

DISEÑO DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL *RIESGO* PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL INMUEBLE:

Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno

Daniela Andrea Díaz Fuentes



PUBLICACIONES
DIGITALES
ENCRYM-INAH

PUBLICACIONES ENCRyM

DISEÑO DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL *RIESGO* PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL INMUEBLE:

Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno

Daniela Andrea Díaz Fuentes

ISBN: 978-607-484-780-2



PUBLICACIONES
DIGITALES
ENCRYM-INAH

CRÉDITOS

Secretaría de Cultura

Secretario

Rafael Tovar y de Teresa

Instituto Nacional de Antropología e Historia

Directora General

María Teresa Franco

Secretario Técnico

Diego Prieto Hernández

Secretario Administrativo

José Francisco Lujano

Coordinador Nacional de Difusión

Leticia Perlasca Núñez

Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía

Director

Andrés Triana Moreno

Secretaría Académica y de Investigación

Guadalupe de la Torre Villalpando

Subdirector de Planeación y Servicios Educativos

Ricardo Silva Zamora

**Coordinador Académico de la Maestría en Conservación y
Restauración de Bienes Culturales Inmuebles**

Luis Carlos Bustos Reyes

Comisión de Publicaciones de la ENCRyM

Ximena Agudo Guevara

Jannen Contreras Vargas

Mónica Espinosa Galicia

José Alberto González Ramos

Yúmari Pérez Ramos

Sofía Riojas Paz

Guadalupe de la Torre Villalpando

Coordinación editorial

Yúmari Pérez Ramos

Cuidado de la edición

Héctor Siever

Diseño, formación y tablas

Chulería / Erika A. Castillo Licea

Diseño de Herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble: aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno es una publicación realizada por la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito de los editores, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor, y en su caso de los tratados internacionales aplicables, la persona que infrinja esta disposición se hará acreedora a las sanciones legales correspondientes. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no representa necesariamente la opinión del Comité Editorial de la ENCRYM o del INAH.

ISBN: 978-607-484-780-2

Primera Edición: 2016

D.R. © 2016 INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

Córdoba 45, colonia Roma, 06700, Ciudad de México.

publicaciones@encrym.edu.mx

Producido y hecho en México

ÍNDICE

	Agradecimientos	8
	Introducción	9
I.	Herramienta 1. Priorización de acciones para la atención del patrimonio cultural inmueble en función del valor patrimonial	27
II.	Herramienta 2. Descripción, jerarquización y mapeo de amenazas aplicadas al ámbito de la evaluación del riesgo del patrimonio cultural inmueble	68
III.	Herramienta 3. Ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles	117
IV.	Factibilidad de uso de las herramientas en el norte andino chileno	193
V.	Reflexiones finales sobre el potencial de aplicación de las herramientas para evaluar el riesgo y priorizar la atención	337
	Anexos	369
	Referencias	381

La presente publicación corresponde a la adaptación de una tesis presentada de acuerdo con los requerimientos de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía “Manuel del Castillo Negrete”, dependiente del Instituto Nacional de Antropología e Historia de México, para obtener el grado de maestra en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles.

A mis padres, Miguel y Ana María, a mi familia y amigos, porque siempre han estado y estarán conmigo en cada vuelo y en cada sueño, y a la familia que me acompañó durante los dos años que viví en México y que seguirá siendo parte importante de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

La investigación aquí presentada se llevó a cabo entre los años 2013 y 2015, cuya tesis original correspondió a los estudios realizados con una beca de excelencia otorgada por el Gobierno de México, por conducto de la Secretaría de Relaciones Exteriores.

Este trabajo también es producto de mi directora de tesis, la doctora Juana Gómez Badillo, cuyo compromiso, tiempo y dedicación me acompañó durante el proceso de investigación. Agradezco también a la maestra Sofía Riojas Paz, al doctor Roberto Meli Piralla y a la maestra Valeria Valero Pie, por aceptar ser parte de mi sínodo y haber dedicado tiempo a la lectura y crítica que enriquecieron mi tesis de maestría.

INTRODUCCIÓN

En áreas geográficas con alto riesgo de catástrofes naturales como el *Circum Pacífico* o Anillo de Fuego no se han elaborado planes integrales de *gestión del riesgo* para la conservación del patrimonio cultural inmueble. No obstante, los manuales y lineamientos internacionales pueden ser utilizados como punto de partida para proponer herramientas de evaluación del riesgo y priorizar la atención ante una catástrofe, con el objetivo de aumentar la resiliencia del patrimonio cultural inmueble a partir de diversas medidas de mitigación y conservación preventiva apropiadas al contexto sociocultural de cada país.

En las últimas décadas es posible notar un creciente interés por la prevención de desastres, principalmente tras el acuerdo de las Naciones Unidas para declarar la última década del siglo XX como el Decenio Internacional para la Reducción de Desastres.¹ De esta forma, los países han incluido el tema en sus agendas y tratado de modificar la actitud reactiva de su población, hacia una actitud preventiva y enfocada a incrementar la conciencia social sobre los peligros y la reducción de la vulnerabilidad. Lo anterior ha generado un progreso por parte de los científicos en cuanto al entendimiento de la exposición y georreferenciación de las amenazas naturales, y ha permitido acercamientos para caracterizar la vulnerabilidad de las personas y de la infraestructura ante los desastres.

En el ámbito de la conservación del patrimonio cultural inmueble se han desarrollado principios y manuales para la gestión de los riesgos elaborados por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

1 Resolución 44/236, 1989, *Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales*, documento digital disponible en <http://www.cinu.org.mx>, consultado en enero de 2015.

(UNESCO), el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), el Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM) y el Getty Conservation Institute, y se han implantado programas de prevención como el Mapa del Riesgo (Carta del Rischio) en Italia y el Programa de Prevención de Desastres en materia de Patrimonio Cultural (PreVINAH) en México. Sin embargo, debido a que los manuales internacionales no profundizan en las diferencias culturales, sociales y económicas entre los distintos países, los principios de aplicación universal propuestos no han logrado llevarse a la práctica, lo cual podría ser una de las razones para que los países latinoamericanos hayan mantenido una actitud reactiva frente a las catástrofes naturales y antrópicas que afectan su patrimonio cultural inmueble.

Existen tres etapas en el proceso de la gestión del riesgo: la prevención, la respuesta y la recuperación; la primera acción consiste en evaluar el nivel de riesgo. Por ello en la presente investigación se proponen herramientas para la evaluación del riesgo y la priorización de la atención con base en un análisis comparativo que sintetiza y sistematiza los aportes de diversos manuales y programas de gestión del riesgo del patrimonio cultural inmueble a escala internacional. Lo anterior con el objetivo de orientar políticas públicas, estrategias y programas para que respondan a las problemáticas de cada territorio, en función de sus instituciones, marco normativo, instrumentos de planificación territorial y las características de su patrimonio cultural inmueble.

El concepto de *gestión del riesgo* y la instauración del debate sobre el *riesgo* en la agenda pública

La *gestión del riesgo* abarca su evaluación y análisis, al igual que la ejecución de estrategias y de acciones específicas para controlarlo, reducirlo y transferirlo. En el año 2011 la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, dependiente del Ministerio del Interior y Seguridad Pública de Chile, definió la gestión del riesgo como “el estudio analítico de la probabilidad de pérdida de los distintos elementos y sistemas de interés, los que dependerán de los factores de amenaza y vulnerabilidad”,² donde las amenazas se refieren a los eventos con una cierta magnitud que exceden la capacidad de resistencia del sistema y su probabilidad de ocurrencia; en tanto la vulnerabilidad corresponde al grado de pérdida de los elementos o componentes de aquel sistema que está sujeto a los efectos de una amenaza.

Por otra parte, en 2009 la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR) publicó una *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*, con el objetivo de actualizar y aunar definiciones relacionadas con esta temática. En ese contexto define, entre otros conceptos, *gestión del riesgo de desastres* como “el proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades

2 Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo *Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial*, Santiago, SUBDERE, 2011, p. 4.

de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre”.³

Respecto a la reducción del riesgo de desastres, en el marco de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres celebrada en 2005 se acordó el Marco de Acción Hyogo 2005-2015, donde se contempla un conjunto de acciones prioritarias:

- a) Velar por que la reducción de los riesgos de desastres constituyan una prioridad nacional y local, dotada de una sólida base institucional de aplicación.
- b) Identificar, evaluar y vigilar los riesgos de desastres y potenciar la alerta temprana.
- c) Utilizar los conocimientos, las innovaciones y la educación para crear una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel.
- d) Reducir los factores de riesgo subyacentes.
- e) Fortalecer la preparación para casos de desastres a fin de lograr una respuesta eficaz.⁴

El segundo punto del Marco de Acción Hyogo es la identificación y evaluación del nivel de riesgo, lo cual resulta fundamental si se trata de reducir el impacto de las amenazas o aumentar la resiliencia de los bienes. A esta etapa también se le llama análisis de riesgo.

3 UNISDR, *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*, Ginebra, UNISDR, 2009, pp. 16 y 19.

4 Ministerio del Interior y Seguridad Pública, *Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial*, Santiago, SUBDERE-MISP, 2011.

En términos generales, hoy se asume que un riesgo es “la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas”,⁵ por ello en la literatura científica se utiliza la fórmula:

$$[\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}]$$

Donde la amenaza es “un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales”.⁶

Por otra parte, la vulnerabilidad se define como “las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza”.⁷ Muchas veces, amenazas como los terremotos no pueden ser controladas, por lo que se debe disminuir la vulnerabilidad o aumentar la resiliencia de los bienes.

Como antecedentes en materia de protección del patrimonio cultural en contextos de riesgo, se encuentra en primer lugar la Convención de la Haya, redactada en 1954 por la UNESCO y que después de la Segunda Guerra Mundial estableció reglas para proteger los bienes culturales en caso de conflicto armado; en segundo lugar se encuentra la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de 1972, mediante el cual se hacía un llamado a los

5 UNISDR, *op. cit.*, p. 29.

6 *Ibidem*, p. 5.

7 *Ibidem*, p. 34.

Estados miembros para hacer frente a los peligros que amenazaran a su patrimonio cultural y natural, y crear una Lista del Patrimonio en Peligro.

Luego de los conflictos en el Golfo Pérsico, a principios de la década de 1990, y del terremoto de Asís en 1997, surgieron iniciativas para preparar mejor la respuesta del patrimonio en contextos de riesgo: la creación de un grupo de trabajo interinstitucional conformado por la UNESCO, el ICOMOS, el ICCROM y el Consejo Internacional de Museos (ICOM), para coordinar actividades de respuesta a la emergencia y anticipación al riesgo; además de crear el Comité Internacional del Escudo Azul (ICBS) en 1996, el organismo equivalente a la Cruz Roja en materia de bienes culturales.

En ese contexto de interés internacional respecto de la prevención del riesgo surgieron las primeras declaraciones del ICOMOS relacionadas con la temática de las amenazas y la vulnerabilidad constructiva del patrimonio cultural inmueble: la Declaración de Quebec/Canadá (1996), la Declaración de Kobe/Tokio (1997), la Declaración de Asís (1997) y la Declaración de Lima para la Gestión del Riesgo del Patrimonio Cultural (2010). Esos documentos comenzaron a evidenciar la importancia de evaluar el nivel de riesgo; sin embargo, debido a que respondieron a contingencias –y en concreto a terremotos que afectaron dichas regiones– en su respectivo planteamiento sólo se consideraron las amenazas naturales de carácter ocasional y la vulnerabilidad inherente a la estructura de los edificios. Aun así agregaron un factor fundamental para la evaluación del riesgo en el patrimonio cultural: el valor patrimonial, asociado al uso de los sistemas constructivos locales con el objetivo de que las restauraciones se realizaran con materiales compatibles.

Por otra parte, esos documentos rescataron la importancia de la prevención de riesgos mediante un monitoreo sistemático, mantenimiento regular y cuidados preventivos,⁸ así como de la coordinación entre instituciones públicas y privadas a fin de conseguir el financiamiento para las actividades preventivas y de restauración.

Manuales y programas de gestión del riesgo para la conservación del patrimonio cultural

En el contexto de la conservación del patrimonio cultural, la primera guía que propuso lineamientos de prevención de riesgos fue desarrollada en 1987 por el ICCROM y el Getty Conservation Institute en la publicación *Between Two Earthquakes* (Entre dos terremotos),⁹ el cual se enfocó en la propuesta de principios de prevención frente a la amenaza sísmica y al riesgo de incendio, que suele ser una consecuencia de los sismos. En relación con la vulnerabilidad constructiva, se enfocó en dos tipos: i) la inherente a la estructura, y para ello propuso fichas generales de registro de daños y enfatizó la importancia del mantenimiento, medidas de conservación preventiva e intervenciones de consolidación; y ii) en la vulnerabilidad causada por la posición del edificio, planteando la relevancia

8 ICOMOS, 1997, *The Kobe/Tokio Declaration on Risk Preparedness for Cultural Heritage, Resolution of the International Symposium on Risk Preparedness for Cultural Properties*, disponible en <http://www.icomoscr.org>, consultado en abril de 2015.

9 Bernard Feilden, *Between Two Earthquakes: Cultural Property in Seismic Zones*, Roma, ICCROM/ Getty Conservation Institute, 1987.

de la microzonificación de los tipos de suelo, por su influencia directa en el tipo de impacto de los sismos. Por otra parte, la publicación planteó la importancia del análisis de los valores sociales, económicos y de uso del edificio –como un procedimiento que forma parte de una etapa posterior al desastre–, con el objetivo de orientar las acciones de restauración. Este último punto mejoró en los manuales desarrollados más tarde, ya que el proceso de valoración debería formar parte de la etapa de prevención, en el marco del desarrollo de la documentación del bien inmueble.

Luego de once años, en 1998 Herb Stovel desarrolló el primer manual de gestión del riesgo: *Preparación al riesgo: un manual de manejo para los Sitios de Patrimonio Mundial (Risk Preparedness: A Management Manual for World Cultural Heritage)*,¹⁰ editado por el ICCROM, la UNESCO, el ICOMOS y el World Heritage Centre. Este manual propuso algunos principios para el manejo del riesgo, planteando como base que la clave consiste en una planificación y preparación anticipada que considere de forma integral el bien patrimonial y el paisaje asociado en tres etapas esenciales: la prevención, la respuesta y la recuperación.

Los lineamientos preventivos propuestos que implicaban acciones de gestión fueron: incrementar la conciencia de las amenazas y de la valoración de los bienes patrimoniales en la comunidad; generar redes de apoyo a nivel regional y nacional; considerar los diferentes contextos económicos, legales y patrones particulares de titularidad y responsabilidad asociados al sitio, y educar a arquitectos e ingenieros en las técnicas tradicionales de construcción.

10 H. Stovel, *Risk Preparedness: A Management Manual for World Cultural Heritage*, Roma, ICCROM/ UNESCO, WHC/ ICOMOS, 1998.

Respecto a las medidas de prevención asociadas a los inmuebles se propuso documentar, inventariar e inspeccionar los bienes, además de identificar cuáles requieren de un cuidado especial en caso de emergencia, ya sea por su valor o por su nivel de riesgo, y reforzar las estructuras y el sistema de instalaciones, entre otros elementos.¹¹

En relación con las amenazas, ese manual sólo consideró las naturales de acción ocasional, es decir las que generan mayor impacto en el patrimonio edificado pero sólo se manifiestan de modo esporádico. La vulnerabilidad constructiva, en cambio, fue considerada de manera integral desde el punto de vista de las causas de deterioro, lo cual incluye la vulnerabilidad inherente a la estructura, por la posición del edificio y por causas antrópicas, tanto en el proceso de documentación de los bienes como en la elaboración de mapas de riesgos. En cuanto a la valoración patrimonial, debido a que el documento fue elaborado como una herramienta para los Sitios de Patrimonio Mundial, considera el valor universal excepcional de los bienes como base para definir criterios de intervención en la etapa de recuperación.

Más adelante, en 2010, la UNESCO, el ICCROM, el ICOMOS y la International Union for Conservation of Nature (IUCN) desarrollaron *Managing Disaster Risks for World Heritage* (Gestión del riesgo de desastres del Patrimonio Mundial),¹² documento que complementaba el manual de Herb Stovel sobre todo en cuanto a la identificación de amenazas, pues fue el primero

11 *Ibidem.*

12 UNESCO/ ICCROM/ ICOMOS/ IUCN, *Managing Disaster Risks for World Heritage*, disponible en whc.unesco.org, consultado en enero de 2015.

en considerar –además de las amenazas naturales de acción ocasional– las amenazas de naturaleza física provocadas por factores climáticos, y las amenazas de naturaleza química, además de la contaminación ambiental. También complementó el trabajo anterior al establecer, para la etapa de recuperación, formas de reforzamiento que mantuvieran las técnicas y materiales tradicionales.

Por otra parte, ese manual señalaba que para desarrollar un plan de manejo del riesgo era necesario considerar otros aspectos relacionados con el valor patrimonial, las amenazas y la vulnerabilidad: los valores y atributos del bien; el inventario de los bienes muebles e inmuebles priorizando los más valiosos para su rescate; factores geológicos, hidrológicos, clima, uso de suelo, densidad y crecimiento de la población, transporte y desarrollo de nuevas infraestructuras, la presencia de industrias y minas, además del mantenimiento, monitoreo y sistemas de seguridad del bien patrimonial.¹³

Mapas de riesgo y programas de gestión del riesgo implementados

El principal aporte de *Gestión del riesgo de desastres del Patrimonio Mundial* fue incluir la evaluación del nivel de riesgo y priorizar las medidas de mitigación. Ese manual propuso tres factores cuantificables en porcentajes, por lo cual la magnitud del riesgo dependía de la suma de esos tres factores: la probabilidad de que ocurra un desastre, ésta puede ser alta (como en el caso de las tormentas en climas templados), media (como los eventos climáticos

13 *Managing Disaster Risks for World Heritage*, ed. cit.

extremos en climas tropicales) o baja (como en el caso de los terremotos); la severidad de las consecuencias de un escenario de desastre en el bien, que podría dividirse en severa o catastrófica, regular, paulatina o sin consecuencias; y la pérdida de valor patrimonial representada en el impacto en los atributos del bien, siendo algunos irremplazables y otros más fácilmente restituibles.¹⁴

Por otra parte, propuso utilizar y desarrollar mapas temáticos mediante sistemas de información geográfica (GIS), debido a que esta herramienta permite contener y manejar dinámicamente información tanto de la zonificación de las amenazas como de los niveles de vulnerabilidad constructiva del patrimonio cultural.

Un sistema de información geográfica ya en operación es el *Mapa del riesgo (Carta del Rischio)*,¹⁵ creado por la Secretaría General del Instituto Superior para la Conservación y Restauración en Italia en 1992. En el *Mapa del riesgo* se elaboran mapas de riesgo para determinar sistemas y procedimientos que permitan programar las intervenciones de mitigación y conservación preventiva de los bienes culturales. Este programa se estructura bajo la premisa de que el riesgo deriva de la diferente combinación de tres elementos: el valor de las obras que constituyen el patrimonio cultural; su comportamiento frente a los daños, es decir, su vulnerabilidad; y la presencia o la probabilidad de acontecimientos dañinos o factores de peligrosidad.¹⁶

14 *Ibidem.*

15 Secretaría General del Instituto Superior para la Conservación y la Restauración, *Carta del Rischio*, Roma, 1992.

16 P. Baldi, *Carta del Rischio*, disponible en <http://www.iaph.es> consultado en enero de 2015.

Otro que lleva años en operación es el Programa de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural (PrevINAH)¹⁷ desarrollado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) en México, cuya más reciente versión data de 2013 y se estructura con base en principios generales para cada una de las etapas de la gestión del riesgo: prevención, respuesta y recuperación. Este programa considera varios tipos de amenazas y vulnerabilidad, pero no hace referencia a la valoración patrimonial. Sin embargo, el valor social o el uso de los monumentos por parte de la comunidad es un factor de priorización de proyectos utilizado actualmente por el INAH en la etapa de respuesta.

Estructura del trabajo de investigación

A partir del análisis comparativo de los manuales y programas de gestión del riesgo para la conservación del patrimonio cultural se identificó que las variables asociadas a la evaluación del riesgo son las amenazas y la vulnerabilidad, y que la valoración patrimonial en ese contexto podría constituir un factor para priorizar la inversión para la atención de los bienes culturales ante una catástrofe, y también para marcar el tipo de intervención apropiada de acuerdo con las características de los bienes. Sin embargo, no se han establecido parámetros específicos para la evaluación del riesgo, ni se han propuesto herramientas prácticas para el manejo de la información. Por lo anterior, en esta investigación se analizan las tres variables principales con el objetivo de

17 “Programa de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural”, INAH, México, 2013.

proponer tres herramientas: una para la priorización de la atención y dos para la evaluación del riesgo.

El presente trabajo consta de seis capítulos; en el primero se analizan publicaciones y documentos internacionales sobre teoría de la restauración para proponer la “Herramienta 1. Priorización de acciones para la atención del patrimonio cultural inmueble en función del valor patrimonial”. Lo anterior debido a que los manuales plantean la importancia de la identificación de los valores patrimoniales y su aplicación como criterio de priorización de la atención, pero de hecho no existe documentación al respecto y para el diseño de la herramienta fue necesario evaluar cómo había sido considerado el valor patrimonial desde el punto de vista de la gestión del riesgo, para después complementar la información a partir de documentos de teoría de la conservación y restauración, a fin de poder determinar indicadores de prioridad a partir de esa variable.

El mapeo de amenazas ha sido un tema abordado tanto por instituciones enfocadas en la planificación territorial como por académicos especializados en sismicidad, vulcanismo y otros fenómenos; por tanto, existen distintos alcances respecto a la profundidad con que es posible evaluar esa variable, lo cual hace necesario definir el alcance requerido para la planificación de la conservación del patrimonio cultural inmueble. Por tal razón en el capítulo II se analizan comparativamente distintas técnicas de identificación y mapeo de amenazas desde el ámbito de la planificación territorial, con el objetivo de proponer la “Herramienta 2. Descripción, jerarquización y mapeo de amenazas aplicadas al ámbito de la evaluación del riesgo del patrimonio cultural inmueble”.

Asimismo, la evaluación de la vulnerabilidad constructiva también ha sido una preocupación de los organismos públicos de diferentes países, sobre

todo por la necesidad de prevenir los efectos de los terremotos, pero también de los académicos del ámbito de la ingeniería estructural, quienes han trabajado en la elaboración de modelos digitales con el objetivo de comprender el comportamiento estructural de los edificios históricos. Por tanto, es necesario definir el alcance de la evaluación de la vulnerabilidad constructiva de los bienes culturales inmuebles, y que ésta sea una actividad factible de ser realizada por las instituciones encargadas de proteger el patrimonio cultural. Por ello en el capítulo III se realiza un análisis comparativo de documentos sobre análisis estructural y fichas de evaluación de daños post terremoto para definir los parámetros de la “Herramienta 3. Ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles”.

Luego de la propuesta de las herramientas, en el capítulo IV se realiza una aplicación a dos casos de estudio del norte andino chileno: la iglesia de Laonzana en la Región de Tarapacá, y la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu en la Región de Antofagasta, ambas afectadas gravemente tras el terremoto de junio de 2005 en Chile, pero con la diferencia de que la primera colapsó en más de 60% de su estructura, mientras la segunda resultó con daños estructurales pero reparables. El objetivo de aplicar las herramientas en estos casos fue analizarlas de modo retroactivo, para así evaluar la efectividad de las herramientas al comparar los resultados con los efectos reales después del terremoto.

Por último, en el capítulo V se proponen recomendaciones generales para las iglesias de Laonzana y Chiu Chiu, mientras en el capítulo VI se reflexiona sobre el potencial de aplicación de las herramientas para dar prioridad en la atención y para la evaluación del riesgo.

Para el desarrollo de cada uno de los capítulos se han utilizado las definiciones contenidas en la *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*¹⁸ desarrollada por la UNISDR, y los glosarios de términos utilizados en las publicaciones del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED),¹⁹ dependiente de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Metodología para abordar el diseño de las herramientas 2 y 3

Para abordar el diseño de las herramientas 2 y 3, relacionadas con la evaluación de las amenazas y la vulnerabilidad constructiva desde el punto de vista de la conservación de los bienes culturales inmuebles, se propuso una relación entre la identificación de amenazas y vulnerabilidades y las causas de deterioro de los bienes inmuebles. En ese sentido, el documento desarrollado para el ICCROM por Guglielmo de Angelis D'Ossat,²⁰ plantea la existencia de distintas causas que generan el deterioro de los monumentos, las cuales en general actúan en conjunto y pueden dividirse en dos grandes grupos: las causas intrínsecas ligadas al origen y a la naturaleza del edificio, y las extrínsecas relacionadas con condiciones propias de su emplazamiento (véase figura 1).

18 *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*, ed. cit..

19 Todas las publicaciones son citadas en el capítulo IV y corresponden a documentos digitales disponibles en <http://www.cenapred.unam.mx/es/>.

20 G. de Angelis D'Ossat, *Guía para el estudio metódico de los monumentos y de las causas de sus deterioros*, Roma, ICCROM/ Università di Roma (traducción libre de Juana Gómez Badillo para la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete").

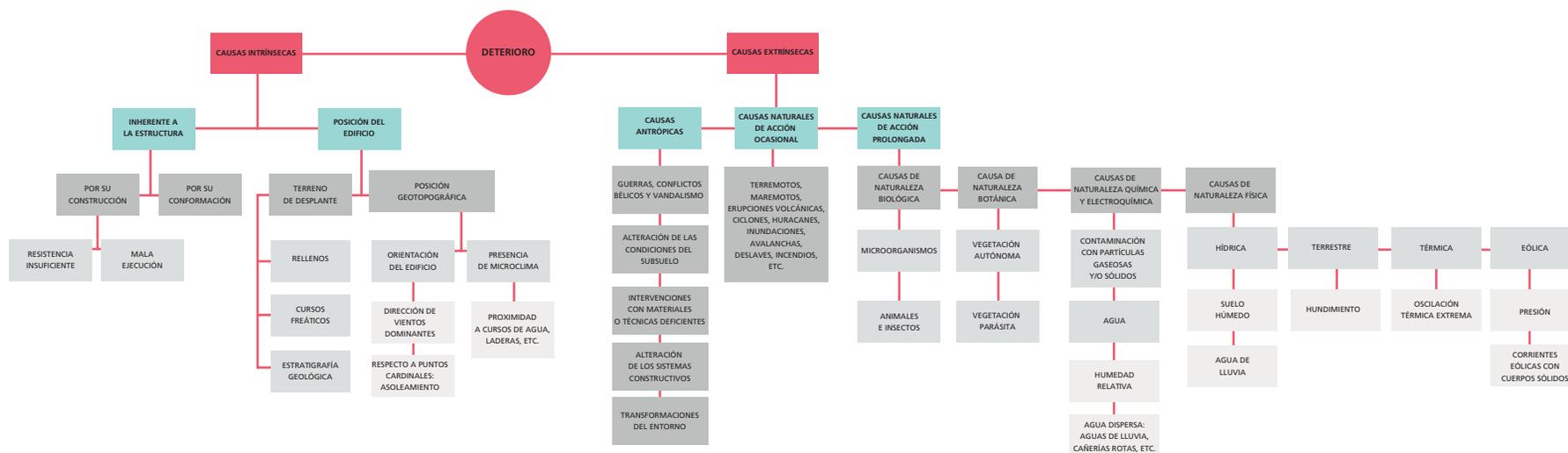


Figura 1. Clasificación de las causas de deterioro según G. de Angelis D'Ossat, Guiglielmo en *Guida allo studio metodico dei monumenti e delle loro cause di deterioramento*, Roma, ICCROM, 1972. Fuente: Esquema elaborado con base en el propuesto por la restauradora Marlene Samano en el marco del Seminario Taller Arqueológico de la Maestría Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles de la ENCRYM, semestre julio-diciembre 2014.

Al vincular este planteamiento con la evaluación del riesgo es posible determinar que gran parte de las causas extrínsecas corresponden a lo que se entiende como amenaza, en tanto las causas intrínsecas corresponden a la vulnerabilidad propia de los bienes inmuebles.

En el marco de las causas de deterioro determinadas por De Angelis, sólo las causas provocadas por el hombre, o antrópicas –que el autor define como causas extrínsecas–, podrían corresponder tanto a amenazas como a vulnerabilidades, sobre todo porque las alteraciones ya ejecutadas por el hombre se convierten en una vulnerabilidad para el edificio; por ejemplo, las transformaciones del inmueble o de su entorno, o una intervención negligente. Por otra parte, las alteraciones potenciales se convierten en una amenaza, por ejemplo los conflictos bélicos, el vandalismo, las aglomeraciones de personas, y la contaminación por inyección de gases y humos industriales en la atmósfera.

En virtud de lo anterior, las principales amenazas del patrimonio edificado serían: las naturales de acción ocasional (terremotos, maremotos, erupciones volcánicas, entre otros); las de naturaleza física (la amenaza hídrica, terrestre, térmica o eólica), y las antrópicas y de naturaleza química y electroquímica (vandalismo, la humedad relativa o una atmósfera contaminada). En cuanto a la vulnerabilidad, ésta podría responder a tres causas principales: a causas inherentes a la estructura del inmueble, por su conformación o su construcción; a la posición del edificio, desde el terreno de desplante a su posición geotopográfica; y a alteraciones por causas antrópicas, tanto en el entorno como en el mismo inmueble (véase figura 2).

A partir de las causas de deterioro sería posible establecer indicadores de amenazas y vulnerabilidad constructiva, los cuales podrían cuantificarse y

representarse mediante mapas para proponer escalas de nivel de riesgo. Esto se explicará a detalle en los capítulos II y III.

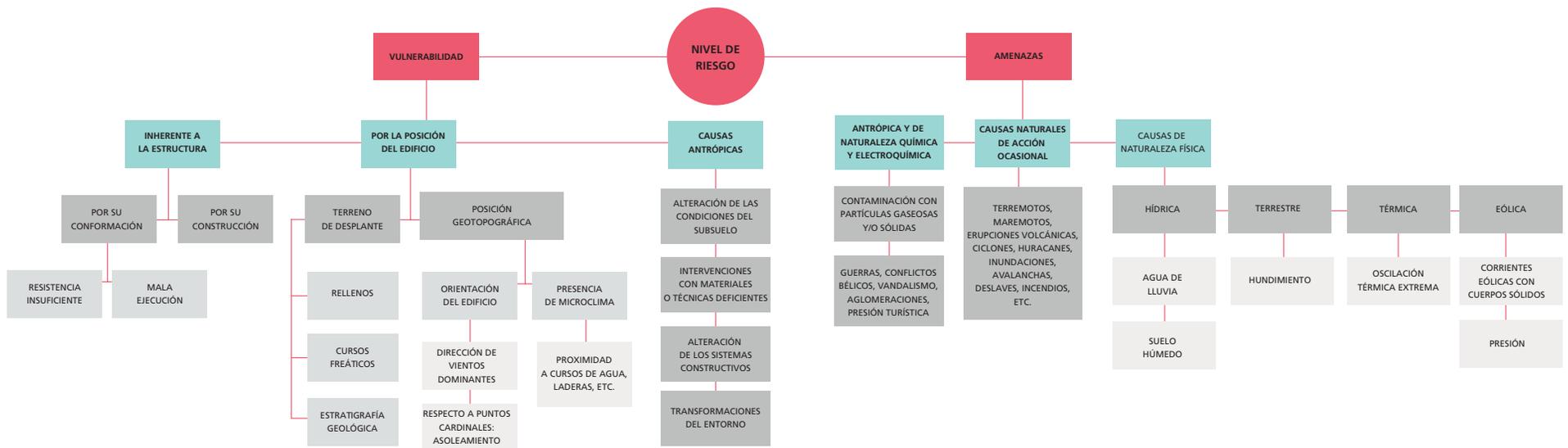


Figura 2. Esquema de variables para la definición del nivel de riesgo, con base en la clasificación de las causas de deterioro según G. de Angelis D’Ossat, *op. cit.*, 1972. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO I

HERRAMIENTA 1. PRIORIZACIÓN DE ACCIONES PARA LA ATENCIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL INMUEBLE EN FUNCIÓN DEL VALOR PATRIMONIAL

En los manuales y programas de gestión del riesgo implementados existe un vacío en lo referente al valor patrimonial, tanto en la definición del concepto como en la manera en que define el criterio con respecto a la prioridad, ya se hable de la ejecución de obras para mitigación y conservación preventiva, o de realizar obras de emergencia y restauración en las etapas de respuesta y recuperación.

Los manuales de gestión del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble han considerado el valor patrimonial bajo tres perspectivas: 1) como un conjunto de valores y atributos que deben respetarse y son definidos por un país en el marco de un decreto específico o por determinación de ley; 2) como un criterio de priorización para el rescate en una emergencia, y 3) como un indicador de buenas prácticas de construcción que deben preservarse. Con respecto al primer punto, si bien la valoración se genera a partir de la interacción de una comunidad con el bien patrimonial, para la gestión del riesgo es deseable contextualizar este aspecto en el marco legal e institucional de cada país, debido a que en ese ámbito se constituye un consenso. Tal consenso implica, primero, un proceso de valoración para determinar a qué categoría pertenece el bien cultural, reconociéndolo –como decía Cesare Brandi– en tanto documento de arte y de historia, y que finalmente queda consignado en un documento legal. Los decretos de declaratoria como patrimonio cultural,

las fichas de catálogo y las leyes en materia de patrimonio de cada país son herramientas clave para entender qué se valora, en función de los atributos o cualidades plasmadas en esos documentos. Por otra parte, este punto incluye al universo de lo que se valora, y en ese sentido es la base para priorizar acciones encaminadas a la atención del patrimonio cultural inmueble.

En cuanto a considerar el valor como un criterio de prioridad en el rescate de bienes patrimoniales, los manuales de gestión del riesgo dan cuenta de que ciertos bienes son más valiosos que otros, sobre todo por su escasez o porque son irremplazables. En consecuencia, su afectación por una catástrofe natural constituiría una pérdida mayor en relación con otros bienes de cualidades materiales “reemplazables”, o bienes en que el material no es componente esencial de su valor, como en el caso de la arquitectura vernácula que está en constante proceso de regeneración.

Y si se entiende el valor como buena práctica de construcción que por ello debe preservarse, se refiere a la consideración del valor que más se repite en los manuales de gestión del riesgo en relación con los dos anteriores, principalmente como una recomendación de restaurar mediante el uso de técnicas constructivas tradicionales para la etapa de recuperación de los inmuebles, con miras a lograr la necesaria compatibilidad estructural. Si entendemos lo anterior como una herramienta de evaluación del riesgo, es posible aseverar que la alteración estructural y la pérdida de la integridad material aumentarían la vulnerabilidad de los edificios históricos, por lo que ese tema será abordado a detalle en el capítulo III.

1. El valor patrimonial definido por decretos de declaratoria o por determinación de ley

1.1 El marco legal de protección como referente de la valoración patrimonial

Según la teoría de la restauración previa a la Carta de Burra, los bienes culturales poseen valores intrínsecos que deben preservarse a partir de acciones de conservación y restauración, pero desde la redacción de ese documento ha tenido lugar un cambio en el enfoque de la valoración al añadir el concepto de significación, el que depende directamente de la interacción entre los individuos o grupos y el bien cultural inmueble. Es en ese sentido que Olimpia Niglio cita a Protágoras, quien señalaba que el hombre es la medida de todas las cosas y, por tanto, es el agente fundamental en la definición de valor, pues “el conocimiento no es una experiencia absoluta sino que forma parte de cada individuo”.²¹ Más de dos mil años después, la filosofía del siglo pasado sustituyó la palabra *hombre* con el término *comunidad*, e incluso civilización, y la palabra cosas con los *valores o ideales* que constituyen su fundamento. Por tanto, cada comunidad juzga el ambiente que la circunda en relación con su mentalidad cultural.²²

En ese mismo sentido, otros autores han señalado que el carácter cultural de un objeto determinado consiste en el significado que tiene para una

21 O. Niglio, “Introducción al concepto de valor para el patrimonio cultural”, *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXIII, núm. 3, 2012, p. 107.

22 *Ibidem*, p. 107.

sociedad concreta; por ejemplo, en *Teoría contemporánea de la restauración* Salvador Muñoz Viñas cita a Müller: “los bienes culturales no existen independientemente de los humanos; no sólo su sustancia, sino también su significado (asignado) es producido por las personas”.²³ Y reitera esta idea cuando indica que para desarrollar o evaluar un acto de conservación o restauración “debemos reconocer continuamente que los objetos y los lugares no son, por sí mismos, lo que tiene de importante el patrimonio cultural; son importantes por los significados y usos que las personas asignan a estos bienes materiales y por los valores que representan”.²⁴

En consecuencia, la valoración en el contexto de la gestión del riesgo depende no sólo del valor asignado por la sociedad involucrada con el bien, sino además por la comunidad científica y el Estado, ya que los tres forman la base para proteger por ley los bienes culturales. En ese sentido Josep Ballart señala: “Parece fuera de dudas que sólo la sociedad en su conjunto por medio de sus portavoces sociales y políticos, y mediante la acción reguladora del Estado es la que puede asumir la responsabilidad de valorizar en mayor o menor grado este tipo de recursos públicos”.²⁵

No obstante, si bien esos documentos legales decretados por el Estado constituyen consensos como parte de sus políticas de protección del patrimonio cultural, los cuales se concretan luego de procesos como estudios, discusiones y consulta ciudadana, muchas veces no logran interpretar la valoración que cada

23 Salvador Muñoz Viñas, *Teoría contemporánea de la restauración*, Madrid, Síntesis, pp. 45-46, 2004.

24 Muñoz Viñas, *ibidem*, p. 46.

25 J. Ballart, *El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso*, Barcelona, Ariel, p. 120.

sociedad otorga a su patrimonio, con la riqueza de su significado y simbolismos. Por otra parte, en una sociedad puede haber distintos grupos que valoren un objeto de formas distintas. Si bien existe una propuesta planteada por el Getty Conservation Institute²⁶ para la interpretación de esta valoración subjetiva, sobre todo desde disciplinas como la antropología y la etnología –mediante entrevistas y encuestas a involucrados con bienes culturales–, su implantación requiere de profesionales y recursos con que la institución patrimonial en general no cuenta. Estas metodologías podrían aplicarse mejor a proyectos específicos, y no tanto a nivel nacional o regional, lo que permitiría en cada caso el desarrollo de proyectos o políticas para la conservación del patrimonio cultural más apropiadas, coherentes y factibles respecto a los contextos de aplicación. En ese mismo sentido, para el Getty Conservation Institute el contexto es el factor fundamental para evaluar el valor cultural:

Contexto, como es usado aquí, se refiere al entorno físico y geográfico; a patrones y narrativas históricas; y a los procesos sociales con un impacto discernible en el patrimonio y en su conservación. También incluye tanto las condiciones culturales, sociales, económicas, y otras que contribuyen a la significación, como la configuración de la administración y entorno físico del sitio.²⁷

26 M. de la Torre. (ed.), *Assessing the Values of Cultural Heritage*, Los Ángeles, The Getty Conservation Institute, 2002.

27 *Ibidem*, p. 14 (traducción de la autora: "Context, as used here, refers to physical, geographical surroundings; to historical patterns and narratives; and to the social processes with discernible impact on heritage and its conservation. These include the cultural, social, economic, and other conditions contributing

Cada país cuenta con un marco legal y procedimientos específicos para proteger su patrimonio cultural, instrumentos que fundamentan la protección legal con base en la identificación de los valores patrimoniales y las cualidades de cada bien cultural. En virtud de lo anterior, es importante definir y clasificar el concepto de valor cultural, por ello a continuación se presenta una síntesis de las definiciones ofrecidas por distintos autores y plasmadas en documentos internacionales.

1.2 El concepto de patrimonio cultural y su valoración

Este apartado busca explorar el concepto de patrimonio cultural y su valoración con base en definiciones planteadas por autores modernos, en el sentido de la manera en que consideran el valor no sólo como las cualidades propias del bien cultural, sino también como el producto de la relación entre el bien y la comunidad. Por ello, con el objetivo de lograr una clasificación y priorización de los bienes culturales en función de su valor cultural, se revisarán los conceptos vertidos sobre todo por Aloïs Riegl, Françoise Choay y Josep Ballart, y también por documentos como la Carta de Burra, el Documento de Nara sobre autenticidad y *Assessing the Values of Cultural Heritage (Evaluación de los valores del Patrimonio Cultural)*, texto publicado por el Getty Conservation Institute.

Una primera clasificación de valores es la propuesta de Aloïs Riegl, quien como presidente de la Comisión de Monumentos Históricos de Viena en 1903

to significance, as well as the management setting and physical surroundings of the site”).

publicó *El culto moderno a los monumentos. Caracteres y origen*,²⁸ en el que analiza los distintos tipos de valores de los monumentos, y distingue los valores conmemorativos, o relacionados con la memoria,²⁹ de los valores de contemporaneidad, además de enfatizar las relaciones –muchas veces contradictorias– que pueden darse entre ellos, y las consecuencias que tiene el hecho de establecer jerarquías sobre las decisiones de conservación y restauración. Esta forma de considerar los valores culturales, muy moderna para su época, resulta fundamental en el marco de la gestión del riesgo, pues se considera indispensable una clasificación de valores que permita evaluarlos y, en cierta medida, ponderarlos en cada contexto sociocultural, para que con base en ello sea posible tomar decisiones en materia de protección de los bienes culturales inmuebles.

En este mismo sentido, Riegl expuso la relatividad del proceso de valoración del patrimonio en tanto se basa en una voluntad social o *voluntad artística* condicionada por la visión del mundo en cada época. En ese contexto define dos grupos de valores: los conmemorativos o ligados al pasado, y los de contemporaneidad o relativos al presente.

Los valores conmemorativos son el *valor de antigüedad*, basado en la oposición al presente que se manifiesta en la percepción de las huellas del deterioro causado por la naturaleza en su labor lenta e incontenible; considera la existencia de una creación continua donde lo que hoy es moderno se convertirá

28 A. Riegl, *El culto moderno a los monumentos. Caracteres y origen* (trad. de Ana Pérez López), Madrid, Visor, 1987.

29 En la traducción inglesa del texto del Riegl, de Kurt Forster y Diane Ghirardo, esos valores se denominan *commemorative values* (valores conmemorativos). Según el *Oxford Dictionary*, *commemorative* significa: honrar o preservar la memoria de un evento o persona.

paulatinamente en monumento; *el valor histórico*, que considera al monumento como un documento que representa una etapa determinada en la evolución de alguno de los campos creativos de la humanidad, y además tiene una base científica en el conocimiento de la historia del arte; y el *valor conmemorativo intencionado* se refiere a los monumentos erigidos para conmemorar algo y evitar que se convierta en pasado, por lo cual se mantiene presente y vivo en la conciencia de la posteridad.

Por otra parte, los valores de contemporaneidad son el *valor instrumental*, que se refiere al valor de uso y fin práctico del monumento y por ello no es aplicable a sitios arqueológicos o vestigios; el *valor de novedad*, que se presenta cuando el monumento responde a las exigencias de la moderna voluntad de arte, asumiéndose como una obra que no ha entrado en proceso de deterioro en cuanto a forma y color; por último, el *valor artístico relativo* se basa en la posibilidad de que obras de generaciones anteriores puedan ser apreciadas por su propia concepción, forma y color en el presente, por lo cual se encuentra sometido a un continuo cambio porque es subjetivo.³⁰

No obstante lo moderno del pensamiento de Riegl, la teoría clásica de la restauración se fundamentó únicamente en los valores históricos y los valores artísticos, lo cual se evidenció en el objetivo de la conservación y restauración planteado tanto en la Carta de Atenas de 1931 como en la Carta de Venecia de 1964: preservar y revelar el valor estético e histórico del monumento.

En relación con el valor estético o artístico, la concepción de lo que son y representan el arte y la belleza se transforma en el siglo XVIII con Alexander

30 A. Riegl, *op. cit.* 1987.

Gottlieb Baumgarten, filósofo y profesor alemán que analizó por vez primera el concepto de estética como disciplina filosófica en 1735, en sus *Reflexiones filosóficas en torno al poema*, tanto en el sentido de una teoría del conocimiento sensible, en general, como de su forma específica: el gusto³¹. Ahí Baumgarten asevera que “la estética tiene una legitimidad analógica como saber de todo aquello que la razón no puede comprender sólo por sí misma. La estética tiene ahora como finalidad la perfección del conocimiento sensible en cuanto tal, y esta perfección no es otra cosa que la belleza”.³² Así, el entendimiento de la estética requiere de las percepciones y el sentimiento, lo cual está relacionado con la apreciación de la belleza:

La belleza es la dominadora incuestionable de todos nuestros sentimientos, el fundamento de todos nuestros impulsos naturales, el espíritu vivificante que transforma en sentimientos el conocimiento especulativo de la verdad y que enciende en nosotros una activa resolución. Nos embelesa en la naturaleza, en donde la encontramos originaria pero fragmentariamente; y el espíritu del hombre ha sabido refigurarla y multiplicarla en las obras de arte.³³

Sin embargo, esta concepción cambió en la década de 1960, debido a las trans-

31 A. G. Baumgarten, J. J. Winckelman, M. Mendelssohn y J. Hamann, *Belleza y verdad. Sobre la estética entre la Ilustración y el Romanticismo* (trad. de Catalina Terrasa y Vicente Jarque), Madrid, Alba, 1999, p. 10.

32 *Ibidem*, p. 12.

33 *Ibidem*, p. 240.

formaciones de la sociedad industrializada y a sus avances tecnológicos, los cuales modificaron la percepción de los valores culturales en virtud de la reproducción y distribución en una escala masiva, y tanto el arte como la política, la religión y la filosofía comenzaron a tener un valor de cambio antes que un valor de verdad.³⁴ A pesar de ello, fue así como se desacralizó el arte y se acercó a una mayoría de personas, pues millones de personas en todo el mundo pudieron tener acceso a las bellas artes por medio de un clic del ratón en la computadora, lográndose una difusión inmediata. “En esta difusión, sin embargo, sus bellas artes llegan a estar apresadas en una máquina cultural que reforma su contenido”.³⁵

Esta temática de la modernidad, la sociedad de masas y la pérdida de libertad del hombre al someterse al sistema social ha sido tratada por autores como Herbert Marcuse –filósofo y sociólogo alemán exiliado en Estados Unidos–, en *El hombre unidimensional. Ensayo sobre la ideología de la sociedad industrial avanzada*, y también por Marshall Berman, filósofo marxista y autor de *Todo lo sólido se desvanece en el aire. La experiencia de la modernidad*. En su respectivo análisis, cada uno de ellos señala que, en un contexto de pérdida de la libertad del hombre, y a la vez de la liberación comercial del arte como negocio y diversión, se produjo un proceso de “desublimación” del arte en la medida en que se reemplazó la gratificación mediatizada con la inmediata. Sin embargo, los placeres que el arte y la estética conceden a los ciudadanos

34 H. Marcuse, *El hombre unidimensional. Ensayo sobre la ideología de la sociedad industrial avanzada* (trad. de Juan García Ponce), México, Joaquín Mortíz, p. 78.

35 *Ibidem*, p. 86.

todavía generan satisfacción y promueven la cohesión social.³⁶

En este contexto, la Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural de 1972 definió el concepto de patrimonio universal a partir de la definición de monumento histórico: “son patrimonio universal los monumentos, conjuntos edificados, yacimientos arqueológicos o conjuntos que presentan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la historia del arte o de la ciencia”.³⁷ Respecto a una definición de patrimonio o valores universales desde la óptica occidental, Françoise Choay señaló que ello proclama la universalidad del sistema de pensamiento y de valores occidentales en ese sentido,³⁸ en la medida en que propone una cierta homogeneización de los criterios para evaluar los valores del patrimonio cultural. Pero en el transcurso de los años, y gracias al desarrollo de cartas y documentos doctrinales por parte de comités locales del ICOMOS, se comprendió la importancia del contexto local para entender el valor cultural, pues la homogeneización de valores y criterios tendería a diluir o incluso eliminar los valores locales en favor de valores universales.³⁹ Por otra parte, lo anterior también da cuenta de que existen distintas escalas de valoración del patrimonio cultural: local, nacional e internacional.

En este nuevo escenario, y con respecto a la identificación de valores patrimoniales, en la Carta de Burra de 1981 se definió el concepto de sitio de

36 *Ibidem*, pp. 92-93.

37 UNESCO, *Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural, 1972*, disponible en <http://whc.unesco.org/archive/convention-es.pdf>, consultado en abril de 2015.

38 F. Choay, *Alegoría del patrimonio* (trad. de María Betrand Suazo), Barcelona, Gustavo Gili, 2007, p. 191.

39 ICOMOS, *The Declaration of San Antonio*, disponible en <http://www.icomoscr.org>, consultado en abril de 2015.

significación cultural, y el valor cultural como valor estético, histórico, científico o social para generaciones pasadas, presentes y futuras,⁴⁰ y además se propuso una metodología para evaluar y jerarquizar esos valores, con lo cual se creaba una segunda propuesta de clasificación de valores después de la de Aloïs Riegl. La Carta de Burra incluyó valores dinámicos –entre ellos la continuidad en la generación de cultura por parte de las comunidades–, e indicó que la significación cultural “se corporiza en el sitio propiamente dicho, en su fábrica, entorno, uso, asociaciones, significados, registros, sitios relacionados y objetos relacionados”.⁴¹ Posteriormente, en 1994, en el Documento de Nara sobre autenticidad se afirma que, en función de la naturaleza del patrimonio y su contexto cultural, los juicios sobre autenticidad deben estar ligados a una variedad de fuentes de información, entre ellas “concepto y forma; materiales y sustancia; uso y función; tradición y técnicas; situación y emplazamiento; espíritu y sentimiento; y otros que pueden ser internos o externos de la obra. El uso de estas fuentes permite elaborar las dimensiones específicas del bien examinado en el plano artístico, histórico, social y científico”.⁴²

Ya en 2007, y con base en el contexto francés, Françoise Choay definió tres tipos de valores patrimoniales en *Alegoría del patrimonio*: el valor cognitivo, relacionado con el hecho de que los monumentos históricos son portadores de valores educativos específicos y generales para todas las categorías sociales;

40 ICOMOS, *Carta de Burra*, 1982, disponible en <http://www.international.icomos.org>, consultado en abril de 2015.

41 *Ibidem*, p. 2.

42 ICOMOS, *Documento de Nara sobre autenticidad*, 1994, disponible en <http://www.icomoscr.org>, consultado en abril de 2015, p. 2.

el valor económico, que se refiere al interés del patrimonio monumental para atraer visitantes extranjeros; y el valor artístico, relacionado con la noción de estética y que Choay considera el tercero en categoría por la imprecisión del concepto de arte.⁴³ Josep Ballart, contemporáneo de Choay y autor de *El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso*, también dividió los valores culturales en tres grandes categorías que podrían englobar diversos subvalores. Esos valores, si bien fueron nombrados de otra forma, son muy similares a los propuestos por Choay: el valor de uso o la dimensión utilitaria del objeto histórico, que resulta similar al valor económico; el valor formal o la apreciación de los objetos –por la atracción que despiertan en los sentidos–, podría entenderse como valor artístico; mientras el valor simbólico-significativo se entiende como la consideración en que se tienen los objetos del pasado en tanto vehículos de alguna forma de relación entre quienes los produjeron o los utilizaron y sus actuales receptores, y que tiene similitud con los valores cognitivo y social.⁴⁴

Desde una perspectiva local de la valoración, el Getty Conservation Institute publicó en 2002 *Evaluación de los Valores del Patrimonio Cultural*, en el que se propone una tipología provisional de valores patrimoniales para los sitios con valor cultural, en el marco del desarrollo de planes de conservación. Lo anterior tiene lugar desde una perspectiva antropológica: se busca entender el amplio espectro de los valores y el proceso de valoración asociado al patrimonio, a diferencia de las normas de conservación tradicionales que privilegian los valores históricos y artísticos sobre los otros. Es así como ese

43 F. Choay, *op. cit.*

44 J. Ballart, *op. cit.*

documento define un proceso de evaluación de la significación que inicia con una identificación donde se consideran las tipologías de valores y un proceso de consulta a las personas relacionadas con el sitio; luego sigue un proceso de elaboración, que utiliza métodos culturales y económicos; y termina con una declaración de significación mediante procesos de análisis grupal. El principal componente de este proceso son las personas relacionadas con el sitio de manera individual o grupal, pues la propuesta se basa en que los distintos valores de un bien patrimonial corresponden a los diversos puntos de vista de los observadores expertos o locales. Esta naturaleza social del patrimonio implica que sus valores cambien de manera constante y, por tanto, no puedan ser medidos de una forma objetiva.

A pesar de la subjetividad y contingencia de los valores patrimoniales, éstos deben clasificarse en tipologías, aun cuando sean provisionales y no puedan aplicarse en todos los sitios o situaciones. Por ello en el documento se propone dividir los valores en dos grandes grupos: los valores socioculturales y los valores económicos: “Los valores socioculturales se encuentran en el núcleo tradicional de la conservación, son los valores asociados a un objeto, edificio o lugar porque presentan un significado para las personas o grupos sociales debido a su antigüedad, belleza, arte, o asociación con una persona o evento significativo o (de otra manera) contribuye a procesos de afiliación cultural”.⁴⁵

Según *Assessing the Values of Cultural Heritage*, los valores socioculturales corresponden a los valores históricos, culturales/simbólicos, sociales, espirituales/religiosos y estéticos, y aun cuando en gran parte dependen de la

45 M. de la Torre (ed.), *op. cit.*, p. 11.

antigüedad del bien, además incluyen aspectos como el uso actual del inmueble, ya sea para reuniones sociales o celebraciones; y aspectos como el sentido de bienestar asociado a la percepción personal de los valores estéticos. Por otra parte, respecto a los valores económicos, en el texto se afirma que están conceptualizados de una forma muy diferente a los socioculturales: “De acuerdo a la teoría neoclásica de la economía, los valores económicos son los valores vistos principalmente a través del lente del consumidor individual y de una elección firme (utilidad) y están a menudo expresados en términos de precio. No obstante, no todos los valores económicos se miden en términos de precios de mercado”.⁴⁶

Los valores económicos corresponden al valor de uso desde el punto de vista del mercado; el valor de no uso se refiere a los valores difíciles de expresar en términos de precio, pero implican una ganancia económica por el deseo de las personas de acceder a ellos; el valor de existencia se presenta cuando los individuos valoran el bien por el hecho de que existe, aunque no “consuman sus servicios”; el valor de opción se refiere al deseo de alguien de preservar la posibilidad de acceder al bien en algún momento; y el de legado se relaciona con el deseo de legar el bien a las futuras generaciones.

Respecto a la relación entre valor económico y valor de uso, en *Las palabras y las cosas. Una arqueología de las ciencias humanas*, Michel Foucault relaciona el valor de cambio con la satisfacción de necesidades y el disfrute, y enfatiza que los objetos –en su ejemplo, una moneda de oro– reciben su valor por su pura función de signo y, por tanto, “este valor se establece por

46 *Ibidem*, p. 12.

sí mismo, sin referencia a la moneda, según los criterios de utilidad, de placer y de rareza”.⁴⁷ Además señala que el juicio del valor de las cosas se define por su utilidad para el hombre: “Decir que una cosa vale es decir que es o que la consideramos buena para cierto uso. Así, pues, el valor de las cosas se funda en su utilidad o, lo que viene a ser lo mismo, en el uso que podemos hacer de ellas”.⁴⁸

Si bien es cierto que en relación con los valores socioculturales del patrimonio no existen mayores cuestionamientos, sí se han dado para la definición del valor desde el punto de vista económico, enmarcado en los casos en que se ha impuesto el valor de mercado por sobre los demás, en el contexto de la explotación económica de los bienes culturales por mediación del turismo sin control. Aun cuando ese término busca valorar los bienes culturales desde el punto de vista económico, al final resulta ambiguo porque está asociado a la noción de plusvalía: “plusvalía de su interés, de su agrado, de su belleza, ciertamente, pero también plusvalía de su atractivo, de obvia connotación económica”.⁴⁹ En relación con lo anterior, Olimpia Niglio señala que el valor cultural, en contraposición al valor contable, se refiere a los valores que se refuerzan por las uniones existentes entre los individuos y el contexto: “el valor de vínculo que estamos considerando lo define el contexto sociocultural y otras acciones

que no dependen de cálculos cuantificables, pero que obedecen a otros fac-

47 M. Foucault, *Las palabras y las cosas. Una arqueología de las ciencias humanas* (2a. ed. revisada, trad. de Elsa Cecilia Frost), México, Siglo XXI, 2010, p. 191.

48 *Ibidem*, p. 213.

49 F. Choay, *op. cit.*, p. 194.

tores que involucran aspectos sensoriales y emocionales”.⁵⁰

Los autores y documentos mencionados coinciden en la definición de las tipologías de valores, siendo constantes en la mayoría de casos los valores históricos, artísticos o estéticos y sociales, y agregándose en otros los valores de antigüedad, simbólico-significativos, científicos, educativos, de uso y económicos. Con base en las tipologías de valores ya señalados, y si se considera que algunas de ellas se traslapan en sus significados, en el apartado 3 se definirá un listado de valores con el objetivo de ponderar y priorizar la atención de los bienes culturales inmuebles en función de sus valores culturales.

2. El valor como un criterio de priorización para el rescate de bienes patrimoniales susceptibles de ser afectados ante una catástrofe: ejemplares escasos o excepcionales

Los manuales de gestión del riesgo para la conservación del patrimonio establecen la necesidad de realizar un inventario de los bienes y dar prioridad a aquellos más valiosos para acudir a su rescate ante una emergencia. Lo anterior se basa en que existen bienes o cualidades de ciertos bienes más relevantes que otros, sobre todo desde el punto de vista de su escasez, por presentar valores irremplazables o por su excepcionalidad. En este sentido se podría decir que si bien los bienes patrimoniales presentan una carga de valores intangibles que son independientes a la valoración en dinero que les pueda adjudicar el

50 O. Niglio, *op. cit.*, pp. 105-106.

mercado, existe una similitud entre los valores socioculturales y los valores económicos, y es que en ambos casos se valoran más los bienes escasos, como señala Josep Ballart: “aparte de los intangibles que un bien patrimonial pueda atesorar, por encima de todo siempre existe un criterio de estimación elemental y básico que la teoría económica del valor ha destacado: se valora más aquello que más cuesta producir y aquello que es más escaso”.⁵¹ Sumado a lo anterior, Salvador Muñoz Viñas es más enfático al determinar que la unicidad de un bien constituye un factor de riesgo:

[...] la escasez o excepcionalidad de un objeto es un factor crucial a la hora de evaluar el riesgo a que está sometido. Un objeto único, o mejor, un objeto insustituible (porque todos los objetos son únicos de un sentido u otro) no puede ser repuesto, y su alteración tendrá consecuencias más graves que en el caso de los objetos sustituibles. La unicidad de un objeto, por lo tanto, es un rasgo que se puede interpretar como un factor de riesgo.⁵²

Los bienes culturales inmuebles sufren alteraciones a lo largo de su historia por distintas causas, por ello los bienes que en mayor medida preservan su autenticidad son, en general, más escasos. En este sentido, Muñoz Viñas define cuatro factores mediante los cuales es posible identificar los estados de autenticidad del bien cultural, y dependen de sus valores y sus grados de alteración:

51 J. Ballart, *op. cit.*, p. 113.

52 S. Muñoz Viñas, *op. cit.*, pp. 76-77.

1. Los materiales que componen el objeto: se asume que si estos materiales se sustituyen por otros, la autenticidad del objeto queda destruida o dañada [...]
2. Los rasgos perceptibles de los objetos [...] se puede cambiar sustancialmente el color de un edificio y percibirlo como más auténtico; pero no se puede cambiar sustancialmente el color de una estatua de Canova, ni el de una pintura barroca [...]
3. La idea que originó los objetos [...] la que suele identificarse como auténtica es la del artista o artesano que produjo materialmente el objeto [...]
4. La función material de los objetos [...] la restauración puede exigir la concurrencia de una materia diversa de la original pero no menos auténtica en el papel que desempeña [...] ⁵³

Así, pues, en función del tipo de bien cultural existen cualidades que pueden modificarse sin afectar sus valores culturales, y éstas constituirían condiciones reemplazables ante una situación extrema, como un desastre natural. Por lo anterior, también es posible concluir que los criterios de identificación de la autenticidad, en función del grado de alteración del bien cultural inmueble, permitirían ponderar sus valores culturales.

En la Carta de Burra se señala que la significación cultural “se corporiza en el sitio propiamente dicho, en su fábrica, entorno, uso, asociaciones, significados, registros, sitios relacionados y objetos relacionados”.⁵⁴ En el tiem-

53 *Ibidem*, pp. 87-88.

54 ICOMOS, *Carta de Burra*, ed. cit., p. 2.

po, esas cualidades sufren cambios de estado que afectan su integridad, pero ante una catástrofe natural se podría decir que los elementos más susceptibles a cambios son los materiales, debido a que existe una pérdida material que afecta la estabilidad del inmueble y su percepción por parte de las personas; las técnicas, debido a que los procesos de reforzamiento suelen actualizar o modificarlas en función de lograr la seguridad de las personas; y el uso, debido a que los daños muchas veces inhabilitan los bienes inmuebles. En relación con lo anterior Muñoz Viñas cita a Ashley-Smith, quien relaciona la pérdida de integridad o cambio de estado con una pérdida de valor, lo que puede ser producto del entorno, del uso, o de los mismos tratamientos de restauración: “Estos cambios de estado se denominan pátina, restauración o deterioro, dependiendo de que el cambio sea deseable, deliberado o accidental (...) nosotros definiríamos el daño como un cambio de estado que resulta en una pérdida de valor. O se podría ir un poco más allá y decir que el daño es algo que disminuye la posibilidad de uso o de uso potencial”.⁵⁵

En función de lo anterior, es posible concluir que la pérdida de integridad también es un criterio que permitiría ponderar los valores culturales de un bien cultural inmueble, pues “la destrucción del objeto es una pérdida irreparable; es una pérdida económica, por el valor de cambio del objeto, una

pérdida estética, por la destrucción de unos valores formales originales, y una

55 Ashley-Smith, citado en S. Muñoz Viñas, *op. cit.*, p. 107.

pérdida histórica, por la destrucción del signo”.⁵⁶

3. Tabla síntesis de los valores culturales

El objetivo de la siguiente tabla síntesis es identificar y definir los tipos de valores propuestos, tanto por teóricos como por documentos internacionales, para generar un listado lo más amplio posible que pueda funcionar como base para describir los valores culturales de un bien inmueble particular; en cada contexto local éstos deberán jerarquizarse, y a partir de ello priorizar la atención. En esa tabla se considera como base la definición de *significación cultural*, establecida en la Carta de Burra como “valor estético, histórico, científico, social o espiritual para las generaciones pasada, presente y futura”.⁵⁷

Con base en la clasificación de valores propuesta por el Getty Conservation Institute, el conjunto de los valores culturales pueden dividirse en valores socioculturales y valores económicos. Los valores socioculturales incluirían el valor de antigüedad, el valor histórico, el valor simbólico-significativo y el valor estético. Respecto a los valores económicos, éstos comienzan a considerarse a finales del siglo XIX y principios del XX por el carácter material del patrimonio inmueble.⁵⁸ En 2002 fueron reafirmados por ese mismo instituto, al considerar el

56 J. Ballart, *op. cit.*, p. 88.

57 ICOMOS, Carta de Burra, ed. cit.

58 J. Llul, “Evolución del concepto y de la significación del patrimonio cultural”, *Arte, Individuo y sociedad*, vol. 17, 2005, pp. 175-204.

patrimonio como un bien de consumo, su utilidad y el precio de mercado.⁵⁹ Entre estos valores se encuentra el valor de uso, el valor económico, propiamente, y también podría incluir el valor científico por su potencial de investigación.

Con el objetivo de que ese listado de valores y sus definiciones sea lo suficientemente claro para facilitar la discusión y la comparación entre distintos bienes culturales inmuebles, se incluirá en las definiciones las descripciones propuestas por la doctora Isabel Medina en “Una vuelta al fundamento conceptual del valor: nuevos encuentros desde la filosofía, la psicología, la economía, la sociología, la antropología, la axiología y los estudios de patrimonio”, presentado en 2012 como parte del Seminario-Taller de Valoración de Acervos Museológicos. Ahí la autora desarrolla una propuesta de tipología valorativa inicial de trabajo para acervos museológicos, el cual se compone de los valores: arqueológico, histórico, tecnológico, educativo, artístico, antropológico, simbólico, político/cívico, religioso/ritual y social, y en cada caso define referentes para su identificación. Estas tipologías y referentes se propusieron para la valoración de bienes muebles, pero es posible utilizar algunas de ellas para complementar las definiciones del listado de valores relativos a bienes inmuebles.

3.1 Propuesta de tabla síntesis de los valores culturales

A continuación se presenta la tabla con el listado de valores, sus definiciones.

59 M. de la Torre, *op. cit.*

Tabla 1. Síntesis de los valores culturales.

Valores	Definición	Historia
Valor de antigüedad	Se basa en la oposición al presente, manifestada en la percepción de las huellas del deterioro causado por la naturaleza en su labor lenta e incontenible. Esta desintegración de la obra humana causa un efecto estético y anímico en el hombre. Considera que existe una creación continua en la que lo que hoy es moderno, se irá convirtiendo en monumento. ⁶⁰	Desde la época antigua fue el fundamento del valor histórico, y fue reafirmado por Aloïs Riegl en 1903 agregando el carácter evocador del deterioro generado por la naturaleza en los bienes. ⁶¹ Posteriormente el Instituto de Conservación Getty en el 2002 lo reafirma como una condición del valor histórico. ⁶²
Valor histórico	Abarca la historia de la estética, de la ciencia de la sociedad, y por eso es en gran parte fundamental para todos los otros valores. Un lugar puede poseer valor histórico porque ha influido en, o ha sido influenciado por, un evento, personaje, etapa o actividad histórica. También puede tener valor histórico como sitio de un evento importante. Para cualquier lugar, el valor histórico será mayor para aquellos en que la evidencia de la asociación o del evento sobreviva en el lugar, o donde el sitio haya sobrevivido sustancialmente intacto; y será menor para esos otros que hayan cambiado o donde la evidencia ya no exista. Sin embargo, algunos eventos o asociaciones son tan importantes, que el lugar	Durante la época antigua se consideró como valor de antigüedad, mientras en Grecia, Roma y la Edad Media se consideró propio de los vestigios de una civilización superior. En el Renacimiento y los siglos XVI, XVII y XVIII se agregó además el carácter rememorativo del bien. ⁶³ Después Aloïs Riegl, en 1903, agregó el carácter de documento histórico de los bienes y la condición de ser representativos de una época. ⁶⁴ Luego este valor fue reafirmado por la Carta de Atenas en 1931, por la Carta de Venecia en 1964 y los siguientes documentos internacionales.

60 A. Riegl, *op. cit.*

61 *Ibidem.*

62 M. de la Torre (ed.), *op. cit.*

63 J. Llul, "Evolución del concepto y de la significación del patrimonio cultural", *Arte, Individuo y Sociedad*, vol. 17, pp. 175-204.

64 A. Riegl, *op. cit.*

<p>Valor histórico</p>	<p>puede mantener el valor a pesar de todos los cambios transcurridos.⁶⁵ El monumento representa una etapa determinada en la evolución de algunos campos creativos de la humanidad. Tiene una base científica en el conocimiento de la historia del arte y considera al monumento como documento histórico.⁶⁶ Referentes: relación, asociación, testigo de eventos y personajes del pasado, rupturas y continuidades, etc.⁶⁵</p>	
<p>Valor simbólico-significativo</p>	<p>Es la consideración en que se tienen los objetos del pasado en tanto que son vehículos de alguna forma de relación entre quienes a persona o personas que los produjeron o los utilizaron y sus actuales receptores.⁶⁸ Referentes: valor simbólico, como ideología, filosofía, comunidad de significados, comunicación, conmemoración; valor político/cívico como imposición, subversión, resistencia, reforma, revolución, movimiento cívico, imperialismo, colonialismo, nacionalismo, post-colonialismo, etc.; valor religioso/ritual, entendido como lo sagrado, las creencias, cosmogonías, principios, ceremonias, lo mágico, el rito, el mito; valor social, manifestado en las celebraciones, festivales, tradiciones, lo lúdico, lo familiar, lo comunitario, filiación, separación, segregación, etc.⁶⁹</p>	<p>La significación cultural aparece como concepto en la Carta de Burra de 1981 y en el Documento de Nara sobre autenticidad incluye como fuente de información el espíritu y el sentimiento. Luego Josep Ballart lo releva por la condición de los bienes de ser vehículos de relación entre el pasado y el presente,⁷⁰ y el Getty Getty Conservation Institute lo menciona como parte de los valores socioculturales.⁷¹</p>

65 ICOMOS, "Guía para la Carta de Burra: valor cultural", en A. Cabeza y S. Simonetti (comps.), *Cartas internacionales sobre patrimonio cultural*, Santiago, Consejo de Monumentos Nacionales (Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, Segunda Serie, 21), 1988.

66 A. Riegl, *op. cit.*

67 I. Medina, *op. cit.*, p. 44.

68 J. Ballart, *op. cit.*

69 I. Medina, *op. cit.*, p. 44.

70 J. Ballart, *ibidem.*

71 M. De la Torre, (ed.), *op. cit.*, 2002.

<p>Valor estético</p>	<p>Valor estético: “la estética tiene una legitimidad análoga como saber de todo aquello que la razón no puede comprender sólo por sí misma. La estética tiene ahora como finalidad la perfección del conocimiento sensible en cuanto tal, y esta perfección no es otra cosa que la <i>belleza</i>”.⁷²</p> <p>Incluye aspectos de percepción sensorial para lo que se puede y se debe establecer criterios. Estos criterios pueden incluir consideraciones de forma, escala, color, textura y material; los olores y sonidos que están vinculados al sitio y a su utilización.⁷³</p> <p>Valor artístico: valor que tiene que ver con la noción de estética. Se admite que este valor es el tercero en categoría debido a la imprecisión del concepto de arte.⁷⁴</p> <p>Valor artístico relativo: se basa en la posibilidad de que obras de generaciones anteriores puedan ser apreciadas por su propia concepción, forma y color. Está sometido a un continuo cambio porque es subjetivo.⁷⁵</p> <p>Referentes: corrientes y movimientos, plástica, estética, calidad de la ejecución.⁷⁶</p>	<p>En la época antigua se consideró como propio de la rareza y riqueza de los bienes, mientras que en la época de Grecia y hasta el siglo XVIII se consideró como propio de los bienes bellos, artísticos o modelos a imitar.⁷⁷ En 1735 Alexander Baumgarten define el concepto de estética relacionándolo con la percepción de la belleza y con los sentimientos. En 1903 Aloïs Riegl lo identificó como un valor de contemporaneidad artístico relativo.⁷⁸ Luego este valor fue reafirmado por la <i>Carta de Atenas</i> en 1931, por la <i>Carta de Venecia</i> en 1964 y las siguientes.</p>
-----------------------	--	--

72 A. Baumgarten, J.J. Winckelman, M. Mendelssohn y J. Hamann, *op. cit.*, p.12.

73 ICOMOS, 1988, *op. cit.*

74 F. Choay, *op. cit.*

75 A. Riegl, *op. cit.*

76 I. Medina, *op. cit.*, p. 44.

77 J. Llul, *op. cit.*; F. Choay, *op. cit.*

78 A. Riegl, *op. cit.*

<p>Valor científico</p>	<p>El valor científico o potencial de investigación de un lugar dependerá de la importancia de la información que exista, de su rareza, su calidad, su capacidad representativa, y el grado en el cual el lugar pueda aportar datos adicionales de gran substancia⁷⁹. Referentes: valor tecnológico relacionado con los materiales, técnicas, tradición, innovación, invención, adaptación, etc.; valor educativo o potencial para acceder y reformular el conocimiento y saberes del pasado, presente y futuro; valor científico o potencial de investigación para las ciencias, invención, innovación, desarrollo, reformulación, historia, evolución.⁸⁰</p>	<p>Se menciona por primera vez en la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural de 1972 y es reafirmado en la Carta de Burra de 1981 y en el Documento de Nara de 1994.</p>
<p>Valor de uso</p>	<p>Valor instrumental: valor de uso y fin práctico del monumento. Por lo anterior no es aplicable a sitios arqueológicos o ruinas.⁸¹ Es la dimensión utilitaria del objeto histórico.⁸² Referentes: valor funcional o desempeño, uso, eficiencia, efectividad, aprovechamiento de recursos y energía.</p>	<p>El primero en identificarlo fue Alois Riegl en 1903, quien definió el valor de contemporaneidad instrumental o de uso de los bienes basado en su fin práctico.⁸³ En 1981 la Carta de Burra incluye el uso como una de las formas en que se corporiza el valor cultural. Josep Ballart también destaca la utilidad de los bienes culturales⁸⁴ y el Getty Conservation Institute lo incluye como parte de los valores económicos.⁸⁵</p>

Fuente: Elaboración propia, 2015.

- 79 *Ibidem.*
80 I. Medina, *op. cit.*
81 A. Riegl, *op. cit.*
82 J. Ballart, *op. cit.*
83 *Ibidem.*
84 J. Ballart, *op. cit.*
85 M. de la Torre (ed.), *op. cit.*

Este listado a puede utilizarse como base para la ponderación de los valores patrimoniales para la *gestión del riesgo*; no obstante, es necesario recalcar su carácter de propuesta, pues cada país debería analizarlo y proponer el propio en función de su cultura. Lo anterior también tiene sentido al considerar la posibilidad de establecer categorías más precisas u otros valores en la medida que la comprensión de un lugar se torne más adecuada.⁸⁶

4. Definición de parámetros para priorizar la atención en función de los valores culturales

Como se ha dicho anteriormente, la *gestión del riesgo* se conforma por tres etapas: la prevención, la respuesta y la recuperación; para la conservación del patrimonio cultural inmueble se podría decir que la variable que cruza estas tres etapas es la valoración patrimonial. Lo anterior en el entendido de que la identificación de los bienes culturales inmuebles en función de sus valores permitiría priorizar las inversiones para su atención mediante acciones de conservación preventiva, acciones de emergencia o de restauración, y también definir el tipo de intervención que se va a realizar: restauración integral, estricta conservación, modificaciones admisibles, posible sustitución, entre otras. Por tanto, es importante establecer una herramienta que permita ponderar los valores de los bienes inmuebles con base en parámetros comunes, planteados desde la perspectiva del riesgo, para que a partir de ellos se priorice la atención

86 *Ibidem.*

al analizar la información en conjunto con las amenazas a que está expuesto el bien y su vulnerabilidad constructiva, dos factores que se estudiarán en los capítulos II y III.

Es muy importante considerar en el marco de esta herramienta el artículo 11 de la Carta de Venecia, que si bien se refiere a las liberaciones en una restauración, indica: "(...) El juicio sobre el valor de los elementos en cuestión y la decisión de las eliminaciones a efectuar no pueden depender únicamente del autor del proyecto",⁸⁷ por lo que se requiere de un trabajo interdisciplinario enmarcado en el contexto cultural particular para emitir un juicio de valor que releve los valores de un bien cultural inmueble. Sumado a lo anterior, el Documento de Nara sobre autenticidad también se refiere a los juicios de valor indicando que no se pueden basar en criterios fijos y deben ser juzgados en el contexto cultural del cual son parte, ya que "todos los juicios de valor atribuidos al patrimonio cultural, así como la credibilidad de las fuentes de información pueden diferir para cada cultura y aún dentro de una misma cultura".⁸⁸ Por lo anterior, cada país debe hacer su propio listado de valores y evaluar si la forma de priorizar corresponde con los criterios propios de su cultura. En ese sentido la aplicación de tal herramienta depende de que exista una definición previa de los valores patrimoniales o de la significación del bien cultural inmueble porque no pretende profundizar en las dinámicas o en los procesos de valoración, sino

87 Il Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, Venecia, 1964, Carta Internacional sobre la Conservación y la Restauración de Monumentos y Conjuntos Histórico-Artísticos, en L. Gómez (comp.), *Documentos internacionales de conservación y restauración*, México, INAH, 2009, p. 64.

88 ICOMOS, 1994, Documento de Nara sobre autenticidad, ed. cit., p. 2.

basarse en consensos interdisciplinarios ya establecidos en instrumentos como los decretos de declaratoria o las fichas de catálogo. Lo anterior se debe a que los procesos de valoración son relativos y dependen de cada contexto socio-cultural, “estudios antropológicos han avanzado en el argumento relativista demostrando el carácter contingente de la valoración conforme a contextos culturales diferenciales”⁸⁹, lo cual queda fuera del alcance de esta tesis.

En virtud de lo anterior, la herramienta que aquí se propone podría ser aplicada en inmuebles protegidos por la legislación patrimonial de cada país, salvo en sitios arqueológicos, donde se requieren otro tipo de análisis científicos e interpretativos para caracterizar sus valores. En Chile, por ejemplo, los decretos de declaratoria en la categoría de monumento histórico describen las características del bien inmueble y cada uno de sus valores patrimoniales, los cuales justifican su declaratoria como monumento nacional en el marco de la Ley 17.288 de Monumentos Nacionales y se transforman en un instrumento a partir del cual se evalúa la pertinencia de las intervenciones que ingresan al Consejo de Monumentos Nacionales para su autorización. Por lo anterior, esos decretos también pueden ser la base que permita aplicar la herramienta para priorizar en función del valor. Por otra parte, las fichas de catálogo podrían utilizarse también como punto de partida, debido a que están basadas en fuentes documentales y aportan información sobre localización geográfica, identificación del objeto, aspectos legales, datos históricos, estado actual-diagnóstico, historia constructiva, definición de valores y análisis crítico –éste, a su vez, incluye por lo general una clasificación que otorga las directrices que per-

89 I. Medina, *op. cit.*

miten definir el tipo de intervención admisible, siendo más flexible en casos donde el valor es menor a causa de alteraciones o pérdida de integridad.

A manera de conclusión sobre los apartados de este capítulo, podría decirse que los parámetros de evaluación de los valores patrimoniales para priorizar la atención de los bienes culturales inmuebles deberían considerar: el listado de valores propuesto en el punto 3 (a modo de referencia), y su ponderación en función de su integridad y autenticidad, y de tres escalas de valoración: local, nacional e internacional. En la escala local se evaluarían los valores del bien inmueble en función de su autenticidad e integridad individual, sin comparación con ningún otro bien inmueble; la escala nacional permitiría identificar el grado de escasez del bien cultural con base en su comparación con otros bienes en el territorio nacional, por ejemplo en base al inventario de bienes protegidos; por último, la escala de valoración internacional permitiría identificar la excepcionalidad del bien inmueble, pues los sitios inscritos en la Lista de Patrimonio Mundial deben ser reconocidos como bienes inmuebles de valor universal excepcional.

5. Propuesta para ponderar los parámetros de evaluación de los valores culturales

La evaluación de los valores patrimoniales es un tema complejo pero necesario para orientar las decisiones de conservación, y en el caso de la *gestión del riesgo* se suma la necesidad de ponderar los valores para orientar una mejor toma de decisiones en cuanto a la distribución de los recursos y priorizar la atención en contextos de riesgo.

En ese sentido, en 2009 fue desarrollada en Australia la metodología Significance 2.0⁹⁰ para evaluar la significación del patrimonio cultural mueble a partir de los valores propuestos en la Carta de Burra, conscientes de que la significación cambia diacrónica y sincrónicamente.⁹¹ Es un proceso de diez pasos para la evaluación, el cual incluye un análisis de la historia del bien mueble, sus significados y su contexto, entre otros elementos, a partir de criterios primarios y comparativos. Esta evaluación concluye con una declaración de significación donde se explica cómo y por qué el objeto/colección es relevante, y lo que significa para las personas involucradas con él; sin embargo, no incluye una ponderación cuantitativa porque su objetivo no es priorizar en función del valor, sino definir recomendaciones, políticas y tareas. Sin embargo, en la mayoría de los museos –para efectos de las pólizas de seguros– se realiza una

90 R. Russell y K. Winkworth, *Significance 2.0. A guide to assessing the significance of collections*, 2009, disponible en <http://arts.gov.au/sites/default/files/resources-publications/significance-2.0/pdfs/significance-2.0.pdf>, consultada en mayo de 2015.

91 V. Bullok, “Relevamiento de métodos y herramientas de evaluación de la significación”, en *Ibermuseos, 2012, Ensayos del Seminario – Taller en Valoración de Acervos Museológicos*, Brasilia, Programa Ibermuseos, p. 81.

estimación cuantitativa y expresada monetariamente, pero no logra traducirse en escalas de valoración orientadas hacia la gestión del riesgo de las colecciones, o hacia la planificación de acciones para la actuación ante emergencias:

[...] establecer cuantitativamente la distribución de los valores dentro de una colección parecería ser uno de los puntos más conflictivos en la valoración de los acervos patrimoniales, puesto que, no solamente se parte de la base de que todos los objetos son igualmente importantes, sino que además, reconocer numéricamente las posibles diferencias existentes constituye una barrera imperceptible.⁹²

A pesar de esta dificultad en torno a la ponderación en función del valor, es innegable la necesidad de priorizar ante la escasez de recursos, y más aún en contextos de riesgo. En el ámbito de la gestión del riesgo en los museos, el *Manual de gestión de riesgos de colecciones*,⁹³ desarrollado por el ICCROM, entendió la importancia de priorizar en función del valor de los bienes muebles ante una emergencia, y para ello propuso el *diagrama de valor de la colección*,⁹⁴

92 D. Cohen y M. Fernández, "Valoración: implicaciones para la gestión de riesgos, la conservación y el manejo de las colecciones", en *Ensayos del Seminario-Taller en Valoración de Acervos Museológicos*, Brasilia, Programa Ibermuseos, 2012, p. 99.

93 El manual no fue analizado en el capítulo II porque plantea un análisis cuantitativo de riesgos con base en la evaluación de la posible pérdida de valor de los acervos museológicos, cuantificando la pérdida de valor como la pérdida de una cierta cantidad de objetos que a su vez son más o menos valiosos. Lo anterior no es aplicable a los bienes inmuebles debido a que la pérdida de integridad de un bien inmueble no está necesariamente relacionada con una pérdida de valor.

94 ICCROM/ UNESCO, *Manual de gestión de riesgos de colecciones*, 2009, p. 5, disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001862/186240s.pdf>, consultada en mayo de 2015.

el cual se cuantifica en función de la cantidad de objetos correspondientes a cada categoría: tesoros, valor elevado y valor mediano, y se ponderan como porcentajes del total del valor de la colección.

La herramienta para priorizar en función del valor que se desarrolla en esta investigación propone ponderar los parámetros de evaluación en una matriz de información, en la que cada valor del listado se pondera con base función de su integridad y autenticidad, y su escasez a nivel nacional en la tipología edilicia en estudio. La excepcionalidad será una constante en todos los valores, debido a que depende de la condición de protección del bien inmueble a escala internacional. Se propone que la evaluación sea alta, media y baja, con una ponderación de 3, 2 y 1, respectivamente.

Para evaluar la integridad y la autenticidad se propone analizar la presencia, ausencia y grado de alteración de los elementos en que, según la Carta de Burra y el Documento de Nara, se corporiza cada valor cultural; debido a la aparente similitud entre los conceptos de *materiales, técnicas y fábrica*, se aclara que éstos se entienden según el significado otorgado por el *Diccionario* de la Real Academia Española.⁹⁵

95 En el DRAE, materiales se define como cada una de las materias que se necesitan para una obra, o el conjunto de ellas; técnicas se define como lo relativo a las aplicaciones de las ciencias y las artes, o como el conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte, por lo que tendría relación con los conocimientos intangibles relacionados con el sistema constructivo; en el caso del concepto de fábrica se define como construcción o parte de ella hecha con piedra o ladrillo y argamasa, por lo cual se relaciona con el sistema constructivo de mampostería, pero también se considerará la definición propuesta por el Comité Científico Internacional para el Análisis y la Restauración de Estructuras del Patrimonio Arquitectónico (IS-CARSAH) del ICOMOS, que definió fábricas como “las partes materiales y de la estructura que constituyen el edificio (pórticos, paredes, forjados, cubiertas, etc.).”

Los elementos asociados a cada valor son los siguientes:

- **Valor de antigüedad:** se corporiza en la huella del tiempo en materiales y fábrica.
- **Valor histórico:** se corporiza en la fábrica, uso, asociaciones, registros, sitios y objetos relacionados.
- **Valor simbólico-significativo:** se corporiza en las técnicas, entorno, significados, uso y función; tradición, espíritu y sentimiento.
- **Valor estético:** se corporiza en el concepto, forma, materiales, fábrica, emplazamiento y sentimiento.
- **Valor científico:** se corporiza en la fábrica, materiales y técnicas.
- **Valor de uso/económico:** se materializa en las asociaciones, sitios relacionados, uso y función.

En virtud de lo anterior, se propone establecer la siguiente ponderación:

- **Alta (3):** presencia de elementos en que se corporiza el valor cultural sin alteraciones entre 71 y 100% del total del bien inmueble.
- **Media (2):** presencia de los elementos en que se corporiza el valor cultural sin alteraciones entre 41 y 70% del total del bien inmueble.
- **Baja (1):** presencia de elementos en que se corporiza el valor cultural sin alteraciones entre 1 y 40% del total del bien inmueble.

Para evaluar el grado de escasez a nivel nacional, se propone analizar los valores del bien inmueble en relación con los valores de los demás bienes

de la misma tipología funcional (iglesias, viviendas, escuelas, infraestructura, etc.) protegidos por ley en cada país, con base en la información presente en el inventario, en las fichas de catálogo y en los decretos de declaratoria. En ese sentido se proponen las siguientes categorías:

- **Alto (3):** existen pocos ejemplares o el valor es único a nivel nacional.
- **Medio (2):** existen varios ejemplares con valores similares, pero su tipología presenta características particulares.
- **Baja (1):** existen muchos ejemplares de inmuebles de la misma tipología y con valores de similares características.⁹⁶

Con miras a definir esta clasificación, para cada valor podrían plantearse las siguientes preguntas:

- **Valor de antigüedad:** ¿cuántos de los bienes culturales inmuebles con la misma tipología funcional existentes a nivel nacional fueron construidos en la misma época que el bien en estudio?
- **Valor histórico:** ¿cuántos de los bienes culturales inmuebles con la misma tipología funcional, existentes a nivel nacional cuentan con valores históricos similares al del bien en estudio?

⁹⁶ Para definir cuántos ejemplares son pocos, varios o muchos, se debe analizar el inventario o nómina de inmuebles protegidos en cada país, y en función de la cantidad de inmuebles existentes por tipología funcional, se podría establecer el mayor o menor grado de escasez.

- **Valor simbólico-significativo:** ¿cuántos de los bienes culturales inmuebles con la misma tipología funcional, existentes a nivel nacional, cuentan con valores simbólico-significativos similares al del bien en estudio?
- **Valor estético:** ¿cuántos de los bienes culturales inmuebles con la misma tipología funcional, existentes a nivel nacional, cuentan con valores estéticos similares al del bien en estudio?
- **Valor científico:** ¿cuántos bienes culturales inmuebles con la misma tipología funcional, existentes a nivel nacional, cuentan con valores científicos similares al bien en estudio?
- **Valor de uso / económico:** ¿cuántos bienes culturales inmuebles con la misma tipología funcional, existentes a nivel nacional, cuentan con valores de uso o económicos similares al bien en estudio?

Por último, para evaluar el grado de escasez internacional, se propone utilizar el criterio de excepcionalidad que ostentan los Sitios de Patrimonio Mundial mediante la siguiente clasificación:

- **Alta (3):** el inmueble es Sitio de Patrimonio Mundial.
- **Media (2):** el inmueble está en la Lista Tentativa de Bienes a ser postulados como Sitios de Patrimonio Mundial.
- **Baja (1):** otros inmuebles.

Estos parámetros de evaluación podrían convertirse en una matriz de información, una base de datos o una ficha anexa a las fichas de catálogo de los edificios de cada país, por lo cual si bien para completar la información

de esos parámetros se requiere de antecedentes del bien cultural inmueble, se asume que la información debe formar parte de su decreto de declaratoria o de su ficha de catálogo, la cual debiese incluir: la categoría de protección patrimonial; la caracterización de los valores, el entorno físico y geográfico; reseña histórica; condiciones culturales y sociales, y la administración del sitio, entre otros.

6. Posible uso de los resultados de la ponderación del valor

A partir de los resultados de la ponderación de los parámetros se podría:

i. Definir la clasificación del bien inmueble, la cual determinará el grado de flexibilidad de las intervenciones o las intervenciones admisibles

El análisis a partir de cada valor del bien inmueble y de la presencia, ausencia o alteración de los elementos en que se materializa el valor permitirá definir una clasificación del bien, información que suele incluirse en las fichas de catálogo. Un ejemplo de clasificación es la que se utilizó en la propuesta de recuperación de las edificaciones tradicionales en el Parco Agricolo Sud Milano, citada por la maestra Valeria Valero en su tesis desarrollada en el Politécnico de Turín:

- **A:** edificios que presentan características de interés arqueológico, histórico o artístico.
- **B:** edificios con características tipológicas tradicionales bien definidas.
- **C:** edificios que, a pesar de presentar una tipología local, sufrieron modificaciones en el tiempo.

- **C1:** intervención coherente con lo existente.
- **C2:** intervención no coherente con lo existente.
- **D:** edificios que carecen de características locales.
- **D1:** edificios que, a pesar de ser nuevos, tuvieron la intención de integrarse al contexto.
- **D2:** edificios que rompen con el contexto local.⁹⁷

Un tipo de clasificación similar se utilizó en Nueva Gales del Sur, en Australia,⁹⁸ en el listado estatal de sitios y objetos, donde se evalúa la significación con base en los valores globales de la Carta de Burra: significación histórica, significación estética, significación científica y significación social. La clasificación evalúa la *significación basada en el lugar*, por lo que a éste se refiere el objeto en la tabla siguiente:

97 V. Valero Pie, "Protocolli di lettura dei caratteri costruttivi rurali como metodo per la loro conoscenza e valorizzazione", Tesi di specializzazione, Politecnico di Torino, Scuola di Specializzazione in Storia, Analisi e Valutazione dei Beni Architettonici e Ambientali, Turín, 2004.

98 V. Bullock, "Relevamiento de métodos y herramientas de evaluación de la significación", en *Ensayos del Seminario-Taller en Valoración de Acervos Museológicos*, Brasilia, Ibermuseos, 2012.

Tabla 2. Pautas de clasificación utilizadas en Nueva Gales del Sur en el listado estatal o local de sitios y objetos.

Clasificación	Justificación	Estatus
Excepcional	Elemento raro o excepcional que contribuye directamente a la significación local y estatal de un objeto.	Cumple con los criterios ¹⁰³ de inclusión en el registro local o estatal.
Alta	Alto grado de estructura original. Demuestra un elemento clave de la significación de un objeto. Las alteraciones no le restan significación.	Cumple con los criterios de inclusión en el registro local o estatal.
Regular	Objetos alterados o modificados. Elementos con poco valor patrimonial, pero que contribuyen a la significación general del objeto.	Cumple con los criterios de inclusión en el registro local o estatal.
Pequeña	Las alteraciones le restan significación. Difícil de interpretar.	No cumple con los criterios de inclusión en el registro local o estatal.
Intrusiva	Daño a la significación patrimonial del objeto.	No cumple con los criterios de inclusión en el registro local o estatal.

Fuente: NSW Heritage Office 2001 en Bullock, *op. cit.*

ii. Priorizar la atención en función del valor patrimonial para la gestión del riesgo

Para priorizar se utilizará como base la ponderación total obtenida por el bien cultural inmueble a partir de las tres escalas de valoración aplicadas en cada tipología de valor a nivel local en función de su autenticidad e integridad; a nivel nacional en función de su escasez, y a nivel internacional en función de su

99 Bullock, *op. cit.*, pp. 78-79.

excepcionalidad. La ponderación total resultará del promedio de las ponderaciones parciales obtenidas para cada valor.

7. Herramienta 1. Tabla para priorizar acciones para la atención en función del valor patrimonial

Al considerar esos parámetros y el uso de sus resultados, se propone un ejemplo de disposición de la información en una ficha, con el objetivo de poner a prueba estos parámetros en el caso de estudio que se analizará en el capítulo IV (véase figura 3).

Ante el panorama de la escasez de recursos en contextos de riesgo, es importante desarrollar investigación en torno a la valoración de los bienes culturales inmuebles; y si bien esta propuesta no pretende ni debe convertirse en una receta aplicable a cualquier caso, es un principio para plantear la discusión en torno a la ponderación para la priorización de la atención en función del valor patrimonial.

Nombre del bien cultural inmueble Ubicación Georreferenciación		Fotografía representativa del bien cultural inmueble	Ponderación			
			Integridad Autenticidad 3: 71-100% 2: 41-70% 1: 0-40%	Escasez a nivel nacional Alta: 3 Media: 2 Baja: 1	Excepcionalidad (único o raro) Sitio de Patrimonio Mundial: 3 Lista Tentativa para SPM: 2 Otros: 1	Resultado (Promedio)
Valores socioculturales	Antigüedad (Huella del tiempo)	Huella del tiempo en materiales y fábrica				
	Histórico (Asociado a un hecho histórico, autor y/o comitente)	Fábrica, uso, asociaciones, registros, sitios y objetos relacionados				
	Simbólico – significativo (Conmemorativo, voluntad de recordar, significación en el contexto urbano, relación con el entorno)	Técnicas, entorno, significados, uso y función, tradición, espíritu y sentimiento				
	Estético (Representatividad, inserción en una determinada corriente estilística, belleza y relación con el arte)	Concepto, forma, materiales, fábrica, emplazamiento y sentimiento				
Valores económicos	Científico (Fábrica, materiales y técnicas utilizadas, grado de innovación)	Fábrica, materiales y técnicas				
	Uso y/o valor económico (Función, asociaciones y sitios relacionados; valor de cambio)	Asociaciones, sitios relacionados, uso y función.				
		Resultado				

Figura 3. Herramienta 3: ficha de priorización de la atención en función del valor patrimonial. Fuente: Elaboración propia (2015).

CAPÍTULO II

HERRAMIENTA 2. DESCRIPCIÓN, JERARQUIZACIÓN Y MAPEO DE AMENAZAS APLICADAS AL ÁMBITO DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO DEL PATRIMONIO CULTURAL INMUEBLE

En relación con la identificación y mapeo de amenazas, los principales acercamientos se han dado en el área de la planificación territorial, y en especial a una escala de macrozonificación, es decir a nivel nacional más que local. En este sentido destacan los mapas de amenazas desarrollados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en México y en el Mapa del Riesgo (*Carta del Rischio*) en Italia, los cuales mapean la información en sistemas de información geográfica.

Por otra parte, la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) de Chile desarrolló en 2011 la Guía de Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial, con el objetivo de constituir un instrumento orientador para el análisis del territorio regional desde la perspectiva de las amenazas naturales y de las condiciones de vulnerabilidad existentes; uno de los principales aspectos subrayados en el documento fue el mapeo de las amenazas naturales, con base en una metodología que considere tanto el registro histórico de los fenómenos como el alcance de los desastres naturales. Otro ejemplo de análisis de riesgos en Chile lo constituyó el trabajo de la consultora italiana ENEA y la Oficina de Gestión Patrimonial de la Municipalidad de Valparaíso, que en 2008 realizaron estudios para el manejo de riesgos en esa ciudad chilena, y en el cual se concede especial importancia el riesgo de incendio en la zona declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

Es importante considerar que el mapeo de amenazas para la conservación del patrimonio cultural inmueble se plantea en este capítulo como una herramienta sencilla, de modo que pueda ser aplicada sin necesidad de contar con el apoyo de especialistas o programas de modelamiento de fenómenos perturbadores. Lo anterior se debe a la dificultad para recabar la información sobre amenazas, pues suele encontrarse en diferentes instituciones públicas o en estudios de no fácil acceso realizados por universidades; además, en general no se cuenta con entidades encargadas de coordinar esa información en el marco de la evaluación del riesgo, y menos aún en el ámbito de la conservación del patrimonio cultural inmueble.

En algunos países sí existen esas entidades coordinadoras; por ejemplo, México cuenta con el CENAPRED, institución creada después del terremoto de 1985 en el Distrito Federal a partir de la coordinación entre el gobierno federal, instancia que emprendió la tarea de establecer el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC); el gobierno de Japón, que ofreció su apoyo para mejorar los conocimientos existentes en relación con la prevención de desastres sísmicos, mientras la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) decidió impulsar a su personal académico de alto nivel para realizar actividades de investigación y desarrollo en prevención de desastres.¹⁰⁰

Es importante considerar que, en una forma simple, el análisis cualitativo de las amenazas implica primero el conocimiento de los fenómenos, para luego adjudicar atributos dentro de ciertos rangos; ese es el alcance de nuestro análisis para el que se proponen herramientas de evaluación. Cuando se

100 Información disponible en <http://www.cenapred.unam.mx>, consultada en marzo de 2015.

realizan valoraciones más sofisticadas, por parte de profesionales especializados, se incrementan las expresiones cuantitativas de los parámetros, incluso si tales números poseen una base que proviene del criterio, y se convierte entonces en una forma cuantitativa de valorar el riesgo.

En el marco de un análisis cualitativo, el propósito de este capítulo es determinar la información necesaria para identificar las amenazas que podrían afectar el patrimonio cultural inmueble, su representación en un mapa de amenazas o peligros, y una forma de jerarquizarlas y evaluarlas en función del posible deterioro que podrían producir en los edificios patrimoniales, con base en los tres grupos de amenazas identificadas:

1. Las amenazas naturales de acción ocasional.
2. Las amenazas de naturaleza física.
3. Las amenazas antrópicas y las de naturaleza química y electroquímica.

Se propone que los componentes de la *Herramienta 2*. los listados y estudios previos, la información para el mapa de amenazas o peligros y la tabla de descripción de escenarios, se estructuren con base en los tipos de amenazas que serán analizadas en este capítulo. Las amenazas se muestran junto con las fuentes de referencia en el esquema siguiente (véase figura 4).

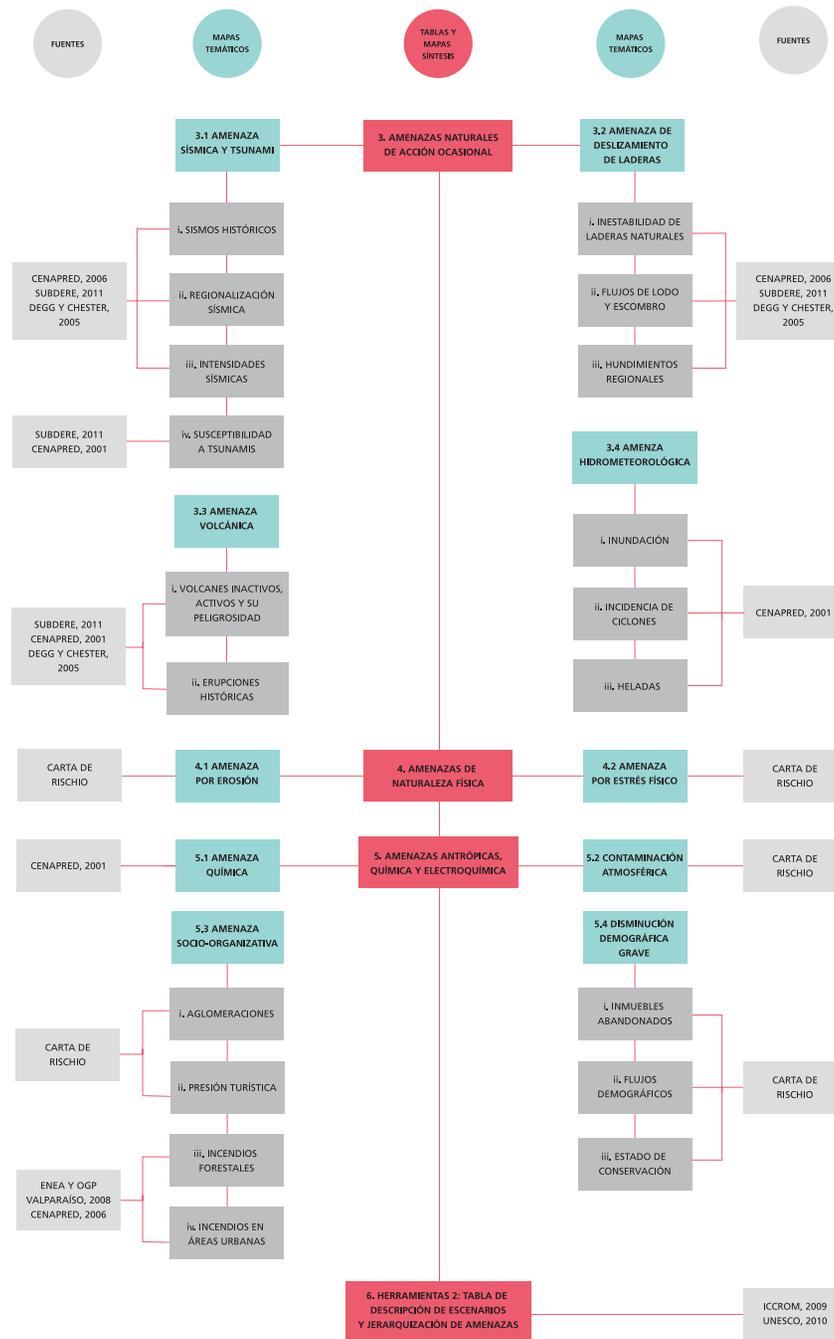


Figura 4. Propuesta de los componentes de la *Herramienta 2*: información para el mapa de amenazas o peligros, y tabla de descripción de escenarios y jerarquización de amenazas. Elaboración propia, 2015.

1. Antecedentes mínimos de la cartografía base

Para el mapeo de amenazas es fundamental contar con una base cartográfica que permita la graficación de los fenómenos perturbadores en el marco del contexto del área de estudio, en función de la escala y los objetivos de la evaluación del riesgo. Como mínimo, la cartografía base debe contar con parámetros de proyección cartográfica, *datum* y georreferenciación, y debe incluir:

1. Límite regional, provincial y comunal. Ortofoto digital.
2. Hidrografía, curvas de nivel.
3. Área territorial en estudio donde se identifiquen manzanas, calles, edificaciones y áreas verdes.
4. Vialidades principales y secundarias, así como sus diferentes tipologías.
5. Localización geográfica puntual o polígonos de protección de los bienes culturales inmuebles.

2. Factores que influyen en la definición de niveles de riesgo causados por amenazas asociadas a la localización geográfica

La identificación y mapeo de amenazas requiere la definición de los fenómenos perturbadores mediante parámetros que tengan un significado físico preciso, que pueda medirse en una escala numérica: "En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse dos medidas, una de magnitud y otra de intensidad. La magnitud es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructi-

vo y de la energía que libera. La intensidad es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado”.¹⁰¹

La magnitud corresponde a una característica propia del fenómeno físico, por ejemplo los sismos que se miden en la escala de Richter, pero su intensidad depende de varios factores relacionados con algunas condiciones locales –entre ellas la distancia en relación con el epicentro y las características de terreno–, y se asigna en función de los efectos causados en el hombre y en sus construcciones. La intensidad de los sismos se mide en la escala modificada de Mercalli; en este sentido, el estudio de los factores de intensidad permitiría la construcción de escenarios para la representación de los efectos en el lugar de interés, en este caso el sitio donde se emplazan los bienes culturales inmuebles.

De manera ideal, el peligro se define en función de parámetros cuantitativos: por ejemplo, la velocidad máxima del viento, el número de milímetros de precipitación pluvial, o la aceleración máxima del terreno durante el movimiento sísmico; tal definición no siempre es posible debido a la escasez de información, por lo cual resulta frecuente representar el peligro en términos cualitativos –bajo, medio o alto–, con base en la información sobre la incidencia de los fenómenos en cada región. Para representar la probabilidad se utiliza el periodo de retorno o de recurrencia, el lapso promedio que transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad. Así, al mapear cada amenaza ésta queda asociada a su periodo de retorno, mapeándose la intensidad en relación con su frecuencia, o la frecuencia en relación con una cierta intensidad.

101 *Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica*, México, SEGOB/ CE-NAPRED, 2006, p. 16.

En nuestros días existen métodos con base en estadísticas para determinar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, pero la alternativa más accesible –sobre todo para fenómenos menos estudiados– es el método directo, que corresponde a un método empírico que utiliza la representación, a modo de inventario, de los eventos ocurridos en el pasado. El supuesto que subyace en este método es que los territorios afectados en el pasado son los que tienen mayor probabilidad de experimentar eventos nuevos y similares en el futuro. Con esta base se determinan escenarios que pueden identificarse como el mejor, el más probable y el peor, con base en datos históricos de las diversas amenazas.¹⁰²

En concordancia con lo anterior, Federico Arenas *et al.*, en su artículo de 2010 señalaron la existencia de dos enfoques para la zonificación de los peligros naturales: el probabilístico y el determinístico. El primero evalúa los posibles escenarios a partir del análisis de la probabilidad de ocurrencia en función del tiempo, mientras el segundo se concentra en el peor escenario que podría afectar una zona determinada.¹⁰³

Debido a que los análisis probabilísticos forman parte de un estudio más detallado de las amenazas, que implica especialistas, métodos y abundante información técnica, la cual es difícil de obtener, y considerando además que la evaluación del riesgo de los bienes culturales inmuebles corresponde a una actividad específica que no pretende abordar todas las metodologías

102 Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), *Guía de Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*, Santiago, SUBDERE, 2011.

103 Federico Arenas *et al.*, “Los riesgos naturales en la planificación territorial”, *Temas de la Agenda Pública*, año 5, núm. 39.

existentes para evaluar los riesgos en el territorio, los parámetros de evaluación de amenazas en el marco de esta tesis se enfocarán sólo en la identificación del peor escenario posible, determinado con base en la información histórica de los fenómenos en cada caso.

3. Amenazas naturales de acción ocasional

Las amenazas naturales de acción ocasional son producto de fenómenos naturales que ocurren de manera esporádica, pero cuyas consecuencias son por lo general catastróficas para el patrimonio cultural, como los terremotos, tsunamis, huracanes y erupciones volcánicas, entre otras. Las principales amenazas naturales de acción ocasional que podrían afectar el patrimonio cultural inmueble son: a) amenaza sísmica y de tsunami, b) amenaza de deslizamiento de laderas, c) amenaza hidrometeorológica y d) amenaza volcánica.

3.1 Amenaza sísmica y de tsunami

La amenaza sísmica se refiere a la probabilidad de que una determinada acción sísmica se produzca sobre un punto del territorio con una cierta extensión, intensidad y duración. Sin embargo, en el marco de este trabajo se considerará sólo el peor escenario sísmico, con base en información histórica. “Esta amenaza se origina por la repentina liberación de energía de tensión lentamente acumulada en una falla de la corteza terrestre. Generalmente los terremotos ocurren en

zona de choque de placas tectónicas y fallas en la superficie, aunque también esta actividad sísmica puede estar relacionada a la actividad volcánica".¹⁰⁴

Asociados a grandes sismos ocurridos en el océano, se producen maremotos o tsunamis, ondas de alta energía que producen un desplazamiento súbito de grandes masas de agua en un sitio, y atraviesan el cuerpo oceánico a velocidades que pueden llegar a 900 km/h. Los tsunamis o maremotos se propagan mediante olas de gran longitud, de 100 km o más, casi siempre generadas por sismos. La cresta de estas olas puede exceder 25 metros de altura al alcanzar aguas poco profundas, y en aguas profundas la velocidad puede alcanzar hasta 700 km/h, con alturas de cresta más pequeñas. Estas características de los maremotos hacen muy difícil su detección y monitoreo.¹⁰⁵

a. Listados y estudios previos

Para la elaboración de mapas de amenaza sísmica y de tsunami se deben recopilar como mínimo los siguientes datos:

- Catálogos de sismos históricos con identificación de la magnitud de ondas superficiales (Ms) con profundidad menor a 40 km, debido a que son las más utilizadas y difundidas como valores de la escala Richter.

104 SUBDERE, *op. cit.*, 2011, p. 30.

105 *Ibidem.*

- Información sobre intensidades de sismos históricos y aceleraciones máximas del terreno.
- Estudios y recopilación de datos históricos sobre áreas impactadas por tsunamis. Sin embargo, para eventos de grandes magnitudes el periodo de retorno es demasiado grande, por ejemplo, el tsunami de 1960 en el sur de Chile sólo es similar al ocurrido en 1575. Es por ello que, en el caso de estas amenazas, la información histórica no es siempre tan confiable.

Para el caso del fenómeno sísmico se requiere información generada en observatorios sismológicos con base en conocimientos y recursos humanos especializados, por lo cual se debe utilizar la información de mapas de peligro ya generados y empleados por especialistas. Si es posible disponer de un mapa de fallas geológicas, éste se debería incorporar en el mapa de regionalización sísmica, pero en virtud de que tal información requiere de estudios especializados, y dado que la presencia de una falla no indica la probabilidad de ocurrencia de un terremoto, es posible realizar el análisis con base en la información del sismo de mayor magnitud registrado y la zonificación sísmica con base en la aceleración máxima del suelo.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

A continuación se indica la información asociada a la amenaza sísmica y de tsunami que debería formar parte del análisis de los peligros, misma que debe registrarse en el mapa de amenazas:

i. Sismos históricos

Los datos necesarios para caracterizar los eventos históricos documentados de magnitud mayor o igual a 7 en términos generales son los siguientes:

- Ubicación del epicentro
- Tipo de sismo (subducción, falla o volcánico)
- Magnitud
- Intensidad¹⁰⁶

ii. Regionalización sísmica

Se recurre a la regionalización sísmica para conocer el grado de peligro sísmico que presenta una región determinada, la cual se crea a partir de registros históricos de grandes sismos, catálogos de sismicidad y datos de la aceleración del terreno, y se emplea en los reglamentos de construcción para fijar los requisitos de las construcciones u obras civiles.¹⁰⁷

iii. Intensidades sísmicas

Para este análisis se evalúa cuántas veces ha sido afectada una región con un cierto grado de intensidad Mercalli, o bien cuál es la intensidad máxima conocida en dicha región, con especial atención a las intensidades superiores a VII, dado que a partir de ese nivel se observan daños de leves a graves en las construcciones, licuación de arenas y/o deslizamiento de laderas. En los mapas

106 SUBDERE, *op. cit.*, 2001.

107 CENAPRED, *op. cit.*, 2001, p. 217.

de intensidades sísmicas se representan curvas llamadas isosistas, que separan zonas con distintos grados de intensidad.

iv. Susceptibilidad a tsunamis

Este tipo de amenaza requiere del análisis de especialistas en el tema, en tanto implica solicitar los mapas temáticos a las instituciones pertinentes. Por ejemplo el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) ha desarrollado cartas de inundación por tsunami de todo el país, como el de la ciudad de Arica referido al tsunami de 1868, y el de la ciudad de Iquique referido al tsunami de 1877 (véase figura 5).

Los mapas de estimación de peligro a nivel regional no señalan los lugares proclives a la amplificación del movimiento del terreno, como las zonas con sedimentos poco consolidados correspondientes a valles aluviales o antiguas zonas lacustres. En consecuencia, para una escala de microzonificación es necesario aumentar la escala de análisis y realizar estudios geotécnicos especializados.

Por otra parte, los efectos de una inundación producto de un tsunami dependen de la magnitud del fenómeno que induce el maremoto, por lo que un estudio orientado a la microzonificación debería incluir la dimensión y el periodo de las olas, las características batimétricas, la configuración de la costa y la situación de la marea, la morfología terrestre, la pendiente del terreno y el grado de rugosidad derivado de la presencia de construcciones, árboles u otros obstáculos, por lo cual también requiere de estudios especializados (véase figura 6).

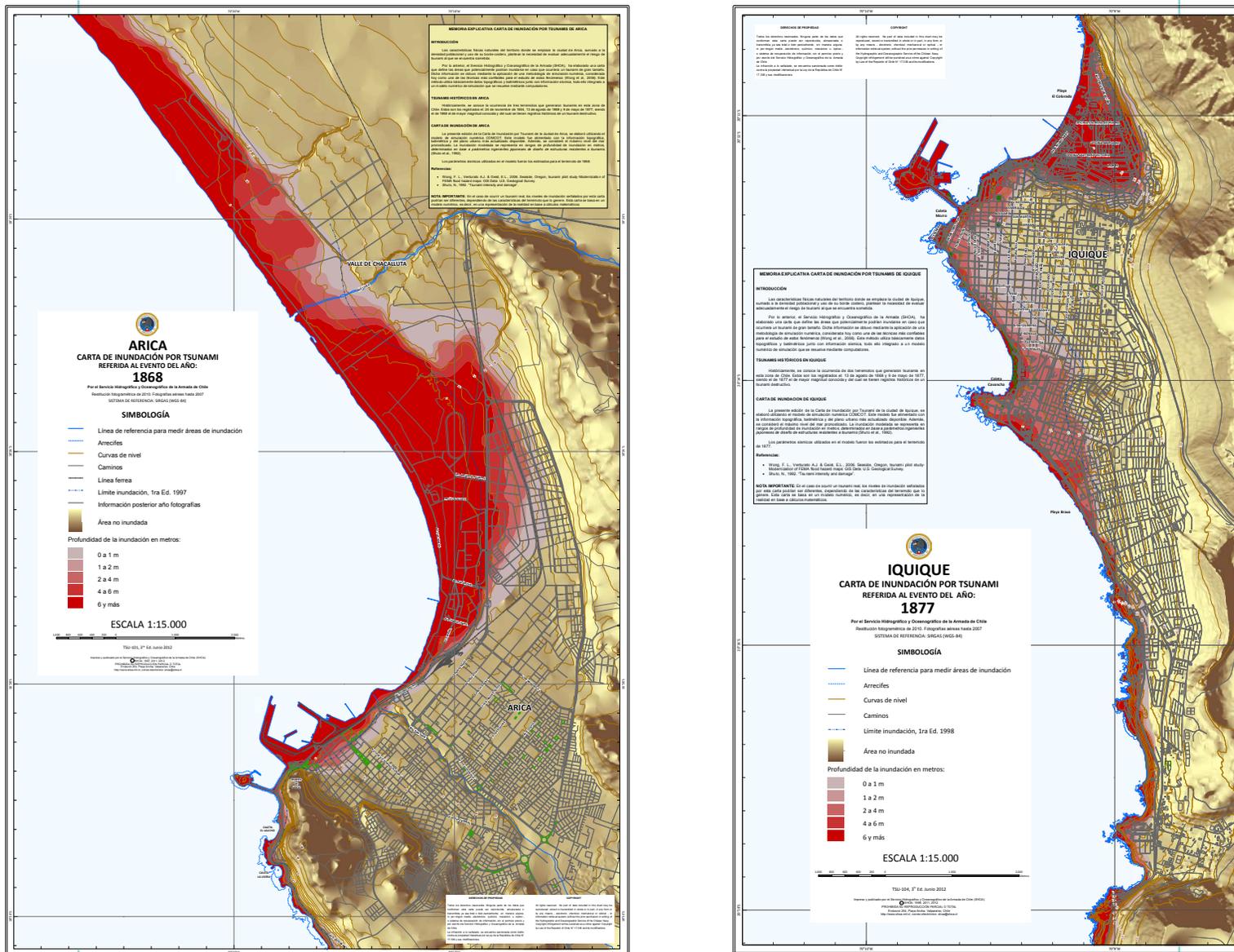


Figura 5. De izquierda a derecha: Carta de inundación por tsunami de la ciudad de Arica referida al evento de 1868; Extracto de la Carta de inundación por tsunami de la ciudad de Iquique, referida al evento de 1877. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, disponible en www.shoa.cl.

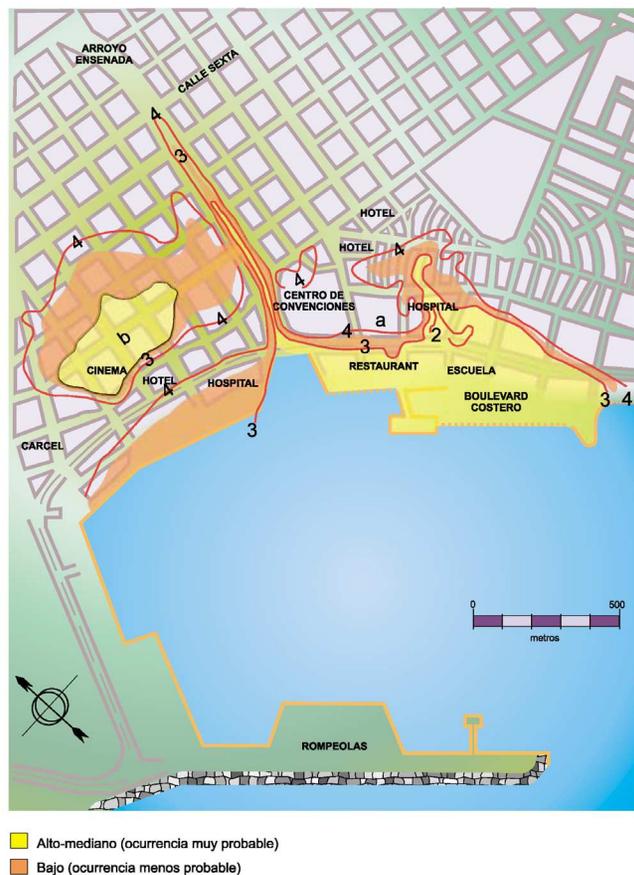


Figura 6. Áreas de posible inundación por tsunami con distinto grado de riesgo en Ensenada, Baja California.
Fuente: CENAPRED, *op. cit.*, 2001, p. 55.

3.2 Amenaza de deslizamiento de laderas o deslaves

Un deslizamiento ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por acción de la gravedad. Aunque los deslizamientos suelen ocurrir en taludes escarpados, también pueden presentarse en laderas de poca pendiente. Entre los tipos de movimiento de la superficie del terreno natural se encuentran:

1. Inestabilidad de laderas naturales. Se presenta en zonas montañosas, donde la superficie del terreno presenta diversos grados de inclinación.
2. Flujos de lodo y escombros. Son ríos de material térreo de diversos tamaños.
3. Hundimiento regional y local. El hundimiento regional se encuentra asociado con la extracción de agua subterránea, mientras el local es provocado por la existencia de cavidades subterráneas.
4. Agrietamiento del terreno. Es la manifestación de una serie de desplazamientos verticales y horizontales del subsuelo en un área amplia, como resultado del problema de hundimiento regional.¹⁰⁸

Estas condiciones naturales de inestabilidad suelen tornarse más graves por la deforestación, intemperismo, erosión, lluvias excesivas, y por la alteración de las condiciones de drenaje y de equilibrio originales, como la presencia de asentamientos humanos irregulares. Existen tres tipos de falla recurrente en los

108 CENAPRED, *op. cit.*, 2001, p. 80.

deslizamientos de laderas: caídos o derrumbes, deslizamientos y flujos (véase figura 7).

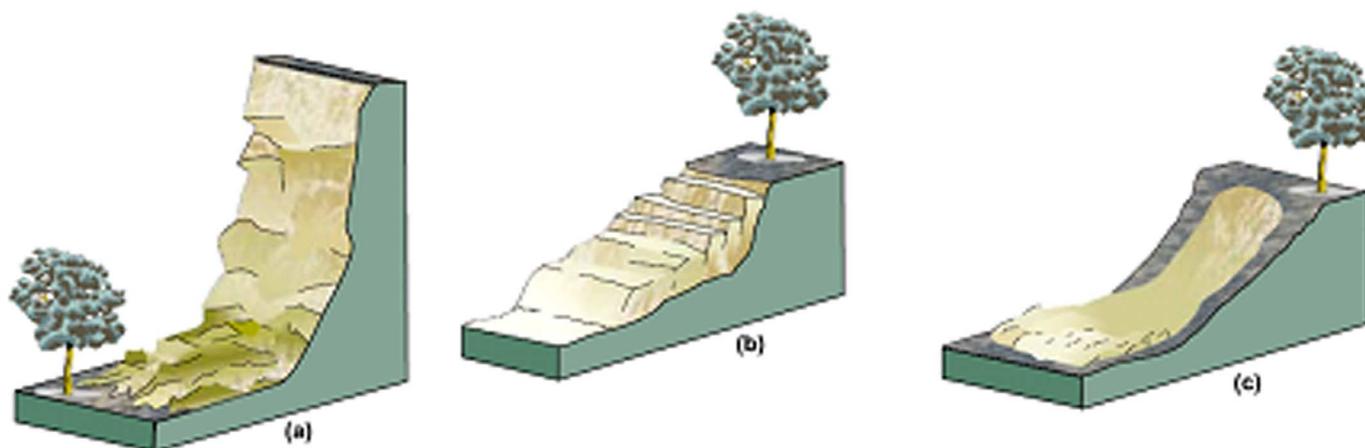


Figura 7. Diagramas de bloque que muestran tres de los tipos de falla más comunes de deslizamiento de laderas: a) caído; b) deslizamientos; c) flujos. Fuente: CENAPRED, *op. cit.*, 2001, p. 87.

Entre los principales factores que determinan la estabilidad de los taludes en los suelos destacan factores geomorfológicos, las propiedades internas del suelo y los factores ambientales. Por otra parte, algunas actividades humanas agudizan, o incluso causan, la ocurrencia de deslizamientos, los cuales afectan sobre todo el patrimonio cultural inmueble, pues el hecho de que las construcciones hayan permanecido en pie tanto tiempo implica un emplazamiento en lugares relativamente estables desde el punto de vista geotécnico; sin embargo, esta situación puede modificarse como resultado de

la alteración antrópica. Las actividades humanas de riesgo identificadas por el CENAPRED, con base en tres factores principales, son las siguientes:

1. Cambios en el régimen de la presión del agua del subsuelo:

- Concentración de infiltraciones por la rotura de drenajes o de los sistemas de abastecimiento de agua.
- Cambio en el régimen de las aguas superficiales.
- Cambio, o incluso impedimento, de cauces en cañadas.
- Construcción de vasos o tanques de almacenamiento.
- Infiltraciones por fosas sépticas.
- Impermeabilización para la urbanización, lo que reduce la evaporación e infiltración, y aumenta la escorrentía.

2. Cambio en la topografía de la ladera y la imposición de sobrecargas:

- Aumento del ángulo del talud por la ejecución de cortes.
- Sobrecargas por la construcción de muros de contención, rellenos, casas y edificios.
- Vibraciones provocadas por maquinaria.
- Explosiones para la explotación de canteras, minas y bancos de material.
- Inyección de morteros cerca del talud.

3. Deforestación:

- Tala de bosques.
- Agricultura, pastoreo y quema.
- Modificaciones del uso del suelo.¹⁰⁹

Es importante señalar que, entre esos factores, la presencia de vegetación en el talud de una ladera y en la plataforma superior juega un rol muy importante en su estabilidad. Por otra parte, “la deforestación disminuye la succión (presión de poro negativa) y con ello la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos, propicia la infiltración masiva y rápida del agua de lluvia, y elimina la acción benéfica de las raíces”.¹¹⁰

a. Listados y estudios previos

Para la elaboración de un mapa de amenaza de deslizamiento de laderas o deslave se deben recopilar como mínimo los siguientes datos:

- Topografía de los alrededores y geometría de los taludes.
- Distribución de la estratificación de los materiales térreos.
- Propiedades mecánicas de deformabilidad, resistencia y permeabilidad de los suelos constituyentes.

109 *Ibidem*, p. 226.

110 *Idem*.

- Estado de esfuerzos actuantes.
- Régimen de precipitaciones pluviales normales y extraordinarias probables.
- Estudios de hidrología superficial e hidrogeología, y de aguas subterráneas.
- Identificación de actividades humanas que puedan haber provocado cambios en el régimen de la presión del agua del subsuelo, cambio en la topografía de la ladera y la imposición de sobrecargas, o deforestación sin la evaluación geotécnica pertinente.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza de deslizamiento de laderas que debería registrarse tanto en el reporte como en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Inestabilidad de laderas naturales

Para el análisis de la inestabilidad de laderas en el mapa de amenazas se debería registrar información sobre geomorfología, clima, edafología y la distribución de vertientes, ríos y cuencas hidrológicas. Se debe prestar especial atención a las condiciones geológicas y a la precipitación pluvial, y analizar la problemática tanto por presencia como por ausencia de agua. También se debe incluir información sobre las inclinaciones o pendiente del terreno, e indicar los lugares deforestados o donde se hayan ejecutado cortes o terrazas para la construcción de viviendas sin los estudios adecuados.

ii. Flujos de lodo y escombros

Para el análisis de los flujos de lodo y escombros en este mapa de amenazas se deberían considerar las características geomorfológicas, geológicas y la probabilidad de incidencia de precipitaciones pluviales que pudieran detonar un flujo de lodo o escombros. Se deberían considerar, además, las condiciones climáticas que puedan propiciar la intemperización de las formaciones geológicas y la dirección de los escurrimientos.

iii. Hundimientos regionales y locales acompañados de agrietamientos

Esta información debería incorporarse en lugares donde se realice extracción de agua subterránea mediante bombeo profundo, además considerar las características de compresibilidad de los suelos –ya que mientras más compresible sea el suelo, los efectos de subsidencia regional serán de mayor magnitud– y la intensidad de la extracción de agua subterránea.

Para el desarrollo de microzonificaciones de amenazas de deslizamiento de laderas es necesario basarse en una cartografía detallada de la superficie geológica y una caracterización mejorada de la influencia de los efectos de los movimientos de tierra en un terremoto. Lo anterior fue realizado en 1999 para el centro de Lima, en varias etapas, por Martin Degg, geógrafo físico y geólogo de la Universidad de Chester del Reino Unido. El énfasis de esta microzonificación fue la definición de áreas seguras ante las amenazas para lograr un desarrollo ordenado de la planificación urbana (véase figura 8).

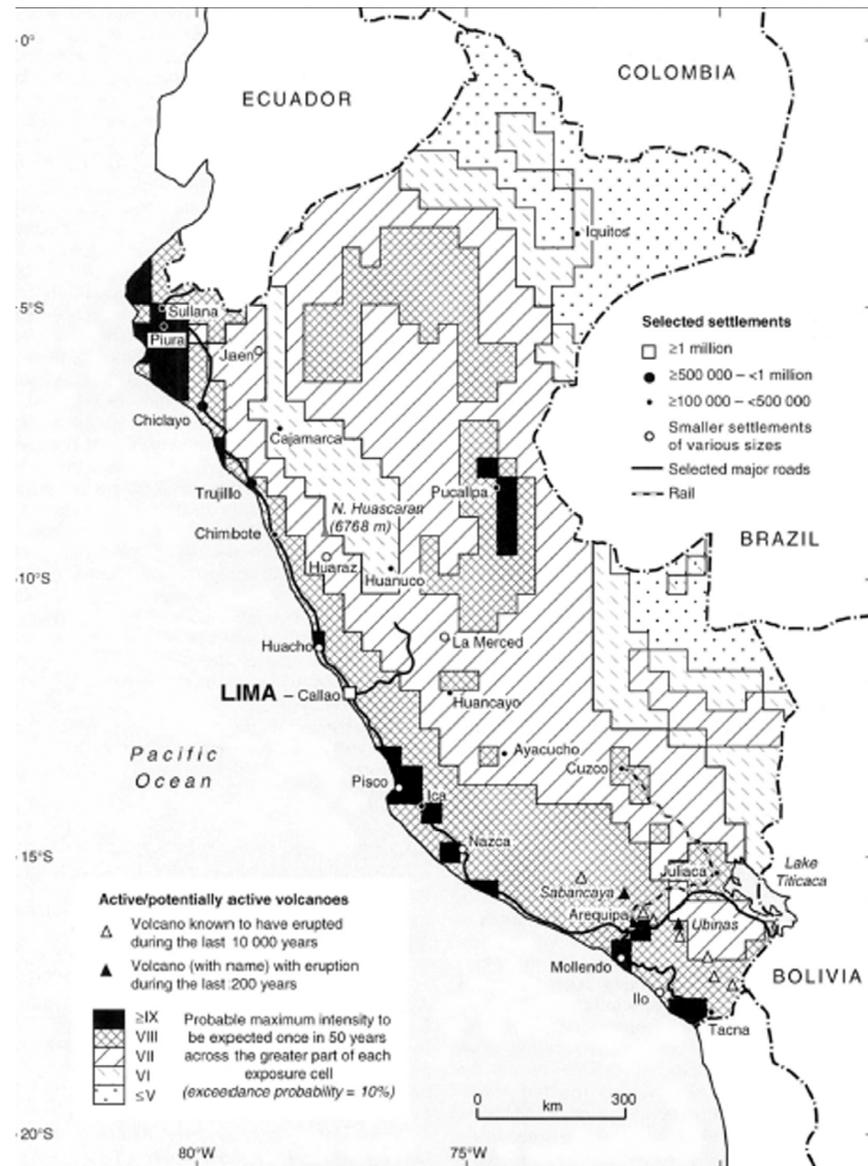


Figura 8. Microzonificación de amenaza sísmica para el Callao y La Costa Verde, Lima. Incluye la intensidad máxima probable en 50 años, con 10% de tasa de excedencia (equivalente a un periodo de retorno de 475 años), amenaza de deslave y licuefacción. Fuente: M. Degg, y D. Chester, "Seismic and volcanic hazards in Peru: changing attitudes to disaster mitigation", *The Geographical Journal*, vol. 171, núm. 2, 2005, pp. 125-145.

Algunos fenómenos locales producidos a partir de los sismos y que pueden generar consecuencias severas en el patrimonio cultural inmueble son la licuación de arenas,¹¹¹ los movimientos de laderas y los desplazamientos permanentes del terreno por la presencia de fallas activas.

Para estudios de microzonificación es necesario identificar la distribución y características de los materiales superficiales y su respuesta dinámica, así como la presencia de laderas inestables o fallas activas.¹¹²

3.3 Amenaza volcánica

Una amenaza volcánica es la probabilidad de ocurrencia de un evento volcánico potencialmente dañino en un tiempo y área determinada, pero en el marco de esta investigación se considerará sólo el peor escenario volcánico, con base en información histórica.

Los fenómenos volcánicos, al igual que los sismos, tienen un origen geológico pero se producen en un área más reducida, aun cuando sus efectos pueden alcanzar una escala regional. A partir de los fenómenos volcánicos se identifican las siguientes posibles amenazas (véase figura 9).

111 La licuación es la pérdida de la capacidad de carga de suelos arenosos saturados de agua debido a la vibración producida por un sismo; los edificios sobre estos suelos pueden presentar grandes hundimientos y, en casos extremos, colapso por volteo. Las laderas de cerros o terraplenes de suelos poco compactados y fuertes pendientes pueden sufrir deslizamientos y arrastrar las construcciones sobre ellas edificadas. CENAPRED, *op. cit.*, 2001.

112 Para estudios más detallados ver tabla 27. Rasgos que sirven para identificar deslizamientos activos o recientemente activos y flujos, en CENAPRED, *op. cit.*, 2001, p. 95.

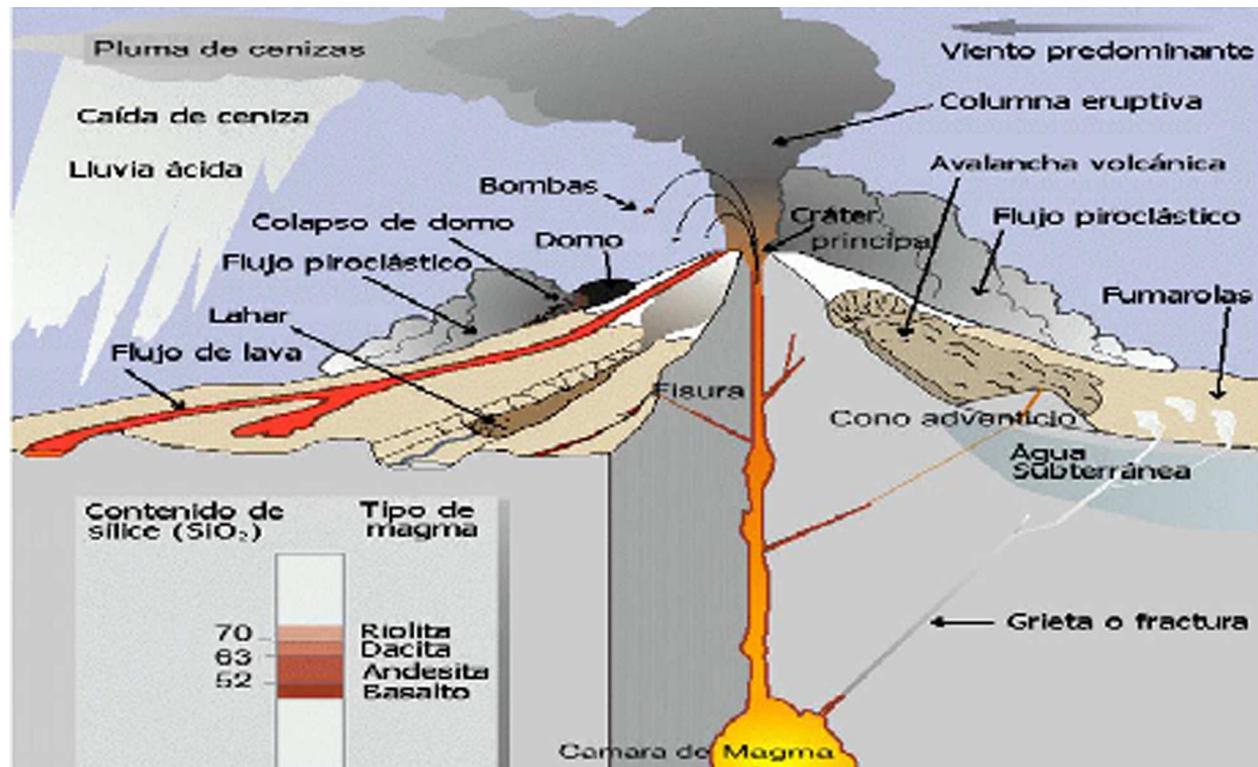


Figura 9. Esquema de los efectos de la amenaza volcánica. Fuente: Erupciones volcánicas. Mapas de amenazas. Proyecto Met-Alarm, en SUBDERE, *op. cit.*, 2011.

- Flujos piroclásticos. Son avalanchas formadas por mezclas de fragmentos o bloques grandes de lava, ceniza volcánica (magma finamente fragmentado) y gases muy calientes que se deslizan por los flancos del volcán a gran velocidad.
- Flujos de lodo o lahares. Es la mezcla de bloques, ceniza y cualquier otro escombros con agua que pueden producir avenidas muy potentes de lodo, con un poder destructivo similar a los flujos piroclásticos.
- Lluvias de fragmentos. Las erupciones explosivas lanzan al aire grandes cantidades de gases calientes, fragmentos de todos tamaños y ceniza. Luego ésta se humedece o se compacta, y su peso puede producir hundimiento de los techos.
- Lava y domos. Es la roca fundida emitida por una erupción efusiva cuya velocidad de avance en general es baja.
- Colapso total o parcial de la estructura del volcán produciendo derrumbes y deslizamientos.
- Terremotos y temblores volcánicos.¹¹³

a. Listados y estudios previos

Para el desarrollo de mapas temáticos de amenaza volcánica se deben recopilar cuando menos los siguientes datos:

- Ubicación de todos los volcanes existentes en la región.
- Tipo y características del volcán.
- Registros de las erupciones históricas y su alcance en superficie.
- Actividad eruptiva deducida a partir del registro geológico.

113 CENAPRED, *op. cit.*, 2001; SUBDERE, *op. cit.*, 2011.

- Datos geológicos (sobre todo estratigráficos), petrológicos y geoquímicos sobre la naturaleza, distribución y volumen de los productos eruptivos.
- Centros poblados, red vial y ferroviaria, y aquellos elementos que puedan ser considerados a nivel gráfico de acuerdo con la escala.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza volcánica que debería registrarse tanto en el reporte como en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Volcanes inactivos, activos y peligrosidad

Esta información debería basarse en estudios geológicos, monitoreo y estudios históricos de los volcanes. Las entidades pertinentes de cada país realizan informes respecto a la actividad de los volcanes, por lo cual esta información debería mapearse según los rangos de riesgo que establezca cada entidad.

ii. Erupciones históricas

La base para la evaluación de la amenaza volcánica es la reconstrucción de las erupciones históricas, la geología y estratigrafía del área. Con esa información es posible establecer la mayor magnitud de erupción volcánica esperable en la región y la superficie que afectaría.

Para elaborar un mapa de microzonificación de peligro volcánico primero se debería identificar la información geológica disponible de los depósitos de materiales arrojados en erupciones previas, pues representa un indicador de lo

que el volcán ha sido capaz en el pasado. A lo anterior se suma la información topográfica que permite prever las trayectorias de algunos de los productos volcánicos. Estos mapas también deben distinguir entre los riesgos primarios, como los flujos piroclásticos o las lluvias de fragmentos, describiendo sus velocidades, alcances y efectos sobre el hombre y el medio; y los riesgos secundarios, como flujos de lodo u otros que impacten en el medio (véase figura 10).¹¹⁴

3.4 Amenaza hidrometeorológica

Los principales fenómenos hidro-meteorológicos extremos son los siguientes:

- 1. Precipitación pluvial excesiva.** La precipitación pluvial se refiere a cualquier forma de agua, sólida o líquida, que cae de la atmósfera y alcanza a la superficie de la tierra, pudiendo producir inundaciones.
- 2. Tormentas de granizo y nieve.** La magnitud de los daños que puede provocar la precipitación en forma de granizo depende de su cantidad y tamaño.
- 3. Heladas.** Una helada ocurre cuando la temperatura del aire húmedo cerca a la superficie de la tierra desciende a 0°C, en un lapso de 12 horas.
- 4. Ciclones tropicales.** Son una gran masa de aire cálida y húmeda con vientos fuertes que giran en forma de espiral alrededor de una zona central de baja presión. Generan lluvias intensas, vientos fuertes, oleajes grandes y mareas de tormenta.

114 CENAPRED, *ibidem*, p. 70.

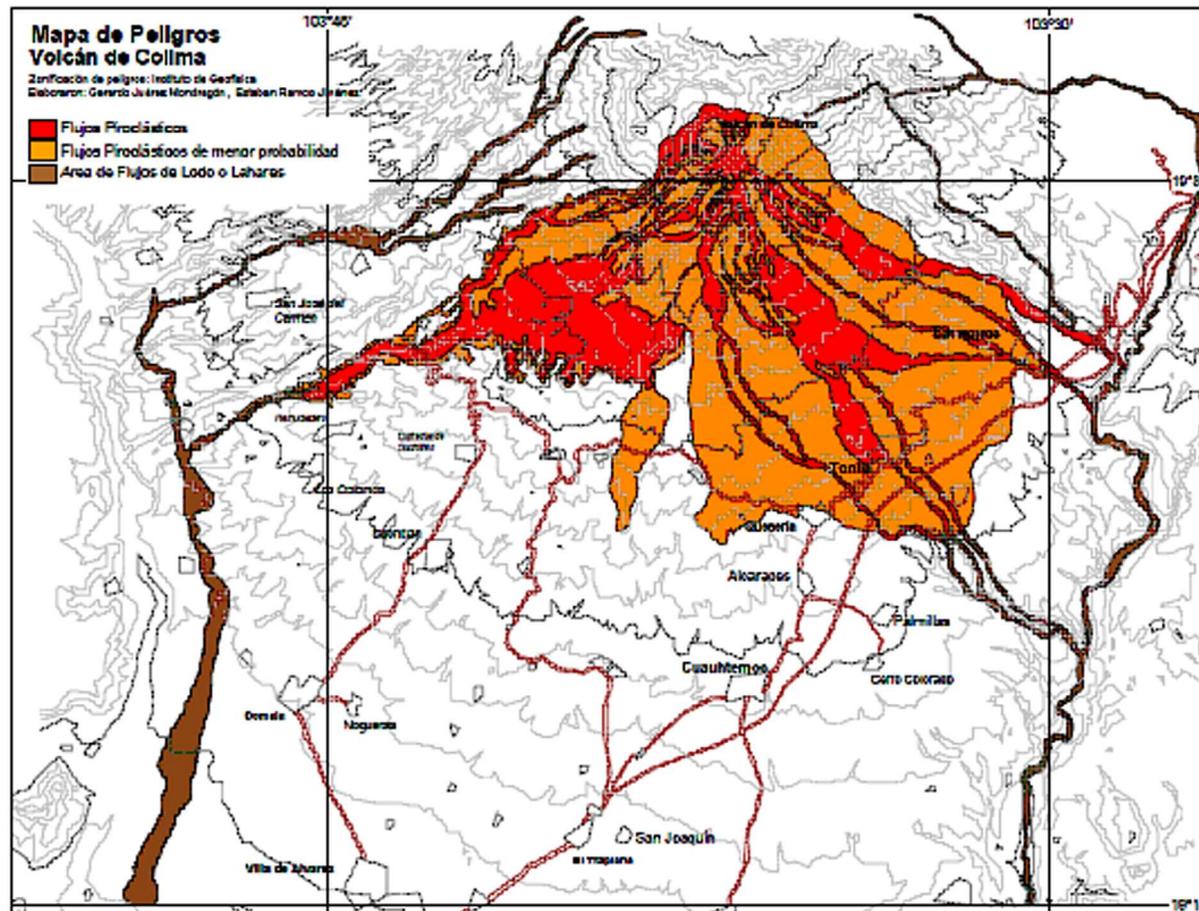


Figura 10. Mapa de peligros del volcán de Colima, México. Zonificación de peligros: Instituto de Geofísica. Fuente: CENAPRED, *ibidem*, p. 73.

5. **Sequía.** Corresponde a un tiempo prolongado de tiempo seco, es decir, con poca lluvia. Su ocurrencia no se percibe fácilmente y un daño posible es la generación de incendios forestales que podrían afectar bienes culturales inmuebles cercanos.

6. **Erosión.** Corresponde al desprendimiento del suelo debido a la acción de la lluvia, el viento o el oleaje. La cantidad de material que se separa del terreno depende de varios factores como el tipo de suelo, la cubierta vegetal y el grado de intemperismo.¹¹⁵

7. **Viento.** Una forma de regionalización del peligro es la que se usa para fines de ingeniería; en las normas para diseño de edificios se emplea como parámetro la velocidad máxima de viento que tiene cierto período de retorno y con esto se preparan mapas de curvas llamadas isotacas, que corresponden a sitios con una misma velocidad máxima de viento.

8. **Marea de tormenta.** Se produce por efecto de los fenómenos tropicales y otras tormentas marinas y es una elevación del nivel del mar debido al empuje que sobre la superficie del mar ejerce el viento en su trayecto hacia la costa.¹¹⁶

Los fenómenos hidrometeorológicos mencionados podrían provocar las siguientes amenazas para el patrimonio cultural inmueble:

- Inundación por precipitación pluvial excesiva.
- Erosión por la acción del viento y agua.

115 *Ibidem*, p. 149.

116 *Ibidem*, pp. 105-159.

- Disgregación por heladas que generen el congelamiento del agua en el interior de los materiales.
- Incendios forestales a causa de la sequía.

a. Listados y estudios previos

Para elaborar los mapas temáticos de las amenazas hidrometeorológicas se debe recabar la siguiente información:

- Identificar las cuencas hidrográficas y analizar el registro de eventos de inundación regional que se han generado en el pasado.
- Caracterizar la cuenca hidrográfica con base en su altura sobre el nivel del mar, geometría, relieve, geomorfología, tipo de suelo, formaciones superficiales, tipo y cobertura de la vegetación de la cuenca y las precipitaciones máximas diarias.
- Para la evaluación de la amenaza de ciclones a una escala de macrozonificación, se debería analizar estadísticamente la incidencia de trayectorias de ciclones tropicales en una malla de cuadros de 2° de latitud por 2° de longitud, en un período histórico lo más amplio posible.
- Estudios climáticos, especialmente de las precipitaciones pluviales máximas; de los vientos predominantes y su velocidad; y las temperaturas extremas.¹¹⁷

117 *Idem.*

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza hidrometeorológica que debería registrarse en un reporte y en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Inundación

La causa más recurrente de las inundaciones es la precipitación pluvial extrema, por lo anterior se debería registrar la pluviometría y graficar la superficie de inundación máxima histórica de la cuenca.

ii. Incidencia de ciclones

Con base en la repetición de las trayectorias de los ciclones se puede calcular la probabilidad de que pase un ciclón tropical en un lugar específico y se puede definir y mapear un nivel de peligro muy alto, alto, mediano y bajo.¹¹⁸

iii. Heladas

Para la elaboración de este mapa es posible identificar en un rango de tiempo la cantidad de heladas producidas, y establecer una frecuencia alta, media o baja. Por otra parte, en un mapa de macrozonificación se pueden identificar los lugares en los que se produzca más de una helada al año.

118 Mapa de peligros por incidencia de ciclones elaborado por Óscar Fuentes y María Teresa Vázquez, en CENAPRED, *op. cit.*, p. 128.

Debido a que la amenaza hidrometeorológica debe analizarse a nivel regional, la única amenaza que es posible graficar a escala de microzonificación es la de inundación, por ello las amenazas por ciclones tropicales, o por heladas, se verían reflejadas como un dato en el mapa de amenazas, y sólo se graficaría el máximo alcance de una inundación, considerando la presencia de cursos de agua, la topografía del lugar y los eventos ocurridos históricamente.

4. Amenazas de naturaleza física

Con base en el análisis de los manuales y programas de gestión del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble, se llegó a la conclusión de que las amenazas de naturaleza física que de forma reiterada afectan a los bienes culturales inmuebles son:

- **Amenaza hídrica:** agua de lluvia, oleaje, suelo húmedo.
- **Amenaza terrestre:** hundimiento, subsidencia, agrietamiento del suelo, movimiento de masas por erosión, etc.
- **Amenaza térmica:** oscilación térmica extrema.
- **Amenaza ligada al ambiente atmosférico:** presión o corrientes eólicas con cuerpos sólidos; clima, cercanía al mar.

Las amenazas de naturaleza física son denominadas peligrosidad ambiental por la *Carta del Rischio*, y para este peligro respecto a la afectación del patrimonio

cultural inmueble se definen dos indicadores: el índice de erosión y el índice de estrés físico.

Para el cálculo del índice de erosión utilizan la fórmula de Lipfert, que permite cuantificar la pérdida de material por año. En la aplicación de esta fórmula evaluaron la incidencia de los factores individuales sobre la pérdida de material y evidenciaron que el factor que más incide en la pérdida de material calcáreo es la lluvia. Sin embargo, también es importante la erosión producto de la proximidad al mar o efecto costa, o por la acción constante del viento sobre las estructuras.

El índice de estrés físico tiene en cuenta la parte del daño debida a la interacción térmica e higrométrica entre el ambiente y el material, y el material frente a los ciclos de hielo y deshielo.

Al tener en cuenta que la amenaza terrestre está considerada en los mapas de amenaza por deslizamiento de ladera o deslaves, los mapas temáticos de amenazas de naturaleza física se evaluarán sólo en función de sus efectos principales sobre el patrimonio cultural inmueble: erosión y estrés físico.

Este tipo de amenazas requieren de una escala de análisis a nivel de microzonificación, pues implican un análisis de aspectos como la topografía, vegetación, presencia de microclimas, cercanía al mar o a cursos de agua, entre otros.

4.1 Amenaza por erosión

a. Listados y estudios previos

Para el desarrollo del mapa temático de amenaza por erosión se debe recopilar cuando menos la siguiente información:

- Información sobre precipitaciones pluviales medias y máximas anuales.
- Distancia a la costa.
- Información sobre la dirección, velocidad y frecuencia de los vientos predominantes.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza por erosión que debería registrarse en un reporte y en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Amenaza por erosión

La velocidad máxima del viento y su dirección, humedad relativa, efecto aerosol marino y las precipitaciones pluviales máximas.

4.2 Amenaza por estrés físico

a. Listados y estudios estadísticos

Para el desarrollo del mapa temático de amenaza por estrés físico se debe recopilar la siguiente información mínima:

- Información sobre precipitaciones pluviales medias y máximas anuales.
- Información sobre las temperaturas máximas y mínimas mensuales, oscilación térmica y asoleamiento.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza por estrés físico que debería registrarse en un reporte y en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Amenaza por estrés físico

El asoleamiento, en el cual deben considerarse la orientación y la topografía, la precipitación pluvial máxima, temperatura máxima y mínima, y la identificación de la existencia de heladas en periodos de lluvia.

5. Amenazas antrópicas y las de naturaleza química y electroquímica

Según la *Carta del Rischio*, para la peligrosidad antrópica se requiere de un razonamiento deductivo para verificar si la presión antrópica atribuida a un territorio dado es peligrosa para los bienes culturales, o si produce efectos negativos para la conservación del patrimonio cultural.

Considerado lo anterior, y con base en los manuales y programas de gestión del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble, se llegó a la conclusión de que las amenazas antrópicas, así como las de naturaleza química y electroquímica que podrían afectar a los bienes culturales inmuebles, son las siguientes:

- **Amenaza química:** incendios, explosiones, radiaciones, fugas tóxicas, derrames.
- **Amenaza sanitaria-ecológica:** epidemias o plagas, contaminación del aire, suelo o agua.
- **Amenaza socio-organizativa:** conflictos bélicos, demostraciones de inconformidad social, terrorismo, vandalismo; presión turística, aglomeraciones o concentración masiva de la población (sobrecarga de los inmuebles), aumento de la humedad relativa (condensación); accidentes aéreos, marítimos o terrestres; incendios forestales.
- **Disminución demográfica grave con el consiguiente abandono de los inmuebles y, por ende, la falta de mantenimiento:** deterioro material, agua dispersa (por cañerías rotas, problemas de drenaje o protecciones hídricas, etcétera).

Aun cuando la posible afectación del patrimonio inmueble es más evidente en las amenazas química, socio-organizativa o de disminución demográfica, no es tan claro con respecto a la amenaza sanitario-ecológica. En esta categoría se encuentran los eventos relacionados con la contaminación del aire, agua y suelo, algunos propios del área de la salud como las epidemias; y de la actividad agrícola como la desertificación y las plagas. De estas amenazas, las que más afectan el patrimonio cultural inmueble son las que generan un deterioro de los materiales y del ambiente: la contaminación del aire y del agua.

La contaminación del agua se origina cuando se le incorporan materias extrañas, tales como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, aguas residuales, entre otras; estas materias deterioran la calidad del agua, muchas veces convirtiéndola en un foco de infección y malos olores. Debido a que la contaminación del agua afecta sólo indirectamente a los bienes culturales inmuebles al deteriorar su ambiente, no se tratará como una amenaza. La contaminación del aire, en cambio, afecta de manera directa los materiales de los bienes inmuebles al provocar su ennegrecimiento, por lo cual constituye una amenaza para el patrimonio edificado y requiere de su registro en el mapa de amenazas o peligros.

Al igual que para las amenazas de naturaleza física, para la evaluación del riesgo con base en estas amenazas se requiere de mapas temáticos a una escala de microzonificación, porque implican un análisis de aspectos como los usos de suelo, estudios demográficos, sanitarios y ecológicos a nivel de localidad.

5.1 Amenaza química

En relación con los fenómenos químicos el CENAPRED señala que “Los accidentes mayores relacionados con el manejo de sustancias químicas peligrosas, se presentan con poca frecuencia; sin embargo, el costo social, ambiental y económico es elevado”.¹¹⁹

En consecuencia, para evaluar esta amenaza es necesario conocer dónde se producen sustancias químicas, cuáles son las rutas utilizadas para su transporte y cuáles son los sitios donde se utilizan, así como los residuos generados y su grado de riesgo. De esos peligros, el primero que podría afectar el patrimonio cultural inmueble es el de incendio.

a. Listados y estudios previos

Para realizar los mapas temáticos correspondientes a este tipo de amenazas se debe recabar la siguiente información:

- Zonificación del uso de suelo.
- Ubicación de las instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas.
- Identificar las instalaciones de servicios que usan o almacenan materiales peligrosos, y el tipo y cantidad de sustancias peligrosas que se manejan.
- Identificar las condiciones de almacenamiento y los sistemas de seguridad.

¹¹⁹ CENAPRED, *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos químicos*, México, CENAPRED, 2006.

- Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias peligrosas, como gas natural.
- Identificar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos.
- Conocer la naturaleza de los efectos más probables de acompañar a una liberación de material peligroso: incendio, explosión, nube tóxica, etc.¹²⁰

Algunas instalaciones industriales peligrosas pueden ser: refinerías, instalaciones industriales, almacenamiento de gas, terminales de autotransporte de carga, plantas potabilizadoras de agua, plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas de refrigeración, terminales de ferrocarriles: patios de maniobras, áreas de almacenamiento, plantas para tratamiento y/o disposición de residuos, terminales marítimas, aeropuertos, comercios, gasolineras, tintorerías, restaurantes, basureros municipales o tiraderos clandestinos, etc.¹²¹

Para el desarrollo del mapa temático, sería deseable establecer una categoría para cada industria en función de la cantidad y el tipo de sustancia peligrosa con que trabaja o que almacena, con miras a determinar el alcance del desastre o un potencial radio de acción de la amenaza. Para delimitar las áreas de peligro el CENAPRED propuso un método para trazar un círculo que representa la zona de riesgo alrededor de cada una de las empresas o transportes que manejan sustancias peligrosas.¹²²

120 CENAPRED, *op. cit.*, 2006, p. 13.

121 *Ibidem*, p. 14.

122 *Idem*.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza química que debería registrarse en un reporte y en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Amenaza química

La zonificación del uso de suelo, la ubicación de industrias y equipamientos con su radio de peligro (expendios de combustible o bodegas de almacenamiento de sustancias peligrosas); ubicación de tuberías de transporte de gas natural y rutas de sustancias peligrosas.

5.2 Contaminación atmosférica

La contaminación del aire afecta directamente los materiales de los bienes culturales inmuebles al provocar su ennegrecimiento, por lo que se debe evaluar la cercanía de los bienes inmuebles a los focos de contaminación.

a. Listados y estudios previos

Para realizar el mapa temático correspondiente a este tipo de amenaza se debería recabar la siguiente información:

- Vehículos circulantes en el área de estudio o zonas de mayor congestión vehicular.
- Ubicación de aeropuertos y puertos.

- Autopistas y promedio de circulación de vehículos al día.
- Concentración de contaminación: datos de emisiones contaminantes, redes de monitoreo de calidad de aire, redes de detección de la deposición atmosférica y deposiciones de azufre.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza por contaminación atmosférica que debería registrarse en un reporte y en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Contaminación atmosférica

En la *Carta del Rischio* se considera un índice de ennegrecimiento basado en la influencia ejercida por las emisiones de partículas contaminantes, por tanto, se debería registrar la ubicación de los agentes contaminantes, los sectores con congestión vehicular y la ubicación del patrimonio cultural inmueble.

5.3 Amenaza socio-organizativa

Este tipo de amenaza se refiere al riesgo de vandalismo, guerras o a los daños que pueden provocar las aglomeraciones de personas a causa del turismo en los bienes culturales inmuebles, mas también podría considerarse en esta categoría a los incendios forestales,¹²³ sobre todo en casos de sequía. De hecho, en México

123 La ocurrencia de incendios forestales se debe en gran medida a actividades humanas, sobre todo las

los incendios forestales atribuibles a causas humanas representan 97% del total que se produce; también se producen incendios por un aumento considerable de la temperatura ambiente y por la acumulación de material combustible en determinadas áreas.¹²⁴

a. Listados y estudios previos

Para elaborar los mapas temáticos correspondientes a este tipo de amenazas se debe recabar la siguiente información mínima:

- Información demográfica.
- Información sobre índices de vandalismo.
- Información sobre la actividad turística.
- Ubicación de museos, número de visitantes y recorridos turísticos.
- Número de hoteles, habitaciones y movimiento de clientes.
- Combustibles forestales (presencia de vegetación).
- Condiciones meteorológicas (presencia de calor y viento).
- Presencia de cableado eléctrico aéreo en mal estado.
- Presencia de construcciones de madera.

prácticas agropecuarias, de roza -tumba-quema; sin embargo, en los últimos años han aumentado factores como los incendios intencionales y los ocasionados por fumadores (CENAPRED, *op. cit.*, 2001, p. 194).

124 *Idem.*

En Chile también han existido estudios en relación con el riesgo de incendio en áreas urbanas, específicamente en la ciudad de Valparaíso, en el marco de un proyecto de colaboración internacional financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo y elaborado por la consultora italiana ENEA y la Oficina de Gestión Patrimonial de la Municipalidad de Valparaíso. Esta iniciativa se llevó a cabo en 2008 y se enfocó en el manejo de riesgos en Valparaíso, y de manera específica el peligro de terremoto, de tsunami y de incendio. Para estudiar el riesgo de incendio propusieron los siguientes indicadores:

- Presencia de árboles o matorrales (a mayor densidad de vegetación existe mayor peligro).
- Análisis topográfico respecto a la exposición al sol de las laderas de los cerros.
- Accesibilidad (mediante el catastro de calles en relación con su ancho para el acceso de vehículos de emergencia: peligro alto (menos de 3 m); peligro medio (entre 3 y 7 m); peligro bajo (más de 7 m).
- Catastro de la superficie promedio por manzana y las manzanas que superan ese rango (se debe considerar que el fuego se propaga más fácilmente en bloques continuos que no cuentan con calles que los dividan).
- Área construida y cantidad de propietarios por predio (debido a que la mayor fragmentación de los inmuebles disminuye su posibilidad de manejo ante un incendio).¹²⁵

125 ENEA/ Oficina de Gestión Patrimonial de la Municipalidad de Valparaíso, *Manejo de Riesgos en Valparaíso, Servicios Técnicos. Peligro de incendio en la ciudad de Valparaíso*, 2008 [informe del proyecto financiado por Banco Interamericano de Desarrollo (BID)].

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la amenaza socio-organizativa que debería registrarse en un reporte y en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Aglomeraciones

Esta información incluiría el registro de los usos de suelo, ya que en los centros comerciales y administrativos suele haber concentración de personas y focos de vandalismo.

ii. Presión turística

Esta información incluiría la localización de atractivos turísticos, agencias de turismo, recorridos turísticos y equipamiento asociado (museos, hoteles), número de visitantes, etcétera.

iii. Amenaza de incendios forestales

Esta información incluiría la ubicación de sectores con concentración de árboles, matorrales o pastos susceptibles de ser afectados por un incendio, y la información climática en relación con el aumento de la temperatura, a la generación de heladas que hayan quemado los árboles, dirección y velocidad del viento predominante, y la evaluación del asoleamiento con base a la topografía y estados de sequía.

iv. Amenaza de incendios en áreas urbanas

Esta información incluiría el análisis de accesibilidad (mediante el catastro de calles en relación con su ancho para el acceso de vehículos de emergencia); catastro de la superficie promedio por manzana y las manzanas que superan ese rango; área construida y cantidad de propietarios por predio; presencia de cableado eléctrico aéreo en mal estado, y presencia de construcciones de madera.

5.4 Disminución demográfica grave

Esta amenaza está relacionada con la condición de abandono de los bienes culturales inmuebles, la cual finalmente se ve reflejada en una falta de mantenimiento y deterioro progresivo, situación que se genera sobre todo en poblados rurales que se ven afectados por procesos de migración de sus habitantes, y así se transforman en sitios de visita ocasional. Esta situación también ocurre cuando los centros históricos pierden su carácter residencial en favor de la actividad comercial o administrativa, y eso implica que los inmuebles quedan a cargo de los arrendatarios, quienes no suelen hacerse cargo de su mantenimiento.

a. Listados y estudios previos

Para la realización de los mapas temáticos correspondientes a este tipo de amenazas se debe recabar la siguiente información mínima:

- Información demográfica.
- Ubicación de inmuebles abandonados.
- Usos de suelo.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

La información asociada a la disminución demográfica grave que debería registrarse en un reporte y en el mapa de amenazas es la siguiente:

i. Usos de suelo

La información sobre los usos de suelo debería incluir los inmuebles históricos abandonados, desocupados y sitios baldíos.

ii. Flujos demográficos

En el mapa de amenazas se deberían registrar las variaciones de la población (incremento–decrecimiento) en un periodo representativo.

iii. Estado de conservación de los inmuebles

En el mapa de amenazas se deberían registrar los deterioros posiblemente producidos por la falta de mantenimiento o abandono de los inmuebles.

6. Herramienta 2. Tabla de descripción de escenarios y jerarquización de amenazas o peligros

Los parámetros de análisis de amenazas propuestos por las instituciones y estudios enfocados en la planificación territorial descritos en este capítulo, en términos generales coinciden con los parámetros de evaluación definidos por los manuales y programas de gestión de riesgo para la conservación del patrimonio cultural, con la diferencia de que los primeros aplican herramientas de análisis mucho más detalladas que estudian cada fenómeno de forma individual.

A fin de que esta información sea de utilidad para evaluar el nivel de riesgo del patrimonio cultural inmueble, a lo largo de este capítulo se especificaron las amenazas que podrían afectar el patrimonio edificado, desestimándose algunos tipos de amenazas y agregándose otras que no se relacionan con el ámbito de la planificación territorial, pero sí con la conservación de los bienes culturales inmuebles, como por ejemplo el riesgo de abandono, de la presión turística y de incendio.

En este sentido, el mapa de amenazas o peligros constituye una representación de los eventos extremos para saber contra qué hay que protegerse y las medidas a adoptar. Los escenarios dependen de las condiciones específicas de cada sitio, tanto por las características de los fenómenos como por la vulnerabilidad de las construcciones y su emplazamiento. “La base para la construcción de escenarios es la definición del evento extremo cuyos efectos se van a representar (...) debe tratarse que corresponda a un período de retorno

establecido o, si no se cuenta con la información suficiente, al evento máximo considerado posible”.¹²⁶

En el marco de esta investigación, para los mapas de amenazas se considera el peor de los casos como escenario y se identifican las zonas donde –para un fenómeno con intensidad dada– las consecuencias del daño en el patrimonio cultural inmueble sean leves, graduales o catastróficas.

Por la importancia de jerarquizar las amenazas en función de la severidad de los efectos que los fenómenos puedan producir en el patrimonio cultural inmueble, el *Manual de gestión de riesgos de colecciones* desarrollado en el ICCROM en el año 2009 propuso una forma de organizar las amenazas en función de su probabilidad de ocurrencia, describiendo los escenarios de riesgo en una tabla, y por otra parte el documento “Manejo del Riesgo de Desastres (*Managing Disaster Risk*)” desarrollado por la UNESCO en 2010, propuso clasificar las amenazas en función de la severidad de sus consecuencias.

Esta clasificación y la descripción de los escenarios de peligro, sumado a las amenazas definidas en este capítulo, podría constituir una herramienta para jerarquizar las amenazas de los fenómenos perturbadores, para luego realizar un mapa temático de amenazas y priorizar las medidas de mitigación o de conservación preventiva.

A partir de lo mencionado en cada una de las amenazas durante el capítulo, se podría aseverar en términos generales que:

- Las amenazas naturales de acción ocasional corresponden a eventos esporádicos (ocurren varias veces en un siglo) con consecuencias catastróficas o severas;

126 CENAPRED, *op. cit.*, 2001, p. 217.

- Las amenazas de naturaleza física corresponden a procesos continuos (pueden ocurrir continua o intermitentemente) y sus consecuencias son en general leves, pero aumentan de manera gradual.
- Las amenazas antrópicas y las de naturaleza química y electroquímica corresponden en general a procesos continuos y sus consecuencias pueden ser leves o graduales, salvo en el caso de los incendios causados por actividad industrial y de los incendios forestales, que corresponden a eventos esporádicos con consecuencias catastróficas.

En virtud de lo anterior, la tabla de descripción de escenarios y jerarquización de amenazas se conforma de los parámetros que se muestran en la tabla 3. En los espacios en blanco se deberían describir detalladamente los posibles escenarios de riesgo de un inmueble, en particular cuál es el daño que se produciría; estimar qué zona resultará afectada; y estimar qué tan pronto o con qué frecuencia sucederá.

Tabla 3. Descripción de escenarios y jerarquización de amenazas en función de la severidad del daño.

Amenazas (el peor escenario) según su probabilidad de ocurrencia		Magnitud máxima histórica	Intensidad máxima histórica	Severidad		
				Sin daños/ sin amenaza	Leve o gradual	Catastrófica
Eventos esporádicos (muchas veces en un siglo)	Amenaza sísmica y tsunami	Magnitud Richter	Intensidad Mercalli	Descripción del daño que se produciría con la amenaza sísmica o de tsunami; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad.		
	Deslizamiento de laderas	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza de deslizamiento de laderas; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Amenaza volcánica	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza volcánica; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Amenaza hidrometeorológica	pp. diaria máxima	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza hidrometeorológica; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Amenaza química-tecnológica	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza química-tecnológica; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Incendios forestales o urbanos	pp. diaria máxima	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza de incendio; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
Procesos continuos (pueden ocurrir continua o intermitentemente)	Amenaza por erosión	pp. máxima diaria / velocidad máxima viento	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza por erosión; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Amenaza por estrés físico	Oscilación térmica y heladas	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza por estrés físico; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Contaminación atmosférica	Índice de polución	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza de contaminación atmosférica; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Amenaza socio-organizativa	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza socio-organizativa; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		
	Disminución demográfica y falta de mantenimiento	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos	Descripción del daño que se produciría con la amenaza de disminución demográfica y falta de mantenimiento; la zona que resultará afectada; y con qué frecuencia sucederá, en el nivel de severidad que corresponda.		

Fuente: Elaboración propia (2015).

CAPÍTULO III

HERRAMIENTA 3. FICHA DE EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CONSTRUCTIVA SÍSMICA EN LOS BIENES CULTURALES INMUEBLES

La vulnerabilidad es multifactorial y corresponde al producto de la interacción de factores físicos, sociales, económicos y ambientales.¹²⁷ En la presente investigación se analizará sólo la vulnerabilidad constructiva sísmica, pero sin olvidar que existe un espectro más amplio de vulnerabilidad que inevitablemente afecta los aspectos constructivos de los bienes culturales inmuebles, por ejemplo, mediante la falta de mantenimiento o el abandono de los edificios.

Con relación a la evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva se revisaron tres tipos de acercamiento al tema, que se generaron a partir de la misma necesidad: prevenir los efectos de la acción sísmica en los edificios. El primer acercamiento que se estudió fue el elaborado por el CENAPRED en el documento *Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas*,¹²⁸ cuyo objetivo es ser una guía para que los mismos propietarios de distintos tipos de viviendas puedan evaluar la vulnerabilidad sísmica, mediante una serie de preguntas que determinan un puntaje.

Otro acercamiento mucho más especializado proviene del ámbito de la ingeniería estructural, donde recientemente se han desarrollado investiga-

127 Federico Arenas *et al.*, "Los riesgos naturales en la planificación territorial", en *Temas de la Agenda Pública*, año 5, núm. 39, 2010.

128 CENAPRED, *Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas*, disponible en: <http://www.cenapred.unam.mx/es/eventos>.

ciones y publicaciones que tratan la temática de la evaluación de la vulnerabilidad constructiva en edificios históricos, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo. Se han establecido criterios de análisis y desarrollado métodos de modelación estructural de dichos edificios con el fin de evaluar, a partir de la teoría del análisis límite y el estudio de los mecanismos de colapso, su respuesta sísmica.

Sin embargo, existe otra aproximación que podría constituir un punto intermedio entre las dos anteriores y, por tanto, podría ser la base para desarrollar, sin contar necesariamente con la asesoría de profesionales muy especializados, una herramienta aplicable para la evaluación de la vulnerabilidad constructiva del patrimonio cultural inmueble, se trata de las fichas de evaluación de daños posterremoto, desarrolladas por instituciones públicas y académicos de distintos países.

Estas fichas de evaluación de daños surgieron como una actividad pos-desastre y en un contexto de emergencia que ameritaba estudios rápidos. Los formularios han sido mejorados y han permitido tanto analizar la distribución de los efectos de un terremoto para la reevaluación de las normas y prácticas de construcción existentes, como desarrollar modelos de vulnerabilidad para evaluaciones preterremoto.¹²⁹

En varios países se han desarrollado métodos para la evaluación de daños posterremoto con mayor o menor detalle, pero en general los formularios uti-

129 T. Rossetto *et al.*, "Comparison of damage assessment methodologies for different natural hazards", en F.M. Mazzolani (ed.), COST ACTION C26. *Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events: Proceedings of the Final Conference*, Boca Ratón, CRC Press, 2010, pp. 1023-1029.

lizados en Japón, Estados Unidos y en Italia clasifican el nivel de riesgo de los edificios con base en un análisis de la tipología arquitectónica y constructiva, el nivel de asentamientos del terreno, la condición del suelo y desplomes, el daño de elementos estructurales, el riesgo de volcamiento o de caída de objetos, y el tipo y tamaño de las grietas. De los métodos anteriormente mencionados, el formulario de inspección desarrollado por el Grupo Nacional para la Defensa ante los Terremotos (GNDT) de Italia es el más completo, ya que considera metodologías preexistentes de evaluación de daños posterremoto ampliamente utilizadas en Italia, donde el análisis tipológico de los edificios se complementó con las investigaciones de los expertos en el tema. Este formulario ha sido la base para análisis más detallados con base en el modelamiento estructural de los bienes culturales inmuebles. Este grupo desarrolló dos fichas:

- Ficha de 1^{er} nivel para el levantamiento de la exposición y de la vulnerabilidad de los edificios.
- Ficha de vulnerabilidad de 2^o nivel (mampostería).¹³⁰

Los parámetros de la ficha de 1^{er} nivel principalmente se enfocan en la identificación del edificio, y en términos muy generales, evalúan su nivel de daño y vulnerabilidad constructiva, por lo que su nivel de profundidad de análisis no es suficiente para considerarlo en este capítulo.

130 Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello*, versione modificata dalla Regione Toscana, 2003.

En cambio, los parámetros de la ficha de 2° nivel están enfocados a los materiales y sistemas constructivos tradicionales propios de los monumentos históricos. Dichos parámetros fueron actualizados y explicados en el documento Levantamiento de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de mampostería (*Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura*),¹³¹ desarrollado por la Dirección General de las Políticas Territoriales y Ambientales de la Región Toscana en el año 2003. El documento incluye ábacos o tablas con las distintas tipologías constructivas, con fotografías y esquemas que explican cada parámetro de la ficha relativos a esta región.

Por lo anterior, los parámetros de la ficha GNDT de 2° nivel se han tomado en cuenta en este capítulo para la elaboración de un formulario de evaluación de la vulnerabilidad adaptado al contexto latinoamericano y enfocado en los edificios históricos de mampostería de piedra, adobe y otros tipos de mampuestos.

No obstante lo anterior, es necesario considerar que en Italia existió un antes y un después del terremoto del año 2009,¹³² y por esta razón, si bien esta ficha se revalidó en el año 2008 en consideración de la norma italiana NTC-2008,¹³³ también se hará referencia a artículos más recientes sobre evaluación y consolidación de edificios históricos, ya que la ficha valida formas de consoli-

131 *Ibidem.*

132 El terremoto de L'Aquila de 2009 fue un sismo de magnitud 6.7 Richter, registrado el día 6 de abril de 2009 en la zona central de la península itálica. El epicentro se localizó en la ciudad de L'Aquila, región de Los Abruzos, mientras que en Roma su magnitud fue de 4.6 Richter.

133 Direzione Generale delle Politiche Territoriali, Ambientali e per la Mobilità Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica, *Criteri per l'esecuzione delle indagini sugli edifici in muratura, la relazione tecnica e la compilazione della scheda di vulnerabilità Il livello GNDT/CNR con riferimento alle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008)*, Programma regionale VSM, Regione Toscana, Giunta Regionale, 2012.

dación con concreto armado y tensores metálicos, cuya efectividad y compatibilidad con las estructuras históricas ha sido puesta en duda.

La ficha GNDT de 2° nivel sólo se refiere a edificios de mampostería, pero debido a que corresponde al sistema constructivo de edificios históricos que predominó durante la época colonial y republicana en Latinoamérica, sólo se abordará en esta investigación la vulnerabilidad constructiva de estos sistemas constructivos tradicionales, considerando además dentro de ellos el adobe.

Debido a que esta ficha GNDT aborda las mamposterías pero no incluye el adobe, y es bastante general en el parámetro que se refiere al estado de conservación del edificio, estos ámbitos se complementarán tanto con la Norma Chilena N° 3332 Of. 2013,¹³⁴ los parámetros del documento *Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda*. Manual de terreno, elaborado en Chile por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) en el año 2012, como con artículos recientes sobre análisis estructural de edificios históricos.

134 Instituto Nacional de Normalización de Chile, Norma Chilena N° 3332 oficializada el año 2013: Estructuras- Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda. Requisitos del Proyecto Estructural, Santiago, 2013.

1. Estructura de la ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica

Con base en el estudio de las fichas GNDT italiana, la ATC-20¹³⁵ de Estados Unidos y la de evaluación de daños elaborada por el Instituto Nacional de Antropología e Historia de México, fue posible concluir que las fichas de evaluación de la vulnerabilidad constructiva deben contar con antecedentes mínimos que se relacionan con: su identificación, ubicación, propietario, descripción del edificio, año de construcción, uso, porcentaje de ocupación, y documentación gráfica.

Debido a que este tipo de información debería estar presente en las fichas de catálogo de cada país, éstas no serán tomadas en cuenta en esta ficha, cuyos parámetros deberían ser considerados como un anexo o como datos asociados a la ficha oficial de catálogo. Dentro de la documentación gráfica para la evaluación de la vulnerabilidad constructiva se requieren los siguientes documentos:

- Levantamiento fotográfico.
- Levantamiento arquitectónico (plantas, cortes y fachadas) indicando: colindancias, medidas, materiales y sistemas constructivos.
- Las etapas históricas en secuencia experimentadas por el edificio.
- Levantamiento de los principales deterioros y alteraciones del edificio, y de ser posible el origen y causa de los daños observados.

135 ATC-20, *Procedures for postearthquake safety evaluation of buildings*, Redwood City, Apply Technology Center, 1989.

- Cronología de daños ocurridos por eventos sísmicos, meteorológicos, etcétera.

No obstante lo anterior, es necesario enfatizar que los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica que se propondrán en este capítulo funcionarán a modo de prediagnóstico, por lo que no sustituyen un diagnóstico integral del edificio histórico con metodologías como, por ejemplo, el *Método RehabiMed para la rehabilitación de los edificios de la Arquitectura Tradicional Mediterránea*, documento que detalla los pasos necesarios a seguir para la rehabilitación de edificios.¹³⁶

Por otra parte, la ficha de vulnerabilidad de 2° nivel (mamposterías), desarrollada por el grupo GNDT del área de Protección Civil de Italia, se divide en cinco partes que corresponden a las columnas de la ficha, destinadas a recabar la siguiente información:

1. Parámetros: conjunto de características requeridas (se definen en el apartado 2 de este capítulo).
2. Clases: clasificación de los parámetros requeridos en cuatro posibles clases: *A*, *B*, *C* y *D*, donde *A* es un parámetro que implica una vulnerabilidad muy baja, y *D* uno que implica una vulnerabilidad muy alta.
3. Calidad de la información: grado de confiabilidad de la información:

¹³⁶ J. Casanovas (dir.), *Método Rehabimed, Arquitectura tradicional Mediterránea*, vol. II, Consorcio Rehabimed. Barcelona, 2007, disponible en www.rehabimed.net, consultado en marzo de 2015.

- Calidad elevada (*E*): información principalmente directa (medidas efectuadas en campo, lectura con planimetría, observación directa de los elementos de información) con un grado de fiabilidad cercano a la certeza.
 - Calidad media (*M*): información principalmente deducida (lectura indirecta como la derivada de fotografías, medidas deducidas de dibujos o croquis, ensayos no destructivos de escasa confiabilidad, lectura directa de casos análogos, información oral de personas de confianza del evaluador) con un grado de fiabilidad intermedio entre el grado anterior (*E*) y el siguiente (*B*).
 - Calidad baja (*B*): información principalmente supuesta (medidas deducidas de hipótesis razonables en relación a los modos usuales o las decisiones proyectuales más frecuentes, o información oral distinta de la anterior) con un grado de fiabilidad un poco superior al de una elección puramente aleatoria.
4. Elementos de valoración o medición a levantar si es necesario, como pendientes del terreno, espesores de muros, dimensiones generales del inmueble, etcétera.
 5. Esquemas–referencias: recordatorio de las instrucciones de llenado para algunos parámetros.¹³⁷

¹³⁷ Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale. *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello*, versione modificata dalla Regione Toscana, 2003.

Al final de la ficha ATC-20 de Estados Unidos hay dos puntos relevantes que se deben de tomar en cuenta para incorporarlos en la ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva:

1. Resolución: en ella se determina si el edificio es habitable, con uso restringido o inseguro.
2. Otras acciones: necesidad de barricadas para impedir el acceso, recomendación de una evaluación más detallada (estructural, geotécnica u otra), etcétera.

2. Definición de parámetros para la identificación del nivel de vulnerabilidad constructiva de un bien cultural inmueble ante la amenaza sísmica

Como se señaló en la Introducción, la vulnerabilidad constructiva sísmica corresponderá a las causas de deterioro intrínsecas de los bienes inmuebles, que están ligadas al origen y a la naturaleza del edificio, y que responden a tres causas principales (véase en la Introducción la figura 2. Esquema de variables para la definición del nivel de riesgo) que se refieren a:

- La posición del edificio, desde el terreno de desplante a su posición geotopográfica.
- Causas inherentes a la estructura del inmueble, por su conformación o su construcción.
- Las alteraciones por causas antrópicas, tanto en el entorno como en el mismo inmueble.

En muchas ocasiones, las modificaciones por causas antrópicas se convierten en una vulnerabilidad para el edificio como, por ejemplo, las alteraciones de su comportamiento estructural o las que son resultado de un mantenimiento negligente, es por esta razón que deben incluirse en dichos parámetros. Se propone que los parámetros de la Herramienta 3 se organicen con base en los tres tipos de vulnerabilidad constructiva. Su forma de ponderación cualitativa se ha obtenido a partir de varias fuentes, por lo que tanto la estructura de los parámetros de evaluación, así como las fuentes, se muestran en el siguiente esquema (véase figura 11).

Es necesario recalcar que estos parámetros sirven para evaluar sólo la vulnerabilidad ante una amenaza sísmica, ya que para los otros tipos de amenaza es necesario establecer parámetros diferentes de análisis. Se ha elegido esta amenaza principalmente porque es una de las que, por la intensidad de sus efectos, ha generado más daños catastróficos en el patrimonio cultural inmueble. Debido a que en ocasiones, cuando sucede un evento sísmico, se producen incendios, se agregarán algunos parámetros generales para analizar la vulnerabilidad ante el fuego.

La numeración de los parámetros será correlativa, no obstante se encuentren en distintos apartados de este capítulo, tal como se muestra en la figura 11. Esto se debe a que la numeración corresponde al orden en el que se dispondrán en la Herramienta 3, ficha que se presenta al final de este capítulo.

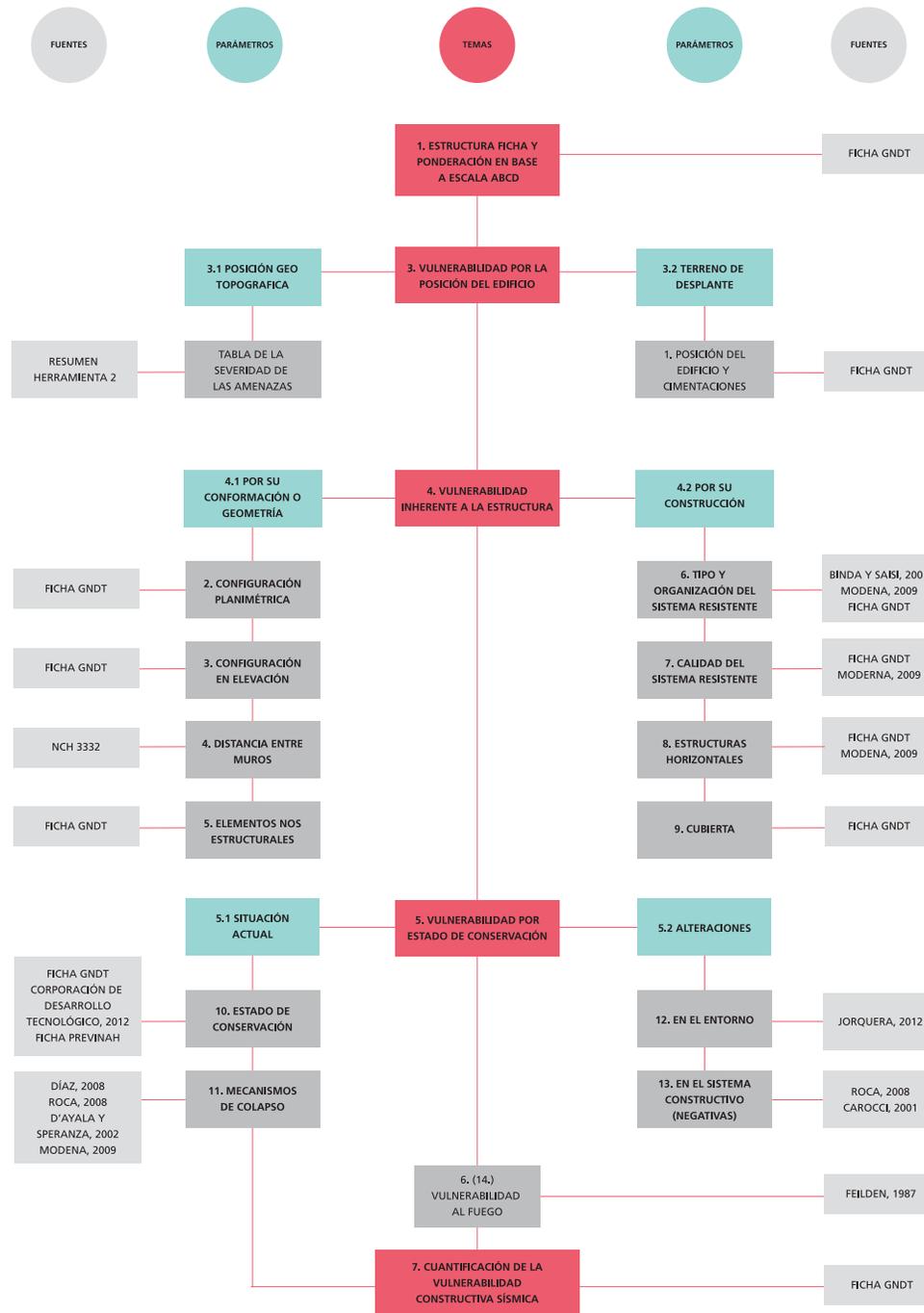


Figura 11. Propuesta de parámetros de la *Herramienta 3*, para la evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica.

3. Vulnerabilidad por la posición del edificio

La vulnerabilidad por la posición del edificio se debe a dos factores principales:

- La posición geotopográfica, es decir, a la orientación del edificio respecto a los vientos predominantes y al asoleamiento; la presencia de microclimas por cercanía a cursos de agua o laderas.
- Terreno de desplante: se refiere a las fallas o debilidad en el suelo por su estratigrafía geológica, cursos freáticos o por la presencia de rellenos.

3.1 Vulnerabilidad por la posición geotopográfica

La posición del edificio determina las amenazas a las que se encuentra expuesto el bien patrimonial, y éste, a su vez, puede verse afectado de diversas maneras por las amenazas. Debido a que en esta investigación se propone que la acción de las amenazas se evalúe con la Herramienta 2, descrita en el Capítulo II, desde el punto de vista de la vulnerabilidad del edificio, se propone incorporar una síntesis de la Tabla de descripción y jerarquización de amenazas, pero sin describir el escenario, sino sólo señalando la severidad de las consecuencias de la amenaza para el bien cultural inmueble.

Debido a que esta ficha sólo evaluará la vulnerabilidad constructiva ante la amenaza sísmica, la siguiente tabla se incorporará sólo a modo de referencia para conocer los diversos riesgos a los que puede estar expuesto el bien inmueble, en ella se marcará la severidad que tiene cada amenaza, pero no implicará una ponderación.

Parámetros para la evaluación:

Tabla 4. Descripción y jerarquización de amenazas.						
Amenazas (el peor escenario) según su probabilidad de ocurrencia		Magnitud máxima histórica	Intensidad máxima histórica	Severidad		
				Sin daños/ sin amenaza	Leve o gradual	Catastrófica
Eventos esporádicos (muchas veces en un siglo)	Amenaza sísmica y tsunami ¹³⁸	Magnitud Richter	Intensidad Mercalli			
	Deslizamiento de laderas	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos			
	Amenaza volcánica	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos			
	Amenaza hidrometeorológica	pp. diaria máxima	Efectos conocidos			
	Amenaza química-tecnológica	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos			
	Incendios forestales o urbanos	pp. diaria máxima	Efectos conocidos			
Procesos continuos (pueden ocurrir continua o intermitentemente)	Amenaza por erosión	pp. máxima diaria / velocidad máxima viento	Efectos conocidos			
	Amenaza por estrés físico	Oscilación térmica y heladas	Efectos conocidos			
	Contaminación atmosférica	Índice de polución	Efectos conocidos			
	Amenaza socio-organizativa	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos			
	Disminución demográfica y falta de mantenimiento	Ha ocurrido (sí/no)	Efectos conocidos			

Fuente: Elaboración propia, 2015.

138 Se ha considerado la amenaza de tsunami relacionada con la amenaza sísmica porque en general es una consecuencia de los terremotos, para más detalles puede consultarse la tabla de sismos históricos de Chile desarrollada por el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, disponible en www.sismologia.cl.

3.2 Vulnerabilidad por el terreno de desplante

Si bien este tipo de vulnerabilidad está muy relacionada con la amenaza de deslizamiento de laderas o deslaves, también debe ser evaluada como un tipo de vulnerabilidad que puede surgir ante la amenaza sísmica, principalmente porque las consecuencias de un sismo en un edificio, incluso construido con los mismos materiales, son muy diferentes si se encuentra en un suelo blando, medio o duro, debido a que, por ejemplo, los suelos blandos amplifican la onda sísmica y también pueden aumentar el tiempo de vibración del suelo, lo que puede ser catastrófico para construcciones de adobe o mampostería de piedra. Por esta razón, el documento *Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas*,¹³⁹ desarrollado por el CENAPRED define diversos grados de vulnerabilidad en función tanto de la topografía como de la presencia de suelos blandos, intermedios o duros.

Con relación al terreno de desplante del edificio, la ficha de vulnerabilidad de 2° nivel (mampostería) del grupo GNDT propone los siguientes parámetros:

1. Posición del edificio y cimentaciones

Expresa una evaluación sintética tanto de la posición del edificio con relación al terreno de la zona circundante, como de los cimientos respecto al tipo de terreno y a las diferencias de la superficie de emplazamiento. Lo que se pretende evaluar, considerando que la evaluación es sólo visual, es la influencia

139 CENAPRED, *op. cit.*

del terreno y de los cimientos en la respuesta del edificio ante un sismo, para lo que se deben considerar los siguientes aspectos:

- **Porcentaje de pendiente del terreno:** se refiere a la situación altimétrica media del terreno sobre el cual se levanta el edificio, se evalúa en dirección perpendicular a las curvas de nivel. Si existen terrazas artificiales y obras de contención eficaces, entonces el porcentaje de pendiente debe evaluarse en la parte superior del muro de contención y no en el terreno natural no intervenido. En este caso debe verificarse que el relleno no haya mostrado señales de hundimiento en el transcurso de los años.
- **Consistencia del terreno:** esta información puede ser deducida de una certificación eventual efectuada y adjuntada al proyecto del edificio, ya sea que se lleve a cabo por analogía con los hallazgos de los edificios vecinos, o por un reconocimiento del terreno.
 - La opción *roca* se deberá indicar en presencia de afloramientos de roca, incluso si está dominada por depósitos superficiales parcialmente disgregados.
 - La opción *terreno suelto* se refiere a las demás condiciones, sin embargo es necesario aclarar que se distingue el terreno sometido a empujes (empujes no equilibrados de terraplenes) del terreno sin empujes.
- **Presencia de cimientos:** En el proceso de llenado de la ficha es necesario identificar si el edificio tiene o no cimientos, y si se apoyan sobre roca o terreno suelto sometido o no a empujes. Los engrosamientos del muro fundados en el terreno también se consideran cimientos.

- **Eventual presencia de cimentaciones a diferentes alturas**¹⁴⁰

Las cuatro clases de situaciones que determinan grados de vulnerabilidad, propuestas por la ficha GNDT y representadas por las letras de la *A* a la *D*, son definidas a como:

Clase A:

- Edificios sobre roca con pendiente p inferior o hasta 10%.
- Edificios sobre terreno suelto no sometido a empujes, con pendiente menor o igual a 10%, y plano de apoyo de cimientos a una altura única.

Clase B:

- Edificios sobre roca con pendiente entre $10 \% < p \leq 30 \%$.
- Edificios sobre terreno suelto con una diferencia entre el nivel de cimentaciones no superior a un metro, y en ausencia de empujes no equilibrados causados por los terraplenes, y que además presenten una de las siguientes condiciones:
 - Terreno con pendiente $p \leq 10 \%$, pero con una diferencia entre los niveles de cimentación distinta de cero.
 - Edificios con cimientos en un terreno con pendiente entre $10 \% < p \leq 30\%$.
 - Edificios sin cimientos y en un terreno con pendiente entre $10 \% < p \leq 20\%$.

¹⁴⁰ Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di Il livello*. Versione modificata dalla Regione Toscana, 2003,

Clase C:

- Edificios sobre roca con pendiente entre $30\% < p \leq 50\%$.
- Edificios sobre terreno suelto con una diferencia entre los niveles de cimentación no superior a un metro, que además presenten una de las siguientes condiciones:
 - Sin empujes causados por terraplenes, el edificio tiene cimientos y el terreno tiene una pendiente entre $30\% < p \leq 50\%$.
 - Sin empujes causados por terraplenes, el edificio no tiene cimientos y el terreno tiene una pendiente entre $20\% < p \leq 30\%$.
 - Con empujes no equilibrados causados por terraplenes, el edificio tiene cimientos y el terreno tiene una pendiente $p \leq 50\%$.
 - Con empujes no equilibrados causados por terraplenes, el edificio no tiene cimientos y el terreno tiene una pendiente $p \leq 30\%$.

Clase D:

- Edificios sobre terreno suelto o roca con pendiente $p > 50\%$.
- Edificios sobre terreno suelto con una diferencia entre niveles de cimentación superior a un metro.
- Edificios sin cimientos, emplazados sobre terreno suelto con pendiente $p > 30\%$.¹⁴¹

141 Todas las descripciones, de la clase A a la D, corresponden a las propuestas de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello*, versione modificata dalla Regione Toscana, 2003, pp. 42-43.

Para los fines de la asignación de las diferentes clases de situaciones, primero debe considerarse la condición más desfavorable, es decir, el tipo de terreno y la presencia o ausencia de cimientos, para después considerar el porcentaje de pendiente del terreno y la eventual diferencia de nivel entre los cimientos. En el caso de edificios sobre roca no deben considerarse las diferencias eventuales entre los niveles de cimentación. En los Anexos de esta investigación se presenta un cuadro con el resumen de la clasificación de los grados de vulnerabilidad.

Hay que destacar, a propósito de este punto, que en la clasificación anterior no se incluyen situaciones como los deslizamientos de laderas o la licuefacción, ya que para estas situaciones de vulnerabilidad se requieren investigaciones más exhaustivas. Tampoco se han considerado fenómenos locales de amplificación de las ondas sísmicas debidas, por ejemplo, a la presencia de estratos de terreno blando de espesor considerable sobre el lecho de roca madre. La distinción entre terrenos estables e inestables en este ámbito, se refiere esencialmente a la posibilidad de que un evento sísmico provoque asentamientos diferenciales a nivel de cimentaciones.

4. Vulnerabilidad inherente a su estructura

La vulnerabilidad inherente que existe en la estructura de un edificio se debe a dos factores principales:

- Por su conformación o geometría.
- Por su construcción.

4.1 Vulnerabilidad por su conformación o geometría

Las construcciones patrimoniales son por lo general menos vulnerables debido a que son más simétricas y mantienen, por tanto, proporciones propias de sus sistemas constructivos. Por lo anterior, el documento *Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas*,¹⁴² desarrollado por el CENAPRED, define los grados de vulnerabilidad en función de la irregularidad de la planta de la edificación, de la cantidad de muros en las dos direcciones principales, y de la irregularidad en la altura.

Los parámetros de la ficha de 2° nivel del grupo GNDT con relación a la vulnerabilidad constructiva causada por la conformación del edificio, son los siguientes:

1. Configuración planimétrica

La configuración en planta es determinante para el comportamiento sísmico de un edificio. En el caso de edificios rectangulares es significativa la relación $\beta_1 = a/l \times 100$ entre la dimensión del lado menor y el lado mayor (véase figura 12). En el caso de plantas que se desvían de la forma rectangular, además de presentar la forma alargada del cuerpo principal, es necesario tener en cuenta la entidad de tal desviación. Esto puede realizarse mediante el parámetro β_2 , definido como $\beta_2 = b/l \times 100$, es decir, la relación entre la dimensión de tal desviación y la dimensión mayor de la planta (véase figura 12). En el caso de

142 CENAPRED, *op. cit.*

que existan protuberancias planimétricas de diferente largo, se asume como valor de b la mayor de las dimensiones, pero cuando dichos elementos sean de dimensión insignificante respecto a la dimensión principal del edificio, aproximadamente 10%, éstos no se consideran en la configuración planimétrica. La asignación de un edificio a una clase se realiza con base en la condición más desfavorable de los parámetros β_1 y β_2 .¹⁴³

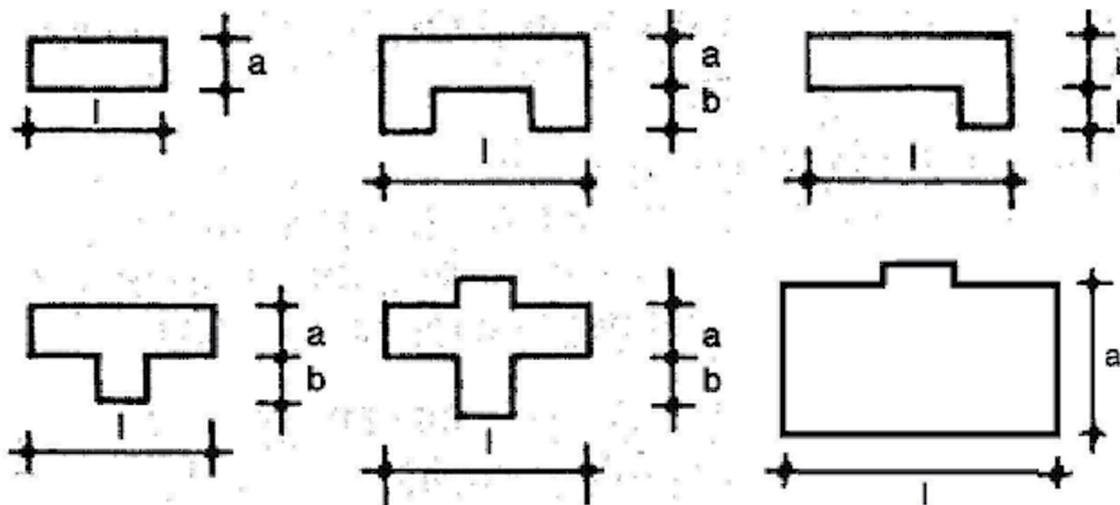


Figura 12. Tipos de configuración en planta. FUENTE: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, p. 59.

143 Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello*. Versione modificata dalla Regione Toscana.

Clase A: $\beta_1 \geq 80$;	$\beta_2 \leq 10$
Clase B: $60 \leq \beta_1 < 80$;	$10 < \beta_2 \leq 20$
Clase C: $40 \leq \beta_1 < 60$;	$20 < \beta_2 \leq 30$
Clase D: $\beta_1 < 40$;	$\beta_2 > 30$ ¹⁴⁴

2. Configuración en elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo de los más antiguos, la principal causa de irregularidad es la presencia de pórticos, balcones y terrazas. La presencia de pórticos se señala en la ficha GNDT como la relación porcentual entre la superficie porticada y la total del piso. Se deben excluir los corredores adosados a los muros perimetrales del edificio principal (véase figura 13).

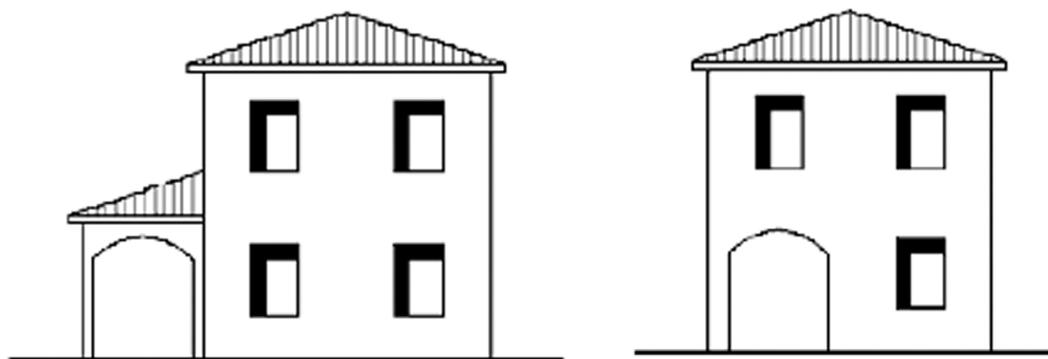


Figura 13. Elevaciones con pórticos. En la imagen de la izquierda no se considera el pórtico; en la de la derecha sí. FUENTE: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, p.62.

144 Todas las descripciones, de la clase A a la D, corresponden a las propuestas de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, *op. cit.* p. 59.

Otro elemento a evaluar con relación a la irregularidad, es la presencia de torres u otros elementos de una altura y masa significativas con relación al resto del edificio. La relación porcentual entre la altura de la torre T y la altura total del edificio H se debe definir (véase figura. 14). En esta evaluación no se consideran los elementos de dimensiones menores como, por ejemplo, las instalaciones de ascensores, cuerpos de escalera, etcétera.

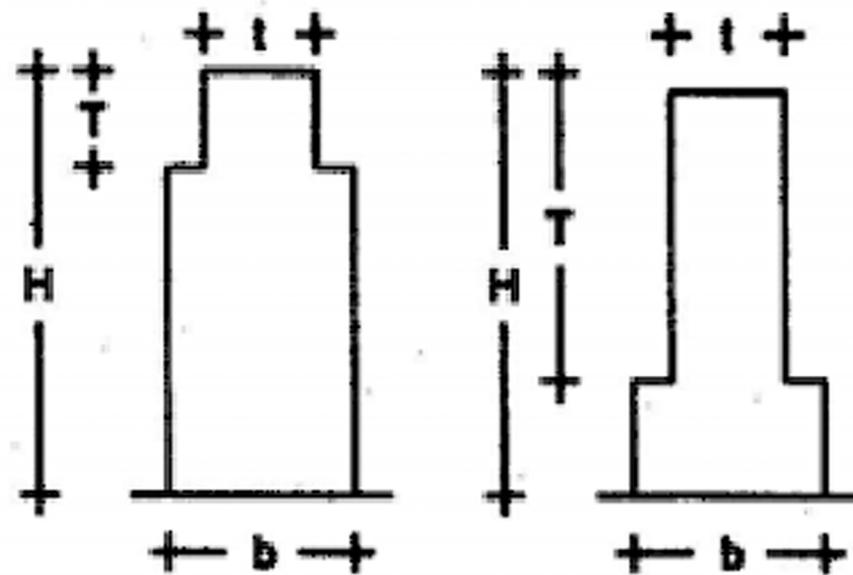


Figura 14. Configuración en elevación. FUENTE: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, p. 61

Para la evaluación de las variaciones de masa se tiene en cuenta la relación $\pm \Delta M/M$ donde:

- ΔM es la variación de masa entre dos pisos sucesivos, desde el inferior hasta el superior. En la ficha se usa el signo + si se trata de un aumento, y el signo – si se trata de una disminución.
- M es la masa del piso inferior. El caso a evaluar es el más desfavorable. Las variaciones porcentuales inferiores a 10% se pueden considerar nulas.¹⁴⁵

Normalmente la relación $\pm \Delta M/M$ puede ser sustituida por la relación $\pm \Delta A/A$, donde A y ΔA son, respectivamente, la superficie cubierta de piso y su variación.

El criterio guía para la asignación de la clase en cada caso es el que representa la peor condición de vulnerabilidad. Las cuatro clases se definen a continuación:

Clase A:

- Edificios con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.
- Edificios con masa y elementos resistentes decrecientes con continuidad.
- Edificios que presentan una reducción inferior a 10% del área de la planta.

145 *Idem.*

Clase B:

- Edificios con arcadas, pórticos y balcones de dimensiones menores, afectando menos de 10% del área total del piso.
- Edificios que presentan una reducción del área de planta mayor de 10% e inferior o igual a 20%.
- Edificios con torres u otros elementos verticales de una altura superior a 10% de la altura total del edificio.

Clase C:

- Edificios con pórticos o balcones que afectan una superficie mayor a 10% e inferior o igual a 20% del área total del piso.
- Edificios que presentan una reducción del área de planta mayor a 20%.
- Edificios con torres u otros elementos verticales de una altura superior a 10% e inferior o igual a 40% de la altura total del edificio.

Clase D:

- Edificios con pórticos o balcones que afectan una superficie mayor a 20% del área total del piso.
- Edificios con torres u otros elementos verticales de una altura superior a 40% de la altura total del edificio.¹⁴⁶

146 Todas las descripciones, de la clase A a la D, corresponden a las propuestas de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico, *op. cit.*, pp. 61-62.

En los Anexos de esta investigación se presenta una síntesis gráfica de las clases según la configuración en elevación.

Si en la construcción de la estructura vertical del edificio en estudio se han utilizado materiales diversos en los distintos niveles, por ejemplo, ladrillo con piedras irregulares; piedras canteadas con piedras irregulares, etc., que impliquen un cambio en la clasificación de la calidad del sistema resistente, y si además estas variaciones modifican significativamente las características de rigidez o resistencia de la estructura vertical, es necesario tomar en cuenta estos factores con la siguiente penalización:

- Los edificios que por geometría pertenecerían a la clase *A* o *B*, se deben clasificar como *C*.
- Los edificios que por geometría pertenecerían a la clase *B* o *C*, se deben clasificar como *D* (véase figura 15).

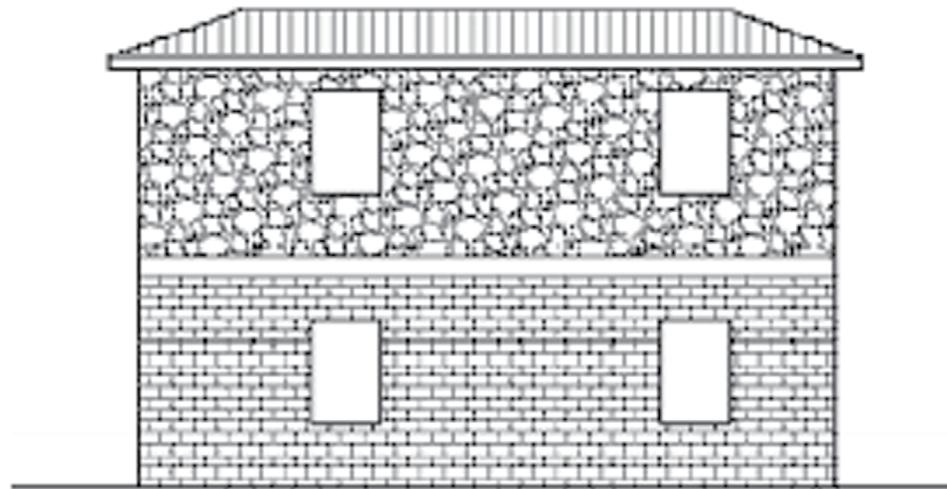


Figura 15. Modificación del sistema constructivo en elevación, con un segundo nivel de menor resistencia. FUENTE: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, p. 62.

3. Distancia entre los muros

En este parámetro se evalúa la presencia de muros de carga (en esta clasificación no se incluyen los muros divisorios) intersectados con los muros transversales, que son capaces de constituir un vínculo eficiente sin estar excesivamente separados entre ellos. La presencia de estos muros ortogonales impide que se desarrolle el mecanismo de volteo fuera del plano del muro en estudio. Por vínculo eficiente se entiende una traba apropiada entre el muro y el arriostramiento. La eficiencia del vínculo depende tanto de la textura del muro como de la eventual presencia de vanos cerca de la esquina. De hecho, estos dos factores determinan el ángulo de desprendimiento de la cuña diagonal en el mecanismo de volteo; por tanto, en el caso de vanos en los muros de arriostramiento puestos a una distancia menor a un metro de la esquina, no constituyen un vínculo eficiente (véase figura 16).

Las clases de vulnerabilidad de la ficha GNDT se definen en función de la relación más desfavorable entre la distancia entre ejes de los muros transversales y el espesor del muro en estudio, sin embargo aceptan valores considerados arriesgados para edificaciones históricas. Por ejemplo, en el rango de la clase *B*, se incluirían inmuebles con muros de 60 cm de espesor, y con una distancia entre ejes de arriostramientos transversales de 10.80 m. Para complementar la clasificación, y debido a que la ficha GNDT no incluye a las construcciones de adobe, se propone usar como referencia lo dispuesto en la *Norma Chilena N° 3332 oficializada el año 2013*,¹⁴⁷ que tiene el objetivo de

147 Instituto Nacional de Normalización Chile, *op. cit.*

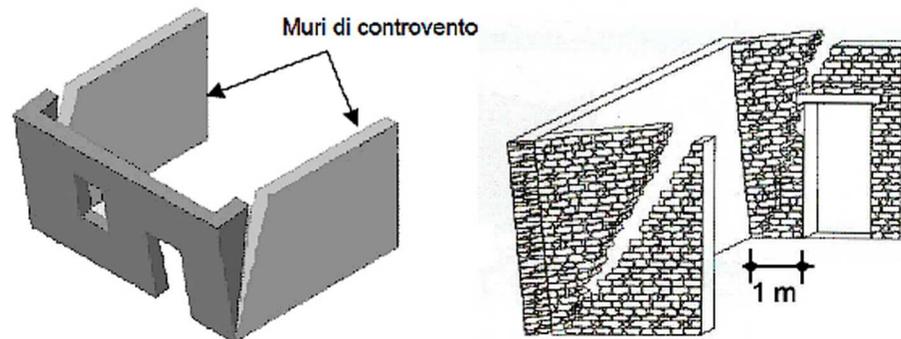


Figura 16. Tipos de mecanismos de volteo. FUENTE: Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, p. 65.

normar las estructuras de los edificios patrimoniales en Chile, así como establecer los parámetros del análisis y modelamiento estructural de construcciones de adobe y mampostería de piedra asentada en lodo.

Esta norma incluye criterios de evaluación que están vinculados con la verificación de relaciones geométricas de los muros, las cuales son propias de una estructura histórica de adobe o de mampostería de piedra estable, y que por lo mismo la hacen menos vulnerable, por tanto, con base en esta norma se definirán las siguientes clases:

Clase A:

- Edificios que presentan las siguientes relaciones geométricas:
 - La esbeltez¹⁴⁸ de los muros no debe ser mayor que 8 . El espesor mínimo de muros está determinado implícitamente por la esbeltez máxima.
 - Los vanos no deben tener un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro.
 - Los vanos de ventanas y puertas se deben ubicar a una distancia no menor que tres veces el espesor del muro, desde el borde libre más próximo.
 - La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro.
 - La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor a 10% de su altura.¹⁴⁹

Clase B:

- Edificios que no presentan alguna de las relaciones geométricas descritas anteriormente.

Clase C:

- Edificios que presentan sólo tres de las relaciones geométricas descritas anteriormente.

148 Esbeltez = Altura / espesor del muro. Se mide en proporción.

149 Instituto Nacional de Normalización Chile, *op. cit.*, p. 7.

Clase D:

- Edificios que presentan sólo dos de las relaciones geométricas descritas anteriormente.¹⁵⁰

Por otra parte, para el caso de edificios de vivienda de mampostería reforzada de uno o dos pisos que cuenten con un sistema de techo rígido, como es el caso de estructuras patrimoniales que han sido consolidadas en una segunda etapa constructiva, un parámetro básico para medir su vulnerabilidad sísmica es la densidad de muros, es decir, la relación entre la suma de las áreas de los muros alineados en cada dirección y el área total de la planta. Este parámetro se explica en la *Guía para el diseño sísmico de edificios de albañilería confinada de baja altura (Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings)*, publicada por el Instituto de Investigación de Ingeniería en Terremotos de California (EERI por sus siglas en inglés).¹⁵¹

En el Apéndice A de esta guía, se explica un método simplificado para calcular la densidad de los muros para edificios de baja altura que cuenten con los siguientes requisitos:

- Superficies uniformes en toda la altura del edificio.
- Una simetría relativa en la distribución de muros en toda la altura del edificio.
- Las paredes exteriores se extienden sobre al menos 50% de la longitud de cada extremo de la planta del edificio en cada nivel.

¹⁵⁰ Las relaciones geométricas descritas en la clase A se definieron según la norma chilena núm. 3332. Las clases B, C y D son de elaboración propia.

¹⁵¹ R. Meli *et al.*, *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings*, Oakland, Earthquake Engineering Research Institute, 2011, disponible en www.eeri.org, consultado en marzo de 2015.

- Por lo menos 75% del edificio debe estar soportado por muros de albañilería confinada.
- La altura total del edificio no debe superar 6 metros.
- La relación entre la altura total del edificio y el ancho mínimo de la planta no debe ser mayor que 1.5 ($h/a \leq 1.5$).
- La relación entre la longitud y el ancho de la planta del edificio no debe ser mayor a 2 ($l/a \leq 2$).
- Diafragmas rígidos en pisos y techo (equivalentes al menos a una losa de concreto armado de 10 cm de espesor).
- Muros de mampostería confinada en toda la planta con cadenas y columnas de concreto armado, muros de la misma calidad y materiales, que estén bien conectados con pisos y techumbre.¹⁵²

En la guía se definen índices mínimos de densidad de muros con base en el tipo de mampostería, el tipo de mortero, el suelo y la zona sísmica, por tanto, para analizar la vulnerabilidad sísmica de edificios que cuenten con las características anteriormente mencionadas, se debería evaluar dicho parámetro partiendo de las propuestas de esta guía.

152 *Ibidem*, p. 38.

4. Elementos no estructurales

En este parámetro se evalúan los accesorios, salientes o voladizos que con su caída puedan provocar daños a personas o a cosas. Se trata de un elemento secundario para los fines de la evaluación de la vulnerabilidad, en este caso no hay necesidad de distinguir entre las dos primeras clases. Por tanto, la clasificación es la siguiente:

Clase A y B:

- Edificios sin accesorios, salientes o voladizos.
- Edificios con accesorios bien unidos a los muros, con chimeneas de pequeñas dimensiones y de peso moderado, y con antetechos bien afirmados.
- Edificios con balcones que constituyan una parte integrante de la estructura horizontal.

Clase C:

- Edificios con accesorios externos o insignias de pequeñas dimensiones mal conectados a los muros, y con antetechos pequeños mal afirmados, o de grandes dimensiones bien afirmados.

Clase D:

- Edificios que presentan chimeneas u otros salientes en la cubierta mal conectados a la estructura, antetechos de mala ejecución, aleros inseguros y mal afirmados, u otros elementos de peso significativo que puedan colapsarse en caso de terremoto.

- Edificios con balcones u otros voladizos (instalaciones, etc.) agregados en un periodo posterior a la construcción del edificio, razón por la cual están mal vinculados a la estructura.
- Edificios con antetechos de grandes dimensiones que presentan:
- Notable fragilidad.
- Peso notable, y mala conexión con los muros.¹⁵³

4.2 Vulnerabilidad por su construcción

El peor defecto de la mampostería con relación a su comportamiento estructural es no responder homogéneamente ante las fuerzas perpendiculares al plano del muro. Esto ocurre, por ejemplo, cuando la pared está hecha con gravas pequeñas o está conformada por dos capas externas bien construidas, pero que no se encuentran conectadas mutuamente y que contienen un relleno de escasa resistencia al interior.

Algunos de los indicadores sobre el comportamiento mecánico de la mampostería de piedra se han logrado obtener con base en el estudio sistemático de las diferentes geometrías, técnicas de construcción y los tipos de trabas y conexiones tanto en el mismo muro como con otros. En distintas regiones de Italia se han catalogado aproximadamente 200 secciones de muro,¹⁵⁴

153 Todas las descripciones, de la clase A a la D, corresponden a las propuestas del manual de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali, p. 75.

154 L. Binda y A. Saisi, "State of the Art of Research on Historic Structures in Italy", Advanced Resech Centre for Cultural Heritage Interdisciplinary Projects, 2001, disponible en <http://www.arcchip>.

que han permitido identificar porcentajes de piedra, mortero, vacíos, etc., lo cual ha permitido constituir, junto con los trabajos de análisis de laboratorio, las bases de una intervención de conservación (véase figura 17).

No obstante, este tipo de estudios en general no ha sido desarrollado en Latinoamérica, sin embargo resultan necesarios para poder identificar con mayor precisión las condiciones de vulnerabilidad constructiva asociadas a la tipología arquitectónica y constructiva de los edificios históricos. Estos estudios deberían realizarse en cada país y región con el objetivo de identificar tanto las tipologías constructivas propias de cada lugar como su nivel de resistencia respecto a su materialidad, disposición de elementos, tipos de morteros y sistemas constructivos.

La presencia de elementos de conexión transversales que atraviesan la sección del muro, puede ser un parámetro para evaluar el comportamiento mecánico del muro. Otros parámetros que se pueden utilizar son: las dimensiones de los elementos, la forma y resistencia de las piedras, la textura de la mampostería, la calidad del mortero, la presencia de cuñas, de hiladas horizontales, de trabas, las características de la sección, homogeneidad de los materiales, etcétera (véase figura 18).

Uno de los parámetros definidos por la ficha de vulnerabilidad de 2° nivel del Grupo Nacional para la Defensa ante los Terremotos es el de *Resistencia convencional*, que se evalúa a través de un cálculo rápido para cuantificar la resistencia en las dos direcciones perpendiculares de la estructura en elevación, con la hipótesis de entrepisos infinitamente rígidos y en ausencia de excentricidad en planta. Con este parámetro se busca estimar el valor de la resistencia de un

cz/w11/w11_binda.pdf, consultado en mayo de 2015.

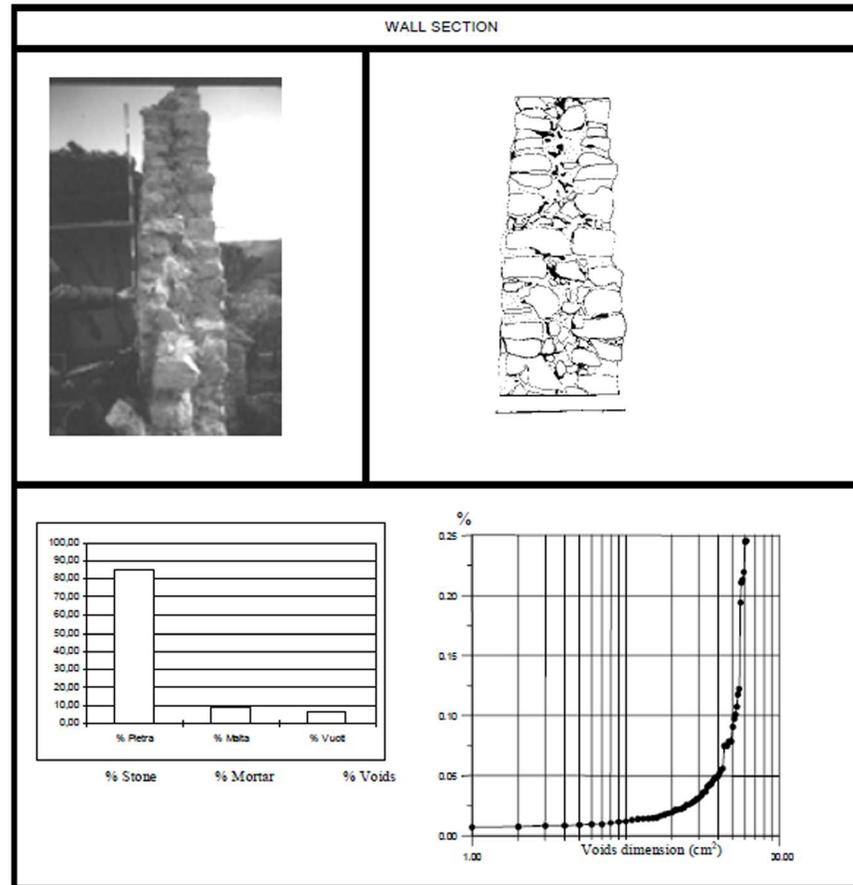
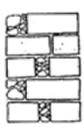
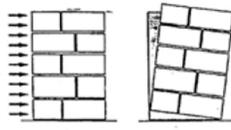
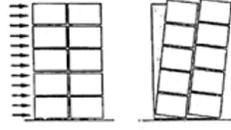
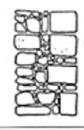
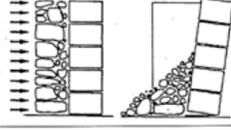


Figura 17. Ficha que representa la sección del muro y el cálculo de vacíos. FUENTE: Binda y Saisi, *op. cit.*, p. 6.

	RILIEVO	MODELLO MECCANICO
1		
2		
3		

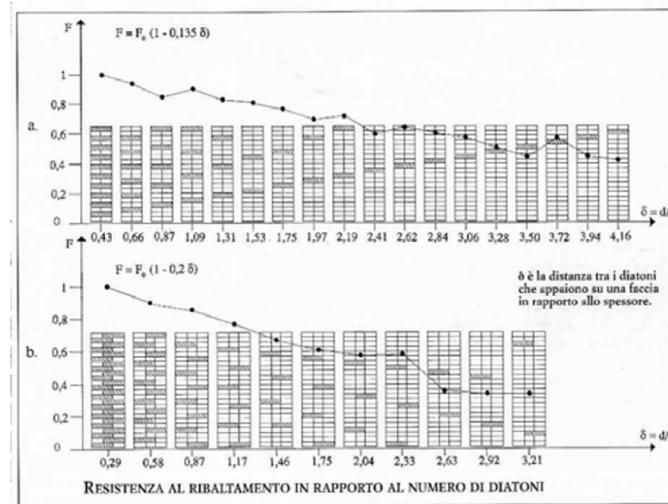


Figura 18. Comportamiento cualitativo de distintas secciones de mampostería; Influencia en la estabilidad de los muros de la presencia de trabas transversales. FUENTE: Binda y Saisi, *op. cit.*, p. 8.

edificio de mampostería a las acciones horizontales. Para hacerlo se emplea un método de cálculo simplificado que considera al edificio, en su dirección más débil, como una pared de corte equivalente.

Debido a que este parámetro se basa en un conjunto de hipótesis que son válidas en edificios construidos según la norma vigente, y a que en la misma ficha se señala que es difícil verificar alguna de estas hipótesis en edificios construidos antes de 1900, e incluso en los del siglo pasado, el parámetro de resistencia convencional no será considerado en la ficha de evaluación de vul-

nerabilidad, a la espera del desarrollo de investigaciones que permitan establecer hipótesis y métodos de cálculo de estructuras de mampostería propias del patrimonio cultural inmueble.

Aclarado lo anterior, los parámetros definidos por la ficha GNDT en relación a la vulnerabilidad constructiva causada por la construcción del edificio, son los siguientes:

1. Tipo y organización del sistema resistente

Expresa el grado de funcionamiento monolítico de los muros a través de la presencia y eficacia de las conexiones de los muros mediante trabas dentadas en las esquinas de todos los niveles, independientemente de los materiales y de las características de los muros individuales. Para evaluar el grado de amarre entre las paredes ortogonales es necesario realizar ensayos de la calidad y factura de la cantería, para así verificar que las dimensiones de los elementos de piedra, alternados a lo largo de la altura del muro, sean tales como para involucrar todo el espesor de la pared y no sólo una parte de ella.

A menudo, los muros están constituidos por dos paramentos juntos, y la cantería involucra sólo la parte externa, mientras que al interior presenta, por ejemplo, piedras redondeadas de río con un mortero pobre, lo que no es suficiente para asegurar la traba entre paredes ortogonales.

En relación a este parámetro, la ficha GNDT propone las clases y valida ciertas formas de reforzamiento de estructuras históricas, como las cadenas de concreto armado y los tensores metálicos. Si bien estos parámetros fueron definidos en 2003 y revalidados con la actualización de 2008, con base en lo

dispuesto por la norma NTC-2008, es cuestionable que se validen formas de reforzamiento que se modifican constantemente debido al desarrollo de nuevas investigaciones. Por ejemplo, las cadenas de concreto armado son incompatibles con el adobe, al respecto, Modena señala que su aplicación en mamposterías de piedra debe ser considerada con las precauciones necesarias, ya que incluso podrían empeorar el comportamiento completo de la estructura.¹⁵⁵

Sumado a lo anterior, el uso de los morteros de cemento también ha sido puesto en duda en reiteradas ocasiones por Modena, sin embargo su uso es considerado apropiado por la ficha GNDT.

Una extensiva investigación se ha enfocado recientemente en el uso de lechadas de mortero no basadas en cemento (Valluzzi, 2000; Valluzzi *et al.* 2004) para incrementar la resistencia de muros de mampostería de capas múltiples, por el requerimiento de compatibilidad en términos de propiedades químico-físicas y mecánicas entre la mezcla de mortero y el muro, lo cual es solicitado actualmente por las normas.¹⁵⁶

El texto de Modena da cuenta de la constante modificación de los criterios de consolidación de estructuras históricas en base a nuevas investigaciones y a la experiencia de prueba y error. Es así como reforzamientos de mamposterías

155 C. Modena , "Structural interventions on historical masonry buildings: review of Eurocode 8. Provisions in the light of the italian experience", en E. Cosenza (ed.), *Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop*, Nápoles, Doppiavoce, 2009, p. 228.

156 C. Modena, *op. cit.*, p. 230.

mencionados en el Eurocódigo 8,¹⁵⁷ como los aplanados de concreto armado, la inserción de perfiles de acero y la aplicación de aplanados reforzados con mal- las poliméricas, no han sido evaluados de manera correcta, es decir, en base a que la aplicabilidad y efectividad debe ser demostrada caso a caso, y depende de una apropiada ejecución.¹⁵⁸

Por otra parte, la clase A definida por la norma GNDT incluye sólo los edificios construidos según la normativa sísmica vigente para las nuevas construcciones, y como esto descartaría prácticamente todos los edificios de mampostería que forman parte del patrimonio cultural, se propone modificar esta clasificación incluyendo los edificios existentes consolidados o reparados según los requisitos de la norma sísmica.

Para esto es necesario considerar la metodología de reconstrucción local mencionada por Modena, la cual tiene el objetivo de restituir la continuidad de los muros que presenten grietas (sustitución de elementos dañados con otros nuevos, restablecimiento de la continuidad estructural) y la recuperación de partes muy dañadas de muros de mampostería, con materiales similares o compatibles con los originales: “El uso de materiales que son similares, en términos de forma, dimensiones, espesor y resistencia, a los empleados en el

157 Los Eurocódigos estructurales son un conjunto de normas europeas para la ingeniería de carácter voluntario, fueron redactadas por el Comité Europeo de Normalización (CEN) y pretenden unificar criterios y normativas en las materias de diseño, cálculo y dimensionado de estructuras y elementos prefabricados para edificación. El Eurocódigo 8 es la norma EN-1998 sobre Diseño Sísmico de Estructuras.

158 C. Modena, *op. cit.*, p. 231.

muro original es preferible. Se deben proveer conexiones adecuadas para obtener el comportamiento monolítico”.¹⁵⁹

Por lo anterior, se propondrán clasificaciones más generales de este parámetro y de los que incluyan referencias de este tipo, las propuestas se basarán en el criterio de la preservación de los sistemas constructivos tradicionales y los reforzamientos con materiales compatibles. Las cuatro clases son las siguientes:

Clase A:

- Edificios existentes consolidados o reparados según los requisitos de la norma sísmica. Se determina en función de la eficacia obtenida con la intervención para garantizar el funcionamiento monolítico del edificio con materiales compatibles con los preexistentes.

Clase B:

- Edificios que presentan una buena traba entre los muros ortogonales y una buena conexión entre los muros y los entrepisos, mediante estructuras horizontales continuas ejecutadas con materiales propios de los sistemas constructivos originales, o compatibles en cuanto a resistencia y rigidez.

Clase C:

- Edificios que están constituidos por paredes ortogonales bien trabadas entre sí, pero que no tienen una adecuada conexión entre los muros y los entrepisos.

159 *Ibidem*, p. 229.

- Edificios constituidos por paredes ortogonales bien trabadas entre sí que presentan, en todos los niveles, conexiones entre muros y entresijos con materiales distintos a los originales, y cuya eficacia no esté comprobada mediante ensayos de laboratorio o por la experiencia.
- Edificios de un piso constituidos por muros ortogonales que no están bien trabados entre ellos, pero que tienen una buena conexión entre los muros y el sistema de techumbre, mediante estructuras horizontales continuas ejecutadas con materiales originales, o compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.

Clase D:

- Edificios con paredes ortogonales que no están bien trabadas entre ellas:
 - Con conexiones entre muros y entresijos propios del sistema original o con materiales compatibles, pero ejecutadas de manera deficiente, es decir, sin cubrir toda la sección de los muros o con un funcionamiento deficiente por su estado de conservación.
 - Con conexiones entre muros y entresijos con materiales distintos a los originales, o con materiales incompatibles en cuanto a resistencia y rigidez, y cuya eficacia no esté comprobada mediante ensayos de laboratorio o por la experiencia.¹⁶⁰

160 Todas las descripciones de la clase A a la D son de elaboración propia.

2. Calidad del sistema resistente

La calidad del sistema resistente depende de los siguientes factores:

- Tipo de material: este factor indica tanto la calidad de los bloques (naturales o artificiales) que constituyen el muro como el estado de conservación de los morteros.
- Tipo de aparejo de los muros: Se refiere a la homogeneidad del tamaño y la regularidad en la disposición de los bloques, lo que da como resultado una traba apropiada entre ellos. Es necesario aclarar que la presencia, por ejemplo, de hiladas de ladrillo que cubran todo el espesor del muro no constituye un elemento de discontinuidad en un muro de mampostería o de adobe. De manera análoga, la presencia de piedras de mayor tamaño en vanos o esquinas del edificio no se considera una falta de homogeneidad en el tamaño. No obstante, siempre es necesario comprobar que exista regularidad también en el interior del muro mediante calas, ya que podría tratarse de un muro conformado por dos paramentos externos y relleno en el interior.
- Tipo de uniones constructivas: indica la presencia de elementos de unión transversales al interior de una mampostería de piedra, que generalmente está constituida por dos paramentos verticales unidos por un relleno.¹⁶¹

161 Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello*, versione modificata dalla Regione Toscana, 2003.

Uno de los campos de este parámetro se debe completar según la clasificación del tipo de paramento. La ficha GNDT define 21 tipos de mamposterías, incluyendo materiales modernos como los bloques de concreto. Debido a que la ficha que se pretende diseñar en este capítulo sólo se referirá al patrimonio cultural inmueble, no se considerarán estos tipos de paramentos; además, se agregará el adobe en las tipologías. Los códigos de los tipos de paramentos serían los siguientes:

- A.* Doble muro con relleno interior formado con piedras de varios tamaños, mal trabadas y sin conexión entre los dos paramentos verticales.
- B.* Doble muro con relleno interior formado con piedras de tamaños más regulares, bien trabadas y con los paramentos verticales conectados, o con las esquinas construidas con piedra canteada o ladrillos macizos.
- C.* Mampostería de piedra labrada con irregularidades.
- D.* Mampostería de piedra labrada con las esquinas construidas con piedras escuadradas o ladrillos macizos.
- E.* Mampostería de piedra bola o piedra de río de diversos tamaños, sin un confinamiento mediante piedras escuadradas o ladrillos macizos.
- F.* Como la clasificación *E*, pero con las esquinas o bordes conformados con piedra escuadrada o ladrillos macizos.
- G.* Mampostería de bloques de toba o piedra canteada de dimensiones regulares.
- H.* Mampostería de ladrillo macizo.
- I.* Adobe: estructura ejecutada con bloques fabricados con tierra cruda (barro), paja y, opcionalmente, aditivos destinados a mejorar su calidad y capacidad mecánica, después son secados al aire. Se deben colo-

car según un determinado aparejo, y deben estar unidos mediante un mortero de barro.¹⁶²

J. Estructura mixta, es decir, una combinación (en un mismo piso) de dos o más tipologías de muros (A-I).

K. Mampostería consolidada según la normativa sísmica vigente, con materiales compatibles con los preexistentes en cuanto a resistencia y rigidez.¹⁶³

En consideración del tipo de paramento anteriormente descrito, el aparejo (organizado o desorganizado) y la calidad del mortero, se propone la siguiente clasificación basada en la ficha GNDT:

Clase A:

- Mampostería de piedra canteada constituida por elementos homogéneos bien labrados. Buen aparejo y mortero de buena calidad.
- Mampostería de toba o tufo volcánico¹⁶⁴ bien escuadrado y de baja porosidad. Buen aparejo de muros y con juntas de mortero horizontales y verticales. Mortero de buena calidad.
- Mampostería de ladrillo macizo. Buen aparejo y juntas de mortero horizontales y verticales. Mortero de buena calidad.

¹⁶² Instituto Nacional de Normalización Chile 2013, *op. cit.*

¹⁶³ Todas las clasificaciones de tipos de paramentos, excepto la clasificación I, son los del manual de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, pp. 15-16.

¹⁶⁴ La toba volcánica o tufo volcánico es un tipo de roca ígnea volcánica, ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica. No hay que confundirla con la toba calcárea ni tampoco con la pumita; información disponible en www.wikipedia.com.

- Mampostería consolidada según la normativa sísmica vigente, con materiales compatibles a los preexistentes en cuanto a resistencia y rigidez (en el caso de intervenciones no ejecutadas según la norma, deberá considerarse la clase más parecida a la resistencia conseguida).
- Adobe con todos los bloques trabados a soga, a tizón o con otras trabas derivadas de ellas, con un traslape de medio adobe entre los muros ortogonales. Las juntas entre los adobes, tanto horizontales como verticales, se fabrican con el mismo barro, con un espesor de 1 a 1.5 cm.

Clase B:

- Mampostería de piedra canteada con elementos no homogéneos, pero bien trabados en sentido longitudinal y transversal. Mortero de buena calidad.
- Mampostería de piedra labrada con hiladas de ladrillo macizo en todo el espesor del muro. Buen aparejo y mortero de buena calidad.
- Mampostería de toba volcánica bien escuadrada y de baja porosidad. Buen aparejo y con juntas de mortero horizontales y verticales. Mortero de calidad media.
- Adobe con todos los bloques trabados a soga, a tizón o con otras trabas derivadas de ellas, con un traslape de medio adobe entre los muros ortogonales. Las juntas entre los adobes, tanto horizontales como verticales, se fabrican con el mismo barro, pero con un espesor mayor a 1.5 cm.

Clase C:

- Mampostería de piedra toscamente escuadrada y con irregularidades. Aparejo y mortero de calidad media.

- Mampostería de piedra no escuadrada o de piedra de canto rodado, con hiladas de ladrillo. Aparejo y mortero de calidad media.
- Doble muro de mampostería mixta, con el paramento interior conformado por piedra en bruto, y el paramento externo en piedra escuadrada toscamente o en ladrillo. Aparejo y mortero de calidad media.
- Doble muro de mampostería de piedra o toba volcánica con núcleo de buena consistencia. Presencia abundante de conexiones idóneas entre los dos paramentos con elementos transversales o hiladas de ladrillos. Mortero de calidad media.
- Mampostería de toba volcánica bien escuadrada y de porosidad media. Aparejo y mortero de calidad media.
- Mampostería de ladrillos macizos. Aparejo defectuoso (por ejemplo, con juntas de mortero de un espesor excesivo, etc.). Mortero de baja calidad.
- Adobe con deficiencias en el aparejo de los bloques, pero con un traslape de medio adobe entre los muros ortogonales. Las juntas entre los adobes, tanto horizontales como verticales, se fabrican con el mismo barro, con un espesor de 1 a 1.5 cm. La incorporación de ladrillos en algunas hiladas, en las esquinas o en los vanos no se considera una deficiencia del sistema constructivo.

Clase D:

- Mampostería de piedra no escuadrada o toba volcánica toscamente escuadrada de media o alta porosidad (por ejemplo, piedra de canto rodado, piedra de río, piedra toscamente labrada, elementos de toba volcánica con formas irregulares, etc.). Aparejo defectuoso y ausencia de hiladas continuas en todo el espesor del muro. Mortero de baja calidad debido al mal estado de conservación.

- Mampostería de piedra labrada con hiladas continuas de ladrillo macizo que cubren el espesor del muro. Aparejo de calidad media y mortero de baja calidad.
- Mampostería de ladrillo de baja calidad con inclusión de guijarros. Aparejo defectuoso y mortero de baja calidad.
- Doble muro de mampostería de piedra no escuadrada o toba volcánica muy porosa. Núcleo irregular o parcialmente vacío. Ausencia o escasa presencia de trabas transversales entre los dos paramentos. Mortero de baja calidad debido al mal estado de conservación.
- Adobe con deficiencias en el aparejo de los bloques y en el traslape entre los muros ortogonales. Mortero de lodo de baja calidad debido a su estado de conservación, o con morteros de cemento aplicados en intervenciones posteriores de rejunteo.¹⁶⁵

3. Estructuras horizontales (pisos y entrepisos)

Este parámetro expresa el rol que desempeñan las estructuras horizontales en el buen funcionamiento monolítico del edificio. Esto se logra a través de buenas conexiones a los muros verticales y a una elevada rigidez de la estructura horizontal. Es preferible una adecuada conexión a los muros antes que el comportamiento como diafragma rígido, ya que a menudo es sinónimo de mayor peso de la estructura horizontal.

165 Todas las descripciones de las clases, de la A a la D, excepto las referidas a adobe, son las presentes en el manual de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, pp.17-19. Las mamposterías no tradicionales, como los ladrillos perforados, no han sido considerados. Las clasificaciones del adobe son de elaboración propia.

Para la subdivisión en clases de los edificios se consideran los siguientes requisitos:

- Funcionamiento como diafragma rígido y elevada rigidez para las deformaciones en su mismo plano: implica una buena conexión entre los elementos constructivos que conforman la estructura horizontal y los elementos de arriostramiento.
- Conexión eficiente a los elementos verticales resistentes: implica la presencia de elementos continuos de unión, con materiales propios del sistema constructivo original o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.
- Alta diferencia de resistencia y rigidez entre las estructuras horizontales y la mampostería del edificio.

Las cuatro clases se definirían como:

Clase A:

- Edificios con estructuras horizontales propias del sistema constructivo tradicional o ejecutadas con materiales compatibles en cuanto a resistencia y rigidez, y siempre que cumplan tres condiciones:
 - a) Deformabilidad despreciable en el plano del entrepiso.
 - b) Conexiones eficientes entre la estructura horizontal y el muro.
 - c) Ausencia de divisiones en el entrepiso.

Clase B:

- Edificios con estructuras horizontales como las anteriores, pero que no cumplen con la condición c).

Clase C:

- Edificios con estructuras horizontales propias del sistema constructivo tradicional o ejecutadas con materiales compatibles en cuanto a resistencia y rigidez, dotadas de una deformabilidad significativa en el plano, aunque bien conectadas a los muros.

Clase D:

- Edificios con estructuras horizontales propias del sistema constructivo tradicional o ejecutadas con materiales compatibles en cuanto a resistencia y rigidez, mal conectadas a los muros.
- Edificios con estructuras horizontales ejecutadas con materiales distintos a los originales y cuya compatibilidad no haya sido verificada mediante ensayos de laboratorio o mediante la experiencia, o ejecutadas con materiales incompatibles.
- Edificios con estructuras horizontales construidas con materiales compatibles en una época posterior al origen del edificio, pero que hayan agregado un peso importante a una mampostería de baja calidad en términos de resistencia y rigidez.¹⁶⁶

¹⁶⁶ Las descripciones de las clases, de la A a la C, son las presentes en el manual de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, p. 46. La clasificación D

Cuando existen estructuras horizontales de naturaleza muy diversa en el mismo edificio, se debe considerar la condición más desfavorable.

4. Cubierta

Los elementos que caracterizan la influencia de la cubierta en el comportamiento sísmico de un edificio son esencialmente cuatro:

- La eventual acción de empuje sobre los muros perimetrales.
- La eficacia de la unión de la estructura de la cubierta a los muros.
- El peso, en términos de masa sísmica.
- La diferencia de rigidez y resistencia respecto a la de la mampostería del edificio.¹⁶⁷

Durante un sismo, el empuje de una cubierta favorece el colapso fuera del plano de los muros soportantes, esto se debe al incremento del empuje ejercido en condiciones normales. Además, donde existen cubiertas a cuatro aguas, los puntales pueden provocar el colapso de la mampostería en las esquinas.

Es necesaria una conexión eficiente entre la estructura portante de la cubierta y los muros perimetrales para poder transferir las acciones horizontales del sismo a los muros de arriostramiento, así como para conferir a todo el edi-

es de elaboración propia porque la ficha GNDT es muy específica en cuanto a intervenciones con concreto armado, por lo que se privilegió una descripción más general.

¹⁶⁷ Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale. 2003, p. 67.

ficio un efecto de conjunto al nivel de coronamiento, de esta forma se mejora su comportamiento monolítico.

En este sentido, el peso incide negativamente debido a que determina una fuerza elevada de inercia que puede superar la resistencia de los muros de mala calidad. Es aconsejable entonces relacionar el peso de una cubierta con la calidad de los muros soportantes. Los elementos de evaluación necesarios son:

- El peor tipo de cubierta provoca empujes, poco empuje, o no los provoca.
- La presencia, ausencia o escasa eficacia de elementos continuos de coronamiento.
- La carga permanente de la cubierta.
- La longitud del apoyo de la cubierta: el perímetro l de la cubierta sin aperturas (véase figura 19).

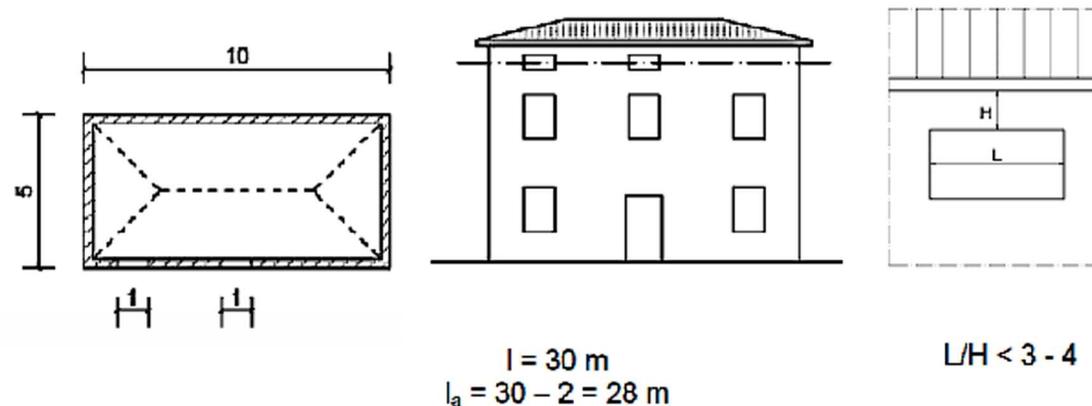


Figura 19. Ejemplos de la medición de l y l_a . Fuente: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, p. 68.

Para determinar la longitud del apoyo de la cubierta no se consideran generalmente las bandas de albañilería con vanos que no cuenten con dinteles eficientes, es decir, que tengan una rigidez comparable a un muro con una relación luz/altura superior a 3 o 4.

La longitud de los muros intermedios eventuales sobre los cuales se apoya la estructura de la cubierta no deben ser considerados en el cálculo del perímetro de la misma (véase figura 20). En el caso de un edificio con dos o más cubiertas separadas en diferentes niveles, se deberán sumar los perímetros de las cubiertas.

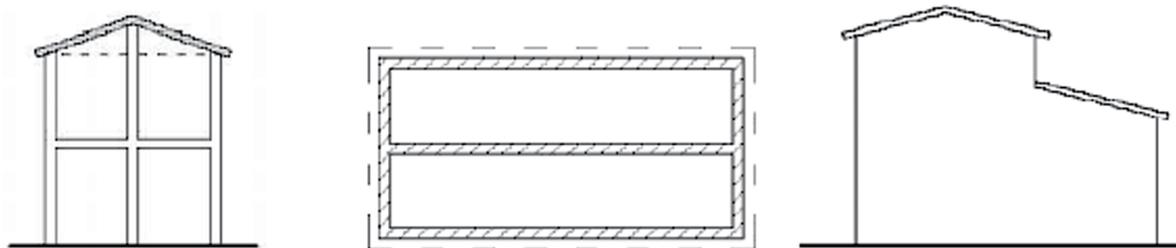


Figura 20. Tipos de apoyos de la cubierta. Fuente: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, 2003, p. 68.

La pertenencia a una de las cuatro clasificaciones se determina en función de la eventual acción de empuje de la tipología estructural de la cubierta del edificio. Las clases, con base en la ficha GNDT, serían las siguientes:

Clase A:

- Edificios con una cubierta que no provoca empujes, provista de una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.

Clase B:

- Edificios con una cubierta que no provoca empujes, pero sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.
- Edificios con una cubierta que no provoca empujes, provista de una estructura horizontal de coronamiento de los muros que no conecta de manera eficiente la cubierta a los muros (por falta de continuidad, por su estado de conservación, porque no cubre toda la sección del muro, por su ejecución con materiales incompatibles, etc.).
- Edificio con una cubierta que causa empujes moderados, provista de una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.

Clase C:

- Edificio con una cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.
- Edificio con una cubierta que causa empujes moderados, provista de una estructura horizontal de coronamiento de los muros que no conecta de manera eficiente la cubierta a los muros (por falta de continuidad, por su estado de conservación, porque no cubre toda la sección del muro, por su ejecución con materiales incompatibles, etc.).
- Edificio con una cubierta que causa empujes, pero provista de una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.

Clase D:

- Edificio con una cubierta que causa empujes, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.
- Edificio con una cubierta que causa empujes, provista de una estructura horizontal de coronamiento de los muros que no conecta de manera adecuada la cubierta a los muros (por falta de continuidad, por su estado de conservación, porque no cubre toda la sección del muro, por su ejecución con materiales incompatibles, etc.).

- Edificios que presentan una cubierta con una carga permanente notable (por alteraciones posteriores del edificio), apoyada en estructuras horizontales incompatibles o cuya compatibilidad no haya sido demostrada mediante ensayos de laboratorio o por la experiencia¹⁶⁸ (véase figura 21).

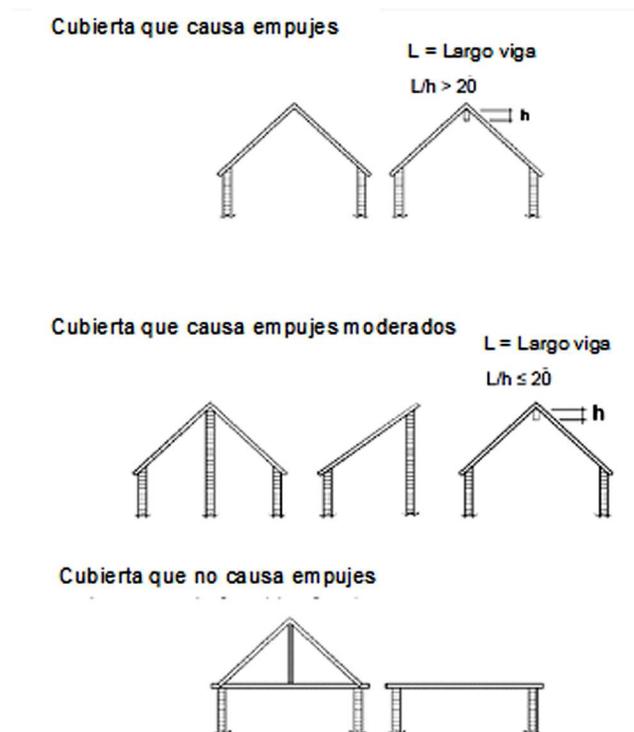


Figura 21. Tipos de cubiertas. Fuente: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, *op. cit.*, 2003, p. 70.

¹⁶⁸ Las clasificaciones de la A a la D son de elaboración propia con base en el criterio de la ficha GNDT. Se privilegió una descripción más general ya que la ficha GNDT es muy específica en cuanto a intervenciones con concreto armado y otras que implicarían alteraciones de los sistemas tradicionales.

5. Vulnerabilidad por su estado de conservación

Para conocer el estado general de una construcción, se debe realizar un diagnóstico que determina si es necesario llevar a cabo un análisis estructural del edificio, a partir del levantamiento de deterioros, para después estudiar sus causas.

Así, se propone que la vulnerabilidad derivada del estado de conservación se evalúe con base en los siguientes parámetros:

- Situación actual: incluye la evaluación del estado de conservación, identificación de agrietamientos y posibles mecanismos de colapso.
- Alteraciones: incluye las alteraciones en el entorno y en el sistema constructivo.

5.1 Situación actual

Con base en un levantamiento de deterioros y alteraciones es posible establecer niveles de daño, como hizo el Instituto Nacional de Antropología e Historia con motivo del desarrollo del Programa de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural (PrevINAH). Por ello en 2010 fueron creados sus *Lineamientos para la elaboración de dictámenes de siniestros en caso de desastre PrevINAH. Manual para conservadores*. En este manual se propuso la elaboración de fichas de diagnóstico que si bien se enfocaron en el patrimonio mueble, es posible adaptar al patrimonio inmueble en base a los aspectos de evaluación de la pintura mural.

En estos lineamientos se propuso una tabla de efectos de deterioro, en la que se describe el área de deterioro y el porcentaje con relación al volumen total del bien. Por otra parte, se propuso identificar los siguientes efectos de deterioro:

- Daños graves: derrumbes, grietas, desplome, colapso estructural, hundimientos, núcleos expuestos, pérdida de elementos constructivos,
- Daños leves: desplazamiento por empuje, escurrimientos, abombamientos, oquedades, fisuras, disgregación, erosión.
- Daños de elementos no estructurales: acumulación de escombros, pérdida de relieves en estuco, pérdida en aplanados y pisos.¹⁶⁹

El parámetro de la ficha de vulnerabilidad de 2° nivel, en relación a la vulnerabilidad constructiva causada por el estado de conservación, se define como:

1. Estado de conservación

En este parámetro se considera el estado de conservación del edificio. Las cuatro clases definidas son:

¹⁶⁹ Instituto Nacional de Antropología e Historia. *Lineamientos para la elaboración de dictámenes de siniestros en caso de desastre PrevINAH. Manual para conservadores*. Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, México, INAH, 2010.

Clase A:

- Mampostería o adobe en buen estado, sin lesiones visibles.

Clase B:

- Edificios que presentan daños superficiales no generalizados, con excepción de los casos en los cuales se hayan producido por terremotos.

Clase C:

- Edificios con daños moderados (amplitud de la lesión: 2-3 mm) o superficiales originados por sismo.
- Edificios que si bien no tienen daños, presentan un estado de conservación de la mampostería que provoca una menor resistencia.

Clase D:

- Edificios que presentan muros fuera de plomo y/o daños graves aunque no sean generalizados.
- Edificios con un grave deterioro de sus materiales.
- Edificios que aun cuando no tienen daños, presentan un estado de conservación de la mampostería que determina una menor resistencia, como por ejemplo, morteros disgregados.¹⁷⁰

¹⁷⁰ Las descripciones de las clases, de la A a la D, son las presentes en el manual de la Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, p. 77. Sólo se agregó el adobe en la clase A.

Para el caso de los edificios de adobe, debido a que sus materiales básicos son la tierra cruda en muros y la madera en las estructuras de techumbre, es muy importante incorporar en esta clasificación los posibles deterioros o la vulnerabilidad debida a la presencia de humedad o de agentes bióticos. Los tipos de daños por estos factores, definidos en el manual *Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda. Manual de terreno*,¹⁷¹ desarrollado en el 2012 por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) en Chile, son:

- **Humedad**

- Humedad en piso interior: se reconoce por la presencia de manchas en el piso y la sensación de humedad (a través del tacto) en la zona.
- Humedad en la parte inferior de un muro portante o un muro divisorio interior: corresponde a la presencia de agua impregnada en la zona inferior de los muros debido a que hay agua en el subsuelo. Esto genera un reblandecimiento de la tierra cruda que afecta sus propiedades estructurales. En casos avanzados, se puede manifestar en una deformación del muro o la pérdida y/o desprendimiento de material, lo que ocasiona debilitamiento de la estructura.
- Humedad en zonas puntuales de un muro portante o un muro divisorio interior: este tipo de daños es causado por filtraciones de las instalaciones, exposición del muro a la lluvia o a salpicaduras de agua, o filtraciones en la cubierta.
- Humedad en la parte superior de un muro portante o un muro divisorio interior: se produce por filtraciones en la cubierta. Se reconoce por la presencia

171 Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) 2012. *Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda. Manual de terreno*, Santiago, Raíz futura, 2012.

de manchas de humedad o por el desprendimiento de material superficial del muro.¹⁷²

- **Agentes bióticos asociados a la presencia de humedad**

- Vegetación, musgos y líquenes en muro portante, divisorio o techumbre: corresponde a la presencia de vegetación enraizada en una parte de la edificación. Por ejemplo, los líquenes, que están constituidos por un hongo y un alga, aparecen en zonas expuestas y húmedas como cornisas y fachadas.
- Hongos xilófagos en muro portante, divisorio o techumbre: corresponde a la presencia de organismos eucariontes de carácter parasitario, que habitan sobre materia orgánica en descomposición. Se identifica por la aparición de manchas oscuras en la zona afectada, acompañadas de mal olor, en zonas húmedas, oscuras y mal ventiladas.
- Insectos moradores, arácnidos y parásitos en piezas de la edificación: se refiere a la presencia permanente de ciertos organismos dentro de la edificación. Se detecta el organismo en sí o bien las huellas que deja en su hábitat (telarañas, madrigueras, excremento, etc.).
- Insectos xilófagos en piezas de la edificación: implica la presencia de organismos como termitas y coleópteros, que se encuentran dentro de la edificación y que se alimentan de las sustancias nutritivas de la madera presente en vigas, cerchas, pisos y mobiliario. Producen cambios (externos o internos) en el aspecto original de la madera que atacan, se identifican pupas o larvas y el insecto adulto.

172 *Ibidem*, pp. 39-42.

- Animales en muro portante, divisorio o techumbre: corresponde a la presencia de roedores, aves, murciélagos u otros animales, cuyas necesidades biológicas generan problemas puntuales en la edificación.¹⁷³

La presencia de estos factores podría incluirse en la clasificación como un factor de penalización de la categoría:

- Los edificios que hayan sido clasificados en la clase *A* o *B*, ante la presencia de tres o más de estos factores, se cambiarían a la clase *C*.
- Los edificios de clase *C* que presenten cualquiera de estas situaciones, se cambiarían a la clase *D*.

2. Identificación de agrietamientos y mecanismos de colapso

Las grietas, pasantes y no pasantes, fisuras y deformaciones pueden producirse por varias razones, entre ellas se encuentran las fallas en la construcción o conformación del inmueble, los asentamientos del terreno, la presencia de humedad, los sismos, etc. Los daños analizados en conjunto permitirían la interpretación de un posible mecanismo de colapso, situación que debe ser verificada por un ingeniero civil.

Por lo anterior, se propone que este parámetro complemente el análisis cualitativo sin la necesidad de asignarle una ponderación, sino sólo con el objetivo de interpretar la forma que pueden tener los agrietamientos en los edificios

173 *Ibidem*, pp. 44-48.

y así identificar la posible presencia de un mecanismo de colapso, que implicaría que el edificio se encuentra en una condición límite de su estabilidad. En los Anexos de esta investigación se propone un muestrario de tipos de grietas, los cuales deben incluirse en la ficha de evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

La formulación matemática de los posibles mecanismos de colapso mediante la técnica del análisis límite y la aplicación de los teoremas plásticos, es una metodología que no es aplicable en todos los países, debido a que requiere estudios exhaustivos de las tipologías constructivas y formas de daño de cada lugar en particular. No obstante, para una primera aproximación al tema, es posible utilizar el ábaco de mecanismos de colapso de estructuras de mampostería propuesto por D'Ayala y Speranza, al menos para identificarlos a partir de las grietas observadas en los bienes culturales inmuebles (véase figura 22). Esta propuesta se puede complementar con el ábaco de mecanismos de colapso para la tipología de iglesias desarrollado en Italia, el cual se puede consultar en los Anexos.

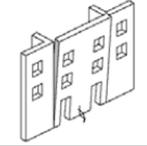
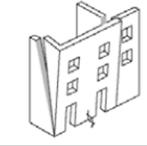
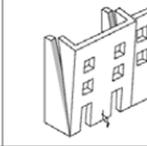
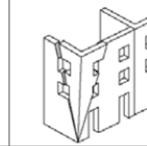
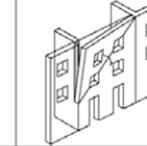
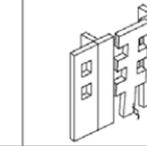
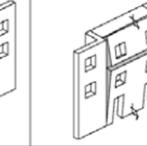
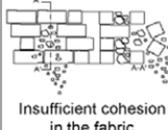
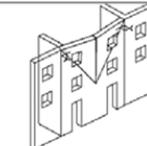
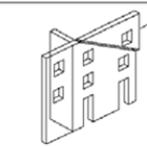
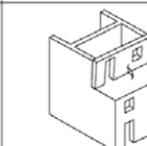
A	B1	B2	C	D	E	F
VERTICAL OVERTURNING	OVERTURNING WITH 1 SIDE WING	OVERTURNING WITH 2 SIDE WINGS	CORNER FAILURE	PARTIAL OVERTURNING	VERTICAL STRIP OVERTURNING	VERTICAL ARCH
						
		FURTHER PARTIAL FAILURES		ASSOCIATED FAILURES		
G	H	I	L	ROOF/FLOORS COLLAPSE	MASONRY FAILURE	
HORIZONTAL ARCH	IN PLANE FAILURE	VERTICAL ADDITION	GABLE OVERTURNING		 Insufficient cohesion in the fabric	
						

Figura 22. Posibles mecanismos de rotura en edificios de medianería. Fuente: P. Roca, "El comportamiento sísmico de las construcciones tradicionales de paredes de obra de fábrica", en J. Casanovas (dir.) *Método Rehabimed.: arquitectura tradicional mediterránea*, vol. II, Barcelona, Consorcio Rehabimed, 2008, p. 217.

D'Ayala y Speranza, en el artículo "An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings", describen los colapsos elementales de muros exteriores fuera del plano y en el plano (graficados anteriormente). Estos tipos de colapso han sido identificados previamente a partir de inspecciones de daño posterremoto, y los investigadores consideran la posibilidad de colapsos locales por adiciones verticales o hastiales. El colapso de estructuras de piso y cubiertas son asociados a colapsos fuera del plano, y los mecanismos se consideran para edificios de máximo cinco pisos. La descripción de los mecanismos es la siguiente:

- **Tipo A:** se refiere al desplome de la fachada sin incluir los muros laterales, lo que ocurre cuando no existe traba o una correcta conexión entre dichos muros.
- **Tipo B1 y B2:** son mecanismos que ocurren cuando el nivel de conexión es suficiente, por lo que se producen grietas diagonales en los muros laterales.
- **Tipo C:** se desarrollará en los casos en que exista una correcta conexión en las esquinas, pero una calidad pobre de la fábrica en el plano.
- **Tipo D:** ocurrirá en preferencia del caso B1, cuando exista una conexión desigual en las esquinas y un tipo de fábrica deficiente.
- **Tipo E:** se desencadena ante una posición regular de vanos en vertical y una conexión horizontal ineficiente a través de las aperturas.¹⁷⁴

174 D. D'Ayala y E. Speranza "An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings", en *12th European Conference on Earthquake Engineering*, Londres, Elsevier Science, 2002 (CD-ROM).

En Italia existen muchos estudios en relación a los mecanismos de colapso, tanto de edificios aislados como de los que forman un conjunto estructural con otras construcciones aledañas. Según el profesor Claudio Modena, existen dos formas de analizar los mecanismos de colapso: mediante hipótesis basadas en el conocimiento del comportamiento sísmico de estructuras análogas ya dañadas por terremotos (ábacos distintos para las diversas tipologías constructivas: edificios aislados, iglesias, conjuntos de edificios, etc.); o considerando la presencia de eventuales estados de fisura, incluso de naturaleza no sísmica.¹⁷⁵

Si bien el estudio de los mecanismos de colapso forma parte de las evaluaciones especializadas que se basan en la teoría del análisis límite y en programas de modelamiento estructural de los edificios históricos, las representaciones gráficas realizadas por D'Ayala y Speranza permitirían un análisis cualitativo de los cuadros fisurativos de los edificios. Lo anterior permitiría interpretar una posible causa de su estado de conservación, e identificar la presencia o ausencia de un mecanismo de colapso incipiente.

No obstante, es necesario que se realicen estudios y se elaboren ábacos sobre las tipologías constructivas y los mecanismos de colapso en cada país, con el objetivo de caracterizar el patrimonio cultural inmueble y posibilitar de esta forma investigaciones más profundas respecto a su vulnerabilidad. En algún momento esto podría derivar en la propuesta de formas de consolidación o conservación preventiva de las distintas tipologías.

175 C. Modena, *op. cit.*, p. 36.

5.2 Alteraciones

La vulnerabilidad por alteraciones antrópicas se debe a dos factores principales:

- **Alteraciones en el entorno:** modificación de las condiciones del subsuelo; transformaciones del entorno.
- **Alteraciones en el sistema constructivo:** intervenciones con técnicas o materiales deficientes; alteración de los sistemas constructivos; falta de mantenimiento; uso que deteriora la estructura, abandono.

1. Alteraciones en el entorno

Las alteraciones en el entorno de un bien inmueble pueden ser de diversos tipos e incluir desde la pavimentación de calles sin una nivelación adecuada, lo que provoca problemas de humedad en el edificio, o alteraciones más profundas, como el abandono del entorno a causa de fenómenos de migración de la población. Ambos tipos de alteraciones, físicas y sociales, pueden llegar a constituir una vulnerabilidad del bien cultural inmueble.

Si bien esta investigación no tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad social o ambiental, la arquitecta chilena Natalia Jorquera propuso ciertos indicadores sociales que indirectamente podrían aumentar la vulnerabilidad constructiva del bien cultural inmueble, por tanto algunos de ellos podrían considerarse como parámetros de evaluación de la vulnerabilidad constructiva:

- **Accesibilidad:** en caso de desastre o siniestro, el edificio no cuenta con una red de caminos y/o infraestructuras necesarias (sí-no).

- Uso / abandono: el edificio se encuentra en un contexto de abandono (sí-no).
- Densidad demográfica: el edificio se encuentra en una zona densamente poblada (sí-no).
- Aislamiento: el edificio se encuentra fuera de una zona habitada, o a una distancia considerable con respecto a otro centro poblado (sí-no).
- Relación con el contexto geográfico: el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno geográfico (sí-no).
- Relación con el contexto construido: el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno construido (sí-no).
- Relación con la comunidad: el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno social (sí-no).
- Desinterés: tanto el entorno físico como social mantienen una relación de desinterés con respecto al bien inmueble (sí-no).¹⁷⁶

En función de los indicadores anteriores, se propone la siguiente clasificación:

Clase A:

- Edificios que no presenten ninguna de estas condiciones.

Clase B:

- Edificios que cuenten con hasta tres de estas condiciones.

176 N. Jorquera, "Culturas constructivas en tierra y riesgo sísmico. El caso de la arquitectura tradicional chilena y la evaluación de su vulnerabilidad frente a la acción sísmica", en XI Conferencia internacional sobre el estudio y conservación del patrimonio arquitectónico de Tierra: Terra 2012, Lima, 2012.

Clase C:

- Edificios que cuenten con hasta seis de estas condiciones.

Clase D:

- Edificios que cuenten con más de seis de estas condiciones.¹⁷⁷

2. Alteraciones negativas en el sistema constructivo

Respecto a las alteraciones en el mismo inmueble, es posible decir que algunas de ellas pueden seguir un proceso adaptativo, por ejemplo, para responder de mejor manera a la demanda sísmica local. Parámetros como el espesor de los muros, la altura de los edificios, la organización estructural del conjunto o los diversos detalles constructivos, han evolucionado para dar una respuesta que se adapta a cada localización geográfica.

Tras recientes terremotos, se ha comprobado que las intervenciones invasivas y aquéllas llevadas a cabo con materiales ajenos en los edificios históricos, los han hecho más vulnerables o incluso han precipitado su colapso, por esta razón ha habido, en las últimas décadas, un cambio de paradigma en relación a la mejora sísmica de los edificios.

Entendemos actualmente que la restauración estructural deriva del conocimiento de las técnicas constructivas locales y del reconocimiento de sus posibles deficiencias. El conocimiento de los procedimientos constructivos

177 La descripción de las clases A a la D son de elaboración propia.

locales es fundamental y debe guiar la elección de las intervenciones. (...) La mejora sísmica es posible reparando el deterioro y recuperando la resistencia original, sin implantar elementos de refuerzo extraños a la tecnología constructiva tradicional.¹⁷⁸

Si bien el diagnóstico debe identificar si existen defectos constructivos o en los materiales de origen, o bien deterioros ocasionados por la falta de mantenimiento, la mejora de la resistencia sísmica debe enfocarse más bien a controlar o mitigar las debilidades de la estructura, más que a alterar su naturaleza constructiva, de esta manera se conserva la homogeneidad y uniformidad constructiva.¹⁷⁹ De acuerdo con esto, se proponen las siguientes clases:

Clase A:

- Edificio sin modificaciones en su sistema constructivo.
- Edificio con modificaciones en el sistema constructivo con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez, realizadas mediante una intervención reversible.

Clase B:

- Edificio con modificaciones en el sistema constructivo con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez, pero no reversibles.

178 P. Roca, *op. cit.*, p. 220.

179 *Ibidem.*

Clase C:

- Edificio con modificaciones en el sistema constructivo realizadas con materiales compatibles que hayan modificado la distribución de cargas del edificio.

Clase D:

- Edificio con modificaciones en el sistema constructivo realizadas con materiales incompatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.¹⁸⁰

6. Vulnerabilidad al fuego

Se ha decidido incorporar la vulnerabilidad al fuego debido a que es un peligro asociado a la amenaza sísmica. Por lo anterior, los parámetros son generales y sólo incluyen la vulnerabilidad relacionada con un sismo y no con otro tipo de fenómenos.

Si bien los aspectos más relevantes en cuanto a la vulnerabilidad al fuego de un edificio son su materialidad y el espesor de sus muros, también lo son el material combustible que pueda contener en su interior y la negligencia antrópica manifestada en acumulación de basura o instalaciones eléctricas defectuosas. Los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad constructiva ante el fuego son:

- Presencia de ornamentos y muebles inflamables.
- Acumulación de polvo, suciedad y basura en cubiertas o bodegas.

180 La descripción de las clases A a la D son de elaboración propia.

- Muros, pisos y puertas con resistencia deficiente al fuego.
- Falta de compartimentación y divisiones interiores. Escaleras abiertas.
- Medios de escape inadecuados a través de puertas, pasillos o escaleras.
- Falta de llaves maestras, cerraduras obsoletas.
- Instalaciones eléctricas defectuosas.
- Chimeneas defectuosas con acumulación de hollín y grasa.
- Bajo estándar de administración y servicio de limpieza.
- Fracaso en el contacto con bomberos y en la organización de simulacros de incendio.
- Peligro derivado de incendios provocados por fumar o por operaciones en la cocina.¹⁸¹

En función de lo anterior, se propone la siguiente clasificación:

Clase A:

- Edificios que no presenten ninguna de estas condiciones.

Clase B:

- Edificios que cuenten con hasta tres de estas condiciones.

Clase C:

- Edificios que cuenten con hasta seis de estas condiciones.

¹⁸¹ Sir Bernard Feilden, *Between Two Earthquakes: Cultural Property in Sismic Zones*, Roma, ICCROM/ Getty Conservation Institute, 1987.

Clase D:

- Edificios que cuenten con más de seis de estas condiciones.¹⁸²

7. Cuantificación de la vulnerabilidad constructiva

En el documento publicado en el 2012, *Criteri per l'esecuzione delle indagini sugli edifici in muratura, la relazione tecnica e la compilazione della scheda di vulnerabilità Il livello GNDT/CNR con riferimento alle nuove norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008)*,¹⁸³ se propuso una tabla de evaluación del cálculo de vulnerabilidad con base en once parámetros.

Para el cálculo del puntaje, en esta tabla se le asigna una ponderación a cada clasificación por parámetro (0, 5, 15, 25 o 45), y a la vez cada parámetro tiene un peso. El peso tiene en cuenta la importancia que los elementos asumen para los fines del comportamiento sísmico de la estructura, desde este punto de vista se consideran tres grupos: elementos de primera importancia, importantes y secundarios. Esta división se traduce en términos cuantitativos: al primer grupo se atribuye un peso de 1.5, al segundo entre 0.5 y 1, y al tercero valores menores a 0.5.

De acuerdo con esto y en consideración de los parámetros propuestos a lo largo de este capítulo, se propone la siguiente tabla:

¹⁸² La descripción de las clases A a la D son de elaboración propia.

¹⁸³ Criterios para la ejecución de los estudios sobre los edificios de mampostería, la relación técnica y la compilación de la ficha de vulnerabilidad de II nivel GNDT/CNR con referencia a la nueva norma técnica para las construcciones.

Tabla 5. Propuesta de valores por parámetro para el cálculo del índice de vulnerabilidad.

Parámetros		Clase				Peso
		A	B	C	D	
1	Posición del edificio y cimentaciones	0	1.35	6.73	12.12	0.75
2	Configuración planimétrica	0	1.35	6.73	12.12	0.5
3	Configuración en elevación	0	1.35	6.73	12.12	1.0
4	Distancia entre muros	0	1.35	6.73	12.12	0.25
5	Elementos no estructurales	0	0	6.73	12.12	0.25
6	Tipo y organización del sistema resistente	0	1.35	6.73	12.12	1.5
7	Calidad del sistema resistente	0	1.35	6.73	12.12	0.25
8	Estructuras horizontales	0	1.35	6.73	12.12	1.0
9	Cubierta	0	1.35	6.73	12.12	1.0
10	Estado de conservación	0	1.35	6.73	12.12	1.0
12	Alteraciones en el entorno	0	1.35	6.73	12.12	0.25
13	Alteraciones negativas en el sistema constructivo	0	1.35	6.73	12.12	0.25
14	Vulnerabilidad al fuego	0	1.35	6.73	12.12	0.25

Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla definida por la Direzione Generale delle Politiche Territoriali, Ambientali e per la Mobilità Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica, 2012.

Debido a que en general la vulnerabilidad se expresa como una probabilidad de daño de un sistema expuesto a través de una expresión matemática o matriz de vulnerabilidad con valores entre cero y uno (cero implica que el daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo, y uno que este daño es igual al valor del bien expuesto), se han modificado los valores de la tabla respecto a los propuestos por la ficha GNDT, sin embargo se mantienen las proporciones para conservar este tipo de expresión de la vulnerabilidad, con un rango entre 0 y 100.

De esta forma, los rangos, que deberán ser validados posteriormente con base en la aplicación de esta tabla en casos específicos, serían los siguientes:

- Vulnerabilidad baja: $0 < V \leq 10.81$.
- Vulnerabilidad media: $10.81 < V \leq 55.52$.
- Vulnerabilidad alta: $55.52 < V \leq 100$.

8. Herramienta 3. Ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de bienes culturales inmuebles

Finalmente, considerando todos los parámetros anteriormente descritos, se propone un ejemplo de disposición de la información en una ficha (véase figura 23). El objetivo es poner a prueba los diversos parámetros de evaluación de la vulnerabilidad constructiva ante la amenaza sísmica, en los casos de estudio que se analizarán en el Capítulo IV.

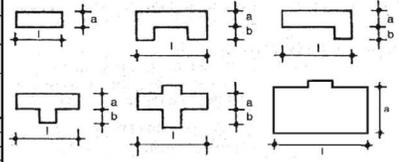
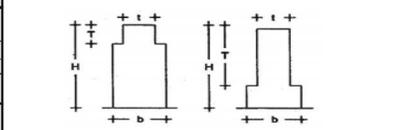
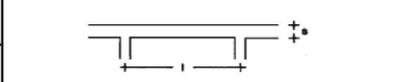
FICHA DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CONSTRUCTIVA SÍSMICA DE BIENES CULTURALES INMUEBLES						 <small>ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y MUSEOGRAFÍA</small>		
ENTE CATALOGADOR		TIPO DE FICHA		FECHA	CLAVE			
CÓDIGOS IDENTIFICATORIOS		RELACIÓN CON OTRAS FICHAS						
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE								
TABLA DE SEVERIDAD DE LAS AMENAZAS								
AMENAZAS (EL PEOR ESCENARIO) SEGÚN SU PROBABILIDAD DE OCURRENCIA				SEVERIDAD				
				MAGNITUD MÁXIMA HISTÓRICA	INTENSIDAD MÁXIMA HISTÓRICA	SIN DAÑOS/SIN AMENAZA	LEVE O GRADUAL	CATASTRÓFICA
EVENTOS ESPORÁDICOS (MUCHAS VECES EN UN SIGLO) Amenaza sísmica y tsunami Deslizamiento de laderas Amenaza volcánica Amenaza hidrometeorológica Amenaza química - tecnológica Incendios forestales PROCESOS CONTINUOS (PUEDEN OCURRIR CONTINUAMENTE) Amenaza por erosión Amenaza por estrés físico Contaminación atmosférica Amenaza socio - organizativa Disminución demográfica y falta de mantenimiento								
PARÁMETROS	CLASE	CALIDAD INFORM.	ELEMENTOS DE EVALUACIÓN			ESQUEMAS Y REFERENCIAS DE LOS PARÁMETROS		
1	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y CIMENTACIONES		PENDIENTE DEL TERRENO			PARÁMETRO 2: CONFIGURACIÓN PLANIMÉTRICA 		
			ROCA	CON CIM.	SIN CIM.			
			TERRENO SUELTO SIN EMPUJES	CON CIM.	SIN CIM.			
			TERRENO SUELTO CON EMPUJES	CON CIM.	SIN CIM.			
			DIFERENCIA MAX. DE ALTURA ENTRE FUNDACIONES	CON CIM.	SIN CIM.			
2	CONFIGURACIÓN PLANIMÉTRICA		RELACION %	$\beta_1 = a/l \times 100$		PARÁMETRO 3: CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN 		
			RELACION %	$\beta_2 = b/l \times 100$				
			CLASE A	$\beta_1 \geq 80; \beta_2 \leq 10$				
			CLASE B	$60 \leq \beta_1 < 80; 10 < \beta_2 \leq 20$				
			CLASE C	$40 \leq \beta_1 < 60; 20 < \beta_2 \leq 30$				
3	CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN		RELACION % AA/A	(+): AUMENTO (-): REDUCCIÓN		PARÁMETRO 4: DISTANCIA ENTRE LOS MUROS 		
			RELACION % T/H					
			% DE SUPERFICIE APORTICADA					
			PORTICO EN PLANTA BAJA	SI	NO			
			4	DISTANCIA ENTRE LOS MUROS				(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)
5	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES		(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)					
6	TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE		(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)					
7	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE		TIPO DE PARAMENTO					
8	ESTRUCTURAS HORIZONTALES		(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)					
9	CUBIERTA		CARGA PERMANENTE DE LARGO DE APOYO DE LA CUBIERTA la (m)			PARÁMETRO 9: CUBIERTA Cubierta que provoca empujes 		
			PERÍMETRO DE LA CUBIERTA l (m)					
10	ESTADO DE CONSERVACIÓN		(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)					
12	ALTERACIONES EN EL ENTORNO		(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)					
13	ALTERACIONES EN EL SISTEMA CONSTRUCTIVO		(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)					
14	VULNERABILIDAD AL FUEGO		(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)					
					Cubierta que no provoca empujes 			

Figura 23. Herramienta 3: ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de bienes culturales inmuebles. FUENTE: Elaboración propia, 2015.

CAPÍTULO IV

FACTIBILIDAD DE USO DE LAS HERRAMIENTAS EN EL NORTE ANDINO CHILENO

1. Contexto general chileno en relación con la gestión del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble

El territorio chileno pertenece al *Circum-Pacífico* y es uno de los más sísmicos del planeta, los sismos que superan la magnitud 7 Richter suceden en promedio cada 10 años. Según el registro histórico del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, se han registrado, desde 1570 a la fecha, más de 100 terremotos superiores a dicha magnitud. Como se observa en la tabla 6, durante los últimos diez años han ocurrido en Chile cuatro terremotos con una magnitud superior a 7.5 Richter. El primero se presentó en el norte del país en el año 2005, con epicentro en Chusmisa (magnitud Richter de 7.8; el segundo ocurrió en el año 2010 en la zona centro-sur, con epicentro en Cobquecura (magnitud Richter de 8.8), y ambos generaron una destrucción importante del patrimonio chileno.

Si bien el terremoto del año 2010 fue de una intensidad mayor a la del 2005 en la escala de Richter, ambos registraron la misma intensidad en la escala Mercalli (IX-X), lo que significa que el nivel de daño en las construcciones y las personas fue similar, probablemente por la mayor vulnerabilidad de las construcciones del norte de Chile, sector en el que las construcciones suelen hacerse con tierra cruda, debido a que predomina el clima árido-seco.¹⁸⁴

184 N. Jorquera, *op. cit.*

Tabla 6. Sismos de gran magnitud que se han producido en Chile durante el siglo XX.				
Región	Ciudad	Fecha	Magnitud Richter	Intensidad Mercalli
Tarapacá	Chusmisa	13-07-2005	7.80	IX-X
	Pisagua	01-04-2014	8.30	VIII
	Iquique	02-04-2014	7.70	VIII
Antofagasta	Calama	09-12-1950	8.00	IX-X
	Taltal	28-12-1966	7.80	VIII
	Antofagasta	30-07-1995	7.80	VIII-IX
Atacama	Copiapó	04-12-1918	7.80	IX-X
	Vallenar	10-11-1922	8.40	X-XI
Coquimbo	Coquimbo	06-04-1943	8.30	X-XI
Valparaíso	Valparaíso	16-08-1906	8.60	X-XI
	La Ligua	09-07-1971	7.50	IX
	San Antonio	03-03-1985	7.80	VIII-IX
Maule	Talca	01-12-1928	8.00	IX-X
Biobío	Chillán	24-01-1939	8.30	X-XI
	Chillán	06-05-1953	7.60	IX-X
	Concepción	21-05-1960	7.80	X
	Cobquecura	27-02-2010	8.80	IX-X
Araucanía	Angol	10-05-1975	7.80	VII-VIII
Los Ríos	Valdivia	22-05-1960	9.50	>XI
Magallanes	Punta Arenas	17-12-1949	7.80	VIII-IX

Tabla 6. Aparecen destacados el sismo de mayor magnitud y los más recientes. FUENTE: Guía: *Análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial* de SUBDERE, 2011. A la tabla original presentada en la guía, se agregaron los datos de los sismos ocurridos en 2014.

En Chile, las disposiciones legales sobre riesgo han sido detonadas por catástrofes naturales. El primero fue el terremoto de Talca en 1928, cuya consecuencia fue la promulgación, en 1929, de la Ley núm. 4.563 sobre Construcciones Asísmicas. Esta normativa sirvió de base para la promulgación posterior de la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, la que finalmente fue aprobada en 1935. Después de los terremotos de 1939 en Chillán, y de 1960 en el centro-sur de Chile, se fomentó con mayor fuerza el desarrollo de planes reguladores y normativas de construcción, en función de las distintas necesidades de las localidades a lo largo del país. También fue así como se creó el Sistema Nacional de Protección Civil y posteriormente, en 1974, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI), mediante Decreto de Ley núm. 369. Esta oficina es el organismo técnico del Estado a cargo de la protección civil:

Actualmente la ONEMI debe manejar las estrategias de prevención, mitigación y prestar atención a la vulnerabilidad como un factor de intervención en la gestión del riesgo. Es un organismo centralizado y jerárquico. Cuenta con un Sistema de Protección Civil, responsable de la evaluación de las acciones propuestas, y el diseño y orden de prioridad de los proyectos de prevención, mitigación y preparación que corresponden a cada nivel administrativo.¹⁸⁵

185 A. Bordas, "Políticas públicas para enfrentar los riesgos de desastres naturales en Chile", en *Estudios de Caso*, núm. 97, 2007, p. 13

La ONEMI se encarga de dar asesoría y coordinación técnica a las unidades del Sistema Nacional de Protección Civil a nivel municipal, provincial, regional y nacional, ya que no dependen administrativa ni económicamente de ella.¹⁸⁶ Posteriormente, en la etapa de recuperación, intervienen organismos sectoriales como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el de Obras Públicas, de Transportes y Comunicaciones, de Agricultura y de Salud. Las pérdidas de infraestructura sanitaria o de electricidad son asumidas por el ámbito privado.

Por otra parte, las oficinas públicas en Chile que cumplen la función de coordinar y ejecutar gran parte de las tareas de manejo de la emergencia son las siguientes:

1. Instituciones públicas del gobierno interior:

- Intendencia.
- Gobernación provincial.

2. Instituciones públicas de administración territorial:

- Gobierno regional.
- Municipalidades.¹⁸⁷

El equipo de emergencia está compuesto principalmente por el cuerpo de bomberos, mismo que proporciona la mayor cantidad de recursos humanos para atender la emergencia (incendios, rescate o salvamento) generada por un desastre natural. Cada cuerpo de bomberos es una corporación privada, por

¹⁸⁶ *Ibidem.*

¹⁸⁷ Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, *Guía de Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*, Santiago, SUBDERE, 2011.

tanto, cada una tiene personalidad jurídica y estatutos propios. Estos cuerpos están ampliamente distribuidos y son diferentes entre sí, tanto por la diversidad de emergencias que deben atender como por el tamaño y características de la comunidad a la que sirven, de la cual obtienen los recursos humanos y una parte fundamental del financiamiento.

Desde el punto de vista del tipo de peligro natural, las amenazas naturales más comunes en Chile que podrían afectar el patrimonio cultural inmueble son las geológicas y las hidrometeorológicas. Entre los peligros geológicos se encuentran principalmente terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, movimientos en masa y deslizamientos; y entre los peligros hidrometeorológicos se presentan inundaciones, aluviones, marejadas, vientos, lluvias, tormentas, heladas, avalanchas de nieve y sequías.¹⁸⁸

Cuando el país es afectado por una catástrofe natural se realizan declaratorias de emergencia, lo que permite reasignar fondos de otros programas para la etapa de atención. Esto pone en evidencia que no existe un fondo especialmente para catástrofes, sino que sólo existe la posibilidad de reasignar 2% constitucional en materia de presupuesto público para emergencias, y esto es gestionado por la ONEMI. Además, cada ministerio posee fondos propios para emergencias, pero cada uno de ellos realiza sus evaluaciones de forma separada y no coordinada.¹⁸⁹ Por lo anterior, y considerando que la protección del patrimonio cultural inmueble se encuentra a cargo del Consejo de Monu-

188 F. Arenas *et al.*, "Los riesgos naturales en la planificación territorial", en *Temas de la Agenda Pública*, año 5, núm. 39, 2010, p. 2.

189 *Ibidem.*

mentos Nacionales de Chile, institución que depende del Ministerio de Educación, los fondos para responder a la emergencia en materia de patrimonio cultural son muy escasos.

Por otra parte, en el ámbito de acciones de prevención, como el mapeo de amenazas, la información especializada que se necesita para la construcción de mapas se encuentra en distintas instituciones, por lo que es difícil acceder a ella:

“[...] se constató que las principales fallas en el proceso chileno de gestión del riesgo se centran en la dificultad de integrar y coordinar la normativa vigente, lo que origina una falta de coherencia en las políticas públicas practicadas por los distintos sectores y niveles de gobierno”.¹⁹⁰

A lo anterior se suma el hecho de que la principal herramienta para el ordenamiento territorial son los instrumentos de planificación territorial, como los planes reguladores intercomunales y comunales, límites urbanos y planes seccionales. Sin embargo, ninguno de ellos es aplicable a las zonas rurales, a pesar de la necesidad de establecer zonificaciones y prioridades en el espacio rural y costero.

En relación con la prevención de catástrofes en el patrimonio cultural inmueble, no existe una institución específica que se haga cargo de este trabajo, sólo existe el Consejo de Monumentos Nacionales, que es la institución que tiene a su cargo la tuición del patrimonio nacional protegido en el marco de la Ley 17 288 de Monumentos Nacionales. Debido a que la estructura y el

190 A. Bordas, *op. cit.*, p. 3.

financiamiento que le otorga el Estado de Chile no es suficiente, la precariedad de esta institución finalmente se ve reflejada en la protección del patrimonio mediante acciones reactivas más que preventivas.

En este contexto, las acciones que gestionó esta institución tras el terremoto de junio de 2005 en el norte de Chile fueron aisladas. Una de estas acciones fue la coordinación con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo para la generación de prototipos de vivienda con subsidio del Estado para abordar la recuperación del pueblo de San Lorenzo de Tarapacá y del pueblo de La Tirana, ambos protegidos por ley bajo la categoría de Zona Típica. Estos prototipos, construidos con materiales contemporáneos y tradicionales (bloques de concreto y estructura de madera rellena con adobillo), se integraron a los poblados logrando en gran medida mantener sus valores arquitectónicos.

Si bien esta gestión fue muy positiva, en la mayoría de los pueblos con la misma tipología constructiva tradicional de adobe y mampostería de piedra asentada en barro, pero que no contaban con protección legal, se procedió a la demolición de las viviendas tradicionales y a la construcción de viviendas con técnicas y materiales modernos, ajenos a la construcción tradicional, lo que produjo una pérdida de valor patrimonial importante en los pueblos andinos. En relación con el patrimonio religioso, la mayor parte de las iglesias del norte andino que resultaron afectadas, y muchas otras colapsadas por este terremoto, a la fecha aún no han sido restauradas.

Luego del terremoto de febrero del año 2010, el Consejo de Monumentos Nacionales mejoró su capacidad de respuesta ante una catástrofe. Esto lo demostró tanto en el trabajo en terreno mediante la realización de fichas de registro de daños por inmueble, en las que se indicaron acciones de emergen-

cia para cada caso, como en la coordinación con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo para desarrollar lineamientos para la restauración de viviendas en las zonas típicas afectadas. Otras acciones implementadas por esta institución fueron: invertir la totalidad de sus fondos para emergencias en materiales, como plásticos, polines y clavos, con el objetivo de proteger los inmuebles de la acción de las aguas de lluvia; y gestionar fondos de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo para obras de emergencia de mayor envergadura.

No obstante estas experiencias, en Chile aún no se ha entendido la importancia de la prevención de riesgos como una herramienta para la protección del patrimonio cultural. Si bien se ha demostrado una mejora en la capacidad de respuesta ante una catástrofe, el Estado de Chile no ha superado su actitud reactiva, con todas las consecuencias que esto implica en cuanto a la pérdida de valor patrimonial, y a los extensos plazos y costos elevados para la recuperación del patrimonio cultural inmueble.

2. Definición del área de estudio

El territorio chileno conocido genéricamente como Norte Grande está conformado por las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, zonas que por su similitud geográfica son reconocidas como una unidad territorial. Esta semejanza también se refleja en el patrimonio cultural construido en la Cordillera de los Andes, en el que sobresalen las iglesias del altiplano y de quebrada, como un ejemplo de arquitectura colonial sincrética de gran valor histórico, arquitectónico y religioso.

Esta tipología de iglesias corresponde al estilo barroco mestizo, su estructura, en general, está basada en una nave única con una torre campanario adosada o exenta, y presentan un muro perimetral que define el espacio del atrio (véase figura 24). Sus sistemas constructivos son el adobe y la mampostería de piedra asentada en lodo, con una estructura de techumbre con sistema de par y nudillo de madera local, cubierta de paja brava o de lodo. Los elementos decorativos principales de esta tipología son: las portadas de piedra decoradas con motivos como frutas, flores, volutas y figuras humanas, y los retablos interiores de adobe, piedra, o madera tallada y policromada.

Por la condición sísmica del país, las iglesias del norte andino chileno son sencillas en sus formas, son acotadas en sus dimensiones y presentan escasos vanos y muros macizos, para evitar así el colapso de las construcciones. No obstante estas características, las iglesias han sufrido reiterados daños a causa de terremotos e incendios, que han sido reparados gracias a la tradición constructiva transmitida oralmente por las comunidades asociadas a estas iglesias, tradición que también ha permitido su consolidación estructural mediante la adición de capillas y contrafuertes de tierra o piedra.

Sin embargo, la cultura globalizante y la migración de las comunidades andinas a las ciudades ha transformado gran parte de los poblados andinos en centros ceremoniales que permanecen prácticamente deshabitados durante todo el año, excepto para las festividades religiosas. En estas fechas, las comunidades retornan a sus pueblos, por lo que se colman de gente, música y bailes tradicionales, que son manifestación de las creencias ancestrales provenientes de la cosmovisión indígena, y de un ferviente cristianismo. Si bien la religiosidad sigue convocando a la comunidad, su disgregación

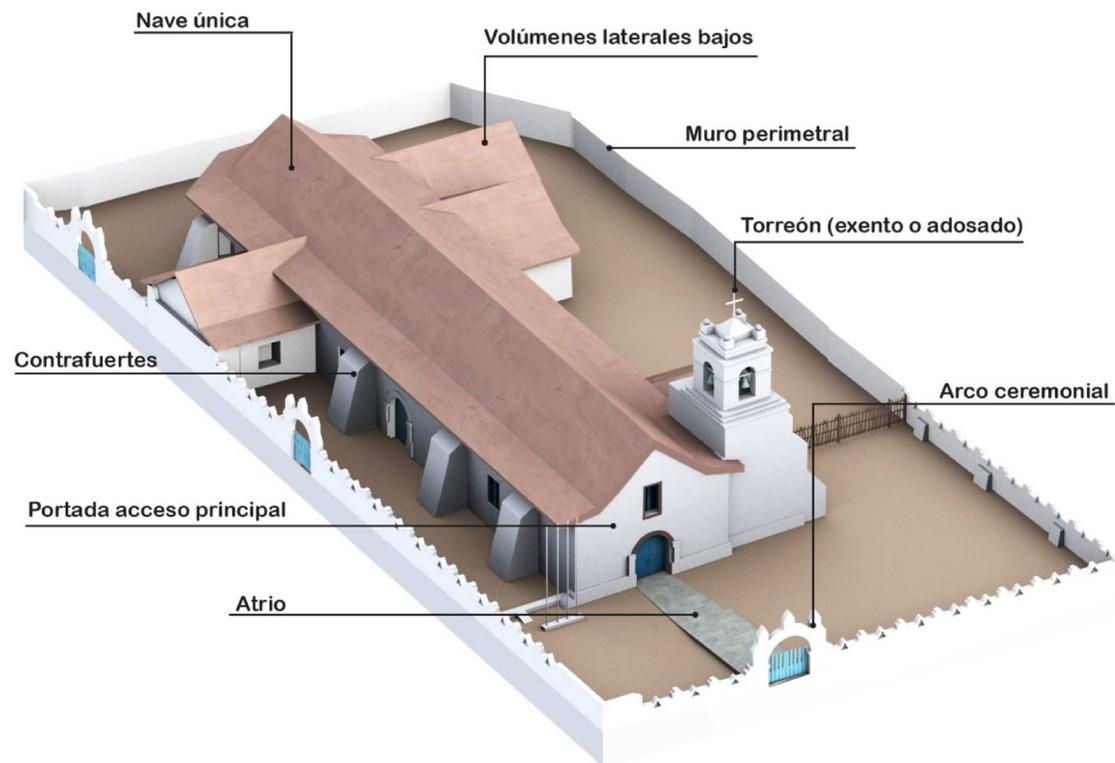


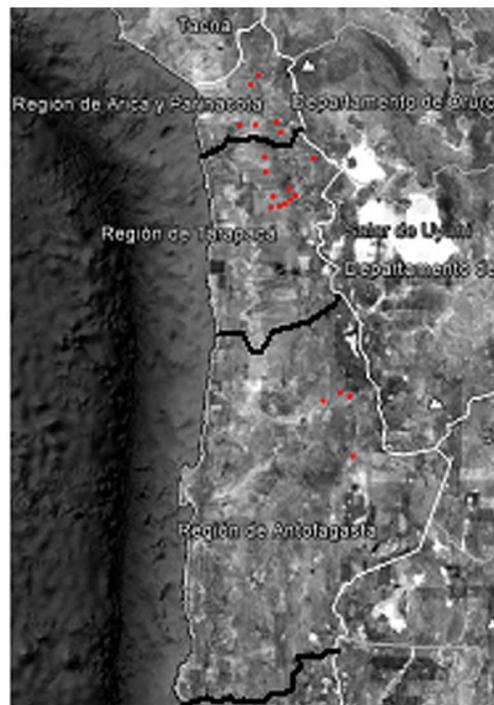
Figura 24. Esquema de la tipología de iglesias del norte andino chileno. Fuente: Rodrigo Cáceres, Proyecto de Restauración del Monumento Histórico Iglesia de San Pedro de Atacama, Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, 2010.

durante el resto del año ha provocado, entre otros aspectos, la pérdida de la tradición constructiva.

Como se comentó anteriormente, el terremoto del año 2005 afectó una vasta zona del Norte Grande de Chile, con una magnitud de 7.8 en la escala de Richter, y una intensidad de daño en la escala de Mercalli de IX-X, por lo que es posible suponer que el nivel de vulnerabilidad de las construcciones era alto. Esto se puede comprobar en la tipología de las iglesias emplazadas en el altiplano y en las quebradas del Norte Grande, ya que la mayoría de ellas resultaron con daños de diversa magnitud, algunas con daños leves, otras con agrietamientos, colapsos parciales e incluso con colapsos de más de 60% de la estructura (véase figura 25).

Si bien existen diversas amenazas que ponen en riesgo esta tipología de iglesias, la amenaza sísmica es la que históricamente ha causado los efectos más graves. En los últimos diez años, en la zona norte del país, han ocurrido tres terremotos que sobrepasaron la magnitud 7.5 en la escala de Richter, situación que ha producido un daño acumulativo en estas iglesias, que son altamente vulnerables tanto por su sistema constructivo como por la pérdida de la tradición constructiva de las comunidades indígenas y el abandono de los poblados.

En el marco del desarrollo de iniciativas de inversión promovidas por el Estado de Chile para la recuperación de inmuebles protegidos por la Ley 17 288 de Monumentos Nacionales, entre los años 2009 y 2012 se llevó a cabo el Programa Puesta en Valor del Patrimonio, el cual incluyó proyectos de restauración para veinte iglesias que se encuentran en este territorio (véase figura 25). Los proyectos incluyeron diagnósticos del estado de conservación de las iglesias, y permitieron al Consejo de Monumentos Nacionales reflexionar acerca



- Ubicación 20 proyectos de restauración
- Límite regional



Figura 25. De izquierda a derecha: ubicación del Norte Grande en Chile; ubicación de los 20 proyectos de restauración propuestos por el Ministerio de Obras Públicas después del terremoto del 2005; iglesia de Limacsiña colapsada tras el terremoto del 2005, Huará, Chile. Fuente: Archivo Consejo de Monumentos Nacionales, 2010.

de las propuestas de restauración en cada uno de los casos;¹⁹¹ un resumen del estado de las iglesias se muestra en la tabla 7.

Si bien la tabla anterior da cuenta, en términos generales, de que los mayores daños del terremoto de 2005 en esta tipología de iglesias se produjeron en la Región de Tarapacá, zona del epicentro del terremoto, parece existir también una relación entre el nivel de daño y el emplazamiento de estas iglesias.

Las iglesias del norte andino se ubican en tres zonas de la Cordillera de los Andes: en el altiplano, en la precordillera y en los valles bajos. Sin embargo, las iglesias que presentaron más daños se encontraban sobre todo en quebradas de la precordillera, independientemente de su sistema constructivo y su cercanía al epicentro.

Por lo anterior, y considerando los veinte casos que se exponen en la tabla 7, sería interesante comparar y evaluar retrospectivamente dos iglesias de la misma tipología y materialidad, pero con diferente daño posterremoto y emplazamiento, para determinar si, al aplicar los parámetros definidos en el Capítulo II sobre amenazas, se confirma que existe un mayor peligro en las iglesias emplazadas en la precordillera. Con este objetivo, en el siguiente apartado se estudiarán dos casos: la iglesia de Laonzana, construida a mediados del siglo XVII, en quebrada de Tarapacá, en la región de Tarapacá. Se eligió este caso debido a que en esta quebrada se emplazan siete iglesias de esta

191 D. Díaz, A. Vidal et al., *I Reunión técnica iglesias del Altiplano: intervenciones arquitectónicas y arqueológicas en los monumentos nacionales. Lineamientos de intervención para proyectos bicomponente*, Santiago, Consejo de Monumentos Nacionales (Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, segunda serie, 110), 2012.

Tabla 7: Resumen del estado de conservación de las iglesias del norte andino beneficiadas por proyectos de restauración por parte del Estado de Chile entre el año 2008 y 2011

Proyectos de restauración presentados al Consejo de Monumentos Nacionales del año 2008 al 2011	Región	Materialidad predominante	Emplazamiento	Estado de conservación
Iglesia de Parcohailla	Arica y Parinacota	Tierra cruda	Quebrada en precordillera	Falta de mantenimiento
Iglesia de Mulluri	Arica y Parinacota	Piedra	Quebrada en precordillera	Falta de mantenimiento
Iglesia de Saguara	Arica y Parinacota	Piedra	Quebrada en precordillera	Falta de mantenimiento
Iglesia de Caspana	Antofagasta	Piedra	Quebrada en precordillera	Falta de mantenimiento
Iglesia de Ayquina	Antofagasta	Piedra	Quebrada en precordillera	Falta de mantenimiento
Iglesia de Guañacagua	Arica y Parinacota	Piedra	Quebrada en precordillera	Daño estructural
Iglesia de Parinacota	Arica y Parinacota	Tierra cruda	Altiplano	Daño estructural
Iglesia de Carahuano	Tarapacá	Piedra	Altiplano	Daño estructural
Iglesia y capilla de Nama	Tarapacá	Tierra cruda	Quebrada en precordillera	Daño estructural
Iglesia de Huasquiña	Tarapacá	Piedra	Quebrada en precordillera	Daño estructural
Iglesia de Chiu Chiu	Antofagasta	Tierra cruda	Valles bajos	Daño estructural
Iglesia de San Pedro de Atacama	Antofagasta	Tierra cruda	Valles bajos	Daño estructural
Iglesia de Socoroma	Arica y Parinacota	Tierra cruda	Quebrada en precordillera	Colapso
Iglesia de Laonzana	Tarapacá	Tierra cruda	Quebrada en precordillera	Colapso
Iglesia de Limaxiña	Tarapacá	Tierra cruda	Quebrada en precordillera	Colapso
Iglesia de Camiña	Tarapacá	Piedra	Quebrada en precordillera	Colapso
Iglesia de Sibaya	Tarapacá	Piedra	Quebrada en precordillera	Colapso
Iglesia de Mocha	Tarapacá	Piedra	Quebrada en precordillera	Colapso
Iglesia de Usmagama	Tarapacá	Piedra	Quebrada en precordillera	Colapso
Iglesia de Huaviña	Tarapacá	Piedra	Quebrada en precordillera	Colapso

Fuente: Elaboración propia con base en D. Díaz, A. Vidal et al., *op. cit.*, 2012.

tipología y todas colapsaron en más de 60% de su estructura.¹⁹² El otro caso de estudio será la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, construida a principios del siglo XVII y reconocida como la más antigua de las iglesias de esta tipología en Chile. Dicha construcción, que se encuentra en una zona de valles bajos, el oasis de Chiu Chiu, en la región de Antofagasta, resultó con daños estructurales, pero no colapsó.

3. Mapa temático de escenarios de peligro o amenaza en la iglesia de Laonzana, Quebrada de Tarapacá, comuna de Huara, región de Tarapacá

3.1. Antecedentes mínimos de la cartografía base

Como se señaló en el Capítulo II, para el desarrollo de mapas temáticos se requiere de cartografía base, la que en este caso se ha conseguido de las siguientes fuentes:

- 1. Planos topográficos:** Modelo de Elevación Digital, ráster de elevación en ASTER GDEM.
- 2. Fotos satelitales:** Google Earth.

¹⁹² Estas iglesias son: la de San Lorenzo de Tarapacá, la de Laonzana, la de Sibaya, la de Huaviña, la de Usmagama, la de Limaxiña y la de Mocha.

3. **Hidrografía:** Cursos de agua en base a curvas de nivel elaborado por el Instituto Geográfico Militar (IGM).
4. Vialidades principales y secundarias, así como sus diferentes tipologías: no se cuenta con esta información debido a que se trata de zonas rurales.
5. Localización geográfica puntual o polígonos de protección de los bienes culturales inmuebles: Geoportal del Consejo de Monumentos Nacionales.

3.2. Amenaza sísmica

a. Listados y estudios previos

1. Catálogos de sismos históricos, intensidades de sismos históricos y aceleraciones máximas del terreno

Para el análisis determinístico de la amenaza sísmica, se definirá el escenario más desfavorable con base en la información histórica del lugar en que se evaluará este riesgo, para esto se considerará la mayor magnitud e intensidad registrada. También se tomará en cuenta la zonificación sísmica definida por la Norma Chilena para el cálculo de estructuras antisísmicas. La Norma Chilena 433, oficializada en 1996, zonifica el territorio con base en las distintas magnitudes de amenaza sísmica, a partir de los valores de aceleración máxima del suelo y la amplificación de la onda, utiliza un factor de atenuación que depende del tipo de suelo especificado en los mapas geológicos (véase tablas 8 y 9). Para Chile, los niveles de aceleración máxima son los siguientes:

Tabla 8. Aceleración por zona sísmica.	
Zona Chile	Aceleración efectiva máxima
Zona 1	0.20 g*
Zona 2	0.30 g
Zona 3	0.40 g

Fuente: NCH 433 of. 96.

*g = aceleración de gravedad.

Tabla 9. Métodos de atenuación.	
Tipo de suelo	Factor de amplificación (S)
I Roca	0.9
II Grava, arena densa, suelo cohesivo duro	1.00
III Grava, arena, suelo cohesivo	1.20
IV Suelo cohesivo saturado	1.30

Fuente: NCH 433 of. 96.

En esta norma el territorio chileno se divide en tres zonas sísmicas (1, 2 y 3) a modo de franjas paralelas a la línea de la costa, con intensidad decreciente de océano a cordillera. Según lo anterior, tanto la Quebrada de Tarapacá como el oasis de Chiu Chiu pertenecen a la zona 1, lo que implica una aceleración de gravedad de 0.20 g (véase figura 26).



Figura 26. Zonificación sísmica y ubicación de las zonas en estudio. Debido a que la norma es del año 1996, no se encuentra actualizada la actual zonificación regional, que dividió la región de Tarapacá en las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá. Fuente: NCH 433 of. 96, intervenido con la ubicación de las zonas de estudio.

Por otra parte, el tipo de suelo predominante es de características rocosas, con alta presencia de grava (suelos de clasificación I y II), que atenúan la velocidad de la onda sísmica.¹⁹³ Respecto al registro histórico del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, los datos sobre magnitud, profundidad y ubicación de los epicentros se describen en una tabla que contiene información acerca de los sismos registrados desde 1570; sin embargo, no incluye los datos de los dos últimos terremotos ocurridos en el norte de Chile el año 2014, y que fueron mencionados en la tabla 6.¹⁹⁴ Con base en esto, en la tabla 10 se presentan los datos sólo considerando los epicentros ubicados en la región de Tarapacá, y posteriormente estos epicentros se ubicaron geográficamente en la figura 27.

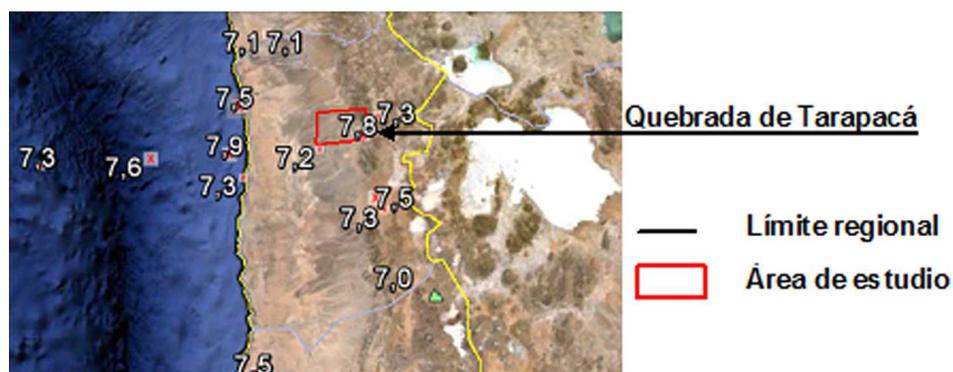


Figura 27. Ubicación de los epicentros de los terremotos ocurridos desde 1570 en la Región de Tarapacá (no incluye los terremotos de abril del 2014). Se marcó en un cuadro rojo la ubicación de la quebrada de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia en base a la tabla del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile.

193 N. Jorquera, *op.cit.*, p. 13.

194 Para consultar información más detallada véase www.sismologia.cl.

Tabla 10. Datos de terremotos históricos en la Región de Tarapacá.

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Magnitud	Profundidad	Efecto	Territorio
24/08/1869	13:30	-19.60	-70.23	7.5	-	TM	Tarapacá
05/10/1871	5:00	-20.20	-70.17	7.3	-	T	Tarapacá
09/05/1877	21:16	-19.60	-70.23	8.5	-	TD	Tarapacá
15-09-1911	8:10	-20.00	-72.00	7.3	-	-	Tarapacá
01-12-1943	6:34	-21.00	-69.00	7	100	-	Tarapacá
25-04-1949	9:54	-19.75	-69.00	7.3	110	-	Tarapacá
14-03-1943	14:37	-20.00	-69.50	7.2	150	-	Tarapacá
23/01/1878	8:00	-20.00	-70.30	7.9	40	-	Tarapacá
23-02-1933	4:09	-20.00	-71.00	7.6	40	-	Tarapacá
29-11-1976	21:40	-20.52	-68.92	7.3	82	-	Tarapacá
13-06-1959	20:12	-20.42	-69.00	7.5	83	-	Tarapacá
13-06-2005	18:44	-19.90	-69.13	7.8	108	-	Tarapacá

T: Tsunami; TM: Tsunami moderado; TD: Tsunami destructor y mayor; - : Sin información
 Fuente: Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (www.sismologia.cl).

Con base en los datos anteriores, incluyendo los dos terremotos de 2014 en la región de Tarapacá, es posible concluir que en esta zona han ocurrido 11 terremotos en 145 años, y la magnitud máxima alcanzada ha sido de 8.5 Richter en 1877.

Debido a que en esta tabla los efectos no están medidos en intensidad Mercalli, sino en relación a si se produjo o no un maremoto, se considerarán los datos de la tabla 6, que indican la posibilidad de que en la región de Tarapacá se pueda alcanzar una intensidad Mercalli de X, lo que da cuenta de un riesgo latente que puede provocar daños graves en las construcciones, licuación de arenas y/o deslizamiento de laderas.

2. Estudios y recopilación de datos sobre áreas impactadas por tsunamis históricamente

Debido a que la zona de estudio no se encuentra en el área costera, no se recopilará información respecto a este punto.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Sismos históricos

Debido a la escala local de análisis que se pretende para el caso de la iglesia de Laonzana en la quebrada de Tarapacá, no es necesario ubicar los epicentros de los sismos históricos, ya que es suficiente contar con la información previamente descrita.

En este contexto es importante señalar que ocurrió un terremoto muy cercano a la quebrada de Tarapacá en el año 2005, con epicentro en Chusmisa, de magnitud 7.8 Richter (a 13 km del área de estudio); otros cercanos fueron el de 1943, de magnitud 7.2 (a 37 km), y el de 1949, de magnitud 7.3 (a 2 km).

ii. Regionalización sísmica

Debido a la escala local de análisis que se pretende para el caso de la iglesia de Laonzana, la regionalización sísmica no se localizará en el mapa de amenazas, sino que sólo se considerará el dato de la Nch 433 of. 96, que indica que el área de estudio se encuentra en la zona 1, con una aceleración máxima de 0.20 g.

iii. Intensidades sísmicas

Debido a la escala local de análisis que se pretende para el caso de la iglesia de Laonzana, las intensidades sísmicas no se mapearán en el mapa de amenazas, sino que se considerará el dato de la tabla 6, donde se indica que la intensidad máxima alcanzada en esta zona es de X.

3.3. Amenaza de deslizamiento de laderas o deslaves

a. Listados y estudios previos

1. Topografía de los alrededores y geometría de los taludes

Con base en las curvas de nivel y mediante el programa ArcGis, se mapearon las pendientes del terreno en el mapa de amenazas al final de este apartado.

2. Distribución de la estratificación de los materiales térreos

No fue posible acceder a estudios de mecánica de suelos en el área de estudio, por lo que para este análisis no se contará con esta información.

3. Propiedades mecánicas de deformabilidad, resistencia y permeabilidad de los suelos constituyentes

Con base en el Mapa Geológico de Chile, el área de estudio se compone de las siguientes secuencias geológicas (véase figura 28):

- Ks 3i: Cretácico Superior. Secuencias volcánicas continentales. Lavas, domos y brechas basálticos a dacíticos con intercalaciones piroclásticas y epiclásticas.
- PPI1r: Plioceno-Pleistoceno. Secuencias sedimentarias. Depósitos de remoción en masa: brechas polimícticas con matriz de arena/limo en proporción variable, de flujo o deslizamiento gravitacional.

La descripción de la roca en la zona de emplazamiento de la iglesia da cuenta de la existencia de una inestabilidad importante, debido a que menciona depósitos de remoción en masa, flujos y deslizamientos gravitacionales, razón por la cual esta zona sería susceptible a los deslizamientos de ladera. Por otra parte, el daño podría potenciarse por las temperaturas extremas que se producen en la zona de estudio, que pueden fluctuar de 0° a 30°C en un mismo día. Lo anterior podría implicar un peligro de fractura de la roca por termoclastismo,¹⁹⁵ situación que ocasionaría que la roca fuera muy inestable y propensa al deslizamiento en caso de precipitaciones o de un terremoto.

Edafológicamente, la cuenca de la Quebrada de Tarapacá posee tres unidades taxonómicas correspondientes a suelos del orden histosoles (sobre 3 000 metros de altitud), molisoles y entisoles. Los del tipo Molisol son suelos en los que se ha producido la descomposición y acumulación de grandes cantidades de materia orgánica, que da origen a humus rico en calcio. Por estas razones, son característicos de zonas subhúmedas o semiáridas, con vegetación en pradera que asegura este aporte de materia orgánica en profundidad.

Los suelos Entisoles se caracterizan por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados debido a la aridez de la zona. Se presentan virtualmente en todos los climas sobre superficies fisiográficas recientes, ya se trate de empinadas pendientes con intensa erosión o sobre planos de sedimentación en

¹⁹⁵ Termoclastismo: es un tipo de meteorización física, común en ambientes semiáridos. El calor creado por la radiación solar o el fuego, crea una variación de temperatura de las rocas, lo que da paso a dilataciones y contracciones que pueden llegar a crear una ruptura de la roca. Cuando la meteorización es causada por la radiación solar, se denomina meteorización por insolación, mientras que si es creada por acción del fuego, se denomina choque térmico; información disponible en www.wikipedia.org.

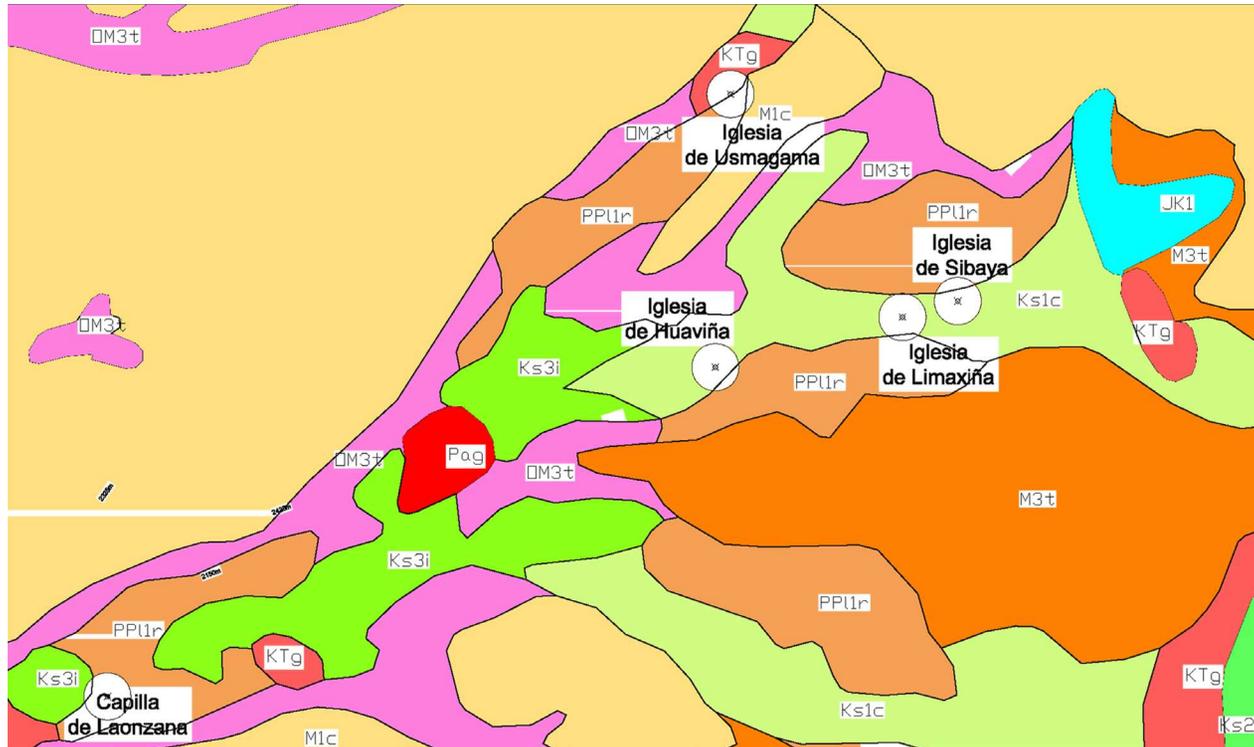


Figura 28. Extracto del Mapa Geológico de Chile en el sector de la quebrada de Tarapacá. Se marcó con un punto blanco la ubicación del pueblo de Laonzana. Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003.

donde se han depositado los materiales recién transportados. También pueden encontrarse sobre superficies fisiográficas antiguas, en donde por la intervención del hombre se ha destruido el perfil del suelo, o bien cuando se trata de materiales resistentes que no han permitido su desarrollo.¹⁹⁶

Por lo anterior, edafológicamente también podría decirse que existe algún grado de inestabilidad, debido a que el suelo Entisol se encontraría en las laderas de la quebrada, por lo que sería una pendiente afectada por la erosión.

4. Estado de esfuerzos actuantes

No fue posible acceder a estudios geotécnicos y de mecánica de suelos en el área de estudio, por lo que para este análisis no se contará con esta información. No obstante, en la foto aérea es posible apreciar que se ha intervenido el pie del cerro para la construcción del poblado y la iglesia, lo que podría implicar empujes del terreno (véanse las figuras 30 y 31).

5. Régimen de precipitaciones pluviales normales y extraordinarias probables

La información sobre precipitaciones pluviales normales y máximas anuales en 24 horas de la quebrada de Tarapacá se obtuvo de la página web de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, en donde las mediciones

¹⁹⁶ Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá*, Santiago, 2004, p. 14, disponible en www.sinia.cl.

existen desde el año 2004. Las mediciones consultadas en la estación emplazada en la quebrada de Tarapacá fueron las que se muestran en las tablas 11 y 12.

Tabla 11. Precipitaciones mensuales (mm). Periodo: 01/01/2005 - 31/12/2012.												
Estación:		Q. Tarapaca en Sibaya										
Código BNA:		01730007-5			Altitud msnm:		2 830		UTM Norte (m):		7 812 491	
Cuenca:		Pampa del Tamarugal			Latitud S:		19° 46' 59"		UTM Este (m):		484 985	
Cuenca:		Quebrada de Tarapaca			Longitud W:		69° 08' 36"		Área de drenaje (km ²):		0	
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	38.4	24.5	6.8	0	0	0.3	0	0	3.4	0	0	1
2006	31.2	7	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0
2007	5.7	12.7	0	0	0.4	-	-	-	-	-	0	0
2008	56.6	11.2	1.3	0.3	0.4	0	0	0	0	0	0	-
2009	13.2	7.8	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	3.4	0	2.6	2.7	0	0	0	0	0	0	0
2011	0.2	4.9	1	0	0.3	0	21.3	0	0	0	0.2	7.6
2012	62	15.1	0.7	2.3	0	0	0	0	0	0	0	3.8

Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>).

Tabla 12. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm). Periodo: 01/01/2004 - 31/12/2014.

Q. Tarapaca en Sibaya					
Estación:	Q. Tarapaca en Sibaya				
Código BNA:	01730007-5	Altitud msnm:	2 830	UTM Norte (m):	7 812 491
Cuenca:	Pampa del Tamarugal	Latitud S:	19° 46' 59"	UTM Este (m):	484 985
Cuenca:	Quebrada de Tarapaca	Longitud W:	69° 08' 36"	Área de drenaje (km²):	0
	Año	Fecha	máxima precipitación en 24 horas (mm)		
	2004	11/02	12.60		
	2005	15/01	13.70		
	2006	19/01	14.10		
	2007	17/02	5.20		
	2008	20/01	20.20		
	2009	18/01	7.20		
	2010	25/02	2.30		
	2011	04/07	16.50		
	2012	03/01	16.20		
	2013	08/02	20.10		
	2014	16/01	5.90		

Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>).

A partir de la información anterior, es posible concluir que en la quebrada de Tarapacá la precipitación pluvial se produce principalmente en los meses de enero y febrero, mientras que en el resto del año resulta ser casi nula. Por otra parte, la precipitación máxima en 24 horas ha sido de 20 mm, en enero de 2008 y en febrero de 2013.

Un dato interesante a destacar es que ocurrió una precipitación pluvial inusual de 0.3 mm en junio de 2005, mismo mes en el que ocurrió el terremoto de magnitud 7.8 Richter, es muy probable que dicha situación haya aumentado el riesgo de deslizamientos de ladera. Esto se comprueba en el caso de la iglesia de Sibaya, emplazada también en la quebrada de Tarapacá y cuyo ábside funcionaba como muro de contención de una ladera que se deslizó, como se muestra en la figura 29.



Figura 29. De izquierda a derecha: ubicación de la iglesia de Sibaya alledaña a un cerro con riesgo de derrumbe; vista del ábside desde el interior de la iglesia de Sibaya después del terremoto de 2005. Fuente: Elaboración propia, 2014, y Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, 2010.

6. Estudios de hidrología superficial e hidrogeología, y de aguas subterráneas

El mapa de los cursos de agua se obtuvo del Instituto Geográfico Militar, institución que la elaboró con base en la información de curvas de nivel existente en este mismo instituto. Por la escala de análisis, en el mapa de amenazas sólo se muestra el curso de agua de la quebrada de Tarapacá.

7. Identificación de actividades humanas que puedan haber provocado cambios en el régimen de la presión del agua del subsuelo, cambio en la topografía de la ladera y la imposición de sobrecargas, o deforestación sin la evaluación geotécnica pertinente

Para este análisis se utilizaron fotos aéreas del emplazamiento de la iglesia de Laonzana en la quebrada de Tarapacá. En la foto aérea es posible apreciar que la ladera en la que se emplaza el pueblo de Laonzana fue intervenida, debido a que el área más horizontal de la ladera se utiliza para los cultivos. Debido a esto, las construcciones se han construido al pie de la ladera sur de la quebrada.

Es muy probable que estas construcciones hayan sido escasamente reguladas, debido a su condición de ruralidad y a que las viviendas construidas por las comunidades indígenas, que siguen la tradición de la autoconstrucción, no han contado con la asesoría de profesionales, ni tampoco con permisos de construcción, y menos aún con estudios geotécnicos que hayan podido controlar el corte que se ejecutó al pie de la ladera, ni el posible aumento de la cantidad de agua del subsuelo a causa de desagües no regulados. Actualmente, el desagüe

de aguas servidas se lleva a cabo por medio de de pozos negros¹⁹⁷ (véanse las figuras 30 y 31).



Figura 30. Emplazamiento de la iglesia de Laonzana (punto rojo) y del pueblo que han generado un corte en el cerro y un posible aumento de la cantidad de agua en el suelo por la presencia de desagües sin regulación. Fuente: Google Earth.

197 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2013, *Plan Maestro de recursos hídricos, Región de Tarapacá, Resumen Ejecutivo*, Santiago, documento electrónico disponible en www.dga.cl.



Figura 31. Vista en perspectiva del emplazamiento de la iglesia de Laonzana (punto rojo) y del pueblo que han generado un corte en el cerro. Fuente: Google Earth.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Inestabilidad de laderas naturales

La amenaza de deslizamiento de laderas se definirá en el mapa de amenazas con base en la geomorfología, clima, edafología y la ubicación de la cuenca hidrológica de la quebrada de Tarapacá. También se definirá con base en las condiciones geológicas, la precipitación pluvial y la pendiente del terreno. Se mapearán, además, los sectores donde se han ejecutado cortes o terrazas para la construcción de viviendas sin los estudios adecuados. No se incluirán los lugares deforestados porque es una zona desértica sin vegetación en las laderas.

ii. Flujos de lodo y escombros

Si bien la iglesia de Laonzana se emplaza en un escurrimiento natural de agua, el cauce del río Loa, existe un peligro bajo de que se produzca un flujo de lodo o escombros en esta zona, debido a la escasa precipitación pluvial anual. No obstante, sí podría ocurrir en los meses de enero o febrero por el invierno altiplánico, pero no se cuenta con información histórica de este peligro para agregarla al mapa de amenazas.

iii. Hundimientos regionales y locales acompañados de agrietamientos

Debido a que esta información sólo es necesaria en regiones donde se extrae agua subterránea mediante bombeo profundo, no es aplicable en el caso de estudio.

3.4. Amenaza volcánica

a. Listados y estudios previos

1. Ubicación y caracterización de los volcanes activos existentes en la región: tipo de volcán, registros de erupciones históricas, alcance de sus efectos y su relación con el patrimonio edificado del área de estudio

En la región de Tarapacá existen volcanes activos que son monitoreados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin), institución que ha generado mapas de amenaza volcánica, y que además realiza reportes mensuales sobre la actividad de estos volcanes.¹⁹⁸ Con base en esta información y en los mapas de amenaza volcánica a nivel regional, es posible concluir que los dos volcanes activos, el volcán Isluga y el Irruputuncu, en caso de erupción, no afectarían el área de estudio. Por lo anterior, no es necesario realizar un mapa de peligro volcánico a nivel local.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

A pesar de que existen volcanes activos en el entorno de la iglesia de Laonzana, ésta no resultaría afectada con material piroclástico en superficie. Por tanto, se puede concluir que no se presenta esta amenaza.

¹⁹⁸ Mayor información disponible en www.sernageomin.cl.

3.5. Amenaza hidrometeorológica

a. Listados y estudios previos

1. Identificar las cuencas hidrográficas y analizar el registro de eventos de inundación regional que se han generado en el pasado

El mapa de las cuencas hidrográficas se obtuvo del Instituto Geográfico Militar, institución que lo elaboró utilizando la información de curvas de nivel existente en este mismo instituto. Por otra parte, los datos sobre los caudales medios mensuales y sobre las cuencas se obtuvieron de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

La información encontrada respecto al caudal medio mensual de la cuenca de la quebrada de Tarapacá se encontró en la página web <<http://snia.dga.cl/>>. Es necesario aclarar que la información sólo se otorga por periodos menores a 10 años. Se consideró el periodo 2005-2012, ya que el terremoto ocurrió en junio de 2005. Aclarado lo anterior, la información se muestra en la tabla 13.

La información respecto a los caudales de la Quebrada de Tarapacá en Laonzana, mostrados en la tabla 13, indican que desde el año 2005 al 2012 los caudales no han superado los 0.89 m³/s, y en general mantiene un caudal constante durante el año, que fluctúa entre 0.05 y 0.3m³/s. Los mayores caudales se presentan en la temporada de lluvias, es decir, en enero y febrero.

Sumado a lo anterior, en cuanto a las amenazas naturales de origen hidrometeorológico, caracterizadas por las condiciones pluviométricas, la SUBDERE señaló que en el sector reconocido como Norte Grande, las precipitaciones se

Tabla 13. Caudales medios mensuales (m³/s). Periodo: 01/01/2005 - 31/12/2012.

Tabla 13. Caudales medios mensuales (m ³ /s). Periodo: 01/01/2005 - 31/12/2012.												
Estación:		Q. Tarapaca en Sibaya										
Código BNA:		01730012-1			Altitud msnm:		1 847		UTM Norte (m):		7 804 715	
Cuenca:		Pampa del Tamarugal			Latitud S:		19° 51' 11"		UTM Este (m):		463 963	
Cuenca:		Quebrada de Tarapaca			Longitud W:		69° 20' 39"		Área de drenaje (km ²):		1 338	
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	0.19	0.07	0.04	0.03	0.12	0.16	0.24	0.27	0.40	0.24	0.21	0.26
2006	0.43	-	-	-	-	-	0.74	-	-	-	-	-
2007	0.30	0.54	0.52	0.20	0.23	0.23	0.18	0.22	0.24	0.22	0.22	0.23
2008	0.89	0.33	0.30	0.30	0.18	0.20	0.18	0.18	0.17	0.10	0.08	0.06
2009	0.09	0.05	0.14	0.11	0.16	0.21	0.22	0.20	0.14	0.07	0.04	0.04
2010	0.05	0.05	0.06	0.08	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.09	0.09	0.08
2011	0.11	0.17	-	-	-	0.26	0.46	-	-	-	0.18	0.15
2012	-	-	-	0.47	0.32	0.54	0.32	0.18	-	-	-	-

Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>).

producen preferentemente en la Cordillera de los Andes, asociadas al fenómeno conocido como “invierno altiplánico”, y que estos eventos se manifiestan a través de tormentas eléctricas, crecidas de cursos de agua, aluviones y deslizamientos de tierra.¹⁹⁹

Los eventos hidrometeorológicos extremos que originan crecidas de los cauces durante el invierno altiplánico, afectan periódicamente los poblados ubicados en la cuenca de la Quebrada de Tarapacá, y el principal problema es la pérdida de las riberas y cultivos agrícolas. En relación con lo anterior, en el año 2008 la Dirección de Obras Hidráulicas licitó estudios de diagnóstico, y posteriormente se propuso el diseño de la construcción de defensas fluviales mediante el uso complementario de encauzamientos, semiencauzamientos y muros de gaviones o enrocados, que se ubicaron en las riberas de la quebrada en beneficio de los pueblos de Huaviña, Mocha, Laonzana, Pachica, Quillahuasa, Tarapacá y Huarasiña.²⁰⁰ Esta medida se tomó porque la Quebrada de Tarapacá cuenta con 536 habitantes y con un potencial de anegamientos de poblados directamente relacionados con la agricultura. Además, el informe de la Dirección Obras Hidráulicas señala que:

Con respecto a los eventos de crecidas, estos son provocados por el Invierno Altiplánico, el que genera intensas y torrenciales lluvias en la cordillera y precordillera de la Región de Tarapacá, éstas a sus vez provocan inunda-

199 Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, *op. cit.*

200 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, *Plan Maestro de recursos hídricos, Región de Tarapacá, Resumen Ejecutivo*, Santiago, 2013, disponible en www.dga.cl, consultado en abril de 2015.

ciones, derrumbes, aluviones de roca y barro, avalanchas de lodo, piedras y desborde de ríos, por lo tanto, se provocan importantes pérdidas agrícolas, productivas, de tierras y animales, que en algunos casos es total. Es por esto que hay una necesidad real en la Región de mejorar las medidas preventivas para protegerse de fenómenos extremos de inundaciones.²⁰¹

2. Caracterizar la cuenca hidrográfica con base en su altura sobre el nivel del mar, su geometría, relieve, geomorfología, tipo de suelo, formaciones superficiales, tipo y cobertura de la vegetación de la cuenca y las precipitaciones máximas diarias

La Quebrada de Tarapacá a la altura de Sibaya, lugar donde se encuentra la estación de medición, corresponde a una cuenca preandina endorreica y se emplaza en la Pampa del Tamarugal.

Altura sobre el nivel del mar: 2 830 msnm.

Geomorfología: La Quebrada de Tarapacá, ubicada en la región de Tarapacá, nace en la alta cordillera, en la confluencia de dos quebradas, y corresponde al curso de agua superficial más importante de la Pampa del Tamarugal. En su larga trayectoria recibe tributarios habitualmente secos o efímeros. El más importante por la ribera derecha es la Quebrada de Chusmisa, donde hay baños termales y se ha industrializado el agua de vertiente, que es de consumo habitual en

201 *Ibidem*, p. 16.

todo el extremo norte de Chile. Por el lado izquierdo, el afluente principal es la Quebrada de Coscaya, que tiene cabeceras enraizadas en la alta cordillera y drena la pampa Lirima.²⁰²



Figura 32. Características Hidrogeológicas de la cuenca de la Quebrada de Tarapacá. Fuente: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2004, p. 13.

202 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá*, Santiago, 2004, disponible en www.sinia.cl, consultado en abril de 2015.

La Quebrada de Tarapacá se encuentra en el sector centro de la región de Tarapacá, en la provincia de Iquique. Su curso fluvial se emplaza en la unidad morfoestructural conocida como Pampa del Tamarugal, que presenta una superficie estimada de 17 253 km². Se presenta como un territorio ininterrumpido ocupando una faja N-S, limitada por la costa 600 m al oeste y por la costa 1500 m al este. Se extiende desde la quebrada de Tana, por el norte, hasta el río Loa por el sur. Aunque es una depresión relativa, sumergida entre los relieves costeros por el oeste y la precordillera andina por el este, su altura y modelado irregular le confieren las características de una meseta basculada de norte a sur. El origen de este basculamiento se debería a una tectónica de bloques, diferenciados entre sí por fallas E-W aún activas en la región del norte del país. El curso fluvial de la Quebrada del Tarapacá, presenta en general un escurrimiento de tipo recto, con orientación oriente-poniente, y de carácter endorreico. Esta quebrada desciende desde aproximadamente 2300 m de altitud por medio de un plano inclinado que no cruza la pampa, sino que se pierde en las proximidades de la costa 1500 m como rasgo erosivo al pie de dichos planos.²⁰³

Tipo de suelo: Se describió en el apartado 3.3.

Tipo y cobertura de la vegetación de la cuenca: En la precordillera, donde se emplaza el pueblo de Laonzana, predominan dos tipos de vegetación:

- Estepa arbustiva prealtiplánica. Formación vegetacional que se ubica en los sectores montañosos de la precordillera, también denominada Cordillera Cen-

203 *Ibidem*, p. 14.

tral, la cual, a pesar de ocupar una posición intermedia respecto al eje longitudinal del país, en ciertos lugares alcanza altitudes de más de 5 000 msnm. Constituye un medio ambiente que en esencia es montañoso, con gran diversidad de condiciones de hábitat, lo que se refleja en una fisionomía vegetal muy variada. Predominan en el paisaje los arbustos bajos (tolares), pero también se presentan elementos altiplánicos y desérticos. Las asociaciones más características son: Queñoa-Checal (*Polylepis besseri-Fabiana densa*) y Checal- Suico (*Fabiana densa- Tagetes multiflora*).²⁰⁴

- Matorral desértico con suculentas columnares: Es la continuación de una formación vegetal que presenta un mayor desarrollo y riqueza florística en situaciones ecológicas correspondientes a regiones más nortinas, en especial en el sur del Perú. Es por excelencia un ambiente de cactáceas, y las comunidades más típicas son: Candelabro (*Browningia candelaris*); verbena (*Verbena gynobasis*) y Añahuilla-Pupuña (*Adesmia spinosissima- Balbisia stitchkinii*).

- También existe flora acuática, identificada en el cauce de la Quebrada de Tarapacá.

Precipitaciones máximas diarias: 20.2 mm.

En relación con la geometría y el relieve, a continuación se muestra una foto aérea (véase figura 33). Las curvas de nivel se muestran en el mapa de amenazas en el apartado 3.12.

204 *Ibidem*, p. 15.

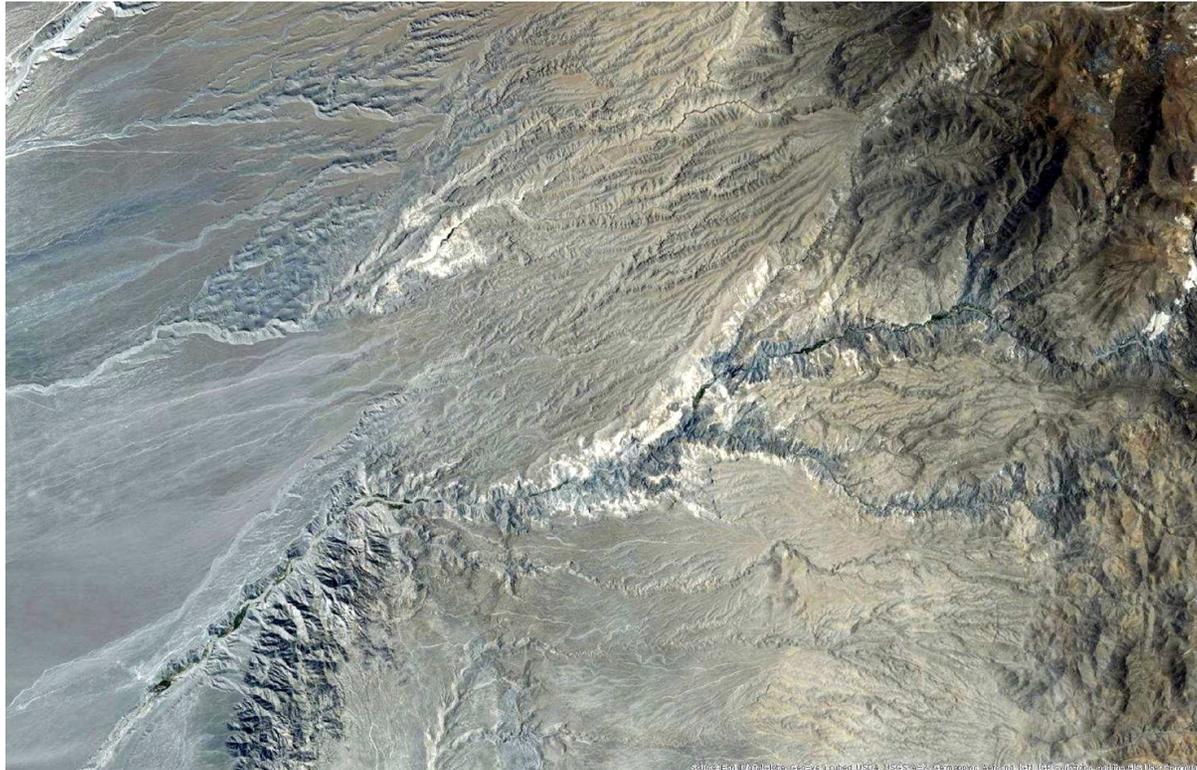


Figura 33. Geometría y relieve de la Quebrada de Tarapacá. Fuente: Google Earth.

3. Evaluación de la amenaza de ciclones

Debido a que en la zona de estudio no se producen ciclones, no se evaluará esta amenaza.

4. Estudios climáticos, especialmente de las precipitaciones pluviales máximas, de los vientos predominantes y su velocidad y las temperaturas extremas

La cuenca de la Quebrada de Tarapacá presenta tres tipos climáticos: clima desértico interior, desértico marginal de altura y clima de estepa de altura. En el sector del pueblo de Laonzana, que se localiza sobre los 2 000 m de altura, el clima es desértico marginal de altura, por lo que presenta una temperatura media anual de 10°C.

En este subtipo, las primeras lluvias fluctúan entre 50 y 100 mm anuales, son producto del invierno altiplánico y se presentan en los meses de verano. Los montos de precipitación registrados por la estación pluviométrica de Poroma (próxima a la Quebrada de Tarapacá), localizada a 2 880 msnm, son de 54.4 mm/año.²⁰⁵ Como se mencionó anteriormente, las precipitaciones máximas diarias alcanzadas en los últimos años han sido de 20. 2 mm. Los vientos predominantes son de poniente a oriente, y pueden alcanzar velocidades de hasta 70 km/h.

Respecto a las temperaturas extremas, se buscó información en el sitio web del Ministerio de Agricultura y en el sitio <www.sinia.dga.cl>, este último

205 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá*, Santiago, 2004, p. 10.

permite buscar información de temperaturas extremas, pero no cuenta con una estación vigente en el área de estudio o a una altura similar a la del caso de estudio, por ello sólo se tuvo acceso a los datos de la estación ubicada en Huara, a 1100 msnm. Considerando que a una altura mayor las temperaturas mínimas suelen ser más bajas, a continuación se muestran los datos de temperaturas extremas diarias durante el año 2005 (año del terremoto), pero sólo de los meses en los que se alcanzaron temperaturas cercanas a los cero grados, que fueron abril, mayo, junio y julio (véase tabla 14).

Tabla 14. Temperaturas diarias extremas en la estación de Huara, a la altura de Baquedano.

Día	ABR		MAY		JUN		JUL	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	1.0	26.4	2.0	26.0	4.8	29.5	5.0	29.3
2	2.0	25.9	1.0	27.0	5.2	28.6	6.0	27.0
3	0.0	28.6	1.0	27.0	4.9	29.6	4.9	27.7
4	0.0	29.0	2.0	29.0	4.8	29.7	4.1	28.0
5	1.0	28.0	1.5	27.0	5.2	29.8	3.5	27.8
6	2.0	28.7	1.0	27.0	4.8	28.0	5.1	28.0
7	2.0	27.0	0.5	28.0	5.1	26.9	5.0	27.5
8	1.0	29.0	0.0	29.0	4.2	29.6	3.1	28.0
9	2.0	28.0	0.5	30.0	6.5	31.9	4.0	31.0
10	2.0	30.0	0.0	30.0	6.9	31.3	3.1	31.5
11	3.0	29.0	-0.5	29.0	6.5	31.9	3.1	30.0
12	2.0	28.0	0.0	28.0	6.5	31.9	4.1	27.1
13	3.0	27.0	1.0	29.0	6.8	31.0	3.1	25.9
14	2.0	29.0	1.0	30.0	5.2	28.9	4.2	25.2
15	1.0	27.0	0.0	31.0	4.8	29.2	3.8	22.5
16	0.0	26.0	0.0	29.0	5.8	29.1	2.9	20.8
17	1.0	26.0	-1.0	30.0	6.1	30.5	-1.5	24.1
18	2.0	25.0	-2.0	29.0	5.8	29.9	-1.0	26.3
19	1.0	27.0	-1.0	29.0	5.9	28.9	0.5	26.0
20	0.0	26.0	0.0	29.9	5.0	28.9	1.0	21.9
21	1.0	25.0	-0.5	30.0	5.8	29.1	3.9	28.0
22	2.0	26.0	0.0	29.0	5.0	30.2	2.5	26.0
23	3.0	29.0	-0.5	30.5	5.0	29.3	6.9	26.6
24	3.0	25.0	-1.0	30.0	4.8	27.1	4.1	29.0
25	2.0	26.0	-1.0	31.0	3.5	27.5	6.1	31.9
26	0.0	26.0	0.0	30.0	5.3	29.3	6.8	31.0
27	-1.0	25.0	-1.0	29.0	4.2	29.2	7.1	32.1
28	3.0	27.0	-0.5	30.0	3.2	28.2	6.7	33.5
29	2.0	26.0	0.0	30.0	3.0	30.8	6.0	31.0
30	1.0	25.0	-1.0	31.0	4.5	27.9	4.8	30.3
31			-1.0	31.0			4.1	27.9

Fuente: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>.

La tabla anterior da cuenta de que existe una alta oscilación térmica en los meses de abril a julio. Si bien las lluvias se presentan principalmente a causa del invierno altiplánico en los meses de enero y febrero, también se han registrado precipitaciones invernales en los meses de junio y julio, por lo que existiría un peligro bajo de que se produjera el congelamiento de partículas de agua, las que podrían afectar el material de la iglesia de Laonzana.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Inundación

Esta información se representará en el mapa de amenazas con base en los datos de precipitación pluvial extrema y una estimación de la superficie de inundación de la cuenca.

ii. Incidencia de ciclones

En esta zona no se presenta esta amenaza.

iii. Heladas

Por la escala de análisis, la frecuencia de heladas sólo se verá reflejada como un dato en el mapa de amenazas o peligros, indicando que existe una frecuencia alta entre los meses de abril a julio.

3.6. Amenaza por erosión

a. Listados y estudios previos

1. Información sobre precipitaciones pluviales medias y máximas anuales

Durante el año 2005 la precipitación anual fue de 351.5 mm y la precipitación máxima en 24 horas fue de 20 mm. Lo que implica un alto peligro de erosión de las estructuras de adobe y mampostería de piedra con mortero de lodo, como la de la iglesia de Laonzana.

2. Distancia a la costa

La zona de estudio se encuentra lejana a la costa, aproximadamente a 82.6 km, por lo que no existe peligro de deterioro por efecto de la costa.

3. Información sobre la dirección y velocidad de los vientos predominantes

Los vientos predominantes son de poniente a oriente, y pueden alcanzar velocidades de hasta 70 km/h. Estos vientos representan una amenaza para las estructuras de adobe, como la iglesia de Laonzana, si no se encuentran debidamente protegidas por un aplanado, que debería ser monitoreado y al que se le debería dar mantenimiento constantemente.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Amenaza por erosión

Esta información se muestra como un dato en el mapa de amenazas, no como una zonificación, con base en las velocidades máximas del viento y su dirección, humedad relativa e información de las precipitaciones pluviales máximas.

3.7. Amenaza por estrés físico

a. Listados y estudios previos

1. Información sobre precipitaciones pluviales medias y máximas anuales

Durante el año 2005 la precipitación anual fue de 351.5 mm y la precipitación máxima en 24 horas fue de 20 mm, lo que implica un alto peligro de estrés físico si estas precipitaciones coinciden con una helada, pues, al congelarse, las partículas de agua en el adobe o en los morteros de lodo podrían generar disgregación en la iglesia de Laonzana.

2. Información sobre las temperaturas máximas y mínimas mensuales, oscilación térmica y asoleamiento

Las oscilaciones térmicas máximas se producen en los meses de abril a junio, lo que implica que en un día puede haber temperaturas de 0 °C y una oscilación térmica de 30 °C. Respecto al asoleamiento, éste es prácticamente constante durante el año, ya que la iglesia de Laonzana se encuentra en una zona desértica, y además no existen elementos que obstruyan su asoleamiento. Por su emplazamiento, las fachadas que reciben mayor asoleamiento son las norponiente y nororiente.

b. Información para el mapa de amenazas y peligros

i. Amenaza por estrés físico

Esta información se representará en el mapa de amenazas con base en las precipitaciones pluviales, temperaturas máximas y mínimas, la identificación de la existencia de heladas en períodos de lluvia, y al asoleamiento, considerando la orientación y la topografía.

3.8. Amenaza química

a. Listados y estudios previos

1. Zonificación del uso de suelo

Corresponde a una zona rural poco desarrollada en cuanto a construcciones, sólo existen las viviendas y la iglesia del poblado de Laonzana. El área fértil de la quebrada se utiliza para el cultivo agrícola.

2. Localizar las instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas

No existen industrias peligrosas en las cercanías del pueblo de Laonzana. Por otra parte, tampoco se han identificado establecimientos industriales que hagan uso de las aguas del cauce principal ni sus afluentes.²⁰⁶

3. Identificar las instalaciones de servicios que usan o almacenan materiales peligrosos

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

206 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá*, Santiago, 2004, p. 26.

4. Tipo y cantidad de sustancias peligrosas que se manejan

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

5. Identificar las condiciones de almacenamiento y los sistemas de seguridad

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

6. Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias peligrosas

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

7. Identificar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

8. Conocer la naturaleza de los efectos más probables de acompañar a una liberación de material peligroso

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

Este criterio no aplica debido a que no se presenta esta amenaza.

3.9. Contaminación atmosférica

a. Listados y estudios previos

1. Vehículos circulantes en el área de estudio o zonas de mayor congestión vehicular

Debido a que es una zona rural emplazada en una quebrada de difícil acceso, este punto no aplica.

2. Ubicación de aeropuertos y puertos

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

3. Autopistas y promedio de circulación de vehículos al día

Este criterio no aplica para el caso de estudio

4. Concentración de contaminación

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

Este criterio no aplica debido a que no se presenta esta amenaza.

3.10. Amenaza socio-organizativa

a. Listados y estudios previos

1. Información demográfica

Esta información se encontró en el sitio web del Instituto Nacional de Estadísticas (www.ine.cl), donde había información actualizada, pero a nivel nacional. A nivel de caserío existía una publicación del año 2002, que fue la que se utilizó para el caso de estudio. Según esta publicación, en 2002 el caserío de Laonzana contaba con un total de 31 habitantes, 15 hombres y 16 mujeres, y existía un total de 46 viviendas.²⁰⁷ La existencia de más viviendas que habitantes da cuenta del proceso de migración de la comunidad indígena.

207 Instituto Nacional de Estadísticas. *Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos*, 2005. Documento electrónico disponible en www.ine.cl.

Por otra parte, es posible apreciar que en general en los caseríos de la precordillera no se superan los 100 habitantes en cada caserío, como se muestra en la figura 34. Este despoblamiento podría estar asociado a una falta de mantenimiento de los bienes culturales inmuebles.

En el mismo sitio web, se buscó información censal histórica para realizar un análisis comparativo, pero no se encontraron datos acerca de los caseríos, como el poblado de Laonzana, sino sólo de las aldeas. Por lo anterior, se empleó la información referida a Huara, que es el municipio al que corresponde el caserío de Laonzana.

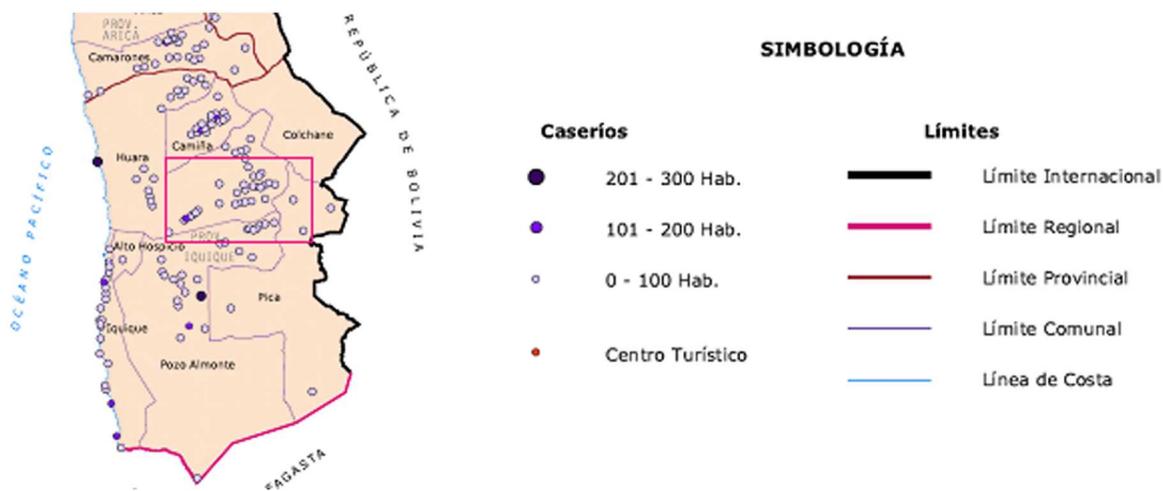


Figura 34. Extracto del plano de la región de Tarapacá: Caseríos. Censo 2002. Se marcó en un cuadro rojo la quebrada de Tarapacá. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, 2005.

Según el censo de 1992, la población de Huara era de 1 972 habitantes, mientras en 2002 era de 956 habitantes.²⁰⁸ Estos datos revelan cuán fuerte ha sido el proceso de migración de los habitantes durante esos 10 años, que probablemente corresponde a la migración de las comunidades andinas hacia las ciudades costeras.

2. Información sobre índices de vandalismo

No se encontraron reportes sobre vandalismo realizados por Carabineros de Chile, debido a que realizan estadísticas sólo a nivel regional. Tampoco existen reportes en la municipalidad de Huara ni en la prensa local.

3. Información sobre la actividad turística

No se encontró información respecto a la existencia de actividad turística en la zona.

4. Ubicación de museos, número de visitantes y recorridos turísticos

No existen museos en el pueblo de Laonzana.

208 Instituto Nacional de Estadísticas, *Chile: Ciudades, pueblos y aldeas. Censo de 1992, 1995*. Documento electrónico disponible en www.ine.cl, consultado en abril de 2015.

5. Número de hoteles, habitaciones y movimiento de clientes

No existen hoteles en el pueblo de Laonzana.

6. Combustibles forestales (presencia de vegetación)

Debido a que se trata de una zona desértica, la vegetación se concentra en el cauce de la quebrada y no hay una gran presencia de árboles, sino más bien cultivos agrícolas (véase figura 35).



Figura 35. Vegetación en el pueblo de Laonzana. Fuente: Google Earth.

7. Condiciones meteorológicas (presencia de calor y viento)

Según el informe meteorológico de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, prácticamente todos los días del año se alcanzan temperaturas cercanas a los 30 °C. Respecto a los vientos predominantes, son de poniente a oriente y pueden alcanzar velocidades de hasta 70 km/h.

8. Presencia de árboles o matorrales (a mayor densidad de vegetación existe mayor peligro)

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

9. Análisis topográfico respecto a la exposición al sol de las laderas de los cerros

Existe exposición al sol sobre todo en la ladera sur de la quebrada de Tarapacá.

10. Accesibilidad, mediante el catastro de calles en relación a su ancho para el acceso de vehículos de emergencia: peligro alto (menos de 3 m); peligro medio (entre 3 m y 7 m); peligro bajo (más de 7 m)

El pueblo de Laonzana se emplaza al interior de la quebrada de Tarapacá y sólo cuenta con un camino de ripio de acceso, la ruta A-545. Además las calles miden de 3 a 5 metros, por ello la accesibilidad es baja.

11. Catastro de la superficie promedio por manzana y las manzanas que superan ese rango (considerando que el fuego se propaga más fácilmente en bloques continuos que no cuentan con calles que los dividan)

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

12. Área construida y cantidad de propietarios por predio (debido a que la mayor fragmentación de los inmuebles disminuye su posibilidad de manejo ante un incendio)²⁰⁹

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

13. Presencia de cableado eléctrico aéreo en mal estado

No existe cableado eléctrico.

14. Presencia de construcciones de madera

Si bien la arquitectura tradicional es de adobe, la estructura de cubierta es de madera y paja brava, por lo que podría existir riesgo de incendio. Por otra parte, existen algunas construcciones nuevas de material ligero, principalmente de madera.

209 ENEA y la Oficina de Gestión Patrimonial de la Municipalidad de Valparaíso, *Manejo de Riesgos en Valparaíso, Servicios Técnicos. Peligro de incendio en la ciudad de Valparaíso* (informe del proyecto financiado por Banco Interamericano de Desarrollo), 2008.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Aglomeraciones

Sólo se producen aglomeraciones para las festividades religiosas, por lo que no aplica.

ii. Presión turística

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

iii. Amenaza de incendios forestales

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

iv. Amenaza de incendios en áreas urbanas

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

3.11. Disminución demográfica grave

a. Listados y estudios previos

1. Información demográfica

Se describió en el apartado 3.8.

2. Ubicación de inmuebles abandonados

No se cuenta con esta información.

3. Usos de suelo

El pueblo de Laonzana sólo cuenta con viviendas, una iglesia y campos de cultivo.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Usos de suelo

Los usos de suelo generales se representarán en el mapa de amenazas, con la ubicación del único inmueble protegido como monumento histórico, la iglesia de Laonzana, pero sin incluir información sobre inmuebles abandonados, desocupados ni sitios baldíos.

ii. Flujos demográficos

No es posible registrar esta información por la dimensión del poblado y por la escasez de información censal del pueblo en específico.

iii. Estado de conservación de los inmuebles

Debido a que no se cuenta con información de los inmuebles del poblado de Laonzana, no se mapeará esta información. No obstante, a partir de imágenes previas al terremoto de 2005 es posible apreciar que la iglesia estaba bastante alterada en su fachada, debido al reemplazo de elementos originales de ado-

be por estructuras de madera. Por otra parte, resultaba evidente una falta de mantenimiento general, ya que todo el inmueble había perdido el aplanado de barro, que protegía la estructura de adobe y los contrafuertes de mampostería de piedra. En las fotografías es posible apreciar el deterioro de los contrafuertes por el intemperismo (véase figura 36). Es posible evaluar a detalle lo anterior con la ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva.



Figura 36. Imágenes de la iglesia de Laonzana previas al terremoto del 2005. Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales.

3.12. Descripción de escenarios y jerarquización de amenazas o peligros de la iglesia de Laonzana, en el pueblo de Laonzana, comuna de Huara, Región de Tarapacá

Tabla 15. Descripción de escenarios y jerarquización de amenazas en función de la severidad del daño.

Amenazas (el peor escenario) según su probabilidad de ocurrencia		Magnitud máxima histórica	Intensidad máxima histórica	Severidad		
				Sin daños/ sin amenaza	Leve o gradual	Catastrófica
Eventos esporádicos (muchas veces en un siglo)	Amenaza sísmica	8.5	X	-	-	Con base en la información histórica, en esta zona se podría producir un sismo cuya magnitud generaría un daño catastrófico en construcciones, deslizamientos de laderas, etc.
	Deslizamiento de laderas	Sin información	Sin información	-	-	La roca basal en el emplazamiento de la iglesia de Laonzana es muy inestable por su conformación geológica, lo que se potencia por los fuertes cambios de temperatura que se producen diariamente, con una oscilación térmica de 0° a 30°, pudiendo producir la fractura de la roca por termoclastismo y el consecuente deslizamiento de ladera ante la presencia de lluvia o de un sismo. El peligro aumenta por la pendiente de la quebrada y por las construcciones sin regulación que han intervenido el pie del cerro, el que posiblemente se encuentra con humedades producto de los pozos negros y no presenta vegetación que pueda disminuir este peligro.
	Amenaza volcánica	No	No	No se presenta esta amenaza	-	-
	Amenaza hidrometeorológica	20,2 mm de pp. diaria máxima		-	Esta amenaza se presenta todos los años en el invierno altiplánico causando el deslave de los recubrimientos de la iglesia.	El intemperismo de la ladera de la quebrada podría provocar un deslizamiento de ladera afectando la iglesia.
	Amenaza química-tecnológica	No	No	No se presenta esta amenaza	-	-
	Incendios forestales o urbanos	No	No	No se presenta esta amenaza	-	-

Procesos continuos (pueden ocurrir continua o intermitentemente)	Amenaza por erosión	20.2 mm de pp. diaria máxima; vientos de 70km/h	Sin información	-	Debido a la pérdida de aplanados, existe un peligro de erosión del adobe por el agua y el viento, situación que podría presentar un daño acumulativo y afectar gravemente su comportamiento estructural.	-
	Amenaza por estrés físico	Oscilación térmica de 0-30° y heladas desde abril a julio	Sin información	Las heladas en general no coinciden con la época de lluvias, por lo que el daño es leve.	-	-
	Contaminación atmosférica	No	No	No se presenta esta amenaza	-	-
	Amenaza socio-organizativa	No	No	No se presenta esta amenaza	-	-
	Disminución demográfica y falta de mantenimiento	-	-	Por la falta de mantenimiento no se han renovado los aplanados, con el consecuente deterioro gradual del adobe todos los años.	-	-

Fuente: Elaboración propia (2015).

A continuación se muestra el mapa de amenazas o peligros que se elaboró con base en la tabla anterior (véase figura 37).

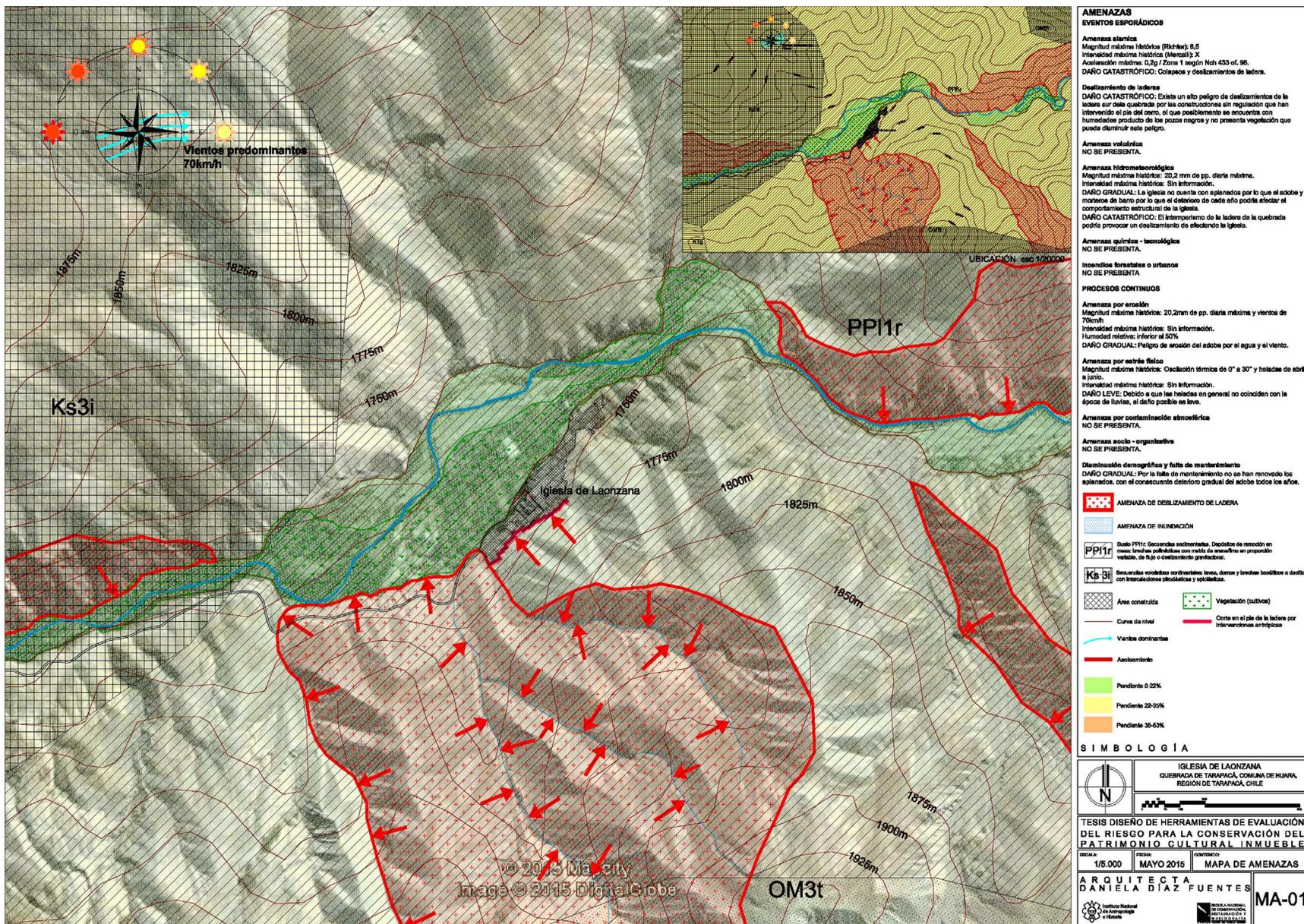


Figura 37. Mapa de amenazas de la Iglesia de Laonzana, Región de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia. En la tesis de maestría la planimetría se presentó a escala 1:500 y 1:20.000..

4. Llenado de la ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica para el caso del monumento histórico iglesia de Laonzana, región de Tarapacá

Los casos de estudio se eligieron con el objetivo de realizar una evaluación retroactiva de los inmuebles y evidenciar si efectivamente se podría haber previsto el mayor daño posterremoto de la iglesia de Laonzana, cuya estructura colapsó en más de 60%, en relación con la iglesia de Chiu Chiu, que resultó con daños estructurales reparables. Por lo anterior, los datos disponibles para esta evaluación fueron principalmente fotografías y planimetría realizada posterremoto, para el desarrollo de los proyectos de restauración.

Por esta razón la clasificación del nivel de la información es *M* o de calidad media, como se dijo en el Capítulo III, en el cual también se explicó el procedimiento para llenar la ficha. Luego de la evaluación (véase figura 39), la cuantificación de la vulnerabilidad constructiva fue de 57.9, lo que corresponde a una vulnerabilidad alta (véase figura 40).

Por otra parte, respecto a la tabla de severidad de las amenazas, se puede concluir que los posibles daños catastróficos que podrían afectar al inmueble serían resultado de un terremoto o de un deslizamiento de ladera. Si bien se trata de amenazas esporádicas, sería necesario realizar análisis geotécnicos más detallados y proponer obras de mitigación, principalmente de consolidación del suelo y evaluación de la efectividad de los muros de contención existentes.

Sumado a lo anterior, las amenazas que continuamente afectan el bien inmueble, al menos una vez al año, son: hidrometeorológica, erosión, estrés físico y disminución demográfica con la consecuente falta de mantenimiento.

La combinación de estas amenazas podría ser muy peligrosa para la estructura del edificio, ya que es de adobe y de mampostería de piedra asentada en lodo. El intemperismo y la falta de aplanados, sumado a la presencia de precipitaciones, viento y oscilaciones extremas, podría causar un daño que aumentará gradualmente, lo que en algún momento podría afectar el funcionamiento estructural del edificio.

La planimetría utilizada para el análisis fue ejecutada el año 2010 por el arquitecto Alberto Prado, en el marco del desarrollo del anteproyecto de restauración de la Iglesia de Laonzana, el cual fue solicitado por el Ministerio de Obras Públicas de Chile. Esta planimetría se obtuvo del Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y fue modificada por la autora de esta tesis con el objetivo de mejorar la legibilidad del edificio original, previo al terremoto del año 2005, en cuanto a su volumetría y dimensiones principales (véase figura 38).

La descripción de los parámetros evaluados y su cuantificación se muestran a continuación de la planimetría.

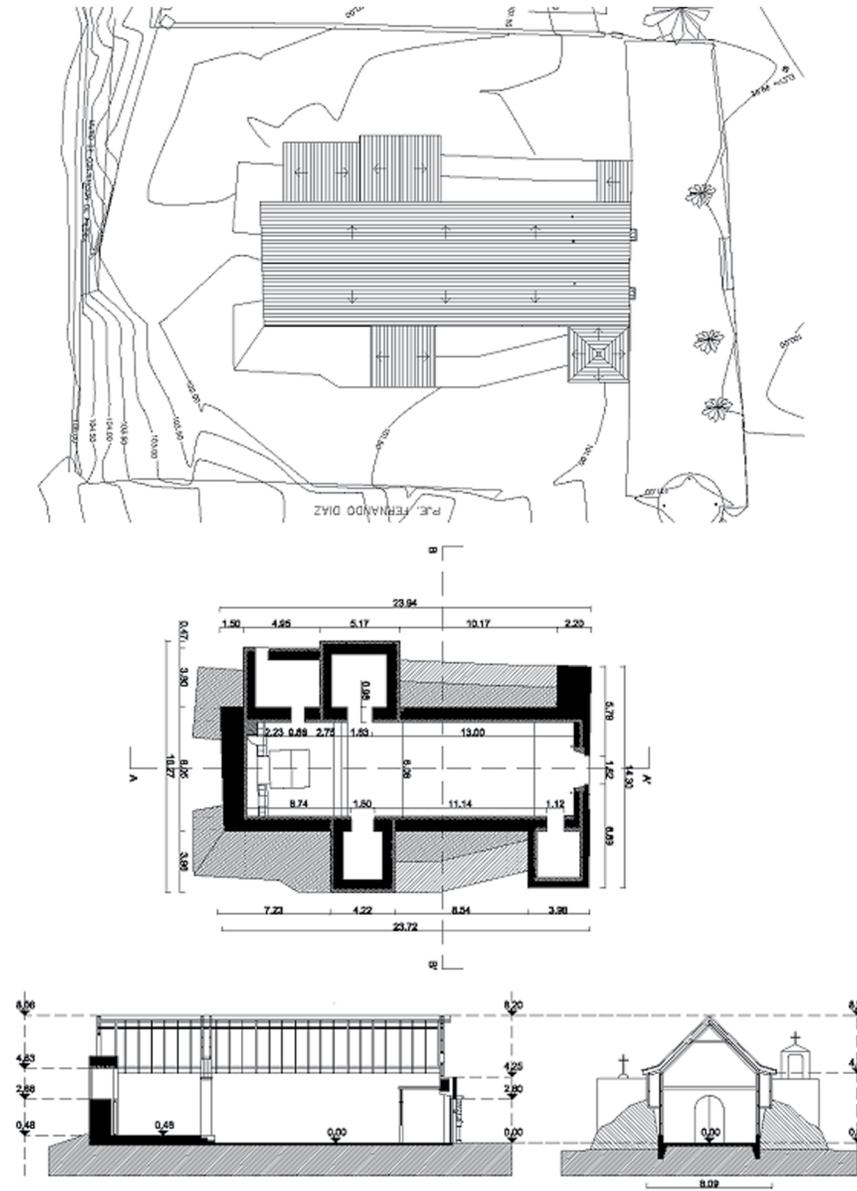


Figura 38. Plano de emplazamiento; planta de arquitectura nivel +2.00m; corte AA' y BB' de la iglesia de Laonzana. Fuente: Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas de Chile en Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, 2010.

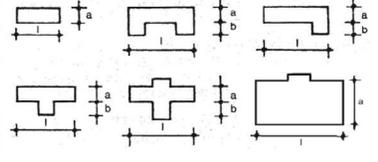
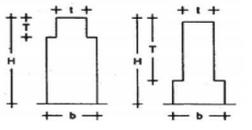
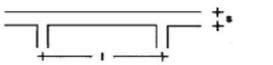
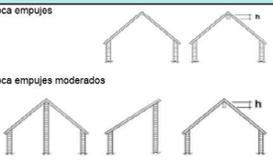
FICHA DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CONSTRUCTIVA DE BIENES CULTURALES INMUEBLES						 <small>ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y MUSEOLOGÍA DE LA FAJ</small> <small>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</small>					
ENTE CATALOGADOR		-		FECHA	-	CLAVE	-				
CÓDIGOS IDENTIFICATORIOS		TIPO DE FICHA	- Ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva			CLASIF. VULNERABILIDAD	57.9				
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE		RELACIÓN CON OTRAS FICHAS	Ficha de catálogo del Monumento Histórico Iglesia de Laonzana				Vulnerabilidad ALTA				
		Monumento Histórico Iglesia de Laonzana									
TABLA DE SEVERIDAD DE LAS AMENAZAS											
AMENAZAS (EL PEOR ESCENARIO) SEGÚN SU PROBABILIDAD DE OCURRENCIA				SEVERIDAD							
				MAGNITUD MÁXIMA HISTÓRICA	INTENSIDAD MÁXIMA HISTÓRICA	SIN DAÑOS/SIN AMENAZA	LEVE O GRADUAL	CATASTRÓFICA			
EVENTOS ESPORÁDICOS (MUCHAS VECES EN UN SIGLO)	Amenaza sísmica			8.5	X			x			
	Deslizamiento de laderas			S/Inf.	S/Inf.			x			
	Amenaza volcánica			No	No	x					
	Amenaza hidrometeorológica (Precipitación máx. diaria)			20.2mm	S/Inf.		x				
PROCESOS CONTINUOS (PUEDEN OCURRIR CONTINUO O INTERMITENTEMENTE)	Amenaza química - tecnológica			No	No	x					
	Incendios forestales			No	No	x					
	Amenaza por erosión (Precip. diaria máx. y vientos máx.)			20.2mm/70km/h	S/Inf.		x				
	Amenaza por estrés físico (Oscilación térmica máx. / frecuencia heladas)			0-30° / abril a julio	S/Inf.		x				
	Contaminación atmosférica			No	No	x					
	Amenaza socio - organizativa			No	No	x					
Disminución demográfica y falta de mantenimiento			Si	-		x					
PARÁMETROS	CLASE	CALIDAD INFORM.	ELEMENTOS DE EVALUACIÓN				ESQUEMAS Y REFERENCIAS DE LOS PARÁMETROS				
1	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y CIMENTACIONES	B	M	PENDIENTE DEL TERRENO				16%			
				ROCA				CON CIM.	X	SIN CIM.	
				TERRENO SUELTO SIN EMPUJES				CON CIM.		SIN CIM.	
				TERRENO SUELTO CON EMPUJES				CON CIM.		SIN CIM.	
				DIFERENCIA MÁX. DE ALTURA ENTRE FUNDACIONES				CON CIM.		SIN CIM.	
				RELACIÓN %				$\beta 1 = a/l \times 100$		34%	
2	CONFIGURACIÓN PLANIMÉTRICA	D	M	RELACIÓN %				$\beta 2 = b/l \times 100$	18%		
				CLASE A				$\beta 1 \geq 80; \beta 2 \leq 10$			
				CLASE B				$60 \leq \beta 1 < 80; 10 < \beta 2 \leq 20$			
				CLASE C				$40 \leq \beta 1 < 60; 20 < \beta 2 \leq 30$			
3	CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	A	M	RELACIÓN % A/A				(+) AUMENTO	-		
				RELACIÓN % T/H				(-) REDUCCIÓN	-		
				% DE SUPERFICIE APORTICADA					-		
				PÓRTICO EN PLANTA BAJA				SI		NO	X
4	DISTANCIA ENTRE LOS MUROS	C	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
5	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	A	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
6	TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	D	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
7	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	D	M	TIPO DE PARAMENTO	I - Adobe						
8	ESTRUCTURAS HORIZONTALES	D	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
9	CUBIERTA	C	M	CARGA PERMANENTE DE CUBIERTA (tm ²)					Cubierta que provoca empujes		
				LARGO DE APOYO DE LA CUBIERTA (la (m))							
				PERÍMETRO CUBIERTA (l (m))							
10	ESTADO DE CONSERVACIÓN	C	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
12	ALTERACIONES EN EL ENTORNO	C	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
13	ALTERACIONES EN EL SISTEMA CONSTRUCTIVO	B	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
14	VULNERABILIDAD AL FUEGO	B	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)							
PAG. 1						 <small>Instituto Nacional de Antropología e Historia</small>					

Figura 39. Ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de la Iglesia de Laonzana.

FICHA DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CONSTRUCTIVA DE BIENES CULTURALES INMUEBLES								
11. IDENTIFICACIÓN DE AGRIETAMIENTOS Y MECANISMOS DE COLAPSO								
DAÑOS		IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑOS						
		ELEMENTO EVALUADO (% DEL ELEMENTO)						
		FACHADA NORTE	FACHADA PONIENTE	FACHADA SUR	FACHADA ORIENTE	CUBIERTA	MUROS DIVISORIOS	ENTREPISO
DAÑOS ESTRUCTURALES	COLAPSO ESTRUCTURAL	-	-	-	-	-	-	-
	GRIETA PASANTE	-	-	-	-	-	-	-
	GRIETA NO PASANTE	-	-	-	-	-	-	-
	DESPL. OMI	-	-	-	-	-	-	-
	PERDIDA DE ELEMENTOS	-	-	-	-	-	-	-
	ASENTAMIENTOS	-	-	-	-	-	-	-
	DERRUMBES	-	-	-	-	-	-	-
	NUCLEOS EXPUESTOS	-	-	-	-	-	-	-
	DESPLAZAMIENTOS	-	-	-	-	-	-	-
	ABOMBAMIENTOS	-	-	-	-	-	-	-
DAÑOS NO ESTRUCTURALES	EROSIÓN	-	-	-	-	-	-	-
	OQUEDADES	-	-	-	-	-	-	-
	PERDIDA DE RELIEVES	-	-	-	-	-	-	-
	PERDIDA DE APLANADO	-	100%	100%	100%	-	Sin inf.	-
	FISURAS	-	-	-	-	-	-	-
	ESCOMBRO	-	-	-	-	-	-	-
	DISGREGACIÓN	-	100%	100%	100%	-	Sin inf.	-
	PERDIDA DE ACABADO	-	100%	100%	100%	-	Sin inf.	-
	FLORA SUPERIOR/INF	-	-	-	-	-	-	-
	EFLORESCENCIAS	-	-	-	-	-	-	-
HUMEDAD	INFILTRACIÓN ASCENDENTE	-	-	-	-	-	-	-
	INFILTRACIÓN DESCENDENTE	-	-	-	-	-	-	-
	INFILTRACIÓN PUNTUAL	-	-	-	-	-	-	-

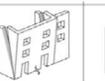
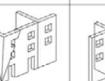
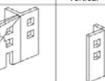
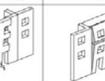
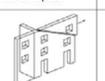
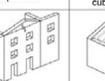
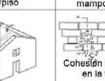
CROQUIS DE LOS PRINCIPALES AGRIETAMIENTOS DEL EDIFICIO



OBSERVACIONES Más que agrietamientos se presentaba disgregación del adobe y mampostería de piedra por falta de aplanado, y alteraciones en las torres y en el sistema de cubierta

IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES MECANISMOS DE COLAPSO

MECANISMO OBSERVACIONES No se aprecian grietas importantes como para la identificación de un mecanismo.

A	B1	B2	C	D	E	F
Volteo vertical	Volteo con un ala	Volteo con dos alas	Falla en la esquina	Volteo parcial	Volteo franja vertical	Arco vertical
						
Más fallas parciales			Fallas asociadas			
G	H	I	L			
Arco horizontal	Falla en el plano	Adición vertical	Volteo espadaña	Colapso de cubierta/piso	Falla de mampostería	
						

RESOLUCIÓN (MARCAR CON UNA X)

HABITABLE		TEMPORALMENTE INHABITABLE		INHABITABLE		ACCIONES	
G1	Daño superficial leve	G1	Daño estructural, por ejemplo en techumbre y plafones	G1	Daño estructural severo	REQUIERE DE UNA REVISIÓN MÁS DETALLADA (ESTRUCTURAL, GEOTÉCNICA U OTRA)	
G2	Daño superficial	G2	Daño estructural grave en muros, etc.	G2	Colapso parcial	REQUIERE IMPEDIR EL ACCESO	
G3	Daño estructural leve			G3	Colapso total	OTRAS ACCIONES	
PARTICIPANTES		Daniela Díaz					

PAG. 2



Figura 39. (continuación) Ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de la Iglesia de Laonzana.

Llenado de la ficha:

Tabla de severidad de las amenazas

Se llenó con base en los listados y estudios, descritos en este capítulo, realizados previamente para la evaluación de las amenazas.

1. Posición del edificio y cimentaciones

Clase B: Edificios emplazados sobre roca con pendiente entre $10\% < p \leq 30\%$. Como se señaló en el apartado 3.2, el tipo de suelo predominante es de características rocosas con alta presencia de grava (suelos de clasificación I y II según la Nch 433 of. 96) que atenúan la velocidad de la onda sísmica. Debido a que la iglesia se emplaza sobre roca, en una pendiente de 16%, no se consideran las características de las cimentaciones.

2. Configuración planimétrica o geometría

Clase D: $\beta_1 < 40$; $\beta_2 > 30$

$a = 8$ m; $b = 4.3$ m; $l = 23.6$ m

$\beta_1 = a/l \times 100 = 33.9$

$\beta_2 = b/l \times 100 = 18.2$

3. Configuración en elevación

Clase A: Edificios con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.

4. Distancia entre los muros

Clase C: Edificios que presentan sólo tres de las siguientes relaciones geométricas:

- La esbeltez de los muros no debe ser mayor que 8. El espesor mínimo de muros está determinado implícitamente por la esbeltez máxima:

$$\text{Esbeltez} = H/e = 4.46 / 1 = 4.46 < 8.$$

- Los vanos no deben tener un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro: El vano más grande es el de acceso, de 1.84 m < (2.5 m × 1 m).

- Los vanos de ventanas y puertas se deben ubicar a una distancia no menor a tres veces el espesor del muro desde el borde libre más próximo: existe un vano en la esquina en la sacristía, y el muro entre el acceso a la sacristía y el acceso a la capilla lateral mide 2.8 m, por tanto, en ninguno de estos casos se cumple la distancia mínima de (3 × 1 m).

- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro, debe ser menor a seis veces el espesor del muro: no se cumple, sobre todo en la nave de la iglesia.

- La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor que 10% de su altura: el 10% de 4.46 m son 0.45 m, y no se observan desplomes que superen esta medida.

5. Elementos no estructurales

Clase A y B: Edificios sin accesorios, salientes o voladizos.

6. Tipo y organización del sistema resistente

Clase D: Edificios con paredes ortogonales no eficientemente trabadas entre ellas:

- Con conexiones entre muros y entrepisos propios del sistema original o con materiales compatibles, pero contruidos de manera deficiente, sin cubrir

toda la sección de los muros o con un mal funcionamiento debido a su estado de conservación.

7. Calidad del sistema resistente

Los paramentos son de:

I - Adobe: estructura ejecutada con bloques fabricados con tierra cruda (barro), paja y, opcionalmente, aditivos destinados a mejorar su calidad y capacidad mecánica, que son secados al aire y que se deben colocar según un determinado aparejo, unidos mediante un mortero de barro.

Clase D: Albañilería de adobe con deficiencias en el aparejo de los bloques y en el traslape entre los muros ortogonales, y con mortero de lodo de baja calidad debido a su estado de conservación, o con morteros de cemento aplicados en intervenciones posteriores de rejunteo.

8. Estructuras horizontales

Clase D: Edificios con estructuras horizontales propias del sistema constructivo tradicional o ejecutadas con materiales compatibles en cuanto a resistencia y rigidez, mal conectadas a los muros.

9. Cubierta

Clase C: Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.

10. Estado de conservación

Clase C: Edificios que, aunque no tienen daños, presentan un estado de conservación de la mampostería que determina una reducción de su resistencia.

11. Identificación de agrietamientos y mecanismos de colapso

Más que agrietamientos, se presenta disgregación del adobe y de la mampostería de piedra de los contrafuertes por falta de aplanado en 100% de las fachadas poniente, sur y oriente. Además, existen alteraciones en las torres y en el sistema de cubierta. No se identificó algún posible mecanismo de colapso.

12. Alteraciones en el entorno

Clase C: Edificios que cuenten con hasta seis de estas condiciones:

- Accesibilidad (en caso de desastre o siniestro, el edificio no cuenta con una red de caminos y/o infraestructuras necesarias): Sí
- Uso / abandono (el edificio se emplaza en un contexto que se encuentra en condición de abandono): Sí
- Densidad demográfica (el edificio se emplaza en una zona densamente poblada): No
- Aislamiento (el edificio se encuentra fuera de una zona habitada, o a una distancia considerable con respecto a otro centro poblado): Sí
- Relación con el contexto geográfico (el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno geográfico): Sí
- Relación con el contexto construido (el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno construido): No

- Relación con la comunidad (el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno social): No
- Desinterés (tanto el entorno físico como social mantienen una relación de desinterés con respecto al bien inmueble): No

13. Alteraciones negativas en el sistema constructivo

Clase B: Edificio con modificaciones en el sistema constructivo con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez, pero que no son reversibles.

14. Vulnerabilidad al fuego

Clase B: Edificios que cuenten con hasta tres de estas condiciones:

- Ornamentos y muebles inflamables: Sí
- Acumulación de polvo, suciedad y basura en cubiertas o bodegas: No
- Muros, pisos y puertas con resistencia deficiente al fuego: No
- Falta de compartimentación y divisiones interiores. Escaleras abiertas: Sí
- Medios de escape inadecuados a través de puertas, pasillos o escaleras: No
- Falta de llaves maestras, cerraduras obsoletas: Sin información
- Instalaciones eléctricas defectuosas: Sin información
- Chimeneas defectuosas con acumulación de hollín y grasa: No
- Bajo estándar de administración y servicio de limpieza: No
- Fracaso en el contacto con bomberos y en la organización de simulacros de incendio: Sin información
- Peligro derivado de incendios provocados por fumar o por operaciones en la cocina: Sí (por presencia de velas encendidas)

Cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica

	Parámetros	Clase	Ponderación	Peso	Total
1	Posición del edificio y cimentaciones	<i>B</i>	1.35	0.75	1.01
2	Configuración planimétrica	<i>D</i>	12.12	0.5	6.06
3	Configuración en elevación	<i>A</i>	0	1.0	0
4	Distancia entre muros	<i>C</i>	6.73	0.25	1.68
5	Elementos no estructurales	<i>A</i>	0	0.25	0
6	Tipo y organización del sistema resistente	<i>D</i>	12.12	1.5	18.18
7	Calidad del sistema resistente	<i>D</i>	12.12	0.25	3.03
8	Estructuras horizontales	<i>D</i>	12.12	1.0	12.12
9	Cubierta	<i>C</i>	6.73	1.0	6.73
10	Estado de conservación	<i>C</i>	6.73	1.0	6.73
12	Alteraciones en el entorno	<i>C</i>	6.73	0.25	1.68
13	Alteraciones en el sistema constructivo	<i>B</i>	1.35	0.25	0.34
14	Vulnerabilidad al fuego	<i>B</i>	1.35	0.25	0.34
				Total	57.9

Figura 40. Cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de la iglesia de Laonzana. Fuente: Elaboración propia, 2015.

5. Llenado de la ficha para priorizar la atención en función de los valores del monumento histórico iglesia de Laonzana, región de Tarapacá

Para el llenado de la ficha se utilizó principalmente la información presente en el decreto de declaratoria como monumento histórico de la iglesia, fotografías y la información presente en la Nómina de Monumentos Nacionales, desarrollada por el Consejo de Monumentos Nacionales.²¹⁰

Los valores que preservan en mayor medida su integridad y su autenticidad son su valor histórico y el simbólico-significativo, los sigue el valor de uso y, posteriormente, los de antigüedad, el estético y el científico. Esto se debe a la falta de integridad y autenticidad de su techumbre y de la torre en la fachada, ya que, al haber sido alteradas, se modificó en gran medida las proporciones, los materiales y la expresión exterior de la iglesia.

Por otra parte, su escasez a nivel nacional es media, debido a que existen otras iglesias con esta tipología. Debido a que las iglesias del altiplano están incluidas en la lista tentativa para ser postuladas por Chile como Sitios de Patrimonio Mundial, la iglesia de Loanza se clasificó con una ponderación media respecto a su escasez a nivel internacional. Luego de la aplicación de la ficha para priorizar la atención en función de los valores en el monumento histórico iglesia de Laonzana, su ponderación fue de 1.94, por tanto baja (véase figura 41).

²¹⁰ La Nómina de Monumentos Nacionales y el decreto de declaratoria, se encuentran disponibles en www.monumentos.cl, consultado en mayo de 2015.

			Ponderación			
			Integridad Autenticidad 3: 71-100% 2: 41-70% 1: 0-40%	Escasez a nivel nacional Alta: 3 Media: 2 Baja: 1	Excepcionalidad (único o raro) Sitio de Patrimonio Mundial: 3 Lista Tentativa para SPM: 2 Otros: 1	Resultado (Promedio)
Valores socioculturales	Antigüedad (Huella del tiempo)	Huella del tiempo en materiales y fábrica	2	1	2	1.66
	Histórico (Asociado a un hecho histórico, autor y/o comitente)	Fábrica, uso, asociaciones, registros, sitios y objetos relacionados	3	2	2	2.33
	Simbólico – significativo (Conmemorativo, voluntad de recordar, significación en el contexto urbano, relación con el entorno)	Técnicas, entorno, significados, uso y función, tradición, espíritu y sentimiento	3	3	2	2.66
	Estético (Representatividad, inserción en una determinada corriente estilística, belleza y relación con el arte)	Concepto, forma, materiales, fábrica, emplazamiento y sentimiento	1	2	2	1.66
Valores económicos	Científico (Fábrica, materiales y técnicas utilizadas, grado de innovación)	Fábrica, materiales y técnicas	2	2	2	2
	Uso y/o valor económico (Función, asociaciones y sitios relacionados; valor de cambio)	Asociaciones, sitios relacionados, uso y función.	1	1	2	1.33
		Resultado	2	1.83	2	1.94

Figura 41. Ficha de priorización de la atención en función del valor patrimonial de la iglesia de Laonzana. Fuente: Elaboración propia (2015).

6. Mapa temático de escenarios de peligro o amenaza en la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, oasis de Chiu Chiu, comuna de Calama, región de Antofagasta

6.1. Antecedentes mínimos de la cartografía base

En este caso, la cartografía base se ha conseguido de las siguientes fuentes:

1. Planos topográficos: Base cartográfica 1:50000 del Instituto Geográfico Militar.
2. Fotos satelitales: Google Earth.
3. Hidrografía: Cursos de agua con base en curvas de nivel elaborado por el Instituto Geográfico Militar.
4. Vialidades principales y secundarias, así como sus diferentes tipologías: No se cuenta con esta información debido a que se trata de zonas rurales.
5. Localización geográfica puntual o polígonos de protección de los bienes culturales inmuebles: Geoportal del Consejo de Monumentos Nacionales.

6.2. Amenaza sísmica

a. Listados y estudios previos

1. Catálogos de sismos históricos, intensidades de sismos históricos y aceleraciones máximas del terreno

Para el análisis determinístico de la amenaza sísmica, se definirá el escenario más desfavorable con base en la información histórica del sector en el que se emplaza la iglesia de Chiu Chiu, para esto se considerará la mayor magnitud e intensidad registrada. También se tomará en cuenta la zonificación sísmica definida por la Norma Chilena para el cálculo de estructuras antisísmicas.

Como se mostró en el caso anterior, la Norma Chilena 433, oficializada en el año 1996, zonifica el territorio con base en las distintas magnitudes de amenaza sísmica, a partir de los valores de aceleración máxima del suelo y la amplificación de la onda. Se utiliza un factor de atenuación que depende del tipo de suelo especificado en los mapas geológicos (véanse tablas 8 y 9).

En esta norma, el territorio chileno se divide en tres zonas sísmicas (1, 2 y 3) a modo de franjas paralelas a la línea de la costa, con intensidad decreciente de océano a cordillera. Según lo anterior, el oasis de Chiu Chiu pertenece a la zona 1, lo que implica una aceleración de gravedad de 0.20 g (véase figura 42).

Por otra parte, el tipo de suelo predominante es de características rocosas con alta presencia de grava (suelos de clasificación I y II), que atenúan la velocidad de la onda sísmica.²¹¹ Con base en la tabla del Centro Sismológico

211 N. Jorquera, *op. cit.*, p. 13.



Figura 42. Zonificación sísmica de la II región y ubicación de la zona en estudio. Fuente: NCH 433 of. 96, intervenido con la ubicación de la zona de estudio.

Nacional de la Universidad de Chile, utilizada también en el caso anterior, se presentan los datos sólo considerando los epicentros ubicados en la región de Antofagasta (véase tabla 16), y posteriormente estos epicentros se ubicaron geográficamente en la figura 43.

Tabla 16. Datos históricos de terremotos históricos en la región de Antofagasta.

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Magnitud	Profundidad	Efecto
04-10-1910	19:00	-22.00	-69.00	7.3	-	-
29-07-1957	13:15	-23.50	-71.50	7	-	-
19-10-1929	16:18	-23.00	-69.00	7.5	100	-
29-05-1949	21:32	-22.00	-69.00	7	100	-
09-12-1950	17:38	-23.50	-67.50	8.3	100	-
03-08-1962	4:56	-23.30	-68.10	7.1	107	-
06-12-1953	22:05	-22.10	-68.70	7.4	128	-
08-07-1942	1:55	-24.00	-70.00	7	140	-
28-04-1926	7:13	-24.00	-69.00	7	180	-
28-12-1966	4:18	-25.51	-70.74	7.8	23	-
20-11-1928	16:35	-22.50	-70.50	7.1	25	-
21-12-1967	22:25	-21.80	-70.00	7.5	33	-
23-02-1965	18:11	-25.67	-70.63	7	36	-
15-05-1925	7:18	-26.00	-71.50	7.1	50	-
04-12-1918	7:47	-26.00	-71.00	8.2	60	TM
13-07-1936	7:12	-24.50	-70.00	7.3	60	-
05-03-1987	6:17	-24.39	-70.16	7.3	62	T
17-06-1971	17:00	-25.40	-69.06	7	76	-
14-11-2007	12:40	-22.31	-70.08	7.5	47.7	-
30-07-1995	1:11	-23.36	-70.31	7.3	47	T

T: Tsunami; TM: Tsunami moderado; TD: Tsunami destructor y mayor; - : Sin información
 Fuente: Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (www.sismologia.cl).

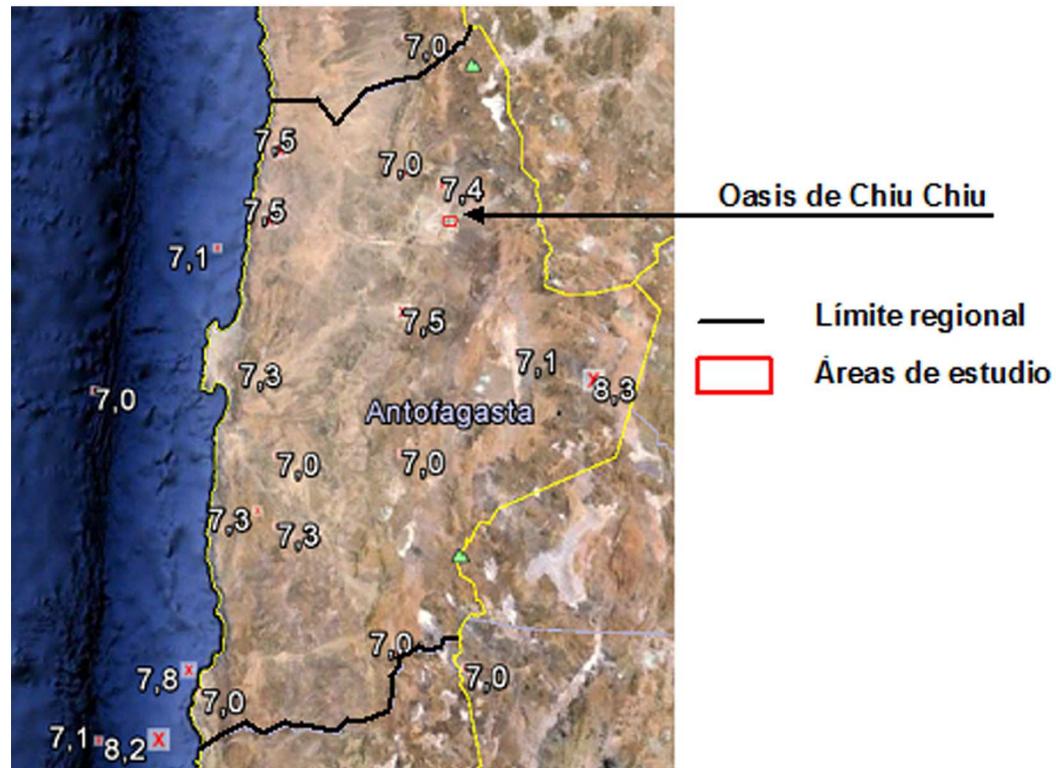


Figura 43. Ubicación de los epicentros de los terremotos ocurridos desde 1570 en la región de Antofagasta. Se marcó en un cuadro rojo la ubicación del oasis de Chiu Chiu. Fuente: Elaboración propia con base en la tabla del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile.

Con base en los datos anteriores, es posible concluir que en esta región han ocurrido 19 terremotos a lo largo de 97 años, y la magnitud máxima alcanzada ha sido de 8.3 Richter, registrada en 1950. Debido a que en esta tabla los efectos no están medidos en intensidad Mercalli, sino en relación a si se produjo o no un maremoto, se considerarán los datos de la tabla 6, que indican la posibilidad de que en se pueda alcanzar una intensidad Mercalli de X, lo que da cuenta de un riesgo latente que puede provocar daños graves en las construcciones, licuación de arenas y/o deslizamiento de laderas.

2. Estudios y recopilación de datos sobre áreas impactadas por tsunamis históricamente

Debido a que la zona de estudio no se encuentra en el área costera, no se recopilará información respecto a este punto.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Sismos históricos

Debido a la escala local de análisis que se pretende para el caso de la iglesia de Chiu Chiu, no es necesario identificar los epicentros de los sismos históricos, pues es suficiente contar con la información previamente descrita. En este contexto, es importante señalar que los terremotos más cercanos al área de estudio ocurrieron en 1953, de magnitud 7.4 (a 27 km); en 1910, de magnitud 7.3 (a 52 km); y en 1949, de magnitud 7.0 (a 52 km).

ii. Regionalización sísmica

Debido a que este estudio pretende abordar una escala de microzonificación, la regionalización sísmica no se representará en el mapa de amenazas, sino que se considerará el dato de la Nch 433 of. 96, que indica que el área de estudio se encuentra en la zona 1, con una aceleración máxima de 0.20 g.

iii. Intensidades sísmicas

Debido a que este estudio pretende abordar una escala de microzonificación, las intensidades sísmicas no se representarán en el mapa de amenazas, sino que se tomará en cuenta la información de la tabla 6, que indica que la intensidad máxima alcanzada en esta zona es de X.

6.3. Amenaza de deslizamiento de laderas o deslaves

a. Listados y estudios previos

1. Topografía de los alrededores y geometría de los taludes

Con base en las curvas de nivel, y mediante el programa ArcGis, se mapearán las pendientes del terreno en el mapa de amenazas que se muestra en el apartado 6.12.

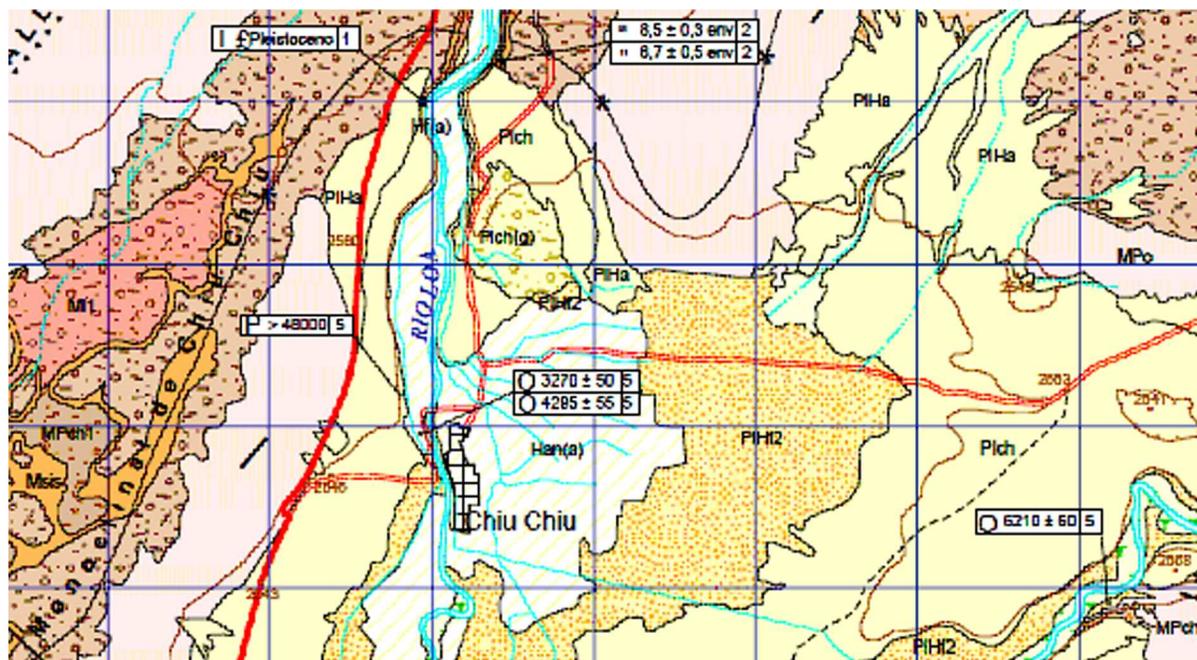


Figura 44. Extracto de la Carta Chiu Chiu. Fuente: Subdirección Nacional de Geología, 2009.

2. Distribución de la estratificación de los materiales térreos

No fue posible acceder a estudios de mecánica de suelos en el área de estudio, por lo que para este análisis no se contará con esta información.

3. Propiedades mecánicas de deformabilidad, resistencia y permeabilidad de los suelos constituyentes

Con base en el Mapa Geológico de Chile, el área de estudio se compone de las siguientes secuencias geológicas (véase figura 44):

- Han (a): depósitos y cubiertas antrópicas (Holoceno superior). Suelos de uso agrícola desarrollados en: Hf (b) (depósitos fluviales y de ciénagas activos (Holoceno superior). Gravas, arenas, limos, arcillas, alfombras orgánicas, diatomitas y sínteres calcáreos. Llanuras y terrazas fluviales, ciénagas actuales y subactuales; y PIHf2.²¹²
- PIHf2: depósitos fluviales y de ciénagas antiguos (Pleistoceno superior-Holoceno superior). Gravas, arenas, limos, arcillas, alfombras orgánicas, diatomitas y tufas, semiconsolidados y bien estratificados, expuestos en terrazas en los ríos Loa y Salado. Constituyen depósitos aterrazados incisos en la formación Chiu Chiu. Terrazas cortadas por los cursos actuales (Holoceno).

Por otra parte, según un informe de la Dirección General de Aguas, el oasis de Chiu Chiu presenta rocas sedimentarias y sedimentos no consolidados,

212 Subdirección Nacional de Geología, "Carta Chiu Chiu, región de Antofagasta" en *Carta Geológica de Chile*, Serie geología básica, Santiago, 2009.

con un espesor medio de aproximadamente 300 m y potencias de hasta 2 500 m, los que sobreyacen a un basamento ígneo-metamórfico. Se verifica, asimismo, la presencia de diversos sistemas de fallas, de carácter regional y local, normales, inversas y de rumbo, lo que forma estructuras de *horst* y *graben*, las que afectan al basamento, y modifican la geometría del relleno sedimentario.²¹³

Específicamente, la formación Chiu Chiu se conforma por depósitos de gravas medianamente consolidadas, areniscas laminadas, diatomitas, travertinos y cenizas volcánicas retrabajadas, que afloran en los alrededores de la localidad de Chiu-Chiu. Sobreyace con leve discordancia a la formación El Loa, y está parcialmente cubierta por sedimentos fluviales holocenos del río Loa, sedimentos aluviales recientes y depósitos salinos de los salares Rudolph y Brinkerhoff.²¹⁴ Lo anterior da cuenta de la inestabilidad de la roca de Chiu Chiu, principalmente debido a que se trata de material no consolidado, por los sistemas de fallas y por las estructuras de graben que son muy inestables.

4. Estado de esfuerzos actuantes

No fue posible acceder a estudios geotécnicos y de mecánica de suelos en el área de estudio, por ello en este análisis se deja de lado esa información. Sin embargo, la iglesia de Chiu Chiu se emplaza en el área de inundación del río Loa, en el que se puede observar el deslave del suelo y un posible despren-

213 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca río Loa*, Santiago, 2004, disponible en www.sinia.cl, consultado en abril de 2015.

214 *Ibidem*.

Tabla 17. Precipitaciones mensuales (mm) Periodo: 01/01/2005 - 31/12/2012.

Tabla 17. Precipitaciones mensuales (mm) Periodo: 01/01/2005 - 31/12/2012.												
Estación:		Chiu-Chiu										
Código BNA:		02104010-K		Altitud msnm:		2 524		UTM Norte (m):		7 529 707		
Cuenca:		Río Loa		Latitud S:		22° 20' 16"		UTM Este (m):		537 415		
Cuenca:		Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)		Longitud W:		68° 38' 12"		Área de drenaje (km²):		0		
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	0.2	0	0	1	0	0	0	0	1.1	0	0	0
2006	0	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	0.5	0.1	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	8.9	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	0	0.5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	0	0	1.8	1.2	0	0	0	0	0.3
2012	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>).

Tabla 18. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas (mm). Periodo: 01/01/2004 - 31/12/2014.

Estación:	Chiu-Chiu				
Código BNA:	02104010-K	Altitud msnm:	2 524	UTM Norte (m):	7 529 707
Cuenca:	Río Loa	Latitud S:	22° 20' 16"	UTM Este (m):	537 415
Cuenca:	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Longitud W:	68° 38' 12"	Área de drenaje (km²):	0
	Año	Fecha	máxima precipitación en 24 horas (mm)		
	2004	05/02	3.50		
	2005	13/09	1.10		
	2006	13/02	1.50		
	2007	24/06	2.50		
	2008	01/01	0.00		
	2009	12/03	6.00		
	2010	30/04	1.50		
	2011	19/06	1.50		
	2012	09/02	2.00		
	2013	16/05	3.00		
	2014	05/04	0.50		

Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>).

dimiento, por lo que podrían existir esfuerzos que posteriormente generen asentamientos diferenciales (véase figura 45).

5. Régimen de precipitaciones pluviales normales y extraordinarias probables

La información del oasis de Chiu Chiu sobre precipitaciones pluviales normales y máximas anuales en 24 horas, se obtuvo del sitio web de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, las mediciones existen desde 2004. Los datos consultados en la estación emplazada en Chiu Chiu, se muestran en las tablas 17 y 18.

A partir de la información anterior es posible concluir que en el oasis de Chiu Chiu la precipitación pluvial, que se produce principalmente en los meses de enero y febrero, es mínima y bastante irregular durante el año. Por otra parte, la precipitación máxima en 24 horas en este periodo fue de 6 mm en marzo de 2009. En junio de 2005 no hubo precipitaciones pluviales, situación que probablemente disminuyó el riesgo de deslizamientos de ladera en el terremoto del 13 de junio.

6. Estudios de hidrología superficial e hidrogeología, y de aguas subterráneas

El mapa de los cursos de agua se obtuvo del Instituto Geográfico Militar, institución que lo elaboró con base en la información de curvas de nivel existente en este mismo instituto. Debido a la escala de análisis, en el mapa de amenazas sólo se representará el curso de agua del río Loa.



Figura 45. Deslave de ladera oriente del río Loa y erosión en la base del muro del atrio de la iglesia de Chiu Chiu, producto de crecidas del cauce del río Loa. Fuente: Google Earth.



Figura 46. Emplazamiento de la iglesia de Chiu Chiu a 15 metros de un deslizamiento de suelo producto del paso del cauce del río Loa. Fuente: Google Earth.



Figura 47. Perspectiva del emplazamiento de la iglesia de Chiu Chiu a 15 metros de un desprendimiento de suelo producto del paso del cauce del río Loa. Fuente: Google Earth.

7. Identificación de actividades humanas que puedan haber provocado cambios en el régimen de la presión del agua del subsuelo, cambio en la topografía de la ladera y la imposición de sobrecargas, o deforestación sin la evaluación geotécnica pertinente.

Para este análisis se utilizaron fotos aéreas del emplazamiento de la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu. En la foto aérea es posible apreciar que si bien la iglesia se encuentra emplazada en un terreno bastante plano y sin laderas alrededor, podría existir una amenaza de deslave ya que se encuentra a 15 metros de una zona que presenta desprendimientos debido al paso del cauce del río Loa (véanse las figuras 45, 46 y 47).

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Inestabilidad de laderas naturales

Los sectores con amenaza de deslizamiento de laderas se representarán en el mapa de amenazas según la geomorfología, el clima, la edafología y la ubicación de la cuenca hidrológica del oasis de Chiu Chiu. También se definirá con base en las condiciones geológicas, la precipitación pluvial y la pendiente del terreno. Además, se mapearán los sectores donde se han presentado desprendimientos de suelo y deslaves a causa de las crecidas del río Loa. No se incluirán los lugares deforestados porque es una zona desértica con escasa vegetación.

ii. Flujos de lodo y escombros

Si bien la iglesia de Chiu Chiu se emplaza en un escurrimiento natural de agua, el cauce del río Loa, debido a la escasa precipitación pluvial anual, existe un peligro menor de que se produzca un flujo de lodo o escombros en esta zona. Esto podría suceder en los meses de enero o febrero, es decir, durante el invierno altiplánico; sin embargo, no se cuenta con información histórica de este peligro para agregarlo en el mapa de amenazas.

iii. Hundimientos regionales y locales acompañados de agrietamientos

Debido a que esta información sólo es necesaria en regiones donde se extrae agua subterránea mediante bombeo profundo, no es aplicable al caso de estudio.

6.4. Amenaza volcánica

a. Listados y estudios previos

1. Ubicación y caracterización de los volcanes activos existentes en la región: tipo de volcán, registros de erupciones históricas, alcance de sus efectos y su relación con el patrimonio edificado del área de estudio

En la región de Antofagasta existen volcanes activos que son monitoreados por el Servicio Nacional de Geología y Minería, institución que ha generado mapas de amenaza volcánica y realiza reportes mensuales sobre su actividad. Con base en esta información, y en los mapas de amenaza volcánica a nivel

regional, es posible concluir que si hiciera erupción alguno de los volcanes activos de la región, entre los que se encuentran el Olca, el Ollagüe, el Láscar, el Lastarria y el volcán San Pedro, el único que afectaría al área de estudio sería este último, por lo que sólo se caracterizará este volcán.

Volcán San Pedro

Comuna: Ollagüe.

Coordenadas: 21°53'15"S – 68°23'30" W.

Poblados más cercanos: Ascotán, Cupo, Paniri, Inacaliri.

Ranking de riesgo específico: 32.

Altura: 6145 msnm.

Diámetro basal: 21 km.

Área basal: 346 km².

Volumen estimado: 141 km³.

Última actividad: 02/12/1960.

Última erupción mayor: 25/05/1901.

Tipo de volcán: el volcán San Pedro, uno de los volcanes activos más altos del mundo, corresponde a un estratovolcán emplazado en el extremo occidental de una cadena volcánica de orientación este-oeste, de 20 km de largo. Se ubica inmediatamente al oeste del inactivo volcán San Pablo. En su evolución, ha generado potentes lavas andesíticas, domos dacíticos, lavas andesítico-basálticas, además de abundantes depósitos piroclásticos, en su mayoría silíceos.

Una característica notoria de este volcán es que está conformado por dos unidades estructurales, definidas por un estratocono más antiguo, ubicado al este, y otro más reciente, ubicado al oeste. El primero de éstos colapsó y generó un voluminoso depósito de avalancha de detritos hacia el oeste y el noroeste, probablemente asociado a una erupción del tipo pliniana. Por otro lado, lavas y domos que conforman el estratocono actual se emplazan dentro del anfiteatro de avalancha. Estos últimos han colapsado sucesivamente, como consecuencia de la alta pendiente, lo que dio origen a extensos abanicos piroclásticos.²¹⁵

Registros de erupciones históricas: existen numerosos reportes de erupciones durante los siglos XIX y XX; sin embargo, no se ha encontrado evidencia geológica de ellos, lo cual podría significar que hubo erupciones menores. Hoy en día, el volcán San Pedro presenta actividad fumarólica débil en su cráter central.²¹⁶

Reporte de actividad volcánica: el reporte de enero y febrero de 2015 indica que presenta un nivel bajo de riesgo (nivel verde), lo cual implica que es un volcán activo con comportamiento estable, sin riesgo inmediato. El tiempo probable para una erupción podría ser de meses o incluso años.²¹⁷

215 Sernageomin, *Ficha Volcán San Pedro*, disponible en www.sernageomin.cl, consultado en abril de 2015.

216 *Ibidem*.

217 Sernageomin, 2015, *Reporte de Actividad Volcánica (RAV), Región de Antofagasta, Año 2015 enero – febrero*. Documento digital disponible en www.sernageomin.cl, consultado en abril de 2015.

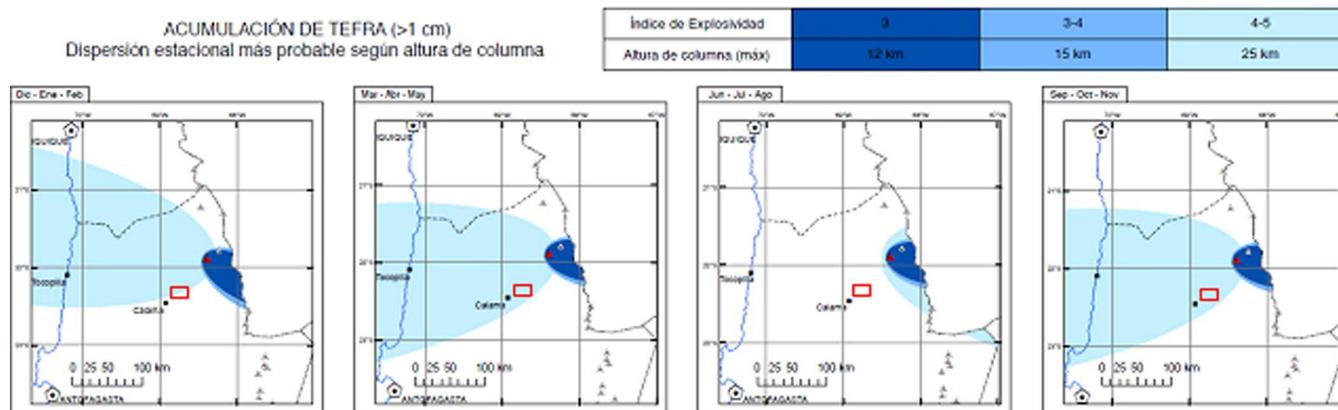


Figura 48. Zonas susceptibles de recibir material piroclástico en superficie. Se identifica en un cuadro rojo el área de estudio. Fuente: Mapa preliminar de peligros volcánicos elaborado por la Subdirección Nacional de Geología, 2011. Disponible en www.sernageomin.cl.

Alcance de sus efectos y su relación con el área de estudio: los mapas de amenaza volcánica de Sernageomin presentan una escala local y otra regional, esta última se muestra a continuación junto con la ubicación del área de estudio, la cual sí resultaría afectada en una erupción de este volcán (véase figura 48), principalmente por la acumulación de tefra de más de 1cm. No obstante, según el mapa a escala local, la totalidad de los posibles depósitos de avalancha volcánica, flujos piroclásticos de gran extensión y lahares de gran volumen, no alcanzarían a afectar la zona de estudio. Por lo anterior, sólo se considerará la amenaza de acumulación de tefra, y no se realizará un mapa de amenaza volcánica a nivel local.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

Si bien existen volcanes activos en el entorno del caso de estudio, éste sólo resultaría afectado por tefra mayor a 1cm proveniente del volcán San Pedro. Por esta razón no se representará la información en el mapa de amenazas, pero se agregará como un dato en la viñeta.

6.5. Amenaza hidrometeorológica

a. Listados y estudios previos

1. Identificar las cuencas hidrográficas y analizar el registro de eventos de inundación regional que se han generado en el pasado

El mapa de las cuencas hidrográficas se obtuvo del Instituto Geográfico Militar, que lo elaboró con la información de curvas de nivel existente en este mismo instituto. Por otra parte, los datos sobre los caudales medios mensuales e información sobre la cuenca fueron facilitados por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

La información del caudal medio mensual de la cuenca en estudio se encontró en la página web <http://snia.dga.cl/>. Es necesario aclarar que la información sólo se otorga por periodos menores a 10 años, y que varias estaciones del río Loa se encontraban suspendidas o no contaban con la información de los periodos solicitados. Para la finalidad de este estudio de caso, se consideró el periodo 2005–2012, ya que el terremoto ocurrió en junio de 2005.

Tabla 19. Caudales medios mensuales (m³/s). Periodo: 01/01/2005 - 31/12/2012.

Tabla 19. Caudales medios mensuales (m ³ /s). Periodo: 01/01/2005 - 31/12/2012.												
Estación:		Río Salado A. J. Loa										
Código BNA:		02105005-9			Altitud msnm:		2 500		UTM Norte (m):		7 526 665	
Cuenca:		Río Loa			Latitud S:		22° 20' 16"		UTM Este (m):		536 865	
Cuenca:		Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)			Longitud W:		68° 38' 12"		Área de drenaje (km ²):		2 378	
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	1.37	0.51	0.48	0.50	0.58	0.68	0.73	0.70	0.55	0.40	0.38	-
2006	0.56	2,50	0.70	0.54	0.62	0.68	0.65	0.63	0.57	0.52	0.45	0.37
2007	0.40	0.42	0.51	0.58	0.70	0.82	0.61	0.57	0.54	0.51	0.52	0.43
2008	0.49	0.46	0.46	0.56	0.54	0.54	0.51	0.47	0.41	0.37	0.34	0.36
2009	0.39	0.40	0.44	0.47	0.50	0.40	0.39	0.38	0.37	0.34	0.34	0.33
2010	0.33	0.35	0.38	0.41	0.42	0.40	0.40	0.41	0.40	0.39	0.39	0.39
2011	-	-	-	-	-	-	0.59	0.58	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-	-	0.96	0.95	0.94	-	-

Fuente: Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>).

La información respecto a los caudales del río Loa indica que en el periodo 2005-2012 no han superado los 2.50 m³/s, y en general mantiene un caudal que fluctúa entre 0.33 y 0.6 m³/s. Si bien sus caudales medios máximos se han registrado en los meses de enero y febrero, en general presenta un mayor caudal en los meses de mayo, junio y julio. Respecto a las condiciones pluviométricas, la Subdere señaló que, en el sector reconocido como Norte Grande, las precipitaciones se producen sobre todo en la Cordillera de los Andes, y que están asociadas al fenómeno conocido como invierno altiplánico, y se manifiestan a través de tormentas eléctricas, crecidas de cursos de agua, aluviones y deslizamientos de tierra.²¹⁸

2. Caracterizar la cuenca hidrográfica con base en su altura sobre el nivel del mar, su geometría, relieve, geomorfología, tipo de suelo, formaciones superficiales, tipo y cobertura de la vegetación de la cuenca y las precipitaciones máximas diarias

La cuenca del río Loa a la altura de Chiu Chiu, corresponde a una cuenca hidrográfica que supera 33 570 km², esto la hace ser tanto la más grande de todo el país como la única cuenca exorreica de toda la región de Antofagasta.

Altura sobre el nivel del mar: 2 524 msnm.

Geomorfología: en la cuenca del río Loa se pueden distinguir tres unidades morfoestructurales: el macizo andino, la depresión intermedia constituida por

218 Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, *op. cit.*

sierras y pampas, y la Cordillera de la Costa. El río Loa nace en Ojos del Miño, en la falda norte del volcán Miño, aproximadamente a 5 651msnm. Desde su nacimiento, fluye en dirección sur por un cañón profundo, aproximadamente 150 km, hasta el oasis de Chiu-Chiu. En este trayecto recibe sus dos tributarios más importantes, ambos desde el oriente: el río San Pedro o Inacaliri y el río Salado. Desde Chiu-Chiu su curso se desvía hacia el oeste, hasta la localidad de Chacauce, donde se une, por su ribera derecha, con el río San Salvador. Desde este punto, su curso se orienta con dirección al norte por un tramo de 80 km hasta el oasis de Quillagua. A partir de Quillagua, el río Loa describe un gran arco y desemboca en el Pacífico en caleta Huelén. Llega al mar con un caudal cercano a 300 l/s, y su caudal medio es de 2.43 m³/s.²¹⁹

La cuenca del río Loa en el entorno del área de estudio se emplaza entre los 1 750 y los 3 000 msnm en la zona oriental. Se encuentra rodeada por cumbres de alrededor de 4 000 msnm.

La cuenca Cenozoica de Calama, donde se emplaza el oasis de Chiu Chiu, corresponde a una depresión de antearco situada en la parte septentrional de la Cordillera de Domeyko, entre la Precordillera y la Cordillera Principal de la región andina de Chile (véase figura 49).

Tipo de suelo: se describió en el apartado 6.3.

Tipo y cobertura de la vegetación de la cuenca: el tipo de vegetación de la cuenca en el área de estudio es de dos tipos:

219 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, *Informe final. Levantamiento información hidrogeológica Región de Antofagasta*, Santiago, 2013, p. 16, disponible en www.dga.cl, consultado en abril de 2015.

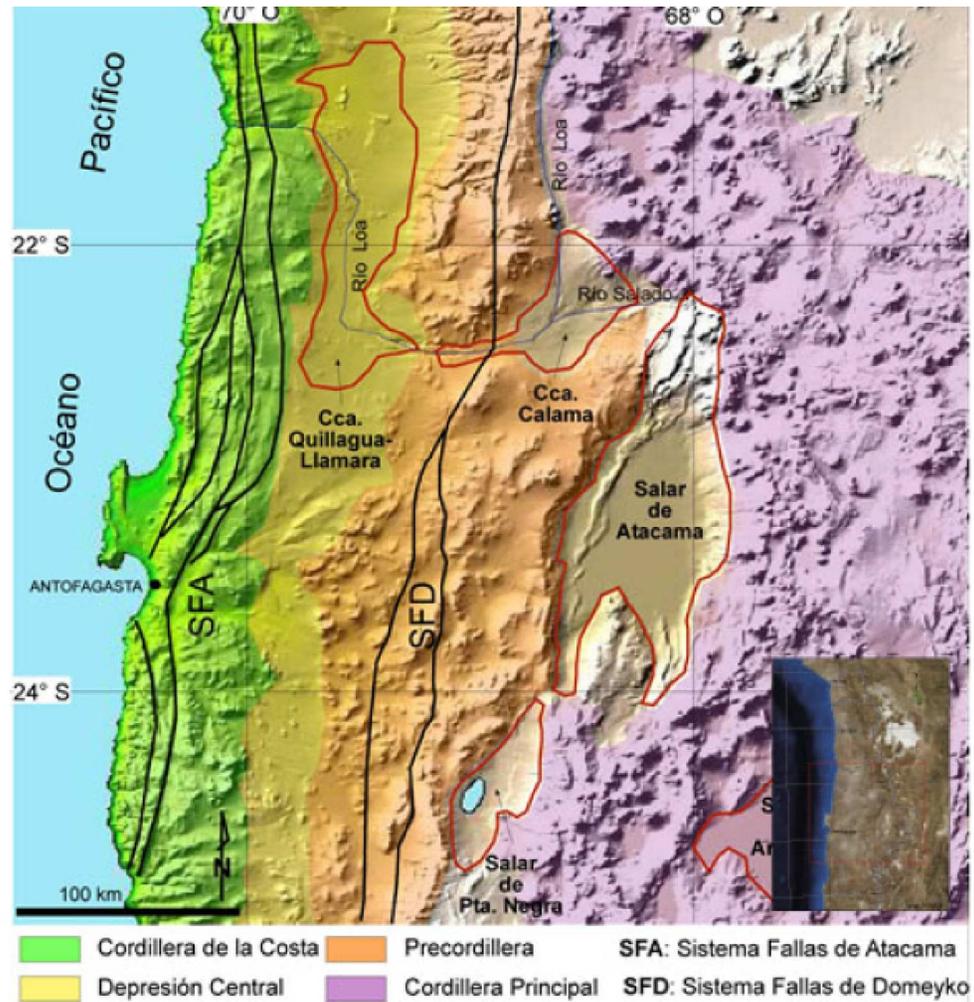


Figura 49. Contexto Geológico de la Cuenca Calama. Fuente: Blanco, 2008 en Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2013, p. 20.

- Desierto de la cuenca superior del río Loa: formación vegetal que muestra características de composición que la relacionan con el piso inferior de la estepa alto-andina de la Puna. Está constituida por arbustos bajos xerófitos; en muchos lugares presenta extensas superficies sin vegetación. Las asociaciones más características son: Rica Rica-Petaloxa (*Acantholippia punensis*-*Franseria meyeniana*).²²⁰
- Desierto de los Aluviones: formación vegetal que muestra una típica fisonomía de arbustos bajos extremadamente xerófitos, con una cobertura muy rala; en esta área se encuentran amplios sectores desprovistos de vida vegetal. Su ubicación geográfica-ecológica corresponde a aquellos sectores que tienen influencia de los grandes aluviones y precipitaciones marginales, provocadas por el invierno altiplánico. Las asociaciones más características son: Griasal-Culchao (*Philippiamra pachyphylla*-*Hoffmanseggia ternata*), Ojalar (*Atriplex imbricata*), Allaval-Quiaca (*Adesmia atacamensis*-*Calandrinia salsoloides*) y Ojalar-Malvilla (*Atriplex imbricata* -*Cristaria andicola*).²²¹
- También existe flora acuática como juncos, graminia filomentosa, yaro, pino de agua, helecho de agua, lama verde delgada y lama delgada azul verdosa (véase figura 50).

Precipitaciones máximas diarias: 6 mm.

En relación con la geometría y relieve (véase figura 51). Las curvas de nivel se mostrarán en el mapa de amenazas o peligros.

220 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2004. *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca río Loa*, Santiago, 2004, p. 20.

221 *Idem*.



Figura 50. Vegetación en el río Loa. Fuente: Google Earth.



Figura 51. Foto aérea del oasis de Chiu Chiu. Fuente: Google Earth.

3. Evaluación de la amenaza de ciclones

No se presenta esta amenaza.

4. Estudios climáticos, especialmente de las precipitaciones pluviales máximas, de los vientos predominantes y su velocidad, y las temperaturas extremas

La cuenca del río Loa presenta cuatro tipos climáticos: clima desértico costero nuboso, clima desértico interior, clima desértico marginal en altura, y clima de estepa de altura. En el sector del oasis de Chiu Chiu, el clima es desértico marginal en altura y se caracteriza por una masa de aire inestable que produce precipitaciones durante casi todos los veranos. Las temperaturas son frías²²² y las precipitaciones máximas diarias alcanzadas en los últimos años han sido de 6 mm.

Los vientos de superficie predominantes provienen del sur, tienen una velocidad promedio de 6 a 12 nudos (11 a 19 km/h). Los vientos máximos registrados también provienen del sur, sus velocidades fluctúan entre 15 y 28 nudos (25 a 45 km/h). La máxima precipitación fue registrada el mes de junio, con 38 mm de agua en un día. Durante un periodo de 30 años (1916-1945), no hay registros de nevadas, granizo ni tormentas eléctricas.²²³

222 Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2013. *Informe final. Levantamiento información hidrogeológica Región de Antofagasta*, Santiago, 2013, p. 18.

223 S. Bravo, *Invierno del altiplano, implicancias desfavorables y favorables en el desarrollo de la 1ª y 2ª Región de Chile*. Informe del profesor de meteorología en el Congreso Brasileño de Meteorología llevado a cabo el año 2006, disponible en <http://www.cbmet.com/>, consultado en abril de 2015.

Tabla 20. Temperaturas diarias extremas en la estación de Chiu Chiu.

Día	ENE		MAR		ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.								
1	4.8	24.2	4.6	25.2	1.8	23.0	-0.4	22.3	0.6	22.8	1.0	23.0	1.0	24.4	0.0	21.0	-3.4	24.2	-0.2	24.0	0.8	24.2
2	4.0	25.2	2.0	22.1	4.6	23.0	1.5	22.6	-0.4	22.6	-0.4	21.8	0.0	24.6	-2.0	23.0	-3.2	23.6	3.0	24.2	2.9	22.8
3	3.6	24.6	4.6	24.6	0.8	22.2	2.6	21.4	-2.0	22.0	0.4	22.2	1.9	23.8	-3.4	21.0	-4.2	24.0	3.0	25.4	2.2	22.6
4	3.2	23.8	3.0	23.2	0.3	22.0	-2.4	20.4	-1.8	21.8	2.0	23.0	1.0	23.0	-4.0	22.3	-1.6	22.6	4.0	26.6	2.0	21.8
5	2.8	23.8	2.1	22.0	0.5	23.0	-1.8	20.2	-1.2	23.2	-2.2	21.8	-1.0	24.8	-1.4	22.8	-0.6	24.0	5.0	23.0	0.0	21.6
6	2.6	24.0	-0.2	21.2	5.0	25.0	-1.8	18.4	0.0	22.4	-1.4	23.2	1.0	25.6	0.4	24.0	-2.0	24.2	1.4	24.6	1.0	22.2
7	3.0	25.2	2.3	20.0	3.8	25.6	-1.6	20.2	-1.4	20.8	-1.0	24.8	-0.4	24.2	1.0	23.8	-4.6	23.6	1.0	24.0	-2.0	23.0
8	4.8	23.4	5.4	21.4	2.6	25.2	0.0	22.0	-1.0	20.0	-1.0	22.8	0.0	24.4	1.8	23.2	-2.8	24.8	5.6	21.6	-0.9	22.8
9	5.6	25.6	5.0	22.0	2.8	26.4	0.0	23.2	-1.4	18.8	-0.8	22.8	0.0	23.0	0.3	22.8	0.0	24.0	5.0	24.0	0.0	23.8
10	6.2	23.4	6.2	20.4	1.4	24.5	0.4	23.0	1.1	18.2	-1.0	25.0	-0.4	22.6	0.0	22.0	-2.6	24.2	0.8	24.6	2.5	24.8
11	7.8	23.2	10.0	20.0	2.8	23.0	-0.2	24.6	-2.4	17.5	-1.3	26.2	1.6	24.4	-3.0	23.4	-1.0	23.2	2.0	24.0	3.7	24.6
12	11.2	23.1	5.4	22.4	1.2	24.0	0.0	23.2	-0.3	18.6	0.2	21.0	0.0	24.0	0.0	22.0	-2.8	22.4	0.0	23.0	5.3	25.2
13	8.4	23.4	4.0	23.4	0.4	22.6	1.8	23.4	2.1	19.2	-3.2	20.6	-0.4	22.8	1.2	13.6	-1.2	21.5	0.3	22.8	3.6	25.2
14	12.0	22.4	2.3	23.6	4.2	25.2	0.0	21.8	-2.0	20.2	-5.0	18.2	0.2	22.6	0.4	17.0	2.5	24.2	0.4	24.0	2.4	24.8
15	5.6	22.6	2.8	23.0	4.9	24.6	-0.2	21.0	3.7	20.0	-4.6	15.8	-1.3	24.0	1.7	19.2	2.6	23.0	1.2	23.2	1.2	22.8
16	5.8	21.8	0.8	22.4	3.6	25.2	-3.0	22.0	-2.8	20.0	-5.8	16.0	-0.6	21.8	1.0	20.2	0.0	22.2	1.3	23.5	0.7	23.5
17	11.0	19.4	0.0	22.2	1.8	24.1	-3.4	20.9	1.0	20.2	-4.8	19.3	0.0	22.4	0.8	20.4	0.0	22.8	-0.4	23.0	0.5	24.0
18	11.0	21.4	-0.4	22.2	0.8	25.2	0.4	21.0	-3.1	22.0	-6.2	18.6	1.0	22.6	-1.8	23.2	0.6	23.0	-0.2	22.8	0.8	23.2
19	10.8	22.2	-0.8	22.2	1.8	26.0	3.8	20.4	-2.8	21.3	-8.4	20.8	0.0	22.8	0.0	23.8	1.0	24.6	2.0	23.4	0.4	24.6
20	4.4	21.6	2.0	21.4	3.6	25.4	-0.8	19.4	-2.1	20.8	-8.6	17.8	-2.5	23.4	1.8	22.2	-4.2	22.0	0.8	24.2	0.2	24.4
21	6.8	21.2	1.3	20.6	3.0	23.4	-4.6	19.6	-4.4	21.2	-9.0	18.6	-2.2	23.0	-1.0	21.2	-2.8	23.0	0.0	23.2	0.8	24.0
22	4.8	21.6	0.8	22.0	1.2	23.4	-6.8	21.1	-2.0	22.4	-6.2	17.4	-1.2	19.2	-1.8	22.2	-0.2	22.8	0.0	22.6	1.0	23.4
23	3.8	22.1	1.0	24.8	0.6	22.0	-7.8	19.2	0.8	22.6	-10.2	17.2	0.0	19.2	3.6	20.2	-1.0	22.1	-1.4	21.4	0.2	24.2
24	1.2	22.2	3.0	25.0	0.8	20.1	-8.0	16.8	-0.2	22.2	-5.6	20.1	-3.0	22.2	2.4	17.0	-4.3	21.8	0.4	22.2	0.6	23.6
25	1.8	22.0	3.0	26.0	3.1	18.0	-4.4	20.4	-1.2	20.8		21.8	-1.6	21.2	-1.0	19.8	-3.2	21.8	0.8	21.8	3.2	23.0
26	1.8	23.0	3.0	24.6	0.4	19.6	-2.0	23.6	0.8	20.0	-4.6	20.6	-0.4	22.8	-3.2	21.6	-2.2	21.0	-3.2	20.3	3.9	24.2
27	2.8	24.2	2.2	25.0	-0.2	21.0	-1.0	25.2	-4.3	19.8	-2.0	21.8	-0.6	23.0	-5.0	20.1	-2.4	20.8	-4.2	23.0	3.2	23.0
28	3.4	24.0	1.3	23.6	-0.6	21.4	2.0	23.6	-1.6	22.0	0.8	21.8	1.0	23.5	-1.0	22.0	-3.0	20.2	-1.0	24.4	1.8	21.4
29	2.2	22.0	1.4	24.2	2.4	23.6	1.4	23.2	-1.0	24.0	1.6	24.0	1.3	22.0	-2.8	22.0	-1.2	20.0	-2.5	23.6	2.8	21.4
30	0.8	21.2	1.8	23.2	-0.6	24.2	2.2	23.6	-0.4	25.0	1.0	24.2	2.0	18.2	-4.0	23.0	-4.8	22.3	-1.0	24.3	5.0	22.6
31	0.3	23.0	1.4	24.8			2.4	23.6			0.4	24.2	3.7	17.0			-4.5	23.8			5.4	22.6

Fuente: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>.

Respecto a las temperaturas extremas, se buscó información en el sitio web del Ministerio de Agricultura, y en el sitio www.sinia.dga.cl. Este último permite buscar información de temperaturas extremas, además cuenta con una estación vigente en el área de estudio. A continuación se muestran los datos de temperaturas extremas diarias durante 2005 (año del terremoto). Se excluyó el mes de febrero porque a lo largo de éste no se registraron temperaturas de 0 °C (véase tabla 20).

La tabla da cuenta de que existe una alta oscilación térmica en todos los meses del año, pero sobre todo en los de mayo a julio. Prácticamente todo el año en Chiu Chiu se alcanzan temperaturas cercanas al punto de congelamiento de 0 °C y temperaturas bajo 0 °C. Lo anterior constituye un peligro en temporada de lluvias, debido a que las partículas de agua depositadas en los bienes inmuebles de adobe, como la iglesia de Chiu Chiu, se congelan, lo que puede provocar disgregación del adobe o del mortero de lodo.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Inundación

Esta información se representará en el mapa de amenazas con base en los datos de precipitación pluvial extrema y la superficie de inundación de la cuenca, que se obtuvieron del Plan Regulador Intercomunal Oasis Andinos.

ii. Incidencia de ciclones

No se presenta esta amenaza.

iii. Heladas

Por la escala de análisis, la frecuencia de heladas sólo se verá reflejada como un dato en el mapa de amenazas o peligros, se indicará que es una amenaza constante durante prácticamente todo el año.

6.6. Amenaza por erosión

a. Listados y estudios previos

1. Información sobre precipitaciones pluviales medias y máximas anuales

Durante el año 2005 la precipitación anual fue de 25.6 mm, y la precipitación máxima en 24 horas fue de 6 mm, lo que implica un peligro menor de deterioro a causa de la erosión.

2. Distancia a la costa

La zona de estudio se encuentra lejana a la costa, aproximadamente a 166 km, por lo que no existe peligro de deterioro por efecto de la costa.

3. Información sobre la dirección y velocidad de los vientos predominantes

Los vientos máximos registrados provienen del sur, y sus velocidades fluctúan entre 25 a 45 km/h. Si no se contara con un aplanado de protección, estos vien-

tos representarían un peligro medio de deterioro por erosión para las estructuras de adobe, como la iglesia de Chiu Chiu.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Amenaza por erosión

Esta información se representará en el mapa de amenazas con base en las velocidades máximas del viento y su dirección, humedad relativa e información de las precipitaciones pluviales máximas.

6.7. Amenaza por estrés físico

a. Listados y estudios previos

1. Información sobre precipitaciones pluviales medias y máximas anuales

Durante el año 2005, la precipitación anual fue de 25.6 mm y la precipitación máxima en 24 horas fue de 6 mm, lo que implica un alto peligro de estrés físico debido a que en Chiu Chiu se producen heladas todo el año. Esto representa un peligro, ya que las partículas de agua, al congelarse en el adobe o en los morteros de lodo, podrían generar disgregación en la iglesia de Chiu Chiu.

2. Información sobre las temperaturas máximas y mínimas mensuales, oscilación térmica y asoleamiento

Si bien prácticamente todo el año se alcanzan temperaturas de 0 °C o menores, las oscilaciones térmicas máximas se producen en los meses de mayo a octubre, lo que implica que en un día puede haber temperaturas de -10 °C y una oscilación térmica de 27 °C. Respecto al asoleamiento, éste es prácticamente constante durante el año, por emplazarse en una zona desértica y porque en el entorno de la iglesia de Chiu Chiu no existen elementos que obstruyan su asoleamiento. Por la ubicación del inmueble, la fachada norte es la que recibe mayor asoleamiento.

b. Información para el mapa de amenazas y peligros

i. Amenaza por estrés físico

Esta información se representará en el mapa de amenazas con base en las precipitaciones pluviales, temperaturas máximas y mínimas, la identificación de la existencia de heladas en periodos de lluvia y al asoleamiento, además, se tomará en cuenta la orientación y la topografía.

6.8. Amenaza química

a. Listados y estudios previos

1. Zonificación del uso de suelo

El oasis de Chiu Chiu corresponde a una zona rural poco desarrollada en cuanto a construcciones, pero tiene una región más desarrollada en torno de una calle principal, paralela al río Loa. Alrededor de esta zona existen principalmente vegas, que se usan como área de cultivo. En los últimos años se ha empezado a poblar irregularmente, predomina el uso habitacional en todo el sector.

2. Localizar las instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas

A lo largo del extenso cauce del río Loa y sus cercanías, se realiza una serie de actividades industriales, principalmente relacionadas con la gran actividad minera metálica y no metálica que se desarrolla en la región. La mayoría de las actividades utilizan las aguas del río Loa. Además, algunas de éstas han provocado que se tiren al río, tanto de forma directa como indirecta, residuos industriales.²²⁴

La industria más cercana al pueblo de Chiu Chiu es la minera El Abra, que está ubicada aproximadamente a 11 km. Esta minera produce cátodos de cobre de alta pureza, a través de la extracción, chancado, lixiviación y extracción por

224 Ministerio de Obras Públicas, *op. cit.*, 2004, p. 37.

solventes y electro-obtención, los cuales son trasladados, para su exportación, desde este lugar hasta el puerto de Antofagasta vía ferrocarril.

3. Identificar las instalaciones de servicios que usan o almacenan materiales peligrosos

El proceso de la minera El Abra comienza en la mina a rajo abierto, en la cual camiones de alto tonelaje trasladan el mineral hacia un chancador primario. El producto del chancador pasa por tres correas, la tercera es de 9.5 km de longitud y ésta lleva el mineral chancado a un silo de almacenamiento. El mineral del silo es llevado a otra etapa de chancado denominado secundario y terciario, y después pasa por tambores aglomeradores, donde se le adiciona ácido sulfúrico, para después ser llevado a las pilas de lixiviación. La solución ácida producto de la lixiviación, pasa por otra etapa denominada extracción por solventes y posteriormente a las celdas de electro-obtención, donde finalmente se obtienen los cátodos de cobre.²²⁵

4. Tipo y cantidad de sustancias peligrosas que se manejan

Según la evaluación ambiental del proyecto mina El Abra, encontrado en la página del Sistema de Evaluación Ambiental, la producción de cátodos de cobre será de 92 000 ton/día, con un consumo de sustancias peligrosas de:

225 Minera El Abra. *Manual de ingreso Minera El Abra*. Documento electrónico disponible en <http://www.fcx.com/company/pdf>, consultado en abril de 2015.

- 1 600– 2 700 ton/día de ácido sulfúrico.
- 5 850 l/día de solventes.
- 60 000 l/día de combustible (petróleo diésel).

Al peligro por la cercanía de sustancias inflamables, se suma que la explotación de la mina produce polvo, ruido y vibraciones generadas por las tronaduras.

5. Identificar las condiciones de almacenamiento y los sistemas de seguridad

Las instalaciones cuentan con la seguridad necesaria en cuanto a procesos y almacenamiento, razón por la cual el proyecto fue aprobado por el Sistema de Evaluación Ambiental el año 2012.

6. Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias peligrosas

No se presentan tuberías de gas natural.

7. Identificar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos

Las sustancias peligrosas descritas anteriormente se trasladan en tren desde el puerto de Mejillones, y en camiones, se utiliza la ruta 21-Ch, que conecta la ciudad de Calama con el pueblo de Chiu Chiu.²²⁶

226 Servicio de Evaluación Ambiental, *Informe Consolidado de la Evaluación de Impacto Ambiental del*

8. Conocer la naturaleza de los efectos más probables de acompañar a una liberación de material peligroso

El efecto más peligroso para la iglesia de Chiu Chiu sería que se produjera una explosión en la misma minera o en la ruta 21-Ch, con un incendio posterior y la generación de una nube tóxica. Para delimitar las áreas de peligro, el CENAPRED propuso un método para trazar un círculo que representa el área de peligro alrededor de cada una de las empresas que manejan sustancias peligrosas.²²⁷ Según este método, las sustancias peligrosas de la minera El Abra corresponderían a la siguiente clasificación:

- Ácido sulfúrico: líquidos de mediana toxicidad: 18-21 (2700 ton/día).
- Diésel: líquidos inflamables con presión de vapor < 0.3 bar a 20 °C, (punto de inflamación > 20 °C): 1-3 (60 ton/día).
- Cianuro (como solvente): líquidos de mediana toxicidad: 18-21 (5.85 ton/día).

A partir de este método se obtuvo que las categorías y radios de peligrosidad por sustancia son los siguientes:

- Ácido sulfúrico: categoría *F*, con un radio de peligrosidad de 500 a 1000 m.
- Diésel: categoría *B*, con un radio de peligrosidad de 25 a 50 m.
- Cianuro (como solvente): categoría *D*, con un radio de peligrosidad de 100 a 200 m.

Proyecto Mina El Abra, 2012, disponible en <http://seia.sea.gob.cl/seia-web/ficha>, consultado en abril de 2015.

²²⁷ CENAPRED, *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos químicos*, México, CENAPRED, 2006.

Con base en lo anterior, es posible concluir que por la distancia de la mina en relación con la iglesia de Chiu Chiu, y por su transporte en tren, los efectos del ácido sulfúrico no alcanzarían a afectar la zona de estudio. Del mismo modo, el diésel y los solventes tampoco alcanzarían a afectar la iglesia. Por otra parte, las sustancias se trasladarían en camiones de 26 toneladas, por lo que el radio de acción para el diésel correspondería a la categoría A, de 25 m. Si los solventes se trasladan de la misma forma, su radio de acción correspondería a la categoría E, de 50 a 200 m. Debido a que el cruce en que los camiones se desvían hacia la minera El Abra está aproximadamente a 1 600 m de la iglesia, no la afectarían las secuelas de una explosión.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Amenaza química

En el mapa de amenazas se incluirá tanto la zonificación general del uso de suelo como el radio de peligro producto del transporte del diésel y de los solventes en camión

6.9. Contaminación atmosférica

a. Listados y estudios previos

1. Vehículos circulantes en el área de estudio o zonas de mayor congestión vehicular

Debido a que es una zona rural, si bien la circulación por la ruta 21-Ch es significativa, no se produce congestión vehicular.

2. Ubicación de aeropuertos y puertos

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

3. Autopistas y promedio de circulación de vehículos al día

Este criterio no aplica para el caso de estudio

4. Concentración de contaminación

Si bien no existen estudios que analicen la cantidad de contaminantes producto de las faenas mineras, en la prensa local se da cuenta de que 95% de la contaminación de Calama se debe a esta razón,²²⁸ por lo que se considerará

228 “95% de contaminación de Calama proviene de mineras”, El Mercurio Calama, disponible en

que existe un peligro considerable de contaminación atmosférica que podría afectar los materiales de la iglesia de Chiu Chiu.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Mapa de contaminación atmosférica

Ya que se desconoce la cantidad de emisiones producto de partículas contaminantes, que podrían producir un ennegrecimiento de los materiales de la iglesia de Chiu Chiu, y debido a la lejanía de los agentes contaminantes (minera El Abra, aproximadamente a 11 km), esto no se mapeará; sin embargo, se considerará como un dato que debería corroborarse mediante un monitoreo del edificio.

6.10. Amenaza socio-organizativa

a. Listados y estudios previos

1. Información demográfica

Estos datos se encontraron en el sitio web del Instituto Nacional de Estadísticas (www.ine.cl), donde había información actualizada a nivel nacional. En la publicación del censo del año 2002 no aparece información sobre el pueblo de Chiu Chiu, pero en la publicación del censo de 1992 aparece en la categoría de

http://www.mercuriocalama.cl/prontus4_notas/site/artic/20090325/pags/20090325000728.html.

Aldea, con una población de 322 habitantes, 178 hombres y 144 mujeres, con un total de 119 viviendas.²²⁹ Debido a que no existe más información histórica respecto a su población, no es posible comparar si ha aumentado o disminuido en el transcurso de los años.

2. Información sobre índices de vandalismo

No existen reportes sobre vandalismo realizados por Carabineros de Chile, debido a que sólo realizan estadísticas a nivel regional. Tampoco existen reportes en la municipalidad de Calama ni en la prensa local.

3. Información sobre la actividad turística

Existe una actividad turística incipiente, que se promueve en varios sitios web, y que promocionan el pueblo de Chiu Chiu principalmente para visitar la iglesia, y por su gastronomía atacameña. Existen algunos hoteles y un sitio arqueológico, pero no presenta aún presión inmobiliaria o concentración excesiva de turistas por esta actividad.

229 Instituto Nacional de Estadísticas, *Chile: Ciudades, pueblos y aldeas. Censo de 1992, 1995*, disponible en www.ine.cl; Instituto Nacional de Estadísticas, *Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos, 2005*, disponible en www.ine.cl, consultado en abril de 2015.



Figura 52. Plaza principal de Chiu Chiu con concentración de árboles. Fuente: Google Earth.



Figura 53. Árbol al interior del atrio de la iglesia de Chiu Chiu. Fuente: Google Earth

4. Ubicación de museos, número de visitantes y recorridos turísticos

No existen museos. Los recorridos utilizan la calle principal del poblado.

5. Número de hoteles, habitaciones y movimiento de clientes

Existen algunos albergues, pero no se cuenta con mayor información al respecto, debido a que no tienen un sitio web.

6. Combustibles forestales (presencia de vegetación)

El oasis de Chiu Chiu se compone principalmente por vegas con pastizales que se utilizan para cultivar hortalizas. No obstante, por la presencia de la plaza central del pueblo existe una concentración de árboles a un costado de la iglesia, y además existe un árbol al interior del atrio (véanse las figuras 52 y 53).

7. Condiciones meteorológicas (presencia de calor y viento)

Según el informe meteorológico de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, prácticamente todos los días del año se alcanzan temperaturas entre 20 y 25 °C. Respecto a los vientos predominantes, provienen del sur y sus velocidades fluctúan entre los 25 y 45 km/h.

8. Análisis topográfico respecto a la exposición al sol

Existe exposición al sol prácticamente todos los días del año, ya que no hay accidentes topográficos que obstaculicen el asoleamiento.

9. Accesibilidad mediante el catastro de calles en relación a su ancho para el acceso de vehículos de emergencia: peligro alto (menos de 3 m); peligro medio (entre 3 m y 7 m); peligro bajo (más de 7 m).

El pueblo de Chiu Chiu presenta una buena accesibilidad a través de la ruta 21-Ch. Se accede por una calle principal de 6 m. Las calles secundarias miden entre 5 y 6 m. Por lo anterior, presenta un peligro medio.

10. Catastro de la superficie promedio por manzana y las manzanas que superan ese rango (considerando que el fuego se propaga más fácilmente en bloques continuos que no cuentan con calles que los dividan)

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

11. Área construida y cantidad de propietarios por predio (debido a que la mayor fragmentación de los inmuebles disminuye su posibilidad de manejo ante un incendio)²³⁰

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

12. Presencia de cableado eléctrico aéreo en mal estado

Existe cableado eléctrico aéreo en buen estado.

13. Presencia de construcciones de madera

Si bien la arquitectura tradicional es de adobe, la estructura de cubierta es de madera y paja brava, por lo que existe riesgo latente de incendio. Por otra parte, existen algunas construcciones nuevas de material ligero, principalmente de madera.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Aglomeraciones

Sólo se producen aglomeraciones para las festividades religiosas, por lo que no aplica.

230 ENEA/ Oficina de Gestión Patrimonial de la Municipalidad de Valparaíso, *op. cit.*, 2008.

ii. Presión turística

Este criterio no aplica para el caso de estudio

iii. Amenaza de incendios forestales

Se presenta en el mapa de amenazas con base en la presencia de vegetación cercana a la iglesia de Chiu Chiu, y a que su techumbre es de madera.

iv. Amenaza de incendios en áreas urbanas

Este criterio no aplica para el caso de estudio.

6.11. Disminución demográfica grave

a. Listados y estudios previos

1. Información demográfica

Se describió en el apartado 6.8.

2. Ubicación de inmuebles abandonados

No se cuenta con esta información.

3. Usos de suelo

El pueblo de Chiu Chiu presenta principalmente usos residenciales, religiosos, comunitarios, equipamiento, albergues y restaurantes.

b. Información para el mapa de amenazas o peligros

i. Usos de suelo

Los usos de suelo generales se representarán en el mapa de amenazas con el área urbana, las vegas de cultivo y la ubicación de la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, protegida como monumento histórico. No se incluye información sobre inmuebles abandonados, desocupados ni sitios baldíos.

ii. Flujos demográficos

No es posible registrar esta información por la dimensión del poblado y por la escasez de información censal del pueblo en específico.

iii. Estado de conservación de los inmuebles

Debido a que no se cuenta con información de los inmuebles del poblado de Chiu Chiu, no se mapeará esta información. No obstante, a partir de imágenes previas al terremoto de 2005, es posible apreciar que la iglesia estaba en buenas condiciones, ya que la comunidad se encarga constantemente de su mantenimiento; además, el sistema constructivo original no ha sido alterado (véase figura 54).

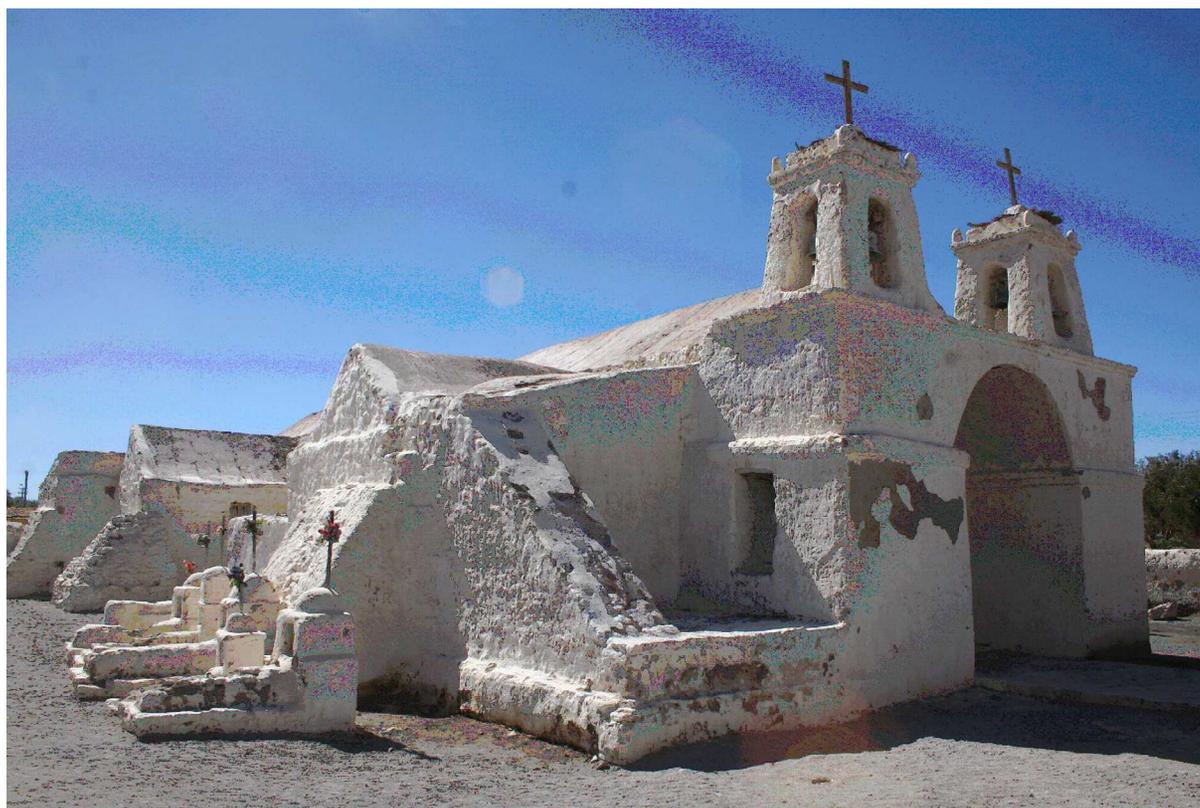


Figura 54. Iglesia de Chiu Chiu antes del terremoto del 2005. Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales.

6.12. Descripción de escenarios de amenazas o peligros de la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, en el pueblo de Chiu Chiu, comuna de Calama, región de Antofagasta

Tabla 21. Descripción de escenarios y jerarquización de amenazas en función de la severidad del daño.

Amenazas (el peor escenario) según su probabilidad de ocurrencia		Magnitud máxima histórica	Intensidad máxima histórica	Severidad		
				Sin daños/ sin amenaza	Leve o gradual	Catastrófica
Eventos esporádicos (muchas veces en un siglo)	Amenaza sísmica	8.5	X	-	-	Con base a la información histórica, en esta zona se podría producir un sismo cuya magnitud generaría un daño catastrófico en construcciones, deslizamientos de laderas, licuación de arenas, etc.
	Deslizamiento de laderas	Sin información	Sin información	-	-	La roca de Chiu Chiu es inestable porque se trata de material no consolidado, por los sistemas de fallas y por las estructuras de graben que son muy inestables. Existe un peligro considerable de deslizamientos de la ladera oriente del río Loa, ya que son visibles los efectos de las inundaciones, lo que puede llegar incluso a erosionar la base del muro del atrio de la iglesia. Además, el deslave ha provocado que se vea la roca madre, de esta forma que el proceso de erosión podría continuar y afectar el subsuelo de la construcción en su lado poniente, esto pondría en peligro la estructura por asentamientos diferenciales.
	Amenaza volcánica	Actividad en 1960	>1cm tefra	-	Daño leve por acumulación de tefra.	-
	Amenaza hidrometeorológica	6 mm de pp. diaria máxima	Sin información	-		Esta amenaza se presenta todos los años en el invierno altiplánico, y causa la inundación del cauce del río Loa, erosión en la base del muro del atrio y afloramientos de la roca madre en la ladera oriente del río. Si no se efectúan análisis geotécnicos y obras de mitigación, podría producirse un daño grave en la iglesia por asentamientos diferenciales provocados por la intemperización del borde oriente del río en temporada de lluvias. Por otra parte, la presencia de humedad en el subsuelo de la iglesia podría afectar su estabilidad al humedecerse los muros de adobe por capilaridad.

Eventos esporádicos (muchas veces en un siglo)	Amenaza química-tecnológica	Sin información	Sin información	No se presenta esta amenaza	-	-
	Incendios forestales o urbanos	No	No	-	-	Existen árboles cercanos a la iglesia, por lo que de producirse un incendio podría verse afectada con efectos catastróficos.
Procesos continuos (pueden ocurrir continua o intermitentemente)	Amenaza por erosión	6 mm de pp. diaria máxima; y vientos de 45 km/h	Sin información	Debido a que las precipitaciones y vientos no son excesivos y a que la iglesia cuenta con aplanados, el daño sería leve.	-	-
	Amenaza por estrés físico	Oscilación térmica de -10° a 27° y heladas todo el año	Sin información	-	El daño sería grave ya que las heladas se producen prácticamente todo el año, además, esto coincide con la época de lluvias.	-
	Contaminación atmosférica	Sin información	Sin información	Existe una posibilidad de daño por contaminación atmosférica por la contaminación de la Minera El Abra, por lo que deberá monitorearse para poder comprobarlo.	-	-
	Amenaza socio-organizativa	Sin información	Sin información	No se presenta.	-	-
	Disminución demográfica y falta de mantenimiento	Sin información	Sin información	No se presenta.	-	-

Fuente: Elaboración propia (2015).

A continuación se muestra el mapa de amenazas o peligros elaborado con base en la tabla anterior (véase figura 55).

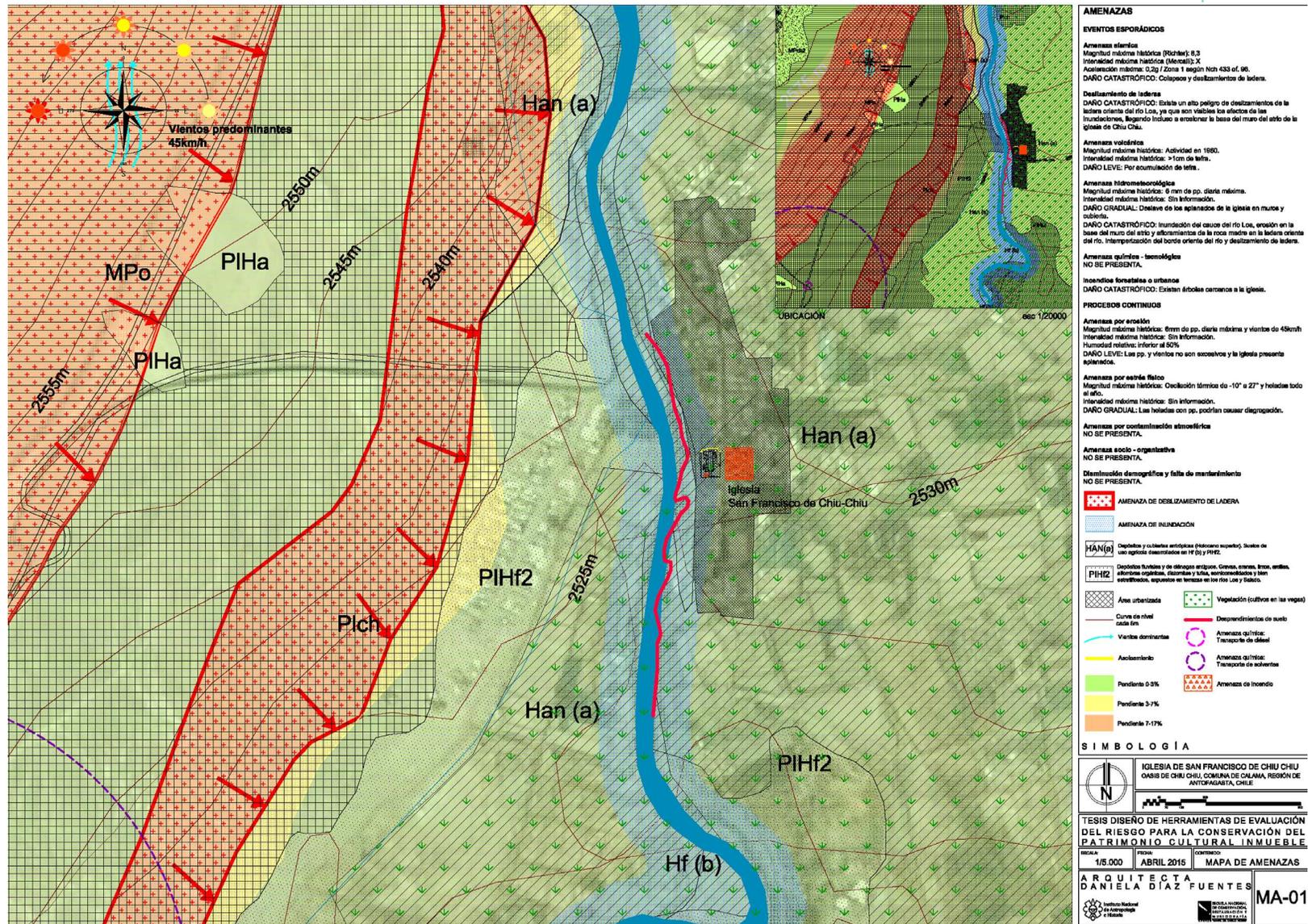


Figura 55. Mapa de amenazas de la Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu. Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia. En la tesis de maestría la planimetría se presentó a escala 1:500 y 1:20.000.

7. Llenado de la ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica para el caso del monumento histórico iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, región de Antofagasta

Los casos de estudio se eligieron con el objetivo de realizar una evaluación retroactiva de los inmuebles, y evidenciar si efectivamente se podría haber previsto el mayor daño posterremoto de la iglesia de Laonzana, que colapsó en más de 60% de su estructura, en relación a la iglesia de Chiu Chiu, que resultó con daños estructurales, pero que podían ser reparados. Los datos con los que se cuenta para esta evaluación, para el desarrollo de los proyectos de restauración, son principalmente fotografías y planimetría realizada posterremoto.

Por esta razón, la clasificación del nivel de la información es M o de calidad media, como se dijo en el Capítulo III, en el cual también se explicó el procedimiento para llenar la ficha. Luego de la evaluación (véase figura 57) la cuantificación de la vulnerabilidad constructiva fue de 25.6, lo que corresponde a una vulnerabilidad media (véase figura 58).

Respecto a la tabla de severidad de las amenazas, se puede concluir que los posibles daños catastróficos que podrían afectar al inmueble serían resultado de un terremoto o de un deslizamiento de ladera. Si bien se trata de amenazas esporádicas, sería necesario realizar análisis geotécnicos más detallados y proponer obras de mitigación principalmente orientadas a la consolidación del suelo y contenciones del cauce del río Loa.

Sumado a lo anterior, las amenazas que afectan el bien inmueble al menos una vez al año son: hidrometeorológica, erosión y estrés físico. Debi-

do a que el inmueble se encuentra en buen estado, existe un peligro bajo de afectación por el intemperismo.

La planimetría utilizada para el análisis fue ejecutada el año 2010 por el arquitecto Rodrigo Cáceres, en el marco del desarrollo del anteproyecto de restauración de la Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, el cual fue solicitado por el Ministerio de Obras Públicas de Chile. Esta planimetría se obtuvo del Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y fue modificada por la autora de esta tesis con el objetivo de mejorar la legibilidad del edificio original, previo al terremoto del año 2005, en cuanto a su volumetría y dimensiones principales (véase figura 56).

La descripción de los parámetros evaluados y su cuantificación se muestran en la figura 57.

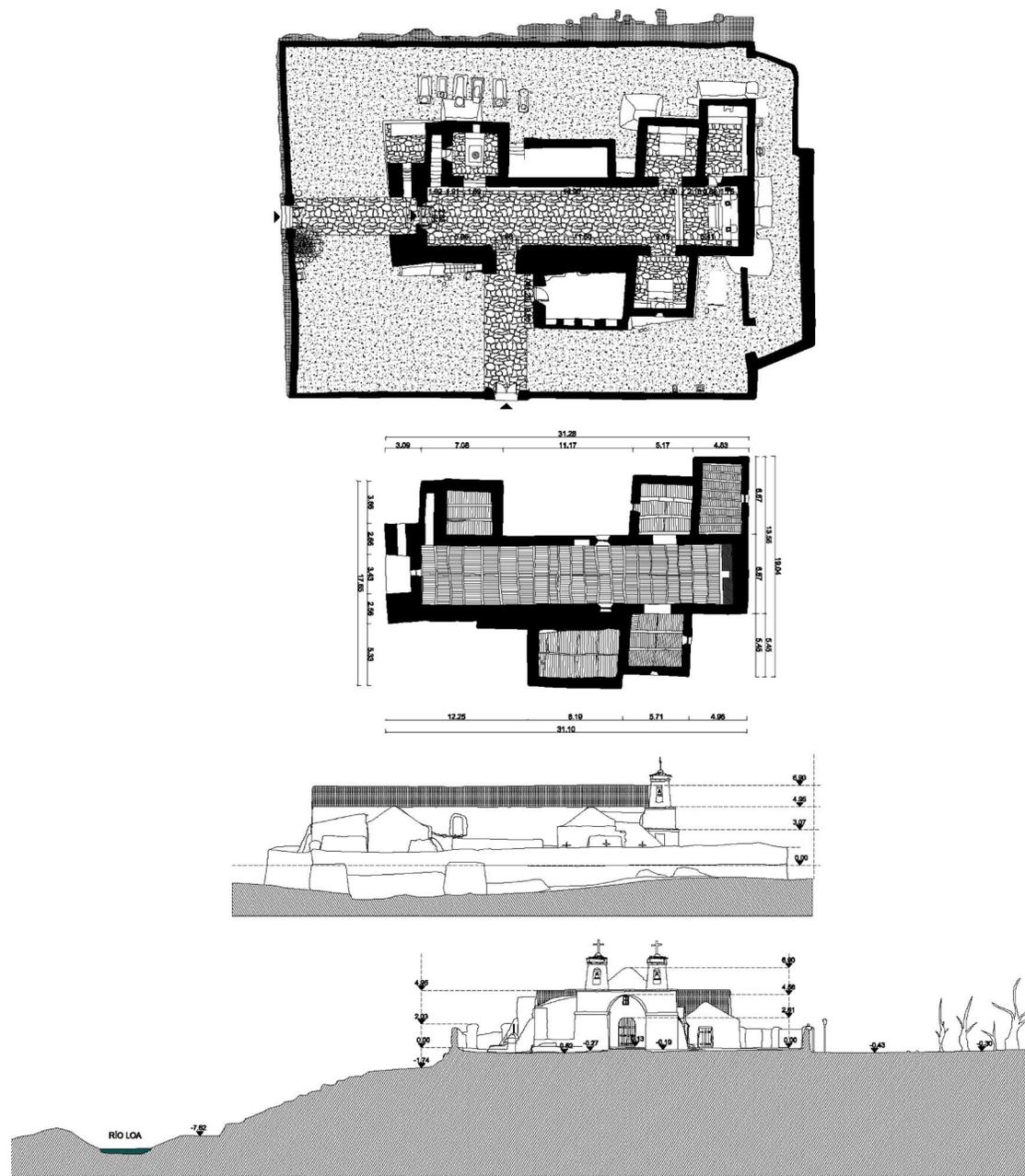


Figura 56. Planta de emplazamiento; planta de estructura de cubierta; elevación poniente; y elevación sur de la Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu. Fuente: Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas de Chile en Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, 2010.

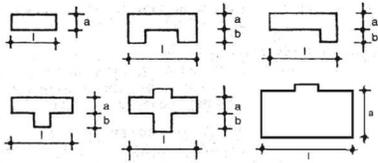
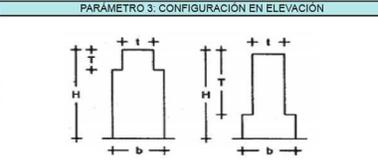
FICHA DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CONSTRUCTIVA DE BIENES CULTURALES INMUEBLES						 <small>ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y ARQUEOLOGÍA</small>				
ENTE CATALOGADOR		-			FECHA	-	CLAVE	-		
CÓDIGOS IDENTIFICATORIOS	TIPO DE FICHA	Ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva					CLASIF. VULNERABILIDAD	25.6 Vulnerabilidad MEDIA		
	RELACIÓN CON OTRAS FICHAS	Ficha de catálogo del Monumento Histórico Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu								
IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE		Monumento Histórico Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu								
TABLA DE SEVERIDAD DE LAS AMENAZAS										
AMENAZAS (EL PEOR ESCENARIO) SEGÚN SU PROBABILIDAD DE OCURRENCIA				MAGNITUD MÁXIMA HISTÓRICA	INTENSIDAD MÁXIMA HISTÓRICA	SEVERIDAD				
						SIN DAÑOS/SIN AMENAZA	LEVE O GRADUAL	CATASTRÓFICA		
EVENTOS ESPORÁDICOS (MUCHAS VECES EN UN SIGLO)	Amenaza sísmica			8.3	X			X		
	Deslizamiento de laderas			S/Inf.	S/Inf.			X		
	Amenaza volcánica			Actividad en 1960	> 1cm tefra		X			
	Amenaza hidrometeorológica (Precipitación máx. diaria)			6mm	S/Inf.		X	X		
	Amenaza química - tecnológica			No	No	X				
PROCESOS CONTINUOS (PUEDEN OCURRIR CONTINUAMENTE)	Incendios forestales			No	No			X		
	Amenaza por erosión (Precip. diaria máx. y vientos máx.)			6mm/45km/h	S/Inf.	X				
	Amenaza por estrés físico (Oscilación térmica máx. / frecuencia heladas)			-10-27°/todo el año	S/Inf.		X			
	Contaminación atmosférica			Sin inf.	Sin inf.	X				
	Amenaza socio - organizativa			No	No	X				
Disminución demográfica y falta de mantenimiento			Sin inf.	Sin inf.	X					
PARAMETROS	CLASE	CALIDAD INFORM.	ELEMENTOS DE EVALUACIÓN			ESQUEMAS Y REFERENCIAS DE LOS PARÁMETROS				
1	POSICIÓN DEL EDIFICIO Y CIMENTACIONES	A	M	PENDIENTE DEL TERRENO	4%		PARÁMETRO 2: CONFIGURACIÓN PLANIMÉTRICA 			
				ROCA	CON CIM.	X				SIN CIM.
				TERRENO SUELTO SIN EMPUJES	CON CIM.					SIN CIM.
				TERRENO SUELTO CON EMPUJES	CON CIM.					SIN CIM.
				DIFERENCIA MÁX. DE ALTURA ENTRE FUNDACIONES	CON CIM.	-				SIN CIM.
2	CONFIGURACIÓN PLANIMÉTRICA	D	M	RELACIÓN %	$\beta_1 = a/l \times 100$	23.6%	PARÁMETRO 3: CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN 			
				RELACIÓN %	$\beta_2 = b/l \times 100$	22.6%				
				CLASE A	$\beta_1 \geq 80; \beta_2 \leq 10$					
				CLASE B	$60 \leq \beta_1 < 80; 10 < \beta_2 \leq 20$					
				CLASE C	$40 \leq \beta_1 < 60; 20 < \beta_2 \leq 30$					
CLASE D	$\beta_1 < 40; \beta_2 > 30$									
3	CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN	A	M	RELACIÓN % AA/A	(+) AUMENTO	-	-	PARÁMETRO 4: DISTANCIA ENTRE LOS MUROS 		
					(-) REDUCCIÓN					
				RELACIÓN % T/H						
				% DE SUPERFICIE APORTICADA						
4	DISTANCIA ENTRE LOS MUROS	D	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)						
5	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	A	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)						
6	TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE	B	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)						
7	CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE	B	M	TIPO DE PARAMENTO	I - Adobe		PARÁMETRO 9: CUBIERTA			
8	ESTRUCTURAS HORIZONTALES	C	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)	Cubierta que provoca empujes					
9	CUBIERTA	C	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)						
10	ESTADO DE CONSERVACIÓN	A	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)	Cubierta que provoca empujes moderados					
12	ALTERACIONES EN EL ENTORNO	B	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)						
13	ALTERACIONES EN EL SISTEMA CONSTRUCTIVO	A	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)	Cubierta que no provoca empujes					
14	VULNERABILIDAD AL FUEGO	B	M	(VER LAS INSTRUCCIONES DEL LLENADO DE LA FICHA)						
PAG. 1						 <small>Instituto Nacional de Antropología e Historia</small>				

Figura 57. Ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de la Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu. Fuente: Elaboración propia (2015).

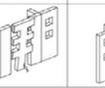
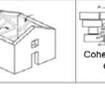
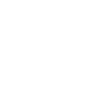
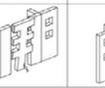
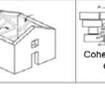
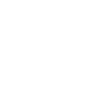
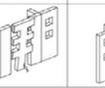
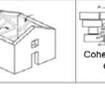
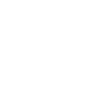
FICHA DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CONSTRUCTIVA DE BIENES CULTURALES INMUEBLES								 <small>ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y ARQUEOLOGÍA</small> <small>EXCELTO MANUS DEL CASTILLO HERBES</small>																																																
11. IDENTIFICACIÓN DE AGRIETAMIENTOS Y MECANISMOS DE COLAPSO																																																								
DAÑOS		IDENTIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑOS																																																						
		ELEMENTO EVALUADO (% DEL ELEMENTO)																																																						
		FACHADA NORTE	FACHADA PONIENTE	FACHADA SUR	FACHADA ORIENTE	CUBIERTA	MUROS DIVISORIOS	ENTREPISO																																																
DAÑOS ESTRUCTURALES	COLAPSO ESTRUCTURAL	-	-	-	-	-	-	-																																																
	GRIETA PASANTE	-	-	-	-	-	-	-																																																
	GRIETA NO PASANTE	-	-	-	-	-	-	-																																																
	DESPLOME	-	-	-	-	-	-	-																																																
	PÉRDIDA DE ELEMENTOS	-	-	-	-	-	-	-																																																
	ASENTAMIENTOS	-	-	-	-	-	-	-																																																
	DERRUMBES	-	-	-	-	-	-	-																																																
	NUCLEOS EXPUESTOS	-	-	-	-	-	-	-																																																
	DESPLAZAMIENTOS	-	-	-	-	-	-	-																																																
	ABOMBAMIENTOS	-	-	-	-	-	-	-																																																
DAÑOS NO ESTRUCTURALES	EROSION	-	-	-	-	-	-	-																																																
	OQUEADES	-	-	-	-	-	-	-																																																
	PÉRDIDA DE RELIEVES	-	-	-	-	-	-	-																																																
	PÉRDIDA DE APLANADO	-	-	-	-	-	-	-																																																
	FISURAS	-	-	-	-	-	-	-																																																
	ESCOMBRO	-	-	-	-	-	-	-																																																
	DISCREGACIÓN	-	-	-	-	-	-	-																																																
	PÉRDIDA DE ACABADO	-	-	-	-	-	-	-																																																
	FLORA SUPERIOR/INF.	-	-	-	-	-	-	-																																																
	EFLORESCENCIAS	-	-	-	-	-	-	-																																																
HUMEDAD	INFILTRACIÓN ASCENDENTE	-	-	-	-	-	-	-																																																
	INFILTRACIÓN DESCENDENTE	-	-	-	-	-	-	-																																																
	INFILTRACIÓN PUNTUAL	-	-	-	-	-	-	-																																																
CROQUIS DE LOS PRINCIPALES AGRIETAMIENTOS DEL EDIFICIO																																																								
OBSERVACIONES		En general este inmueble no presenta lesiones visibles por el mantenimiento constante efectuado por la comunidad de Chiu Chiu.																																																						
IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES MECANISMOS DE COLAPSO																																																								
MECANISMO		OBSERVACIONES																																																						
		No se aprecian grietas para la identificación de un mecanismo.																																																						
		<table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>B1</td> <td>B2</td> <td>C</td> <td>D</td> <td>E</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td>Volteo vertical</td> <td>Volteo con un ala</td> <td>Volteo con dos alas</td> <td>Falla en la esquina</td> <td>Volteo parcial</td> <td>Volteo franja vertical</td> <td>Arco vertical</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Más fallas parciales</td> <td colspan="3">Fallas asociadas</td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>H</td> <td>I</td> <td>L</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Arco horizontal</td> <td>Falla en el plano</td> <td>Adición vertical</td> <td>Volteo espadaña</td> <td>Colapso de cubierta/piso</td> <td>Falla de mampostería</td> <td>Cohesión insuficiente en la fábrica</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						A	B1	B2	C	D	E	F	Volteo vertical	Volteo con un ala	Volteo con dos alas	Falla en la esquina	Volteo parcial	Volteo franja vertical	Arco vertical								Más fallas parciales			Fallas asociadas				G	H	I	L				Arco horizontal	Falla en el plano	Adición vertical	Volteo espadaña	Colapso de cubierta/piso	Falla de mampostería	Cohesión insuficiente en la fábrica							
A	B1	B2	C	D	E	F																																																		
Volteo vertical	Volteo con un ala	Volteo con dos alas	Falla en la esquina	Volteo parcial	Volteo franja vertical	Arco vertical																																																		
																																																								
Más fallas parciales			Fallas asociadas																																																					
G	H	I	L																																																					
Arco horizontal	Falla en el plano	Adición vertical	Volteo espadaña	Colapso de cubierta/piso	Falla de mampostería	Cohesión insuficiente en la fábrica																																																		
																																																								
RESOLUCIÓN (MARCAR CON UNA X)																																																								
HABITABLE		TEMPORALMENTE INHABITABLE		INHABITABLE		ACCIONES																																																		
G1	Daño superficial leve	G1	Daño estructural, por ejemplo en techumbre y plafones	G1	Daño estructural severo	REQUIERE DE UNA REVISIÓN MÁS DETALLADA (ESTRUCTURAL, GEOTÉCNICA U OTRA)		Requiere revisión geotécnica																																																
G2		G2		G2		REQUIERE IMPEDIR EL ACCESO		-																																																
G3		G3		G3		OTRAS ACCIONES		Mantenimiento y aplanado en todas las fachadas																																																
PARTICIPANTES		Daniela Díaz																																																						
PAG. 2		 <small>Instituto Nacional de Antropología e Historia</small>																																																						

Figura 57. (continuación).- Ficha de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de la Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu. Fuente: Elaboración propia (2015).

Llenado de la ficha

Tabla de severidad de las amenazas

Se llenó con base en los listados y estudios previos para la evaluación de las amenazas, descritos en este capítulo.

1. Posición del edificio y cimentaciones

Clase A: Edificios emplazados sobre roca con pendiente p inferior o máximo de 10%.

Como se señaló en el punto 6.2, el tipo de suelo predominante es de características rocosas con alta presencia de grava (suelos de clasificación I y II según la Nch 433 of. 96) que atenúan la velocidad de la onda sísmica. No se consideran las características de las cimentaciones debido a que la iglesia se emplaza sobre roca, en una pendiente de 4%.

2. Configuración planimétrica o geometría

Clase D: $\beta_1 < 40$; $\beta_2 > 30$

$a = 6.9$ m; $b = 6.6$ m; $l = 29.2$ m

$\beta_1 = a/l \times 100 = 23.6\%$

$\beta_2 = b/l \times 100 = 22.6\%$

3. Configuración en elevación

Clase A: Edificios con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.

4. Distancia entre muros

Clase D: Edificios que presentan sólo dos de las siguientes relaciones geométricas:

- La esbeltez de los muros no debe ser mayor que 8. El espesor mínimo de muros está determinado implícitamente por la esbeltez máxima. En este caso de estudio sí se cumple: $\text{Esbeltez} = H/e = 5.09 / 0.89 = 5.71 < 8$.
- Los vanos no deben tener un ancho mayor a 2.5 veces el espesor del muro: el vano más grande es el del acceso, de 2.57 m $>$ ($2.5 \times 0.89 \text{ m} = 2.22$), por lo que no se cumple.
- Los vanos de ventanas y puertas se deben ubicar a una distancia no menor que tres veces el espesor del muro desde el borde libre más próximo: la distancia mínima de $3 \times 0.89 \text{ m} = 2.67$) no se cumple en el baptisterio, ni en la capilla lateral ni en la sacristía.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro: ($6 \times 0.89 \text{ m} = 5.34$) Este criterio no se cumple, sobre todo en la nave de la iglesia, pero cuenta con contrafuertes en todas sus fachadas que evitan el volteo de los muros.
- La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor que 10% de su altura: sí se cumple, porque 10% de 5.09 m son 0.50 m, y no se observan desplomes que superen esta medida.

5. Elementos no estructurales

Clase A: Edificios sin accesorios, salientes o voladizos.

6. Tipo y organización del sistema resistente

Clase B: Edificios que presentan una buena traba entre los muros ortogonales y una buena conexión entre los muros y los entrepisos, mediante estructuras horizontales continuas ejecutadas con materiales propios de los sistemas constructivos originales, o compatibles en cuanto a resistencia y rigidez.

7. Calidad del sistema resistente

Los paramentos son de:

I - Adobe: estructura ejecutada con bloques fabricados con tierra cruda (barro), paja y, opcionalmente, aditivos destinados a mejorar su calidad y capacidad mecánica, que son secados al aire y que se deben colocar según un determinado aparejo, unidos mediante un mortero de barro.

Clase B: Adobe con todos los bloques trabados a soga, a tizón o con otras trabas derivadas de ellas, con un traslape de medio adobe entre los muros ortogonales. Las juntas entre los adobes, tanto horizontales como verticales, están fabricadas con el mismo barro del adobe, pero con un espesor mayor a 1.5 cm.

8. Estructuras horizontales

Clase C: Edificios con estructuras horizontales propias del sistema constructivo tradicional o ejecutadas con materiales compatibles en cuanto a resistencia y rigidez, dotadas de una deformabilidad significativa en el plano, aunque bien conectadas a los muros.

9. Cubierta

Clase C: Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio o con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez.

10. Estado de conservación

Clase A: Mampostería o adobe en buen estado, sin daños visibles.

11. Identificación de agrietamientos y mecanismos de colapso

No se identificó algún posible mecanismo de colapso. En general, este inmueble no presenta lesiones visibles, ya que la comunidad de Chiu Chiu le ha dado un mantenimiento constante.

12. Alteraciones en el entorno

Clase B: Edificios que cuenten con hasta tres de estas condiciones:

- Accesibilidad (en caso de desastre o siniestro, el edificio no cuenta con una red de caminos y/o infraestructuras necesarias): sí.
- Uso / abandono (el edificio se emplaza en un contexto que se encuentra en condición de abandono): no.
- Densidad demográfica (el edificio se emplaza en una zona densamente poblada): no.
- Aislamiento (el edificio se encuentra fuera de una zona habitada, o a una distancia considerable con respecto a otro centro poblado): no.

- Relación con el contexto geográfico (el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno geográfico): sí.
- Relación con el contexto construido (el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno construido): no.
- Relación con la comunidad (el edificio se encuentra en una situación de conflicto con respecto a su entorno social): no.
- Desinterés (tanto el entorno físico como social mantienen una relación de desinterés con respecto al bien inmueble): no.

13. Alteraciones negativas en el sistema constructivo

Clase A: Edificio sin modificaciones en su sistema constructivo.

14. Vulnerabilidad al fuego

Clase B: Edificios que cuenten con hasta tres de estas condiciones:

- Ornamentos y muebles inflamables: sí.
- Acumulación de polvo, suciedad y basura en cubiertas o bodegas: no.
- Muros, pisos y puertas con resistencia deficiente al fuego: no.
- Falta de compartimentación y divisiones interiores. Escaleras abiertas: sí.
- Medios de escape inadecuados a través de puertas, pasillos o escaleras: no.
- Falta de llaves maestras, cerraduras obsoletas: sin información.
- Instalaciones eléctricas defectuosas: sin información.
- Chimeneas defectuosas con acumulación de hollín y grasa: no.
- Bajo estándar de administración y servicio de limpieza: no.
- Fracaso en el contacto con bomberos y en la organización de simulacros de incendio: sin información.

- Peligro derivado de incendios provocados, por fumar o por operaciones en la cocina: sí (por presencia de velas encendidas).

Cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica

Parámetros	Clase	Ponderación	Peso	Total	
1	Posición del edificio y cimentaciones	A	0	0.75	0
2	Configuración planimétrica	D	12.12	0.5	6.06
3	Configuración en elevación	A	0	1.0	0
4	Distancia entre muros	D	12.12	0,25	3.03
5	Elementos no estructurales	A	0	0.25	0
6	Tipo y organización del sistema resistente	B	1.35	1.5	2.03
7	Calidad del sistema resistente	B	1.35	0.25	0.34
8	Estructuras horizontales	C	6.73	1.0	6.73
9	Cubierta	C	6.73	1.0	6.73
10	Estado de conservación	A	0	1.0	0
12	Alteraciones en el entorno	B	1.35	0.25	0.34
13	Alteraciones en el sistema constructivo	A	0	0.25	0
14	Vulnerabilidad al fuego	B	1.35	0.25	0.34
Total					25.6

Figura 58. Cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica de la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu. Fuente: Elaboración propia (2015).

8. Llenado de la ficha para priorizar la atención en función de los valores del monumento histórico iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, región de Antofagasta

Para el llenado de la ficha se utilizó principalmente la información presente en el decreto de declaratoria de la Zona Típica Pueblo de San Francisco de Chiu Chiu, fotografías y la información de la Nómina de Monumentos Nacionales, desarrollada por el Consejo de Monumentos Nacionales.

Esta iglesia ha sido modificada pocas veces en su historia, por lo que se ha mantenido prácticamente intacta la integridad y autenticidad de sus valores, al igual que su importancia histórica para la comunidad de Chiu Chiu, que utiliza habitualmente la iglesia y aún mantiene sus ritos y ceremonias religiosas.

Por lo anterior, los factores que bajan su ponderación son los que miden su escasez a nivel nacional, debido a que existen otras de iglesias que responden a esta tipología, pero la de Chiu Chiu es la más antigua de todas. Respecto a su excepcionalidad, se clasificó con una ponderación media debido a que las iglesias del altiplano están incluidas en la lista tentativa para ser postuladas por Chile como sitios de Patrimonio Mundial. Luego de la aplicación de la ficha para priorizar la atención, su ponderación fue de 2.44, es decir, media (véase figura 59).

Iglesia de San Francisco de Chiu Chiu Comuna de Calama, Región de Antofagasta, Chile Latitud 22°20'35.04"S Longitud 68°39'2.03"O			Ponderación			
			Integridad Autenticidad 3: 71-100% 2: 41-70% 1: 0-40%	Escasez a nivel nacional Alta: 3 Media: 2 Baja: 1	Excepcionalidad (único o raro) Sitio de Patrimonio Mundial: 3 Lista Tentativa para SPM: 2 Otros: 1	Resultado (Promedio)
Valores socioculturales	Antigüedad (Huella del tiempo)	Huella del tiempo en materiales y fábrica	3	3	2	2.66
	Histórico (Asociado a un hecho histórico, autor y/o comitente)	Fábrica, uso, asociaciones, registros, sitios y objetos relacionados	3	2	2	2.33
	Simbólico – significativo (Conmemorativo, voluntad de recordar, significación en el contexto urbano, relación con el entorno)	Técnicas, entorno, significados, uso y función, tradición, espíritu y sentimiento	3	3	2	2.66
	Estético (Representatividad, inserción en una determinada corriente estilística, belleza y relación con el arte)	Concepto, forma, materiales, fábrica, emplazamiento y sentimiento	3	2	2	2.33
Valores económicos	Científico (Fábrica, materiales y técnicas utilizadas, grado de innovación)	Fábrica, materiales y técnicas	3	2	2	2.33
	Uso y/o valor económico (Función, asociaciones y sitios relacionados; valor de cambio)	Asociaciones, sitios relacionados, uso y función.	3	2	2	2.33
		Resultado	3	2.33	2	2.44

Figura 59. Ficha de priorización de la atención en función de los valores de la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu. Fuente: Elaboración propia (2015).

CAPÍTULO V

RECOMENDACIONES GENERALES DE OBRAS DE MITIGACIÓN Y CONSERVACIÓN PREVENTIVA PARA LA IGLESIA DE LAONZANA Y LA IGLESIA DE SAN FRANCISCO DE CHIU CHIU

El objetivo del análisis de los dos casos de estudio fue realizar una evaluación retroactiva de las amenazas y de la vulnerabilidad de estos edificios históricos, para comprender si se podrían haber previsto y mitigado los daños que se produjeron en ambas iglesias tras el terremoto de junio de 2005 en Chile.

Como se mencionó al inicio del Capítulo IV, tras este terremoto la iglesia de Laonzana, ubicada en la Quebrada de Tarapacá de la Cordillera de los Andes, colapsó en más de 60% de su estructura. Por otro lado, la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu, que se encuentra en el Oasis de Chiu Chiu, en los valles bajos de la Cordillera de los Andes, resultó con daños estructurales mas no presentó colapsos.

Al ser ambas iglesias de adobe, y al estar constituidas por la misma tipología arquitectónica y constructiva, resulta evidente que uno de los factores que determinó la diferencia en los efectos del terremoto fue su cercanía al epicentro. La aplicación de las herramientas de evaluación del riesgo permitió identificar, además, la amenaza de inestabilidad de laderas tanto en el entorno como en el terreno de desplante de la iglesia de Laonzana, que presenta una pendiente importante, y sobre todo una vulnerabilidad sísmica alta. La iglesia de Chiu Chiu, en cambio, se encuentra en un terreno plano y resultó con una vulnerabilidad sísmica media, es probable que estas condiciones fueron las causantes de la distinta magnitud del daño.

En función de lo anterior, se propondrán de forma retroactiva estrategias preventivas a partir del análisis de amenazas y de la vulnerabilidad constructiva, que tal vez habrían evitado o aminorado los daños causados por el terremoto en las dos iglesias.

No obstante, es importante considerar que para lograr una gestión apropiada del riesgo, y para la preservación de la integridad y autenticidad de estas iglesias, es fundamental trabajar con la comunidad que se identifica con estos inmuebles a lo largo de las tres etapas de la gestión del riesgo. En la *prevención*, por ejemplo, se pueden revitalizar los poblados con proyectos sustentables, y al mismo tiempo preservar las técnicas tradicionales al transmitirlos a las generaciones más jóvenes, a la vez que se les proporcionan las herramientas para realizar un monitoreo y un mantenimiento efectivos. En la respuesta es posible desarrollar planes de seguridad y emergencia coordinados con la comunidad. En la *recuperación*, la participación de la comunidad en el diseño y ejecución de las obras de restauración puede ser de suma importancia, de esta forma se preservan los ritos y el simbolismo propios de su cultura.

1. Recomendaciones generales de conservación preventiva y mitigación para la iglesia de Laonzana

Para las recomendaciones de conservación preventiva y mitigación, se utilizarán como base algunos campos de la tabla de escenarios y jerarquización de amenazas. Posteriormente se propondrán medidas de conservación preventiva asociadas a los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, en los casos en que sea posi-

ble realizar acciones de conservación que aumenten la resiliencia del edificio, pero sin afectar sus valores culturales.

Tabla 22. Severidad de daños posible ante el peor escenario de amenaza y recomendaciones de conservación preventiva y mitigación.

Amenazas	Severidad del daño en base al peor escenario de amenaza		Medidas de conservación preventiva en el inmueble	Estudios, obras de mitigación o gestión en el entorno del inmueble
	Leve o gradual	Catastrófica		
Amenaza sísmica	-	Con base en la influencia de la misión histórica, estas acciones podrían generar un daño catastrófico en las construcciones, tales como: el deterioro de las laderas, de las edificaciones, del pavimento de arenas, etc.	Aumentar la resiliencia del edificio con base en las recomendaciones derivadas de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.	Estudios geotécnicos para consolidación del suelo y mejoramiento del sistema de drenaje y orientación.
Deslizamiento de laderas	-	La roca basal en el emplazamiento de la iglesia de Laonzana es muy inestable por su conformación geológica, lo que se potencia por los fuertes cambios de temperatura que se producen diariamente, con una oscilación térmica de 0° a 30° C. Esto puede producir la fractura de la roca por termoclastismo y el consecuente deslizamiento de ladera ante la presencia de lluvia o de un sismo. Lo anterior se potencia por la pendiente de la quebrada y por las construcciones sin regulación que han intervenido el pie del cerro, que posiblemente se encuentra con humedad producto de los pozos negros, y que además no presenta vegetación que pueda disminuir este peligro.	-	Estudios geotécnicos para consolidación del suelo y mejoramiento del sistema de drenaje y orientación. Evaluación estructural y proyecto de reforzamiento y construcción de muros de contención de la ladera existente de la Quebrada de Tarapacá, que colinda con el pueblo de Laonzana. Regularización del sistema de aguas pluviales y la cantidad de agua que puede ser absorbida para evitar fuertes flujos de agua que generen filtración y humedad del terreno.
Amenaza volcánica	-	-	-	-

Amenaza hidrometeorológica	Esta amenaza se presenta todos los años durante el invierno altiplánico. Causa la inundación del cauce de la quebrada y el deslave de los recubrimientos de la iglesia.	El intemperismo de la ladera de la quebrada podría provocar un deslizamiento que afecte la iglesia.	Ejecutar aplanados de lodo en todos los muros y asegurar el mantenimiento y monitoreo constantes. Realizar las reparaciones necesarias para evitar la filtración de agua. Construcción de un sistema de drenaje que evite los encharcamientos, se debe contar con la asesoría de un arqueólogo para no afectar el patrimonio arqueológico del subsuelo. Revisar periódicamente las instalaciones de luz, gas y agua.	Estudios geotécnicos para la consolidación del suelo y obras de mitigación en el entorno de la iglesia, para evitar el deslizamiento de ladera.
Amenaza química-tecnológica	-	-	-	-
Incendios forestales o urbanos	-	-	-	-
Amenaza por erosión	Debido a la pérdida de aplanados, existe un peligro de erosión del adobe por el agua y el viento, situación que podría presentar un daño acumulativo y afectar gravemente su comportamiento estructural.	-	Ejecutar aplanados de lodo en todos los muros y asegurar el mantenimiento y monitoreo constante.	-

231 Esta recomendación está basada en las medidas preventivas generales propuestas por el Programa PrevINAH en su versión del año 2013.

Amenaza por estrés físico	-	-	-	-
Contaminación atmosférica	-	-	-	-
Amenaza socio-organizativa	-	-	-	-
Disminución demográfica y falta de mantenimiento	Por la falta de mantenimiento no se han renovado los aplanados, con el consecuente deterioro gradual del adobe todos los años.	-	Ejecutar aplanados de lodo en todos los muros y asegurar el mantenimiento y monitoreo constante.	Gestión con la comunidad para la ejecución de un mantenimiento constante y desarrollo de proyectos sustentables que revitalicen y activen el poblado en todas las épocas del año.

Fuente: Elaboración propia (2015).

Vulnerabilidad sísmica y medidas de conservación preventiva

1. Posición del edificio y cimentaciones: la iglesia clasifica como clase *B*. Edificios emplazados sobre roca con pendiente entre $10\% < p \leq 30\%$. No sería posible modificar esta condición ya que un cambio de pendiente del terreno implicaría una intervención muy invasiva. No obstante, se podrían realizar estudios geotécnicos para la consolidación del suelo.

2. Configuración planimétrica: la iglesia clasifica por sus proporciones en planta como clase *D*: $\beta_1 < 40$; $\beta_2 > 30$. Si bien esta condición implica una vulnerabilidad alta, no sería posible modificarla sin afectar los valores culturales de la iglesia.

3. **Configuración en elevación:** la iglesia no presenta vulnerabilidad sísmica respecto a este parámetro.

4. **Distancia entre los muros:** la iglesia clasifica como clase C porque no presenta las siguientes condiciones geométricas:

- Los vanos de ventanas y puertas se deben ubicar a una distancia no menor a tres veces el espesor del muro, desde el borde libre más próximo. Para aumentar la resiliencia del edificio se debería realizar un análisis y una propuesta estructural para reforzar el vano que se encuentra en la esquina de la sacristía, y el muro entre el acceso a la sacristía y el acceso a la capilla lateral, debido a que en estos casos no se cumple la distancia mínima de tres veces el muro o 3 m.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro. Esta condición no se cumple debido a la tipología arquitectónica de una nave longitudinal, por lo que para aumentar la resiliencia del edificio se debería realizar un análisis y una propuesta estructural para reforzar los muros longitudinales de la nave, o mejorar el funcionamiento estructural de los contrafuertes.

5. **Elementos no estructurales:** La iglesia no presenta vulnerabilidad sísmica respecto a este parámetro.

6. **Tipo y organización del sistema resistente:** la iglesia clasifica como clase D. Edificios con paredes ortogonales que no se encuentran trabadas entre ellas de manera eficiente. Para disminuir la vulnerabilidad sísmica se debería realizar

un análisis y una propuesta estructural que mejore la traba entre los muros ortogonales de adobe, por ejemplo, mediante la incorporación de escalerillas de madera en las esquinas, entre las hiladas (véase figura 60). Esto se hace con el objetivo de garantizar el comportamiento monolítico de la estructura ante la acción sísmica.

7. Calidad del sistema resistente: la iglesia clasifica como clase *D*. Albañilería de adobe, con deficiencias tanto en el aparejo de los bloques como en el traslape entre los muros ortogonales, y con mortero de lodo de baja calidad debido a su estado de conservación. Para aumentar la resiliencia del edificio se debería realizar un análisis y una propuesta de reforzamiento estructural mediante: la incorporación de escalerillas de madera entre las hiladas de adobe, el rejunteo con mortero de lodo mejorado con cal y el aplanado de todos los muros de la iglesia con el mismo material, para garantizar el comportamiento monolítico de la estructura ante la acción sísmica. Además, se podría controlar el agrietamiento y la separación de los elementos estructurales por medio de la colocación de refuerzos resistentes a fuerzas de tracción como, por ejemplo, los aplanados reforzados con geomalla de polipropileno (véase figura 61),²³² también se añade la capacidad de deformación de la estructura luego del agrietamiento inicial ante un sismo. Se debe asegurar el mantenimiento y monitoreo constante.

232 Este tipo de refuerzo ha sido utilizado con muy buenos resultados en Perú, donde la Pontificia Universidad Católica ha realizado mucha investigación al respecto; se trata de un refuerzo recomendado por la Norma Chilena 3332.

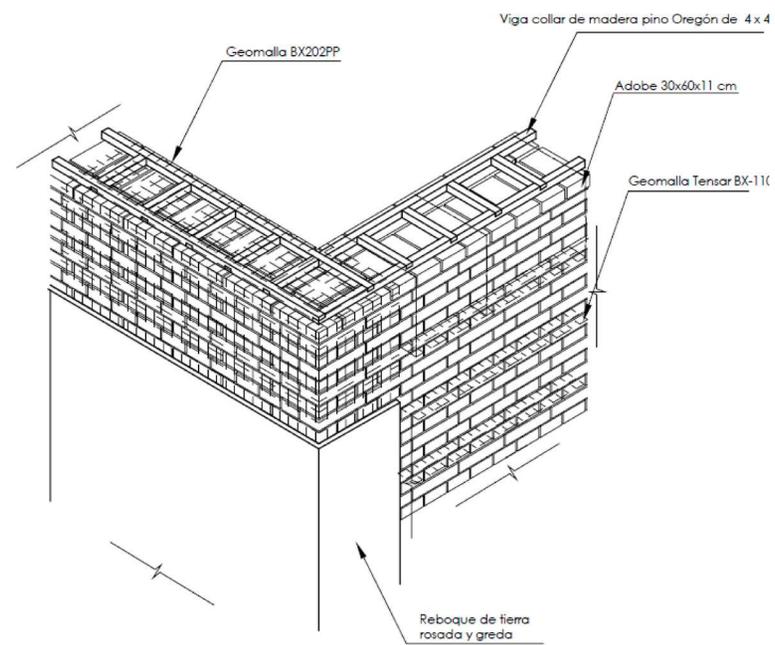


Figura 60. Detalle de instalación de escalerilla de madera y geomalla en muros. Proyecto de restauración de la Iglesia de Socoroma, Chile. Fuente: Fundación Altiplano en Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, Chile.

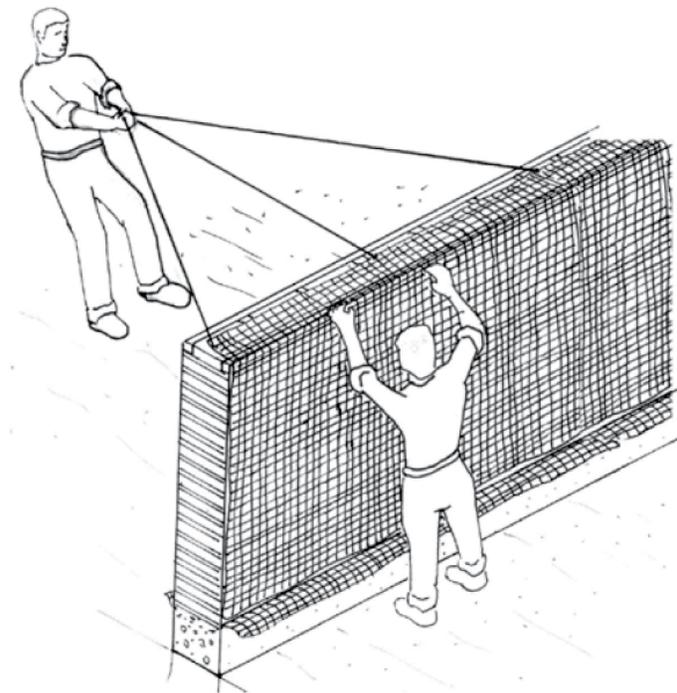


Figura 61. Detalle de instalación de geomalla en muros. Fuente: J. Vargas, *et al.*, *Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas*, Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2007.

8. Estructuras horizontales: la iglesia clasifica como clase *D*. Edificios con estructuras horizontales propias del sistema constructivo tradicional, pero mal conectadas a los muros. La estructura horizontal del edificio corresponde al coro de la iglesia, por lo que se debería realizar un análisis y una propuesta estructural para conectar el coro a los muros, dicha propuesta puede consistir en una escalerilla de madera que cubra la totalidad del espesor del muro de adobe.

9. Cubierta: la iglesia clasifica como clase *C*. Edificios con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros. La cubierta de la iglesia corresponde a una etapa constructiva reciente, que se ejecutó con madera aserrada y se revistió con lámina metálica. Por lo anterior, se debería realizar un análisis y una propuesta estructural para incorporar una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, capaz de transmitir homogéneamente las cargas de la cubierta a los muros.

10. Estado de conservación: La iglesia clasifica como clase *C*. Edificios que, aunque no tienen lesiones, presentan un estado de conservación de la mampostería que determina una reducción de su resistencia. Debido a que el adobe y los morteros se encuentran deteriorados por el intemperismo, la resiliencia puede mejorarse mediante rejunteos con mortero de lodo mejorado con cal o, de ser necesario, remamposteos de adobe, para posteriormente ejecutar un aplanado con mortero de lodo mejorado con baba de cactus. Se debe asegurar el mantenimiento y monitoreo constante y procurar la recuperación de la resistencia original de los muros fisurados para controlar las discontinuidades después de cada sismo.

11. Identificación de agrietamientos y mecanismos de colapso: no se identificaron agrietamientos ni algún posible mecanismo de colapso.

12. Alteraciones en el entorno: la iglesia clasifica como clase C. Edificios que cuentan con hasta seis condiciones de alteración. Por lo anterior, para disminuir la vulnerabilidad, se debería: mejorar la accesibilidad, realizar acciones de gestión con la comunidad de Laonzana para evitar el abandono en el que se encuentra el inmueble durante la mayor parte del año, que también ha deteriorado su entorno. Además, deberían realizarse estudios geotécnicos, consolidación del suelo y un mejoramiento de los muros de contención existentes.

13. Alteraciones en el sistema constructivo: la iglesia clasifica como clase B. Edificios con modificaciones en el sistema constructivo con materiales compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez, pero que no son reversibles. Las principales alteraciones fueron el cambio de la cubierta y la modificación del dado superior de la torre. Si bien la nueva torre no aumenta la vulnerabilidad, la cubierta debería reforzarse según la recomendación descrita en el apartado 9.

14. Vulnerabilidad al fuego: la iglesia clasifica como clase B. Edificios que cuentan con hasta tres de las condiciones de vulnerabilidad al fuego. La iglesia presenta ornamentos y muebles inflamables, además del peligro derivado de las velas encendidas en algunas ceremonias, por lo que para aumentar la resiliencia se debería evitar o controlar al máximo las actividades que impliquen fuego al interior de la iglesia, y proveerla de extintores.

2. Recomendaciones generales de conservación preventiva y mitigación para la iglesia de San Francisco de Chiu Chiu

Para las recomendaciones de conservación preventiva y mitigación de esta iglesia, al igual que en el caso anterior, se utilizarán como base algunos campos de la tabla de escenarios y jerarquización de amenazas, y los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

Tabla 23. Severidad de daños posible ante el peor escenario de amenaza y recomendaciones de conservación preventiva y mitigación.

Amenazas	Severidad del daño en base al peor escenario de amenaza		Medidas de conservación preventiva en el inmueble	Estudios, obras de mitigación o gestión en el entorno del inmueble
	Leve o gradual	Catastrófica		
Amenaza sísmica	-	Con base en la información histórica, en esta zona se podría producir un sismo cuya magnitud generaría un daño catastrófico en construcciones, deslizamientos de laderas, licuación de arenas, etc.	Aumentar la resiliencia del edificio con base en las recomendaciones derivadas de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.	Estudios geotécnicos para consolidación del suelo y obras de encauzamiento del río Loa.
Deslizamiento de laderas	-	La roca de Chiu Chiu es inestable porque se trata de material no consolidado, por los sistemas de fallas y por las estructuras de graben que son muy inestables. Existe una amenaza elevada de deslizamientos de la ladera oriente del río Loa, ya que son visibles los efectos de las inundaciones, lo que llega incluso a erosionar la base del muro del atrio de la iglesia. Además, el deslave ha provocado que se vea la roca madre, por lo que el proceso de erosión podría continuar y afectar el subsuelo de la iglesia en su lado poniente, lo que pondría en peligro la estructura por asentamientos diferenciales.	-	Estudios geotécnicos para consolidación del suelo o mejora del sistema de cimentación. Evaluación estructural y proyecto de encauzamiento de la ladera oriente del río Loa, en el sector colindante con la iglesia.
Amenaza volcánica	Daño leve por acumulación de tefra de más de 1 cm.	-	Se debe asegurar el mantenimiento y monitoreo constante de las cubiertas de la iglesia para que no se acumule ceniza volcánica, sobre todo ante la presencia de fumarolas en el volcán San Pedro.	-

Amenaza hidrometeorológica	Esta amenaza se presenta todos los años durante el invierno altiplánico causados de los aplandados de la iglesia en muros y cubierta.	Esta amenaza causa la inundación del cauce del río Loa, erosión en la base del muro del atrio y afloramientos de la roca madre en la ladera oriente del río. Por otra parte la presencia de humedad en el subsuelo de la iglesia podría afectar su estabilidad al humedecerse los muros de adobe por capilaridad.	Construcción de un sistema de drenaje que aisle a los muros de adobe de la humedad del subsuelo, y facilite la evacuación de aguas pluviales.	Construcción de un sistema de encauzamiento del río Loa, que evite que el área de inundación llegue al muro del atrio de la iglesia.
Amenaza química-tecnológica	-	-	-	-
Incendios forestales o urbanos	-	Existen árboles cercanos a la iglesia.	Se debe asegurar el mantenimiento y monitoreo constante de, el árbol al interior del atrio y de todos los demás que se encuentran en la plaza aledaña a la iglesia, se debe evitar que se sequen y que se realicen actividades con fuego cerca de ellos.	-
Amenaza por erosión	-	-	-	-
Amenaza por estrés físico	Debido a que las heladas se producen prácticamente todo el año, y esto coincide con la época de lluvias, el daño sería gradual.	-	Se deberán mantener y monitorear todos los aplandados de lodo para evitar que la humedad llegue a los elementos estructurales y se congelen.	-
Contaminación atmosférica	-	-	-	-
Amenaza socio-organizativa	-	-	-	-
Disminución demográfica y falta de mantenimiento	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2015).

Vulnerabilidad sísmica y medidas de conservación preventiva

1. **Posición del edificio y cimentaciones:** la iglesia no presenta vulnerabilidad sísmica respecto a este parámetro.

2. **Configuración planimétrica:** la iglesia clasifica por sus proporciones en planta como clase *D*: $\beta_1 < 40$; $\beta_2 > 30$. Si bien esta condición implica una vulnerabilidad alta, no sería posible modificarla sin afectar los valores culturales de la iglesia.

3. **Configuración en elevación:** la iglesia no presenta vulnerabilidad sísmica respecto a este parámetro.

4. **Distancia entre los muros:** la iglesia clasifica como clase *D* porque no presenta las siguientes condiciones geométricas:

- Los vanos no deben tener un ancho mayor a 2.5 veces el espesor del muro. Esta condición no se cumple en el vano de acceso, pero no sería posible modificar esta condición sin afectar los valores culturales de la iglesia.
- Los vanos de ventanas y puertas se deben ubicar a una distancia no menor a tres veces el espesor del muro, desde el borde libre más próximo. Para aumentar la resiliencia del edificio, se debería realizar un análisis y una propuesta estructural para reforzar los vanos que se encuentran en el baptisterio, en la capilla lateral y en la sacristía.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro, debe ser menor a seis veces el espesor del muro. Por la tipología arquitectónica de una

nave longitudinal, esta condición no se cumple, por lo que para aumentar la resiliencia del edificio se debería realizar un análisis y una propuesta estructural con el objetivo de evaluar la efectividad de los contrafuertes para controlar el volteo del muro, y reforzarlos si es necesario.

5. Elementos no estructurales: la iglesia no presenta vulnerabilidad sísmica respecto a este parámetro.

6. Tipo y organización del sistema resistente: la iglesia clasifica como clase B. Edificios que presentan una buena traba entre los muros ortogonales y una buena conexión entre los muros y los entrepisos, mediante estructuras horizontales continuas ejecutadas con materiales propios de los sistemas constructivos originales, o compatibles en cuanto a resistencia y rigidez. Por esto sólo se recomendaría verificar el funcionamiento monolítico entre el edificio y la estructura de cubierta.

7. Calidad del sistema resistente: la iglesia clasifica como clase B. Adobe con todos los bloques trabados a sogá, a tizón o con otras trabas derivadas de ellas, con un traslape de medio adobe entre los muros ortogonales. Las juntas entre los adobes, tanto horizontales como verticales, fabricadas con el mismo barro del adobe, pero con un espesor mayor a 1.5 cm. Como no es posible modificar el espesor del mortero, para aumentar la resiliencia del edificio se podrían incorporar refuerzos resistentes a fuerzas de tracción, como los aplanados reforzados con geomalla de polipropileno, añadiendo además la capacidad de deformación de la estructura luego del agrietamiento inicial

ante un sismo (véase figura 61). Se debe asegurar, además, el mantenimiento y monitoreo constante.

8. Estructuras horizontales: la iglesia clasifica como clase C. Edificios con estructuras horizontales propias del sistema constructivo tradicional o ejecutadas con materiales compatibles en cuanto a resistencia y rigidez, dotadas de una deformabilidad significativa en el plano, aunque bien conectadas a los muros. La estructura horizontal del edificio corresponde al coro de la iglesia, por lo que se recomienda realizar un análisis y una propuesta estructural, con el objetivo de evaluar si es necesario incorporar elementos para disminuir la deformabilidad de la estructura del coro.

9. Cubierta: la iglesia clasifica como clase C. Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros. La cubierta de la iglesia está construida según el sistema tradicional de par y nudillo, que en general no incluye una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros. Por ello se debería analizar una propuesta estructural para incorporar una estructura horizontal continua capaz de transmitir de manera homogénea las cargas de la cubierta a los muros (véase figura 62).

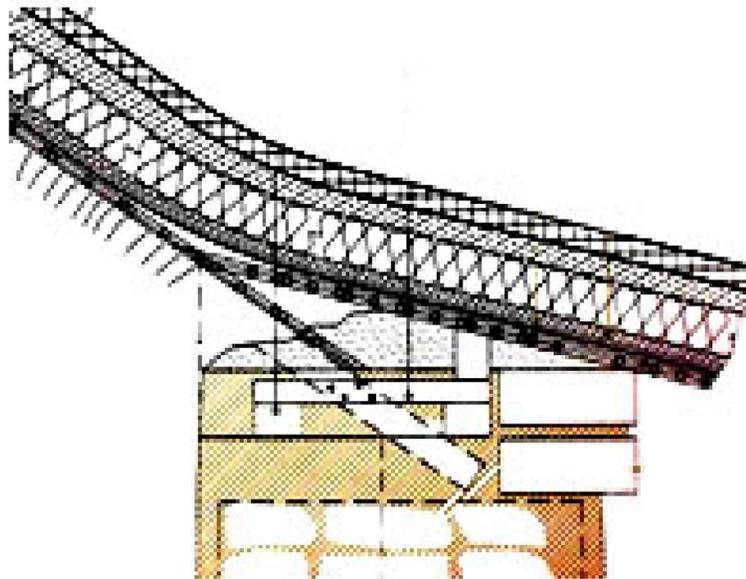


Figura 62. Detalle de instalación de escalerilla de madera como coronamiento de muros. Proyecto de restauración de la Iglesia de Mulluri, Chile. Fuente: Dirección de Arquitectura MOP en Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, Chile.

10. Estado de conservación: la iglesia no presenta vulnerabilidad sísmica respecto a este parámetro.

11. Identificación de agrietamientos y mecanismos de colapso: no se identificaron agrietamientos ni algún posible mecanismo de colapso.

12. Alteraciones en el entorno: la iglesia clasifica como clase *B*. Edificios que cuentan con hasta seis condiciones de alteración. Para disminuir la vulnerabilidad se recomienda: mejorar la accesibilidad, realizar estudios geotécnicos, consolidación del suelo y canalización del río Loa en su borde oriente.

13. **Alteraciones en el sistema constructivo:** la iglesia no presenta vulnerabilidad sísmica respecto a este parámetro.

14. **Vulnerabilidad al fuego:** la iglesia clasifica como clase *B*. Edificios que cuentan con hasta tres de las condiciones de vulnerabilidad al fuego. La iglesia presenta ornamentos y muebles inflamables, además, existe el peligro derivado de las velas encendidas que se usan en algunas ceremonias, por lo que para aumentar la resiliencia se debería evitar o controlar al máximo las actividades que impliquen fuego al interior de la iglesia, y proveerla de extintores.

CAPÍTULO VI

REFLEXIONES FINALES SOBRE EL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PARA EVALUAR EL RIESGO Y PRIORIZAR LA ATENCIÓN

Uso de las herramientas en los casos de estudio

Al utilizar las herramientas de evaluación del riesgo como metodología de análisis de los casos de estudio, fue posible analizar de manera integral ambos casos, e identificar las causas tanto intrínsecas como extrínsecas que produjeron el deterioro de los edificios tras el terremoto de junio de 2005 en Chile.

Al desarrollar un proyecto de conservación y restauración –si bien se consideran algunas amenazas con una mirada preventiva–, no se realiza una evaluación completa. La tendencia es restaurar los efectos, como las grietas o la erosión del material, pero sin consolidar el suelo o evitar la humedad ascendente, que podrían ser las causas de un daño constante y gradual en el inmueble, o incluso de un daño catastrófico ante un terremoto. Así, estas herramientas podrían considerarse un avance para poder cambiar la forma de evaluar un edificio histórico, es decir, que ya no sea concebido como un elemento aislado de su entorno y de las amenazas a las que está expuesto.

De hecho, el análisis de los casos de estudio a partir de las herramientas permitió identificar peligros que, luego del terremoto del 2005, aún siguen latentes, a pesar de que las iglesias ya se encuentran restauradas. Por ejemplo, aún existe el peligro de la inestabilidad de la roca en el emplazamiento de la iglesia de Laonzana: ya sea por su conformación geológica, por la posibilidad de que se produzca una fractura por termoclastismo, o por una falla debida a la presencia de humedad en el suelo, derivada de los pozos negros no regulados. Si

no se realizan estudios geotécnicos y no se evalúa la efectividad de los muros de contención existentes, se podría generar un deslizamiento de la ladera oriente de la Quebrada de Tarapacá.

Por otra parte, en el caso de la iglesia de Chiu Chiu, aún existe el peligro debido a las crecidas del río Loa, esto provoca que el deslave de su borde oriente continúe, lo que puede generar asentamientos diferenciales del terreno que afecten la estabilidad de la iglesia. Además, la presencia de humedad en el subsuelo podría afectar la estabilidad de la iglesia si primero afecta la base de los muros de adobe, posteriormente el resto del muro se verá afectado cuando la humedad ascienda por capilaridad.

Estas herramientas pueden utilizarse para la realización de un diagnóstico preventivo de la vulnerabilidad y de las amenazas a las que puede estar expuesto un bien cultural inmueble. El objetivo es priorizar la inversión de los recursos públicos y a la vez orientar las decisiones de mitigación y de conservación preventiva. No obstante, es importante que estas herramientas se pongan a prueba con más ejemplos, lo que permitirá establecer grupos tipológicos de bienes patrimoniales con una vulnerabilidad similar o amenazas comunes. Esto hará posible establecer políticas públicas para su resguardo a nivel territorial, en el marco de un trabajo interdisciplinario.

Respecto a la aplicación de la herramienta para priorizar las acciones de atención, en función del valor patrimonial de los casos de estudio, la ponderación de la integridad, autenticidad, escasez y excepcionalidad, dieron cuenta de que la menor alteración y la continuidad de uso de los bienes culturales inmuebles implican un incremento en todas las escalas de valoración: local, nacional e internacional. En este contexto, si bien la iglesia de San Fran-

cisco de Chiu Chiu resultó ser menos vulnerable que la iglesia de Laonzana, era recomendable priorizar la aplicación de las medidas de conservación preventiva y obras de mitigación, debido a que presentaba una ponderación mayor en cuanto a su integridad, autenticidad y escasez.

Esta herramienta es fundamental al momento de tomar decisiones en cuanto a la inversión en el patrimonio cultural, pues contribuye a evitar, en la medida de lo posible, la subjetividad propia de los juicios de valor en el desarrollo de políticas públicas a nivel nacional. Dicha herramienta, a pesar de que siempre va a existir un juicio de valor, permitirá evaluar todos los bienes culturales inmuebles con base en parámetros de evaluación comunes y, por lo mismo, menos subjetivos.

Desarrollo de herramientas dinámicas y concentración de la información sobre peligros en Chile

Para evaluar los peligros a los que está expuesto el patrimonio cultural inmueble, es necesario desarrollar mapas de amenazas a una escala de microzonificación, en los cuales se debe representar gráficamente los peligros de acuerdo a las condiciones específicas del área de estudio. Es importante comprender que estos peligros no son estáticos, por lo que pueden cambiar con el paso del tiempo. Por lo anterior, es necesario seguir el ejemplo del CENAPRED en México, institución que ya ha evolucionado en cuanto a la evaluación de los peligros existentes, principalmente porque la información de los mapas temáticos se vierte en un Sistema Integral de Información sobre Riesgos de Desastres. Esto se logra utilizando bases de datos, sistemas de información geográfica,

cartografía digital, modelos matemáticos y herramientas para la visualización, búsqueda y simulación de escenarios de riesgo. Este tipo de herramientas permite actualizar y mantener vigente la información de una manera sencilla, por esta razón deberían implantarse para el control de la información acerca de la evaluación del riesgo.

Por otra parte, el CENAPRED ha concentrado la información sobre riesgos de todo el país en el *Atlas nacional de riesgos*, iniciativa que es necesario seguir en países como Chile, tanto para realizar acciones preventivas ante los desastres que podrían afectar el patrimonio cultural inmueble, como para orientar la planificación territorial.

En esta investigación se ha propuesto evaluar el riesgo del patrimonio cultural inmueble con base en el peor escenario posible, para esto se ha considerado la mayor magnitud e intensidad histórica de los fenómenos, dichos criterios están basados en la información existente y en la severidad del daño que el fenómeno causaría en los edificios históricos. Debido a que el objetivo principal de estas herramientas es evaluar el riesgo para disminuir la severidad del daño, por medio de acciones de conservación preventiva y obras de mitigación que aumenten la resiliencia del bien cultural inmueble, las amenazas se han clasificado, en función de su frecuencia, en esporádicas y procesos continuos. No se ha considerado la variable de la probabilidad de la amenaza debido a que requiere estudios muy especializados de cada uno de los fenómenos, y en Chile, y probablemente en otros países latinoamericanos, los estudios científicos de tipo geológico, meteorológico, hidrológico, etc., no son de fácil acceso. No obstante, el ser conscientes del peor escenario posible e identificar tanto las amenazas que históricamente han afectado al bien inmueble como sus vulnerabilidades

constructivas, aumenta el grado de conocimiento del riesgo y, por tanto, disminuye el nivel de vulnerabilidad.

Sin embargo, para estudios posteriores se recomienda considerar herramientas tecnológicas de información como la interfase llamada Objetos de riesgo (RO), que permite generar escenarios de peligro y el número de clasificaciones del sistema expuesto, desde uno hasta el número máximo de combinaciones. Esta interfase se complementa, entre los diversos escenarios de peligro y el número de clasificaciones del sistema expuesto, con sistemas de información geográfica (SIG), de percepción remota (PR) y de geoposicionamiento global (GPS).

Respecto a la información necesaria para la elaboración de mapas de riesgo, la aplicación de las herramientas en los casos de estudio evidenció que en Chile la información está distribuida en instituciones diferentes, y no existe una encargada de recopilarla para realizar mapas de riesgo. Sin embargo, la búsqueda de antecedentes para los casos de estudio permitió encontrar fuentes importantes de información, como la página web de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, en la que se encontraron informes que caracterizaban las cuencas hidrográficas, sus caudales, las precipitaciones máximas, el clima, la vegetación y, en algunos casos, los peligros de deslaves asociados a inundaciones.

Por otra parte, en la página web del Servicio Nacional de Geología y Minería se encontró información detallada sobre los volcanes activos, y mapas de peligro a nivel local, regional e informes mensuales de monitoreo. Esta institución es la que elabora además los mapas geológicos, que permiten analizar la estabilidad del suelo.

En cuanto a la información sobre sismos históricos, ésta se encontró en el Centro Sismológico de la Universidad de Chile; la información sobre topografía e hidrografía se obtuvo del Instituto Geográfico Militar y de un Modelo de Elevación Digital en la página de ASTER GDEM; mientras que la ubicación de los monumentos históricos se obtuvo del geportal del Consejo de Monumentos Nacionales.

Esta investigación hizo evidente que, si bien existen instituciones que se encargan de estudiar algunas amenazas, la dispersión de la información dificulta el proceso de elaboración de un mapa para los bienes culturales inmuebles, por lo que es necesario concentrar esta información para su mejor manejo. Para lograr esto se deben elaborar convenios o solicitar donaciones para la adquisición de la cartografía necesaria, y crear una instancia técnica que concentre toda esta información en una base de datos, la cual sería manejada con base en los sistemas de información geográfica. Únicamente de esta forma se tendrá información certera y actualizada para priorizar proyectos de inversión, y se tomará en cuenta la variable del valor patrimonial y la vulnerabilidad.

Sería recomendable que esta instancia técnica constituyera una base integrada de información, es decir, que concentrara los estudios e investigaciones realizadas en Chile sobre peligros en las zonas donde exista patrimonio cultural, y también los análisis de vulnerabilidad constructiva en una base de datos. Esto es importante tanto para la toma de decisiones como para estimular la investigación acerca de la evaluación de la vulnerabilidad constructiva de los edificios históricos, por ejemplo, mediante la realización de ábacos de tipologías constructivas y de mecanismos de colapso del patrimonio chileno, tal como ya se ha hecho en la región toscana.

La implementación de estos programas requiere de un compromiso político y técnico por parte de las autoridades y de las instituciones encargadas de la protección del patrimonio, pues requieren de coordinación interinstitucional y de recursos para la ejecución de registros y levantamientos acuciosos de cada bien cultural inmueble. Por eso es importante tener en cuenta que con medidas de mitigación y conservación preventiva, podrían disminuir notablemente los daños en los inmuebles ante una catástrofe y, al mismo tiempo, también podrían aminorarse los costos y los plazos para su recuperación.

Herramienta 1. Priorizar acciones para la atención del patrimonio cultural inmueble en función del valor patrimonial

La destrucción del patrimonio inmueble producto de un desastre natural, afecta de manera importante la calidad de vida de las personas, especialmente de aquellos que viven en construcciones patrimoniales, cuyas técnicas constructivas son difíciles de reproducir en la actualidad. Dicha dificultad radica principalmente en que los sistemas constructivos tradicionales, donde se usa, por ejemplo, la tierra y la piedra, no cumplen con la normativa sísmica, y además los mismos propietarios de los inmuebles no confían en ellos.

Es esta la razón por la cual se han reemplazado sistemáticamente las construcciones tradicionales, de nobles proporciones y control climático natural, por las contemporáneas, que por lo regular son de mala calidad y poco confortables desde el punto de vista del control climático.

Este cambio en la integridad y en la autenticidad podría incluso implicar una pérdida de valor simbólico o de la capacidad comunicativa de los inmuebles patrimoniales, especialmente cuando se trata de bienes de carácter comunitario, como en el caso de las iglesias rurales. Esta destrucción afecta su capacidad de uso y altera aspectos perceptibles que son claves para su legibilidad y acceso por parte de la comunidad. Lo anterior es expresado claramente por Josep Ballart: "(...) la destrucción del objeto es una pérdida irreparable; es una pérdida económica, por el valor de cambio del objeto, una pérdida estética, por la destrucción de unos valores formales originales, y una pérdida histórica, por la destrucción del signo".²³³

Esta destrucción del signo es aún más grave en el norte andino chileno, donde la cultura globalizante y la migración de las comunidades a las ciudades, han transformado gran parte de los poblados andinos en centros ceremoniales, que permanecen prácticamente deshabitados durante todo el año, excepto para las festividades religiosas. Por lo anterior, en muchos casos la iglesia se transforma en el único vínculo que mantiene viva la cultura andina.

En relación a la estimación de los bienes, Foucault señala que "El oro no es más que el signo y el instrumento usual para poner en práctica el valor de las cosas; pero la verdadera estimación de éstas tiene su origen en el juicio humano y en la facultad que llamamos estimativa".²³⁴ Este juicio humano, como se mencionó en el Capítulo I necesariamente debe enmarcarse en el contexto

233 J. Ballart, *El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso*, Barcelona Ariel, 1997, p. 88.

234 *Ibidem*, p. 191.

cultural particular, ser interdisciplinario e incorporar a la comunidad involucrada con el bien cultural inmueble.

Por lo anterior, en la Herramienta 1 se ponderaron tres tipos de estimación: la local, que se basa en la interacción entre la comunidad y el bien inmueble, y a partir de la cual se caracterizan sus valores; la nacional, que requiere de una comparación entre los bienes patrimoniales incluidos en todo el territorio nacional en base a su escasez; y la internacional, que se basa en la excepcionalidad de los bienes a nivel mundial.

La ponderación en función del valor patrimonial es fundamental para priorizar las acciones de atención, y por esta razón debe acompañar siempre la evaluación del riesgo. De esta forma, se podrá priorizar la inversión pública para las acciones de conservación preventiva y mitigación del patrimonio edificado que en cada contexto cultural sea más escaso, y cuyo mayor grado de integridad, autenticidad o excepcionalidad pueda constituir una pérdida mayor ante un desastre natural.

Evaluación del riesgo: herramientas 2 y 3

Existe una ecuación que define el riesgo: $\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad}$, donde la amenaza, como ya se ha visto en esta investigación, es un fenómeno o evento con una cierta magnitud que genera un impacto en el patrimonio inmueble. La vulnerabilidad constructiva se define como las características y las circunstancias de un bien inmueble que lo hacen susceptible a los efectos dañinos de una amenaza. Por tanto, la vulnerabilidad constructiva siempre se evalúa respecto a una amenaza particular.

En este contexto, en la Herramienta 2. Descripción, jerarquización y mapeo de amenazas aplicadas al ámbito de la evaluación del riesgo del patrimonio cultural inmueble, se analizaron todas las amenazas que podrían afectar el patrimonio edificado. Además, se clasificaron como eventos esporádicos o procesos continuos, y en función de la severidad del daño que podrían generar en los bienes culturales ante el peor escenario. Esto permite jerarquizar y mapear las amenazas, y proponer medidas de mitigación en función de los resultados.

No obstante, en la Herramienta 3 sólo se desarrollaron los parámetros para evaluar la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica y, en términos generales, la vulnerabilidad al fuego, que suele ser una consecuencia de los terremotos. Por lo anterior, en el marco de esta investigación, la ecuación del riesgo sólo podría aplicarse a la amenaza sísmica, por ejemplo, mediante la asignación de una ponderación a la severidad de los efectos de esta amenaza en el edificio histórico.

La Herramienta 3. ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles, además de permitir una cuantificación basada en los parámetros cualitativos, para posteriormente comparar un conjunto de edificios sometidos a la misma amenaza, permite identificar las debilidades intrínsecas de un bien ante la amenaza sísmica y, a partir de esto, orientar las decisiones de conservación preventiva para aumentar la resiliencia del edificio, por medio del tratamiento de sus debilidades.

Es necesario recalcar la necesidad de investigar más sobre este tema. En distintas regiones de Italia, se han catalogado aproximadamente 200 secciones de muro que han permitido identificar porcentajes de piedra, mortero, vacíos, etc., lo cual, sumado a los análisis de laboratorio, permite constituir las bases de una intervención de conservación. Este tipo de estudio, en general, no ha

sido desarrollado en Latinoamérica; sin embargo, es muy necesario hacerlo para poder identificar, con mayor detalle, condiciones de vulnerabilidad constructiva asociadas a la tipología arquitectónica y constructiva de los edificios históricos.

Estos estudios deberían realizarse en cada país, para así identificar las tipologías constructivas propias de cada lugar y su nivel de resistencia según su materialidad, disposición de elementos, tipos de morteros y sistemas constructivos. También se podrían analizar los mecanismos de colapso respecto al conocimiento del comportamiento sísmico de estructuras análogas ya dañadas por terremotos (ábacos distintos para las diversas tipologías constructivas: edificios aislados, iglesias, conjuntos de edificios, etc.).

Si bien en esta investigación los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad se centraron en los sismos, es necesario que se identifiquen los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad constructiva para cada una de las amenazas existentes. Para aquellas que afectan el patrimonio cultural inmueble y que fueron identificadas en el Capítulo II, se podrían definir parámetros muy especializados para su evaluación y el aumento de la resiliencia ante ellas.

En algunos casos sólo se requeriría de un plan de mantenimiento, por ejemplo, para las amenazas de erosión, de estrés físico y de contaminación ambiental, bastaría con un programa de mantenimiento y monitoreo constante. Para amenazas como la antrópica y la disminución demográfica, más que aumentar la resiliencia del edificio, se requerirían proyectos sustentables de gestión con la comunidad que se identifica con el edificio histórico.

En cambio, para las amenazas que implican consecuencias catastróficas para el patrimonio cultural inmueble, sí es necesario definir parámetros de vul-

nerabilidad que orienten la conservación preventiva y las obras de mitigación, como se hizo en esta investigación para la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica. Esto fue posible debido a que existen estudios e investigaciones, basados en una vasta experiencia sobre los efectos de los terremotos en los edificios históricos, sobre análisis estructural, evaluación de la vulnerabilidad y aumento de la resiliencia de estos bienes.

Lo anterior, ha permitido evaluar los daños y desarrollar investigación y experimentación en función de la vulnerabilidad ante esta amenaza. Sin embargo, este conjunto de investigaciones no existe para el estudio de las otras amenazas que también provocan daños catastróficos en el patrimonio cultural inmueble: la volcánica, la hidrometeorológica y los maremotos. Desde esta perspectiva, cabe preguntarse: ¿Cómo se podría aumentar la resiliencia de los edificios históricos para resistir los flujos piroclásticos, los flujos de lahares o de lava, o la caída de material piroclástico? ¿Cómo podría un edificio histórico resistir de mejor manera un huracán, una tormenta de nieve, una inundación o un maremoto? Quizá el aumento de la resiliencia ante estas amenazas no implicaría tantas intervenciones en el edificio, sino más bien obras de mitigación en su entorno o en el subsuelo. Sin embargo, para poder estar seguros se requeriría de más estudios e investigaciones con el fin de definir parámetros específicos de vulnerabilidad constructiva ante cada una de estas amenazas.

Si bien en los casos de estudio se analizaron dos bienes culturales inmuebles, es importante que estas herramientas se apliquen en más casos de estudio, para así poner a prueba y afinar los parámetros de evaluación. Llevarlos a la práctica contribuiría a establecer una metodología de aplicación de las herramientas para evaluar el riesgo y priorizar la atención. También se lograría

minimizar la subjetividad del evaluador mediante un trabajo interdisciplinario, que incluya a la comunidad asociada con el bien cultural inmueble.

Estas herramientas, acompañadas de estudios e investigaciones sobre las tipologías constructivas y los mecanismos de colapso de los bienes culturales inmuebles en cada país, permitirán orientar las decisiones de inversión en patrimonio. Además, generarán una cultura de la prevención, mediante el aumento de la resiliencia del patrimonio cultural inmueble, y la elaboración y consolidación de políticas públicas para la protección del patrimonio en situación de riesgo en Latinoamérica. Esto no sólo disminuirá los costos y los plazos de recuperación después de una catástrofe, sino que también evitará la pérdida irreparable de nuestro patrimonio.

ANEXOS

1. Tabla resumen de la evaluación de vulnerabilidad según la posición del edificio y cimentaciones

Tabla 1. Evaluación según la posición del edificio y cimentaciones.			
Terreno de fundación	Pendiente del terreno	Diferencia entre niveles de cimentación (m)	Clase
1 Roca con fundaciones	$p \leq 10\%$	-	A
	$10 < p \leq 30\%$	-	B
	$30 < p \leq 50\%$	-	C
	$p > 50\%$	-	D
2 Roca sin fundaciones	$p \leq 10\%$	-	A
	$10 < p \leq 30\%$	-	B
	$30 < p \leq 50\%$	-	C
	$p > 50\%$	-	D
3 Terreno suelto sin empujes y con fundaciones	$p \leq 10\%$	0	A
	$p \leq 10\%$	$0 < h \leq 1$	B
	$10 < p \leq 30\%$	$0 < h \leq 1$	B
	$30 < p \leq 50\%$	$0 < h \leq 1$	C
	$p > 50\%$	-	D
	-	$h > 1$	D
4 Terreno suelto sin empujes sin fundaciones	$p \leq 10\%$	0	A
	$p \leq 10\%$	$0 < h \leq 1$	B
	$10 < p \leq 20\%$	$0 < h \leq 1$	B
	$20 < p \leq 30\%$	$0 < h \leq 1$	C
	$p > 50\%$	-	D
5 Suelto con empujes y con fundaciones	-	$h > 1$	D
	$p \leq 50\%$	$0 < h \leq 1$	C
	$p > 50\%$	-	D
6 Suelto con empujes y sin fundaciones	-	$h > 1$	D
	$p \leq 30\%$	$0 < h \leq 1$	C
	$p > 30\%$	-	D
	-	$h > 1$	D

Fuente: Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale. *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello*, versione modificata dalla Regione Toscana, 2003, p. 44.

2. Síntesis gráfica de las clases según la configuración en elevación

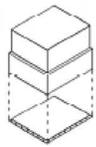
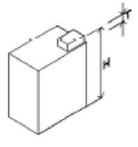
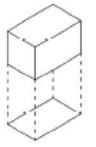
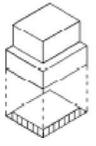
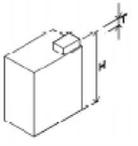
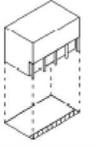
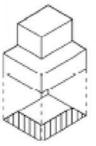
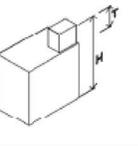
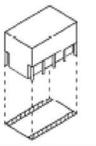
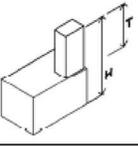
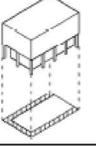
	ΔA (%)	T/H (%)	superficie porticata (%)
CLASSE A			
	$\Delta A \leq 10$	$T/H \leq 10$ o uniforme	s.p. = 0
CLASSE B			
	$10 < \Delta A \leq 20$	$0 < T/H \leq 10$	s.p. ≤ 10
CLASSE C			
	$\Delta A > 20$	$10 < T/H \leq 40$	$10 \leq \text{s.p.} \leq 20$
CLASSE D			
	-	$T/H > 40$	s.p. > 20

Figura 1. . Síntesis gráfica de las clases según la configuración en elevación. Fuente: *ibidem*, p. 63.

3. Muestrario de tipos de grietas

Un tipo de grietas a identificar son las lesiones coplanarias, que se caracterizan porque las fisuras o aplastamientos se marcan sobre los paramentos superficiales, y suelen atravesar toda la sección del elemento. Los daños por exceso de compresión presentan fisuras o grietas que coinciden con las direcciones de las líneas isostáticas correspondientes a un elemento que recibe cargas verticales (véase figura 2).

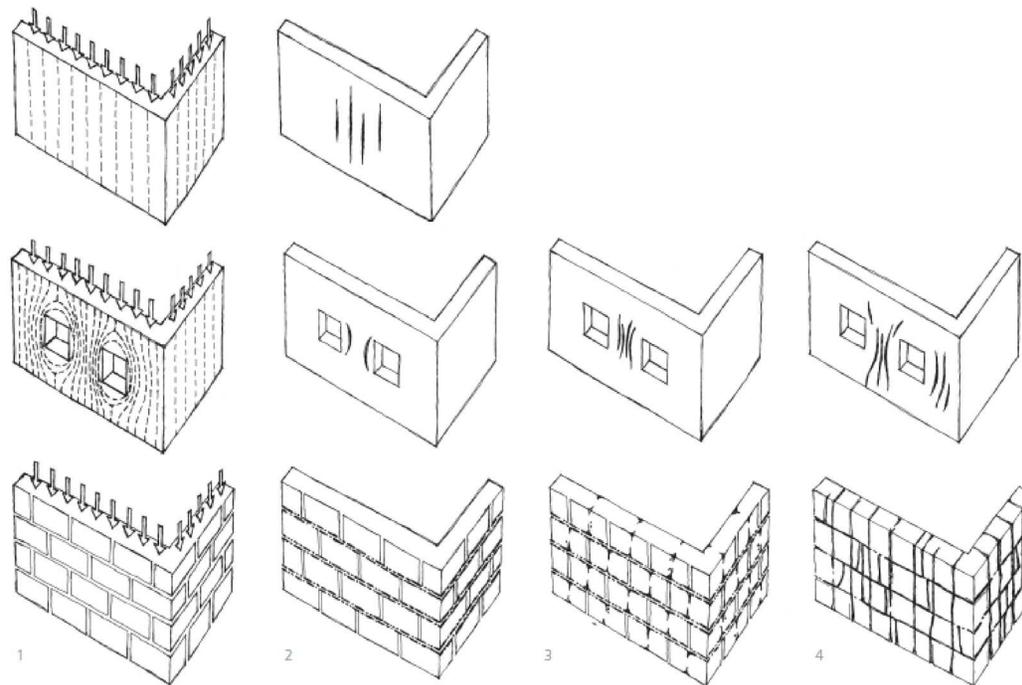


Figura 2. Lesiones por exceso de compresión. Fuente: C. Díaz, "Lesiones estructurales en los edificios de la arquitectura tradicional mediterránea", en J. Casanovas (dir.), *Método Rehabimed, Arquitectura tradicional Mediterránea*, vol. II, Barcelona, Consorcio Rehabimed, 2008, p. 196.

Por otra parte, los daños provocados por cargas puntuales se presentan como fisuras inclinadas que se originan en los laterales del elemento que genera la carga, o se marcan verticales bajo el elemento (véase figura 3).

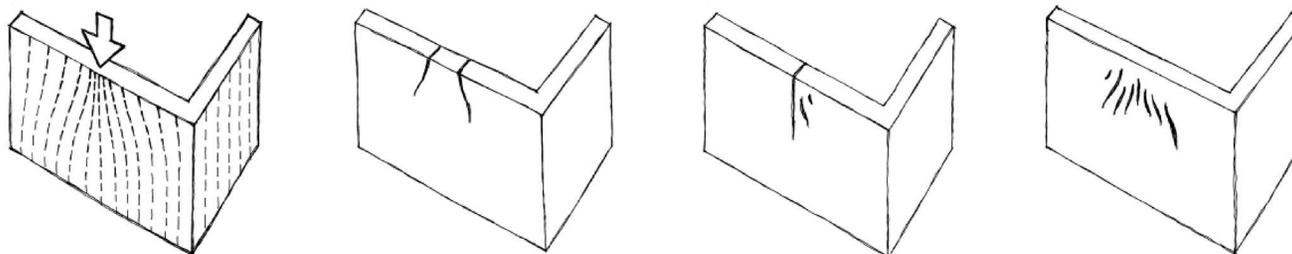


Figura 3. Lesiones por cargas puntuales. Fuente: *ibidem*, p.197.

También existen lesiones ocasionadas por insuficiencias de rigidez de los elementos vinculantes, como, por ejemplo, los dinteles de madera en una construcción de adobe o piedra. Otra lesión típica es la que se origina por las diferencias de carga entre muros transversales, que se presenta como una fractura vertical en muros con pérdida de continuidad y, por lo mismo, reducción del monolitismo del sistema estructural (véase figura 4).

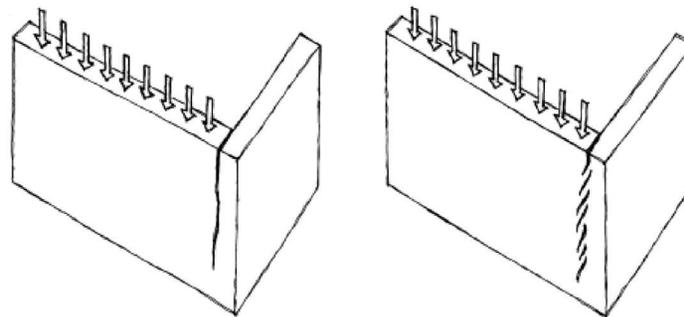


Figura 4. Fractura vertical por diferencias de carga entre muros transversales. Fuente: *ibidem*, p.198.

Otra tipo de daño es el que se produce por diferencias de rigidez entre los componentes de muros mixtos, por los esfuerzos de corte generados en las zonas donde el elemento de mayor rigidez impide la deformación del de menor rigidez. Esto ocurre, por ejemplo, en muros donde se combina el ladrillo con el tapial, o la mampostería escuadrada con la no escuadrada (véase figura 5).

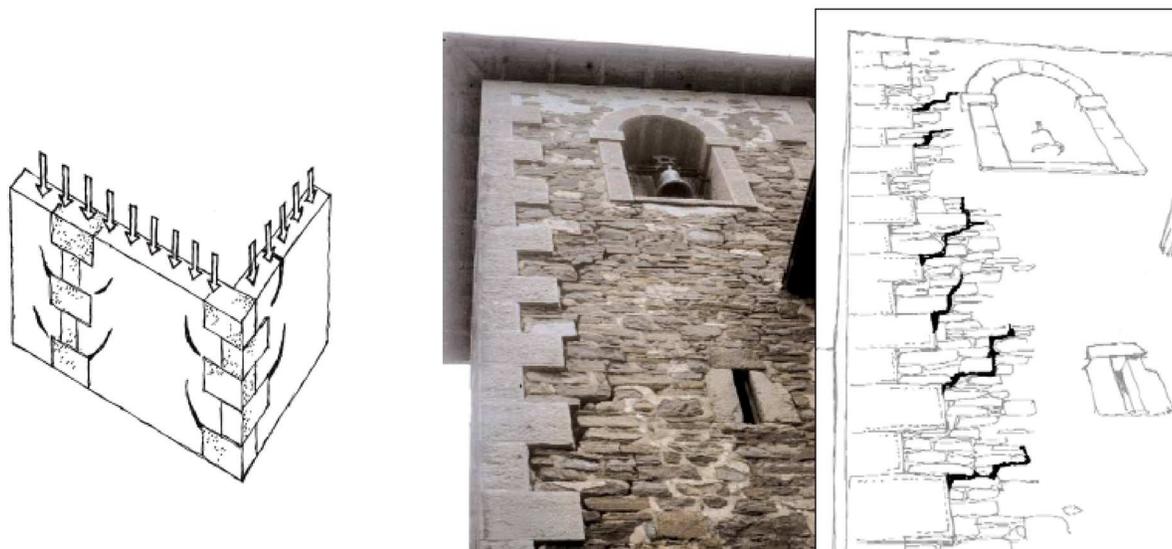


Figura 5. . Fracturas por diferencias de rigidez en muros mixtos. Fuente: *ibidem*, p.199.

Las lesiones debidas a los movimientos diferenciales de los cimientos se deben a los movimientos del terreno. En general, los agrietamientos se producen de manera progresiva, y la forma de las fisuras depende de si el movimiento es descendente o de desplazamiento (véase figura 6).

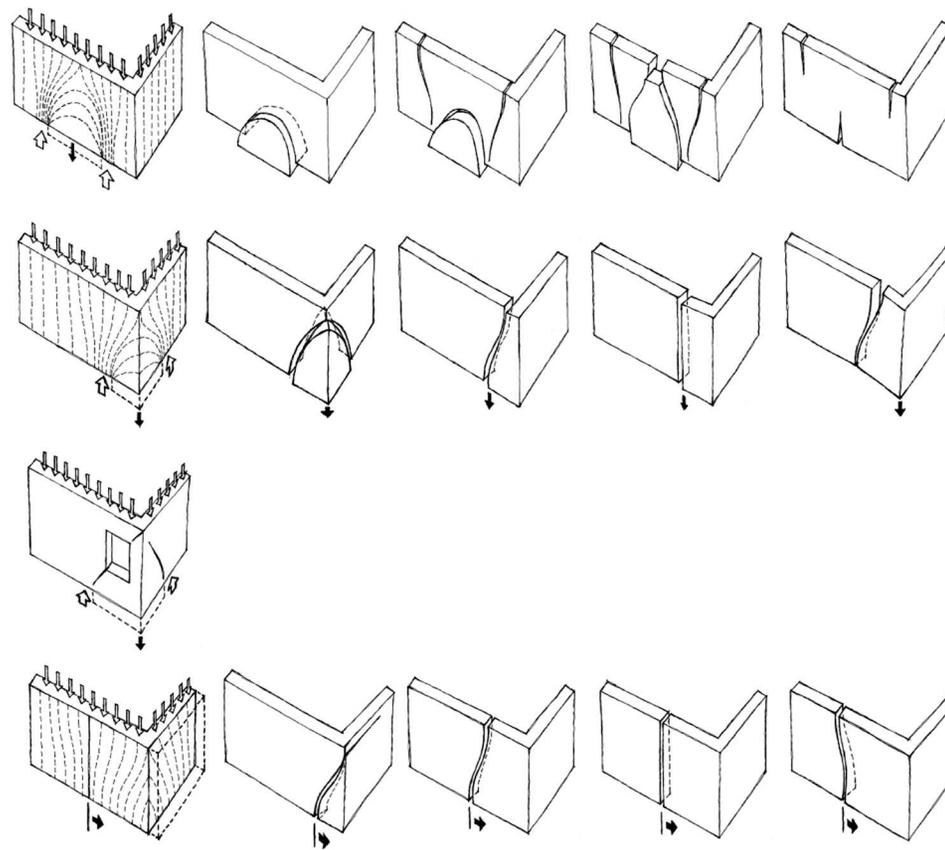


Figura 6. Fracturas movimientos diferenciales de los cimientos, descendentes y de desplazamiento.
Fuente: *ibidem*, pp. 200-201.

Finalmente, otras lesiones coplanarias son las que se originan por los movimientos sísmicos, suelen manifestarse como lesiones en cruz en los entrepañes situados entre aberturas, e indican la fractura por esfuerzo cortante de dichos tramos (véase figura 7). También se presentan daños no visibles en el interior de los muros, como descohesiones o microfisuraciones.

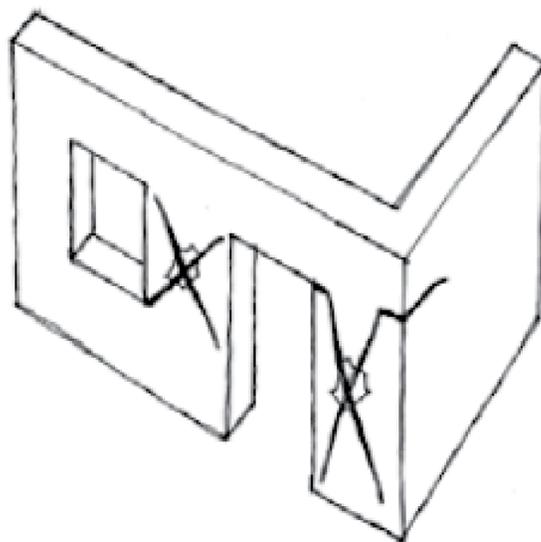


Figura 7. Lesiones en cruz en los entrepañes por esfuerzo cortante. Fuente: *ibidem*, p. 202.

Los daños que se manifiestan en el plano transversal a los paramentos de muro se caracterizan por no ser visibles en los paramentos exteriores del muro, o por manifestarse en forma de deformaciones transversales a dichos paramentos. Un ejemplo son las roturas verticales en secciones interiores de los muros, que se expresan como una grieta vertical por exceso de compresión, que divide al muro en dos mitades, lo que disminuye su capacidad portante. Esto ocurre generalmente en dobles muros de mampuestos con relleno interior.

Otras lesiones transversales son los desplomes y los abombamientos en las fachadas, los primeros se producen principalmente por empujes de las cubiertas, giros de la cimentación o por efectos de la humedad y temperatura; los segundos por procesos reológicos de lenta deformación bajo las cargas centradas o descentradas transmitidas por la cubierta o por los forjados. También se producen grietas por el empuje de las bóvedas.

Por otra parte, las vigas o viguetas de madera de los entrepisos pueden presentar daños como deformaciones, grietas o ataques bióticos, y las bóvedas y cúpulas pueden tener grietas originadas principalmente por la descompresión generada por el movimiento de los muros o pilares que las sustentan.

Las trabas entre muros perpendiculares son frágiles y pueden romperse por efectos térmicos, asentamientos diferenciales o durante un sismo (véase Figura 8). Pere Roca indica que el modo de falla más frecuentemente observado tras el terremoto de Italia²³⁵, fue el volteo de las paredes, tipo de falla que

235 El terremoto de L'Aquila de 2009 fue un sismo de magnitud 6.7 Richter, registrado el día 6 de abril de 2009 en la zona central de la península itálica. El epicentro se localizó en la ciudad de L'Aquila, región de Los Abruzos, mientras que en Roma su magnitud fue de 4.6 Richter.

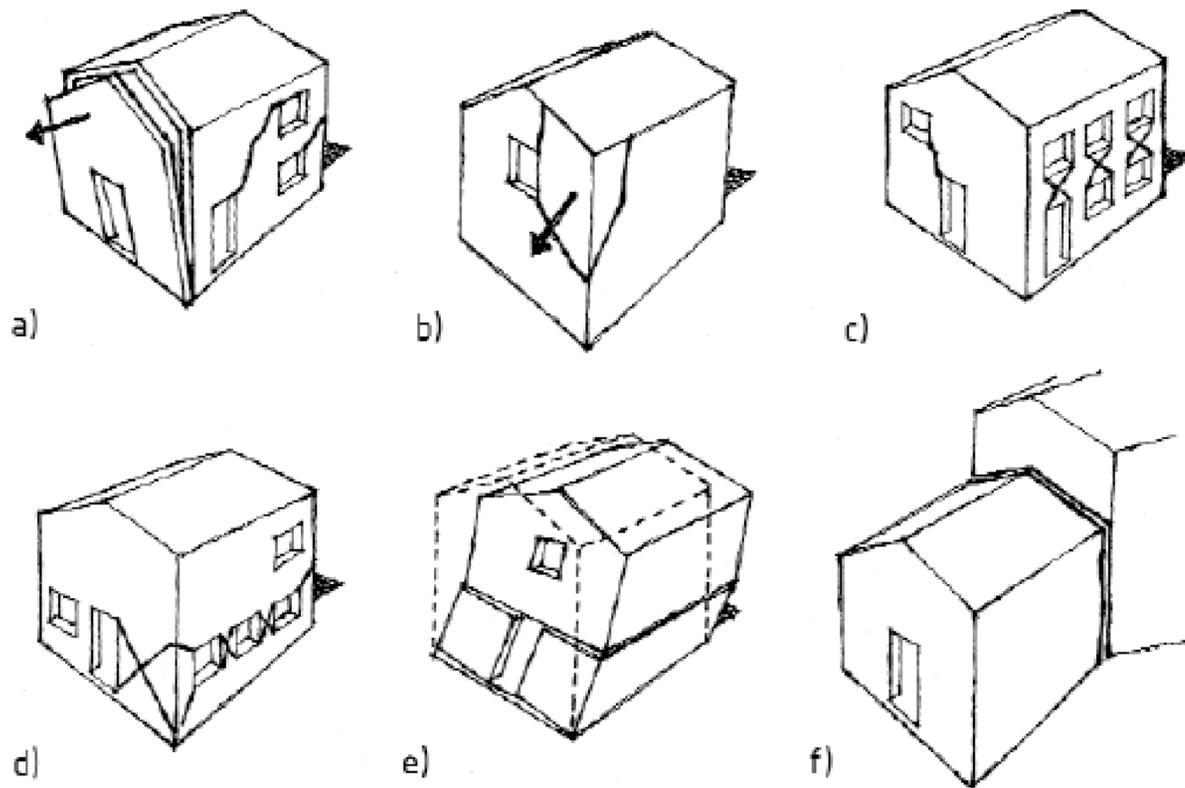


Figura 8. Posibles mecanismos de falla en edificios de obra de fábrica caracterizados por: a) el desplome de la fachada; b) el colapso de una esquina; c) la fisura diagonal de los antepechos; d) la fisura de machones verticales; e) la separación de la base de las paredes (mecanismo de balanceo o *rocking motion*; y f) separación o fisura en la unión entre edificios. Fuente: P. Roca, op. cit., p. 216.

se ha prevenido al mejorar la ligazón de la fachada al resto de la estructura mediante tensores metálicos, lo que ocasiona que las paredes perpendiculares sean un elemento de soporte durante un sismo. Si la resistencia de éstas resulta superada, desarrollan fisuras diagonales a través de las cuales el sistema formado por la fachada y el triángulo superior de estas paredes se separa del resto de la estructura. Este segundo tipo de fallo no conlleva necesariamente el colapso, a diferencia del primero (véase figura 9).

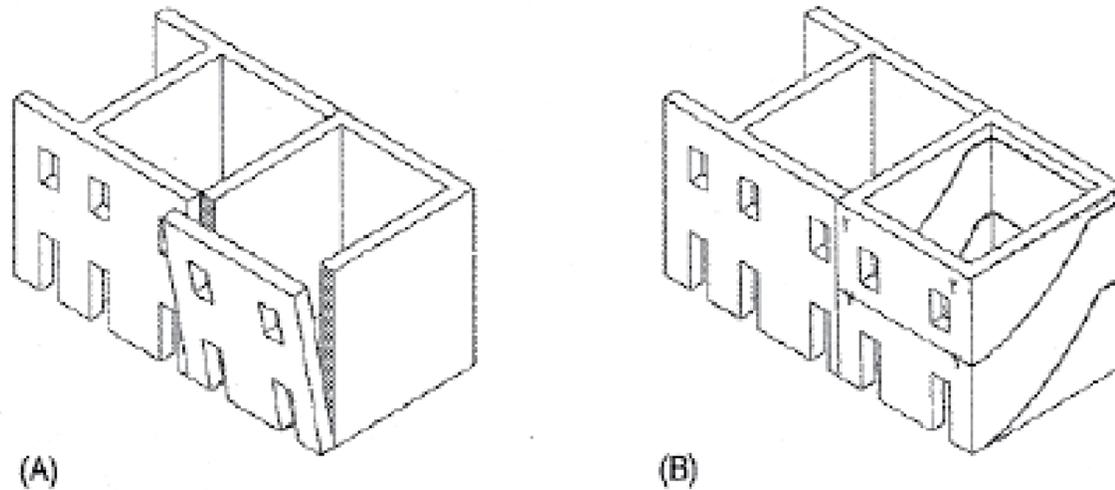


Figura 9. (A) Modo fundamental de fallo, y (B) modo esperable en edificio con fachadas atirantadas con tensores metálicos. Fuente: *ibidem*, p. 218.

4. Ábaco de mecanismos de colapso de los diversos macroelementos de la tipología de iglesias

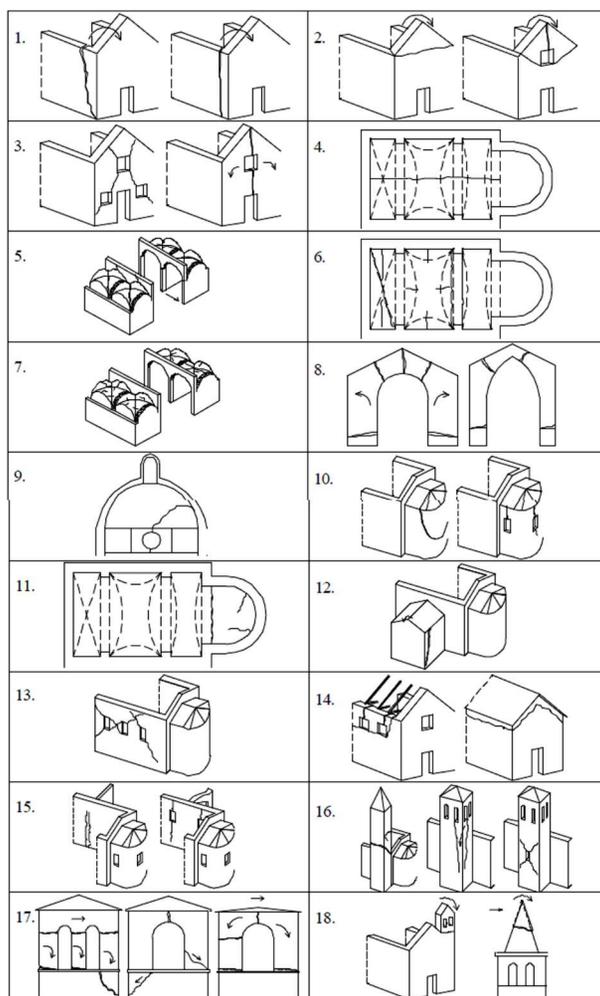


Figura 10. Ábaco de mecanismos de colapso de iglesias. Fuente: S. Lagomarsino, A. Brencich, F. Bussolino, A. Moretti, L.C. Pagnini y S. Podestà, "Una nuova metodologia per il rilievo del danno alle chiese: prime considerazioni sui meccanismi di danno attivati dal terremoto", *Ingegneria Sismica*, vol. XIV, núm. 2, 1997, pp. 70-82.

REFERENCIAS

- Arenas, F. *et al.*, "Los riesgos naturales en la planificación territorial", en *Temas de la Agenda Pública*, año 5, núm. 39, 2010.
- Baggio, C. *et al.*, *Field Manual for post-earthquake damage and safety assessment and short term countermeasures (AeDES)*, Roma, European Commission/ Joint Research Centre/ Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2007.
- Ballart, J. 1997, *El patrimonio histórico y arqueológico: valor y uso*, Barcelona, Ariel 1997.
- Baumgarten, A., J. Winckelman, M. Mendelssohn, J. Hamann, *Belleza y verdad. Sobre la estética entre la Ilustración y el Romanticismo* (trad. de Catalina Terrasa y Vicente Jarque), Barcelona, Alba, 1999.
- Benavides, A., *La arquitectura en el virreinato del Perú y en la Capitanía General de Chile* (3a. ed.), Santiago, Andrés Bello, 1988.
- Benavides, J. *et al.*, *Arquitectura del altiplano: caseríos y villorrios ariqueños*, Editorial Universitaria, Santiago, 1997.
- Berman, M., *Todo lo sólido se desvanece en el aire. La experiencia de la modernidad* (trad. de Andrea Morales), Madrid, Siglo XXI, 1988.

Binda L. y A. Saisi, "State of the Art of Research on Historic Structures in Italy", Advanced Research Centre for Cultural Heritage Interdisciplinary Projects, 2001, disponible en http://www.arcchip.cz/w11/w11_binda.pdf, consultado en mayo de 2015.

Bordas, A., "Políticas públicas para enfrentar los riesgos de desastres naturales en Chile", en *Estudios de Caso*, núm. 97, 2007.

Bullock, V., "Relevamiento de métodos y herramientas de evaluación de la significación", en *Ibermuseos, Ensayos del seminario-taller en valoración de acervos museológicos*, Brasilia, Programa Ibermuseos, 2012.

Carocci, C., "Guidelines for the safety and preservation of historical centres in seismic areas", en *Historial Constructions*, 2001, disponible en http://www.hms.civil.uminho.pt/events/historica2001/page%20145-166%20_Carocci_.pdf, consultado en mayo de 2015.

"Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y conjuntos histórico-artísticos", II Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos de Monumentos Históricos, Venecia, 1964, en L. Gómez (comp.), *Documentos internacionales de conservación y restauración*, México, INAH, 2009.

Casanovas, J. (dir.), *Método Rehabimed: arquitectura tradicional mediterránea*, vol. II, Barcelona, Consorcio Rehabimed, 2007, disponible en www.rehabimed.net, consultado en marzo de 2015.

CENAPRED, *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*, México, Secretaría de Gobernación/ CENAPRED, 2001.

-----, *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica*, México, CENAPRED, 2006.

-----, *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos geológicos*, México, CENAPRED, 2006.

-----, *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Fenómenos químicos*, México, CENAPRED, 2006.

-----, "Evaluación simplificada de la vulnerabilidad sísmica de viviendas", s/f, disponible en <http://sismos.gob.mx>, consultado en enero 2015.

Choay, F., *Alegoría del patrimonio* (trad. de María Betrand Suazo), Barcelona, Gustavo Gili, 2007.

Cohen, D. y M. Fernández, "Valoración: implicaciones para la gestión de riesgos, la conservación y el manejo de las colecciones", en Ibermuseos, *Ensayos del seminariotaller en valoración de acervos museológicos*, Brasilia, Programa Ibermuseos, 2012.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), *Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda. Manual de terreno*, Santiago, Raizfutura, 2012.

D'Ayala D. y E. Speranza, "An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings", en *12th European Conference on Earthquake Engineering*, disponible en <http://home.anadolu.edu.tr>, consultado en mayo de 2015.

De Angelis D'Ossat, G., *Guía para el estudio metódico de los monumentos y de las causas de sus deterioros*, Roma, ICCROM/ Università di Roma, 1972 (traducción libre de Juana Gómez Badillo, para la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete").

-----, *Guía para el estudio metódico de los monumentos y de las causas de sus deterioros*, Roma, ICCROM/ Università di Roma, 1972 (traducción de la versión en inglés de Ángel Leyva Magaña).

De la Torre, M. (ed.), *Assessing the Values of Cultural Heritage*, Los Ángeles, The Getty Conservation Institute, 2002.

De Tommasi, G. "El riesgo sísmico en la arquitectura tradicional en Herramienta 5. Comprender las lesiones estructurales", en J. Casanovas (dir.), *Método Rehabimed: arquitectura tradicional mediterránea*, vol. II, Barcelona, Consorcio Rehabimed, 2007.

Degg, M. y D. Chester, "Seismic and volcanic hazards in Peru: changing attitudes to disaster mitigation", en *The Geographical Journal*, vol. 171, núm. 2, 2005, pp. 125-145.

Díaz, C. 2008, "Lesiones estructurales en los edificios de la arquitectura tradicional mediterránea", en J. Casanovas (dir.), *Método Rehabimed: arquitectura tradicional mediterránea*, vol. II, Consorcio Rehabimed, Barcelona, 2007.

Díaz D., A. Vidal et al., *Reunión técnica iglesias del Altiplano: intervenciones arquitectónicas y arqueológicas en los monumentos nacionales. Lineamientos de intervención para proyectos bicomponente*, Santiago, Consejo de Monumentos Nacionales (Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, segunda serie, 110), 2012.

Direzione Generale delle Politiche Territoriale e Ambientali. Settore Servizio Sismico Regionale, *Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Manuale per la compilazione della Scheda GNDT/CNR di II livello*, 2003, disponible en http://www.regione.toscana.it/documents/10180/12262198/vsm_man.pdf/095d3648-191d-43aa-ae88-ad78cff79fb3.

-----, *Criteri per l'esecuzione delle indagini sugli edifici in muratura, la relazione tecnica e la compilazione della scheda di vulnerabilità Il livello GNDR/ CNR con riferimento alle nuove norme tecniche per le costruzioni, 2012, disponibile en http://www.regione.toscana.it/documents/10180/12262198/vsm_mur.pdf/e78f363c-172f-4239-9d53-df03b2e3fce8.*

Doglioni, F., *Codice di pratica (Linee Guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto Umbro- Marchigiano del 1997, Supplemento núm. 15 del 29/9/2000 al Bollettino Ufficiale della Regione Marche, 2000.*

ENEA y Oficina de Gestión Patrimonial de la Municipalidad de Valparaíso, *Manejo de riesgos en Valparaíso, servicios técnicos. Peligro de incendio en la ciudad de Valparaíso* [informe del proyecto financiado por Banco Interamericano de Desarrollo (BID)], 2008.

Feilden, Sir Bernard, *Between Two Earthquakes: Cultural Property in Seismic Zones*, Roma, ICCROM/ Getty Conservation Institute, 1987.

Foucault, M. *Las palabras y las cosas. Una arqueología de las ciencias humanas* (2ª. ed., trad. de Elsa Cecilia Frost), México, Siglo XXI, 2010.

ICOMOS, *Carta de Burra, 1981*, disponible en <http://www.international.icomos.org>, consultado en abril de 2015.

-----, "Documento de Nara sobre autenticidad", 1994, disponible en <http://www.icomoscr.org>, consultado en abril de 2015.

-----, "Guía para la Carta de Burra: valor cultural", 1988, en Ángel Cabeza y Susana Simonetti (comps.), *Cartas internacionales sobre patrimonio cultural*, Santiago, Consejo de Monumentos Nacionales (Cuadernos del Consejo de Monumentos Nacionales, segunda serie, 21), 1997.

-----, "The Declaration of San Antonio", 1996, disponible en <http://www.icomoscr.org>, consultado en abril de 2015.

ICCROM / UNESCO, *Manual de gestión de riesgos de colecciones*, 2009. Documento electrónico disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001862/186240s.pdf>, consultado en mayo de 2015.

INAH, *Lineamientos para la elaboración de dictámenes de siniestros en caso de desastre PrevINAH. Manual para conservadores*, México, Coordinación Nacional de Monumentos Históricos-INAH, 2010.

Instituto Nacional de Normalización, *Norma chilena núm. 3332 oficializada el año 2013: Estructuras- Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda. Requisitos del Proyecto Estructural*, Santiago, Instituto Nacional de Normalización, 2013.

ISCARSAH, "Recomendaciones para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico" (trad. de Agnès González, revisada por José Luís González Moreno-Navarro y Pere Roca Fabregat), 2003, disponible en <http://iscarsah.icomos.org>, consultado en mayo de 2015.

Jorquera, N., "Culturas constructivas en tierra y riesgo sísmico. El caso de la arquitectura tradicional chilena y la evaluación de su vulnerabilidad frente a la acción sísmica", XI Conferencia internacional sobre el estudio y conservación del patrimonio arquitectónico de Tierra: Terra 2012, Lima, 2012.

Lagomarsino, S., A. Brencich , F. Bussolino , A. Moretti , L.C. Pagnini y S. Podest, *Una nuova metodologia per il rilievo del danno alle chiese: prime considerazioni sui meccanismi di danno attivati dal terremoto, Ingegneria Sismica*, vol. XIV, núm. 3, pp. 70-82, 1997.

Llul, J., "Evolución del concepto y de la significación del patrimonio cultural", en *Arte, individuo y sociedad*, vol. 17, pp. 175-204, 2005.

Marcuse, H., *El hombre unidimensional: ensayo sobre la ideología de la sociedad industrial avanzada* (trad. de Juan García Ponce), México, Joaquín Mortiz, 1968.

Medina, I., "Una vuelta al fundamento conceptual del valor: nuevos encuentros desde la filosofía, la psicología, la economía, la sociología, la antropología, la axiología y los estudios de patrimonio", en Ibermuseos, *Ensayos del seminario-taller en valoración de acervos museológicos*, Brasilia, Programa Ibermuseos, 2012.

Meli, R. et al., *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings*, Oakland, Earthquake Engineering Research Institute, 2011, disponible en <http://www.world-housing.net/wp-content/uploads/2011/08/ConfinedMasonryDesignGuide82011.pdf>, consultado en marzo de 2015.

Ministerio de Obras Públicas, "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá", 2004, disponible en www.sinia.cl, consultado en marzo de 2015.

-----, "Informe final. Levantamiento información hidrogeológica región de Antofagasta", 2013, disponible en www.dga.cl, consultado en marzo de 2015.

-----, "Plan maestro de recursos hídricos, región de Tarapacá, resumen ejecutivo", 2013, disponible en www.dga.cl, consultado en marzo de 2015.

Modena, C., "Analisi e interventi strutturali su edifici in muratura secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni 2008", presentación en la Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia, Pistoia, 2012 (mecanoescrito).

-----, "Structural interventions on historical masonry buildings: review of Eurocode 8. Provisions in the light of the Italian experience", en E. Cosenza (ed.), *Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop*, Nápoles, Doppiavoce, 2009, pp. 225-236.

Muñoz Viñas, Salvador, *Teoría contemporánea de la restauración*, Madrid, Síntesis, 2004.

Niglio, O. 2012, "Introducción al concepto de valor para el patrimonio cultural", en *Arquitectura y Urbanismo*, vol. XXIII, núm. 3, sep.-dic. 2012, pp.103-107, disponible en <http://scielo.sld.cu/scielo.php>, consultado en octubre de 2014.

Riegl, A., *El culto moderno a los monumentos. Caracteres y origen* (trad. de Ana Pérez López), Madrid, Visor 1987 [1903].

Roca, P., "El comportamiento sísmico de las construcciones tradicionales de paredes de obra de fábrica", en J. Casanovas (dir.), *Método Rehabimed: arquitectura tradicional mediterránea*, vol. II, Barcelona, Consorcio Rehabimed, 2008.

Roca, P. et al., "Structural Analysis of Masonry Historical Constructions. Classical and Advanced Approaches", en *Arch. Comput. Methods Eng.*, núm. 17, 2010, pp. 299-325.

- T. Rossetto *et al.*, "Comparison of damage assessment methodologies for different natural hazards", en F.M. Mazzolani (ed.), *COST ACTION C26. Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events: Proceedings of the Final Conference*, Boca Ratón, CRC Press, 2010, pp. 1023-1029, disponible en http://www.researchgate.net/publication/259891914_Comparison_of_damage_assessment_methodologies_for_different_natural_hazards, consultado en abril de 2015.
- Russell, R. y K. Winkworth, *Significance 2.0. A Guide to Assessing the Significance of Collections*, Melbourne, Collections Council of Australia, 2009, disponible en <http://arts.gov.au/sites/default/files/resources-publications/significance-2.0/pdfs/significance-2.0.pdf>, consultado en mayo de 2015.
- Servicio Nacional de Geología y Minería, "Ficha Volcán Olca-Paruma", disponible en <http://www.sernageomin.cl/archivosVolcanes/20140109111333256000017738-FichaVnOlcaParuma.pdf>, consultado en marzo de 2015.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, *Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial*, Santiago, Subdere, 2011.
- Valero Pie, V., "Protocolli di lettura dei caratteri costruttivi rurali como metodo per la loro conoscenza e valorizzazione", tesis, Scuola di Specializzazione in Storia, Analisi e Valutazione dei Beni Architettonici e Ambientali-Politecnico di Torino, Turín, 2004.

Esta obra se terminó de realizar en el mes de marzo de 2016 en la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, ubicada en General Anaya 187, Colonia San Diego Churubusco, Delegación Coyoacán, Ciudad de México, México.



PUBLICACIONES
DIGITALES
ENCRyM-INAH

PUBLICACIONES ENCRyM

CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA

