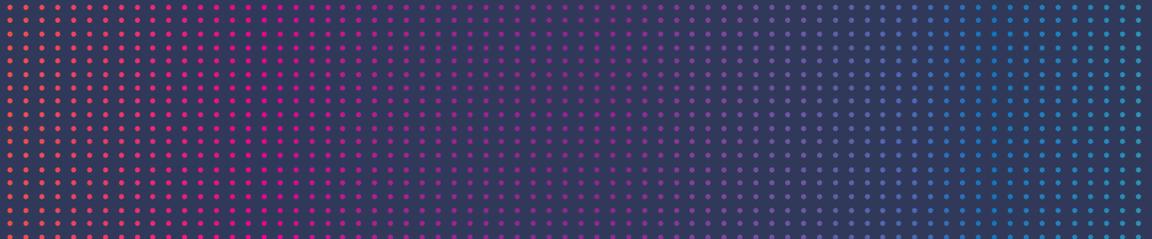




Ministerio de
las Culturas,
las Artes y
el Patrimonio

Gobierno de Chile



EVALUACIÓN DEL RIESGO DEL
PATRIMONIO RELIGIOSO DE LA
QUEBRADA DE TARAPACÁ: EL
ABANDONO Y LA PÉRDIDA DE LA
TRADICIÓN CONSTRUCTIVA COMO
DETONANTES DE SU
VULNERABILIDAD ANTE LA
AMENAZA SÍSMICA

HAZ TU TESIS EN CULTURA 2015
CATEGORÍA POSGRADO

Daniela Andrea Díaz Fuentes

Maestría en conservación y restauración de bienes
culturales inmuebles

Escuela Nacional de Conservación, Restauración y
Museografía “Manuel del Castillo Negrete”, México D.F.

RESUMEN

Con base en la tesis de maestría *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno*, dos herramientas de evaluación del riesgo fueron aplicadas en cinco iglesias declaradas Monumento Histórico por la Ley nº 17.288 de Monumentos Nacionales, y emplazadas en la quebrada de Tarapacá en los pueblos de: Laonzana, Sibaya, Limacsiña, Huaviña y Usmagama. Las iglesias en este territorio resultaron gravemente dañadas y muchas colapsadas tras el terremoto de junio del 2005, por lo que en este ensayo se realiza una evaluación retroactiva del riesgo sísmico, con la hipótesis de que su vulnerabilidad constructiva no solo se debe a la fragilidad de sus sistemas constructivos en adobe y mampostería de piedra asentada en barro, sino también al abandono de los poblados andinos y a la consecuente pérdida de la tradición constructiva.

A partir de la identificación de las principales amenazas y vulnerabilidades de las iglesias emplazadas en la quebrada de Tarapacá, posteriormente se proponen recomendaciones para el aumento de la resiliencia de esta tipología de iglesias, presente en gran parte del norte andino chileno.

Palabras clave: patrimonio cultural, conservación de los bienes culturales, arquitectura, edificio religioso, desastre natural

ENSAYO

INTRODUCCIÓN

1. HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL INMUEBLE

En las últimas décadas es posible notar un creciente interés por la prevención de catástrofes, principalmente tras el acuerdo de las Naciones Unidas de declarar a 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, buscando una actitud preventiva y enfocada a incrementar la conciencia social sobre los peligros y la reducción de la vulnerabilidad. Por lo anterior, ha existido un progreso por parte de los científicos en cuanto al entendimiento de la exposición y georreferenciación de las amenazas naturales y, asimismo, han existido 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 (UNESCO por sus siglas en inglés), el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS por sus siglas en inglés), el Centro Internacional de Estudios para la Conservación y la Restauración de los Bienes Culturales (ICCROM por sus siglas en inglés) y el Instituto de Conservación Getty, y se han implementado 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 que proponen no han logrado llevarse a la práctica. Esa podría ser una de las razones por la que los países latinoamericanos emplazados en áreas geográficas con alto riesgo de catástrofes naturales como el “Anillo de Fuego” o *Circum Pacifico*, no han elaborado planes integrales de gestión del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble, no obstante, las reiteradas catástrofes que han afectado sus bienes culturales. En este contexto, en la tesis de maestría *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la*

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 junio del 2015.



conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno, se propusieron tres herramientas de evaluación del riesgo.

En la *Herramienta 1: priorización de acciones para la atención del patrimonio cultural inmueble en función del valor patrimonial*, con base en el análisis de documentos como las cartas internacionales de conservación y textos de teóricos como Aloïs Riegl, Françoise Choay, Josep Ballart, entre otros, se determinó que la priorización de la inversión pública debería abordarse en virtud del criterio de escasez de los bienes culturales, evaluándolos en tres escalas: la local, en función de su grado de integridad y autenticidad; la nacional, según el grado de representatividad del bien en el inventario de bienes protegidos a nivel nacional; y la internacional, considerando si el bien se encuentra inscrito como Sitio de Patrimonio Mundial ante la UNESCO.

Por otra parte, la *Herramienta 2: descripción, jerarquización y mapeo de amenazas aplicadas al ámbito de la evaluación del riesgo del patrimonio cultural inmueble*, se diseñó con base en el análisis de documentos del ámbito de la planificación territorial, identificándose que las amenazas que deben evaluarse en función de la severidad del daño que producirían en el patrimonio cultural inmueble son: la sísmica y tsunami, hidro-meteorológica, deslizamientos de laderas, volcánica, erosión, estrés físico, química, contaminación atmosférica, socio-organizativa y la disminución demográfica grave. Asimismo, la definición de los parámetros de la *Herramienta 3: ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles*, se diseñó con base en el análisis comparativo de documentos sobre análisis estructural y fichas de evaluación de daños post terremoto, definiéndose como indicadores de la vulnerabilidad constructiva: la posición del edificio y las características de sus cimentaciones; su geometría en planta y en elevación; la distancia entre muros de arriostramiento; la presencia de elementos que puedan caer; el tipo y calidad del sistema resistente; las estructuras horizontales y cubierta; el estado de conservación; las alteraciones en el sistema constructivo y en el entorno; y la vulnerabilidad al fuego.

Estas herramientas podrían utilizarse para la realización de un diagnóstico preventivo de la vulnerabilidad y amenazas de un bien cultural inmueble, con el objetivo de priorizar la inversión de los recursos públicos y a la vez orientar las decisiones de conservación preventiva y obras de mitigación. Para incrementar su eficiencia, estas herramientas deberían ser aplicadas en varios inmuebles en un contexto territorial común, para así establecer grupos tipológicos de bienes patrimoniales con una vulnerabilidad similar o amenazas comunes, con el objetivo de establecer políticas públicas para su resguardo a nivel territorial.

El territorio chileno es uno de los más sísmicos del planeta, los terremotos que superan la magnitud 7.5 en la escala de Richter suceden en promedio cada 10 años,

principalmente debido a su emplazamiento en el “Anillo de Fuego” (ver Tabla 1). No obstante, en los últimos 10 años ya han ocurrido cuatro terremotos, el primero ocurrió el año 2005 y tuvo su epicentro en Chusmisa, en el norte del país (7.8 magnitud Richter) y el segundo ocurrió el 2010 en la zona centro-sur, con su epicentro en Cobquecura (8.8 magnitud Richter), y ambos generaron una destrucción significativa del patrimonio chileno. Si bien el terremoto del año 2010 tuvo una magnitud Richer mayor que la del año 2005, ambos registraron la misma intensidad en la escala Mercalli (IX-X).² Lo anterior significa que el nivel de daños en los edificios y las personas fue similar, probablemente por la mayor vulnerabilidad de los edificios del norte de Chile, sector que por sus condiciones climáticas concentra aproximadamente el 50% de la arquitectura de adobe del país.

Tabla 1. 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
La 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

Fuente: SUBDERE (2011). En la Tabla 1 aparecen destacados el sismo de mayor magnitud y los más recientes. A la tabla original presentada en la *Guía de análisis de riesgos naturales para el ordenamiento territorial* de SUBDERE (2011) se agregaron los datos de los sismos del 2014.

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



Un contexto territorial que ha sido gravemente afectado por la amenaza sísmica en Chile es la quebrada de Tarapacá, ubicada en la comuna de Huara, Región de Tarapacá, donde se emplazan pueblos andinos tradicionales con patrimonio religioso declarado Monumento Histórico en el marco de la ley 17.288 de Monumentos Nacionales. Este patrimonio religioso resultó gravemente dañado tras el terremoto de junio del 2005, probablemente por la vulnerabilidad de sus sistemas constructivos en adobe y mampostería de piedra asentada en barro, pero esta no es la única causa. En este ensayo se plantea la hipótesis de que esta vulnerabilidad constructiva ante la amenaza sísmica, se debe también al abandono de los poblados andinos y a la consecuente pérdida de la tradición constructiva.

Para comprobar esta hipótesis, el objetivo de este ensayo será identificar las principales amenazas y vulnerabilidades de las iglesias emplazadas en la quebrada de Tarapacá, y su relación con el abandono y la pérdida de la tradición constructiva, mediante la aplicación de las herramientas de evaluación el riesgo (herramientas 2 y 3) en cinco iglesias declaradas Monumento Histórico por la ley 17.288 de Monumentos Nacionales, emplazadas en los pueblos de: Laonzana, Sibaya, Limacsiña, Huaviña y Usmagama. Estas iglesias resultaron con daños estructurales graves o colapsaron en más del 60% de su estructura tras el terremoto de junio del 2005, por lo que a partir de la aplicación de las herramientas también se propondrán recomendaciones para el aumento de la resiliencia de esta tipología de inmuebles, presente en gran parte del norte andino chileno.

DESARROLLO

1. APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO EN CINCO IGLESIAS DE LA QUEBRADA DE TARAPACÁ

Antes de la aplicación de las herramientas, es necesario aclarar que la evaluación del riesgo comprende el análisis de dos factores: las amenazas y la vulnerabilidad, por lo que en el marco de este ensayo no se aplicará la *Herramienta 1: priorización de acciones para la atención del patrimonio cultural inmueble en función del valor patrimonial*, ya que esta herramienta tiene el objetivo de priorizar la inversión en el patrimonio cultural para evitar, en la medida de lo posible, la subjetividad en el desarrollo de políticas públicas a nivel nacional, pero no es una herramienta que evalúe el riesgo.

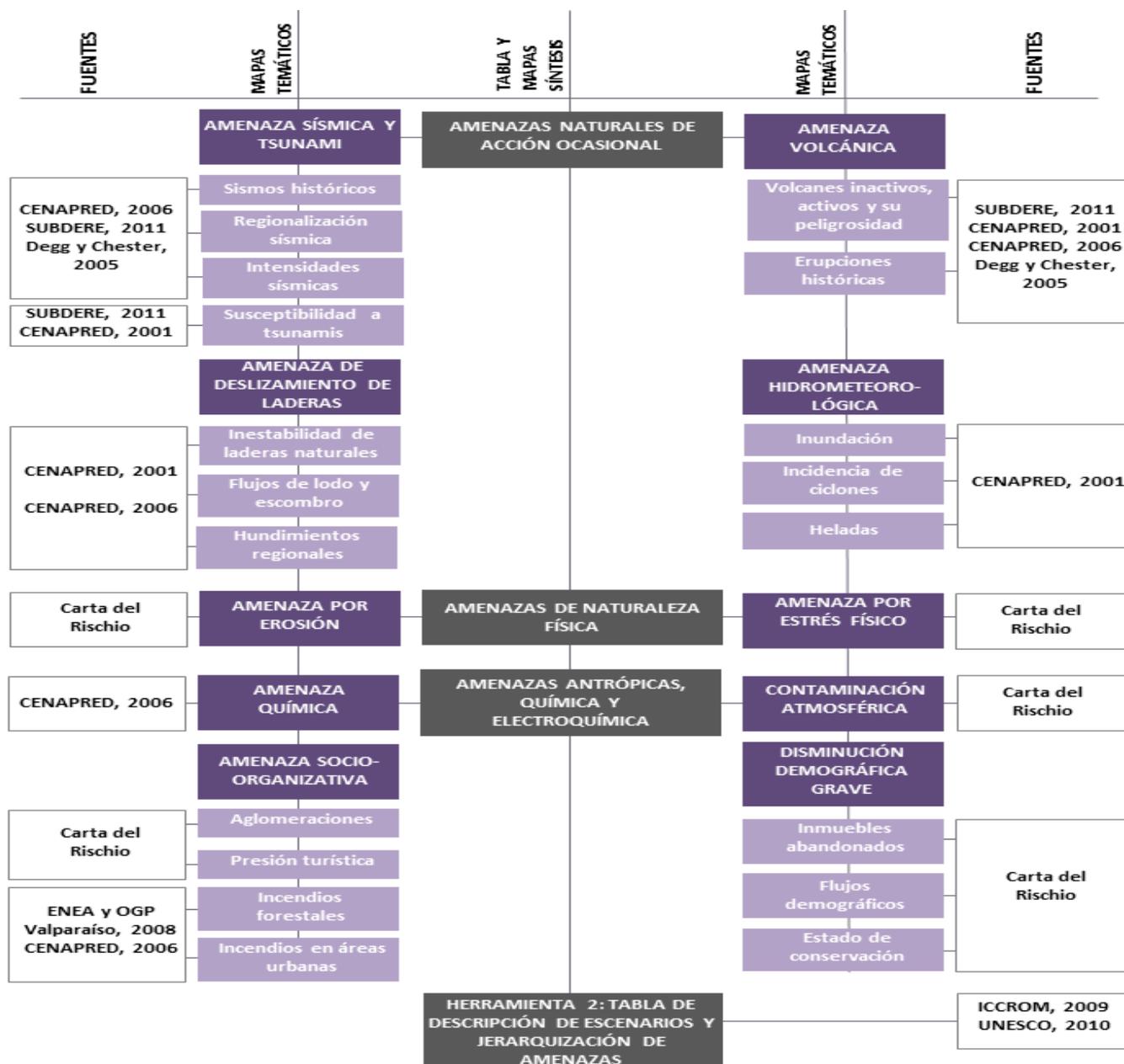
a. Identificación de las amenazas en la quebrada de Tarapacá



La *Herramienta 2: descripción, jerarquización y mapeo de amenazas aplicadas al ámbito de la evaluación del riesgo del patrimonio cultural inmueble* evalúa el peor escenario posible considerando la mayor magnitud e intensidad histórica de los fenómenos, con base en la información existente y en la severidad del daño que el fenómeno causaría en los bienes patrimoniales. Las amenazas en función de su frecuencia se clasificaron en: esporádicas y procesos continuos. Debido a que todas las iglesias se emplazan en un mismo contexto territorial, se presentará sólo una tabla resumen con las amenazas - válida para los cinco casos - identificando, si son relevantes, las amenazas particulares por las condiciones de emplazamiento.

Para comprender la estructura de esta herramienta, a continuación, se presenta un esquema que muestra la división de las amenazas en tres grupos principales: las amenazas naturales de acción ocasional; las amenazas de naturaleza física; y las amenazas antrópicas y de naturaleza química y electroquímica. También se muestran las fuentes de información en cada caso (ver Fig. 1).

Figura 1. Componentes de la *Herramienta 2: descripción, jerarquización y mapeo de amenazas aplicadas al ámbito de la evaluación del riesgo del patrimonio cultural inmueble*



Fuente: Díaz, D. *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno*. Tesis para optar al grado de Maestra en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles, ENCRyM, 2015.

Con base en el esquema anterior, se desarrolló la tabla de jerarquización de amenazas en función de la severidad del daño en los bienes culturales inmuebles, la que se

muestra en la Tabla 2 con una síntesis de las amenazas presentes en la quebrada de Tarapacá.

Tabla 2. Descripción de escenarios y jerarquización de amenazas en función de la severidad del daño en cinco iglesias de la quebrada de Tarapacá

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. ³
	Deslizamiento de laderas	Sin inf.	Sin inf.	-	-	La roca basal en el emplazamiento de las iglesias es 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 ⁴ 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 posiblemente generan

³ Información presente en el registro histórico del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, que describe datos sobre magnitud, profundidad y ubicación de los epicentros en una tabla con información desde 1570, y con la ubicación geográfica de los epicentros. Se consideró la magnitud e intensidad máxima con base en los epicentros más cercanos al área de estudio.

⁴ 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 (www.wikipedia.org).

						focos de humedad producto de los pozos negros, lo que podría modificar el funcionamiento mecánico del suelo. ⁵
	Amenaza volcánica	No	No	No se presenta esta amenaza ⁶	-	-
	Amenaza hidrometeorológica	20,2mm de pp. diaria máxima	Sin inf.	-	Esta amenaza se presenta todos los años en el invierno altiplánico causando el deslave de los revoques de las iglesias ⁷	El intemperismo de la ladera de la quebrada podría provocar un deslizamiento afectando las iglesias.
	Amenaza química - tecnológica	No	No	No se presenta esta amenaza ⁸	-	-
	Incendios forestales o urbanos	No	No	No se presenta esta amenaza ⁹	-	-
Procesos continuos (pueden ocurrir continua o	Amenaza por erosión	20,2mm de pp. diaria máxima; y vientos	Sin inf.	-	Debido a la pérdida de revoques, existe un peligro de erosión del	-

⁵ Información geológica presente en el Mapa Geológico de Chile de Sernageomin; interpretación de la foto aérea; e información climática, edafológica y precipitación pluvial de la Quebrada de Tarapacá en: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá, Santiago. Documento electrónico disponible en www.sinia.cl, consultado en abril del 2015.

⁶ SERNAGEOMIN, 2015, Reporte de Actividad Volcánica (RAV), Región de Tarapacá, Año 2015 enero – febrero. Documento digital disponible en www.sernageomin.cl, consultado en marzo 2015; y fichas de los volcanes activos de la Región de Tarapacá: Volcán Isluga y Volcán Irruputuncu,

⁷ La información de las cuencas hidrográficas se obtuvo del Instituto Geográfico Militar (IGM), institución que elaboró el mapa con base en la información de curvas de nivel existente en este mismo instituto. Por otra parte, la información sobre los caudales medios mensuales e información sobre las cuencas se obtuvo de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, específicamente en Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá, Santiago. Documento electrónico disponible en www.sinia.cl, consultada en abril del 2015.

⁸ No se presenta esta amenaza debido a que los poblados de la Quebrada de Tarapacá se emplazan en zonas rurales muy poco construidas, en general sólo existen las viviendas, la iglesia del poblado y algunos equipamientos de pequeña escala. El área fértil de la quebrada se utiliza para el cultivo agrícola. Por lo anterior, no existen industrias peligrosas en las cercanías de los pueblos y tampoco se han identificado establecimientos industriales que hagan uso de las aguas del cauce principal ni sus afluentes.

⁹ Debido a que se trata de una zona desértica, la vegetación se concentra en el cauce de la quebrada y no incluye una gran presencia de árboles, sino más bien cultivos agrícolas. Por otra parte, no presenta condiciones urbanas que potencien la generación de focos de incendio.

intermitente)		de 70km/h			adobe y de la mampostería asentada en barro por el agua y el viento, situación que podría presentar un daño acumulativo y afectar gravemente el comportamiento o estructural de los inmuebles ¹⁰	
	Amenaza por estrés físico	Oscilación térmica de 0-30° y heladas desde abril a julio	Sin inf.	Las heladas en general no coinciden con la época de lluvias, por lo que el daño sería leve ¹¹	-	-
	Contaminación atmosférica	No	No	No se presenta esta amenaza ¹²	-	-
	Amenaza socio - organizativa	No	No	No se presenta esta amenaza ¹³	-	-
	Disminución demográfica y falta de mantenimiento	-	-	-	Por la falta de mantenimiento no se renuevan los revoques, con el consecuente deterioro gradual del adobe y morteros de	-

¹⁰ Precipitaciones y vientos predominantes con base en el documento del Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá, Santiago. Documento electrónico disponible en www.sinia.cl, consultada en abril del 2015.

¹¹ *Ibíd.*

¹² Debido a que es una zona rural y los poblados de la quebrada son de difícil acceso, no se presenta esta amenaza.

¹³ *Ibíd.*

					barro todos los años ¹⁴	
--	--	--	--	--	------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia.

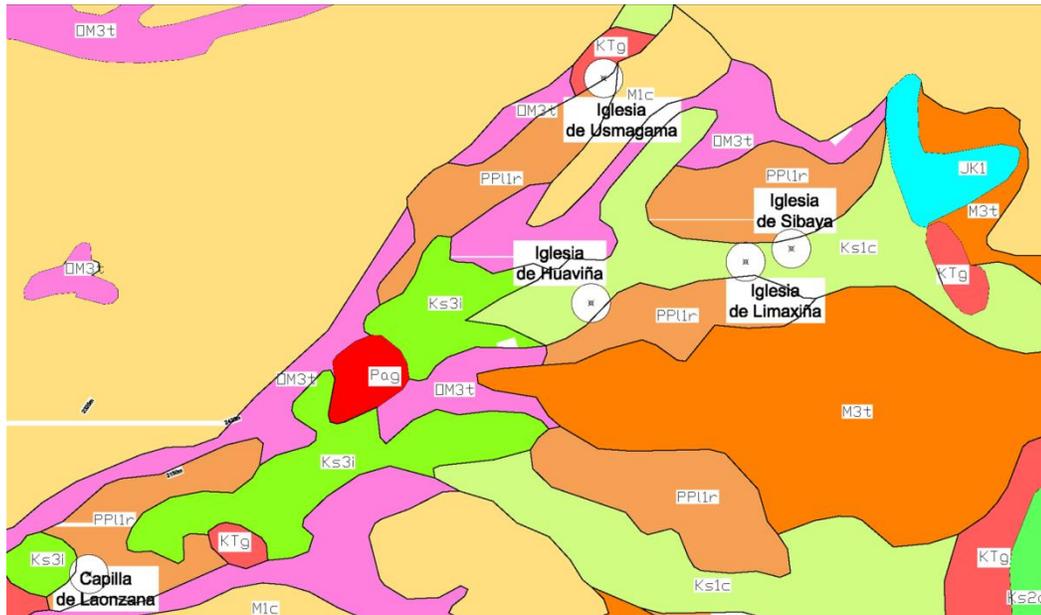
Según la Tabla 2, una de las amenazas que tendría consecuencias catastróficas en el patrimonio construido de la quebrada de Tarapacá es la amenaza sísmica debido a que, según el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile – que cuenta con la información de los terremotos ocurridos desde 1570 – en la Región de Tarapacá han ocurrido 11 terremotos sobre la magnitud 7 en 145 años, y la magnitud máxima alcanzada fue de 8,5 Richter en 1877. Por otra parte, en la Región de Tarapacá se ha alcanzado una intensidad Mercalli de X, por lo que podrían producirse daños graves en las construcciones y en las personas.

La amenaza de deslizamiento de laderas también podría provocar consecuencias catastróficas y está muy relacionada con la amenaza hidro-meteorológica, ya que la presencia de precipitaciones en el invierno altiplánico podría cambiar las propiedades mecánicas de suelos relativamente inestables. Los suelos predominantes en el emplazamiento de las iglesias según el *Mapa Geológico de Chile* se muestran en la figura 2 y son: *M1c*, formado por secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimento o fluviales; *Ks 1c*, compuesto por secuencias sedimentarias continentales aluviales y lacustres; y *PPl1r*, que corresponde a depósitos de remoción en masa: brechas polimícticas con matriz de arena/limo en proporción variable, de flujo o deslizamiento gravitacional.¹⁵ La ubicación geográfica de las iglesias puede verse en la figura 3.

¹⁴ Según el censo de 1992, la población de Huará era de 1.972 habitantes, mientras que la población en el año 2002 era de 956 habitantes. Lo anterior da cuenta del fuerte proceso de migración de los habitantes producido en 10 años, que probablemente corresponde a la migración de las comunidades andinas hacia las ciudades costeras. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, 2005. Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos. Documento electrónico disponible en www.ine.cl, consultado en mayo del 2015.

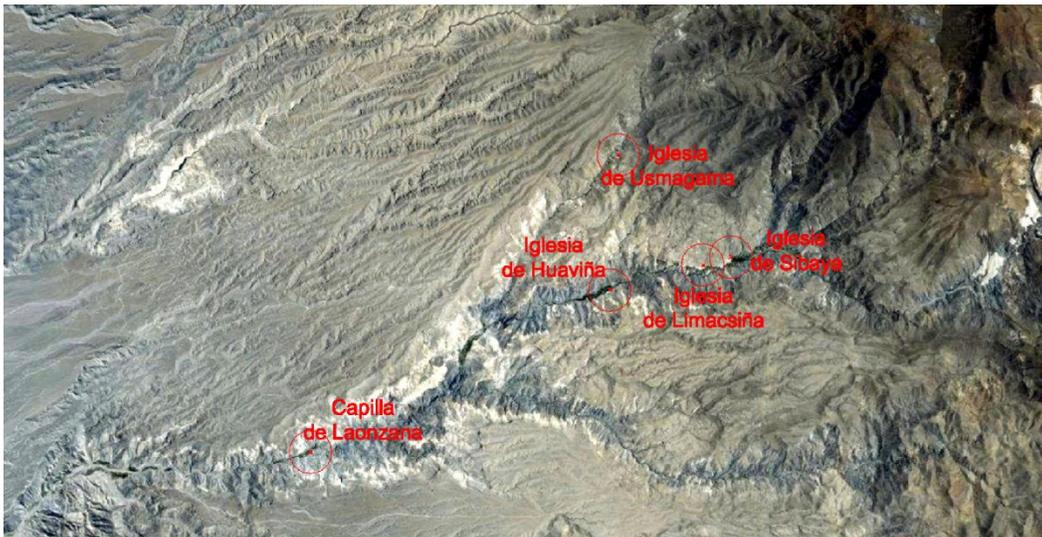
¹⁵ Sernageomin, 2003. Mapa Geológico de Chile: versión digital. Publicación geológica digital N°4, CD-ROM, versión 1.0.

Figura 2. Extracto del *Mapa Geológico de Chile* en el sector de la quebrada de Tarapacá. Se marcó la ubicación de las cinco iglesias



Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003.

Figura 3. Ubicación geográfica de las iglesias en la quebrada de Tarapacá. Se marcó la ubicación de las cinco iglesias



Fuente: Google Earth, y Geoportal del Consejo de Monumentos Nacionales, 2015.

La descripción de la roca en la zona de emplazamiento de las iglesias da cuenta de su inestabilidad, debido a que menciona depósitos de remoción en masa, flujos, abanicos



aluviales, fluviales y lacustres, y deslizamientos gravitacionales, razón por la cual esta zona sería susceptible a deslizamientos de ladera. Por otra parte, podría potenciarse el daño por las temperaturas extremas que se producen en la zona de estudio, que pueden fluctuar de 0° a 30° en un mismo día, pudiendo producir fracturas de la roca por termoclastismo, situación que aumentaría la inestabilidad en caso de precipitaciones o de un terremoto.

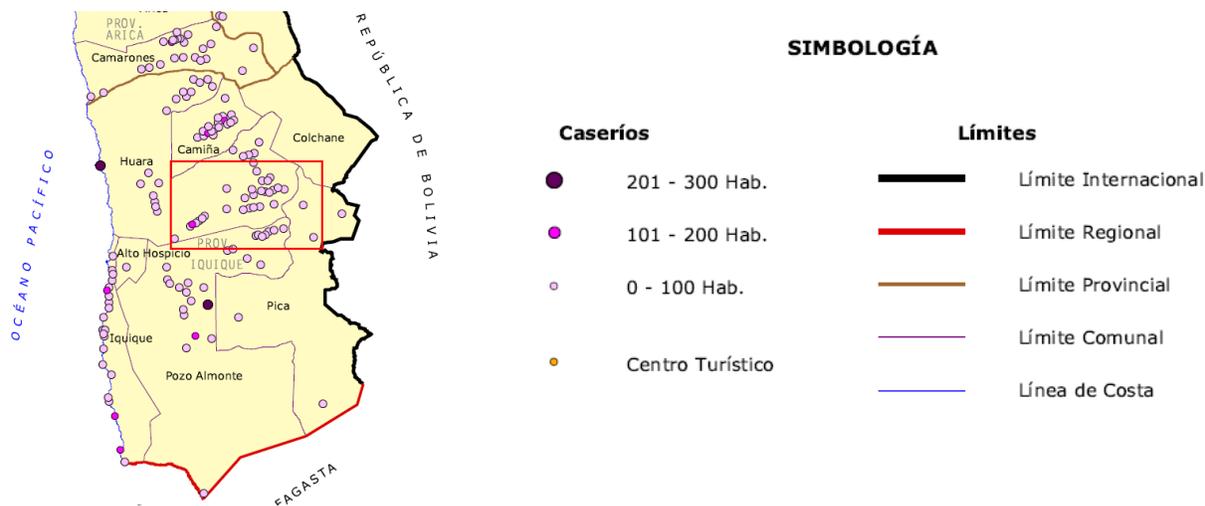
Por otra parte, edafológicamente la cuenca de la quebrada de Tarapacá posee suelos Entisoles, que se caracterizan por presentar horizontes poco desarrollados o poco evolucionados por la aridez de la zona. Se presentan virtualmente en todos los climas, sobre superficies fisiográficas recientes, ya se trate de empinadas pendientes sujetas a intensa erosión o sobre planos de sedimentación en donde se han depositado los materiales recién transportados. Por lo anterior, edafológicamente también podría decirse que existe algún grado de inestabilidad, debido a que el suelo Entisol se encuentra en las laderas de la quebrada, zona en pendiente que puede ser afectada por erosión.

Otra amenaza que podría generar consecuencias graves en el patrimonio religioso de la quebrada de Tarapacá es la disminución demográfica, con la consecuente falta de mantenimiento de los inmuebles, lo que si bien no genera efectos inmediatos, podría producir un daño gradual en los materiales a causa de la presencia de humedad o de erosión por viento, y una condición de mayor vulnerabilidad ante un sismo, como lo señala el Instituto de Conservación Getty: “La observación demuestra que los edificios bien mantenidos resisten mucho mejor que aquellos mal mantenidos. De hecho, ha sido estimado que el 50% de los daños que ocurren en un terremoto pueden ser atribuidos a la falta de un mantenimiento apropiado”.¹⁶

Debido a que no existe información histórica sobre la variación demográfica de los caseríos —categoría a la que corresponden los pueblos de los casos de estudio— se consideró la información referida a la comuna de Huara. Según el censo de 1992, la población de Huara era de 1.972 habitantes, mientras que la población en el año 2002 era de 956 personas dando cuenta del fuerte proceso de migración producido en 10 años, que probablemente corresponde a la migración de las comunidades andinas hacia las ciudades costeras y a las mineras. Por otra parte, es posible apreciar que en general en cada caserío de la pre-cordillera no se superan los 100 habitantes, como se muestra en la figura 4.

¹⁶ Feilden, Sir Bernard, 1987, *Between Two Earthquakes: Cultural Property in Seismic Zones*, ICCROM y el Instituto de Conservación Getty, Roma, 32.

Figura 4. Extracto del plano Región de Tarapacá: Caseríos. Censo 2002. Se marcó en un cuadro rojo la quebrada de Tarapacá



Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, 2005.

La migración de las comunidades indígenas tiene como consecuencia una falta de mantenimiento que se evidencia en pérdida de revestimientos, revoques y disgregación del material por intemperismo. En el caso de las iglesias de estos poblados, si bien actualmente se encuentran restauradas por los proyectos que se ejecutaron en el marco del Programa Puesta en Valor del Patrimonio, antes del terremoto de junio del 2005 presentaban deterioros por falta de mantenimiento, lo que, sumado a las alteraciones del sistema constructivo tradicional, probablemente influyó en el colapso y daño estructural en los cinco casos (ver Fig. 5, 6, 7, 8 y 9).

Figura 5. De izq. a derecha: Iglesia de Laonzana antes del terremoto del año 2005; después del terremoto del 2005; y luego de su restauración el año 2012



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y www.elboyardia.cl.



Figura 6. De izq. a derecha: Iglesia de Sibaya antes del terremoto del año 2005; y después del terremoto del 2005



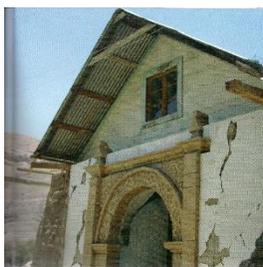
Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales; www.webtarapaca.com; y www.panoramio.com.

Figura 7. De izq. a derecha: Iglesia de Limacsiña antes del terremoto del año 2005; después del terremoto del 2005; y luego de su restauración el año 2012



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales; www.flickr.com; y www.massnoticias.cl.

Figura 8. De izq. a derecha: Iglesia de Huaviña antes del terremoto del año 2005; después del terremoto del 2005; y luego de su restauración el año 2010



Fuente: www.educarchile.cl; Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales; y www.panoramio.com.

Figura 9. De izq. a derecha: Iglesia de Usmagama antes del terremoto del año 2005; después del terremoto del 2005; y luego de su restauración el año 2010



Fuente: www.pozodelcarmen.cl; y www.artenorte.cl.

b. Identificación de las condiciones de vulnerabilidad constructiva sísmica del patrimonio religioso de la quebrada de Tarapacá

Antes de aplicar la *Herramienta 3: ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles*, es necesario mencionar algunos aspectos de la tipología de las iglesias del norte andino chileno. Estas iglesias corresponden al estilo barroco mestizo, y están conformadas por una nave con una torre campanario adosada o exenta y presentan un muro perimetral que define el espacio del atrio. Sus sistemas constructivos son el adobe y la mampostería de piedra asentada en barro, y presentan una estructura de techumbre con sistema de par y nudillo de madera local y cubierta de paja brava o torta de barro. 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 (ver Fig. 10).

Figura 10. Iglesia de Chiu Chiu, Calama, Chile



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, 2010.

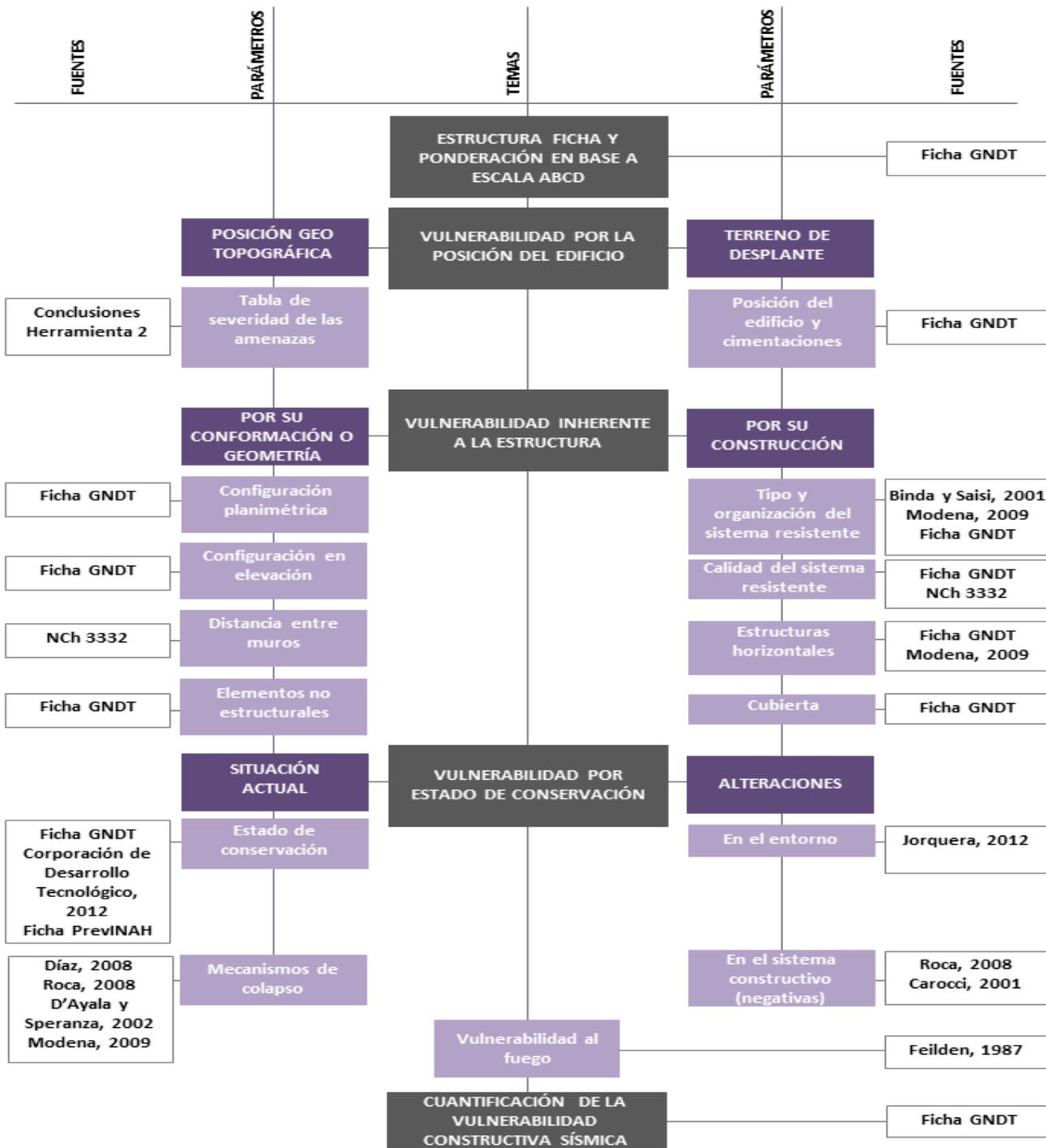


Por la condición sísmica del país, las iglesias del altiplano y de quebrada son sencillas en sus formas, acotadas en sus dimensiones, presentan muros macizos y escasos vanos. Estas iglesias históricamente han sufrido reiterados daños a causa de terremotos e incendios, los que han sido reparados gracias 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 colmándolos 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 durante el resto del año podría haber provocado, entre otros aspectos, la pérdida de la tradición constructiva.

Debido a que el objetivo de este ensayo es verificar si la vulnerabilidad sísmica de esta tipología de iglesias se debe a su abandono y a la pérdida de la tradición constructiva, los cinco casos se analizarán retroactivamente, considerando su condición previa al terremoto de junio del 2005, para comprobar si su mayor vulnerabilidad se debía a un deterioro progresivo por falta de mantenimiento, por alteraciones negativas en el sistema constructivo tradicional, o por razones específicas de su emplazamiento.

Para comprender la estructura de la *Herramienta 3*, en la figura 13 se presenta un esquema que muestra los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad sísmica divididos en tres tipos principales: por la posición del edificio; inherente a la estructura; y por su estado de conservación. También se muestran las fuentes de información que validan estos parámetros.

Figura 13. Componentes de la *Herramienta 3: ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles*



Fuente: Díaz, D. *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno*. Tesis para optar al grado de Maestra en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles, ENCRyM, 2015.

Para la aplicación de esta herramienta, los datos con los que se contó en los cinco casos fueron: fotografías y planimetría realizada post terremoto, en el marco del desarrollo de sus proyectos de restauración. Por esta razón, la clasificación del nivel de la información es de calidad media. Cada iglesia se evaluó según los parámetros de evaluación de vulnerabilidad, clasificándose en una escala A, B, C o D, donde A implica una vulnerabilidad muy baja, y D una vulnerabilidad muy alta. Estas clasificaciones determinaron un puntaje que se ponderó según la Tabla 3 con los siguientes rangos: vulnerabilidad baja: $0 < V \leq 10,81$; vulnerabilidad media: $10,81 < V \leq 55,52$; y vulnerabilidad alta: $55,52 < V \leq 100$.

Tabla 3. 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
11	Alteraciones en el entorno	0	1,35	6,73	12.12	0,25
12	Alteraciones negativas en el sistema constructivo	0	1,35	6,73	12.12	0,25
13	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.

c. Capilla de Laonzana

La capilla de Laonzana (ver Fig. 14) se estructura a partir de una planta de cruz latina, y su nave central remata en el presbiterio, donde comienza el Altar Mayor. A uno de sus

costados se ubica una capilla y en el otro, la sacristía. La torre campanario es de base de piedra y barro, con revoque de barro blanqueado, una estructura superior de madera y planchas de zinc ondulado. Esta iglesia ha sido un espacio que ha facilitado la preservación de diversas prácticas que resguardan y refuerzan la identidad local y las tradiciones ancestrales de la población,¹⁷ y cuenta con el reconocimiento y declaratoria como Monumento Nacional desde el año 2009.

Figura 14. De izq. a derecha: Planta general de la Capilla de Laonzana; Emplazamiento Capilla de Laonzana. Se marcó con un círculo rojo la ubicación de la iglesia



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y Google Earth.

Los resultados de la aplicación de la herramienta de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica fueron los siguientes:

Respecto al parámetro que evalúa la *posición del edificio y cimentaciones*, esta iglesia corresponde a la clase B, porque está emplazada sobre roca en una pendiente de entre 10% y 30%, y en cuanto a su *configuración planimétrica o geometría* en planta, se clasificó como clase D, debido a que el ancho de la crujía de la iglesia es de 8 m, mientras que su largo es de 23.6 m, lo que implica una asimetría que aumenta su vulnerabilidad ante un sismo. En cambio, respecto a su *configuración en elevación* se clasificó como clase A, debido a que es un edificio de un piso con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.

¹⁷ "Iglesia de Laonzana" Expediente para su declaratoria como Monumento Histórico en el Consejo de Monumentos Nacionales.

En relación al parámetro de evaluación de la *distancia entre los muros*, se clasificó como clase C, ya que si bien la esbeltez¹⁸ de los muros es de 4.46, sus vanos son acotados y no presenta desplomes importantes, existen condiciones que aumentan su vulnerabilidad como la ubicación de algunos vanos a una distancia menor a tres veces el espesor del muro desde el borde libre más próximo, y la excesiva longitud entre ejes de arriostramientos transversales en los muros de la nave de la iglesia.¹⁹ En cuanto al parámetro de *elementos no estructurales*, se clasificó como clase A, porque el edificio no presentaba accesorios, salientes o voladizos que pudieran caer ante un sismo.

Al aplicar los parámetros que evalúan el *tipo, organización y calidad del sistema resistente*, el edificio resultó con clase D, debido a que se la estructura de muros de adobe no estaba eficientemente trabada y presentaba un funcionamiento deficiente: por intemperismo del adobe y del mortero de barro, por el aparejo de los bloques de adobe, por deficiencias en las trabas de las esquinas, y por la incorporación de morteros de cemento. Por otra parte, la iglesia de Laonzana fue clasificada como clase D en el parámetro de *estructuras horizontales*, debido a que, si bien estaban ejecutadas con madera, material compatible con el adobe, estaban mal conectadas a los muros; y como clase C en el parámetro que evalúa la *cubierta*, ya que ésta causaba empujes moderados en los muros, pero no presentaba una estructura horizontal continua de coronamiento, que permitiera el funcionamiento monolítico del edificio.

Respecto al parámetro que evalúa el *estado de conservación*, fue clasificada como clase C, debido a que, si bien no tenía lesiones, presentaba disgregación del material por intemperismo, lo que determinaba una reducción de su resistencia. Por otra parte, respecto a las *alteraciones* del sistema constructivo, se presentaban en las torres y en el sistema de cubierta (clase B), y su entorno daba cuenta de alteraciones que aumentaban su vulnerabilidad como: el abandono, el aislamiento, la escasa accesibilidad y posibles fallas en la contención de las laderas de la quebrada, por lo que se clasificó como clase C. En relación a la *vulnerabilidad al fuego*, se clasificó como clase B: por contener ornamentos y muebles inflamables, por falta de compartimentación y divisiones interiores, y por el peligro derivado de incendios provocados por presencia de velas encendidas.

Estas evaluaciones se ponderaron en base a la calificación y peso de cada parámetro establecido en la Tabla 3, y el resultado fue una vulnerabilidad alta, con un puntaje de 57,9.

¹⁸ Esbeltez= H/e (altura / espesor del muro). Según la Nch 3332, una esbeltez menor que 8 en construcciones de adobe o mampostería de piedra se considera estable desde el punto de vista sísmico.

¹⁹ Instituto Nacional de Normalización Chile, 2013, Norma Chilena N° 3332 oficializada el año 2013: Estructuras - Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda - Requisitos del Proyecto Estructural, INN, Santiago.

d. Iglesia de Sibaya

La iglesia de Sibaya (ver Fig. 15) en planta presenta forma de cruz latina, con una nave central, sacristía y capilla en los extremos del transepto, y un Altar Mayor. Los contrafuertes del edificio se construyeron con pircas escalonadas. Actualmente es soporte de numerosas costumbres como la fiesta del patrono San Nicolás, la cual tiene sus raíces en época colonial,²⁰ y cuenta con el reconocimiento y declaratoria de Monumento Nacional desde el año 2009.

Figura 15. De izq. a derecha: Planta general de la Iglesia de Sibaya; Emplazamiento Iglesia de Sibaya. Se marcó en un círculo rojo la ubicación de la iglesia



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y Google Earth, 2015.

Al aplicar la herramienta de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica, los resultados fueron los siguientes:

Respecto al parámetro que evalúa la *posición del edificio y cimentaciones*, esta iglesia corresponde a la clase B, por emplazarse sobre roca en una pendiente de entre 10% y 30%, y en cuanto a su *configuración planimétrica o geometría en planta* corresponde a la clase D, debido a que el ancho de la crujía de la iglesia es de 8 m, mientras que su largo es de 35 m, lo que implica una asimetría que aumenta su vulnerabilidad ante un sismo. En cambio, respecto a su *configuración en elevación* pertenece a la clase A, debido a que

²⁰ "Iglesia de Sibaya" Expediente para su declaratoria como Monumento Histórico en el Consejo de Monumentos Nacionales.

es un edificio de un piso con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.

En relación al parámetro de evaluación de la *distancia entre los muros*, se clasificó como clase C, ya que si bien la esbeltez de los muros es de 5.79 y no tenía desplomes importantes, presentaba condiciones que aumentaban su vulnerabilidad: los accesos a las capillas laterales tenían un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro; y la longitud entre ejes de arriostramientos transversales del muro de la nave, era mayor a seis veces su espesor. En cuanto al parámetro de *elementos no estructurales* corresponde a la clase A, porque el edificio no presentaba accesorios, salientes o voladizos que pudieran caer ante un sismo.

Respecto a los parámetros que evalúan el *tipo, organización y calidad del sistema resistente*, el edificio corresponde a una clase D, debido a que se trata de una estructura con muros dobles de mampostería de piedra no escuadrada, con núcleo irregular o parcialmente vacío, y ausencia o escasa presencia de trabas transversales entre los dos paramentos. Además, la mampostería presentaba deficiencias en el aparejo de las piedras, en las trabas de las esquinas, y en la calidad del mortero de lodo por su estado de conservación. Por otra parte, la iglesia de Sibaya clasifica como clase D en el parámetro de *estructuras horizontales*, debido a que, si bien eran de madera, estaban mal conectadas a los muros; y como clase C en el parámetro que evalúa la *cubierta*, ya que ésta causaba empujes moderados en los muros, pero no contaba con una estructura horizontal que conectara eficientemente la techumbre con los muros, dificultando el funcionamiento monolítico del edificio.

Respecto al parámetro que evalúa el *estado de conservación*, fue clasificada como clase C, debido a que, si bien no tenía lesiones, presentaba disgregación del material por intemperismo, lo que determinaba una reducción de su resistencia. Por otra parte, existían varias *alteraciones* del sistema constructivo, principalmente por el cambio de la estructura de techumbre y la incorporación de estructuras de hormigón armado y bloquetas de cemento, por lo que corresponde a la clase D. Además, su entorno presentaba alteraciones que aumentaban su vulnerabilidad como: el abandono, el aislamiento, la escasa accesibilidad, y posibles fallas en la contención de las laderas de la quebrada, por lo que se clasificó como clase C. En relación a la *vulnerabilidad al fuego*, corresponde a la clase B: por contener ornamentos y muebles inflamables, por falta de compartimentación y divisiones interiores, y por el peligro derivado de incendios provocados por presencia de velas encendidas.

Estas evaluaciones se ponderaron en base a la calificación y peso de cada parámetro establecido en la Tabla 3, y el resultado fue una vulnerabilidad alta, con un puntaje de 59,24.

e. Iglesia de Limaxiña

La iglesia de Limaxiña (ver Fig. 16) presenta una estructura de mampostería de piedra asentada en barro y se conforma por una nave central y recintos laterales que corresponden a la sacristía y la capilla. Las torres están conformadas por una base de piedra y barro escalonada, con revoque de barro blanqueado y un cuerpo superior con estructura y revestimiento de madera.²¹ Cuenta con el reconocimiento y declaratoria de Monumento Nacional desde el año 2009.

Figura 16. De izq. a derecha: Planta general de la Iglesia de Limaxiña; Emplazamiento Iglesia de Limaxiña. Se marcó en un círculo rojo la ubicación de la iglesia



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y Google Earth, 2015.

Los resultados de la aplicación de la herramienta de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica fueron los siguientes:

Respecto al parámetro que evalúa la *posición del edificio y cimentaciones*, esta iglesia se clasificó como clase B por emplazarse sobre roca en una pendiente de entre 10% y 30%, y en cuanto a su *configuración planimétrica o geometría* en planta se clasificó como clase D, debido a que el ancho de la crujía de la iglesia es de 8.66 m, mientras que su largo es de 26.6 m, lo que implica una asimetría que aumenta su vulnerabilidad ante un sismo.

²¹ "Iglesia de Limaxiña" Expediente para su declaratoria como Monumento Histórico en el Consejo de Monumentos Nacionales.

En cambio, respecto a su *configuración en elevación* se clasificó como clase A, debido a que es un edificio de un piso con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.

En relación al parámetro de evaluación de la *distancia entre los muros*, se clasificó como clase B, ya que si bien la esbeltez de los muros es de 3.61, los vanos son acotados y no presentaba desplomes importantes, existían condiciones que aumentaban su vulnerabilidad, como la excesiva longitud entre ejes de arriostramientos transversales en la nave de la iglesia. En cuanto al parámetro de *elementos no estructurales*, corresponde a la clase A, porque el edificio no presentaba accesorios, salientes o voladizos que pudieran caer ante un sismo.

Al aplicar los parámetros que evalúan el *tipo, organización y calidad del sistema resistente*, el edificio resultó con clase D, debido a que presenta una estructura mixta de muros de adobe y de mampostería de piedra asentada en barro, que no se encontraban eficientemente trabados entre ellos, y que presentaban un funcionamiento deficiente, por su estado de conservación y por presentar juntas desproporcionadas de mortero. Por otra parte, la iglesia de Limaxiña fue clasificada como clase D en el parámetro de *estructuras horizontales*, debido a que, si bien estaban ejecutadas con madera, estaban mal conectadas a los muros; y como clase C en el parámetro que evalúa la *cubierta*, ya que ésta causaba empujes moderados en los muros, pero no presentaba una estructura horizontal continua de coronamiento, dificultando el funcionamiento monolítico del edificio.

Respecto al parámetro que evalúa el *estado de conservación*, fue clasificada como clase C, debido a que no tenía lesiones, pero presentaba disgregación del material por intemperismo, ya que sólo estaba revocada la fachada principal de la iglesia, lo que determinaba una reducción de su resistencia. Por otra parte, respecto a las *alteraciones* del sistema constructivo, se presentaban en las torres y en el sistema de cubierta (clase B), y su entorno daba cuenta de alteraciones que aumentaban su vulnerabilidad como: el abandono, el aislamiento, la escasa accesibilidad, y posibles fallas en la contención de las laderas de la quebrada, por lo que se clasificó como clase C. En relación a la *vulnerabilidad al fuego*, se clasificó como clase B al igual que las demás iglesias.

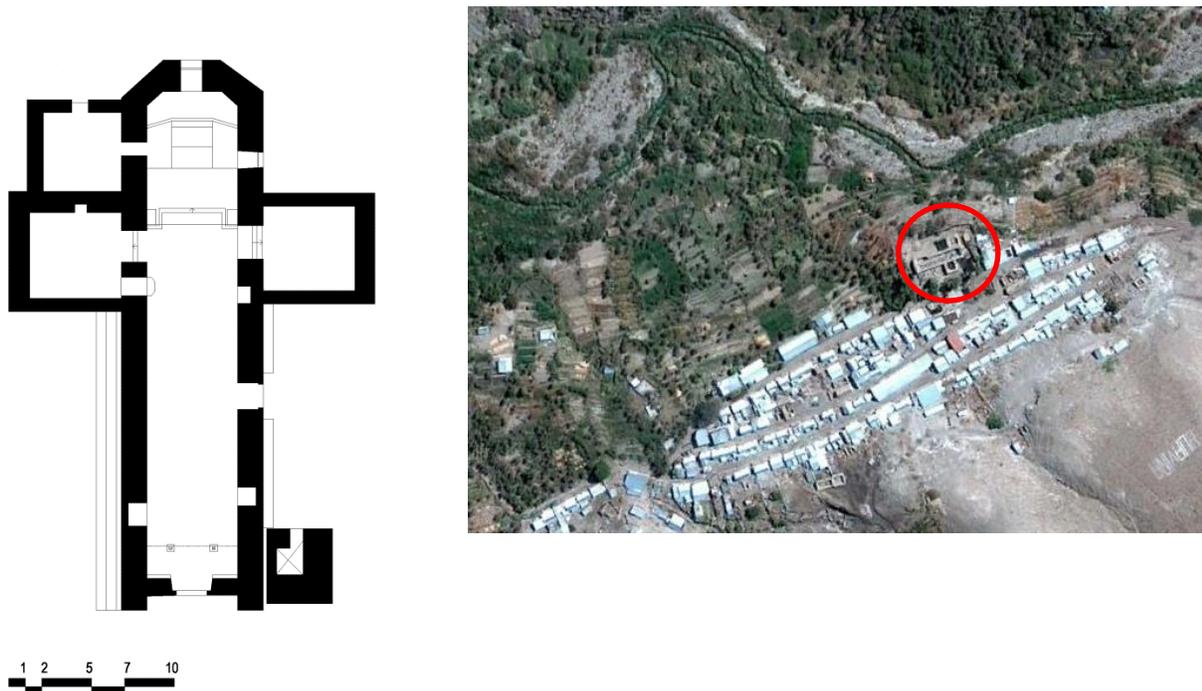
Estas evaluaciones se ponderaron en base a la calificación y peso de cada parámetro establecido en la Tabla 3, y el resultado fue una vulnerabilidad alta, con un puntaje de 56,56.

f. Iglesia de Huaviña

La iglesia de Huaviña (ver Fig. 17) se emplaza en el faldeo de un cerro y fue construida en el siglo XVIII. Se compone de una nave única con techo a dos aguas, capillas laterales

y un campanario anexo.²² Cuenta con el reconocimiento y declaratoria de Monumento Nacional desde el año 1953.

Figura 17. De izq. a derecha: Planta general de la Iglesia de Huaviña; Emplazamiento Iglesia de Huaviña. Se marcó en un círculo rojo la ubicación de la iglesia



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y Google Earth, 2015.

Al aplicar la herramienta de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica, los resultados fueron los siguientes:

Respecto al parámetro que evalúa la *posición del edificio y cimentaciones*, esta iglesia corresponde a la clase B por emplazarse sobre roca en una pendiente de entre 10% y 30%, y en cuanto a su *configuración planimétrica o geometría en planta* corresponde a la clase D, debido a que el ancho de la crujía de la iglesia es de 8.59 m, mientras que su largo es de 32.4 m, lo que implica una asimetría que aumenta su vulnerabilidad ante un sismo. En cambio, respecto a su *configuración en elevación* clasifica como clase A, debido a que es un edificio de un piso con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.

²² Información del Monumento Histórico "Iglesia de Huaviña" en www.monumentos.cl.

En relación al parámetro de evaluación de la *distancia entre los muros*, se clasificó como clase C, ya que si bien la esbeltez de los muros es de 4.26 y sus vanos son acotados, presentaba condiciones que aumentaban su vulnerabilidad, como desaplomes y una longitud entre ejes de arriostramientos transversales en la nave de la iglesia mayor a seis veces el espesor del muro. En cuanto al parámetro de *elementos no estructurales*, corresponde a la clase A, porque el edificio no presentaba accesorios, salientes o voladizos que pudieran caer ante un sismo.

Al aplicar los parámetros que evalúan el *tipo, organización y calidad del sistema resistente*, el edificio resultó con clase D, debido a que su estructura era en base a muros dobles, el muro exterior de mampostería de piedra asentada en barro y el muro interior de adobe, con relleno interior formado con piedras de varios tamaños, y no existían trabas o conexiones entre los dos paramentos verticales. Además, presentaba un funcionamiento deficiente por su estado de conservación. Por otra parte, la iglesia de Huaviña fue clasificada como clase D en el parámetro de *estructuras horizontales*, debido a que, si bien estaban ejecutadas con madera, estaban mal conectadas a los muros; y como clase C en el parámetro que evalúa la *cubierta*, ya que ésta causaba empujes moderados en los muros, pero no presentaba una estructura horizontal continua de coronamiento para lograr el funcionamiento monolítico del edificio.

Respecto al parámetro que evalúa el *estado de conservación*, fue clasificada como clase C, debido a que no tenía lesiones, pero presentaba disgregación del material por intemperismo, lo que determinaba una reducción de su resistencia. Por otra parte, en relación a las *alteraciones* del sistema constructivo, se presentaban en las torres y en el sistema de cubierta (clase B), y además su entorno daba cuenta de alteraciones que aumentaban su vulnerabilidad como: el abandono, el aislamiento, la escasa accesibilidad, y posibles fallas en la contención de las laderas de la quebrada, por lo que se clasificó como clase C. En relación a la *vulnerabilidad al fuego*, se clasificó como clase B como las iglesias anteriores.

Estas evaluaciones se ponderaron en base a la calificación y peso de cada parámetro establecido en la Tabla 3, y el resultado fue una vulnerabilidad alta, con un puntaje de 57,9.

g. Iglesia de Usmagama

La iglesia de Usmagama (ver Fig. 18) se compone de una nave única con techo a dos aguas y dos capillas laterales. Cuenta con el reconocimiento y declaratoria de monumento nacional desde el año 1953.

Figura 18. De izq. a derecha: Planta general de la Iglesia de Usmagama; Emplazamiento Iglesia de Usmagama. Se marcó en un círculo rojo la ubicación de la iglesia



Fuente: Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales y Google Earth, 2015.

Al aplicar la herramienta de evaluación de la vulnerabilidad constructiva sísmica, los resultados fueron los siguientes:

Respecto al parámetro que evalúa la *posición del edificio y cimentaciones*, esta iglesia se clasificó como clase C, porque se emplaza sobre roca en una pendiente de entre 30% y 50%, y en cuanto a su *configuración planimétrica o geometría* en planta corresponde a la clase D, debido a que el ancho de la crujía de la iglesia es de 9 m, mientras que su largo es de 25.5 m, con una asimetría que aumenta su vulnerabilidad ante un sismo. En cambio, respecto a su *configuración en elevación* clasifica como clase A, debido a que es un edificio de un piso con distribuciones de masa o de elementos resistentes prácticamente uniformes en toda la altura.

En relación al parámetro de evaluación de la *distancia entre los muros*, se clasificó como clase B, ya que si bien la esbeltez de los muros es de 3.53, los vanos eran acotados y no se ubicaban cercanos a las esquinas, presentaba condiciones que aumentaban su vulnerabilidad como la longitud entre ejes de arriostramientos transversales en la nave de la iglesia, ya que era mayor a seis veces el espesor del muro. En cuanto al parámetro de *elementos no estructurales*, se clasificó como clase A, porque el edificio no presentaba accesorios, salientes o voladizos que pudieran caer ante un sismo.



Al aplicar los parámetros que evalúan el *tipo organización y calidad del sistema resistente*, el edificio resultó con clase D, debido a que se compone de una estructura de muros dobles de mampostería de piedra asentada en barro con relleno interior formado con piedras de varios tamaños, mal trabadas y sin conexión entre los dos paramentos verticales. Además, presentaba un funcionamiento deficiente: por su estado de conservación, por deficiencias en el aparejo de las piedras, en las trabas de las esquinas y en el mortero de barro. Por otra parte, la iglesia de Usmagama fue clasificada como clase D en el parámetro de *estructuras horizontales*, debido a que, si bien estaban ejecutadas con madera, estaban mal conectadas a los muros; y como clase C en el parámetro que evalúa la *cubierta*, ya que ésta causaba empujes moderados en los muros, pero no presentaba una estructura horizontal continua de coronamiento para lograr el funcionamiento monolítico del edificio.

Respecto al parámetro que evalúa el *estado de conservación*, fue clasificada como clase C, debido a que no tenía lesiones, pero presentaba disgregación del material por intemperismo, lo que determinaba una reducción de su resistencia. Las *alteraciones* del sistema constructivo se presentaban: en las torres, en el sistema de cubierta y en la incorporación de estructuras de hormigón armado en los muros, por lo que correspondía a una clase D. Por otra parte, su entorno daba cuenta de alteraciones que aumentaban su vulnerabilidad como: el abandono, el aislamiento, la escasa accesibilidad, y posibles fallas en la contención de las laderas de la quebrada, por lo que se clasificó como clase C. En relación a la *vulnerabilidad al fuego*, se clasificó como clase B como las demás iglesias.

Estas evaluaciones se ponderaron en base a la calificación y peso de cada parámetro establecido en la Tabla 3, y el resultado fue una vulnerabilidad alta, con un puntaje de 63,29.

CONCLUSIONES

1. LOS RIESGOS DE LAS IGLESIAS DE LA QUEBRADA DE TARAPACÁ ANTE LA AMENAZA SÍSMICA, Y POSIBLES SOLUCIONES PARA AUMENTAR SU RESILIENCIA

Al aplicar las herramientas de evaluación del riesgo en las cinco iglesias, se pudo evidenciar que todos estos inmuebles presentan una vulnerabilidad alta ante la amenaza sísmica (ver Tabla 4), por las condiciones inherentes a su sistema constructivo

y por su emplazamiento en la ladera de una quebrada pero, sobre todo, por alteraciones negativas del sistema constructivo tradicional, por falta de mantenimiento que ha generado un paulatino deterioro de los materiales, y por la alteración de su entorno.

El entorno de las iglesias evidencia el abandono y al mismo tiempo la falta de control de las viviendas que se construyen para la celebración de las fiestas religiosas, las que han intervenido la ladera de la quebrada sin los estudios geotécnicos pertinentes, y sin la ejecución de un sistema de drenaje que impida la infiltración de agua en el terreno, situación que a largo plazo podría potenciar la amenaza de deslizamiento de ladera, al modificar la capacidad mecánica del suelo.

Tabla 4. Calificación de los parámetros para las cinco iglesias e índice de vulnerabilidad

Parámetros		Iglesia				
		Laonzana	Sibaya	Limaxiña	Huaviña	Usmagama
1	Posición del edificio y cimentaciones	B	B	B	B	C
2	Configuración planimétrica	D	D	D	D	D
3	Configuración en elevación	A	A	A	A	A
4	Distancia entre muros	C	C	B	C	B
5	Elementos no estructurales	A	A	A	A	A
6	Tipo y organización del sistema resistente	D	D	D	D	D
7	Calidad del sistema resistente	D	D	D	D	D
8	Estructuras horizontales	D	D	D	D	D
9	Cubierta	C	C	C	C	C
10	Estado de conservación	C	C	C	C	C
11	Alteraciones en el entorno	C	C	C	C	C
12	Alteraciones negativas en el sistema constructivo	B	D	B	B	D
13	Vulnerabilidad al fuego	B	B	B	B	B
Ponderación de los parámetros		57,9	60,59	56,56	57,9	63,29

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 4, la principal vulnerabilidad de estas iglesias radica en su sistema constructivo, principalmente por la falta de mantenimiento y por alteraciones como el cambio de la estructura de techumbre, que ha generado una disminución de su



peso al utilizar madera escuadrada y al cambiar la cubierta de barro y paja brava por planchas metálicas. Estas cubiertas, además, no se encontraban conectadas eficientemente con los muros de la nave mediante una cadena de amarre superior, capaz de transmitir uniformemente las cargas de la cubierta y colaborar en el funcionamiento monolítico del inmueble.

Otra modificación que se repite en todos los casos, es la eliminación de las torres de adobe o mampostería de piedra asentada en barro, o su reemplazo por estructuras livianas de madera, lo que disminuyó el peso de un elemento que actuaba como contrafuerte de la nave principal. Por otra parte, por la falta de mantenimiento en todos los casos se presentaban pérdidas de revestimientos y revoques, lo que en un clima extremo como el de la Cordillera de los Andes en la Región de Tarapacá, con una fuerte oscilación térmica de 0° a 30°, y lluvias en el invierno altiplánico, deterioró los materiales por intemperismo. La erosión y disgregación del adobe y de los morteros en muros y contrafuertes probablemente influyó en el colapso de las iglesias en el terremoto. Sin embargo, la alteración que generó efectos negativos más graves fue la incorporación de hormigón armado en las iglesias de Sibaya y de Usmagama, lo que en el terremoto generó una incompatibilidad por la distinta rigidez entre los materiales, y el colapso de las estructuras de adobe y mampostería. Estas dos iglesias resultaron con el mayor índice de vulnerabilidad.

Esta incompatibilidad estructural ya ha sido comprobada por ingenieros como Modena, quien señaló que la incorporación de cadenas de hormigón armado en mamposterías de piedra debe ser considerada cuidadosamente, ya que incluso podrían empeorar el comportamiento completo de la estructura.²³ Respecto a los morteros de cemento, muchas veces utilizados por las comunidades andinas para rellenar juntas en mamposterías o adobe, señala: “Una extensiva investigación se ha enfocado recientemente en el uso de lechadas de mortero no basadas en cemento 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”.²⁴ Por lo anterior, el ideal es restituir la continuidad estructural de los muros que presenten grietas mediante la sustitución de elementos dañados con otros nuevos, con materiales similares o compatibles con los originales “en términos de forma, dimensiones, espesor y resistencia (...) y se deben proveer conexiones adecuadas para obtener el comportamiento monolítico”.²⁵

²³ Modena C. 2009, Structural interventions on historical masonry buildings: review of Eurocode 8. Provisions in the light of the italian experience. En: Cosenza (ed), Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, 225-236, Doppiavoce, Napoli, Italy, 228.

²⁴ Modena C. 2009, 230.

²⁵ *Ibídem*, 229.

Estos patrones de alteración, que son los responsables de una vulnerabilidad constructiva alta ante la amenaza sísmica, están relacionados directamente con una pérdida de la tradición constructiva, proceso que se relaciona con el abandono de los poblados por las comunidades indígenas, las que han migrado hacia las ciudades costeras y sólo vuelven a sus pueblos para la celebración de las festividades religiosas. Lo anterior, sumado a la amenaza de deslizamiento de laderas, implica un riesgo sísmico importante en todos los casos.

En función de la evaluación del riesgo, en la Tabla 5 se proponen algunas recomendaciones para el aumento de la resiliencia de estos inmuebles, utilizando como base algunos campos de la tabla de escenarios y jerarquización de amenazas. Posteriormente se proponen medidas de conservación preventiva asociadas a los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, para aumentar la resiliencia de los edificios, pero sin afectar sus valores culturales.

Tabla 5. Severidad de daños 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 los inmuebles	Estudios, obras de mitigación o gestión en el entorno del inmueble
	Leve o gradual	Catastrófica		
Amenaza sísmica	-	En esta zona se podría producir un sismo cuya magnitud generaría un daño catastrófico en construcciones, de deslizamientos de laderas, etc.	Aumentar la resiliencia del edificio con base en las recomendaciones derivadas de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.	Estudios geotécnicos para la consolidación del suelo o mejora del sistema de contención de las laderas.
Deslizamiento de laderas	-	La roca basal en el emplazamiento de las iglesias es 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	-	Estudios geotécnicos para la consolidación del suelo o mejora del sistema de contención. Evaluación estructural y proyecto de reforzamiento y construcción de muros de contención de las laderas de la quebrada de Tarapacá

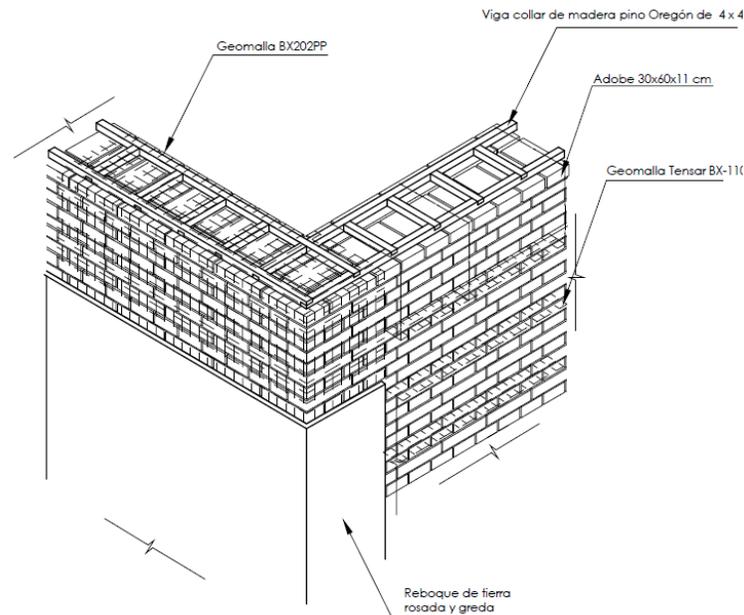
		lluvia o de un sismo. El peligro aumenta por la pendiente de la quebrada y por las construcciones sin regulación que posiblemente generan focos de humedad producto de los pozos negros, lo que podría modificar el funcionamiento mecánico del suelo.		colindantes con los poblados. Regularización del sistema de agua potable y alcantarillado de los pueblos para evitar fugas de agua e infiltración de humedad en el terreno.
Amenaza volcánica	-	-	-	-
Amenaza hidrometeorológica	Esta amenaza se presenta todos los años en el invierno altiplánico causando inundación del cauce de la quebrada y deslave de los recubrimientos de las iglesias.	El intemperismo de las laderas de la quebrada podría provocar un deslizamiento afectando la iglesia.	Ejecutar revoques de barro, en lo posible mejorados con cal en todos los muros, y asegurar el mantenimiento y monitoreo constante. Realizar las reparaciones necesarias para evitar la filtración de agua. Construcción de un sistema de drenaje que evite los encharcamientos, contando con la asesoría de un arqueólogo para no afectar el patrimonio arqueológico del subsuelo.	Estudios geotécnicos para la consolidación del suelo y obras de mitigación en el entorno de las iglesias para evitar los deslizamientos de ladera.
Amenaza química - tecnológica	-	-	-	-
Incendios forestales o urbanos	-	-	-	-
Amenaza por erosión	Debido a la pérdida de revoques, existe un peligro de erosión del adobe por el agua y el viento,	-	Ejecutar revoques de barro mejorados con cal en todos los muros, y asegurar el mantenimiento y	-

	situación que podría presentar un daño acumulativo y afectar gravemente su comportamiento estructural.		monitoreo constante.	
Amenaza por estrés físico	-	-	-	-
Contaminación atmosférica	-	-	-	-
Amenaza socio-organizativa	-	-	-	-
Disminución demográfica y falta de mantención	Por la falta de mantenimiento no se renuevan los revoques, con el consecuente deterioro gradual del adobe y morteros de barro todos los años.	-	Ejecutar revoques de barro mejorados con cal 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.

Respecto a la vulnerabilidad constructiva sísmica de las iglesias, algunas medidas de conservación preventiva para aumentar su resiliencia, factibles de ejecutarse sin modificar los valores patrimoniales de los inmuebles son: la realización de un análisis y propuesta estructural para reforzar los vanos que se encuentren cercanos a esquinas o que no respeten la distancia mínima de tres veces el ancho del muro entre vanos y para reforzar los muros longitudinales o mejorar el funcionamiento estructural de los contrafuertes. Por otra parte, esta propuesta estructural debería mejorar la traba entre los muros ortogonales de adobe o mampostería de piedra, por ejemplo, mediante la incorporación de escalerillas de madera en las esquinas (ver Fig. 19), para mejorar el comportamiento monolítico de la estructura ante la acción sísmica.

Figura 19. Detalle de instalación de escalerilla de madera y geomalla en muros



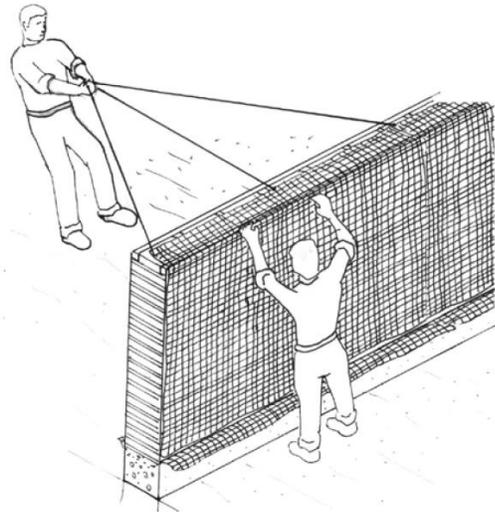
Fuente: Fundación Altiplano, Proyecto de restauración de la Iglesia de Socoroma, en Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales.

Otras medidas de conservación preventiva son: rellenar las juntas con mortero de barro mejorado con cal, remampostar²⁶ de ser necesario, y revocar todos los muros de la iglesia con el mismo material. Además, se podría controlar el agrietamiento y separación de los elementos estructurales mediante la incorporación de refuerzos resistentes a fuerzas de tracción, como por ejemplo, los revoques reforzados con geomalla de polipropileno²⁷ (ver Fig. 20), añadiendo además la capacidad de deformación de la estructura luego del agrietamiento inicial ante un sismo. Se debe asegurar además el mantenimiento y monitoreo constante.

²⁶ Reemplazar un mampuesto (adobe o bloque de piedra) en mal estado por otro de similares características.

²⁷ Esta forma de reforzamiento está avalada por la Nch 3332.

Figura 20. Detalle de instalación de geomalla en muros



Fuente: Vargas, J. et al 2007, *Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Para aumentar la resistencia de las estructuras horizontales, como los coros y la techumbre, que en la mayoría de los casos se han reemplazado por estructuras de materiales compatibles con los muros, pero que se encuentran mal conectadas a ellos, se debería realizar un análisis y propuesta estructural para conectar el coro a los muros mediante escalerillas de madera, y para conectar eficientemente la estructura de techumbre, incorporar una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, capaz de transmitir homogéneamente las cargas de la cubierta. Respecto a la vulnerabilidad al fuego, se debería evitar o controlar al máximo las actividades que impliquen fuego al interior de las iglesias, y proveerlas de extintores.

Como se pudo apreciar en los cinco casos, la incorporación de materiales ajenos al contexto de los poblados andinos, además de afectar el comportamiento estructural de los inmuebles, afectó su imagen y su carácter, ya que la arquitectura vernácula que dio origen a estos poblados se basaba en materiales y técnicas constructivas propias del lugar. Los materiales, al estar vinculados directamente con el lugar, determinan los sistemas constructivos y éstos la imagen de la arquitectura vernácula rural, y el carácter propio de cada región.²⁸

Por otra parte, aún es posible rescatar y aprender de la sabiduría de la construcción tradicional, como lo ha demostrado un equipo de profesionales de Portugal que

²⁸ Torres, G. 2007, *Arquitectura vernácula, fundamento en la enseñanza de sustentabilidad*. Documento digital disponible en www.arquitecturaypatrimonio.com.mx, 37.



desarrolló el proyecto VERSUS²⁹ con el objetivo de aprender del patrimonio vernáculo, lecciones para el diseño de arquitectura sustentable. Este equipo reconoce tres principios del conocimiento constructivo tradicional: el medioambiental, porque respeta la naturaleza y se integra al paisaje; el sociocultural, por su importancia en la identidad territorial y en la cohesión social; y el socioeconómico, porque implica una autonomía económica y optimización del uso de los recursos.³⁰

Por lo anterior, es importante considerar que para lograr una apropiada gestión de los riesgos, y para la preservación de la integridad y autenticidad de estas iglesias, es fundamental trabajar con la comunidad involucrada con estos inmuebles en las tres etapas de la gestión del riesgo: en la prevención, mediante la revitalización de los poblados con proyectos sustentables, preservando las técnicas tradicionales al transmitir las a las generaciones más jóvenes, y entregándoles las herramientas para la realización de un monitoreo y mantenimiento efectivos; en la respuesta, mediante el desarrollo de planes de seguridad y emergencia coordinados con la comunidad; y en la recuperación, mediante la participación protagónica de la comunidad en el diseño y ejecución de las obras de restauración, manteniendo los ritos y el simbolismo propios de su cultura.

Finalmente, se pudo comprobar que la vulnerabilidad ante la amenaza sísmica de las iglesias es alta y se debe en gran parte al abandono y a la pérdida de la tradición constructiva, pero también a sus sistemas constructivos y a su forma de emplazamiento. A lo anterior se suma una posible amenaza de deslizamiento de laderas en las iglesias emplazadas en quebradas, que resulta potenciada por la ejecución de construcciones sin regulación y que podrían generar focos de humedad en el subsuelo, aumentando la situación de riesgo de esta tipología de iglesias, 37 de las cuales cuentan con la declaratoria como Monumento Histórico en el marco de la ley n° 17.288 de Monumentos Nacionales.

La aplicación de las herramientas y de las recomendaciones de conservación preventiva en esta tipología de iglesias es urgente, y debe realizarse en un trabajo mancomunado con las comunidades indígenas involucradas con estos inmuebles. El fortalecimiento y re-aprendizaje de su tradición constructiva permitirá su aplicación efectiva y un mayor compromiso de la comunidad para la ejecución de medidas de mitigación y conservación, lo que disminuirá los daños en los inmuebles ante una catástrofe, y por lo mismo también los costos y plazos para su recuperación.

²⁹ Correia, M. et al, 2014, Reflexões do projeto versus contributo do patrimônio vernáculo para a arquitetura contemporânea sustentável. En Arquitectura de Tierra: Patrimonio y sustentabilidad en regiones sísmicas, 14° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT), San Salvador, El Salvador, Centro América.

³⁰ Ibídem.

BIBLIOGRAFÍA

- Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales. Expediente para la declaratoria como Monumento Histórico de las Iglesias de Sibaya y Laonzana.
- Correia, M. et al, 2014, Reflexoes do projeto versus contributo do patrimonio vernáculo para a arquitectura contemporânea sustentavel. En Arquitectura de Tierra: Patrimonio y sustentabilidad en regiones sísmicas, 14° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT), San Salvador, El Salvador, Centro América.
- Díaz, D. 2015, *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno*. Tesis para optar al grado de Maestra en Conservación y Restauración de Bienes Culturales Inmuebles, ENCRyM, México D.F.
- Feilden, Sir Bernard, 1987, *Between Two Earthquakes: Cultural Property in Seismic Zones*, ICCROM y el Instituto de Conservación Getty, Roma.
- Instituto Nacional de Estadísticas, 2005. *Chile: Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos*. Documento electrónico disponible en www.ine.cl, consultado en mayo del 2015.
- Instituto Nacional de Normalización Chile, 2013, *Norma Chilena N° 3332 oficializada el año 2013: Estructuras - Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda - Requisitos del Proyecto Estructural*, INN, Santiago.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2004. *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca quebrada de Tarapacá*, Santiago. Documento electrónico disponible en www.sinia.cl, consultado en abril del 2015.
- Modena C. 2009, 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, 225-236, Doppiavoce, Napoli, Italy.
- Resolución 44/236, 1989, Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, documento digital disponible en <http://www.cinu.org.mx>, consultado en junio del 2015.
- SERNAGEOMIN, 2003. *Mapa Geológico de Chile: versión digital*. Publicación geológica digital N°4, CD-ROM, versión 1.0.

- 
- SERNAGEOMIN, 2015, *Reporte de Actividad Volcánica (RAV), Región de Tarapacá, Año 2015 enero – febrero*. Documento digital disponible en www.sernageomin.cl, consultado en marzo 2015; y fichas de los volcanes activos de la Región de Tarapacá: Volcán Isluga y Volcán Irruputuncu,
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2011, *Guía de Análisis de Riesgos Naturales para el Ordenamiento Territorial*, SUBDERE, Santiago.
- Torres, G. 2007, *Arquitectura vernácula, fundamento en la enseñanza de sustentabilidad*. Documento digital disponible en www.arquitecturaypatrimonio.com.mx.
- Vargas, J. et al, 2007, *Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas*, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.