisis cuantitativo en base a informes que definen niveles de vulnerabilidad, variables e indicadores vulnerables y, la exposición del volcanismo.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Vulnerabilidad del sistema constructivo de las viviendas expuestas al riesgo volcánico en la práctica de la arquitectura chilena.

OBJETIVO GENERAL

Identificar y analizar la vulnerabilidad de los sistemas y elementos constructivos expuestos de las edificaciones ante la amenaza volcánica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar riesgo de desastres socio naturales y amenaza volcánica en Chile.
- Describir el fenómeno y el impacto de la erupción volcánica de Chaitén en las viviendas.
- Describir las variables de vulnerabilidad física de las edificaciones ante la amenaza volcánica de Chaitén.
- Identificar y describir las características y daños de las edificaciones provocados por los procesos volcánicos.
- Recomendar cambios en el diseño constructivo para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones.

RIESGO VOLCÁNICO

Las amenazas naturales se comprenden como la alteración del medio natural con efecto negativo en humanos, asentamientos y ecosistema. Los que causan más daños a la comunidad, generalmente son los tsunamis, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas debido a que el tiempo para predecir el evento es bajo. De esta manera, el impacto de alguno de ellos sobre una población genera lo que se denomina Desastre Socio-Natural, el cual “se origina a partir de decisiones que atañen a las sociedades, puesto que la exposición a las amenazas no es natural” (Vargas, 2002). Por eso, el problema es resultado de un factor natural como antrópico y desencadena en una sociedad y territorio vulnerable, consecuencias de carácter negativo que nacen del concepto de riesgo en función del tipo de amenaza que se encuentre en el lugar. El riesgo de desastres por lo tanto es la “probabilidad de experimentar daños y pérdidas de vidas humanas, sociales, económicas o ambientales en un área particular y durante un periodo de tiempo definido” (ONEMI, 2021). Este al no ser gestionado o apoyado por las capacidades regionales y comunales, repercute en situaciones aún más desfavorable, las catástrofes.

Generalmente el riesgo de desastres se define de la siguiente manera:

Riesgo de desastre = (Amenaza x Vulnerabilidad x Exposición) / Resiliencia o Capacidad de afrontamiento. (UNDISR, 2012)

Cabe señalar que, la correlación entre los factores manifiesta que el riesgo se verá aumentado si el grado de vulnerabilidad y de exposición a la amenaza aumenta, pero, reducido por las capacidades de recuperación de la comunidad. Entonces se estima que, frente a una misma amenaza, los

1. Tipo de Volcán: Estratovolcán; Cono de Piroclastos; Volcán; Escudo, Domo; Complejo Volcánico; Grupo Volcánico; Maar.

2. Tipo Erupción: Estromboliana; Hawaiana; Pliniana; Vulcaniana.

3. Procesos Volcánicos: Flujo de lava; Lahar; Flujo piroclástico; bombas; caída ceniza volcánica; gases.

4. Índice de explosividad volcánica: valores varían entre 0 hasta 8.

5. Recurrencia eruptiva: actividad de volcanes cada 100 años o más.

efectos serán variables al grado de cada uno de los factores que presente ese territorio y sociedad en particular para enfrentarse al desastre.

Esta investigación se plantea en torno a la amenaza volcánica en representación de una geografía chilena reflejada por una cordillera establecida por diversos volcanes. Actualmente existen unos 90 volcanes potencialmente activos en Chile y 60 de ellos tienen registro histórico de su actividad (SERNAGEOMIN, 2022), sin embargo, sólo 45 son monitoreados por su nivel de peligrosidad y actividad de al menos una erupción en los últimos 10 mil años. El Servicio Nacional de Geología y Minería es quien concibe en 1992 el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) y, para el año 2009 se crea la Red Nacional de Vigilancia Volcánica (RNVV), organismo técnico nacional encargado del monitoreo volcánico y, de la evaluación de la actividad volcánica y sus peligros asociados, junto con la emisión de reportes con niveles de alerta (SERNAGEOMIN, 2018).

En cuanto a las actividades volcánicas, se logra identificar dos tipos de factores en referencia a los antecedentes volcánicos, los que inciden directamente en el impacto sobre la población y asentamientos.

Factores de peligro volcánico: Tipo de volcán¹, Tipo de erupción², Proceso volcánico³, Índice de explosividad volcánica (IEV)⁴ y Recurrencia eruptiva⁵

Factores de exposición volcánica: Localización, la que puede variar según topografía o geomorfología.

Entre los factores mencionados, los procesos volcánicos y la localización son los más relevantes para el desarrollo de la investigación. En las erupciones la actividad volcánica presenta un nivel de peligrosidad particular en cada uno de los fenómenos volcánicos, donde según la ONEMI (2021) el **flujo de lava** es uno de los más peligrosos, un material incandescente, de alta temperatura (700 - 1.200°C) que se forma cuando el magma sale a la superficie y fluye por gravedad, destruyendo todo lo que encuentra a su alcance y está determinado por la pendiente del terreno y la viscosidad de la lava. En la misma materia, el **flujo de piroclastos** se manifiesta como una nube densa que se desplaza por las laderas de un volcán a altas temperaturas y velocidad alcanzando hasta los 700°C y 500 km/h respectivamente. En función del tamaño se clasifica en ceniza (<2 mm), lapilli (2-64 mm) o **bomba/bloque** (>64 mm), siendo este último altamente destructivo. A partir de fenómeno, el material desplazado por el viento genera más situaciones, una de ellas son los **gases**, que provienen de la columna eruptiva y que son liberados poniendo en riesgo de toxicidad a humanos, animales, agricultura y materiales, debido a su acidez y corrosividad. Así como también, la caída de **ceniza volcánica** que se desplaza a través de los vientos hacia la superficie terrestre y pueden alcanzar centenares de kilómetros en función de la altura de la columna eruptiva. Fenómeno que podría causar una amenaza mayor en contextos donde el clima es lluvioso o contiene cuerpos de agua, originando flujos formados por fragmentos volcánicos de alta densidad, cuyo agente de transporte es el agua, denominada **lahar**.

A continuación, se presenta a grandes rasgos cuales serían los daños según el tipo de proceso volcánico, donde se reconoce que los daños de mayor intensidad se encuentran en los flujos de lava, proyectiles balísticos y lahares, mientras que los de intensidad media, la caída de piroclastos y gases.

Tabla 1. Peligros asociados al volcanismo

Peligro	Factores de Peligro	Tipo de daño	Alcance	Condicionantes
Lluvia de tefra y proyectiles balísticos	Proyección de bombas	Daños por impacto, incendios	Alrededores del volcán (<10km)	Tamaño de proyectiles. Mayor tamaño, menor alcance; menor tamaño, mayor alcance
	Caída de piroclastos y dispersión de cenizas	Recubrimiento de cenizas, colapso de estructuras, daños a la agricultura, daños a instalaciones industriales y viviendas, problemas de tráfico aéreo, falta de visibilidad, contaminación de aguas	Centenares de kilómetros	Dirección del viento
	Gases	Envenenamiento, contaminación del aire y agua	Decenas a centenares de kilómetros	Dirección del viento y hacia donde colapsa la columna de tefra
Lavas y Edificio volcánico	Lavas y Domos	Daño a estructuras, incendios, recubrimiento por lavas	Alrededores del volcán (<10 km)	
	Deformación de terreno	Fallas, daños a estructuras	Alrededores del volcán (<10 km) puede ser de cientos de kilómetros	
	Terremotos y temblores volcánicos	Colapso del edificio volcánico, remoción en masa, daños a estructuras	Alrededores del volcán (<10 km) puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología
Remoción en masa	Lahares	Daños a estructuras, arrastre de materiales, recubrimiento por barros	Decenas a centenares de kilómetros	Red de drenaje
	Colapso parcial o total del edificio volcánico	Daños estructuras, recubrimiento por detritos, avalanchas, tsunami inducido	Alrededores del volcán (<10 km) puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos
	Deslizamiento de laderas	Arrastre de materiales, recubrimiento por detritos, daños estructuras	Alrededores del volcán (<10 km) puede ser de cientos de kilómetros	Geomorfología y cuerpos de agua cercanos

Fuente: Etapa 2. Diagnóstico y Modelación. INFRACON Consultores. (2011).

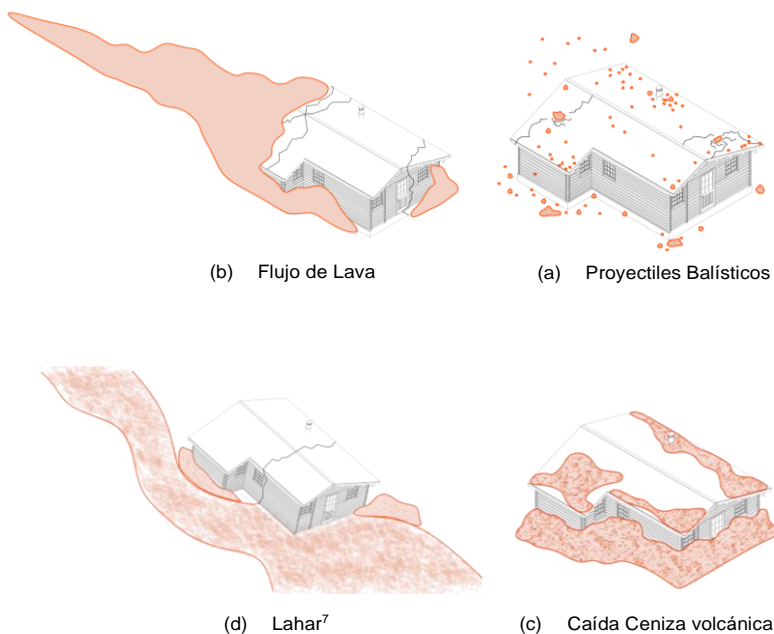
6. Columna Eruptiva: Columna de gases, cenizas y material fragmentado que asciende a la atmósfera durante una erupción. Según las condiciones de energía y volumen, la columna puede incorporar aire circundante y alzarse aún más por convección alcanzando alturas de varios kilómetros. La región límite donde las partículas dejan de ascender origina la pluma, que corresponde a la fracción de material piroclástico más fino dispersada por el viento. ONEMI (2018)

7. Lava: Magma que alcanza la superficie terrestre sin fragmentarse durante una erupción volcánica. El término se aplica tanto al material líquido que se expulsa durante la erupción como al material ya frío y solidificado. ONEMI (2018)

La vulnerabilidad desempeña el rol principal en la investigación, la que se desarrolla con “las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptible a los efectos dañinos de una amenaza específica” (Padrón, 2015). Esta se compone de tres factores, la **exposición** del elemento que se encuentre en zona potencialmente amenazada, la **fragilidad** de la susceptibilidad de los elementos a ser afectados o sufrir daños de manera física, socioeconómica o ambiental y, las **capacidades** de recuperación de la comunidad determinados por la gobernación local y su nivel de preparación. Para esta investigación se estudiará la **vulnerabilidad física** de las viviendas, la que corresponde a todos los elementos expuestos de una edificación, particularmente sus características constructivas, que son susceptibles a sufrir daños y verse afectados en calidad, resistencia y pérdida parcial o total ante un fenómeno de una intensidad determinada.

La vulnerabilidad física ha sido estudiada en distintas amenazas naturales a lo largo de los años, no obstante, las metodologías para analizar la vulnerabilidad física ante el fenómeno volcánico es muy escasa en Chile. De acuerdo con el estudio de riesgo del volcanismo por INFRACON Consultores (2012), quienes desarrollan una estrategia de trabajo mediante un análisis cualitativo y cuantitativo de la exposición y vulnerabilidad, consideran que los aspectos constructivos de las edificaciones se pueden evaluar de forma cualitativa y cuantitativamente según el grado del daño y al tipo de proceso volcánico al que este expuesto. En la Figura 1 se muestra el impacto de los procesos volcánicos⁶ sobre las edificaciones, en los que se producen problemas constructivos por colapso de cubiertas, estructura, deterioro del material, desplomo y pérdida total.

Figura 1. Impacto de los procesos volcánicos en edificaciones



Fuente: Elaboración propia.

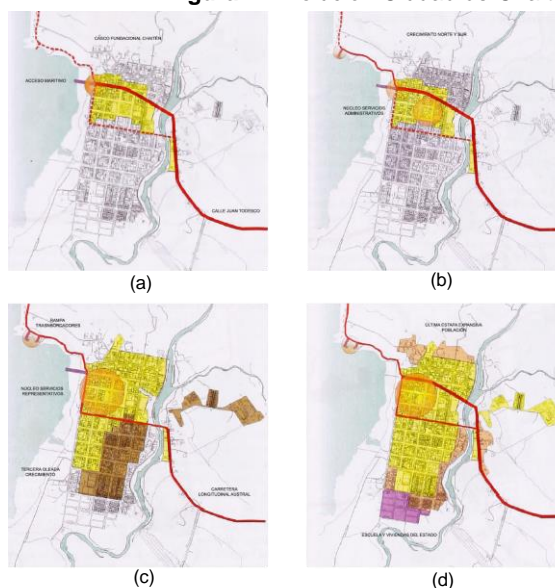
En función de los antecedentes geográficos de Chile, que poseen a lo largo de su cordillera 90 volcanes activos, se buscan y analizan los casos de erupciones volcánicas ocurridas en el país y el ranking de peligrosidad de los volcanes. A través del cual, se puede establecer que el colapso del edificio volcánico Chaitén ocurrido el año 2008 es el escenario más cercano y con mayor material informático y visual del impacto que este trajo a la ciudad de Chaitén.

LOCALIDAD DE CHAITÉN

La ciudad de Chaitén está ubicada en la provincia de Palena, en la Región de los Lagos de Chile se desarrolla en una estructura de damero con una superficie de ocupación del área consolidada de 178 há, Esta fue fundada en 1933 con la llegada espontánea de habitantes de Chiloé y Argentina, amantes de la pesca, situados en un territorio que proveía de vegetación y mar para desarrollar ese trabajo. Nace así, de manera estratégica Chaitén Viejo, por una necesidad de supervivencia y desarrollo humano, el que luego fue creciendo para albergar 4.065 habitantes y 1.224 viviendas para el año 2002 (INFRACON Consultores, 2012).

La localidad de Chaitén abarca una superficie de 38 km² y es posible acceder a través de dos vías, una terrestre por la Carretera Longitudinal Austral o Ruta 7 y, una marítima que conecta con Puerto Montt y Chiloé. Sus principales actividades económicas según la encuesta Casen del 2006 eran el servicio público, el comercio, el turismo, la pesca, la agricultura y la ganadería (Pérez, 2010). En esta se pueden diferenciar tres sectores, el Sector Norte compuesto de viviendas de alto estándar que se encuentran sobre los lomajes, el Sector Centro que conforma el Chaitén histórico fundacional, donde se concentran las primeras viviendas, comercio y servicios del lugar y, por último, el Sector Sur formado por viviendas construidas gracias al subsidio habitacional.

Figura 2: Evolución Ciudad de Chaitén



Fuente: Delgado, G. Huneus, T. Jaldes, C. Villarroel, G. (2005).

De acuerdo con el texto Chaitén: su historia desde la memoria por Delgado, G. Huneus, T. Jaldes, C. Villarroel, G. (2005), la arquitectura se desarrolla principalmente a través de la influencia chilota, arquitectura tradicional en manos de los carpinteros, quienes impregnan en Chaitén una identidad cultural, constructiva, arquitectónica y una relación con el medio a través de la madera por la búsqueda de mejores condiciones de calidad de vida en un nuevo asentamiento. Este oficio permitió la construcción de la mayoría de las viviendas, técnicas que perduran hasta hoy en la localidad, valores que destacan por la autoconstrucción y autogestión de los habitantes y, supervisión de carpinteros chilotos. La utilización de la madera se encuentra en la edificación total como material fundamental, la madera de Alerce para las tejuelas, el Coigüe y el Mañío para las estructuras de las construcciones, mientras el Ciruelillo, Tapa y Ulmo para la elaboración de muebles (Godoy, 2013). A través de los años junto a otros materiales, como las planchas de zinc, han enriquecido ciertos aspectos físicos de las construcciones que los materiales locales no han resuelto, como patologías constructivas y deterioro por antigüedad y autoconstrucción. Sin embargo, Chiloé no fue la única influencia arquitectónica, pues la pampa argentina también colaboró, quienes al radicar en Chile desarrollaron ciertas técnicas constructivas en base a albañilería de ladrillos, desconociendo las técnicas desarrolladas con la madera por la ausencia de árboles y, con otros conceptos relacionados a la vivienda, separando el interior del exterior y, lo privado de lo público a través de ventanas y puertas (Delgado, Huneus, Jaldes & Villarroel, 2005)

ERUPCIÓN VOLCÁN CHAITÉN

El volcán Chaitén se ubica en la décima Región de Chile y corresponde a un complejo de domos riolíticos dentro de una caldera de colapso de cerca de 3 km de diámetro, localizado a 10 km del pueblo homónimo, en este caso, de la localidad de Chaitén (SERNAGEOMIN, 2018).

Las Tabla 2 y 3 indican los factores de peligro y exposición respectivamente del volcán Chaitén, como también las características geológicas y el potencial de impacto no solo en las construcciones sino también en la población e infraestructura, razón por la cual se posiciona dentro de los 15 volcanes más peligrosos del ranking de riesgo específico de volcanes activos desde el 2008 hasta el día de hoy.



Fuente: Patagonia Desconocida (2018).

Tabla 2. Factores de Peligro

Tipo volcán (0-1) ⁸	1
Máximo IEV (0-3) ⁹	2
Actividad explosiva < 500 años (0-1)	1
Actividad explosiva < 5.000 años (0-1)	1
Recurrencia eruptiva (1-4)	3
Ocurrencia flujo piroclastos en el holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de lavas en el holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de lahares en el holoceno (0-1)	1
Ocurrencia de tsunamis en el holoceno (0-1)	0
Potencial de explosiones hidrotermales	0
Potencial de colapso de flanco(0-1)	0
Potencial de generación de lahares (0-1)	0
Actividad sísmica	1
Deformación (0-1)	1
Desgasificación (0-1)	1
Subtotal Factores de Peligro	14

Fuente: Subdirección Nacional de Geología. (2011).

8. Tipo de volcán (0,1):

Si el volcán es un cono de piroclastos, un pequeño volcán de escudo o un centro fisural (0). Si el volcán es un estratocono, domo, complejo volcánico, maas o caldera (1)

9. Máximo IEV (0, 3):

Si el máximo IEV conocido es <2 el puntaje es (0).

Si el máximo IEV conocido es 3 o 4 el puntaje es (1)

Si el máximo IEV conocido es 5 o 6 el puntaje es (2)

Si el máximo IEV conocido es >7 el puntaje es (3)

9. Población en zona de alto peligro: Log10 del número de habitantes en un radio de 30 km en torno del volcán.

10. Erupción Pliniana:

erupciones muy violentas con importante emisión de piroclastos (pómez y ceniza) y generación de columnas eruptivas que usualmente alcanzan alturas entre 15 y 35 km por sobre el volcán (IEV=5-7), y que se prolongan por periodos de horas a días. Las zonas aledañas al volcán son afectadas por el emplazamiento de flujos piroclásticos, mientras que la caída de ceniza puede afectar miles de km² de superficie, y provocar trastornos a localidades ubicadas lejos del centro de emisión

Tabla 3. Factores de Exposición

Log10 Población en zona de alto peligro ¹⁰	3,6
Log10 población en zona distal	0
Víctimas fatales (0-1)	0
Evacuaciones (0-1)	1
Exposición de la aviación local (0-2)	2
Exposición de la aviación regional (0)	0
Infraestructura energética (0-1)	1
Infraestructura de transportes (0-1)	1
Áreas de desarrollo o protección (0-1)	1
Islas oceánicas (0-1)	0
Subtotal factores de exposición (vulnerabilidad)	9,6

Fuente: Subdirección Nacional de Geología. (2011).

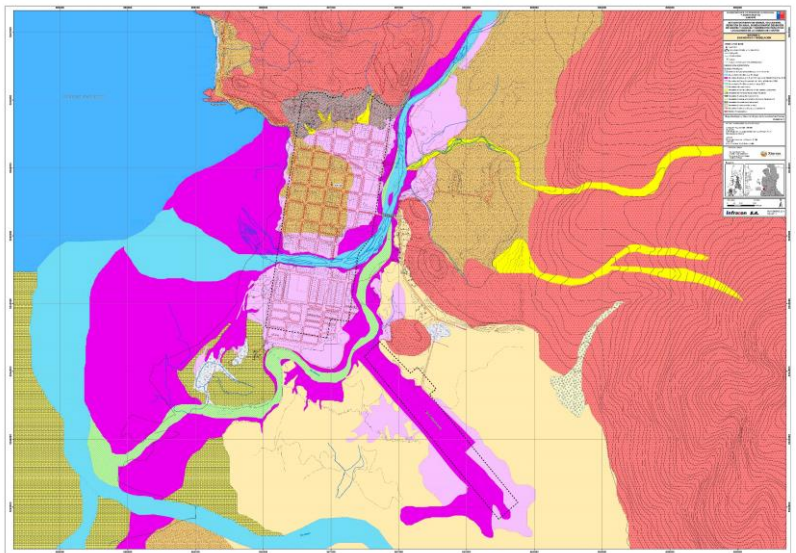
La riqueza natural de la ciudad de Chaitén, compuesta de cerros, vegetación, agua dulce y salada escondía la posibilidad de encontrar otro elemento de la naturaleza, la que inesperadamente aparece como una amenaza hacia la población, pues sus habitantes no tenían conocimiento alguno de que en su entorno próximo se encontraba un volcán aparentemente activo, como tampoco el resguardo del gobierno local u ordenamiento territorial para enfrentarse a él. Por esta razón, la presencia del Volcán Chaitén ubicado al noreste de la ciudad de Chaitén tuvo relevancia cuando el 2 de mayo de 2008 el Sernageomin confirma la actividad explosiva del volcán emitiendo alerta roja y declarando que “hizo erupción sin registro histórico de erupciones previas” (ONEMI, 2010). La columna eruptiva se elevó alrededor de 20 km de alto y a través de los vientos el material piroclástico se dirigió hacia la Patagonia Argentina, en consecuencia, la localidad de Chaitén fue declarada zona de catástrofe ese mismo año (GORE Los Lagos, 2008). Se estima que el “volumen total de magma emitido por la erupción Pliniana¹⁰ sería de 4 km³, mientras que su IEV fue de 4 a 5” (INFRACON Consultores, 2012).

En efecto, las intensas emisiones de gases y material piroclástico sobre la ciudad de Chaitén durante aproximadamente un año la dejaron cubierta de cenizas volcánicas y, junto a las intensas lluvias y el aumento considerable del caudal del río Blanco, provocó el embancamiento y un nuevo cauce pasando por el medio de la ciudad y dividiendo a Chaitén en dos zonas, dando paso a lo que se denomina Chaitén Norte y Chaitén Sur. Estas acciones derivaron en la destrucción de la mayoría de las viviendas

e infraestructura pública. La Figura 3 presenta la potencialidad de la amenaza volcánica y la extensión del desastre sobre toda la ciudad. Por esta razón, la localidad de Chaitén pertenece a una de las ciudades más vulnerables de Chile, expuesto a amenazas naturales que podrían afectar los asentamientos urbanos que se ubican en borde costero, valles y precordillera (Godoy, 2013). Los múltiples fenómenos que rodean la ciudad aumentan el grado de peligrosidad, dejando en evidencia la mala planificación urbana y los pocos recursos que tienen para organizar y entregar herramientas preventivas frente a tales riesgos.

Respecto al impacto de la erupción sobre la localidad, se identifican una serie de situaciones que se muestran en la Figura 4. El desborde del río blanco y su nuevo curso generó la subdivisión de la ciudad y, en consecuencia, las edificaciones que se encontraban en ese camino fueron arrastradas por el lahar. Adicionalmente, el temporal de lluvias y fuertes vientos junto a la caída de ceniza volcánica provocó la inundación de gran parte de la ciudad, afectando la infraestructura pública y la vegetación. Eventualmente, cuando se termina el temporal la acumulación de ceniza volcánica en estado sólido genera una sobre carga dinámica con fuerzas verticales y laterales, provocando el enterramiento de las construcciones o la destrucción parcial y total.

Figura 3. Mapa de Peligros Erupción Volcán Chaitén 2008



Fuente: INFRACON (2012).

Figura 4. Fotografías del impacto de la erupción volcánica.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fuente: Elaboración propia en base a fotografías de MINVU., SERVIU. (2008)

De acuerdo con la Memoria Explicativa de INFRACON Consultores (2012), tras el evento, la Armada de Chile coordinó de inmediato un operativo de evacuación, donde 1.500 personas fueron trasladadas a Puerto Montt y Chiloé en las primeras horas y al día siguiente las restantes. Algunos de los chaiteninos retornaron de inmediato a esta ciudad abandonada debido a que el impacto de los lahares y la ceniza volcánica fue tan alto que los “12 Rebeldes” de Chaitén debieron ajustar sus vidas a la escasez de alimentos y a la ausencia de una red de servicios como agua y luz (Tabla 4). En relación con ello, los servicios básicos como la captación de agua potable, servicentro y antenas fueron mediana y altamente afectadas por el lahar (Figura 5), sin embargo, como la ciudad fue declarada abandonada por el Plan Maestro Ciudad de Chaitén, las autoridades no intervinieron para recuperar y rehabilitarlas, por lo tanto, las empresas correspondientes tampoco entregaron factibilidad de sus servicios hasta 3 años después. Desde el año 2012 la Zona Norte ya contaba con sus redes vitales, no ocurrió lo mismo para el Sector Sur ya que fue declarada área restringida excluida de uso urbano.

A pesar de ello, el 7 de Octubre de 2009, fue promulgada la Ley 20.385, en la cual el Ministerio de Bienes Nacionales faculta al FISCO para comprar y vender los inmuebles urbanos de propietarios particulares en la comuna de Chaitén, lo que generó un descontento social y negación sobre las autoridades, problemas que perduraron hasta finales del 2010 con la restauración de los servicios básicos, el retorno del gobierno local y habitantes que de acuerdo a estimaciones municipales, regresaron al pueblo alrededor de 1.250 personas, la mayor parte de ellas localizadas en Chaitén Norte y unas 300 personas a Chaitén Sur para el año 2012. Al mismo tiempo, de las 1.224 viviendas catastradas del año 2002, 484 de ellas se perdieron totalmente y 2.422 personas abandonaron sus propiedades tras la erupción volcánica, tal como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 4. Estudio Redes Vitales

Sistemas	Tipo	Descripción
Redes Vitales	Sistema de agua	Abastecimiento de agua potable realizado por empresa sanitaria los lagos (ESSAL). El sistema posee captaciones al interior del Parque Palena Total usuarios: 350 clientes (aprox). Las reconexiones se están realizando a ritmo de 5 por mes
Redes Vitales	Sistema de alcantarillado	Previo a la erupción existía PTAS en sector cercano a caleta y calle pillan. Las instalaciones fueron destruidas por el rio blanco. En la actualidad la red está funcionando, aunque el agua no es tratada, solo se efectúa retención de sólidos. Las aguas servidas están siendo vertidas a la bahía. Se encuentran en desarrollo los estudios para la construcción de nueva PTAS
Redes Vitales	Sistema eléctrico	Red de distribución y alumbrado público, empresa abastecedora EDELAYSSEN
Redes Vitales	Sistema de comunicaciones	Existe cobertura de servicio de telefonía móvil de las compañías movistar y entel. También existe cobertura de red telefonía fija. En el sector sur se localizan las antenas de comunicaciones, actualmente fuera de operaciones. La localidad cuenta con sistema de comunicaciones vía fibra óptica de empresa Telsur. existen antenas de comunicaciones en Chaitén sur que están deshabilitadas por falta de suministro eléctrico, la única antena dentro del radio urbano en funcionamiento pertenece a Telsur.
Sistemas de combustibles	Estanques de almacenamiento	Existe venta de combustibles en servicentro que cuenta con estanques subterráneos. El servicentro se localiza en av. Costanera

Fuente: INFRACON (2012).

Figura 5. Plano ubicación Redes Vitales



Fuente: Modificado de INFRACON (2012).

Tabla 5. Catastro Personas y Viviendas Censos 2002- 2017

Localidad Chaitén	Censo 2002	Censo 2017	Variación (%)
Total de Personas	4.065	1.643	-59,58%
Total de Viviendas	1.224	740	-39,54%

Fuente: Censos 2002 y 2017.

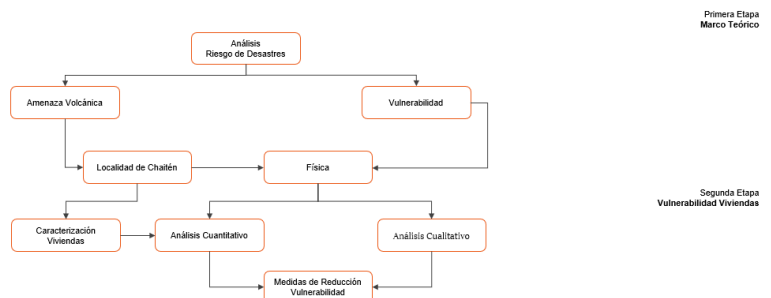
En esta investigación se analizó el impacto de las erupciones volcánicas en las viviendas de la ciudad de Chaitén mediante un análisis cualitativo y cuantitativo de la vulnerabilidad física, donde se caracterizan las variables de vulnerabilidad y los efectos asociados por la erupción del volcán Chaitén.

El primer paso para identificar el impacto del material volcánico en el diseño constructivo de las edificaciones de Chaitén fue la caracterización de la amenaza volcánica y de los procesos volcánicos. Información que funciona como material de apoyo para comprender un tema asociado a la geología que son los volcanes. Seguidamente se recopilieron informes del anteproyecto del Plan Regulador Comunal y estudios sobre el riesgo de la amenaza en la ciudad de Chaitén que, acompañado de las fotografías de las edificaciones previo y posterior a la erupción del volcán permitieron assimilar lo ocurrido. Asimismo, se analizaron las viviendas y se establecieron diferentes características para su posterior utilización en la sección de resultados.

En seguida, se definieron de acuerdo con el estudio de INFRACON (2012) las variables de vulnerabilidad física, las que se clasificaron en exposición, sistema estructural, material de revestimiento en muros, antigüedad de la construcción, altura en pisos, cubierta y estado de conservación. Estos junto a los niveles de daños por vulnerabilidad y exposición, permitió hacer una estimación respecto del impacto de los diferentes procesos volcánicos en las edificaciones de manera cualitativa y cuantitativamente.

De acuerdo con lo anterior, se definieron los objetos de estudio a partir de las características, variables de vulnerabilidad física y material fotográfico. Para ello, se utilizaron diversas tablas existentes y se adaptaron al material de estudio. Una vez completada las tablas, se establece un catastro de daños de las viviendas de acuerdo con las observaciones analizadas desde las fotografías. De esta manera se corrobora mediante un análisis personalizado, si las viviendas más vulnerables cualitativamente son las mismas que las analizadas mediante las ponderaciones de las variables.

Luego de completar la sección de resultados mediante una reflexión sobre lo investigado se prosiguió a las discusiones y conclusiones sobre las posibles medidas de reducción de vulnerabilidad física y su aplicación en las viviendas, en relación con la innovación tecnológica en la práctica de la arquitectura y la investigación.



11. Las fuentes desde la Figura 6 hasta la Figura 12 son las siguientes: Agrupación Cultural Chaitén. (2018); Díaz, J (2013); Gutiérrez, H (2012); Larenas, J (2013) y MINVY., SERVIU. (2008)

En esta investigación se escoge analizar las edificaciones de uso residencial debido a que la ciudad de Chaitén tiene como destino principal lo habitacional, por lo cual, hay un gran porcentaje de viviendas que se pueden estudiar, acompañadas del registro fotográfico disponible. Como se mencionó anteriormente, la influencia de la arquitectura proviene de Chiloé, el cual posee condiciones climáticas semejantes a Chaitén que favorecen el crecimiento de una vegetación arbórea la que permitió en su momento construir sus viviendas. Los patrones arquitectónicos de orden técnico y constructivo que guardan relación con el uso del material ligado al medio natural, la madera, responde a las condiciones ambientales y a los recursos disponibles localmente.

Las viviendas de Chaitén se caracterizan principalmente por ser volúmenes aislados simples que no superan los dos pisos de altura, con una geometría vertical y angulosa, donde la oblicuidad y pendientes de las techumbres son propios de una zona geográfica particular con climas templados lluviosos y temperaturas mínimas, por lo que generalmente son grandes techumbres a dos aguas cubiertas de planchas de zinc o tejas de madera. Las estructuras en su mayoría están compuestas por un sistema constructivo en base a cerchas y tabiquería de madera, técnica chilota que se implementa desde sus inicios. Además, en virtud del exigente clima, las posibilidades de la madera se fue precisando a un tipo de construcción separado del suelo, de modo que las aguas lluvias pudiesen escurrir con facilidad y resguardar el interior para alejarse de la humedad, desarrollando una arquitectura de volúmenes, con fachadas de madera en primera instancia y, paulatinamente se fue incorporando también el zinc y fibrocemento a ellas.

Debido a que la investigación profundiza el efecto de los procesos volcánicos en las construcciones, se establece una caracterización de las viviendas¹¹ que permiten concebir las cualidades comunes y principales de la totalidad de viviendas de Chaitén. El primer criterio para la definición de las cualidades fue la antigüedad de la construcción, pues en la ciudad de Chaitén los distintos procesos volcánicos afectaron en mayor o menor medida a las edificaciones de acuerdo a que tan estable era cada una y por eso se reconocen tres: las viviendas antiguas que se construyeron cuando se funda la ciudad con características peculiares de la influencia chilota, las viviendas que se desconoce en qué año fueron construidas y contienen cualidades tanto de Chiloé como de Chaitén y, por último, las viviendas nuevas que se reconocen por su simpleza y semejante repetición volumétrica.

Figuras 6. Antigüedad de la edificación



(b) Antiguo



(a) Desconocido



(c) Nuevo

Las edificaciones que presentaron daños en sus cubiertas en la erupción del volcán Chaitén el año 2008 fue producto de la acumulación de gran cantidad de ceniza volcánica. Estas se comportaron de diversas maneras según el tipo de cubierta, entre las más vistas en el sector están: a un agua, a dos aguas, a cuatro aguas, holandesa y abuhardillada. Cabe destacar que todas las cubiertas de Chaitén son inclinadas debido al clima templado y lluvioso, lo que permite que el agua lluvia se deslice fácilmente y así evite la acumulación sobre la estructura, otorgando a cada vivienda una identidad distinta según la variación constructiva de la cubierta tipo.

Figura 7. Tipos de Techumbres



(b) Un Agua



(a) Dos Aguas



(d) Cuatro Aguas



(c) Holandesa



(e) Abuhardillada

Paralelamente, la pendiente también es una condicionante, pues entre más plana sea, la probabilidad de acumulación de material volcánico y climático es mayor. Estas se clasificaron en rangos de acuerdo con las viviendas existentes de la localidad de Chaitén, con un ángulo menor a 20° , entre $21^\circ - 39^\circ$ y, mayor a 40° , siendo menor a 20° la más expuesta, correspondiente a una pendiente con menos del 40%. Se considera además que la pendiente mínima universal es de 15° , es decir, 27%.

Figura 8. Pendientes de la Techumbre



(a) $< 20^\circ$



(b) $21^\circ < x < 39^\circ$



(c) $> 40^\circ$

Los lahares por otro lado, se originaron producto de las intensas lluvias que en conjunto con los depósitos volcánicos provocaron el desborde del río Blanco y, en consecuencia, impactaron en los distintos volúmenes que, de acuerdo con sus fundaciones, se comportaron de varias maneras frente al lahar, principalmente problemas por desplomo. Por ello se clasifican dos situaciones en donde es relevante las fundaciones, las cuales levantan la edificación sobre el suelo para protegerse de la humedad y el agua o se mantienen a la altura del nivel de tierra.

Figura 9. Fundaciones



(b) Sobrecimiento



(a) Pilotes

Por otro lado, la edificación puede ser más o menos afectada dependiendo del volumen de material volcánico que impacte en ella. Los volúmenes en estas situaciones son importantes porque definen el grado de daño sobre la construcción, de manera que se agrupan en dos factores. El primero es la altura, por lo cual el daño será variable a la cantidad de pisos, ya sea uno o dos, el volumen será más resistente o no al fenómeno volcánico y el segundo está relacionado a la cantidad y posicionamiento de los vanos.

Figura 10. Volumen



(b) Volumen de un piso y vanos superiores



(a) Volumen de dos pisos y vanos inferiores

Los detritos volcánicos y las lluvias afectaron en los materiales del revestimiento exterior de los muros, entre ellos se encuentra principalmente la madera, esta se puede encontrar en tapa, tejas y aserrada. El zinc, como material secundario es uno de los más utilizados y generalmente se colocan sobre el revestimiento de madera. Por último, en menor cantidad las fachadas exteriores se revisten en fibrocemento o PVC, sin embargo, en muchos casos son mixtas, con todos los materiales mencionados.

Figura 11. Material de revestimiento



(b) Madera



(a) Planchas de Zinc



(c) Fibrocemento

Finalmente, se define la localización como una de las cualidades que inciden en el impacto de los procesos volcánicos sobre las edificaciones, debido a que la zona norte fue afectada por el lahar y la ceniza volcánica, mientras que la zona sur en mayor grado por la ceniza volcánica. No obstante, el área que conforma lo que era el río Blanco y posteriormente su nuevo curso es donde se encuentran más situaciones de pérdidas parciales y totales de las construcciones.

Figura 12. Localización



(b) Zona Norte



(a) Zona Sur



(c) Cerano a Río Blanco

En base a la identificación de las cualidades principales de las viviendas de Chaitén, se utilizan el estudio de INFRACON (2012) como punto de partida para la identificación de las variables de vulnerabilidad física de las edificaciones. Previamente, es necesario comprender el significado de cada uno de los componentes que se utilizaron durante toda la investigación en la Tabla 6, estos son, tipos de vulnerabilidad, variables, indicadores, niveles de indicadores y niveles de vulnerabilidad.

Tabla 6. Esquema de Variables e Indicadores

Tipos de Vulnerabilidad	Variable	Indicador	Niveles de los Indicadores Establecidos	Niveles Vulnerabilidad
De acuerdo con los factores considerados para cada tipo de vulnerabilidad.	Descripción de las variables consideradas que corresponden a un ámbito del factor a estudiar y focalizar.	Establece un indicador (magnitud estadística) que clasifique y defina de forma más precisa el objeto del factor de vulnerabilidad. Son medidas verificables y medibles. Los indicadores pueden ser cualitativos y cuantitativos.	Establece a mayor detalle la caracterización del indicador permitiendo diferenciarlo en segmentos que pueden ser cualitativos y cuantitativos.	Señala las tendencias muy altas, altas, medias, bajas de vulnerabilidad, de acuerdo con la interpretación de los indicadores.

Fuente: Padrón (2015)

Para comenzar a definir las variables de vulnerabilidad, es necesario saber qué porcentaje de viviendas se construyen con madera u otro material para muro, cubierta y piso. En la siguiente figura se desarrolla en el programa QGIS un mapeo que determina la relación de las materialidades de las viviendas en el total de viviendas de la ciudad por cada manzana (Figura 13). En el primer mapa (a) se observa que en la mayoría de las manzanas se desarrollan construcciones con tabiquería forrada en madera o acero y, se concentran en la zona centro fundacional y el sur. En el mapa (b) ocurre algo similar con las cubiertas de planchas de zinc o fibrocemento, pero se distribuyen en gran cantidad en la mayoría de las manzanas. Por último, en el mapa (c) se reconoce que la zona sur es la que tiene un menor desarrollo desde sus orígenes, pisos principalmente de madera. A partir de este análisis de materialidades, se identifica que más de un 50% de las viviendas por manzana se construyen en madera tanto en su estructura como en su revestimiento, siendo las planchas de zinc una alternativa necesaria para revestir muros y cubiertas.

Formulas en Programa Qgis

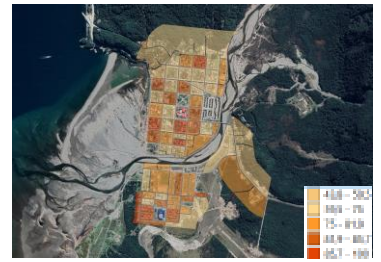
- A. **(Material Muro / Total de Viviendas) x100**
- B. **(Material Cubierta/ Total de Viviendas) x100**
- C. **(Material Piso/ Total de Viviendas) x100**

Figura 13. Mapas de materialidad de viviendas



(a)

Muro exterior de tabiquería forrada en madera o acero



(b)

Cubierta del techo con planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento.



(c)

Material de construcción del piso en parquet, piso flotante, cerámica, madera, alfombra, flexit, cubrepiso u otro similar, sobre radier o vigas de madera

Fuente: Elaboración propia en base a INE (2017).

La mayoría de las viviendas son estructuras ligeras de madera, autoconstruidas por los mismos habitantes, las que se desarrollan en base a las cargas estáticas principalmente, sin embargo, para las cargas dinámicas de fenómenos volcánicos u otros no se encuentran preparadas estructuralmente. En este sentido, la techumbre es uno de los elementos más expuesto ante el flujo de piroclastos y puede colapsar cuando la carga estática sobrepuesta del material piroclástico supera la resistencia del material de la cubierta, porque no ha sido diseñada para soportarla. En la Tabla 7 se identifican los principales efectos que tiene las edificaciones por la caída de la ceniza volcánica. Asimismo, cuando la ceniza se mezcla con las lluvias y el desbordamiento del río, se originan efectos mucho mayores sobre la edificación completa, esto incluye no solo cubierta si no también, su estructura, los muros, las fundaciones, sus vanos y materialidad.

Tabla 7. Daños por Caída de Ceniza Volcánica

Daño	Causa
Perdida de uso	Enterramiento
Corrosión metálica	Ph ácido de la ceniza volcánica
Daño o colapso de techos	Carga por acumulación
Bloqueo o daño de canaletas y desagües	Ingreso de partículas finas por aberturas
Daño de componentes mecánicos y electrónicos	Ingreso de flujos de ceniza por lluvias

Fuente: Torres, R., Ponce, P., Gomez, D., Cardenas, r. (2020)

Para la selección de las viviendas, se toma en consideración las características constructivas de Chaitén, las variables de vulnerabilidad física y los fenómenos volcánicos que impactaron en las edificaciones tras la erupción del volcán Chaitén el año 2008, que, para este caso, fueron principalmente el flujo de piroclastos y el lahar. En base a ese criterio, se recopilaban casos de viviendas que tienen las cualidades y daños necesarios para analizarlos a través del detalle de las fotografías y en algunos casos Google Earth. Es necesario mencionar que las viviendas escogidas son las más representativas del acontecimiento y se ubican dentro de las 3 zonas de la localidad de Chaitén: Norte, Centro y Sur con el objetivo de analizar las diferencias de afectaciones constructivas en las tres ubicaciones, sin embargo, la muestra de estudio abarca solo las zonas en que hubo mayor peligro y destrucción por parte de los fenómenos volcánicos, por lo cual no se seleccionaron viviendas que no tuvieran daño alguno. Así, se obtienen 12 viviendas de estudio, de las cuales 11 de ellas se logran localizar dentro del mapa de la localidad de Chaitén, mientras que una de ellas no entrega información suficiente para ubicarla en el plano.

Figura 14. Plano de Ubicación de Viviendas



Fuente: Modificado de INFRACON (2012).

Para aplicar la metodología de análisis de vulnerabilidad de las viviendas, se establece la exposición de las viviendas por su localización, de acuerdo con el estudio del Mapa de Susceptibilidad a los Peligros Geológicos en la localidad de Chaitén, por lo cual se agruparon en cuatro zonas: (1) Borde Río blanco, (2) Norte, (3) Casco Fundacional y (4) Sur.

Tabla 8. Zonas de Exposición por localización

Zonas	Descripción
1	Viviendas ubicadas a menos de 20 m del río blanco, potencialmente afectadas por desborde y nuevo cauce del río.
2	Viviendas próximas a laderas, con susceptibilidad de afectación por lluvias y flujo de piroclastos.
3	Viviendas relativamente antiguas ubicadas mayoritariamente cerca de la costa, entre calle Juan Todesco y Carretera Austral.
4	Viviendas relativamente nuevas que se encuentran rodeadas por el río Blanco antiguo y su nuevo curso.

Fuente: Elaboración propia.

Complementando a lo anterior, se desarrolla un catastro de daños observados de las viviendas de estudio en base a la caracterización del deterioro de los elementos que la componen, como también del fenómeno volcánico al que fue expuesto. Esto se lleva a cabo a través de un análisis descriptivo y esquemático de lo que se puede contemplar en las fotografías, más sin detalles constructivos y estructurales interiores o exteriores, como tampoco de material planimétrico para establecer una relación más directa. De todas maneras, las imágenes expresan lo necesario en temas de diseño constructivo y los efectos que provoca el volcanismo.

Luego, se le otorga a cada vivienda un nivel de vulnerabilidad de acuerdo con el daño observado para establecer un indicio de vulnerabilidad descriptiva en base a un análisis personal.

Tabla 9. Niveles de vulnerabilidad asociados a los daños observados

Vulnerabilidad	Daño observado
Muy Alta	Destrucción total o daño irreparable, elemento fuera de servicio
Alta	Daño reparable, elemento no operativo
Media	Daños leves, el sistema puede perder operatividad durante un breve lapso
Baja	Sin daño, se mantiene operativo

Fuente: Modificado del Informe Final de INFRACON Consultores (2012).

ANÁLISIS CUALITATIVO DE DAÑOS OBSERVADOS

Figuras 15. Catastro de daños observados Vivienda A



Fuente: Díaz, J (2013).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Es una vivienda antigua que se localiza en el sector Norte junto al Rio Blanco. El sistema estructural es de madera, donde la techumbre buhardilla y a seis aguas, con pendiente aproximada de 22° está cubierta en láminas de zinc acanalada, mientras los muros revestidos en tejas de madera. Cuenta con fundaciones de pilotes por las lluvias, la humedad y su ubicación junto a un cauce. En aspectos geométricos, el volumen presenta una planta hexagonal y elevación de dos pisos con aberturas en todos sus muros sobre los 50 cm de altura. Su estado de conservación es malo debido a que la edificación fue expuesta al flujo de piroclastos y lahar, efecto en la calidad de juntas y materiales.

OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Severo): Elementos estructurales afectados desde los cimientos que provocó la inclinación de la edificación con deformaciones grave. Volumen no está construido para soportar cargas dinámicas, provocando el colapso parcial del volumen.

Daños directo por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Los acabados exteriores se encuentran en mal estado o sin mantenimiento; hay pérdida y deterioro por pudrición de las tejas de madera en los muros; caballete de hojalata sobre la limatesa de la cubierta oxidada.

Vulnerabilidad (Muy Alta): Daños irreparables en la estructura y superficie no apta para reconstruir sobre ella. Acabados en mal estado, el material se deteriora con la humedad y la ceniza por lo que habría que sustituirlo completamente. Ubicación de la vivienda no permite que el daño se pueda recuperar, pues está muy próximo a un río que se expandió y la susceptibilidad de que vuelva a ocurrir es alta.

Figuras 16. Catastro de daños observados Vivienda B



Fuente: Grendi, O (2020).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

El volumen compuesto de uno principal de dos niveles y dos secundarios de un nivel forman una configuración en planta y elevación compleja. Tiene un sistema estructural de madera con revestimiento de planchas de zinc en V y tejas de madera en el primer piso para los muros, mientras que para la techumbre se cubre con planchas de zinc acanalada. En general, la edificación tres pendientes distintas, uno de los volúmenes secundarios, otra en las marquesinas de las ventanas y la última en el volumen principal con una techumbre de 35°. Los materiales de los acabados se recubren y protegen con pinturas anticorrosivas.

OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Severo): La corriente de agua más la acumulación de ceniza volcánica en la superficie generó el desaplomo de la edificación, pero sin desplazarlo.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Afectación en los faldones de la cubierta por desgastamiento, desprendimiento y pérdida del material; deterioro del material exterior de los muros por humedad y acidez de la ceniza volcánica. Calidad del material y juntas se pierde parcialmente.

Vulnerabilidad (Muy Alta): Edificación no se puede rehabilitar debido a que la estructura se deforma y la superficie está en mal estado. Si bien los daños de los materiales exteriores son reparables, la edificación queda fuera de servicio por su inestabilidad estructural y su ubicación junto al río Blanco.

Figuras 17. Catastro de daños observados Vivienda C



Fuente: Grendi, O (2020).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Volumen simple alargado de planta rectangular y un piso de altura. Revestimiento de muros con planchas de zinc en V y para la techumbre planchas de zinc acanalada. El techo a dos aguas tiene una pendiente aproximada de 33° y su extensión para el alero no está correctamente unificada en pendiente como tampoco en sus uniones. Su estado de conservación se pierde al estar expuesta a dos procesos volcánicos.

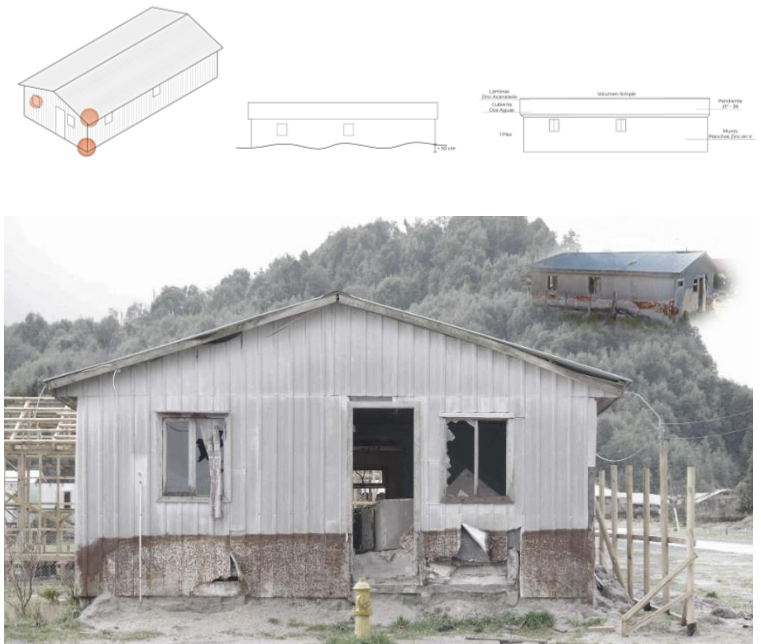
OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Severo): La edificación se desploma por asentamientos en las fundaciones, afectando a la estructura que queda inestable. El alero al no tener continuidad con la cubierta se deforma junto a los pilares que lo sostienen.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Parte de la materialidad de la cubierta se pierde, por sobre todo en el alero y su borde lateral; corrosión metálica en los faldones de la cubierta y en la parte inferior de los muros; Afectación en la calidad de las juntas; Desprendimiento de pinturas.

Vulnerabilidad (Muy Alta): Las fundaciones y los elementos estructurales están comprometidos. La inclinación de la vivienda fuera de su plano vertical y horizontal y, la cercanía que tiene al río Blanco limita las posibilidades de recuperarla. Gran cantidad del material de la techumbre se desprende y se pierde.

Figuras 18. Catastro de daños observados Vivienda D



Fuente: Grendi, O (2020).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Planta regular rectangular de un piso con estructura de madera sobre fundaciones de pilotes, donde el largo es tres veces el ancho y las aberturas se encuentran sobre los 50 cm del suelo. La techumbre a dos aguas con pendiente de 18° aproximadamente está cubierta con planchas de zinc acanalada. Los muros exteriores se revisten en planchas de zinc en V. Los materiales no se protegen de los agentes externos.

OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Moderado): La acumulación de ceniza volcánica y agua en la parte inferior de la edificación, cerca de medio metro de altura provocó las patologías constructivas por corrosión en la zona inferior de los muros. Además, se observa destrucción del revestimiento por impacto de materiales de arrastre.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Estructura del techo se deforma y genera patologías por filtraciones de agua y ceniza; acabados afectados en menor medida.

Vulnerabilidad (Alta): La estructura no se ve comprometida, sin embargo, la acumulación de ceniza y su carga afectan la superficie de la edificación. La estructura de la techumbre y los materiales exteriores pierden su calidad.

Figuras 19. Catastro de daños observados Vivienda E



Fuente: Larenas, J (2013).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Volumen de un piso con elevación que se define por la pendiente principal de 70° del techo a dos aguas, cubierta en láminas de zinc acanalada. Los muros tienen acabados de tejas de madera para el primer piso y planchas de zinc en V para el segundo nivel.

OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Moderado): La acumulación de ceniza de más de un metro sobre la superficie impacta en elementos estructurales por empuje lateral y exposición del revestimiento a distintas patologías; afectación del alero y su estructura; no se visualiza la existencia o no de fundaciones.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Corrosión del material de la cubierta; desgaste de las materialidades de los muros; no se presenta acumulación de ceniza en cubierta debido a su gran pendiente.

Vulnerabilidad (Alta): La cantidad de ceniza acumulada no alcanza a ingresar por los vanos, por lo tanto, la edificación queda inoperativa por un tiempo, pero los daños no afectan a la estructura principal. La estructura del alero y materiales exteriores están comprometidos.

Figuras 20. Catastro de daños observados Vivienda F



Fuente: Larenas, J (2013).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Volumen simétrico en planta y elevación, con una techumbre particular de ocho faldones con pendientes alrededor de los 50°. Contiene un patrón de vanos de gran dimensión que se repiten y se sitúan en la mayoría de los muros. El techo se cubre con un tipo de tejas de madera mientras que los muros se revisten con planchas de zinc en V, planchas de fibrocemento y otro tipo de tejas de madera.

OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Moderado): Acumulación de ceniza en la zona inferior de la edificación, ingresa al interior y afecta la estabilidad de las fundaciones.

Daños por Piroclastos (Moderado): Deterioro del material de revestimiento de muros; limahoya de la cubierta indica que hubo acumulación de ceniza y eso afectó a las tejas de madera; la acidez de la ceniza y la humedad por lluvia genera el deterioro de la mayoría de los materiales.

Vulnerabilidad (Alta): No se distingue si existió alguna deformación volumétrica, sin embargo, si se diferencia que la acumulación de ceniza genera una carga sobre la superficie y su estructura.

Figuras 21. Catastro de daños observados Vivienda G



Fuente: Larenas, J (2013).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Volumen con planta rectangular alargada de un nivel, con techumbre a dos aguas y pendiente de 20°, cubierta en planchas de zinc acanaladas. Los muros exteriores se recubren con planchas de zinc en V y madera terciada ranurada. Las grandes aberturas se encuentran en todos los muros, área de huecos es mayor al área total de la edificación. Ventanas con marcos de madera y protegida con pintura.

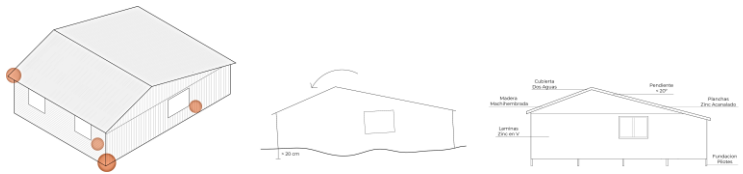
OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Severo): Acumulación de ceniza en la parte inferior de más de un metro afecta la estructura e ingresa por los vanos hacia el interior; se produce un enterramiento de la estructura y una sobrecarga sobre muros exteriores y piso por acumulación de ceniza compactada.

Daño por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Deterioro de los materiales de muros y techo por lluvia, humedad y acidez de la ceniza. Las pinturas logran proteger lo suficiente del fenómeno del volcanismo.

Vulnerabilidad (Muy Alta): La edificación queda fuera de servicio por que los esfuerzos dinámicos en este caso son mayores a los que la construcción tenía prevista, más del 50% de la edificación está enterrada.

Figuras 22. Catastro de daños observados Vivienda H



Fuente: Imagen de Google Earth .

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

La edificación se integra con un sistema estructural de madera sobre fundaciones de pilotes de madera y acabados exteriores de madera y planchas de zinc en V y acanalada. La techumbre a dos aguas presenta una pendiente mínima de 13° y está cubierta con planchas de zinc acanalada. El volumen tiene una configuración geométrica regular en planta y elevación, sin embargo, la complejidad se encuentra en las juntas de materiales no bien resueltas.

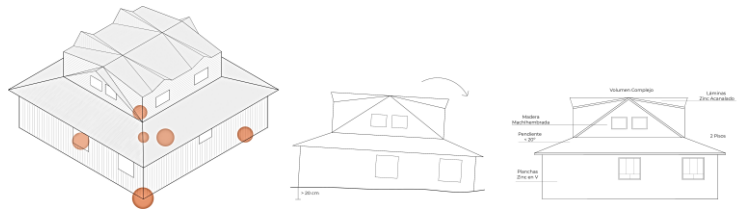
OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Severo): Corriente de lahar fluye por debajo de la vivienda y afecta las fundaciones y suelo, generando la inclinación del sistema fuera de su plano vertical; desprendimiento de los materiales exteriores de muros.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Afectación y deformación en bordes laterales de la techumbre; los materiales de muros se desprenden y pierden.

Vulnerabilidad (Muy Alta): El daño es alto. El escaso peso del volumen lo hace muy vulnerable al volcamiento o flotación; Las fundaciones y las materialidades de revestimiento están comprometidos.

Figuras 23. Catastro de daños observados Vivienda I



Fuente: MINVU; SERVIU (2008).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Configuración irregular del volumen en elevación debido a los techos combinados con distintas inclinaciones. Se cubren con planchas de zinc acanalada y su pendiente principal es de aproximadamente 13°. El volumen de dos pisos tiene muros que se cubren con planchas de zinc en V para el primer nivel y de madera para el segundo. Ambos presentan aberturas de diferentes dimensiones y el área de huecos con relación al área total es semejante.

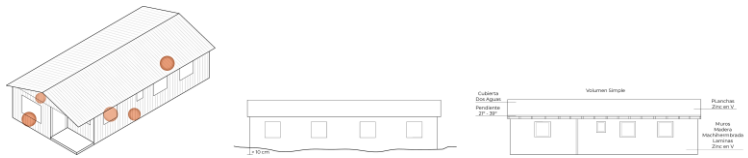
OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Severo): El fenómeno arrasa con la estructura y produce el desplazamiento y desestabilización del sistema. Las deformaciones son graves en la estructura como en las materialidades. Pérdida de material por arrastre.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Desprendimiento del material exterior de muros por la humedad, seguramente afectando a las instalaciones eléctricas y de agua. Los vanos se pierden y permite las filtraciones de lluvia y material volcánico hacia el interior; el material del techo se deteriora y pierde la pintura que lo protegía.

Vulnerabilidad (Muy Alta): El sistema colapsa por completo debido a que la carga dinámica afecta desde las fundaciones hasta los materiales; edificación fuera de servicio, calidad de la superficie está en mal estado y la estructura deformada gravemente.

Figuras 24. Catastro de daños observados Vivienda J



Fuente: Imagen de Google Earth.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Volumen simple de un sistema estructural de madera sobre cimentación corrida. La techumbre tiene una pendiente alrededor de los 19° y está cubierta en láminas de zinc en V. Los muros tienen un gran porcentaje de aberturas y se cubren con planchas de zinc en V en la zona inferior y madera machihembrada en el tímpano.

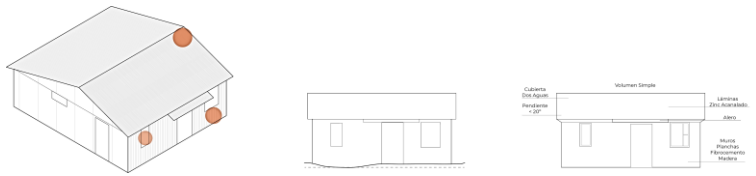
OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Moderado): Mínima acumulación de ceniza volcánica en la superficie que afecta de igual manera con la corrosión del material de muros; desprendimiento de los acabados de muros.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Severo): Desprendimiento del material de cubierta; vanos afectados; desgasto y pérdida de calidad del material de muros.

Vulnerabilidad (Alta): Edificación no operativa en su momento. El lahar no impacta directamente en la edificación, pero, las precipitaciones junto a la caída de las cenizas volcánicas generan que los materiales se vean altamente afectados.

Figuras 25. Catastro de daños observados Vivienda K



Fuente: Imagen de Google Earth.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Volumen regular de un piso con planta rectangular, revestido con madera y fibrocemento en muros. La techumbre tiene una pendiente de 18° y este forrado con planchas de zinc acanalada, extendiéndose en el alero sobre el acceso principal.

OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Moderado): Enterramiento mínimo, donde el agua afecta la resistencia del suelo y el material exterior de muros, desprendiéndolo de ellos. Mientras que la ceniza afecta el suelo agrícola.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Moderado): Deterioro material exterior muros y techo con patologías por corrosión y perdida; cubierta se desprende desde la cumbrera.

Vulnerabilidad (Alta): La vivienda se encuentra en mal estado, el daño es alto. La calidad de los materiales y juntas son altamente afectadas por los fenómenos volcánicos y también por la autoconstrucción de la edificación.

Figuras 26. Catastro de daños observados Vivienda L



Fuente: Díaz, J (2013).

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Vivienda antigua y autoconstruida totalmente de madera. El volumen regular de un piso con planta rectangular se reviste en todas las fachadas con tejas de madera y su techumbre de seis faldones presenta una pendiente aproximada de 34° . Los huecos son proporcionales en cantidad y dimensión al lleno.

OBSERVACIONES

Daños por Lahar (Severo): Acumulación de ceniza en la parte inferior afecta estructura de suelo debido a que el material ingresa por los vanos; Carga de peso extra ante fuerzas dinámicas afecta la resistencia estática de la estructura en sentido vertical; gran pérdida del material de muros.

Daños por Lluvia y Piroclastos (Severo): Deterioro y pérdida del material de los acabados de cubierta y muros por humedad y acidez de la ceniza volcánica.

Vulnerabilidad (Muy Alta): La antigüedad de la edificación es una de las variables más importantes, el material se encuentra más deteriorado. El peso de la ceniza sobre el sistema constructivo imposibilita la reparación de los daños estructurales. Además, los revestimientos exteriores ya no son tan comunes para instalarlos de nuevo.

ANÁLISIS CUANTITATIVO VARIABLES VULNERABILIDAD FÍSICA

12. Para la exposición del volcanismo, se consideran cenizas volcánicas, flujo piroclastos, los lahares, coladas y proyectiles balísticos.

En virtud de lo analizado anteriormente, es posible clasificar las variables que son propensas a daños producto del volcanismo. Estas se seleccionan de acuerdo con las que se clasifican en el estudio desarrollado por INFRACON (2012) y adicionalmente se le incorporan dos más, que se consideran fundamentales para la evaluación de la vulnerabilidad en las construcciones. En la Tabla 10 se presentan siete variables con sus respectivos indicadores.

Tabla 10. Variables de Vulnerabilidad Física

Exposición¹²	<ul style="list-style-type: none"> - Muy Alta: Expuesto a más de 3 peligros, o expuesto a lahar y flujo piroclástico en áreas con susceptibilidad alta o muy alta a dicho peligro - Alto: Expuesto a 3 amenazas, o está expuesto a lahar y flujo piroclástico con susceptibilidad moderada - Medio: 2 amenazas. Mayor probabilidad de acumulación de cenizas con mayor a 10 cm - Bajo: Expuesto solo a cenizas
Sistema Constructivo (material del sistema estructural)	<ul style="list-style-type: none"> - Estructura metálica - Estructura de madera
Material Revestimiento Exterior	<ul style="list-style-type: none"> - Madera - Zinc - Fibrocemento / PVC
Altura (pisos)	<ul style="list-style-type: none"> - 1 piso - 2 pisos
Antigüedad de la edificación	<ul style="list-style-type: none"> - Nuevo: construcción reciente hasta 10 años - Desconocido: entre los rangos "nuevo" y "antiguo", sin poderse determinar fecha de construcción. Entre 50 y 10 años - Antiguo: Construcciones de más de 50 años.
Cubierta (pendiente)	<ul style="list-style-type: none"> - < 20° - 21° < x < 39° - > 40°
Estado de conservación de la edificación	<ul style="list-style-type: none"> - Bueno: Sin daños estructurales visibles, bien mantenido. - Regular: Requiere mantenimiento, sin daños estructurales. - Malo: Presenta daños estructurales visibles no severos. - Muy Malo: Presenta daños estructurales visibles y/o los materiales constituyentes se encuentran severamente degradados.

Fuente: Elaboración propia en base al Informe Final de INFRACON Consultores (2012).

Sobre la base de los doce casos de estudio, se complementa lo observado en las fotografías con las variables de vulnerabilidad antes mencionadas, con la finalidad de establecer semejanzas y diferencias cualitativas entre las edificaciones. La tabla 11 contiene lo necesario para comenzar con el análisis cuantitativo de la vulnerabilidad física de las viviendas.

Tabla 11. Variables Vulnerabilidad Física Localidad de Chaitén

	Exposicion	Sistema constructivo	Materialidad (revestimientos)	Altura (pisos)	Techumbre	Antigüedad	Estado conservacion
A	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Tejuelas de madera. Revestimiento cubierta: Planchas de zinc acanalado	2 pisos	Geometría: Seis aguas y abuardillada Pendiente: 21°-39°	Antiguo	Muy malo
B	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Planchas de zinc en V y tejuelas de madera Revestimiento cubierta: Planchas de zinc acanalado	2 pisos	Geometría: Dos aguas Pendiente: 21°-39°	Desconocido	Muy malo
C	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Planchas de zinc en V Revestimiento cubierta: Planchas de zinc acanalado	1 piso	Geometría: Dos aguas Pendiente: 21°-39°	Desconocido	Muy malo
D	Alta	Madera	Revestimiento muros: Planchas de zinc en V Revestimiento cubierta: Planchas de zinc acanalado	1 piso	Geometría: Dos aguas Pendiente: < 20°	Desconocido	Muy malo
E	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Tejuelas de madera o fibrocemento y planchas de zinc en V Revestimiento cubierta: Plancha de zinc acanalado	1 piso	Geometría: Dos aguas Pendiente: > 40°	Desconocido	Malo
F	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Planchas de zinc en V, tejuelas de madera y planchas de fibrocemento Revestimiento cubierta: Tejuelas de madera	2 pisos	Geometría: Ocho aguas Pendiente: > 40°	Desconocido	Malo
G	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Planchas de zinc en V y madera terciada ranurada Revestimiento cubierta: Planchas de zinc acanalado	1 piso	Geometría: Dos aguas Pendiente: < 20°	Desconocido	Muy malo
H	Alta	Madera	Revestimiento muros: Madera y planchas de zinc en V y acanalado Revestimiento cubierta: Planchas de zinc acanalado	1 piso	Geometría: Dos aguas Pendiente: < 20°	Desconocido	Muy malo
I	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Planchas de zin en V y tablas madera machihembrada Revestimiento cubierta: Planchas de zinc acanalado	2 pisos	Geometría: Cuatro aguas Pendiente: < 20°	Desconocido	Muy malo
J	Alta	Madera	Revestimiento muros: Planchas de zinc en V y madera machihembrada Revestimiento cubierta: Planchas de zinc en V	1 piso	Geometría: Dos aguas Pendiente: < 20°	Desconocido	Muy malo
K	Alta	Madera	Revestimiento muros: Madera y planchas de fibrocemento internit	1 piso	Geometría: Dos aguas Pendiente: <	Desconocido	Muy malo

			Revestimiento cubierta: Planchas de zinc anacalado		20°		
L	Muy alta	Madera	Revestimiento muros: Tejuelas de madera Revestimiento cubierta: Tejuelas de madera	1 piso	Geometría: Seis aguas Pendiente: 21°-39°	Antiguo	Muy malo

Fuente: Elaboración propia en base al Informe Final de INFRACON Consultores (2012).

Conforme a lo anterior, se trabaja con las ponderaciones del estudio de riesgo volcánico en Chaitén (INFRACON, 2012) y se les asignan valores a las nuevas dos variables. Para la variable de exposición, se estima el que el grado de exposición ante el volcanismo es muy alto, vale decir, una ponderación de 6, mientras que, en el caso de la techumbre, el elemento se expone principalmente a la ceniza volcánica, por lo que se le asigna un valor de 4. Luego de obtener esos valores, se desarrolla el cálculo del nivel de vulnerabilidad física por cada variable. Para ello, se relacionan las ponderaciones de las variables con los indicadores de vulnerabilidad física, entonces, cada vivienda obtiene un resultado final particular a sus características.

Tabla 12. Ponderación de cada indicador en Variables Vulnerabilidad física

Peligro	Exposicion	Sistema constructivo	Materialidad	Altura	Techumbre	Antigüedad	Estado de la edificación
Volcanismo	6	6	4	6	4	2	4

Fuente: Modificado de Informe Final de INFRACON Consultores (2012).

Tabla 13. Clasificación Vulnerabilidad física para Amenaza Volcánica (ajustado)

	VF	Exposicion	Sistema constructivo	Materialidad	Altura	Techumbre	Antigüedad	Estado de conservacion
I	P	6	6	4	6	4	2	4
4	Muy Alto	3 amenazas. Lahar y flujo piroclástico.		Desechos			Antiguo	Muy malo
3	Alto	2 amenazas. Lahar y flujo piroclástico.	Madera Metalcon	Madera Zinc	1	<20°	Desconocido	Malo
2	Medio	2 amenazas. Ceniza >10 cm	Albañilería	Fibrocemento	2	21°<x<39°	Nuevo	Regular
1	Bajo	Ceniza volcánica	Hormigon armado	Estuco		>40°		Bueno

Fuente: Modificado de Informe Final de INFRACON Consultores (2012).

Para desarrollar la operación del valor final de vulnerabilidad física por cada vivienda, se utiliza la siguiente fórmula, donde se multiplica la ponderación de la variable con el indicador correspondiente a las características de la edificación, para finalmente sumar los resultados de cada variable y así obtener un valor que indica la vulnerabilidad física total de la vivienda.

$$\text{Vulnerabilidad física} = ((P(E) \times I(E) + P(SC) \times I(SC)) + (P(M) \times I(M)) + (P(AL) \times I(AL)) + (P(C) \times I(C)) + (P(AN) \times I(AN)) + (P(EC) \times I(EC))$$

Tabla 14. Vulnerabilidad física para Amenaza Volcánica

Vivienda	Exposición	Sistema constructivo	Materialidad (revestimientos)	Altura (pisos)	Techumbre	Antigüedad	Estado de conservación	T
A	24	18	12	12	8	8	16	98
B	24	18	12	12	8	6	16	96
C	24	18	12	18	8	6	16	102
D	18	18	12	18	8	6	16	96
E	24	18	12	18	4	6	12	94
F	24	18	12	12	4	6	12	88
G	24	18	12	18	8	6	16	102
H	18	18	12	18	12	6	16	100
I	24	18	12	12	12	6	16	100
J	18	18	12	18	8	6	16	96
K	18	18	12	18	12	6	16	100
L	24	18	12	18	8	8	16	104

Fuente: Elaboración propia.

Como se logra apreciar en la Tabla 14, las viviendas que obtuvieron un mayor valor total de vulnerabilidad a los procesos volcánicos son las viviendas C, G y L, no obstante, la variación entre cada una de ellas es mínima ya que los casos de vivienda seleccionadas son los más representativas a la destrucción de la amenaza. Se clasifican las viviendas por nivel de vulnerabilidad física a partir del cálculo de los rangos entre el valor máximo y mínimo de vulnerabilidad física e inmediatamente se divide ese valor por el número de rangos que se necesitan, en este caso son 4, por lo tanto, el intervalo entre cada nivel es de 24.

$$VF \text{ máxima} - VF \text{ mínima} = X \qquad 112 - 40 = 72$$

$$X/n^\circ \text{ rangos} = \text{Intervalos} \qquad 72 / 4 = 18$$

Tabla 15. Nivel de Vulnerabilidad física total por Amenaza volcánica

Niveles de Vulnerabilidad Física	Rangos
Muy Alta	97-112
Alta	78-96
Media	59-77
Baja	40-58

Fuente: Modificado de Informe Final de INFRACON Consultores (2012).

En función de los rangos de vulnerabilidad, se plantea que las viviendas que se estudiaron se encuentran entre el nivel Muy Alto y Alto, significado de que todas las variables y sus respectivos indicadores son los correctos para identificar la vulnerabilidad física ante la amenaza volcánica mediante una metodología de análisis cuantitativa. Ahora, las variables que presentaron un nivel Muy Alto de vulnerabilidad fueron las materialidades, el sistema constructivo y el estado de conservación, debido a la homogeneidad de las características constructivas de las viviendas.

Si bien, los resultados presentados evidencian los daños constructivos que tuvieron la mayoría de las viviendas en la localidad de Chaitén, no existe un análisis profundo sobre los daños específicos según su caracterización. Por esta razón, el estudio descriptivo sobre las cualidades de cada vivienda través de la observación de daños y como estas se afectaron por la amenaza, son igual de fundamentales en el desarrollo para llegar a un resultado confiable y una metodología que funcione para distintas zonas de estudio.

Finalmente se puede establecer una relación entre lo teórico y lo práctico, en este caso, un análisis descriptivo desarrollado mediante la observación y caracterización de los elementos estudiados para otorgar un nivel de vulnerabilidad apoyado en los daños constructivos de cada uno versus, un análisis cuantitativo basado en variables y sus respectivos indicadores que permiten dar un valor justificado de la vulnerabilidad física de las edificaciones. Conforme a lo investigado, se aprecia que la relación entre ambos métodos existe, quizás no se relacionan de la misma manera, pero ambos entregan resultados similares. Sin embargo, existe una discordancia entre lo que el valor numérico indica en base a la clasificación de los indicadores de cada variable y lo que ocurre exactamente con la erupción del volcán.

Por una parte, en las dos metodologías resultan niveles de vulnerabilidad Alta y Muy Alta, esto se explica también con la elección de viviendas para estudiar. De todas maneras, solo dos de las viviendas (B y K) difieren en los niveles de vulnerabilidad de cada metodología (Tabla 16). Esto ocurre debido a dos factores determinantes, una es que, al asignar la variable techumbre, los valores entre cada caso varían considerablemente debido a que las viviendas tienen diferentes ángulos en pendientes, aumentando o disminuyendo el valor total. El otro factor está relacionado a los valores numéricos que resultaron de la tabla de vulnerabilidad, ya que entregan una aproximación de la susceptibilidad al peligro en cada vivienda, independiente de la intensidad de los procesos volcánicos y a los factores externos que se presenten.

Tabla 16. Relación Niveles de Vulnerabilidad física

	Vulnerabilidad Física Variables e indicadores	Vulnerabilidad física Daños observados
Vivienda A		
Vivienda B		
Vivienda C		
Vivienda D		
Vivienda E		
Vivienda F		
Vivienda G		
Vivienda H		
Vivienda I		
Vivienda J		
Vivienda K		
Vivienda L		

Fuente: Elaboración propia.

Sobre la base de que la investigación se enfoca en un análisis dirigido hacia la práctica de la arquitectura y la tecnología, se rescatan dos elementos. El primero son las fundaciones, si bien no hay un análisis exhaustivo de esto por la imposibilidad de saber con exactitud el detalle de las fundaciones que tiene cada vivienda, a la hora de reconocer el

riesgo constructivo de las edificaciones ante el volcanismo, las fundaciones son tan determinantes como todas las otras variables que se estudiaron. La techumbre en otro sentido, también son esenciales, pero no por su geometría o pendiente específicamente, ya que la gran mayoría de las edificaciones se diseñaron en base a un clima templado lluvioso donde las pendientes tenían que ser pronunciadas para evitar patologías constructivas. Lo importante de los techos entonces, son cuando las geometrías se vuelven complejas y salen de las tradicionales, como también cuando no se resuelven las uniones óptimas ante los factores climáticos extremos o cargas dinámicas entre el material de revestimiento exterior y el sistema estructural.

Como se menciona, las fundaciones y las techumbres son variables que se deben considerar en las construcciones, no obstante, el último factor que también se considera importante y no se determina como variable en la investigación, es la geometría volumétrica y las aberturas. Esto se refiere a que la configuración en planta y elevación puede ser simple o compleja de acuerdo en cómo se plantea el volumen, en dimensiones, cantidad de pisos y área de vanos respecto al área total de la edificación.

Es importante mencionar que las variables de antigüedad y estado de conservación son responsabilidad del lugar de estudio y del mantenimiento de las construcciones, por lo que, no se considera como un factor esencial para la etapa de rehabilitación o medidas de reducción de la vulnerabilidad.

MEDIDAS DE REDUCCIÓN VULNERABILIDAD FÍSICA

Conforme a lo investigado, se pueden identificar los elementos constructivos más vulnerables al volcanismo, entre ellos están, las fundaciones, la cubierta, los revestimientos exteriores y los vanos, entiéndase esto como el volumen total de la edificación expuesta a amenazas que pueden provocar patologías constructivas. Si bien el clima templado lluvioso, los vientos, la localización y la topografía de la ciudad de Chaitén son factores relevantes para las variables que resultaron altamente vulnerables, los procesos volcánicos impactan de igual manera en esos elementos constructivos, cualquiera sea la zona de estudio, en menor o mayor grado.

En ese marco, se debe aplicar la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD), que busca reducir los daños ocasionados por las amenazas naturales a través de una ética de prevención. Este incluye disciplinas tales como la gestión, la mitigación y la preparación, no obstante, el objetivo de esta investigación no es profundizar en la gestión de las autoridades locales como tampoco en la preparación de la comunidad para evacuar, si no, indagar en la intervención en las edificaciones para disminuir la escala y severidad de los impactos adversos de la amenaza, lo que se denomina mitigación (UNISDR, 2009). Por lo tanto, el objetivo es limitar la vulnerabilidad, en este caso, de las viviendas, aplicando estrategias y acciones para fortalecer las capacidades de la arquitectura y de las personas y hacer frente al riesgo volcánico.

Los aspectos que se consideraron pertinentes para la búsqueda de productos o diseños constructivos en línea con la tecnología y permitieran disminuir están relacionados al impacto de dos fenómenos volcánicos principales, el lahar y el flujo de piroclastos. Por esta razón, se investigaron los elementos más vulnerables ya mencionados y las propuestas que permitían mejorar o protegerlo de los procesos volcánicos.

Antes que todo, es necesario mencionar que las medidas no estructurales, que vendrían siendo de prevención y evacuación ya han sido evaluadas. El estudio de INFRACON desarrolla en base al análisis de vulnerabilidad de establecimientos esenciales y del terreno, una zonificación de áreas seguras y vías por donde transitar ante la erupción del volcán (Figura 27), pero que, para efectos de esta investigación no son cruciales.

Figura 27. Medidas de Prevención y Mitigación.

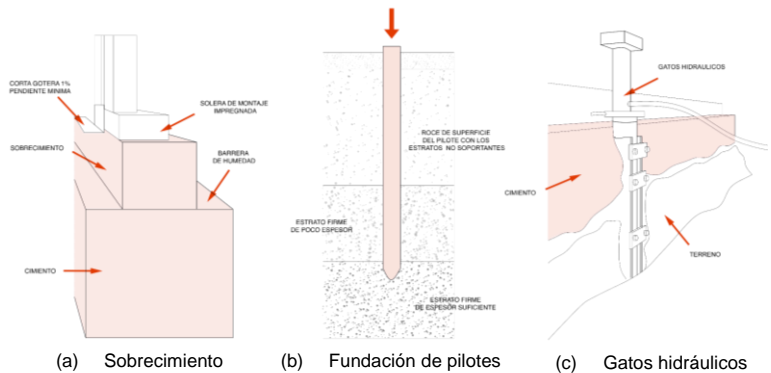


Fuente: Modificado de Informe Final de INFRACON Consultores (2012).

Las medidas de reducción entonces se agrupan en fundaciones, cubierta, revestimiento y vanos. En la ciudad de Chaitén ocurre que la mayoría de las viviendas se construyeron hace más de 50 años y por los mismos habitantes, indicador de que no hay indicios de que cumplieran algún código de construcción, por lo tanto, pueden suceder tres situaciones, la inexistencia de cimientos, la insuficiencia de profundidad o la impermeabilización insuficiente, problemas que pueden ocurrir también en las construcciones nuevas. En ese sentido, el lahar es el principal fenómeno que puede afectar a las fundaciones, comprendiendo que en la zona de estudio se encuentran mayoritariamente fundaciones superficiales que se materializan en cimiento/sobrecimiento o fundaciones profundas en pilotes de madera. Para que no ocurran problemas estructurales en las fundaciones superficiales, se debe intervenir el cimiento con una barrera de humedad e impregnar la madera (a), mientras que, para pilotes, estos tienen que estar lo suficientemente profundos para alcanzar un nivel de tierra lo suficientemente firme (b). Siendo esta última la más práctica y utilizada en Chaitén ya que permite que la edificación se separe del suelo para que las aguas lluvias escurran con facilidad.

A propósito, las edificaciones que sufrieron una desestabilización e inclinación producto del lahar, la estrategia más económica es utilizar un sistema de gatos hidráulicos (c) que permitan estabilizar la edificación y volverlo a su posición original o separarlo aún más del suelo.

Figura 28. Fundaciones

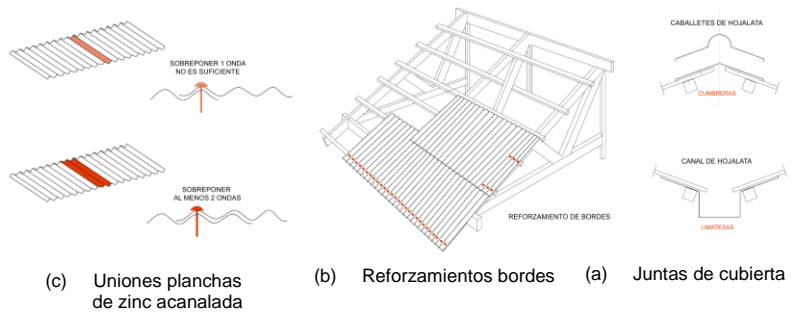


Fuentes: CORMA (2016); MyHouse (2020).

En cuanto a las cubiertas, se identifica que la vulnerabilidad recae en el aspecto de liviandad y no reforzamiento de la quinta fachada. En general, las viviendas están construidas con techumbre de madera y no contienen más capas que la protejan además de la materialidad exterior de planchas de zinc o de tejas de madera, pues estos materiales se colocan directamente sobre las costaneras de madera del techo. Por esta razón, la incorporación de impermeabilizantes para techos es lo más adecuado. Estos pueden ser membranas asfálticas, poliuretano o geotextil y, acompañado en el interior con un aislante térmico o barreras de humedad como la espuma de poliuretano, lo que proporcionara un porcentaje de peso a la cubierta para que esta no se desprenda de su estructura y además le asegurara una superficie sin filtraciones, evitando la humedad y el agua. Si estas medidas no son viables, existe una manera de reforzar estos elementos mediante nuevas uniones, por ejemplo, las planchas de zinc tienen la particularidad de que, al ser livianas, se pueda desprender

fácilmente de la estructura. Para evitarlo, hay tres formas, sobreponiendo las láminas de zinc en más de una onda otorgándole más rigidez a las juntas (a), reforzando los bordes con mayor cantidad de fijaciones, ya sean clavos o tornillos(b) y, por último, resolver las cumbreras y limatesas de la cubierta con caballetes de hojalata correspondientes a cada una, previniendo las filtraciones de agua y ceniza volcánica (c).

Figura 29. Cubierta

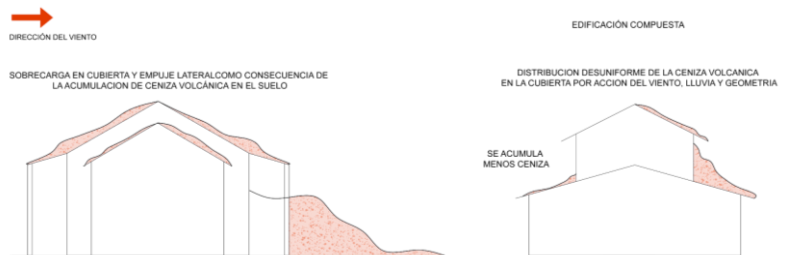


Fuentes: Arauco (2001); HPHI (2017)

En este mismo sentido, la ceniza cumple un rol fundamental como carga dinámica sobre todo porque las cubiertas que se estudiaron son livianas y la carga puede llegar a duplicar el peso propio de la techumbre ya que no tiene la capacidad estructural ni constructiva para resistir esas fuerzas externas. La aproximación más cercana de esta carga es la nieve, no obstante, solo se toma en consideración las condiciones constructivas no así su cálculo de construcción por error de diseño, debido a que no es posible establecer el comportamiento del fenómeno con precisión.

Por ese motivo, se aplica el análisis del diseño de cubiertas de los edificios a partir de una sobrecarga de la ceniza en la cubierta y unas fuerzas laterales que provengan de la acumulación de la mezcla de ceniza y agua que provoca el lahar (a). Una de las situaciones que pueden ocurrir es la acumulación de ceniza desbalanceada por cambio de pendiente de la cubierta y se deposite de manera desuniforme, concentrándose en algunos de los sectores de la cubierta por acción del viento y la geometría Mery, J., Navarrete, B. (2007). Cabe destacar que, en edificios compuestos de distintas alturas, es necesario evaluar los niveles inferiores debido a la caída del material de las cubiertas que se ubican a mayor altura y la influencia de la dirección del viento y la lluvia (b).

Figura 30. Sobrecarga de techumbre por Ceniza Volcánica



Fuentes: Mery, J., Navarrete, B. (2007)

Para el caso de las aberturas, los daños ocurrieron en los vidrios y marcos por empuje lateral del lahar e inundación, ya que este sobrepasa desde los 50 cm hasta los 2 metros sobre la cota de terreno. Acciones simples que permiten proteger estos elementos son incorporar adhesivos o selladores resistentes al agua para uniones en marcos de puertas y ventanas, como también burletes en las juntas para contribuir al aislamiento.

De igual forma, se puede incorporar la propiedad de hermeticidad que determina el grado de cierre de una ventana y, un aislamiento térmico y acústico total. Para ello, las opciones que son más adecuadas en la ciudad de Chaitén es incorporar ventanas herméticas de termo panel como también cristal laminado, donde ambos protegen contra agentes externos y naturales. Esto se debe a que las viviendas no tienen la mejor calidad de los materiales por su antigüedad y falta de mantención. Paralelamente se pueden integrar contraventanas que por definición sirven para resguardar el calor y el frío, pero que, ante el volcanismo, funcionarían como barreras para evitar o disminuir el ingreso por filtraciones de aguas y material volcánico.

Por último, los revestimientos exteriores de los muros que se encuentran en esta zona son en general tejuelas de madera, planchas de zinc y madera. Los daños que sufrieron en general las edificaciones fueron por desprendimiento, humedad y corrosión, clara evidencia de que la mantención de los materiales era mínima. Así, las medidas estructurales pueden ser dos, una de ellas es cambiar los materiales que ya perdieron su calidad, sobre todo las tejuelas de madera de mañío, alerce y coigue que tienen características favorables de durabilidad, y resistencia a la humedad, sin embargo, por su antigüedad son las más difíciles de encontrar hoy en día, de todas formas, no es la solución óptima. Aun sí, se requiere de pinturas hidrofugas o impermeabilizantes para proteger el revestimiento exterior. Cuando es de madera se pueden aplicar protectores de madera o aceites estabilizadores (xyladecor, cerestain, sipacore, chilcostain, cutek), los que varían en precio, rendimiento y resistencia en años. En cambio, para planchas de zinc se debe aplicar pinturas anticorrosivas para prevenir patologías por corrosión a causa de las lluvias y la acidez de la ceniza volcánica.

En un principio, el camino por el que se opta desarrollar la presente investigación es mediante una metodología cualitativa, donde el trabajo de campo era esencial para el análisis, sin embargo, esta se fue modificando en función del material recolectado y el tiempo estimado, asociando un análisis cualitativo con el cuantitativo.

Así, de forma paulatina se encontró documentación y contactos relevantes para comprender lo sucedido el año 2008 con la erupción del volcán Chaitén. Con ellos, se analizaron informes y fotografías que permitían focalizar la investigación a un tema particular, la vulnerabilidad de las viviendas. Lamentablemente, no visitar la ciudad de Chaitén significó que todo el análisis fuera en base a fotografías, sin poder relacionar esa información con detalles constructivos vistos en terreno como en planimetría. Es por ello que se necesitó de material complementario sobre construcciones en madera, particularmente las viviendas de Chiloé por su influencia arquitectónica sobre la ciudad de Chaitén, Así como también se averiguó por cada material o elemento constructivo de la edificación, para que, llegado el momento de observación de daños, los conceptos relacionados al diseño constructivo estuvieran claros.

Otros problemas que se presentaron fue la escasez de información relacionada a estudios y metodologías para estudiar la vulnerabilidad de las edificaciones frente a la amenaza volcánica, pues la mayor parte de ellos eran estudios relacionados a otras amenazas naturales o simplemente la metodología no era justificada y lo suficientemente confiables. Asimismo, las variables de vulnerabilidad no eran las mismas y eso provocó una confusión en la identificación de las variables. No obstante, tuve la posibilidad de contactar con la Biblioteca del Sernageomin, quienes proporcionaban información relevante y estudios desarrollados en la comuna de Chaitén. Este último se toma como base y punto de inicio debido a que contenía la explicación del evento, estudio de vulnerabilidad física de las edificación y análisis cuantitativo de las variables de vulnerabilidad.

Dicho esto, se analizó la manera en que se identificaron y seleccionaron las variables con sus respectivos indicadores, con el objetivo de repetir el mismo procedimiento aplicado a las viviendas para modificar e incorporar ciertos aspectos que no fueron considerados en aquel estudio.

De acuerdo con la metodología mixta por la que se escoge desarrollar, existen ciertas diferencias entre el análisis cuantitativo desarrollado por (INFRACON, 2012) con la clasificación de variables en base a las características de las edificaciones del lugar y, el análisis cualitativo establecido en la investigación, donde se prioriza la observación de daños y luego se identifican y seleccionan las variables más susceptibles a esos daños constructivos. En ese marco, la mejor forma de llegar a resultados exactos y confiables es teniendo un catastro de lo ocurrido en el lugar para luego utilizar las tablas de vulnerabilidad física y exposición, si no, es muy difícil comprender de dónde proviene la información.

En su defecto, el método puede conducir a conclusiones incorrectas o inconclusas si es que no se tiene material suficiente para complementarlo. En este caso de estudio, el método no se vio afectado debido a que la

información recolectada era suficiente, las edificaciones eran homogéneas y el registro del impacto de los procesos volcánicos fue bastante amplia. De todas maneras, a pesar de tener la información suficiente para realizar un análisis de las viviendas, la metodología puede ser perfectible complementando el estudio de estas con visitas al terreno de estudio y así se obtendrán detalles constructivos de las edificaciones, pues el procedimiento que se emplea a través de la observación de fotografías siempre tendrá un porcentaje de sesgo, donde se distorsiona la percepción de lo que se estudia y se tiende a interpretar lo observado en base a lo que se conoce o es posible rescatar de la imagen.

A pesar de ello, la flexibilidad de la metodología es aplicable a cualquier zona geográfica y climática. Esto se debe a que los métodos para analizar cualquier amenaza natural son semejantes entre sí, pues lo que varía es el contenido que se selecciona acorde a lo que se identifica en el lugar. Por ejemplo, se espera que, en otros casos, las entrevistas no se hicieran solo a los habitantes, sino también a los profesionales que intervinieron en el lugar y en los asentamientos, ya sean arquitectos, ingenieros o autoridades locales. De la misma manera, se puede estudiar otro tipo de edificación o sistemas estratégicos como las instalaciones esenciales o redes vitales.

Es necesario mencionar que para esta investigación se decidió estudiar solamente las viviendas ya que la ciudad de Chaitén es mayoritariamente residencial, o lo era en el momento de la erupción. Además, la pérdida material de las viviendas fue tan grave, que era inevitable no considerarlas como objeto principal de estudio. La población necesita del catastro de daños y de la ayuda de las autoridades para levantar nuevamente la ciudad y paralelamente, resguardarse de nuevos agentes naturales. Por esa razón, el estudio de la vulnerabilidad de las viviendas es el vacío disciplinar que se quiere resolver.

Así, con la investigación se identifica que más del 80% de las viviendas fueron afectadas por productos de lluvias, caída de ceniza volcánica y lahar. En ese sentido queda cierta interrogante. La ciudad de Chaitén se ubica al sur del país y con climas templados, por lo tanto, las lluvias caen durante todo el año, por lo que el río probablemente siempre tuvo problemas por desbordamiento, sin embargo, no existe una solución enfocada en resolverlo. En este aspecto, la ubicación de las viviendas que se encuentran solo a metros del Río Blanco no tenía ningún tipo de protección o medida estructural, aunque, no se discuten las viviendas que se situaban en el nuevo caudal. En resumen, la afectación de las edificaciones por fenómenos volcánicos es bastante alta, en todos los casos de acumulación de ceniza volcánica se pierde la funcionalidad de la vivienda por un largo periodo de tiempo, lo mismo ocurre con los daños por lluvia que son atribuibles cuando afectan la cubierta. Sin embargo, los daños por lahares implicaron la inoperatividad de la mayoría de las viviendas, con patologías constructivas irreparables en algunos casos.

Por encima de ello, se consigue analizar la vulnerabilidad de los elementos constructivos de las edificaciones ante la amenaza volcánica. El primer objetivo fue caracterizar el riesgo de desastres socio naturales y la amenaza volcánica en Chile, se logra sin mayor dificultad a través de información recopilada y la entregada por la Biblioteca de Sernageomin. En segundo lugar, fue describir el fenómeno y el impacto de la erupción

volcánica de Chaitén en las viviendas e identificar los daños de las edificaciones provocados por los procesos volcánicos. Esto se lleva a cabo mediante el flujo de información a través de contactos para adquirir registro fotográfico. Simultáneamente para describir las variables de vulnerabilidad física de las edificaciones ante la amenaza volcánica se toma de base del estudio de INFRACON, la metodología y el material necesario para definir las variables de vulnerabilidad de las viviendas que más adelante se van modificando en base a lo que se necesitaba.

Finalmente, se consigue recomendar cambios en el diseño constructivo para reducir la vulnerabilidad de las edificaciones en un contexto donde no es viable reconstruir todas las viviendas afectadas. En función de ello, se sugieren modificaciones que permitan proteger la edificación para reducir los daños provocados por los procesos volcánicos.

Desde un punto de vista de la arquitectura, se pueden tomar medidas estructurales o decisiones previas al desastre socio natural y de esta manera, salvaguardar las edificaciones expuestas al riesgo volcánico. Por eso, hay que tener consideración en el diseño constructivo de los elementos y materialidades que van a ser impactadas por agentes externos y cargas dinámicas ocasionadas por los procesos volcánicos.

Arauco (2001). Cubierta Techo.

Godoy, L (2013). Chaitén: Interpretación del desastre. Memoria del Proyecto de Título. Universidad de Chile. Santiago, Chile

Gobierno Regional de Los Lagos - GORE (2008). Decreto Supremo Nº 588 del 02 de Mayo de 2008 que Señala como afectada por la catástrofe a la Provincia de Palena. Puerto Montt: Ministerio del Interior.

INE. (2021). Chaitén: Reporte Comunal 2015. Obtenido de: https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2015&idcom=10401

INE. (2017). Resultados Censo 2017. Obtenido de: <https://inechile.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=bc3cfbd4feec49699c11e813ae9a629f>

INFRACON Consultores. (2011). Estudio de riesgo de sismos, volcanismo, remoción en masa, inundación por desborde de cauces y canales y maremotos para ocho localidades de la comuna de Chaitén. Etapa 2: Diagnóstico y Modelación. Subsecretaría de Desarrollo regional y administrativo. Santiago, Chile.

INFRACON Consultores. (2012). Estudios previos actualización Plan regulador comunal de Chaitén Región de Los Lagos. Etapa 3: Anteproyecto. Anexo 2: Estudio de Equipamiento comunal. Santiago, Chile: Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Los Lagos.

INFRACON Consultores. (2012). Estudios previos actualización Plan regulador comunal de Chaitén Región de Los Lagos. Etapa 3: Anteproyecto. Anexo 1: Estudio de Riesgos. Santiago, Chile: Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Los Lagos.

INFRACON Consultores. (2012). Estudios previos actualización Plan regulador comunal de Chaitén Región de Los Lagos. Etapa 3: Anteproyecto. Memoria Explicativa. Santiago, Chile: Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo Región de Los Lagos.

Moreno, H. Lara, L. (2008) Peligros volcánicos potenciales del volcán Chaitén (Erupción mayo 2008). Subdirección nacional de geología. Sernageomin.

ONEMI. (2018). Plan específico de emergencia por variable de riesgo. Erupciones Volcánicas

ONEMI. (2021). Glosario: Gestión del Riesgo de Desastres.

ONEMI. (2010). Actividad volcánica de Chile año 2008. Unidad de Gestión Territorial, División de Protección Civil.

Padrón, C. (2015). Propuesta metodológica para el análisis de vulnerabilidad física ante movimientos en masa. Caso de estudio: asentamientos urbanos populares de la carretera vieja caracas-la guaira. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.

Pérez, Astrid; "Selección de sistema de tratamiento de aguas residuales para localidad de Santa 139 Bárbara usando Metodología de decisión multicriterio AHP" Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, 2010

SERNAGEOMIN. (2018). Chile: Territorio Volcánico. Santiago: Servicio Nacional de Geología.

Subdirección Nacional de Geología. (2011). Peligros volcánicos de Chile.

UNDISR. (2012). Cómo desarrollar ciudades más resilientes Un Manual para líderes de los gobiernos locales. 2021, de Naciones Unidas Sitio web: https://www.unisdr.org/files/26462_manualparalideresdelosgobiernosloca.pdf

UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Ginebra, Suiza

Vargas, J. (2002). Políticas Públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio naturales. Santiago, Chile: CEPAL.

TABLAS

INFRACON Consultores. (2012). Estudio de riesgo de sismos, volcanismo, remoción en masa, inundación por desborde de cauces y canales y maremotos para ocho localidades de la comuna de Chaitén. Etapa 3: Informe Final. Volumen II. Subsecretaría de Desarrollo regional y administrativo. Santiago, Chile.

Torres Corredor, R. A., Ponce Villarreal, P., Gomez Martinez, D. M. y Cardenas Santacruz, R. I. (2020). Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo por caídas de material piroclástico transportado por el viento. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585279483>

FIGURAS

Agrupación Cultural Chaitén. (2018). Chaitén. Inventario de inmuebles patrimoniales. Chaitén: Fundación ProCultura

Corporación Chilena de la Madera (2016). Manual La construcción de viviendas en madera

Delgado, G. Huneeus, T. Jaldes, C. Villarroel, G. (2005). Chaitén: su historia desde la memoria, Caminante Libros. Santiago, Chile.

Díaz, J (2013)

Grendi, O (2020). Memorias de un pueblo olvidado: Chaitén. Obtenido de: <https://patrimoniomarginal.cl/memorias-de-un-pueblo-olvidado-chaiten/>

Gutiérrez, H (2012)

Larenas, J (2013)

HPHI (2017) Viviendas de madera resistentes a huracanes: guía sobre construcción y reparaciones seguras.

Mery, J., Navarrete, B. (2007) Alcances de la Normativa en Chile para la Determinación de la Sobrecarga de Nieve en Edificios y Estructuras. Revista de la Construcción, vol. 6, núm. 2, 2007, pp. 75-89. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

MINVU., SERVIU. (2008) Evaluación Chaitén diciembre 2008. Ciudad de Chaitén, Región de Los Lagos.

MyHouse (2020). Levantando una casa de madera. Obtenido de: <https://myhouse-es.desiguspro.com/raznoe/kak-podnyat-derevyannyj-dom>

PatagoniaDesconocida (2012). Volcán Chaitén. Obtenido de: <https://patagoniadesconocida.wordpress.com/2012/11/19/a-vista-del-condor/a-vista-del-condor-volcan-chaiten/>

1. Estratovolcán: corresponde a un edificio volcánico mayor, formado por una alternancia de lavas y depósitos piroclásticos emitidos durante erupciones sucesivas. Este tipo de volcanes se encuentra en todos los ambientes tectónicos, pero son más comunes en las zonas de subducción, como es el caso de Chile continental. Alcanzan alturas típicas de 1-3 km sobre la base, con volúmenes entre 10 y 100 km³, aunque algunos volcanes superan ampliamente los valores promedio. (SERNAGEOMIN, 2018)

2. Cono de Piroclastos: es un tipo de volcán generado en un solo evento eruptivo, de composición basáltica predominante, cuya formación puede durar horas o incluso años. Estos se generan en cualquier ambiente tectónico y forman grupos o campos volcánicos o bien aparecen aislados, en algunos casos como parásitos de un estratovolcán o volcán escudo. (SERNAGEOMIN, 2018)

3. Volcán Escudo: los volcanes escudos son formaciones generadas por numerosas erupciones de flujos de lava de baja viscosidad intercaladas con escasas capas piroclásticas. Suelen encontrarse en islas oceánicas, como es el caso de isla de Pascua. Estos edificios pueden alcanzar alturas considerables desde su base (fondo oceánico) y sobrepasar incluso los 5 km. Debido a sus altas tasas de efusión, pueden emitir más de 10.000 km³ de material durante su periodo de actividad. (SERNAGEOMIN, 2018)

4. Domo: estructura volcánica formada a partir de la emisión de un magma muy viscoso, usualmente de composición dacítica y riolítica. El domo es una acumulación de magma en superficie, el que, dadas sus características fisicoquímicas, presenta resistencia a fluir. Durante su emplazamiento, sufre frecuentemente colapsos parciales que dan origen a flujos piroclásticos. (SERNAGEOMIN, 2018)

5. Complejo Volcánico: corresponde a un conjunto de centros eruptivos espacialmente relacionados, monogenéticos y poligenéticos, que tienen, además, una relación temporal y genética en su evolución, la que generalmente incluye variados estilos eruptivos y prologando períodos de actividad. (SERNAGEOMIN, 2018)

6. Grupo Volcánico: es un caso particular de los complejos volcánicos, donde numerosos volcanes menores o monogenéticos se distribuyen en un área común. Ocasionalmente están dominados por sistemas estructurales regionales, como por ejemplo la zona de falla Liquiñe-Ofqui, donde el magma asciende por espacios facilitados por estas estructuras, con escaso tiempo de residencia. Debido a esto último, se asocia principalmente con volcanismo basáltico. (SERNAGEOMIN, 2018)

7. Maar: es producto de un evento eruptivo ocurrido por interacción entre el magma y el nivel freático o de agua subterránea, que origina erupciones explosivas, denominadas freatomagmáticas. Presentan cráteres anchos y bajos, de pendientes suaves. (SERNAGEOMIN, 2018)

8. Erupción Estromboliana: Erupción de nivel explosivo moderado, conformada por magmas de composición basáltica a andesítica. La mayor parte del material es eyectado como partículas que siguen un comportamiento balístico, acumulándose en torno del cráter, lo que usualmente construye un cono de piroclastos. Estas erupciones pueden estar acompañadas de la emisión simultánea de lava. (ONEMI, 2021)

9. Erupción Hawaiana: Erupción de nivel explosivo bajo, asociada a magmas fluidos principalmente de composición basáltica. El material volcánico emitido corresponde a flujos de lavas, acompañado de muy poco o nulo material piroclástico, a través de un cráter o de una fisura volcánica. (ONEMI, 2021)

10. Erupción Pliniana: Erupción de nivel explosivo alto y alta magnitud, usualmente caracterizada por magmas de alta viscosidad y alto contenido gaseoso. Las columnas pueden alcanzar alturas superiores a 20 km, lo que implica la eyección de importantes volúmenes de pómez y ceniza. Este tipo de erupciones son capaces de afectar áreas ubicadas a cientos y miles de kilómetros del volcán. (ONEMI, 2021)

11. Erupción Vulcaniana: Erupción explosiva de característica violenta, pero de corta duración (segundos a pocos minutos) y de magnitud baja. Generalmente se presenta como una serie de explosiones discretas de corta duración. (ONEMI, 2021)

OTROS

12. Índice de Explosividad Volcánica (IEV): la explosividad de las actividades volcánicas, donde la efusiva, de baja explosividad, dominada por la emisión de lavas o domos, como la explosiva, de expulsión violenta de material piroclástico y gases. El Índice de Explosividad Volcánica (IEV) es estimador de la magnitud de la erupción por factores tales como altura de la columna eruptiva y volumen total emitido, cuyos valores discretos varían entre el 0 hasta 8, de efusiva a explosiva respectivamente. (ONEMI, 2021)

13. Recurrencia eruptiva: determina cada cuanto tiempo los volcanes activos erupcionan, intervalos que van aumentando cada 100, 1.000 y hasta 10.000 años de evidencias en la actividad volcánica.

14. Niveles de alerta

Alerta Verde Temprana Preventiva: Declaración de un estado de reforzamiento en la atención y vigilancia a través del monitoreo técnico, preciso y riguroso de las condiciones de riesgo advertidas, como también una amenaza en evolución en cuanto a los procesos o actividad eruptiva.

Alerta Amarilla: Se declarará cuando los parámetros técnicos indican un sostenido aumento de los procesos que podrían desencadenar una erupción volcánica, amenaza que puede crecer en extensión y severidad, debiendo alistarse los recursos necesarios para intervenir, de acuerdo con la evolución de evento destructivo.

Alerta Roja: Se declara ante un peligro inminente o una erupción volcánica en curso, requiriéndose la movilización de todos los recursos necesarios y disponibles, para la atención y control de evento destructivo. ONEMI. (2018).

15. Organizaciones

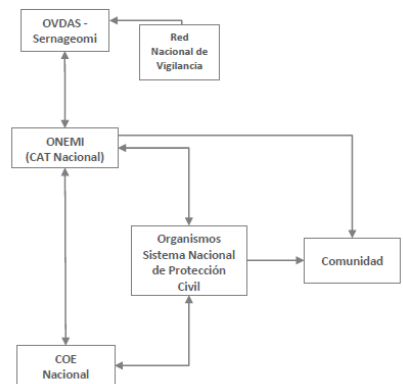
OVDAS – Sernageomin: entidad que, a partir del monitoreo permanente, alertará a las autoridades competentes, sobre cualquier cambio en la actividad volcánica que pueda poner en riesgo la seguridad de la comunidad. Lo anterior, se realizará a través de un estado de alerta por medio de reporte especial de actividad volcánica (REAV) enviado a Onemi.

ONEMI: A través del Centro Nacional de Alerta Temprana, es responsable de recopilar la información relacionadas a las alertas volcánicas enviadas por OVDAS – Sernageomin, para recabar, evaluar, alertar y difundir, tan pronto como sea posible, información válida respecto a situaciones de riesgo o emergencia, que puedan afectar o afecten a las personas, sus bienes y/o el medio ambiente. Asimismo, podrá convocar al Comité Nacional de Operaciones de Emergencia para la coordinación de la respuesta.

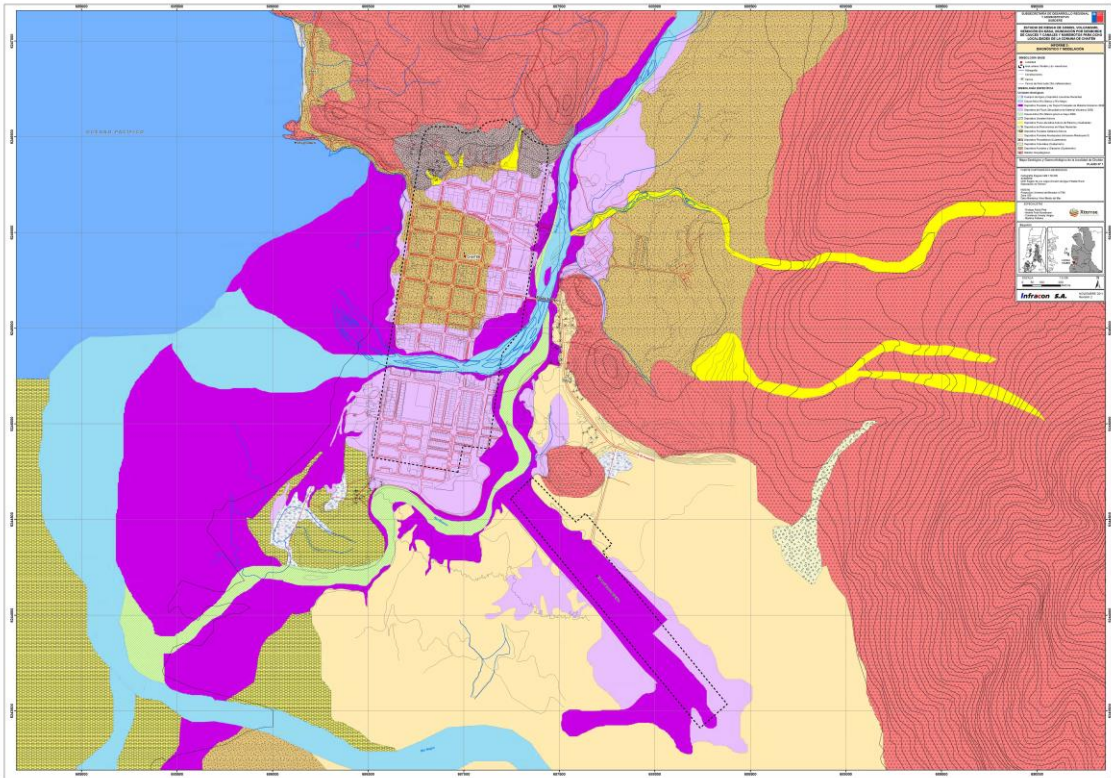
Comité Nacional de Operaciones de Emergencia: A partir de la información recopilada, deberá dirigir estratégicamente el curso de las operaciones durante el desarrollo de la emergencia, desastre o catástrofe; asegurando el flujo de información y la coordinación en la asignación de recursos del Sistema Nacional de Protección Civil.

Organismos del Sistema Nacional de Protección Civil: Cada uno de los integrantes deberá aportar con información y capacidades, conforme a su ámbito de acción, a los entes coordinadores que asignarán los recursos necesarios para responder de manera adecuada frente a la emergencia, desastre o catástrofe en desarrollo. ONEMI. (2018).

Diagrama "Flujo de Información Emergencias Volcánicas"



16. Mapa de Peligros Erupción Volcán Chaitén



INFRACON (2012)

17. Plano de Ubicación de Viviendas



INFRACON (2012)

