



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO EN 5 IGLESIAS PATRIMONIALES DE LA  
QUEBRADA DE TARAPACÁ**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

MARCELA PAZ GUIMPERT ACEVAL

PROFESOR GUÍA:  
DAVID ALBERTO CAMPUSANO BROWN

PROFESORA CO-GUÍA:  
JULIETTE MARÍN RÍOS

COMISIÓN:  
PILAR BARBA BUSCAGLIA

SANTIAGO DE CHILE  
2021

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Ingeniera Civil  
POR: Marcela Paz Guimpert Aceval  
FECHA: 2021  
PROF. GUÍA: David Alberto Campusano Brown**

## EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO EN 5 IGLESIAS PATRIMONIALES DE LA QUEBRADA DE TARAPACÁ

Chile es el país más sísmico del mundo, donde tuvo lugar el terremoto de mayor magnitud registrado y donde las placas tectónicas convergen a mayor velocidad. Este hecho pone a prueba constantemente la edificación, en especial aquella que no ha sido construida bajo las normativas de construcción o bien ha sido sometida, por su antigüedad, a una larga historia de eventos sísmicos. Muchos de estos edificios poseen valor patrimonial, por lo que su conservación es un objetivo técnico y también cultural. Esta situación también ocurre en los países andinos de Latinoamérica pues, al igual que Chile, se emplazan dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, la zona más sísmica del planeta, y poseen bienes patrimoniales inmuebles que preservar. La alta sismicidad de la región crea la necesidad de tener metodologías que evalúen el riesgo sísmico de las edificaciones patrimoniales, para así tomar acciones en pro de su preservación. Sin embargo, debido a que los recursos para tomar estas acciones son limitados, se requieren, además, herramientas que sean aplicables a escala territorial, para priorizar la atención entre los bienes patrimoniales inmuebles. En el presente trabajo se estudian dos herramientas que cumplen con este requisito: el nivel de evaluación de la vulnerabilidad sísmica LV1, perteneciente a la normativa italiana de la *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, y el nivel de evaluación del riesgo sísmico LV0 de la *Ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles*.

El año 2017 un equipo multidisciplinario de la Universidad de Chile tomó las iglesias de la Quebrada de Tarapacá como caso de estudio, debido a los importantes daños registrados a causa de dos grandes terremotos, los que ocurrieron el año 2005 (Mw=7.8) y 2014 (Mw=8.2). Este trabajo arrojó como resultado la elaboración de fichas con información sobre cinco iglesias, las cuales se ubican en los pueblos de Laonzana, Huaviña, Sibaya, Usmagama y Chusmiza, siendo las cuatro primeras Monumentos Nacionales. El presente trabajo retoma la información colectada por este equipo con el objetivo de estudiar las cinco iglesias mencionadas, aplicarles los niveles de evaluación LV0 y LV1, y analizar si estas metodologías son apropiadas para su uso en las iglesias de la cultura constructiva en tierra andina a escala territorial.

Producto de este trabajo se obtienen recomendaciones para realizar intervenciones a la iglesia de Chusmiza, las que consisten principalmente en cambiar el sistema de techumbre, que no es el original, por uno nuevo que logre conectar los diferentes elementos de la iglesia. En cuanto a los niveles de evaluación LV0 y LV1, éstos resultaron útiles para su uso a escala territorial, ya que, al contrastar los resultados con los daños percibidos durante el terremoto del 2005, fueron efectivos para determinar las estructuras más vulnerables para así priorizar su atención. Se concluye entonces, que los métodos de evaluación del riesgo y vulnerabilidad sísmica analizados son apropiados para su uso en las iglesias de la cultura constructiva en tierra andina, lo que significa un aporte para la gestión del riesgo de los edificios patrimoniales del contexto andino.

# Tabla de Contenido

Capítulo 1: Introducción y Objetivos.....	1
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Organización del documento.....	4
1.4 Riesgo y otros conceptos.....	5
Capítulo 2: Antecedentes Generales .....	7
2.1 Antecedentes Generales de la Quebrada de Tarapacá y de sus poblados .....	7
2.1.1 Localización y geografía.....	7
2.1.2 Clima.....	9
2.1.3 Población .....	11
2.1.4 Algunas amenazas observadas.....	13
2.2 Antecedentes Generales de las cinco iglesias .....	14
2.2.1 Ubicaciones.....	14
2.2.2 Tipo de Suelo .....	15
2.2.3 Cronología de las cinco iglesias.....	18
2.3 Sismicidad en la Quebrada de Tarapacá .....	19
2.4 Arquitectura de las iglesias patrimoniales del Norte Grande.....	25
Capítulo 3: Características de las iglesias patrimoniales en adobe estudiadas .....	28
3.1 Iglesia de Laonzana.....	29
3.2 Iglesia de Huaviña.....	36
3.3 Iglesia de Sibaya.....	41
3.4 Iglesia de Usmagama .....	49
3.5 Iglesia de Chusmiza .....	55
Capítulo 4: Estudio de métodos de evaluación del riesgo sísmico .....	61
4.1 Método LV0 de Díaz Fuentes (2016).....	62
4.1.1 Herramienta 1: Valor Patrimonial.....	62
4.1.2 Herramienta 2: Nivel de Amenaza.....	62
4.1.3 Herramienta 3: Nivel de Vulnerabilidad.....	65

4.1.4	Nivel de Evaluación LV0 .....	67
4.2	Normativa italiana – Circolare N° 26, 2010.....	68
4.2.1	Conceptos.....	69
4.2.2	Factores de confianza.....	71
4.2.3	Nivel de Evaluación LV1 .....	71
4.2.4	Trabajos que han aplicado la metodología italiana a estructuras de adobe latinoamericanas.....	79
4.3	Norma de Tierra .....	80
Capítulo 5: Evaluación del riesgo sísmico.....		81
5.1	Resultados previos.....	81
5.2	Aplicación del Nivel de Evaluación LV0 a las iglesias .....	82
5.2.1	Aplicación del LV0 a iglesia de Chusmiza.....	82
5.2.2	Aplicación del LV0 a iglesia de Laonzana .....	89
5.2.3	Aplicación del LV0 a iglesia de Huaviña .....	93
5.2.4	Aplicación del LV0 a iglesia de Sibaya.....	97
5.2.5	Aplicación del LV0 a iglesia de Usmagama.....	101
5.3	Aplicación del Nivel de Evaluación LV1 a las iglesias .....	105
5.3.1	Aplicación del LV1 a iglesia de Chusmiza.....	106
5.3.2	Aplicación del LV1 a iglesia de Laonzana .....	116
5.3.3	Aplicación del LV1 a iglesia de Huaviña .....	124
5.3.4	Aplicación del LV1 a iglesia de Sibaya.....	133
5.3.5	Aplicación del LV1 a iglesia de Usmagama.....	142
5.4	Determinación del índice de daño.....	148
Capítulo 6: Comentarios y Conclusiones.....		149
6.1	Comentarios y conclusiones sobre el uso de las metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de construcciones patrimoniales en adobe.....	149
6.2	Recomendaciones para la iglesia de Chusmiza.....	154
6.3	Comentarios y recomendaciones para avanzar en la elaboración de metodologías relevantes para la reducción del riesgo sísmico de construcciones patrimoniales del contexto andino	156
Bibliografía .....		159
Anexos .....		164

# Índice de Tablas

Tabla 2.1: Climas presentes en la Quebrada de Tarapacá. Adaptado de DGA (2004). .....	9
Tabla 2.2: Población localidades de las iglesias y comuna de Huará según últimos Censos.....	12
Tabla 2.3: Tipos de suelo de las cinco iglesias.....	17
Tabla 2.4: Grandes terremotos en la Región de Tarapacá.....	21
Tabla 2.5: Distancia al epicentro e Intensidad del terremoto del 2014 en las iglesias .....	24
Tabla 2.6: Valor de la aceleración efectiva $A0$ . Fuente: NCh 433 of. 96.....	24
Tabla 2.7: Factor de amplificación (S) según tipo de suelo. Fuente: NCh 433 of. 96. ....	24
Tabla 4.1: Información necesaria para determinar severidad del daño de las amenazas. ....	64
Tabla 4.2: Definición del nivel de conocimiento a partir de factores parciales de confianza .....	71
Tabla 4.3: Valores del peso de cada mecanismo activado. ....	75
Tabla 4.4: Evaluación de la puntuación de vulnerabilidad para cada mecanismo de daño.....	76
Tabla 5.1: LV0 Iglesia de Chusmiza. ....	87
Tabla 5.2: LV0 Iglesia de Laonzana.....	92
Tabla 5.3: LV0 Iglesia de Huaviña.....	96
Tabla 5.4: LV0 Iglesia de Sibaya. ....	100
Tabla 5.5: LV0 Iglesia de Usmagama. ....	104
Tabla 5.6: Peso de los mecanismos de colapso presentes en las cinco iglesias. ....	105
Tabla 5.7: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Chusmiza....	109
Tabla 5.8: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Chusmiza.....	111
Tabla 5.9: Ficha de evaluación de los mecanismos de la techumbre de la iglesia de Chusmiza.	112
Tabla 5.10: Ficha de evaluación de los mecanismos del muro posterior de la iglesia de Chusmiza. .....	114
Tabla 5.11: Resultados de la aplicación del LV1 a la iglesia de Chusmiza, antes del terremoto del 2005 y en la actualidad. ....	115
Tabla 5.12: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Laonzana. ..	117
Tabla 5.13: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Laonzana. ....	118
Tabla 5.14: Ficha de evaluación de los mecanismos del transepto de la iglesia de Laonzana. ....	119
Tabla 5.15: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Laonzana. ....	120
Tabla 5.16: Ficha de evaluación de los tres mecanismos de la techumbre de la iglesia de Laonzana. .....	121
Tabla 5.17: Ficha de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos de la iglesia de Laonzana.....	121
Tabla 5.18: Ficha de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores de la iglesia de Laonzana.....	122
Tabla 5.19: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Laonzana.....	123
Tabla 5.20: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Huaviña. ....	125
Tabla 5.21: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Huaviña. ....	126
Tabla 5.22: Ficha de evaluación de los mecanismos del transepto de la iglesia de Huaviña.....	127
Tabla 5.23: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Huaviña. ....	128

Tabla 5.24: Ficha de evaluación de los tres mecanismos de la techumbre de iglesia de Huaviña. .....	129
Tabla 5.25: Ficha de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos de la iglesia de Huaviña. .....	129
Tabla 5.26: Ficha de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores de la iglesia de Huaviña.....	130
Tabla 5.27: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Huaviña.....	131
Tabla 5.28: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Sibaya. ....	134
Tabla 5.29: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Sibaya.....	135
Tabla 5.30: Ficha de evaluación de los mecanismos del transepto de la iglesia de Sibaya. ....	136
Tabla 5.31: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Sibaya.....	137
Tabla 5.32: Ficha de evaluación de los mecanismos de la techumbre de la iglesia de Sibaya. ..	138
Tabla 5.33: Ficha de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos de la iglesia de Sibaya. .....	139
Tabla 5.34: Ficha de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores de la iglesia de Sibaya. ....	140
Tabla 5.35: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Sibaya .....	141
Tabla 5.36: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Usmagama. 143	
Tabla 5.37: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Usmagama.....	144
Tabla 5.38: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Usmagama.....	145
Tabla 5.39: Ficha de evaluación de los mecanismos de la techumbre de la iglesia de Usmagama. .....	146
Tabla 5.40: Ficha de evaluación del mecanismo M25 de la iglesia de Usmagama. ....	147
Tabla 5.41: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Usmagama. ....	147
Tabla 6.1: Aplicación del LV0 a las 5 iglesias de la Quebrada de Tarapacá en su condición previo al terremoto del 2005.....	150
Tabla 6.2: Resultados de la aplicación del LV1 a las 5 iglesias.....	152
Tabla 6.3 Resumen de los resultados de LV1 y LV0 en las iglesias en su condición previa al 2005 .....	153

# Índice de Figuras

Figura 2.1: a) A la izquierda se encuentran las zonas hidrográficas presentes en la Región de Tarapacá. b) a la derecha está el Mapa de la cuenca Pampa del Tamarugal. ....	8
Figura 2.2: Mapa de la Cuenca Quebrada de Tarapacá. Adaptado de Vázquez, 2018, p. 12.....	9
Figura 2.3: Climograma Cuenca Quebrada de Tarapacá, periodo 2004-2015. Fuente: Vázquez, 2018, p. 13. ....	10
Figura 2.4: Temperatura a nivel horario en el periodo de estudio 2004-2015, cuenca Quebrada de Tarapacá. Fuente: Vázquez, 2018, p. 28.....	10
Figura 2.5: a) Temperatura anual media anual promedio (izquierda) y b) Velocidad media anual del viento promedio (derecha) grilladas periodo 2004-2015, Cuenca Quebrada de Tarapacá.....	11
Figura 2.6: Provincia del Tamarugal. Fuente: www.ecured.cu .....	12
Figura 2.7: Mapa físico y caminero de las 5 iglesias a analizar. Fuente: Adaptado de Google, s.f. ....	15
Figura 2.8: Unidades Geológicas. Se marcó en rojo la ubicación de las iglesias. Fuente: DGA. 2014. ....	16
Figura 2.9: Marco tectónico de Chile. ....	19
Figura 2.10: Zona de subducción y tipos de sismos que ocurren en ella. Fuente: www.sismologia.cl ....	20
Figura 2.11: Ubicación de los epicentros de los grandes terremotos ocurridos en la Región de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia mediante uso del software Google Earth.....	21
Figura 2.12: (c) Interpretación de los parámetros de fallas sismológicas y geodésicas en una sección transversal Oeste-Este (20 S).....	23
Figura 2.13: Ubicación y tipologías arquitectónicas de la Cultura Constructiva en Tierra Andina. Fuente: Jorquera, 2014, p.31. ....	25
Figura 2.14: Esquema de la tipología de iglesias del norte andino chileno.....	26
Figura 3.1: Iglesia de Laonzana antes del sismo del 2005. Fuente: CMN, (s.f.-c).....	29
Figura 3.2: Iglesia de Laonzana después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.....	30
Figura 3.3: Iglesia de Laonzana reconstruida, año 2017. En las últimas dos imágenes se aprecia la estructura de perfiles de acero que encierran a los restos de muro. Fuente: PRS, 2017. ....	30
Figura 3.4: Ubicación de la iglesia de Laonzana (Google Earth. s.f.).....	31
Figura 3.5: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Laonzana (Google Earth. s.f.). ....	31
Figura 3.6: Plano de emplazamiento, planta y elevaciones de la iglesia de Laonzana antes del terremoto del 2005. Fuente: Díaz Fuentes, 2016.....	34
Figura 3.7: Planta de la reconstrucción de la iglesia de Laonzana luego del terremoto del 2005. ....	35
Figura 3.8: Iglesia de Huaviña antes del sismo de 2005. Fuente: CMN, (s.f.-a).....	36
Figura 3.9: Iglesia de Huaviña después del terremoto del 2005 <sup>a</sup> (izquierda) y ya reconstruida <sup>b</sup> (derecha). Fuentes: <sup>a</sup> Díaz Fuentes, 2015. <sup>b</sup> PRS, 2017.....	37
Figura 3.10: Iglesia de Huaviña reconstruida. Fuente: PRS, 2017.....	37
Figura 3.11: Ubicación de la iglesia de Huaviña: Fuente: Google Earth, s.f. ....	37

Figura 3.12: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Huaviña. Fuente: Google Earth, s.f. ....	38
Figura 3.13: Parte superior de la fachada de la iglesia de Huaviña antes y después del sismo de 2005. Fuentes: CMN y (Díaz, D. 2015). ....	39
Figura 3.14: Planta de la iglesia de Huaviña. Fuente: MOP.....	40
Figura 3.15: Iglesia de Sibaya antes del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005. ....	41
Figura 3.16: Iglesia de Sibaya después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.....	42
Figura 3.17: Iglesia de Sibaya reconstruida, año 2017. Fuente: PRS, 2017.....	42
Figura 3.18: Ubicación de la iglesia de Sibaya (Google Earth. s.f.). ....	43
Figura 3.19: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Sibaya (Google Earth. s.f.).	43
Figura 3.20: Plano del límite de la iglesia de Sibaya. Fuente: CMN. ....	44
Figura 3.21: Elevaciones de la Iglesia de Sibaya. Fuente: CMN, 2008. ....	46
Figura 3.22: Planta de la iglesia de Sibaya. Fuente: CMN, 2008.....	47
Figura 3.23 Planos de la reconstrucción de la iglesia.....	48
Figura 3.24: Iglesia de Usmagama, año 1950. Fuente: Archivo Fotográfico Roberto Montandón. ....	49
Figura 3.25: Iglesia de Usmagama antes del sismo del 2005. Fuentes: CMN, (s.f.-b) y (Moroni, 2005).....	50
Figura 3.26: Iglesia de Usmagama después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005. ....	50
Figura 3.27: Iglesia de Usmagama reconstruida, año 2017. Fuente: PRS, 2017.....	50
Figura 3.28: Ubicación de la iglesia de Usmagama. Fuente: Google Earth. s.f. ....	51
Figura 3.29: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Usmagama. Fuente: Google Earth. s.f.....	51
Figura 3.30: Iglesia de Usmagama después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005. ....	53
Figura 3.31: Planta reconstrucción iglesia de Usmagama.....	54
Figura 3.32: Iglesia de Chusmiza antes del sismo del 2005. Fuente: Flickr (s.f.).....	56
Figura 3.33: Iglesia de Chusmiza después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005. ....	56
Figura 3.34: Iglesia de Chusmiza, año 2017. Fuente: PRS, 2017. ....	56
Figura 3.35: Muro de contención iglesia de Chusmiza, año 2019. ....	57
Figura 3.36: Ubicación de la iglesia de Chusmiza. Fuente: Google Earth, s.f. ....	57
Figura 3.37: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Chusmiza. Fuente: Google Earth, s.f.....	58
Figura 3.38: Esquema de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PSR, 2017.....	60
Figura 4.1: Puntaje de los parámetros para definir el índice de amenaza: Fuente: Díaz Fuentes, 2016. ....	63
Figura 4.2: Puntaje y peso de los parámetros para definir el índice de vulnerabilidad. Fuente: Díaz Fuentes, 2016.....	66
Figura 4.3: Esquema que muestra la desagrupación de una iglesia en sus diferentes macroelementos. Fuente: Lagomarsino (2004) ....	68
Figura 4.4: Mecanismos de colapso por macroelemento (Lagomarsino y Podestà 2005: 59).....	72
Figura 4.5: Esquemas de mecanismos de colapso. Fuente: MIBAC, 2006.....	74

Figura 4.6: Clasificación de daño según escala macrosísmica europea EMS-98. Fuente: Grnthal et al, 1998. ....	78
Figura 5.1: Fachada de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PRS, 2017. ....	107
Figura 5.2: Muros laterales de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PRS, 2017. ....	110
Figura 5.3: Muro posterior de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PRS, 2017. ....	112
Figura 5.4: Fachada de la iglesia de Laonzana. Fuente: CMN, (s.f.-c) ....	116
Figura 5.5: Nave de la iglesia de Laonzana. ....	117
Figura 5.6: Parte posterior de la iglesia de Laonzana. Fuente: CMN, (s.f.-c) ....	119
Figura 5.7: Fachada de la iglesia de Huaviña luego del sismo del 2005 (Jorge Tuna. s.f.). ....	124
Figura 5.8: Interior de la iglesia de Huaviña. Fuente: Archivo Fotográfico Roberto Montandón. ....	126
Figura 5.9: Interior de la iglesia de Huaviña luego del sismo del 2005 (Jorge Tuna. s.f.). ....	127
Figura 5.10: Fachada de la iglesia de Sibaya. ....	133
Figura 5.11: Muros laterales de la iglesia de Sibaya. Fuente: Ernesto Chambe, 2014. ....	134
Figura 5.12: Capilla sur poniente (izquierda) y nororient (centro y derecha) de la iglesia de Sibaya. Fuente: Ernesto Chambe, 2014. ....	135
Figura 5.13: Ventana capilla norponiente del transepto. Fuente: Ernesto Chambe, 2014. ....	136
Figura 5.14: Muro nororient (izquierda), norponiente (centro) y sur poniente (derecha) del ábside. Fuente: Ernesto Chambe, 2014. ....	137
Figura 5.15. Torre y campanario de la iglesia de Sibaya. Fuente: CMN. ....	139
Figura 5.16: Fachada y detalle del portal de la iglesia de Usmagama. Fuente: Moroni, 2005. ....	142
Figura 5.17: Nave de la iglesia de Usmagama. Fuente: Moroni, M. 2005. ....	143
Figura 5.18: Interior de la iglesia de Usmagama. Fuente: Donoso, 2004). ....	145
Figura 6.1: Gráfico con los índices de vulnerabilidad (V) del LV0 de las iglesias en su condición previa al sismo del 2005 y con los índices de daño (id) frente al terremoto del 2005. ....	151
Figura 6.2: Gráfico con los índices de vulnerabilidad (iv) del LV1 de las iglesias en su condición previa al sismo del 2005 y con los índices de daño (id) frente al terremoto del 2005. ....	153
Figura 6.4: Detalle de instalación de escalerilla de madera y geomalla en muros <sup>a</sup> (izquierda), Detalle de instalación de geomalla en muros <sup>b</sup> (derecha). ....	155

# Capítulo 1

## Introducción y Objetivos

### 1.1 Motivación

En las dos últimas décadas han ocurrido dos grandes terremotos en el Norte Grande de Chile: el sismo intraplaca ocurrido el del 13 de junio del año 2005 ( $M_w=7.8$ ) y el sismo interplaca del 1 de abril del año 2014 ( $M_w=8.2$ ). Estos movimientos telúricos han afectado a diversas estructuras en la zona, siendo particularmente afectadas las de adobe. Esto se debe a la alta vulnerabilidad sísmica que poseen estos tipos de estructuras, lo que se ve reflejado en graves daños estructurales y el colapso de decenas de edificios de adobe tras los sismos mencionados. Por esto toma importancia estudiar los edificios patrimoniales de la zona, ya que son en su mayoría de adobe y mampostería de piedra, por lo que su riesgo sísmico es elevado.

El riesgo sísmico de un bien cultural inmueble es una combinación de su nivel de vulnerabilidad y de la gravedad de las amenazas a las que está expuesto. En este sentido, la vulnerabilidad corresponde a sus propiedades intrínsecas, y la amenaza a sus características extrínsecas. El valor patrimonial está relacionado con los valores socioculturales y económicos del bien, como lo son, entre otros, su valor histórico, simbólico, de antigüedad y de uso.

Muchos de estos bienes culturales inmuebles son importantes para la cultura de los pueblos indígenas, donde el pueblo Aymará es el de mayor presencia, y para la población en general, por lo que a menudo se implementan proyectos para su recuperación, restauración y reconstrucción en caso de colapso. Su importancia no solo radica en su valor histórico o simbólico, sino que además casos como las iglesias andinas son espacios comunitarios y testimonios de siglos del habitar andino.

El alto valor cultural de estas iglesias hace buscar herramientas que ayuden a evaluar y reducir su riesgo sísmico. Sin embargo, los recursos disponibles para gestionar el riesgo sísmico de los edificios patrimoniales son limitados, por lo que se necesitan herramientas que evalúen el riesgo sísmico a escala territorial, para así priorizar las acciones de atención.

Una herramienta que puede cumplir este objetivo es el nivel de evaluación de la vulnerabilidad sísmica LV1 de la metodología italiana establecida en la Circolare N°26 (2010), ya que permite que se realicen evaluaciones de seguridad sísmica a escala territorial en los bienes culturales protegidos. Esta normativa hace un énfasis en iglesias de mampostería de piedra, lo que tiene relación con la historia constructiva italiana, en la que hay gran presencia de iglesias patrimoniales y un extensivo uso de mampostería de piedra en los siglos anteriores. Esto último puede generar una desventaja en su uso en los edificios patrimoniales del contexto andino, cuyo principal material de construcción es el adobe.

Entre los esfuerzos para avanzar en la confección de herramientas de diagnóstico para construcciones patrimoniales, Díaz Fuentes (2016) ha elaborado una herramienta adaptada al contexto Andino, llamada *Ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles*, denominada LV0 por considerarse un nivel de evaluación previo a la metodología italiana. Esta herramienta está diseñada para su uso a escala territorial será utilizada y analizada en el presente trabajo.

Entre las estructuras con mayor vulnerabilidad sísmica en Chile y los países del contexto andino se encuentran las edificaciones de albañilería no reforzada. En la región se ha evidenciado la necesidad de tener herramientas de diagnóstico de vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificaciones en adobe. Para ello puede ser útil aprender de lecciones de otros países que han avanzado en la construcción de este tipo de herramientas para edificaciones patrimoniales, como es el caso de Italia. Al ser contextos (constructivos, socioculturales, geográficos) diferentes, las metodologías no pueden ser utilizadas sin estudios que permitan analizar cuan apropiadas son o no. El presente trabajo busca contribuir a este campo, a través del análisis de las metodologías italianas de diagnóstico e intervención del patrimonio cultural inmueble en mampostería, con el fin de avanzar hacia la confección de herramientas propias a nuestros contextos territoriales que permitan una reducción del riesgo sísmico de las construcciones en adobe.

El segundo semestre del año 2017 un equipo multidisciplinario de estudiantes y profesionales de ingeniería civil, arquitectura y conservación de monumentos viajó a la Quebrada de Tarapacá a hacer un catastro de las iglesias patrimoniales de la zona afectada por los terremotos del 2005 y 2014. Esto gracias al apoyo del Programa Riesgo Sísmico (PRS) y del Programa Transdisciplinario de Reducción de Riesgo de Desastres (CITRID) de la Universidad de Chile. El equipo realizó un catastro de cinco iglesias patrimoniales, ubicadas en los pueblos de Laonzana, Huaviña, Sibaya, Usmagama y Chusmiza.

Cuatro de las cinco iglesias se vieron gravemente afectadas por el terremoto del 2005, motivo por el cual estas iglesias fueron reconstruidas por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) entre los años 2011 y 2013. Algunas de las intervenciones del MOP no resultaron ser la mejor solución de reparación y disminución del riesgo sísmico de las iglesias, principalmente porque la falta de una normativa de tierra en esa fecha hizo que se utilizaran materiales incompatibles con el adobe como el acero y el hormigón armado. Esto generó que para el terremoto del 2014 colapsara el muro posterior de una de las iglesias reconstruidas y que algunas de las intervenciones no fueron del todo

coherentes con el contexto cultural de las iglesias, pues no respetaron la materialidad y algunas de sus características arquitectónicas.

El presente trabajo de título se basa en los datos, observaciones y análisis de terreno realizado por el equipo multidisciplinario, y pretende realizar una evaluación del riesgo sísmico que poseen las cinco iglesias catastradas mediante la aplicación de los métodos LV0 y LV1, para comparar los resultados obtenidos con los daños sufridos por el terremoto del año 2005. Esto para poder determinar si las metodologías son apropiadas para su uso en iglesias de la cultura constructiva de tierra andina.

La alta sismicidad en Chile asegura que en un futuro estas edificaciones volverán a ser sometidas a un terremoto, debido a que desde que se tiene registro histórico, ha ocurrido en promedio un terremoto de magnitud superior a 8 aproximadamente cada 10 años (Contreras, 2015). Debido a ello, es de gran importancia evaluar el riesgo sísmico que poseen estas iglesias, además de definir junto a las comunidades lineamientos claros al momento de realizar nuevas intervenciones a los edificios de valor cultural, de tal manera que preserven lo más posible las características que los hacen ser patrimoniales. Esto con el objetivo de intentar asegurar su uso por la comunidad y facilitar que las generaciones presentes y futuras puedan apreciar los inmuebles que poseen un valor patrimonial para nuestra sociedad.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo General

Analizar si los métodos de evaluación del riesgo sísmico adaptados de la *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale* son apropiados para su uso en las iglesias de la cultura constructiva en tierra andina a escala territorial, mediante su aplicación en cinco iglesias patrimoniales de la Quebrada de Tarapacá.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Caracterizar el estado de las iglesias en estudio en su condición previa al terremoto del 2005, en cuanto a su estructura, su entorno físico y su contexto sociocultural.
- 2) Presentar la metodología de la *Ficha de evaluación y cuantificación de la vulnerabilidad constructiva sísmica en los bienes culturales inmuebles* (LV0) y aplicarla a las iglesias en estudio.
- 3) Presentar la metodología italiana para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y aplicar su primer nivel de evaluación (LV1) a las iglesias en estudio.

- 4) Analizar si los niveles de evaluación de riesgo sísmico (LV0 y LV1) se pueden utilizar en las iglesias de la cultura constructiva en tierra andina a escala territorial, comparando los diagnósticos obtenidos con los daños observados tras el terremoto del 2005.
- 5) Entregar recomendaciones para una posible intervención de la iglesia de Chusmiza que logre disminuir su vulnerabilidad sísmica sin afectar negativamente sus características patrimoniales.

## 1.3 Organización del documento

El presente documento se organiza como sigue:

### **Capítulo 2: Antecedentes Generales**

Se presenta una revisión bibliográfica del contexto de las iglesias en estudio, en cuanto a su localización, entorno físico, contexto sociocultural y sismológico. Esto para dar contexto al desarrollo del presente trabajo e identificar elementos que tengan un impacto en los atributos de las iglesias analizadas.

### **Capítulo 3: Características de las iglesias patrimoniales en adobe estudiadas**

Se describen los casos de estudio, en cuanto a su ubicación, entorno físico, datos históricos, y contexto social, haciendo un énfasis en las propiedades estructurales e intervenciones percibidas a lo largo de su historia.

### **Capítulo 4: Estudio de métodos de evaluación del riesgo sísmico**

Se presenta una revisión bibliográfica de las metodologías de evaluación del riesgo sísmico LV0 y LV1, que se aplicarán a los casos de estudio.

### **Capítulo 5: Evaluación del riesgo sísmico**

Se aplican los métodos LV0 y LV1 a las cinco iglesias en su condición previa al terremoto del 2005, y también a la iglesia de Chusmiza en su estado actual. Se analizan los resultados obtenidos.

### **Capítulo 6: Resumen, Comentarios y Conclusiones.**

Por último, se presenta un resumen de los resultados obtenidos, recomendaciones de intervención a la iglesia de Chusmiza, comentarios y las conclusiones de este Trabajo de Memoria.

## 1.4 Riesgo y otros conceptos

Como se mencionó con anterioridad, uno de los objetivos del presente trabajo es determinar el riesgo sísmico de las iglesias patrimoniales de la Quebrada de Tarapacá. Sin embargo, antes de determinar el riesgo sísmico, es fundamental conocer el significado de “riesgo” y otros conceptos relacionados como vulnerabilidad y amenaza, entre otros.

En esta línea, el año 2009 la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR) publicó el documento *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*, con el propósito de establecer significados comunes para los conceptos relacionados a la reducción del riesgo de desastres, a saber:

### **Riesgo:**

“La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas” (UNISDR, 2009, p. 29). El riesgo es latente y no se materializa hasta que ocurre un desastre.

### **Amenaza:**

“Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden 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” (UNISDR, 2009, p. 05).

### **Vulnerabilidad:**

“Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza” (UNISDR, 2009, pp. 34, 35).

Según la literatura científica, el riesgo depende de dos factores; la amenaza y la vulnerabilidad. Y en general se relacionan mediante la siguiente fórmula:

$$Riesgo = Amenaza \cdot Vulnerabilidad \quad (1)$$

Pero cuando se trata de estructuras con valor cultural, se puede considerar un tercer factor, el cual varía según la literatura y suele hacer alusión al valor de aquello a lo que se le evalúa el riesgo:

$$Riesgo = Amenaza \cdot Vulnerabilidad \cdot (ER; E; VC) \quad (2)$$

Donde,

ER: Elementos en Riesgo (Varnes, 1984, p. 10)

E: Exposición (Guevara et al., 2004, p. 20)

VC: Valor Cultural (MIBACT, 2004, p. 15)

Es importante tener claridad sobre cómo se relacionan estos conceptos, pues muchas veces se aborda solamente la vulnerabilidad de una estructura, y si no se tienen en cuenta las amenazas, pueden ocurrir desastres que habrían sido evitado teniendo una mirada más completa.

También es relevante el valor patrimonial que posea el inmueble, pues cuando los recursos son escasos, una manera de priorizar acciones de prevención o reparación es considerando qué inmuebles poseen mayor valor cultural. Por ejemplo, al momento de reconstruir las iglesias dañadas tras el terremoto de Tarapacá de 2005 se priorizaron aquellas que habían sido declaradas Monumentos Patrimoniales.

# Capítulo 2

## Antecedentes Generales

### 2.1 Antecedentes Generales de la Quebrada de Tarapacá y de sus poblados

Las 5 iglesias en estudio se encuentran a poca distancia entre sí, a menos de 26 km, y todas se emplazan dentro de la Quebrada de Tarapacá, la cual está ubicada en la I Región de Tarapacá. En esta sección se expondrán las características más relevantes de la Quebrada de Tarapacá.

#### 2.1.1 Localización y geografía

La I Región de Tarapacá es una de las regiones más áridas del mundo, donde la evaporación es mucho mayor a la precipitación, lo que condiciona el funcionamiento hidrogeológico de la zona. Lo que caracteriza a las cuencas de la Región de Tarapacá es que son de carácter endorreico, es decir, son cuerpos de agua que no tienen salida fluvial hacia el mar.

En esta región se pueden determinar 5 zonas hidrográficas (Fig. 2.1 a), siendo la Pampa del Tamarugal, coloreada de amarillo en la Figura 2.1, la más extensa dentro de la región. La Pampa del Tamarugal se localiza en la Depresión Central y Precordillera de la Región de Tarapacá. Es de carácter endorreico, es decir, no hay cursos de agua superficial que fluyan fuera de la cuenca. Está constituida por diez subcuencas según la delimitación oficial de cuencas de la Dirección General de Aguas (DGA).

El curso de agua superficial más importante de la Pampa del Tamarugal es la Quebrada de Tarapacá, la cual se encuentra al nororiente de la capital regional, Iquique. Esta cuenca se identifica con código DGA 0173 en la Figura 2.1. Nace de la unión de dos quebradas en la alta cordillera, por sobre los 4500 m.s.n.m. Los tributarios que recibe son habitualmente secos o efímeros, siendo

los más importantes la quebrada de Chusmiza por la ribera derecha y la quebrada de Coscaya por la ribera izquierda.

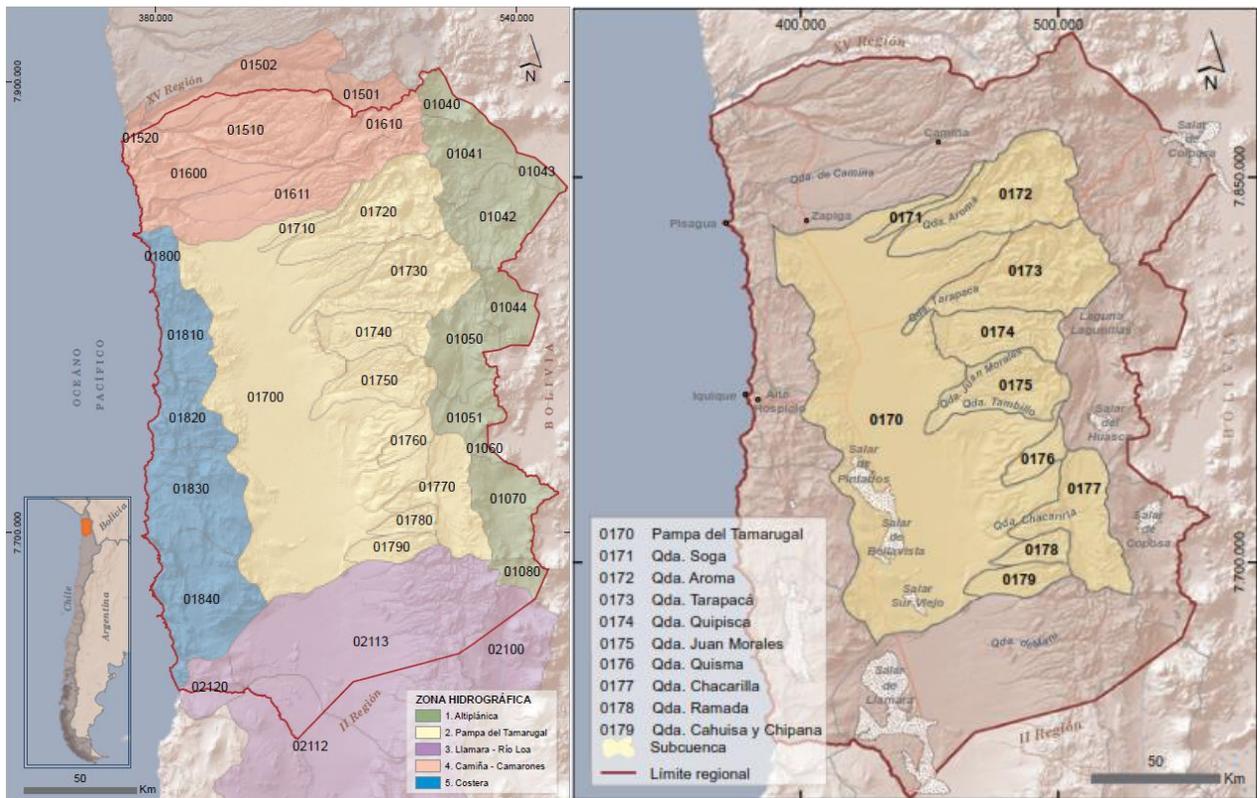


Figura 2.1: a) A la izquierda se encuentran las zonas hidrográficas presentes en la Región de Tarapacá. b) a la derecha está el Mapa de la cuenca Pampa del Tamarugal.

Nota. Fuente: Lictevout, 2012.

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 los 2.300 metros de altitud por medio de un plano inclinado que no cruza la pampa, sino que se pierde en las proximidades de la cota 1.500 m como rasgo erosivo al pie de dichos planos. (DGA, 2004, p. 8).

En la Figura 2.2 se aprecia las grandes diferencias de altura dentro de la cuenca. Las iglesias se encuentran a poca distancia entre sí, hay al rededor de 26 km entre las dos más lejanas, pero entre ellas hay más de 1500 m de altura de diferencia.

En cuando a la posición de las iglesias dentro de la cuenca, si separamos la cuenca en cuatro partes de poniente a oriente, las iglesias estarían en el segundo cuarto.

# Cuenca Quebrada de Tarapacá

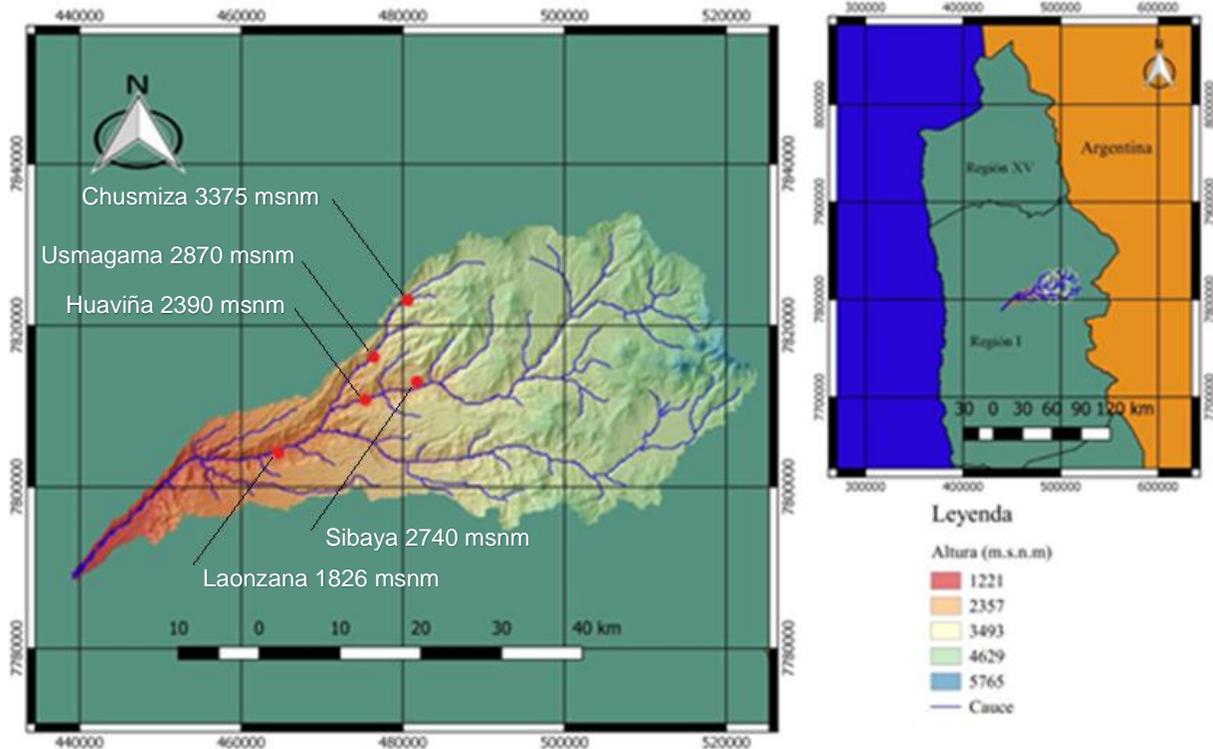


Figura 2.2: Mapa de la Cuenca Quebrada de Tarapacá<sup>1</sup>. Adaptado de Vázquez, 2018, p. 12.

## 2.1.2 Clima

En la Tabla 2.1 se describen los tres tipos de climas presentes en la Quebrada de Tarapacá, los que se pueden distinguir según la altura sobre el nivel del mar. A partir de esta información, y con la altura sobre el nivel del mar contenida en la Figura 2.2, se puede determinar que los tres tipos de clima están presentes en las iglesias: Desértico Interior en Laonzana; Desértico Marginal de Altura en Huaviña, Sibaya y Usmagama; De Estepa de altura en Chusmiza.

Tabla 2.1: Climas presentes en la Quebrada de Tarapacá. Adaptado de DGA (2004).

Tipo de Clima	Descripción	Altura [m.s.n.m]	Precipitación anual [mm]	Otros datos
Desértico Interior	Se localiza en la pampa, sin influencia oceánica costera. Se caracteriza por su extrema aridez, cielos despejados y mucha luz	Sobre 1.000	0	T° media: 18°C Humedad relativa promedio: 50%
Desértico Marginal de Altura	Las lluvias se presentan en los meses de verano producto del invierno altiplánico.	Sobre 2.000	50 - 100	T° media: 10°C
De Estepa de Altura	Predomina en el sector altiplánico	Sobre 3.000	300	-

La hidrología de la cuenca Quebrada de Tarapacá presenta un régimen pluvial, pues las precipitaciones en los meses estivales se deben al fenómeno del Invierno Altiplánico (Vásquez,

<sup>1</sup> Ubicaciones de las iglesias marcadas en rojo. Se agregó altura sobre el nivel del mar de las iglesias.

2018). Como se ve en la Figura 2.3, las precipitaciones anuales están concentradas en un breve periodo de tiempo, llegando a su máximo en los meses de enero y febrero. Las lluvias intensas, la presencia de quebradas y la gran pendiente del terreno pueden generar aluviones en la zona.

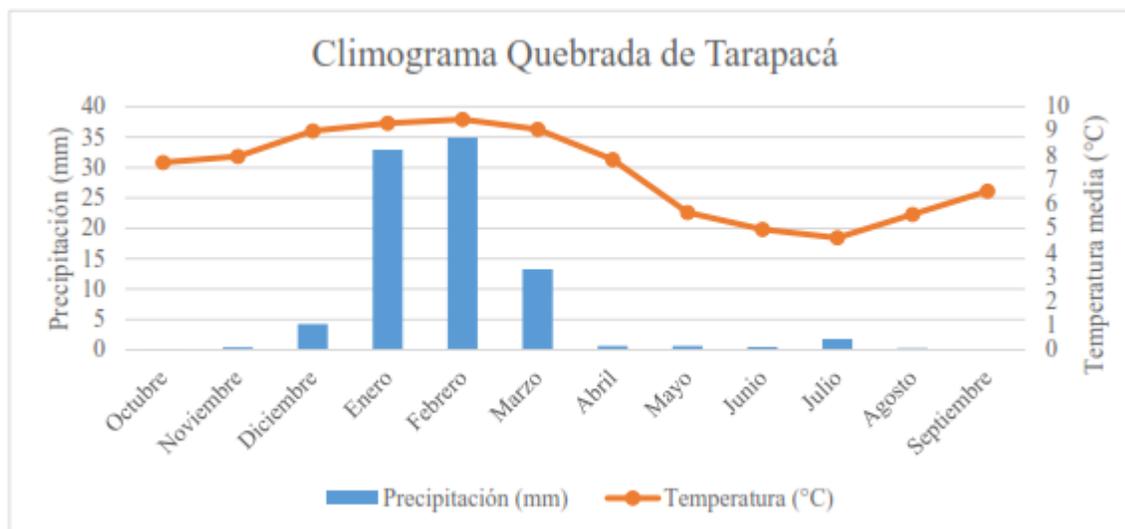


Figura 2.3: Climograma Cuenca Quebrada de Tarapacá, periodo 2004-2015. Fuente: Vázquez, 2018, p. 13.

La Figura 2.4 y la Figura 2.5 fueron elaboradas por Vázquez (2018) a partir de algunas forzantes meteorológicas que se obtuvieron en el estudio de Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017). En la primera figura se muestra la serie de temperaturas a nivel horario en el periodo 2004-2015 integrada en la cuenca Quebrada de Tarapacá<sup>2</sup> (Vázquez, 2018). En este gráfico se puede observar que la oscilación térmica es elevada.

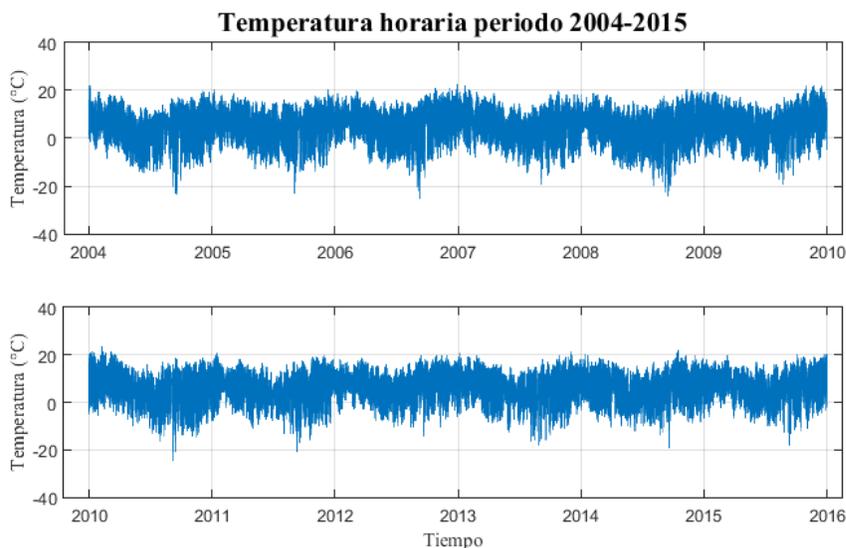


Figura 2.4: Temperatura a nivel horario en el periodo de estudio 2004-2015, cuenca Quebrada de Tarapacá. Fuente: Vázquez, 2018, p. 28.

<sup>2</sup> Los datos aportados por la DGA (2017) poseen una resolución temporal de 3 horas, y en Vázquez (2018) se les realizó un ajuste temporal para pasar de 3 horas a 1 hora.

Como se mencionó anteriormente, las iglesias están en el segundo cuarto de la cuenca, y como en la zona hay una gradiente térmica de  $-5.2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  (Vázquez, 2018, p.28), las temperaturas en promedio debiesen ser algo mayores que las del gráfico. En la Figura 2.5 a) es notoria la existencia de este gradiente, pues hacia el oriente va bajando la temperatura mientras va aumentando la altura sobre el nivel del mar. De esta figura se puede extraer de manera aproximada las temperaturas medias de cada iglesia:  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Laonzana;  $11\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Huaviña;  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Sibaya;  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Usmagama;  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  en Chusmiza.

En la Figura 2.5 b) se puede ver que la velocidad media anual del viento promedio en la cuenca no supera los  $3.1\text{ m/s}$  ( $11.2\text{ km/h}$ ), mientras que las iglesias tienen vientos promedios entre  $9.18$  y  $10.4\text{ km/h}$ .

Cabe recalcar que la información aportada por la Figura 2.5 es aproximada, pues está elaborada a partir de transformaciones e interpolaciones de datos y está grillada, pero brinda una idea sobre las condiciones de temperatura y viento promedios. Podría decirse que la velocidad promedio anual en las iglesias es de  $10\text{ km/h}$ , siendo la zona de Laonzana levemente más ventosa.

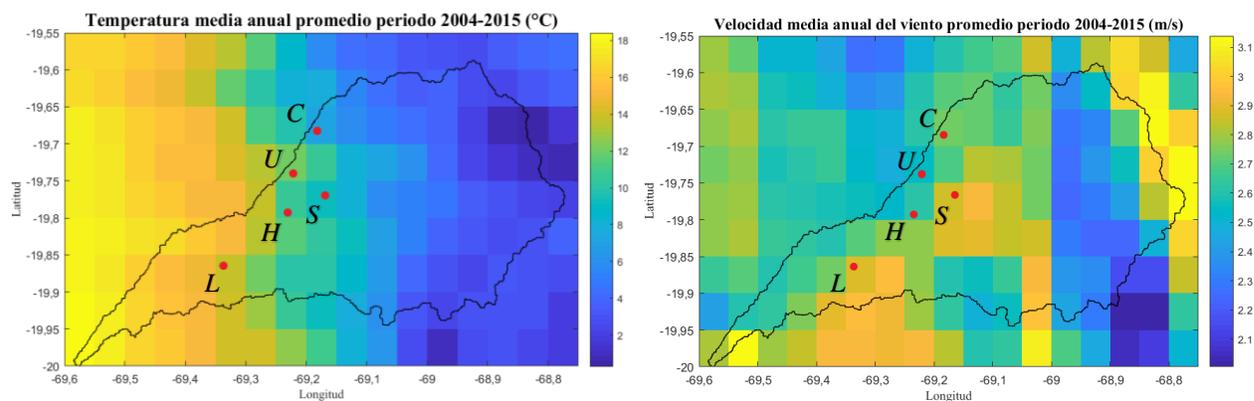


Figura 2.5: a) Temperatura anual media anual promedio (izquierda) y b) Velocidad media anual del viento promedio (derecha) grilladas periodo 2004-2015, Cuenca Quebrada de Tarapacá.

*Nota.* Se marcó en rojo la ubicación de los cinco poblados de las iglesias, donde L=Laonzana; H=Huaviña; S=Sibaya; U=Usmagama; C=Chusmiza. Adaptado de Vázquez, 2018, p.29 y p.30.

Según Díaz Fuentes (2016), en la zona cercana a Laonzana ha habido precipitaciones máximas de  $20.2\text{ mm}$  diarios, y velocidades de hasta  $70\text{ km/h}$ , con dirección predominante de poniente a oriente. La lluvia y el viento son factores determinantes al momento de evaluar el peligro de erosión de una estructura.

### 2.1.3 Población

Las iglesias de Quebrada de Tarapacá estudiadas se encuentran dentro de la comuna de Huara, la cual pertenece a la Provincia del Tamarugal, Región de Tarapacá. Como se ve en la Figura 2.6,

la comuna de Huara es bastante extensa, abarcando la costa, parte de la depresión intermedia y parte de la precordillera de la zona norte de la región.

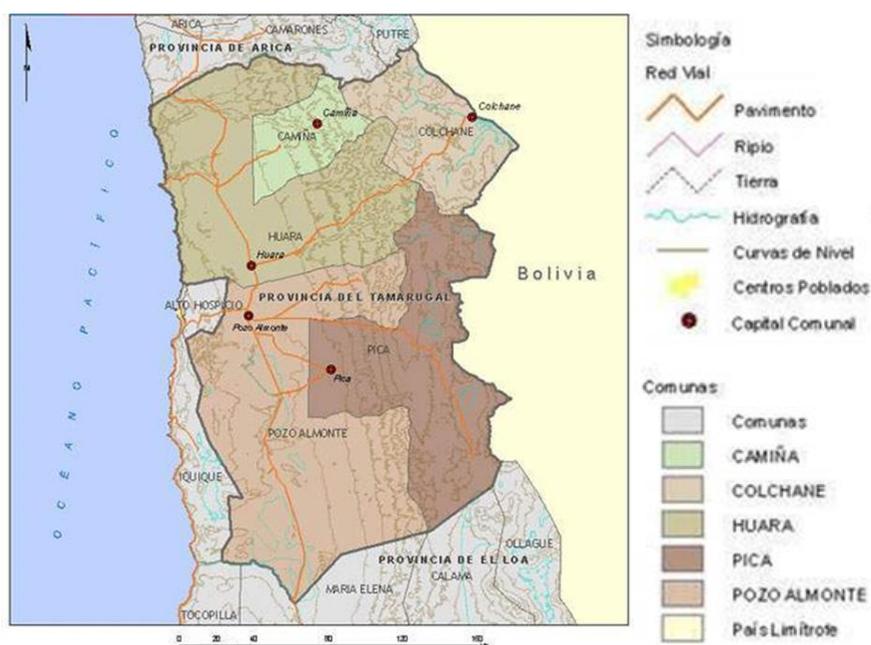


Figura 2.6: Provincia del Tamarugal. Fuente: www.ecured.cu

En la Tabla 2.1 se encuentra la población de los distintos pueblos donde se ubican las iglesias:

Tabla 2.2: Población localidades de las iglesias y comuna de Huara según últimos Censos.

Localidad	Censo 1992	Censo 2002	Censo 2017
Laonzana	Sin info.	31	Sin info.
Chusmiza	Sin info.	35 <sup>3</sup>	22 <sup>4</sup>
Huaviña	Sin info.	62	37
Sibaya	Sin info.	62	46
Usmagama	Sin info.	3	0
Comuna de Huara	1972	956	1085

Pese a un leve aumento en la población entre los años 2002 y 2017 en la comuna de Huara, la tendencia es que en la zona la población ha ido decreciendo a lo largo de los años. Se puede apreciar que en las localidades donde se emplazan las iglesias, la población ha ido disminuyendo a partir de 1992. Sin embargo, la gran extensión de la comuna de Huara y su variedad de localidades hace que la relación entre la población de la comuna y la Quebrada de Tarapacá no sea directa.

El censo de 1992 no detalla la población de los poblados de la comuna de Huara, y los censos realizados anterioridad no detallaban la población de las comunas de la Provincia de Tarapacá. Sin embargo, se sabe que la población de la Quebrada de Tarapacá fue disminuyendo mucho antes que ese año, en parte debido a la búsqueda de trabajo en Iquique y Huara. La emigración de Usmagama

<sup>3</sup> Corresponde a “Chusmiza Oriente” en el Censo del 2002, donde la población de “Chusmiza” es igual a 15.

<sup>4</sup> En el Censo del 2017 corresponde a “Chusmiza Poniente”.

comenzó antes que la de los otros poblados, entre los años 30' y 40', principalmente debido a la escasez hídrica y falta de un camino que pasara por el pueblo.

Pese a que en los poblados hay pocos habitantes durante el año, las iglesias sirven como espacios de reunión para las festividades que ocurren una o dos veces al año, atrayendo decenas de personas, entre los antiguos habitantes del pueblo, familiares y turistas.

Se accede a los poblados a través de la ruta 15-CH, carretera internacional que está completamente asfaltada y que une Huara con el paso fronterizo Colchane-Pisiga. Esta carretera es importante para la región, debido a que conecta las ciudades de Iquique (Chile) y Oruro (Bolivia), por lo que tiene una importante circulación de personas. Últimamente ha habido un aumento en la migración por este paso, a veces ilegal. Hasta el momento han fallecido 8 personas cruzando la frontera de Colchane (Márquez, 2021). Por esto, los pueblos se han vuelto un lugar de paso de personas migrantes que a veces se encuentran en precarias situaciones.

#### 2.1.4 Algunas amenazas observadas

A partir de la información presentada en las secciones anteriores, se pueden determinar algunos posibles escenarios que amenazan la conservación de los bienes patrimoniales inmuebles de la Quebrada de Tarapacá. Estas amenazas están contempladas en la aplicación del nivel de evaluación del riesgo sísmico LV0 propuesto por Díaz Fuentes (2016). Las amenazas observadas fueron:

- Deslizamientos de laderas y fractura de roca:
  - Inestabilidad de laderas naturales: Como la quebrada se encuentra en la precordillera de la región de la Región de Tarapacá, es una zona montañosa, con diversos grados de inclinación.
  - Flujos de lodo y escombros: debido a las precipitaciones concentradas en poco tiempo en un terreno de altas pendientes y quebradas, pueden producirse aluviones, como el ocurrido en marzo del 2012.

Las iglesias en estudio se encuentran dentro de las quebradas de la Cuenca de la Quebrada de Tarapacá, por lo que son susceptibles a ser afectadas por estos fenómenos naturales.

- Erosión: debido al viento y la lluvia, el revoque, el mortero y los bloques de adobe se pueden ir deteriorando. Este efecto es mayor si se considera la antigüedad de la estructura y la falta de mantenimiento que ésta pueda tener. No hay peligro de erosión por efecto aerosol marino, pues no hay influencia oceánica costera.
- Estrés físico: debido a la oscilación térmica diaria y al prácticamente constante asoleamiento, pues la zona está mayormente despejada a lo largo del año. Chusmiza es el poblado donde más se presenta esta amenaza, pues posee una temperatura promedio menor que el resto al estar a una altura sobre el nivel del mar superior, y podría darse el caso de que se combinen heladas con lluvias.

- Socio-organizativa: La migración a través del paso Colchane-Pisiga puede hacer que haya un aumento de circulación de personas en los poblados. En la iglesia de Chusmiza puede haber un mayor aumento, pues normalmente se encuentra abierta (a diferencia de las otras cuatro iglesias) y puede volverse un lugar acogida o refugio. No se encontraron evidencias de amenazas asociadas a vandalismo, incendios forestales o actividad turística constante. La actividad turística se concentra en las épocas de festividades.
- Disminución demográfica grave: Se evidencia una emigración de la población desde hace décadas, posiblemente hacia las urbes más grandes en búsqueda de mayores oportunidades laborales. Como consecuencia de la disminución de la población de los poblados, los inmuebles son abandonados total o parcialmente. El caso más crítico es el pueblo de Usmagama, pues ha estado años sin habitantes permanentes. El abandono de los inmuebles se ve reflejado en una falta de mantenimiento y deterioro progresivo (Díaz Fuentes, 2016).

También hay una gran amenaza sísmica en la zona, la que se abordará en la sección 2.3. No se encontraron evidencias de contaminación atmosférica.

Es importante tener en cuenta las amenazas existentes, ya que, como se vio en el Capítulo 1, son determinantes al momento de evaluar el riesgo de un bien.

## 2.2 Antecedentes Generales de las cinco iglesias

### 2.2.1 Ubicaciones

Como se mencionó anteriormente, las iglesias se encuentran ubicadas en la Región de Tarapacá, en la comuna de Huara. Se accede a ellas a través de la ruta 15-CH, carretera internacional que une Huara con el paso fronterizo Colchane-Pisiga. Las localidades de las iglesias se encuentran a poca distancia de la carretera, y se accede ella mediante caminos interiores, los que en general son bastante empinados y presentan varias curvas. Estos caminos están expuestos a derrumbes en caso de grandes sismos debido al entorno rocoso.

Las iglesias se encuentran dentro de un radio de 25.7 km, que es la distancia entre las iglesias más lejanas; Laonzana y Chusmiza. Todas las localidades de las iglesias se encuentran en la Cuenca Quebrada de Tarapacá, pero sólo 3 de ellas se encuentran en la Quebrada de Tarapacá: Laonzana, Huaviña y Sibaya. Las otras dos localidades, Usmagama y Chusmiza, se encuentran en la Quebrada Ocharaza, la cual se une a la de Tarapacá a la altura de Mocha.

Pese a los pocos kilómetros que distancian a las iglesias entre sí, existen diferencias entre las características de sus emplazamientos, como en el clima (como se vio en la sección anterior), el tipo de suelo y su altura. La iglesia de Laonzana es la que posee una menor altura sobre el nivel del mar, a 1826 msnm. Luego las iglesias de Sibaya, Huaviña y Usmagama se encuentran a una altura de entre 2680 y 2800 msnm. Estas cuatro iglesias se encuentran en la zona de la precordillera.

Finalmente, la iglesia de Chusmiza es la que se emplaza en la zona más alta, a unos 3375 msnm, encontrándose en la zona del altiplano.



Figura 2.7: Mapa físico y caminero de las 5 iglesias a analizar. Fuente: Adaptado de Google, s.f.

### 2.2.2 Tipo de Suelo

A partir del Mapa Geológico de Chile (SERNAGEOMIN, 2003), se determinó el tipo de suelo sobre el cual se emplazan las iglesias. Para una mejor visualización, se marcó su ubicación en el mapa de Unidades Geológicas del informe de la DGA (2014), como se ve en la Figura 2.8.

La altura y el tipo de suelo sobre el cual se emplazan las iglesias se expone a continuación:

- 1) Laonzana (1826 msnm):** Emplazada en el vértice de deslizamientos en masa de arena y limo del Plioceno-Pleistoceno (**PPI1r**), rodeada de 3 macizos rocosos: rocas del tipo intrusivas Cretácico Superior (KTg), rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno (OM3t) y rocas sedimentarias del Cretácico Superior (Ks1c).
- 2) Huaviña (2390 msnm):** Emplazada sobre rocas sedimentarias del cretácico superior (**Ks1c**), rodeada de rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno (OM3t), deslizamientos en masa de arena y limo (PP1r) y rocas del tipo Volcánicas del Mioceno inferior-medio (M3t).
- 3) Sibaya (2740 msnm):** Emplazada en el encuentro de deslizamientos en masa de arena y limo del Plioceno-Pleistoceno (**PPI1r**) y rocas sedimentarias del cretácico superior (Ks1c),

rodeada de rocas del tipo Volcánicas del Mioceno Inferior-medio (M3t) y rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno (OM3t).

4) **Usmagama (2870 msnm):** Emplazada sobre rocas intrusivas del Cretácico Superior-Terciario Inferior (**KTg**), rodeada de deslizamientos en masa de arena y limo del Plioceno-Pleistoceno (**PPI1r**), rocas volcánicas del Oligoceno-Mioceno (OM3t) y rocas sedimentarias (M1c) del Mioceno inferior medio.

5) **Chusmiza (3375 msnm):** Emplazada sobre rocas sedimentarias del cretácico superior (**Ks1c**) rodeada de rocas tipo volcánicas del Mioceno inferior medio (M3i).

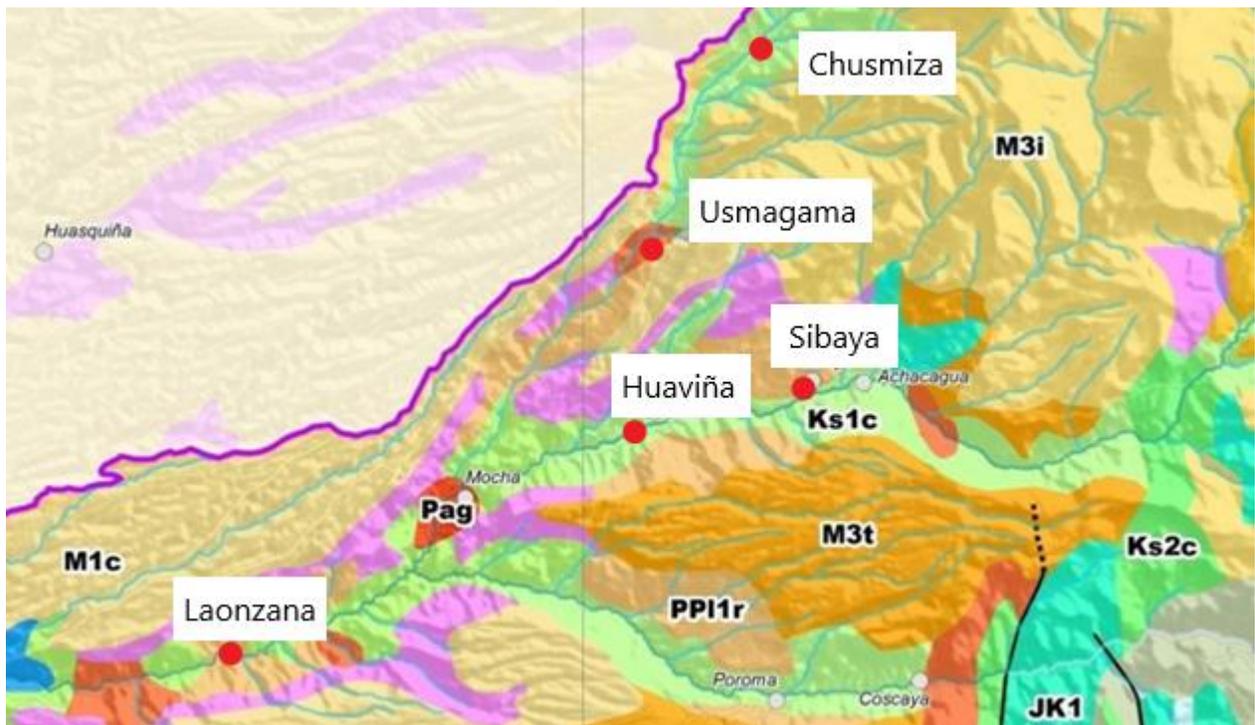


Figura 2.8: Unidades Geológicas. Se marcó en rojo la ubicación de las iglesias. Fuente: DGA. 2014.

En la Tabla 2.3 se describen algunos de los tipos de suelo que se encuentran en los alrededores de las iglesias. Se puede ver que el único tipo de suelo rocoso de la zona cercana a las iglesias es el KTg, cuya extensión es acotada (naranja rojizo en la Figura 2.8). Por esto, la zona podría presentar una mayor amenaza sísmica que si fuera un entorno rocoso.

Dentro de una de las zonas con tipo de suelo KTg se encuentra Usmagama, siendo la única iglesia que se emplaza sobre suelo rocoso, pues las otras cuatro iglesias están sobre secuencias sedimentarias (PPI1r y Ks1c).

Los suelos PPI1r, donde se emplazan las iglesias de Laonzana y Sibaya, debiesen tener peor comportamiento sísmico que los suelos Ks1c, donde se emplazan las iglesias de Huaviña y Chusmiza. Esto porque los suelos PPI1r son desplazamientos en masa de arena y limo, por lo que

pueden ser suelos más sueltos que los de tipo Ks1c, que se caracterizan por la presencia de conglomerados.

Tabla 2.3: Tipos de suelo de las cinco iglesias.

<b>Unidad Geológica</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Descripción</b>
<b>PPI1r</b>	Secuencias sedimentarias	Plioceno-Pleistoceno. Secuencias sedimentarias. Ambiente Sedimentado continental. Depósitos de remoción en masa (brecha polimicíticas con matriz de arena/limo en proporción variable) de flujo o deslizamiento gravitacional.
<b>M1c</b>	Secuencias sedimentarias	Mioceno Inferior-Medio. Secuencias sedimentarias de abanicos aluviales, pedimentos o fluviales: gravas, arenas y limos con ignimbritas intercaladas.
<b>M3i</b>	Secuencias volcánicas	Mioceno Inferior-Medio. Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basálticas a dacíticas.
<b>M3t</b>	Secuencias volcánicas	Mioceno Inferior-Medio. Secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso.
<b>KTg</b>	Rocas intrusivas	Cretácico Superior-Terciario Inferior. Granodioritas, dioritas y pórfidos graníticos.
<b>OM3t</b>	Secuencias volcánicas	Oligoceno-Mioceno. Secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso.
<b>Ks1c</b>	Secuencias sedimentarias	Secuencias sedimentarias continentales aluviales y lacustres: conglomerados, brechas, areniscas y limolitas rojas con intercalación de tobas riolíticas y lavas andesíticas.

*Nota.* Extraído de SERNAGEOMIN (2003) y DGA (2014).

### 2.2.3 Cronología de las cinco iglesias

Las intervenciones conocidas que se han realizado a las iglesias y los diferentes eventos que las han afectado se enlistan cronológicamente a continuación:

Siglo XVII:	Construcción de las iglesias de Sibaya (PRS, 2017) y Usmagama (CMN, s.f.-b), y de la primera capilla de Laonzana (Velasco, 2011).
Siglo XVIII:	Construcción de la iglesia de Huaviña (CMN, s.f.-a).
Siglo XIX:	Construcción de la actual iglesia de Laonzana (Velasco, 2011).
Fecha desconocida:	Construcción de la iglesia de Chusmiza.
Fecha desconocida:	Se reemplaza la techumbre original de las iglesias de Laonzana, Sibaya, Usmagama y Chusmiza por cubierta de zinc.
1953:	Se declaran Monumento Histórico las iglesias de Huaviña y Usmagama mediante el Decreto N°5705, el 3 de agosto de 1953.
<b>2005:</b>	<b>Terremoto de Tarapacá de 2005</b> , ocurrido el 13 de junio con magnitud Mw=7.8, a 41 km al sur de Chiapa, con una profundidad de 108 km. Colapso general en las iglesias de Laonzana, Huaviña, Sibaya y Usmagama.
2009:	Se declaran Monumento Nacional las iglesias de Laonzana y Sibaya a través del decreto DS N°0013, el 27 de enero de 2009.
2010 - 2013:	Comienza la reconstrucción de las iglesias de Huaviña (2010), Usmagama (2010), Laonzana (2012) y Sibaya (2013).
2011 - 2013:	Finaliza la reconstrucción de las iglesias de Huaviña (2011), Usmagama (2011), Laonzana (2013) y Sibaya (2013).
<b>2014:</b>	<b>Terremoto de Iquique de 2014</b> , ocurrido el 1 de abril con magnitud Mw=8.2, a 83 km al noroeste de Iquique, con 38.9 km de profundidad. El muro posterior de la iglesia de Laonzana colapsa.
Fecha desconocida:	Comienza la reparación de la iglesia de Laonzana.
2019:	Se construye un muro de contención junto al muro lateral sur de la iglesia de Chusmiza (ZOFRI, 2019).

## 2.3 Sismicidad en la Quebrada de Tarapacá

### 2.3.1.1 Tipos de sismos en la zona

Chile se encuentra ubicado sobre la placa Sudamericana, en cuyo borde occidental convergen las placas de Nazca y Antártica, generando zonas de subducción y deformación del continente Sudamericano. La placa de Nazca está presente a lo largo de la costa chilena desde el norte hasta la península de Taitao, Región de Aysén, y avanza bajo la placa Sudamericana a una tasa promedio de 6.8 cm al año. Esta alta velocidad de convergencia hace que la sismicidad en esta zona sea más intensa y genere los mayores terremotos del país.

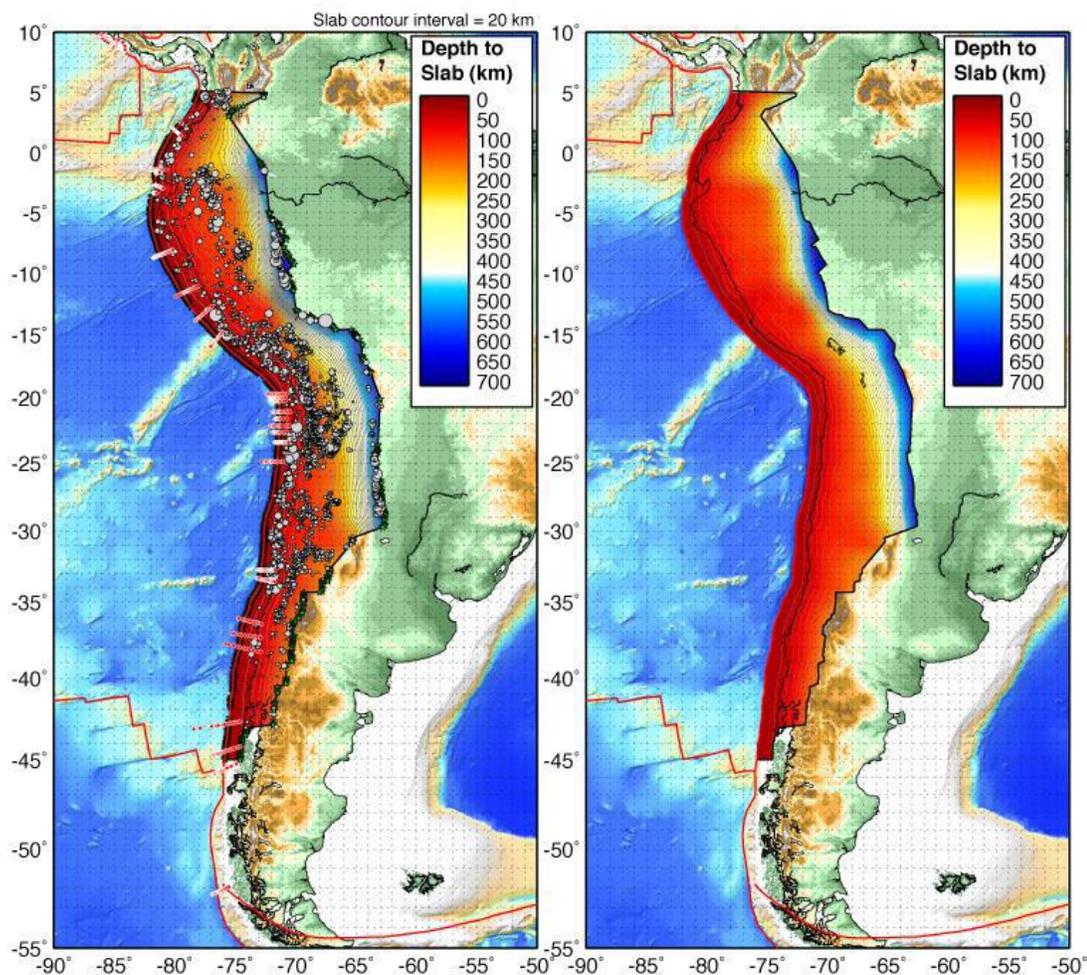


Figura 2.9: Marco tectónico de Chile.

*Nota.* Se muestran las placas que interactúan con la Placa Sudamericana, indicando la dirección y velocidad de convergencia. Los colores indican la profundidad alcanzada por la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Los puntos de color blanco son sismos que permiten determinar la profundidad y geometría de la zona de subducción.  
Fuente: [www.sismología.cl](http://www.sismología.cl)

Producto de la subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana se generan cuatro tipos de sismos: los sismos “outer-rise”; los sismos interplaca; los sismos intraplaca-oceánica; y los sismos intraplaca-continental.



Figura 2.10: Zona de subducción y tipos de sismos que ocurren en ella. Fuente: [www.sismologia.cl](http://www.sismologia.cl)

**A) Sismos “outer-rise”:**

Ocurren fuera de la fosa oceánica, debido a la deformación en la placa de Nazca cuando intenta meterse bajo la placa Sudamericana pero no lo logra por no poseer la suficiente fuerza neta. Suelen tener magnitudes menores que 8.0.

**B) Sismos Interplaca:**

Ocurren cuando las placas logran moverse, venciendo la fuerza de roce que impedía el movimiento. Corresponden a los sismos de mayor magnitud.

**C) Sismos Intraplaca-oceánica:**

Ocurren dentro de la placa oceánica subductada, que falla debido al peso de la placa y el fuerte acoplamiento entre las placas.

**D) Sismos Intraplaca-continental:**

Ocurren dentro de la placa continental, debido a la deformación generada en la placa continental producto de la convergencia de placas y por esfuerzos locales.

### 2.3.1.2 Historial sísmico

El sitio web del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, alberga información sobre los grandes terremotos en Chile desde 1570 a la fecha. Estos corresponden a sismos importantes y/o destructivos con Magnitud Ms o Mw mayor o igual a 7.0. La siguiente tabla contiene aquellos grandes terremotos que han ocurrido en la Región de Tarapacá.

Tabla 2.4: Grandes terremotos en la Región de Tarapacá.

Fecha	Hora local	Latitud	Longitud	Magnitud	Profundidad [km]	Efecto
24-08-1869	13:30	-19.6	-70.23	7.5	-	TM
05-10-1871	5:00	-20.2	-70.17	7.3	-	T
09-05-1877	21:16	-19.6	-70.23	8.5	-	TD
23-01-1878	8:00	-20	-70.3	7.9	40	-
15-09-1911	8:10	-20	-72	7.3	-	-
23-02-1933	4:09	-20	-71	7.6	40	-
14-03-1943	14:37	-20	-69.5	7.2	150	-
01-12-1943	6:34	-21	-69	7	100	-
25-04-1949	9:54	-19.75	-69	7.3	110	-
13-06-1959	20:12	-20.42	-69	7.5	83	-
29-11-1976	21:40	-20.52	-68.919	7.3	82	-
13-06-2005	18:44	-19.895	-69.125	7.8	108	-
01-04-2014	20:46	-19.572	-70.908	8.2	38.9	T

Nota. T: Tsunami; TM: Tsunami Moderado; TD: Tsunami Destructor y mayor; - : Sin información.  
Fuente: www.csn.uchile.cl

A partir de los datos de esta tabla, se elaboró un mapa con la ubicación de los epicentros:

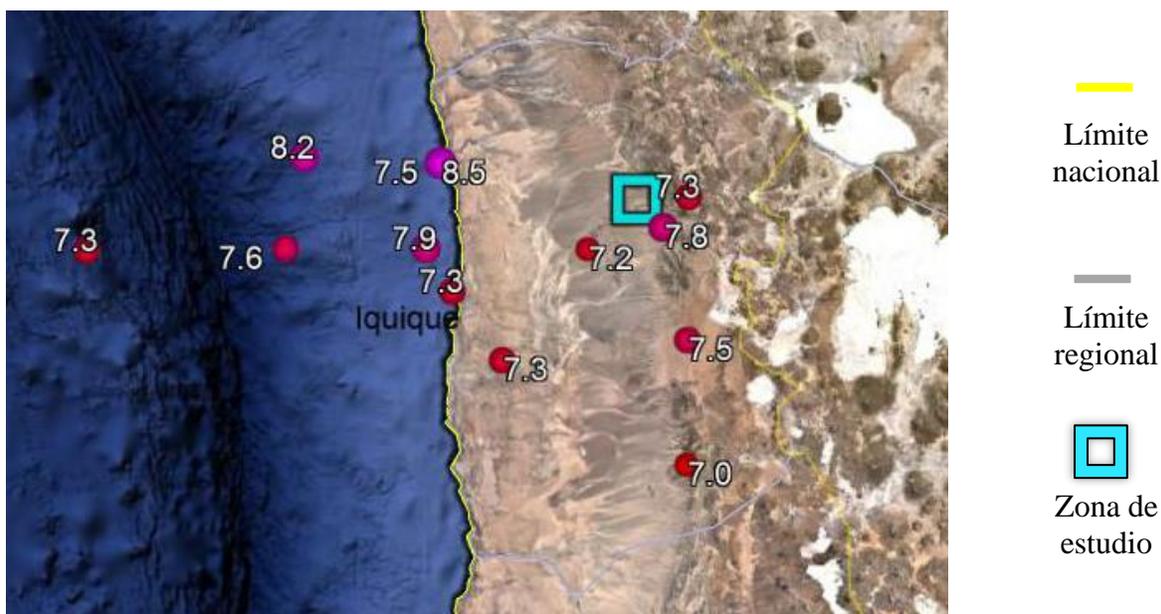


Figura 2.11: Ubicación de los epicentros de los grandes terremotos ocurridos en la Región de Tarapacá. Fuente: Elaboración propia mediante uso del software Google Earth.

De la imagen anterior se puede observar que tres de los grandes terremotos ocurridos tuvieron su epicentro cercano a la zona de estudio. Estos corresponden a los sismos del 14 de marzo de 1943, 25 de abril de 1949 y 13 de junio del 2005.

### 2.3.1.3 Terremoto de Chusmiza 2001, $M_w=7.8$ :

Fue un sismo Intraplaca continental ocurrido el 24 de julio de 2001, hora local 01:00:02, a tan solo 16.6 km al norponiente de Chusmiza, donde la intensidad fue VII en la escala Mercalli. Su magnitud fue de  $M_w=6.3$  y la profundidad focal fue de 12 km según Campos et al. (2005), y de 3 km según (Boroscheck et. Al, 2001)

Producto del sismo hubo una mujer fallecida y tres personas con lesiones leves (una en Alto Chusmiza).

En Chile no han sido muy estudiados los eventos superficiales, debido a la baja frecuencia de ocurrencia de sismos corticales de magnitud importante y a la falta de registros de terremotos históricos chilenos por lo reciente de la red sismológica y a posibilidad de que algunos sismos corticales ocurridos en zonas despobladas hayan pasado desapercibidos por su rápida atenuación (Campos et al., 2005). Este tipo de sismo es muy grave, ya que, pese a que son de baja magnitud, son de muy baja profundidad, por lo que pueden generar importantes aceleraciones y daños a nivel local.

En un estudio realizado por Campos et al. (2005) compara tres eventos sismos corticales chilenos (Las Melosas 1958, Chusmiza 2001 y Curicó 2004) con otros dos extranjeros (Northridge 1994 en EEUU y Kobe 1995 en Japón). En el estudio “Se observa que las aceleraciones máximas chilenas son mayores que las propuestas para terremotos superficiales de California EEUU y que los acelerogramas de los terremotos superficiales chilenos poseen un contenido de altas frecuencias mayor que los de Kobe y Northridge” (Campos et al., 2005). La mayor frecuencia de los registros chilenos podría significar un menor daño esperado que en los de Kobe y Northridge. Por otro lado, la alta frecuencia de los sismos corticales “sirve para explicar la alta destrucción observada en estructuras de adobe, que por su rigidez presentan un comportamiento inadecuado para los terremotos chilenos que en general son de frecuencias altas” (Campos et al., 2005).

Durante la historia sísmica mundial, los terremotos superficiales “han significado el mayor costo económico para diferentes países, independiente del avance tecnológico que presenten” (Campos et al., 2005). Ejemplos de estos terremotos son:

- Northridge, EEUU, 17 de enero de 1994,  $M_L=6.7$ : Más de 70 muertos. Colapsaron estructuras construidas según la normativa vigente.
- Kobe, Japón, 17 de enero de 1995,  $M_w=6.9$ : Más de 6000 personas perdieron la vida. Destacan los grandes daños en la infraestructura de transporte.
- Italia, 24 de agosto de 2016,  $M_w=6.2$ : Tuvo como consecuencia más de 270 fallecidos, graves daños en viviendas e infraestructura, y que la localidad de Amatrice haya quedado sepultada bajo lo escombros (El País, 2017).

Es por esto por lo que urge tener más conocimiento sobre los sismos corticales en Chile. Sin embargo, lograrlo tiene una dificultad técnica/económica, pues para un mejor registro se requiere una red más densa de acelerógrafos debido al bajo alcance de este tipo de sismos.

#### 2.3.1.4 Terremoto del 2005, $M_w=7.8$ :

A las 18.44 horas del lunes 13 de junio de 2005 se produjo un sismo en Tarapacá. Dentro de las características de este evento, se puede mencionar que correspondió a un plano de falla horizontal, con profundidad focal intermedia (115 km de profundidad) y magnitud  $M_w$  7.7 y epicentro en la comuna de Huara, localidad de Chiapa. La distribución de réplicas corresponde a una zona de aproximadamente 60 [km] de largo y 30 [km] de ancho. (Oficina Nacional de Emergencia [ONEMI], 2009).

Según el informe de la ONEMI (2005), alcanzó una intensidad máxima de VIII a IX grados Mercalli, la que ocurrió en los pueblos de Camiña, Huara y Pozo Almonte.

En cuanto a los impactos personales, hubo 12 fallecidos, 843 albergados y 12910 damnificados por derrumbes de techos y muros de casas, y deslizamientos de tierra y rocas en la ladera del cerro. Y en cuanto a los impactos en viviendas, 947 fueron destruidas y 14229 dañadas, de ellas la mayoría correspondía al tipo constructivo de adobe, predominante en los sectores rurales del norte del país. La red vial presentó variados cortes producto de rodados y derrumbes de laderas, los que, en el caso de caminos interiores de localidades rurales, dejaron sectores aislados. Entre las localidades de las iglesias, Laonzana y Huaviña resultaron aisladas (ONEMI, 2009).

Camiña, Huara y Pozo Almonte se encuentran más alejados del epicentro que la zona donde se encuentran las iglesias, por lo que podría decirse que la intensidad percibida en las iglesias fue igual o mayor.

La distancia desde el epicentro hasta las cinco iglesias fue entre 15 y 25 km.

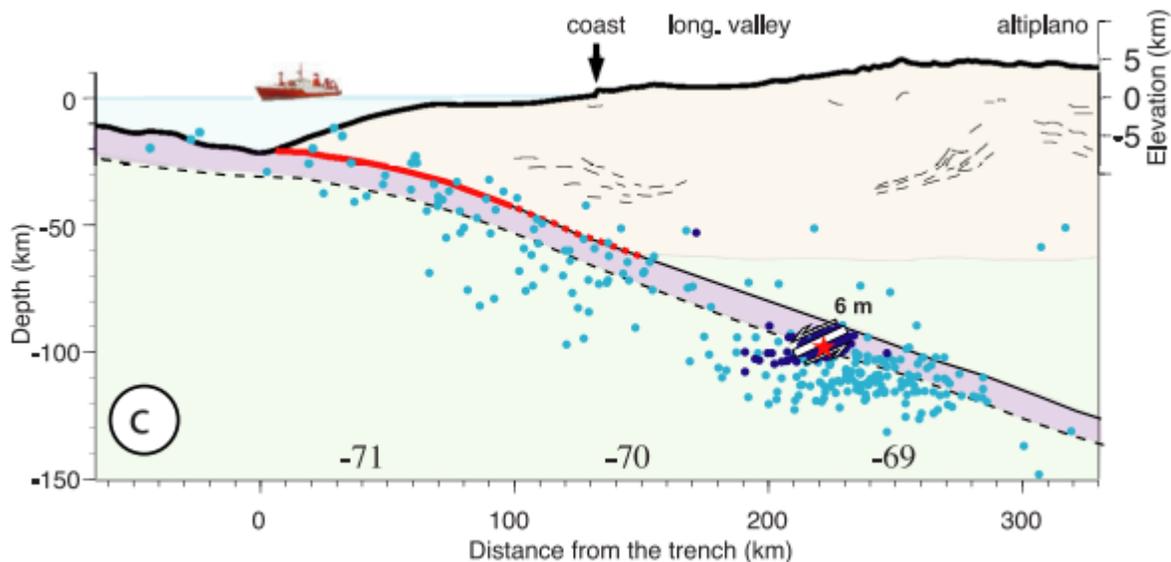


Figura 2.12: (c) Interpretación de los parámetros de fallas sismológicas y geodésicas en una sección transversal Oeste-Este (20 S).

*Nota.* Los círculos azul claro son sismicidad de fondo ( $M > 4.5$ ) Los círculos azul oscuro son las réplicas. Fuente: Peyrat et al., (2006).

### 2.3.1.5 Terremoto del 2014, Mw=8.2:

Ocurrió el martes 1 de abril de 2014, a las 20:46 (hora local). Su epicentro se localizó a 83 kilómetros al noreste de Iquique, y su profundidad hipocentral fue 38.9 km. La falla fue de tipo inversa interplaca, entre las placas Nazca y Sudamericana. Se produjeron importantes réplicas a partir de este terremoto.

Como se ve en la Tabla 2.5, la iglesia de Laonzana fue la más cercana al epicentro y fue donde se percibió con mayor intensidad el sismo, y lo opuesto ocurre con la iglesia de Chusmiza. En las cuatro iglesias más cercanas hubo una intensidad fuerte y en Chusmiza hubo una intensidad moderada.

Aceleración máxima registrada: 0.7345 g

Tabla 2.5: Distancia al epicentro e Intensidad del terremoto del 2014 en las iglesias

<b>Iglesias</b>	<b>Distancia al epicentro [km]</b>	<b>Intensidad MMI</b>
<b>Laonzana</b>	166.7	6.6
<b>Huaviña</b>	178.4	6.0
<b>Sibaya</b>	183.3	6.2
<b>Usmagama</b>	178.0	6.0
<b>Chusmiza</b>	181.3	5.8

*Nota.* Las distancias fueron medidas a partir de la información de la Tabla 2.4. La intensidad fue obtenida de (USGS Earthquake Hazards Program, s.f.).

### 2.3.1.6 Normativa Chilena

Por otro lado, la Norma Chilena N° 433, Of. 96, establece los siguientes valores en cuanto a la aceleración efectiva según zona sísmica y al factor de amplificación según tipo de suelo.

Tabla 2.6: Valor de la aceleración efectiva  $A_0$ . Fuente: NCh 433 of. 96.

Zona sísmica	Aceleración máxima efectiva ( $A_0$ )
1	0.20 g
2	0.30 g
3	0.40 g

Tabla 2.7: Factor de amplificación (S) según tipo de suelo. Fuente: NCh 433 of. 96.

Tipo de suelo	Factor de amplificación (S)
I Roca	0.90
II Grava, arena densa, suelo cohesivo duro	1.00
III Grava, arena, suelo cohesivo	1.20
IV Suelo cohesivo saturado	1.30

## 2.4 Arquitectura de las iglesias patrimoniales del Norte Grande

### 2.4.1.1 Características

Las iglesias patrimoniales están construidas principalmente a partir de adobe. Una estructura de adobe es una “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 colocar según un determinado aparejo, y deben estar unidos mediante un mortero de barro” (Instituto Nacional de Normalización Chile, 2013).

Según Jorquera (2014), en la zona de la Quebrada de Tarapacá se desarrolla la Cultura Constructiva en Tierra (C.C.T) Andina. En su trabajo afirma: “esta cultura constructiva que forma parte del rico patrimonio andino que comparten Perú, Bolivia, Argentina y Chile, se basa en la utilización de los únicos dos materiales abundantes: la tierra y la piedra”, dando origen a una arquitectura “construida en adobe, mampostería de piedra asentada en barro o en seco, además de conglomerados mixtos piedra-tierra”. También señala que:

Técnica y cultura se entrelazan en cada decisión, donde las dimensiones pequeñas de los espacios se explican tanto por la escasez de elementos vegetales utilizados en estructuras de techumbre, como por la predilección del hombre andino por los espacios abiertos. Lo mismo sucede con la adopción de volumetrías ligeramente piramidales, que recrean la figura de las altas montañas representantes de la Pachamama y a la vez constituyen una importante estrategia sismorresistente, la cual a veces es reforzada por el uso de contrafuertes. (Jorquera, 2014, p.32).

En la Figura 2.13 se encuentran tres tipologías arquitectónicas de la CTT Andina presentes en Chile: iglesias andinas, vivienda del altiplano y vivienda de la “precordillera”.



Figura 2.13: Ubicación y tipologías arquitectónicas de la Cultura Constructiva en Tierra Andina.

Fuente: Jorquera, 2014, p.31.

Finalmente, Jorquera (2004) señala que “la vulnerabilidad sísmica de esta cultura constructiva radica en: débiles conexiones entre los distintos componentes constructivos, estructuras de techumbre de “par y nudillo” que generan empujes sobre los muros y, en general, mala calidad de los morteros de tierra empleados.”

#### 2.4.1.2 Tipología Iglesia Andina

Estas iglesias suelen conformarse por una nave central única, volúmenes laterales bajos como capillas y sacristías, un torreón con un campanario (adosado o exento), contrafuertes, un atrio y un muro perimetral con un arco ceremonial.

No es necesario que las iglesias posean todas estas partes para formar parte de esta tipología. Por esto, la capilla de Chusmiza podría considerarse parte de esta tipología pese a no tener cuerpos adosados.

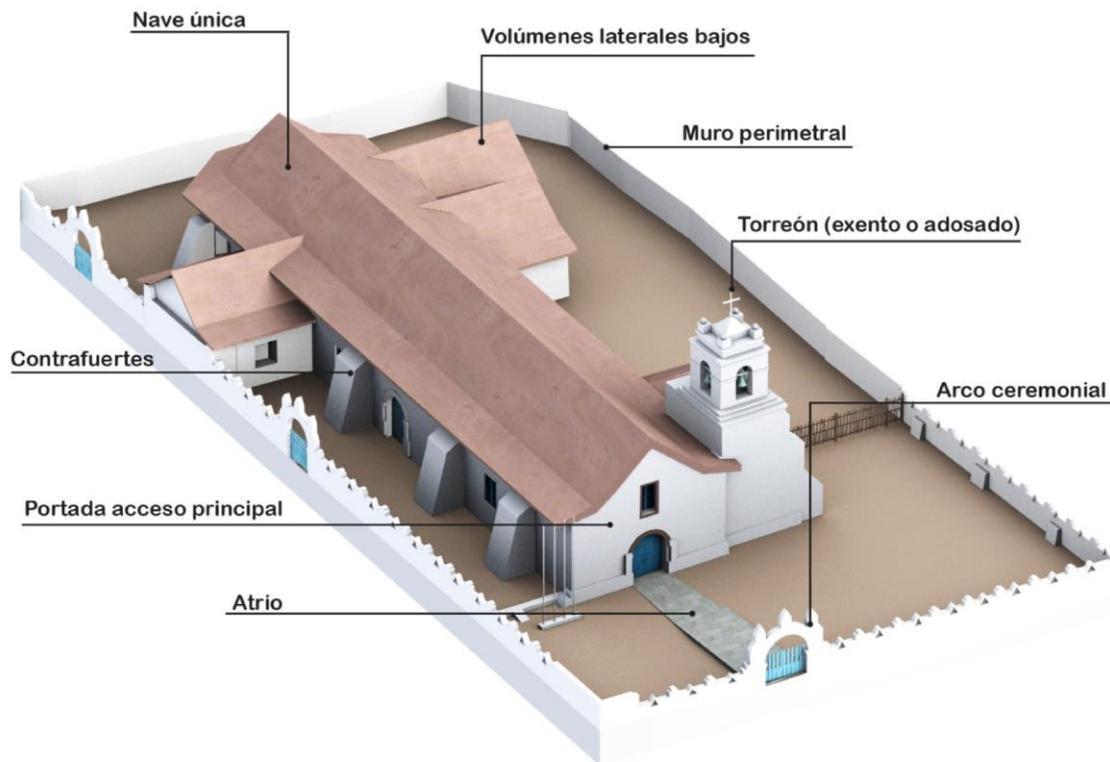


Figura 2.14: Esquema de la tipología de iglesias del norte andino chileno.

*Nota.* Fuente: Rodrigo Cáceres, Proyecto de Restauración del Monumento Histórico Iglesia de San Pedro de Atacama, Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, 2010.

### 2.4.1.3 Métodos constructivos de la Techumbre:

El método constructivo de techumbres con mayor presencia en las iglesias de la CTT Andina es el par y nudillo. Esta genera empujes sobre los muros laterales, pero no tan intensos como las bóvedas. Las bóvedas están contempladas en la metodología italiana de evaluación del riesgo sísmico, por esto se describirá brevemente ambos métodos constructivos.

**Par y nudillo:** Es un sistema a dos aguas formado por pares paralelos a la fachada que se apoyan en tres puntos:

- En el extremo inferior sobre la solera: viga que va apoyada sobre los muros laterales.
- En el extremo superior en la cumbrera: viga perpendicular a la fachada situada en la parte más alta de la techumbre. De no haber cumbrera, los pares van apoyados entre sí.
- En el nudillo: viga horizontal paralela a la fachada que une los dos pares. Se ubica en el tercio más cercano a la cumbrera y ayuda a los pares a disminuir su flecha. También ayuda a una mejor distribución de las cargas cuando las aguas no reciben la misma carga, pues traspasa parte de la carga de un par al otro.

Este sistema suele reposar sobre otro sistema atirantado, mediante el cual se anulan los esfuerzos horizontales sobre los muros. La solera se inserta sobre una viga paralela que funciona a tracción, contrarrestando los empujes laterales. De no estar presente esta viga, sí se producirían empujes horizontales sobre los muros laterales.

**Bóvedas:** Este método no se observa en las iglesias patrimoniales de la Quebrada de Tarapacá, pero sí en muchas iglesias de Italia, país al cual pertenece el método LV1. Por esto se explicará en qué consiste para entender sus diferencias con el sistema de par y nudillo.

Consiste en realizar una cubierta de mampostería de manera curva, por lo que se consigue que cada pieza de mampostería esté apoyada en la siguiente que se encuentre más abajo, de la misma forma que un arco. Transforma las cargas verticales en cargas inclinadas, por lo que se genera un empuje horizontal importante en los muros.

## Capítulo 3

# Características de las iglesias patrimoniales en adobe estudiadas

En un estudio posterior al sismo del 13 de junio de 2005, Moroni (2005) entregó los siguientes antecedentes generales sobre las iglesias de la Quebrada de Tarapacá:

- Pueblos deshabitados, (un tercio de la población es permanente)
- Construcciones antiguas (SXVII-SXVIII), en mal estado con refuerzos varios. Salvo algunas torres de bloques de hormigón ninguna de las soluciones de refuerzo funcionó.
- Materiales varían de acuerdo al lugar geográfico: al interior predominan muros de adobe o albañilería de piedra sin reforzar mientras que en los pueblos cercanos a la ruta 5, los muros son de tabiquería de madera con diferentes rellenos.
- En la mayoría de las iglesias se ha reemplazado el techo original de barro por planchas de zinc. (Moroni, 2005).

En este capítulo se presentará la información recopilada sobre las cinco iglesias de la Quebrada de Tarapacá a analizar, caracterizándolas a partir de su sistema constructivo, estado de conservación, entorno físico, contexto social, hitos históricos y las intervenciones y daños sufridos a lo largo de su historia.

Las iglesias presentadas a continuación corresponden a las ubicadas en las localidades de Laonzana, Huaviña, Sibaya, Usmagama y Chusmiza.

## 3.1 Iglesia de Laonzana

Iglesia que originalmente poseía muros de adobe y contrafuertes de mampostería de piedra. Conformada por una nave central, transepto, un cuerpo anexo, ábside y una torre campanario adosada a la fachada. Su techumbre es a dos aguas y de madera con cubierta de zinc.

### A) Descripción y Ubicación

Esta iglesia fue declarada Monumento Nacional a través del decreto DS N°0013, 27 de enero de 2009. Según este decreto:

Su conformación es de cruz latina. Cuenta con una nave central rematada en el presbiterio donde se ubica el Altar Mayor. A sus costados aparecen dos elementos laterales, capilla y sacristía. En el acceso, al lado oriente, se ubica la torre campanario conformada sobre uno de los cuatro contrafuertes en esquina con que cuenta la capilla.

Constituye un importante referente en el uso y aplicación de contrafuertes de piedra como refuerzo estructural para sus muros de adobe. La cubierta corresponde a una estructura de madera aserrada a dos aguas con cubierta de planchas de zinc onduladas. El pavimento es de mortero de cemento al líquido. La torre es de base de piedra y barro con revoque de barro blanqueado, con cuerpo superior en estructura de madera y plancha de zinc ondulado.

Esta capilla constituye un espacio ceremonial tradicional para la localidad de Laonzana, en complemento con su plaza lateral, el kiosco, y los circuitos procesionales que integran los cerros aledaños.

Su fachada del llamado estilo barroco-andino cuenta con columnas salomónicas y decoración floral del vano de la puerta, elementos que aparecen en otras iglesias de la zona.

El predio donde se ubica la iglesia cuenta con un muro perimetral en piedra que aún se conserva. Fuera de este espacio delimitado se ubica la plaza de acceso y el kiosco. (DS N°0013, 2009, pp. 2-3).

#### A.1) Imágenes



Figura 3.1: Iglesia de Laonzana antes del sismo del 2005. Fuente: CMN, (s.f.-c).



Figura 3.2: Iglesia de Laonzana después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.



Figura 3.3: Iglesia de Laonzana reconstruida, año 2017. En las últimas dos imágenes se aprecia la estructura de perfiles de acero que encierran a los restos de muro. Fuente: PRS, 2017.

## A.2) Ubicación

Su ubicación geográfica es Laonzana, Ruta A-545, Huara, Región de Tarapacá. Sus coordenadas geográficas son 19°51'28"S 69°20'46"O (PRS, 2017) y se encuentra a 1826<sup>5</sup> msnm (Google Earth, s.f.).



Figura 3.4: Ubicación de la iglesia de Laonzana (Google Earth. s.f.).



Figura 3.5: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Laonzana (Google Earth. s.f.).

<sup>5</sup> Según el informe de PSR (2017), la altura es de 1355 msnm.

A.3) Tipo de suelo: Originado por deslizamientos en masa de arena y limo (PPI1r).

A.4) Topografía

La iglesia se ubica en la ladera sur de la Quebrada de Tarapacá, a los pies de un cerro, el que se encuentra a espaldas de la iglesia. En la quebrada hay cultivos. La dirección longitudinal de la nave central es Noroeste-sureste. Por encontrarse entre un cerro y la quebrada, el terreno posee un gran desnivel (PRS, 2017).

## **B) Datos históricos**

B.1 Año aproximado de construcción

La primera capilla de Laonzana, se habría levantado a mediados del siglo XVII, en el marco de la evangelización impartida por misioneros venidos desde el Cuzco. Bajo el alero del templo mayor de Mamiña se construyen las capillas de Huaviña, Limaxiña, Noasa, Coscada, Sibaya, Mocha, Puchurca y Laonzana. Es muy probable que la construcción actual de este espacio religioso se haya realizado durante la ocupación peruana de mediados del siglo XIX, lo que se deduce a partir del análisis de los colores del altar de la capilla, que corresponden a los colores patrios del Perú. (Velasco, 2011).

B.2 Descripción de su condición previa al terremoto del 2005

Antes del terremoto del 2005, la iglesia de Laonzana estaba construida a partir de muros de adobe y contrafuertes de mampostería de piedra asentada en barro junto a los muros laterales y en las esquinas del ábside. Poseía una torre campanario sobre mampostería de piedra al lado izquierdo de la fachada, y un contrafuerte de adobe al lado derecho. Este contrafuerte de adobe no se encontraba trabado a la fachada, lo que se puede observar en las fotografías de la fachada después de ocurrido el sismo del 2005. Dentro de la nave había un coro alto de madera apoyado en la fachada. En el transepto se encontraba una capilla al lado norte, y una sacristía al lado sur. Junto a la sacristía había un cuerpo anexo cuyo uso estaba destinado como bodega. Su techumbre original había sido cambiada por una de madera con cubierta de zinc.

B.3 Datos de daños en eventos y reparaciones anteriores

No se tiene información sobre intervenciones anteriores al 2005, salvo el cambio de la techumbre original por una de madera aserrada con cubierta de zinc en fecha desconocida.

Producto del terremoto del 2005, se derrumba la torre campanario, el contrafuerte del lado derecho de la fachada y los costados de la fachada, mientras que la parte central de la fachada queda en pie, pero con grietas. También se derrumba la parte superior de los muros laterales de la nave, principalmente el muro oriente, por lo que la techumbre cae en ese lado, pero manteniendo gran parte de su conexión entre las dos aguas. El transepto y el cuerpo anexo sufren un colapso parcial y la capilla tuvo que ser reconstruida. En cuanto al ábside, el muro lateral sur, que forma parte del cuerpo anexo, sufre más daños que los otros dos muros.

Al terremoto del 2005 solo sobreviven el muro posterior, el cual colapsó para el terremoto de Iquique del 2014, y dos muros laterales de adobe a media altura que aún se conservan (PRS, 2017).

La reconstrucción se inició en agosto del 2012 y finalizó en mayo del 2013, con un presupuesto mayor a \$320 millones provenientes del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) y del programa Puesta en Valor del Patrimonio del MOP. “En esta reconstrucción, y debido a la carencia normativa vigente sobre estructuras de tierra, se cambia el sistema sismo-resistente a una de marcos de acero arriostrados longitudinalmente” (PRS, 2017).

El plano de la reconstrucción realizada por el MOP se encuentra en la Figura 3.7, donde se pueden apreciar las diferentes materialidades que posee la iglesia reconstruida. Hay zonas en las que se mantiene la estructura original, como lo son los muros de contención de los costados de la iglesia, el muro posterior y parte de la estructura de mampostería de adobe junto al lado derecho de la fachada. También se mantuvo parte de los muros laterales de la nave y del muro nororiental del ábside, pero fueron rodeados por tabiques de quincha y reforzados con marcos de acero que reemplazaron la función estructural de los muros de adobe. Los muros de los cuerpos anexos y el muro sur del ábside fueron completamente reconstruidos a partir de marcos de acero arriostrados.

El adobe es incompatible con materiales de más rigidez y resistencia como el hormigón armado y elementos de acero muy rígidos, debido a la dificultad de conectar los elementos y traspasar de manera adecuada los esfuerzos. Por esto, entre los muros laterales del ábside, que son de marcos de acero, y el muro posterior de adobe no se puede asegurar una correcta conexión, por lo que los muros laterales pierden su capacidad de evitar el volteo del muro posterior, resultando en el colapso de este muro tras el terremoto del 2014.

### C) Contexto social

Hay misa 1 a 2 veces al mes y por festividades propias del pueblo. Los habitantes permanentes del poblado son aproximadamente 12 personas, principalmente adultos mayores (PRS, 2017).

### D) Estructura en el año 2017

Estructura de techo	Techo a dos aguas.
Características estructurales	Costaneras y marcos de acero.
Tipo de muros	Adobe y Quincha.
Cimientos	Hormigón.
Pega entre unidades de la mampostería:	Tierra.
Piso	Pavimento.
¿Existe solera superior entre muros?	No
Tipo de madera de los tijerales	No aplica.
Tipo de madera de las costaneras o entablados	No aplica.
Materiales de cubierta	Zinc.

### E) Estado al año 2017

En general, los muros y la estructura del techo se encuentran en buenas condiciones. Los principales daños visibles se encuentran en los muros de la nave debido a la incompatibilidad de los materiales de construcción (PRS, 2017).

## F) Planos

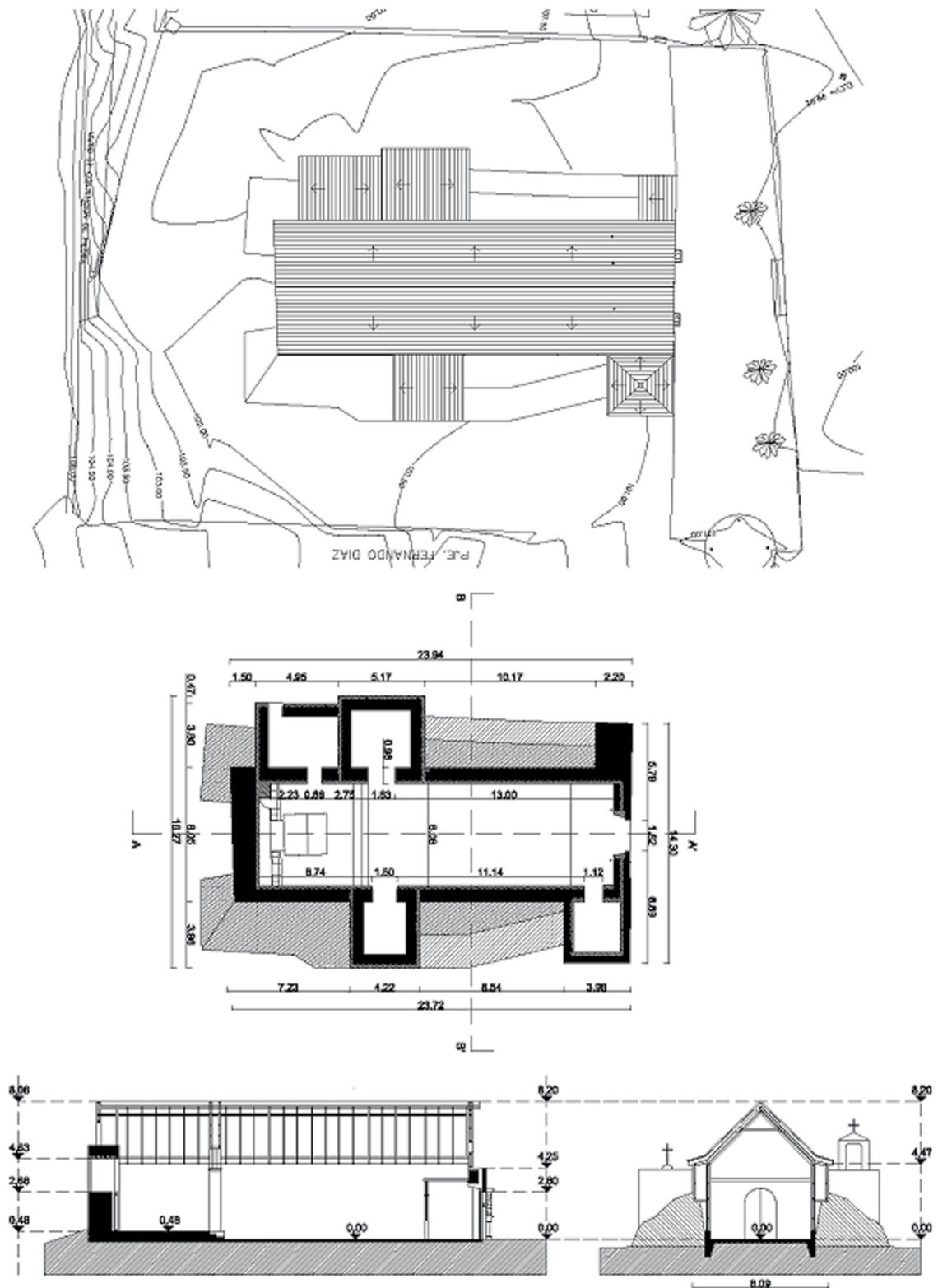


Figura 3.6: Plano de emplazamiento, planta y elevaciones de la iglesia de Laonzana antes del terremoto del 2005. Fuente: Díaz Fuentes, 2016.

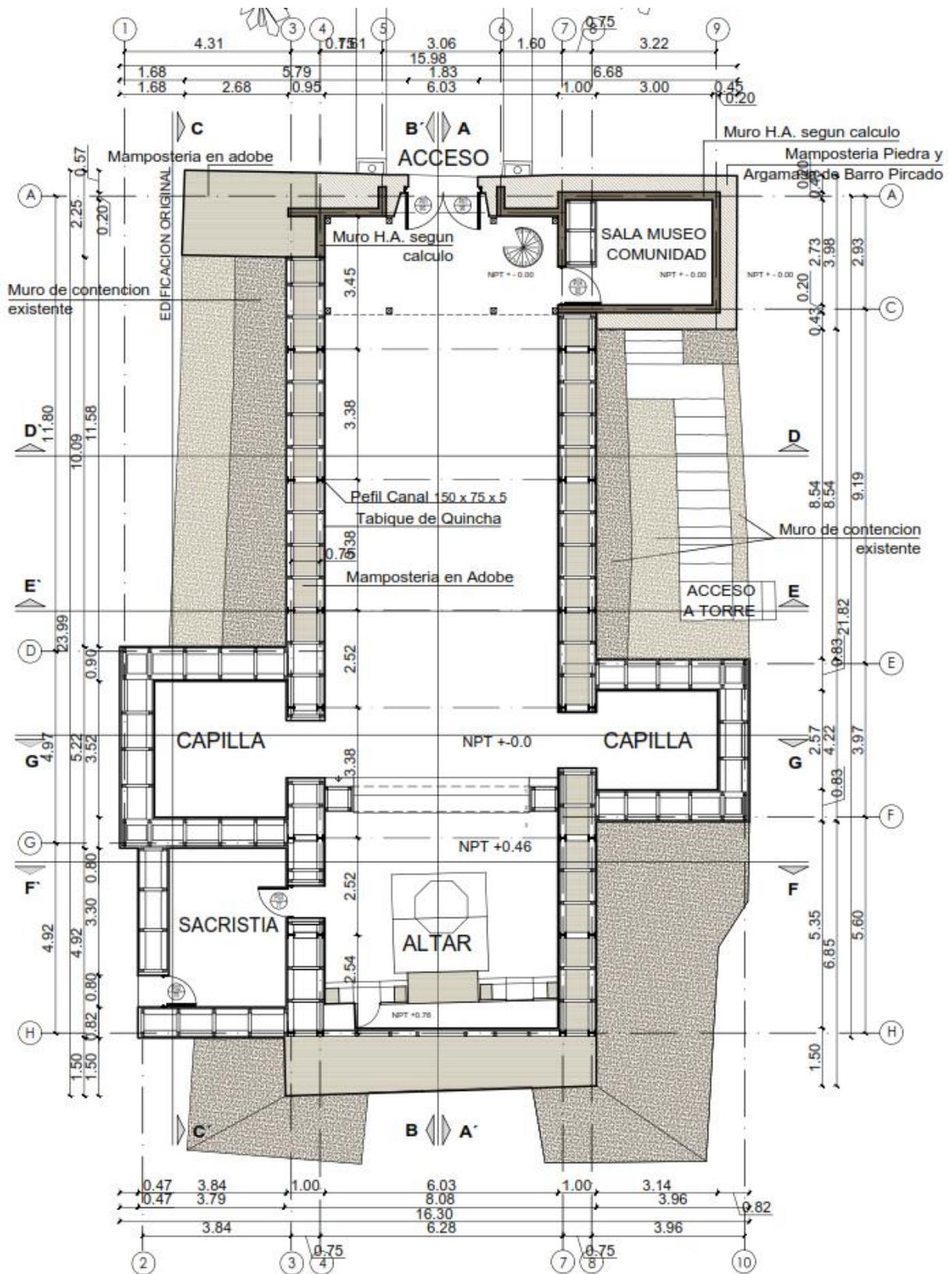


Figura 3.7: Planta de la reconstrucción de la iglesia de Laonzana luego del terremoto del 2005.

No se encontraron planos del estado actual de la iglesia, luego de la reconstrucción del muro posterior.

## 3.2 Iglesia de Huaviña

Iglesia que originalmente poseía muros de adobe y contrafuertes de mampostería de piedra en la fachada. Conformada por una nave central, transepto, un cuerpo anexo, ábside y una torre campanario junto al lado derecho de la fachada. Su techumbre es a dos aguas y de madera con cubierta de zinc.

### A) Descripción y Ubicación

Se presume que la construcción de esta iglesia fue posterior a la conformación del pueblo de Huaviña, ya que no se encuentra en la zona más plana, sino que en las faldas de un cerro.

La iglesia San Juan de Huaviña está conformada por una nave única, dos capillas, una sacristía, un campanario anexo y techumbre a dos aguas. La cubierta original era de paja y barro, pero se cambió el sistema de techumbre por uno con cubierta de zinc en una fecha desconocida. Se observa una fachada de piedra y un retablo de madera con decoración estilo Barroco Andino, motivo por el cual la iglesia fue declarada Monumento Histórico Nacional el lunes 3 de agosto del año 1953 por el Decreto Supremo N°5705.

Sufrió graves daños producto del terremoto del 2005, y al momento de proyectar su reconstrucción se tuvo que utilizar fotografías e historias orales que la comunidad compartió, debido a que no se tenían planos arquitectónicos previos al terremoto.

#### A.1 Imágenes

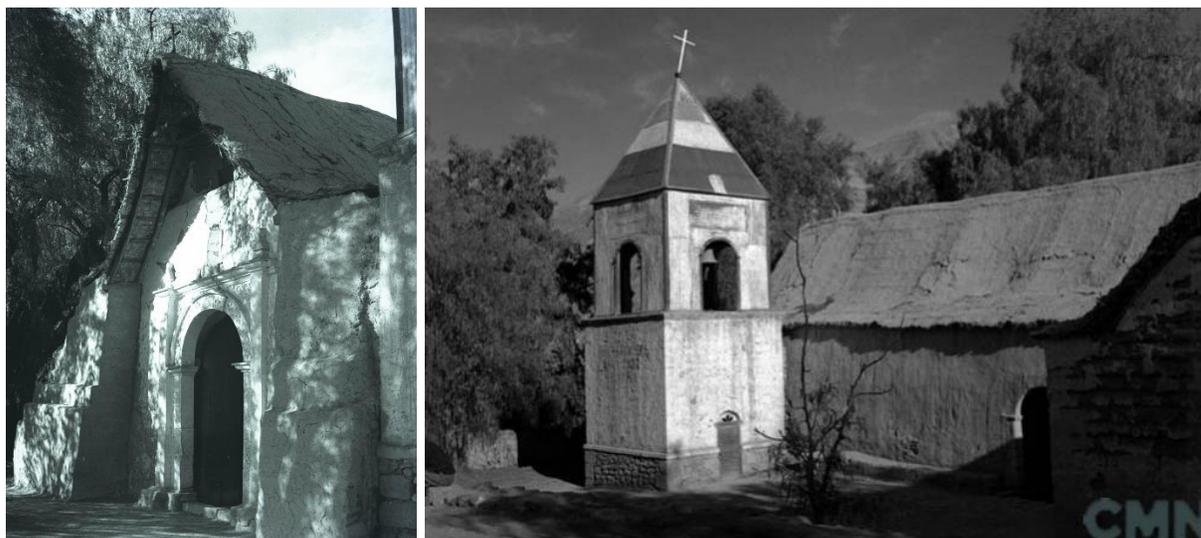


Figura 3.8: Iglesia de Huaviña antes del sismo de 2005. Fuente: CMN, (s.f.-a).



Figura 3.9: Iglesia de Huaviña después del terremoto del 2005<sup>a</sup> (izquierda) y ya reconstruida<sup>b</sup> (derecha). Fuentes: <sup>a</sup>Díaz Fuentes, 2015. <sup>b</sup>PRS, 2017.

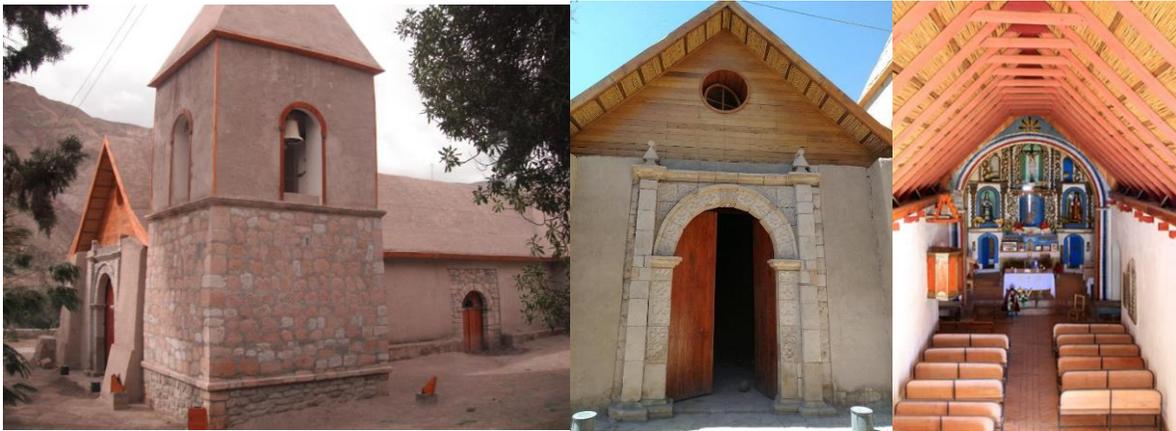


Figura 3.10: Iglesia de Huaviña reconstruida. Fuente: PRS, 2017.

## A.2 Ubicación

Su ubicación geográfica es Huaviña, Ruta A-545, Huará, Región de Tarapacá. Sus coordenadas geográficas son 19°47'40.25"S 69°13'22.24"O y se encuentra a 2390<sup>6</sup> msnm (Google Earth, s.f.).



Figura 3.11: Ubicación de la iglesia de Huaviña: Fuente: Google Earth, s.f.

<sup>6</sup> Según el informe de PSR (2017), la altura es de 2800 msnm.

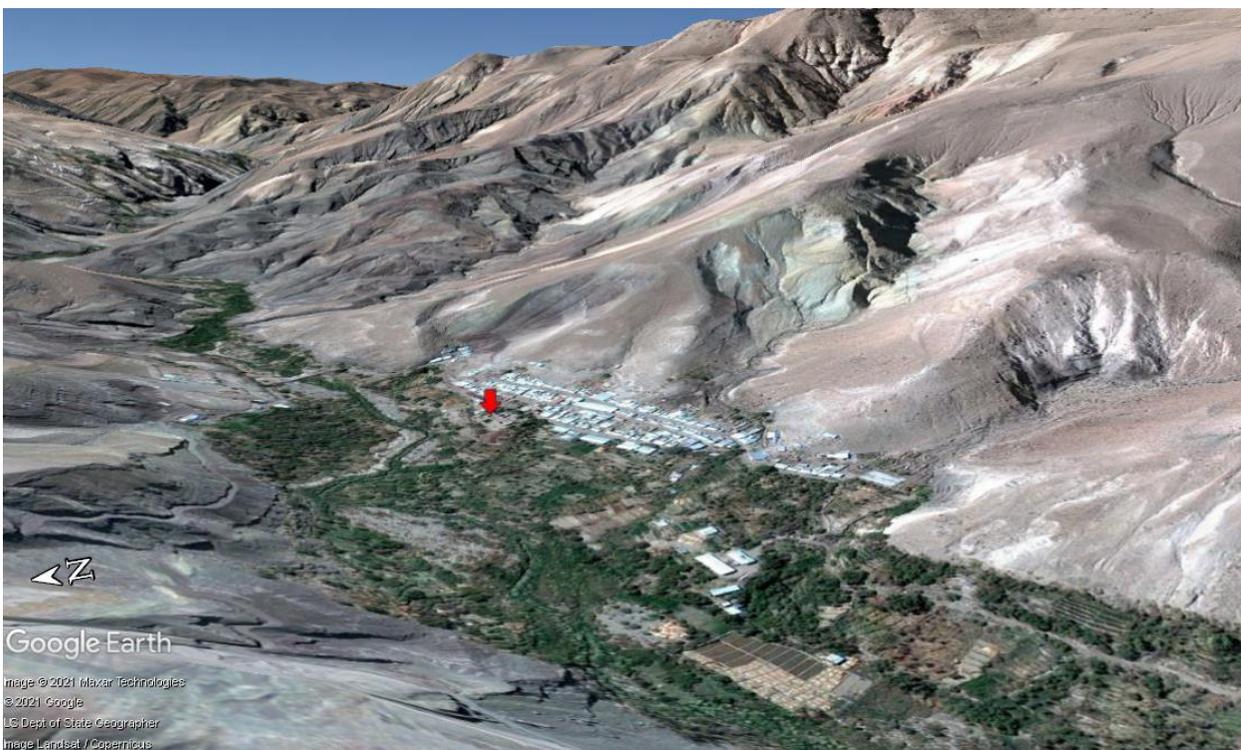


Figura 3.12: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Huaviña. Fuente: Google Earth, s.f.

A.3 Tipo de suelo: Originado por rocas sedimentarias del cretácico superior (Ks1c)

A.4 Topografía

La iglesia se ubica en la ladera sur de la Quebrada de Tarapacá y al lado noroeste del pueblo de Huaviña. Se encuentra a los pies de un cerro. En la ladera del frente hay terrazas con cultivos. La dirección longitudinal de la nave central es Noreste-suroeste. Por encontrarse entre un cerro y la quebrada, el terreno posee un gran desnivel (PRS, 2017).

## **B Datos históricos**

B.1 Año aproximado de construcción

“Por encontrarse emplazada en las faldas de un cerro, se presume que su construcción habría sido posterior a la existencia del pueblo de Huaviña. La edificación data del siglo XVIII” (CMN, s.f.-a).

B.2 Descripción de su condición previa al terremoto del 2005

Antes del terremoto del 2005, la iglesia de Huaviña estaba construida a partir de muros de adobe y contrafuertes de mampostería de piedra asentada en barro en la fachada. Poseía una torre campanario sobre mampostería de piedra junto al lado derecho de la fachada, la que no estaba adosada a la fachada, y un contrafuerte de adobe al lado izquierdo. Dentro de la nave había un coro alto de madera apoyado en la fachada. En el transepto se encontraban dos capillas. Junto a la capilla

norte había un cuerpo anexo cuyo uso estaba destinado como sacristía. Su techumbre original había sido cambiada por una de madera con cubierta de zinc.

### B.3 Datos de daños en eventos y reparaciones anteriores

En una época desconocida, se le quitaron hiladas de bloques de adobe a la parte superior del muro y se reemplazó la parte superior de madera por una nueva.



Figura 3.13: Parte superior de la fachada de la iglesia de Huaviña antes y después del sismo de 2005. Fuentes: CMN y (Díaz, D. 2015).

Se presenta un colapso general debido al terremoto del 2005, donde la capilla debe ser reconstruida. En esta reconstrucción y debido a la falta de normativa vigente sobre estructuras de tierra, se cambia el sistema sismo-resistente a una de marcos de acero arriostrados longitudinalmente. (PRS, 2017).

La reconstrucción se llevó a cabo entre los años 2010 y 2011, con un presupuesto de \$368 millones provenientes de fondos FNDR y del programa Puesta en Valor del Patrimonio del MOP.

## C Contexto social

En el pueblo de Huaviña hay aproximadamente 18 familias que son habitantes permanentes. Además de las festividades religiosas propias del pueblo, en la iglesia usualmente se realiza misa entre 1 a 2 veces al mes (PRS, 2017).

## D Estructura en el año 2017

Estructura de techo	Techo a dos aguas
Características estructurales del techo	Costaneras y marcos de acero
Tipo de muros	Adobe y Quincha
Cimientos	Hormigón
Pega entre unidades de la mampostería:	No aplica
Piso	Pavimento
¿Existe solera superior entre muros?	Pendiente

Tipo de madera de los tijerales	No aplica
Tipo de madera de las costaneras o entablados	No aplica
Materiales de cubierta	Sistema de barro sobre planchas de zinc

## E Estado al año 2017

Se ven daños visibles en los muros de toda la estructura debido a incompatibilidad de material. Se observa un agrietamiento en las esquinas por esta misma causa. Además, se observan barras de acero sobresalientes en muros de adobe, mallas visibles, etc. Los muros se encuentran en condiciones intermedias y la techumbre en buenas condiciones (PRS, 2017).

## F Planos

No hay planos de la iglesia en su estado original. Su reconstrucción luego del terremoto del 2005 tuvo que realizarse a partir de fotografías y testimonios orales de los pobladores. El plano de esta reconstrucción se encuentra a continuación:

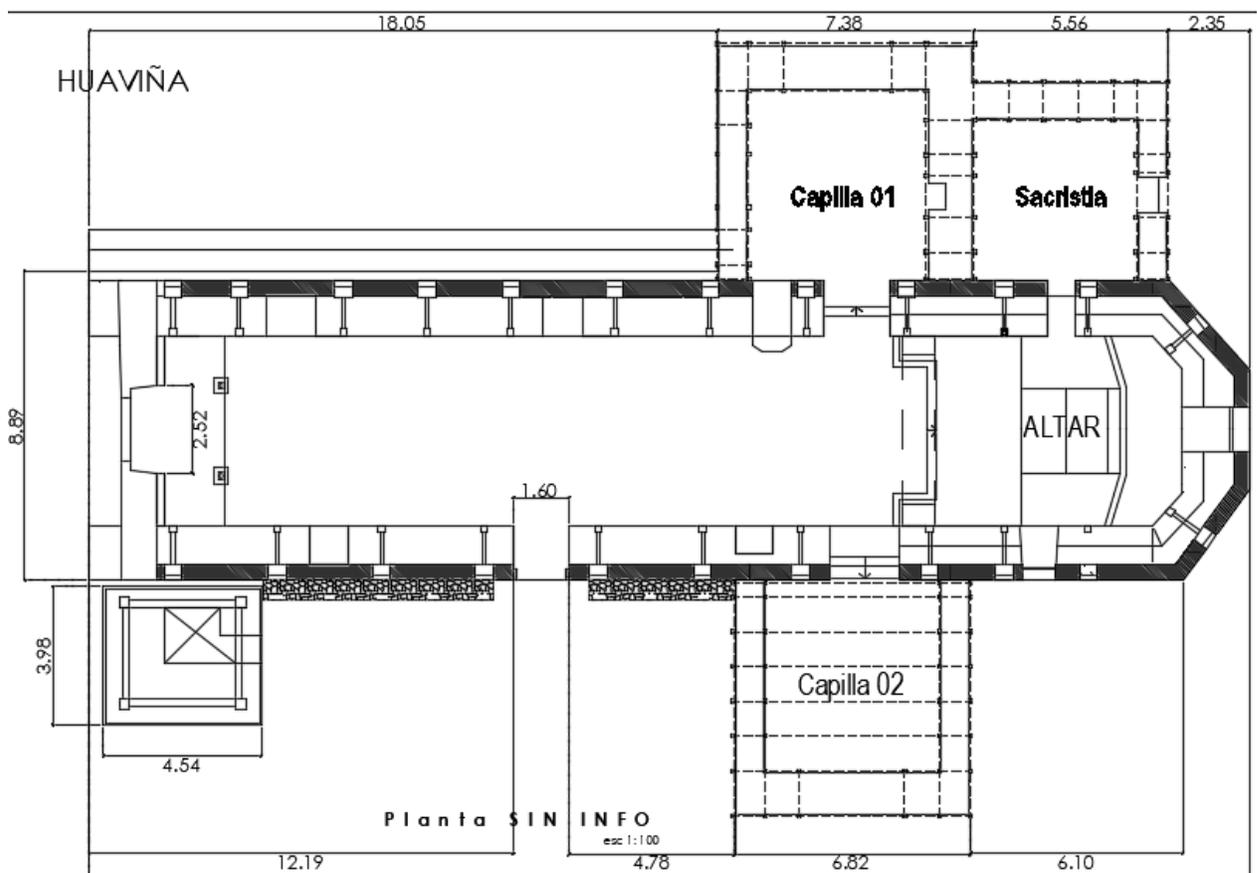


Figura 3.14: Planta de la iglesia de Huaviña. Fuente: MOP.

### 3.3 Iglesia de Sibaya

Iglesia originalmente construida en mampostería de piedra asentada en barro, con adobe en algunos muros. Posee contrafuertes en la fachada. Conformada por una nave central, transepto, un cuerpo anexo, ábside y una torre campanario junto al lado derecho de la fachada. Su techumbre es a dos aguas y de madera con cubierta de zinc.

#### A Descripción y Ubicación

La iglesia de Sibaya fue declarada Monumento Nacional a través del decreto DS N°0013, 27 de enero de 2009. Según este decreto:

Esta Iglesia contó, inicialmente, con la condición de Curato bajo el cual también se encontraban como anexos las Capillas de Mocha, Usmagama, Huaviña y Huasquina y Limaxiña. Posteriormente, y hasta hoy, forma una Doctrina, junto a las de Tarapacá, Camilia y Pica, de mayor importancia territorial.

Se compone de planta en forma de cruz con una nave rectangular central y dos recintos a los costados, correspondientes a la sacristía y a la capilla lateral.

Destaca en su diseño el retablo que encabeza el altar mayor y donde reposan las imágenes patronales de la localidad: San Nicolas Tolentino y la Virgen de la Asunción. Cuenta con tres niveles, decorados con los colores blanco y celeste.

Las campanas de la Iglesia, por años desprovistas de una estructura que las cobijara, poseen inscripciones de 1717 y 1722. Actualmente, se ubican en la torre, elemento que sobrevivió al terremoto de 2005, dispuestas a un costado del acceso a la Iglesia. Su estructura es de albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado, enchape de piedra rosada de Mamiña y lajas provenientes de las cercanías.

Los muros de la Iglesia están contruidos de piedra en bruto asentada en barro con enchape de piedra rosada de Mamiña. (DS N°0013, 2009, p. 3).

#### A.1 Imágenes



Figura 3.15: Iglesia de Sibaya antes del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.



Figura 3.16: Iglesia de Sibaya después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.

Más imágenes de la iglesia de Sibaya antes y después del sismo del 2005 se pueden encontrar en el canal de YouTube de Ernesto Chambe (Ernesto Chambe, n.d.).



Figura 3.17: Iglesia de Sibaya reconstruida, año 2017. Fuente: PRS, 2017.

## A.2 Ubicación

Su ubicación geográfica es Sibaya, Ruta A-525, Huara, Región de Tarapacá. Sus coordenadas geográficas son  $19^{\circ}46'59.2''\text{S}$   $69^{\circ}10'25.0''\text{O}$  y se encuentra a 2680 msnm (PRS, 2017).



Figura 3.18: Ubicación de la iglesia de Sibaya (Google Earth. s.f.).

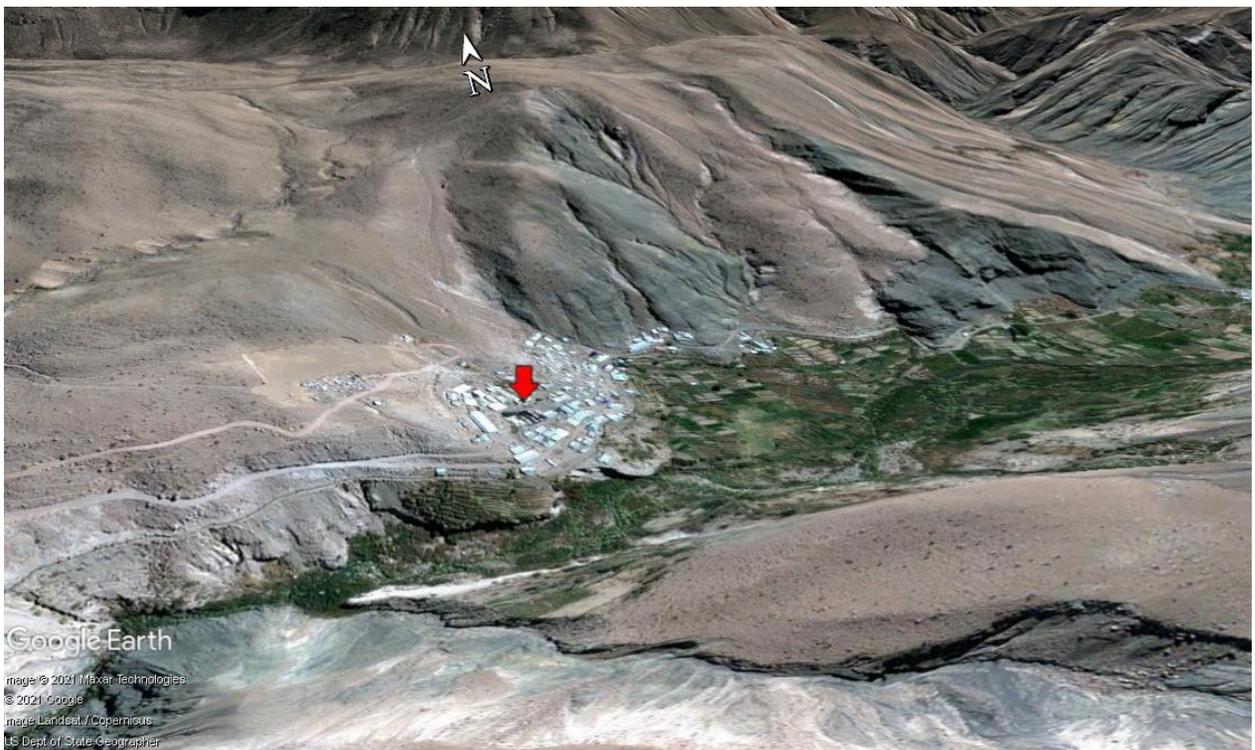


Figura 3.19: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Sibaya (Google Earth. s.f.).

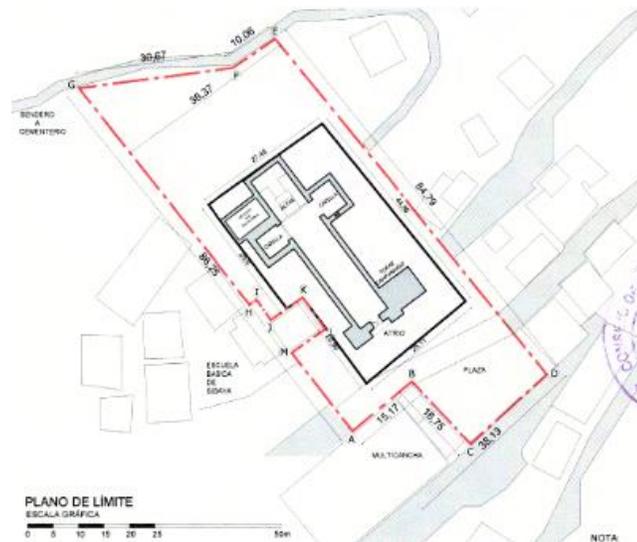


Figura 3.20: Plano del límite de la iglesia de Sibaya. Fuente: CMN.

A.3 Tipo de suelo: Originado por deslizamientos en masa de arena y limo (PP1r)

A.4 Topografía

La iglesia se ubica en la ladera norte de la Quebrada de Tarapacá, en la ladera de un cerro, el que se encuentra a espaldas de la iglesia. En la dirección suroeste se observa la pequeña plaza del pueblo y de fondo la quebrada con cultivos. La dirección longitudinal de la nave central es Noroeste-sureste. Por encontrarse en la ladera del cerro, el terreno posee un gran desnivel. Detrás de la iglesia existe un gran muro de contención (PRS, 2017).

## B Datos históricos

B.1 Año aproximado de construcción

El principal atractivo de Sibaya es su antigua iglesia que data del siglo XVII, testigo histórico del proceso de colonización y evangelización, así como también de la Guerra del Pacífico y el “auge del salitre”. Sus principales festividades son las celebraciones a la Virgen Asunta el 15 de agosto y al patrono del pueblo, San Nicolás, cada 10 de septiembre (PRS, 2017).

B.2 Descripción de su condición previa al terremoto del 2005

Antes del terremoto del 2005, la iglesia de Sibaya estaba construida a partir de muros de mampostería y contrafuertes de mampostería de piedra reforzada con estructuras de hormigón en la fachada. Algunos de los muros estaban hechos de adobe en su parte superior. Poseía una torre campanario albañilería reforzada con pilares de hormigón, que se mantiene hasta la fecha. En el transepto se encontraban dos capillas. Junto a la capilla sur había un cuerpo anexo sin techumbre. La techumbre original de la iglesia había sido cambiada por una de madera con cubierta de zinc.

En general, los muros de mampostería de piedra se encontraban en malas condiciones.

### B.3 Datos de daños en eventos y reparaciones anteriores

Antes del terremoto del 2005 se habían hecho reparaciones a la fachada de la iglesia, que consistieron en añadir elementos de hormigón armado en el arco de la entrada y en los contrafuertes, contrafuertes a los que también se le añadió un enchape de laja. También fue reconstruida la torre campanario.

Se presenta un colapso general debido al terremoto de Chusmiza 2005<sup>7</sup>, donde la capilla debe ser reconstruida completamente. En esta reconstrucción y debido a la carente normativa vigente sobre estructuras de tierra, se cambia el sistema sismo-resistente a una de marcos de acero arriostrados longitudinalmente, en donde la estructura además presenta muros de albañilería de piedra confinada con muros interiores de hormigón armado y también quincha como tabiquería donde existen como elementos resistentes marcos arriostrados. (PRS, 2017).

La reconstrucción se llevó a cabo durante el año 2013, con un presupuesto mayor a \$717.876 millones provenientes de fondos FNDR y del programa Puesta en Valor del Patrimonio del MOP.

### C Contexto social

Poblado permanente asociado	Además de las festividades religiosas propias del pueblo, usualmente se realiza misa entre 1 a 2 veces al mes
Frecuencia de uso	Pueblo de Sibaya
Habitantes permanentes del poblado	Aproximadamente 60 personas

### D Estructura en el año 2017

Los croquis de plantas, fachadas y cortes interiores de la iglesia, así como las dimensiones de sus componentes, se encuentran en los planos de la iglesia.

Estructura de techo	Techo a dos aguas
Características estructurales del techo	Costaneras y marcos de acero
Tipo de muros	Adobe, quincha y mampostería de piedra
Cimientos	Hormigón
Pega entre unidades de la mampostería:	Tierra para adobe, cemento para unidades de piedra
Piso	Pavimento
¿Existe solera superior entre muros?	Sí para los muros de piedra, están confinadas con cadenas de hormigón armado
Tipo de madera de los tijerales	Sin información
Tipo de madera de las costaneras o entablados	Sin información
Materiales de cubierta	Sistema de barro sobre planchas de zinc

<sup>7</sup> Se hace referencia al terremoto de Tarapacá del 2005, pues el terremoto de Chusmiza fue un sismo cortical ocurrido el año 2001.

## E Estado al año 2017

Daños visibles	Principalmente grietas verticales debido a la incompatibilidad de todos los materiales utilizados, anteriormente mencionados
Estado de los muros	Buenas condiciones
Estado de la estructura de techo	Buenas condiciones

## F) Planos

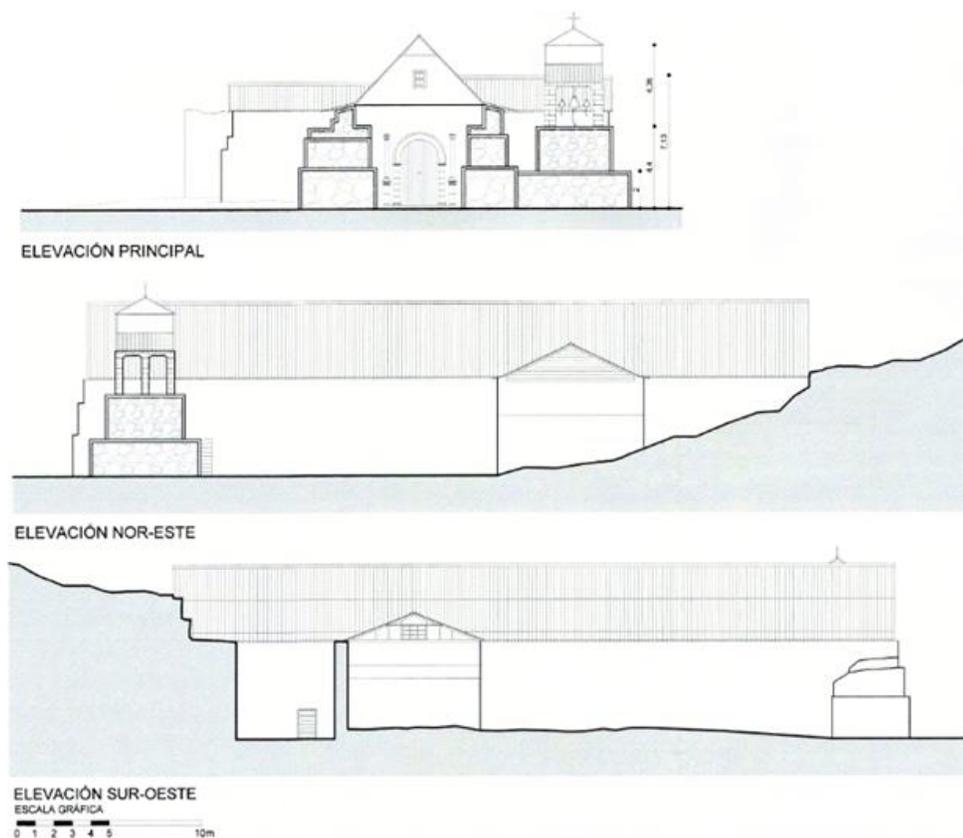


Figura 3.21: Elevaciones de la Iglesia de Sibaya. Fuente: CMN, 2008.

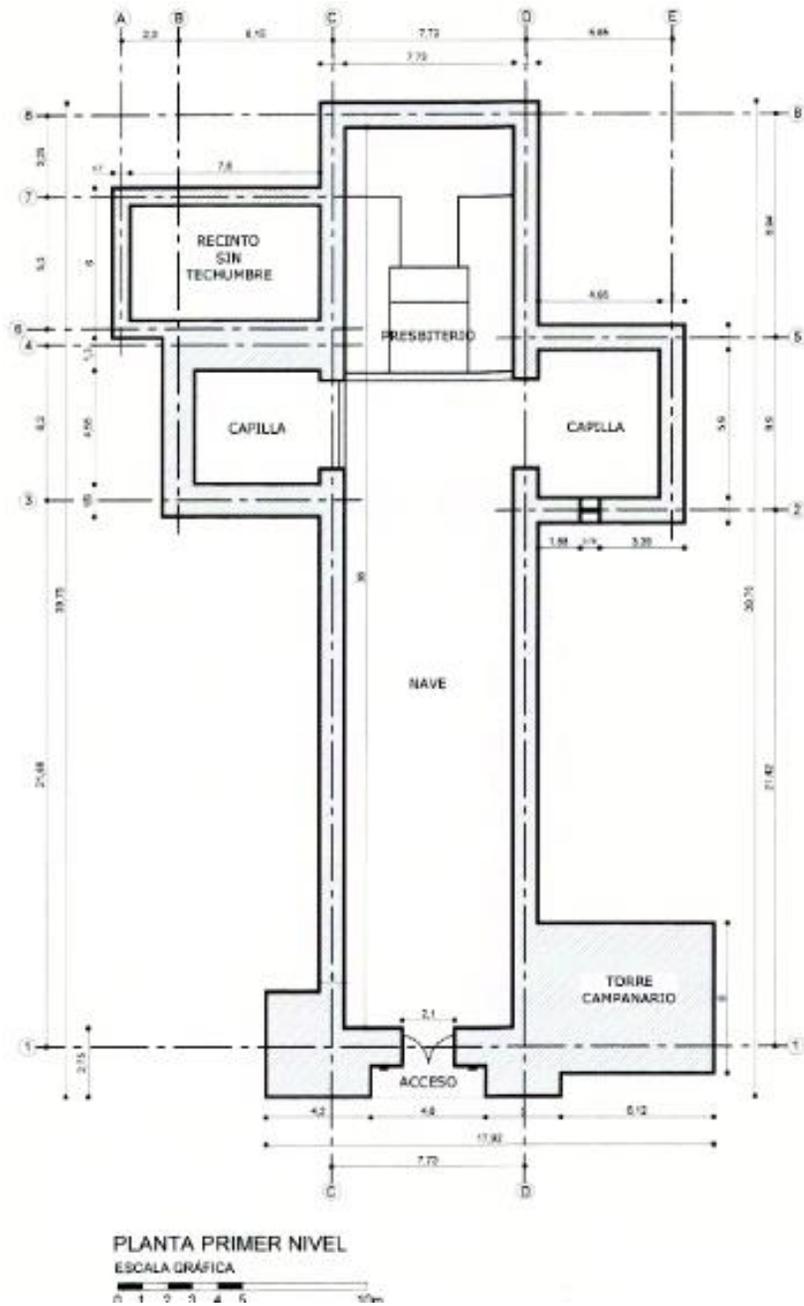


Figura 3.22: Planta de la iglesia de Sibaya. Fuente: CMN, 2008.

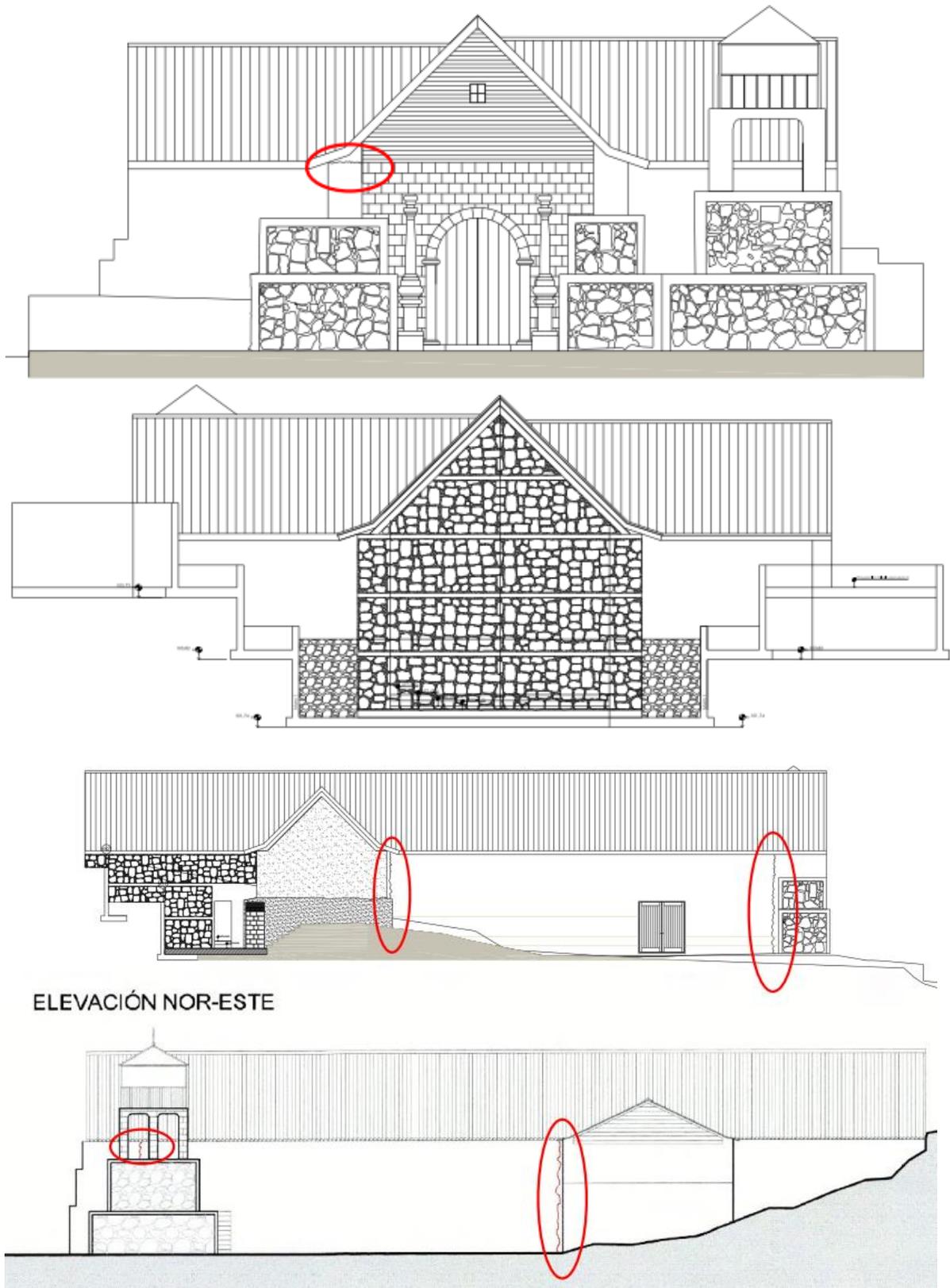


Figura 3.23 Planos de la reconstrucción de la iglesia.  
*Nota.* Marcado en rojo las zonas con daños. Fuente: PSR (2017) a partir de planos del MOP.

## 3.4 Iglesia de Usmagama

Iglesia originalmente construida en mampostería de piedra asentada en barro. Posee contrafuertes a los costados y en la fachada. Conformada por una nave central, un cuerpo anexo a cada lado y ábside. Antiguamente poseía una torre junto al lado derecho de la fachada. Su techumbre es a dos aguas y de madera con cubierta de zinc.

### A) Descripción y Ubicación

Su planta está conformada por una nave central de aproximadamente 23 metros de largo por 9 metros de ancho, con dos recintos laterales, uno de los cuales es utilizado como sacristía mientras que el otro corresponde a una capilla osario sellada por la comunidad, totalizando una superficie construida de 331 metros cuadrados. Esta iglesia no posee torre campanario y su techumbre a dos aguas se estructura en base al tradicional sistema de par y nudillo. Una de las características principales de esta iglesia es su sistema constructivo en base a macizos muros en mampostería de piedra los cuales son reforzados por contrafuertes corridos en ambos costados, entregando una imagen particular a esta iglesia en donde prevalece el trabajo vigoroso de la piedra.

La iglesia presenta elementos de alto valor ornamental como el pórtico de acceso principal, el retablo interior ejecutado en madera policromada, con un abundante trabajo artístico. (SUBDERE, 2012).

#### A.1 Imágenes



Figura 3.24: Iglesia de Usmagama, año 1950. Fuente: Archivo Fotográfico Roberto Montandón.



Figura 3.25: Iglesia de Usmagama antes del sismo del 2005. Fuentes: CMN, (s.f.-b) y (Moroni, 2005).

En cuanto a este último set de fotografías, las dos primeras (del CMN) son más antiguas que el segundo par. En el periodo entre ambos pares de fotografías se realizó una reparación de la iglesia.



Figura 3.26: Iglesia de Usmagama después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.



Figura 3.27: Iglesia de Usmagama reconstruida, año 2017. Fuente: PRS, 2017.

## A.2 Ubicación

Su ubicación geográfica es Usmagama, Ruta A-515, Huara, Región de Tarapacá. Sus coordenadas geográficas son 19°44'32.5"S 69°13'12.3"O y se encuentra a 2750 msnm (PRS, 2017).



Figura 3.28: Ubicación de la iglesia de Usmagama. Fuente: Google Earth. s.f.



Figura 3.29: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Usmagama. Fuente: Google Earth. s.f.

A.3 Tipo de suelo: rocas intrusivas del Cretácico Superior-Terciario-inferior (KTg).

A.4 Topografía

La iglesia se ubica en la ladera sureste de la Quebrada de Ocharaza, en la ladera de un cerro, el que se encuentra a espaldas de la iglesia al igual que la carretera. En la dirección oeste de se observa la plaza del pueblo y de fondo la quebrada con cultivos. La dirección longitudinal de la nave central es Oeste-Este. El pueblo está conformado mediante varias terrazas que se extienden de norte a sur, y las calles predominantes son en esta misma dirección. Por encontrarse en la ladera del cerro, el terreno posee un gran desnivel (PRS, 2017). Detrás de la iglesia existe un muro de contención.

## **B Datos históricos**

B.1 Año aproximado de construcción

La fecha de fundación del poblado es una incógnita, pero se especula una larga data pues está rodeada de terrazas y andenes preincaicos. El templo fue construido en el siglo XVII, y al igual que otras iglesias de la época, presenta un estilo barroco, ricamente alhajado.

Su portada de piedra blanca está flanqueada por columnas talladas en espiral, con bases y capiteles que muestran símbolos sacros y ángeles. En el interior destacan un gran retablo de madera y obras de albañilería (CMN, s.f.-b).

B.2 Descripción de su condición previa al terremoto del 2005

Antes del terremoto del 2005, la iglesia de Usmagama estaba construida a partir de mampostería de piedra asentada en barro, con contrafuertes en la fachada y en los costados. Originalmente no poseía transepto, sino que un cuerpo anexo a cada costado que no se encontraban alineados, que correspondían a una capilla al lado norte y una sacristía al lado sur. Antes del terremoto del 2005 ya no se encontraba en pie la capilla y la iglesia había sido intervenida en la fachada con sus contrafuertes y en el muro lateral norte de la nave. Su techumbre original había sido cambiada por una de madera con cubierta de zinc.

B.3 Datos de daños en eventos y reparaciones anteriores

La data de construcción del templo se remonta al siglo XVII y, en términos históricos, la iglesia de Usmagama ha sido azotada por una serie de desastres naturales (entre terremotos y aludes), que han provocado daños a la estructura como los terremotos del 5 de octubre de 1871 y del 23 de enero de 1878, además del terremoto del 13 de junio de 2005 el cual provocó el colapso total de la edificación. (SUBDERE, 2012).

En las fotografías de la Figura 3.24 y la Figura 3.25 se puede observar que se realizaron varias modificaciones a su estructura antes de colapsar el 2005. Se observa que entre las fotografías de 1950 y las del CMN se modificó la parte superior de la fachada (hay alrededor de 3 hiladas de albañilería menos), se cambió la techumbre y hubo desprendimiento de buena parte de los contrafuertes de la fachada. En las siguientes dos fotografías se observa que la iglesia fue reparada,

los contrafuertes de la fachada fueron reconstruidos, se agregó un revoque a la fachada y se volvió a modificar la parte superior de la fachada. Antes de esta última reparación, el muro lateral sur había colapsado parcialmente, por lo que fue reconstruido, proceso en el cual se añadieron columnas y una solera de hormigón armado. Estos elementos de hormigón armado se pueden apreciar en la primera imagen de la Figura 3.29 y en la Figura 3.30.

Como resultado del terremoto del 2005, colapsaron la fachada, los contrafuertes, los muros laterales de la nave, la techumbre y parte de los muros laterales del ábside.

Durante los años 2010 y 2011 se reconstruye la iglesia luego del su colapso el año 2005. En esta reconstrucción, se cambia el sistema de mortero de adobe a uno de hormigón, en donde además se reconstruyen los muros de piedra y se adhieren a un muro interior de hormigón. La reconstrucción contó con un presupuesto de \$315 millones provenientes de fondos FNDR y del programa Puesta en Valor del Patrimonio del MOP. No se presentan daños para el terremoto de Iquique del 2014. Se encontraron restos de una torre de campanario en piedra que habría sido destruida por un terremoto antes de 2005.



Figura 3.30: Iglesia de Usmagama después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.

### C Contexto social

El pueblo de Usmagama no tiene habitantes permanentes. La iglesia sólo se utiliza para festividades religiosas donde antiguos habitantes concurren a celebrar las fiestas un par de días al año.

### D Estructura en el año 2017

Los croquis de plantas, fachadas y cortes interiores de la iglesia, así como las dimensiones de sus componentes, se encuentran en los planos de la iglesia.

Estructura de techo	Techo a dos aguas
Características estructurales del techo	Sistema de par y nudillo de madera
Tipo de muros	Adobe en la sacristía
Cimientos	Hormigón
Pega entre unidades de la mampostería:	Cemento

Piso	Pavimento
¿Existe solera superior entre muros?	No aplica
Tipo de madera de los tijerales	Sin información
Tipo de madera de las costaneras o entablados	Sin información
Materiales de cubierta	Placa de madera, la cual está cubierta por una geomalla y encima barro y paja

### E Estado al año 2017

Daños visibles	Ninguno
Estado de los muros	Buenas condiciones
Estado de la estructura de techo	Buenas condiciones

### F) Plano

No se poseen planos de la iglesia antes de su colapso el año 2005, por lo que se expondrán planos de la iglesia ya reconstruida.

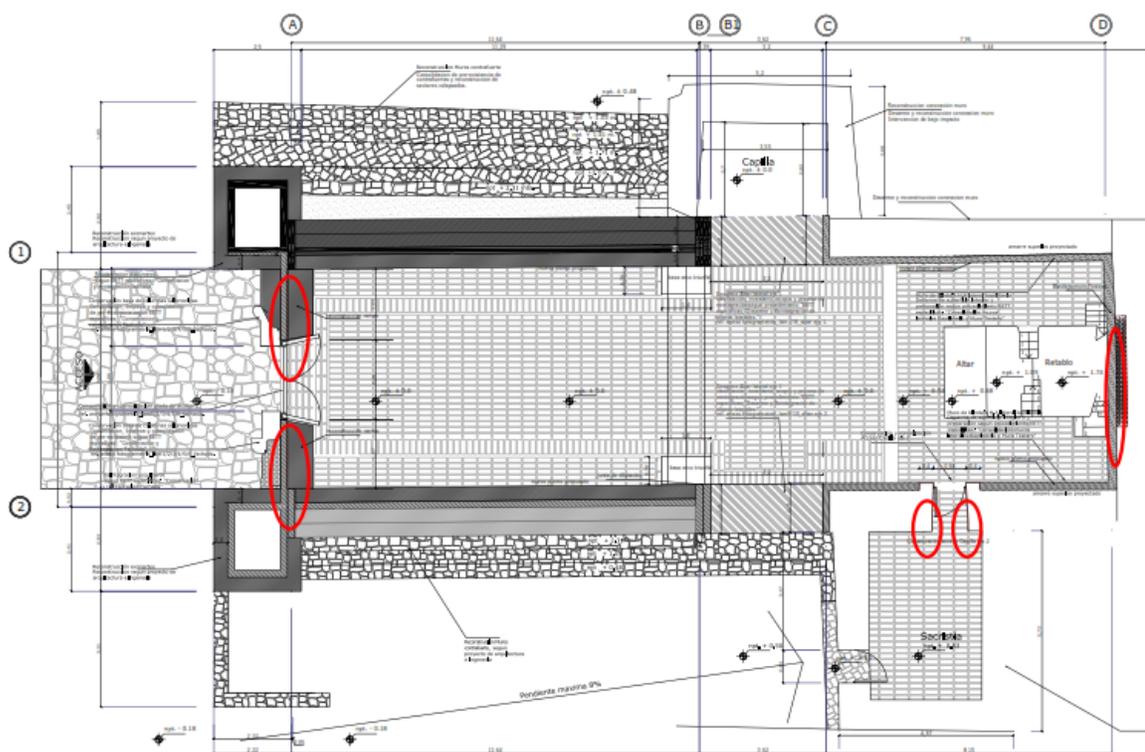


Figura 3.31: Planta reconstrucción iglesia de Usmagama.

*Nota.* Marcado en rojo las zonas con daños. Fuente: PSR (2017) a partir de planos del MOP.

## 3.5 Iglesia de Chusmiza

Iglesia con muros de adobe no reforzado sobre cimientos de mampostería de piedra asentada en barro. Conformada por una sola nave, con techumbre a dos aguas de madera y cubierta de zinc.

La iglesia de Chusmiza se diferencia de las otras cuatro iglesias. Su fecha de construcción es más reciente y sus características arquitectónicas son diferentes al común de las iglesias patrimoniales andinas pues es bastante más simple; no posee cuerpos anexos (capillas, torres o campanarios), es de menor altura y no posee adornos. Esto hace que posea un menor valor patrimonial desde el punto de vista histórico que las versiones originales de las otras cuatro iglesias, por lo cual no está considerada dentro de los registros patrimoniales del Consejo de Monumentos Nacionales. Sin embargo, es la única iglesia que no presentó daños o colapso durante el terremoto del 2005, particularidad que la hace interesante de estudiar detalladamente.

Dado que la gran mayoría de las iglesias de la zona colapsaron durante el terremoto del 2005, la iglesia de Chusmiza se vuelve especial, pues se convierte en un bien cultural inmueble escaso y aumenta su valor patrimonial. Además, el poblado de Chusmiza está actualmente habitado por lo que la iglesia es usada cotidianamente, a fines religiosos, espirituales o sociales, lo que hace de esta construcción una que participa del patrimonio vivo de la localidad. No obstante, su conservación en un contexto de riesgo sísmico elevado genera actualmente diferencias sobre las estrategias a seguir: una primera propuesta busca preservar la iglesia actual y realizar las intervenciones estructurales y de mantención mínimas necesarias para ello; una segunda propuesta busca reemplazar la construcción por una nueva debido a que temen un posible colapso de la estructura. Como la iglesia de Chusmiza es parte del actual trabajo que busca aportar a la reducción del riesgo sísmico y a la preservación de las construcciones patrimoniales en adobe del contexto Andino, se propuso aportar también en el caso de Chusmiza con sugerencias de intervenciones o futuros estudios para aportar a la solución de este problema.

### **A) Descripción y Ubicación**

Esta iglesia es la más simple de las 5 iglesias, ya que sólo está conformada por una nave; sin capillas, campanarios, torres, transepto ni ábside. También fue la única que no sufrió un colapso general a partir del terremoto del 2005, aunque sí sufrió graves daños. Junto al costado sur de la iglesia hay un muro de contención.

En las cercanías del poblado se encuentran diferentes atractivos turísticos, como baños termales, senderos y sitios arqueológicos precolombinos (petroglifos, pucarás, chacras).

Esta iglesia no ha sido declarada Monumento Nacional.

A.1) Imágenes



Figura 3.32: Iglesia de Chusmiza antes del sismo del 2005. Fuente: Flickr (s.f.).

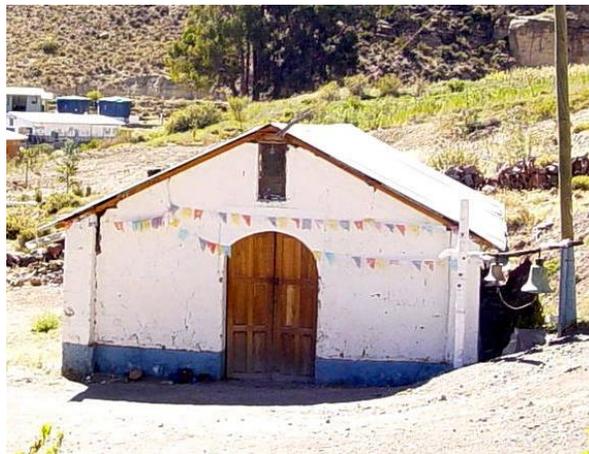


Figura 3.33: Iglesia de Chusmiza después del sismo del 2005. Fuente: Moroni, 2005.



Figura 3.34: Iglesia de Chusmiza, año 2017. Fuente: PRS, 2017.



Figura 3.35: Muro de contención iglesia de Chusmiza, año 2019.

*Nota.* Fuente: Ilustre Municipalidad de Huara (2019).

#### A.2) Ubicación

Su ubicación geográfica es Chusmiza, Ruta A-517, Huara, Región de Tarapacá. Sus coordenadas geográficas son  $19^{\circ}41'05.9''S$   $69^{\circ}11'00.6''O$  y se encuentra a 3200 msnm (PRS, 2017).



Figura 3.36: Ubicación de la iglesia de Chusmiza. Fuente: Google Earth, s.f.



Figura 3.37: Topografía del terreno donde se emplaza la iglesia de Chusmiza. Fuente: Google Earth, s.f.

A.3) Tipo de suelo: Originado por rocas sedimentarias del cretácico superior (Ks1c)

A.4) Topografía

La iglesia se ubica dentro de la Quebrada de Ocharaza, al lado sur del río y a los pies de un cerro. La iglesia se encuentra rodeada de casas del pueblo de Chusmiza, el que a su vez se encuentra rodeado de cerros. La dirección longitudinal de la nave central noreste-suroeste. Por encontrarse en la quebrada, el terreno es llano (PRS, 2017). Al costado sureste se construyó un muro de contención el año 2019.

## **B Datos históricos**

B.1 Año aproximado de construcción: Sin información

B.2 Descripción de su condición previa al terremoto del 2005

La iglesia está construida a partir de muros de adobe con aparejo de sogá, los cuales se asientan sobre cimientos de albañilería de piedra.

B.3 Datos de daños en eventos y reparaciones anteriores

Se presenta un gran daño debido a los terremotos de Chusmiza 2005 e Iquique 2014. Se removió la estructura de techo original en una fecha desconocida.

El año 2019 se construyó un muro aluvial de mampostería de piedra con recursos de la Zona Franca de Iquique (ZOFRI). “La obra se emplaza a un costado de la iglesia de la localidad y nace de un requerimiento de los propios vecinos producto de las complicaciones generadas por las precipitaciones altiplánicas, las que han ocasionado severos trastornos” (ZOFRI, 2019). Esta obra no modifica la estructura de la iglesia, ya que se encuentra a una distancia de aproximadamente 1 metro de los muros orientales de la iglesia.

### C Contexto social

Poblado permanente asociado	Chusmiza.
Frecuencia de uso	Sin información
Habitantes permanentes del poblado	Alrededor de 15 personas.

### D Estructura en el año 2017

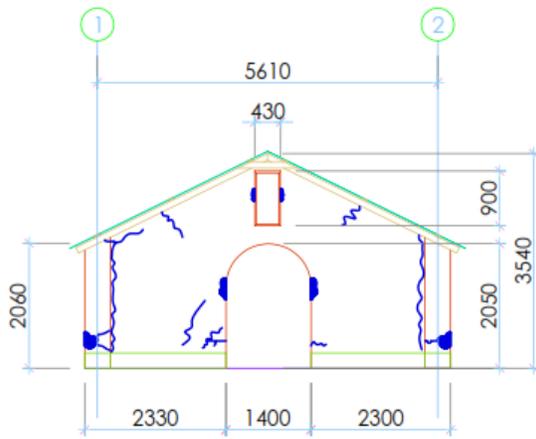
Estructura de techo	Techo a dos aguas.
Características estructurales	Sistema de par y nudillo de madera.
Tipo de muros	Adobe.
Cimientos	Mampostería de piedra.
Pega entre unidades de la mampostería:	Cal
Piso	Pavimento
¿Existe solera superior entre muros?	No
Tipo de madera de los tijerales	Sin información
Tipo de madera de las costaneras o entablados	Sin información
Materiales de cubierta	Zinc

### E Estado al año 2017

Daños visibles	Principalmente en los muros debido a la deficiente conexión entre estos, daño por capacidad última del material, agrietamiento en los vanos.
Estado de los muros	Malas condiciones
Estado de la estructura de techo	Mala condición debido a que no existe una buena conexión entre el sistema de techumbre y los muros.

### F) Planos

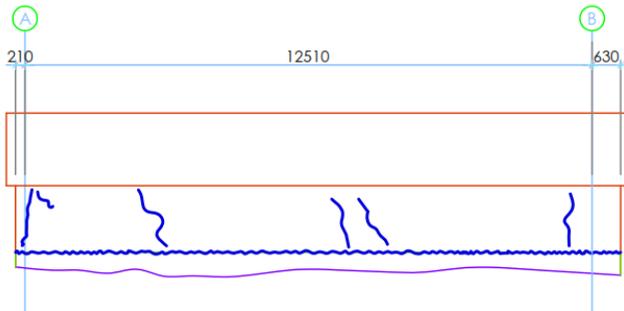
En las siguientes imágenes se muestra un esquema de la iglesia de Chusmiza con los daños observados en la inspección realizada el año 2017 por el equipo interdisciplinario de la Universidad de Chile al que se hace alusión al comienzo de esta sección (2.3 Fichas de las iglesias).



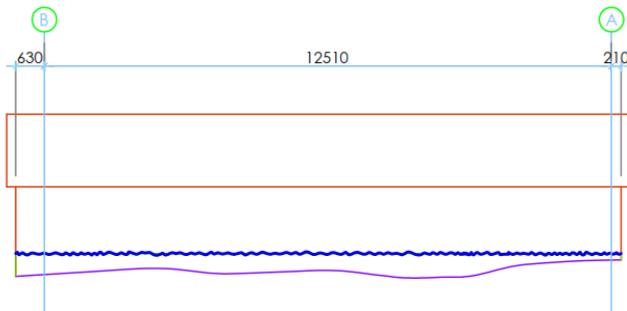
ELEVACION EJE B  
ESC:1:100



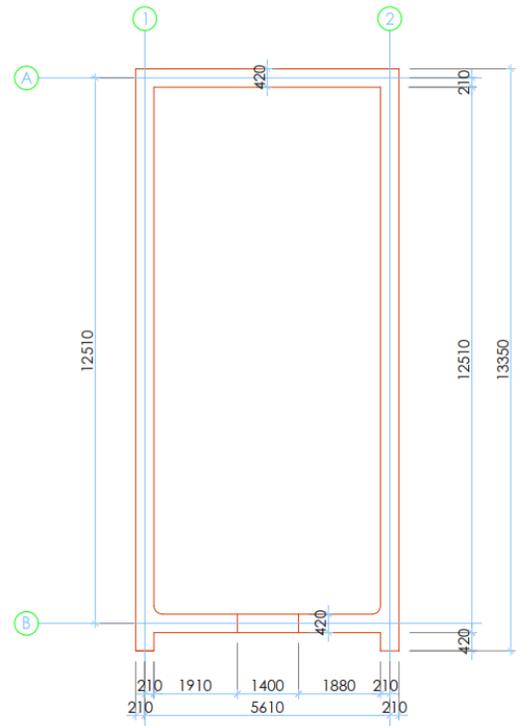
ELEVACION EJE A  
ESC:1:100



ELEVACION EJE 1



ELEVACION EJE 2



PLANTA ESTRUCTURAS

Figura 3.38: Esquema de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PSR, 2017.

En la planta se aprecia que los muros laterales continúan hacia fuera de la fachada. Esta continuación mide 420 mm según el esquema, pero en las fotografías de la fachada se puede observar que esta distancia es menor, de unos 200 mm aproximadamente.

## Capítulo 4

# Estudio de métodos de evaluación del riesgo sísmico

En este capítulo se expondrán el método LV0, con sus indicadores de vulnerabilidad, amenaza y riesgo, y el método LV1, con sus indicadores de vulnerabilidad y daño.

El motivo para utilizar el método LV0, es que está adaptado para estructuras de adobe del contexto andino latinoamericano, al cual pertenecen las iglesias patrimoniales de la Quebrada de Tarapacá, y que fue creado para ser utilizado a escala territorial. Otro motivo es que es una herramienta simple, por lo que podría ser utilizada ampliamente en el contexto andino.

La desventaja de utilizar este método es que es bastante nuevo, por lo que al no haber sido aplicado a una gran cantidad de inmuebles y su robustez no es elevada. Otra desventaja es que no se puede utilizar para obtener el nivel de vulnerabilidad sísmica de un edificio de manera precisa, pues no está diseñada para eso, sino más bien para realizar una evaluación a escala territorial.

El hecho de que el LV0 esté adaptado al material de construcción de las iglesias en estudio y al contexto andino representa una ventaja sobre el método LV1, el cual se enfoca en el contexto italiano y en iglesias de mampostería de piedra principalmente. Otra ventaja sobre el método LV1 es que aborda directamente la amenaza sísmica del edificio, por lo que sumado al nivel de vulnerabilidad sísmica, da una idea sobre el riesgo sísmico del bien patrimonial inmueble.

El motivo para utilizar el método LV1 es que es una herramienta más detallada que el nivel LV0 para determinar la vulnerabilidad sísmica de un bien y es más robusta por su aplicación en miles de iglesias. Otro motivo para utilizarla en el presente trabajo es que, al igual que el LV0, es una herramienta de evaluación a escala territorial.

Las desventajas del uso de este método es que utiliza la normativa italiana (NTC) en su desarrollo, la cual, a su vez, se basa en las amenazas existentes en Italia. Esto quiere decir que este método no está adaptado a las amenazas que se presentan en Chile, pues las características de los sismos en Italia y en Chile son diferentes. El otro factor relevante es la materialidad de las iglesias. En Italia la mayoría de las iglesias son de mampostería de piedra, en cambio las iglesias patrimoniales del norte de Chile están construidas a partir de adobe y mampostería de piedra.

## 4.1 Método LV0 de Díaz Fuentes (2016)

Díaz Fuentes (2016), propuso el nivel de evaluación del riesgo sísmico LV0, un método simplificado para determinar de manera rápida el riesgo de un bien cultural inmueble utilizando tres herramientas, las cuales miden las tres variables que definen el riesgo según la ecuación de la (3) del Capítulo 1; su valor patrimonial, su nivel de vulnerabilidad y su nivel de amenaza.

La primera herramienta arroja como resultado un Índice de Valor cultural, la segunda un Índice de Amenaza sísmica, y la tercera un Índice de Vulnerabilidad.

En esta sección se expondrá brevemente información sobre las herramientas del libro *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno* (Díaz Fuentes, 2016).

### 4.1.1 Herramienta 1: Valor Patrimonial

El objetivo de esta herramienta es, dada una cantidad limitada de recursos, establecer qué bienes se atenderán primero en función de su Valor Patrimonial. El Valor Patrimonial se determina a partir de los valores socioculturales y económicos que posea el bien, y el nivel de integridad, autenticidad, escasez y excepcionalidad de cada valor. Los valores socioculturales corresponden al valor de antigüedad, el valor histórico, el valor simbólico-significativo y el valor estético. Por su parte, los valores económicos incluyen el valor científico y el valor de uso.

Esta herramienta no se utilizará en el presente trabajo para la determinación del riesgo, sino que se considerará el concepto de riesgo señalado en la ecuación  $R = A \cdot V$ . Esto debido a que el Valor Patrimonial se debe evaluar en cada caso de estudio y depende del valor que le otorguen los individuos que están involucrados con el bien.

### 4.1.2 Herramienta 2: Nivel de Amenaza

Esta es una herramienta sencilla que permite describir, jerarquizar y mapear las amenazas del inmueble, mediante la utilización de una ficha con 7 parámetros. Las amenazas se clasifican en tres grupos:

- 1) Las amenazas naturales de acción ocasional;
- 2) Las amenazas de naturaleza física;
- 3) Las amenazas antrópicas.

Al momento de determinar el nivel de amenaza sísmica, se dejan de lado algunos tipos de amenaza que no son de tipo sísmico, como las amenazas volcánicas, hidrometeorológicas y químicas.

Las amenazas sísmicas se agrupan en eventos esporádicos y en procesos continuos, y son los parámetros a partir de los cuales se determina el Índice de Amenaza Sísmica (A). A cada parámetro se le asigna un puntaje en relación con la severidad del daño que pueden provocar en el bien inmueble con base al peor escenario histórico. Los valores de los puntajes se encuentran en la siguiente figura:

INDICADORES		SEVERIDAD DEL DAÑO		
		Sin daño	Leve o gradual	Catastrófico
Eventos esporádicos	Intensidad máx. macro-sísmica	0	0.20	0.40
	Deslizamiento de ladera o fractura de roca	0	0.15	0.25
Procesos continuos	Erosión	0	0.05	0.10
	Estrés físico	0	0.05	0.10
	Contaminación	0	0.01	0.05
	Socio-organizacional	0	0.01	0.05
	Disminución demográfica	0	0.01	0.05

Figura 4.1: Puntaje de los parámetros para definir el índice de amenaza: Fuente: Díaz Fuentes, 2016.

A partir de estos valores se obtiene el Índice de Amenaza (A), que corresponde a un número entre 0 y 1 y se calcula utilizando la siguiente ecuación:

Índice de Amenaza, A:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i \quad (3)$$

Donde,

El subíndice  $i$  hace referencia al parámetro.

$a_i$ : es el puntaje asignado al parámetro  $i$ .

Para determinar la severidad del daño, se debe recopilar la información necesaria para cada indicador expuesta en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Información necesaria para determinar severidad del daño de las amenazas.

Indicador		Información que se debe recopilar
Eventos Esporádicos	Intensidad máxima macro-sísmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 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.</li> <li>- Información sobre intensidades de sismos históricos y aceleraciones máximas del terreno.</li> <li>- Estudios y recopilación de datos históricos sobre áreas impactadas por tsunamis.</li> </ul>
	Deslizamiento de ladera o fractura de roca	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografía de los alrededores y geometría de los taludes.</li> <li>- Distribución de la estratificación de los materiales térreos.</li> <li>- Propiedades mecánicas de deformabilidad, resistencia y permeabilidad de los suelos constituyentes.</li> <li>- Estado de esfuerzos actuantes.</li> <li>- Régimen de precipitaciones pluviales normales y extraordinarias probables.</li> <li>- Estudios de hidrología superficial e hidrogeología, y de aguas subterráneas.</li> <li>- 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.</li> </ul>
Procesos continuos	Erosión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Información sobre precipitaciones pluviales medias y máx. anuales.</li> <li>- Distancia a la costa.</li> <li>- Dirección, velocidad y frecuencia de los vientos predominantes.</li> </ul>
	Estrés físico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Información sobre precipitaciones pluviales medias y máx. anuales.</li> <li>- Información sobre las temperaturas máximas y mínimas mensuales, oscilación térmica y asoleamiento.</li> </ul>
	Contaminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vehículos circulantes en el área de estudio o zonas de mayor congestión vehicular.</li> <li>- Ubicación de aeropuertos y puertos.</li> <li>- Autopistas y promedio de circulación de vehículos al día.</li> <li>- 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.</li> </ul>
	Socio-organizacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Información demográfica.</li> <li>- Información sobre índices de vandalismo.</li> <li>- Información sobre la actividad turística.</li> <li>- Ubicación de museos, número de visitantes y recorridos turísticos.</li> <li>- Número de hoteles, habitaciones y movimiento de clientes.</li> <li>- Combustibles forestales (presencia de vegetación).</li> <li>- Condiciones meteorológicas (presencia de calor y viento).</li> <li>- Presencia de cableado eléctrico aéreo en mal estado.</li> <li>- Presencia de construcciones de madera.</li> </ul>
	Disminución demográfica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Información demográfica.</li> <li>- Ubicación de inmuebles abandonados.</li> <li>- Usos de suelo.</li> </ul>

Nota. Adaptado de Díaz Fuentes (2016).

### 4.1.3 Herramienta 3: Nivel de Vulnerabilidad

Permite definir el nivel de vulnerabilidad constructiva sísmica de un bien patrimonial inmueble mediante la utilización de una ficha con 13 parámetros que entrega como resultado un Índice de Vulnerabilidad (V). La vulnerabilidad se agrupa en tres causas principales:

- 1) La vulnerabilidad por la posición del edificio;
- 2) La vulnerabilidad inherente a la estructura;
- 3) La vulnerabilidad por el estado de conservación del inmueble.

Al evaluar el inmueble con respecto a estos parámetros, se categoriza en las clases A, B, C o D dependiendo de su vulnerabilidad, donde A corresponde a una vulnerabilidad muy baja y D, una muy alta. Los 13 parámetros para evaluar la vulnerabilidad se describen a continuación:

#### Vulnerabilidad por la posición del edificio

1) **Posición y cimientos:** amenazas relacionadas con la posición geotopográfica, el tipo de suelo, la pendiente (p) y el tipo de cimentaciones.

#### Vulnerabilidad inherente a la estructura

2) **Configuración planimétrica:** mientras más asimétrico sea el edificio, mayor es su vulnerabilidad.

3) **Configuración en elevación:** valora la distribución y continuidad de los elementos resistentes a lo largo de la altura.

4) **Distancia entre los muros:** se valora las características que facilitan o evitan el volteo de los muros. Estas características son la longitud entre ejes de arriostramiento transversales de un muro, la esbeltez y verticalidad relativa de los muros, y las medidas y posiciones de los vanos.

5) **Elementos no estructurales:** son aquellos elementos que pueden caer en caso de un terremoto y provocar daños. Pueden ser accesorios, elementos verticales, voladizos, entre otros.

6) **Tipo-organización del sistema resistente:** se evalúa en qué grado el edificio posee un comportamiento monolítico, lo que depende de la calidad de las conexiones entre los elementos.

7) **Calidad del sistema resistente:** en el caso del adobe, se evalúa la calidad de los materiales, del aparejo, de las trabas entre muros y la compatibilidad de los materiales.

8) **Estructuras horizontales:** se evalúa que los elementos horizontales se comporten como diafragma rígido, su conexión con los elementos verticales, la diferencia de rigidez y resistencia que puedan tener con la mampostería, y los empujes producidos en los muros.

9) **Cubierta:** su influencia sísmica en el comportamiento sísmico del edificio se relaciona con cuatro factores: a) La posibilidad de que la cubierta genere empujes horizontales sobre los muros,

favoreciendo el movimiento fuera del plano de estos; b) La eficacia en la conexión entre la estructura de la cubierta y los muros; c) El peso; d) La diferencia de rigidez y resistencia que pueda tener con la mampostería.

Vulnerabilidad por el estado de conservación del inmueble

10) **Estado de conservación:** se evalúan los deterioros visibles en el edificio, como fisuras, grietas, disgregación del mortero y muros fuera de plomo.

11) **Alteraciones en el entorno:** se evalúa si ha ocurrido modificaciones de las condiciones del subsuelo y transformaciones negativas en el entorno que incrementan la fragilidad del inmueble.

12) **Alteraciones en el sistema constructivo:** intervenciones con técnicas o materiales deficientes; alteración de los sistemas constructivos; falta de mantenimiento, uso que deteriora la estructura.

13) **Vulnerabilidad al fuego:** Se consideran la presencia de elementos de madera, adornos y muebles inflamables, las actividades de riesgo dentro del inmueble, y la falta de divisiones internas.

Cada parámetro tiene mayor o menor influencia en el nivel de vulnerabilidad de la estructura, por lo que se le asigna un peso a cada uno. Los valores del puntaje y peso de los parámetros para la definición del Índice de Vulnerabilidad propuestos por el método Díaz Fuentes se encuentran en la siguiente figura:

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 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

Figura 4.2: Puntaje y peso de los parámetros para definir el índice de vulnerabilidad. Fuente: Díaz Fuentes, 2016.

A Partir de estos valores se obtiene el índice de vulnerabilidad ( $V$ ), que corresponde a un número entre 0 y 100 que se calcula mediante la siguiente ecuación:

Índice de Vulnerabilidad,  $V$ :

$$V = \sum_{i=1}^n v_i p_i \quad (4)$$

Donde,

El subíndice  $i$  hace referencia al parámetro.

$v_i$ : es el puntaje asignado al parámetro  $i$ .

$p_i$ : es el peso asignado al parámetro  $i$ .

Los rangos de vulnerabilidad son los siguientes:

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

#### 4.1.4 Nivel de Evaluación LV0

El Método Díaz Fuentes (2016) consiste en la aplicación de las herramientas 2 y 3 para evaluar la vulnerabilidad sísmica. Este método posee un grado de complejidad menor que el primer nivel de evaluación señalado en la (Circolare N° 26, 2010), el nivel de evaluación LV1, por lo que se denomina al Método Díaz Fuentes como nivel de evaluación LV0.

El riesgo sísmico ( $R$ ) se calcula multiplicando el índice de vulnerabilidad por el índice de amenaza mediante la siguiente ecuación.

Riesgo sísmico,  $R$ :

$$R = V \cdot (A + 1) \quad (5)$$

Fuente: Diaz Fuentes (2017, p. 9).

## 4.2 Normativa italiana – Circolare N° 26, 2010

La metodología italiana posee tres niveles diferentes de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, LV1, LV2 y LV3, los que son de integridad creciente:

El nivel LV1 permite que se realicen evaluaciones de seguridad sísmica a **escala territorial** en todos los bienes culturales protegidos; Consiste en la aplicación de métodos simplificados, basados en un número limitado de parámetros geométricos y mecánicos o utilizando datos cualitativos (consulta visual, lectura de los caracteres constructivos, levantamiento crítico y estratigráfico). Entrega como resultado el índice de Vulnerabilidad  $i_v$  del bien cultural inmueble y sus mecanismos más vulnerables, entre otros;

El nivel LV2 sirve para que las evaluaciones se adopten en presencia de intervenciones locales en áreas limitadas del edificio. Consiste en la evaluación de los mecanismos más vulnerables determinados a partir del nivel LV1 mediante un método de análisis cinemático lineal y no lineal;

El nivel LV3 permite el diseño de intervenciones que afecten al funcionamiento estructural general o cuando se requiera una evaluación precisa de la seguridad sísmica del edificio. Corresponde a una evaluación global de la estructura.

**En el presente trabajo solo se aplicará el nivel de evaluación LV1 de la metodología italiana, ya que el objetivo es evaluar las iglesias a escala territorial.**

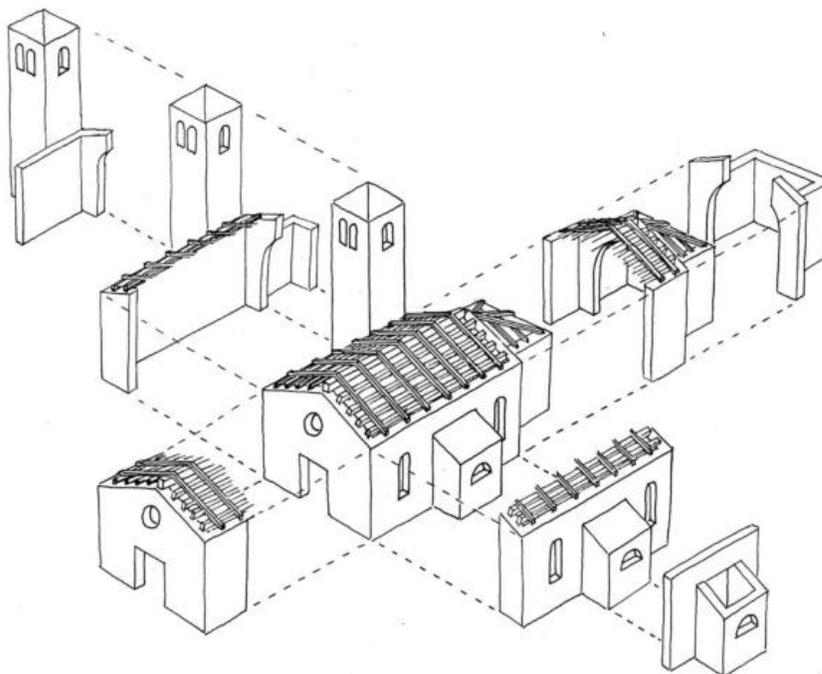


Figura 4.3: Esquema que muestra la desagrupación de una iglesia en sus diferentes macroelementos. Fuente: Lagomarsino (2004)

En Italia la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del patrimonio cultural ha sido ampliamente estudiada, con especial énfasis en la tipología de iglesias. Se han registrado los daños de más de 4000 inmuebles religiosos, luego de los terremotos recientes (Friuli-1976, Irpinia-1980, Umbria y Marche-1997, Lacio-1999, Toscana-1995, Piamonte-2000, Molise-2002, Aquila-2009, Emilia Romagna-2012 y Centro Italia-2016). La metodología italiana es bastante robusta debido a la cantidad de información recopilada y a los años de desarrollo.

En este método se asume que las iglesias no son capaces de presentar un comportamiento monolítico ante un terremoto, sino que sus macroelementos tienen un funcionamiento independiente con respecto al resto del edificio. Un macroelemento se entiende, en este caso, como una parte de la iglesia (en general, una pieza arquitectónica reconocible, como la fachada, el ábside-presbiterio, capillas, bóvedas, cúpulas, etc.) caracterizada por una respuesta sísmica en cierta medida autónoma del resto del edificio (Lagomarsino y Podestà 2005, p. 57).

## **Marco Regulatorio**

Son principalmente tres los documentos que definen el marco regulatorio del método italiano en la normativa italiana vigente:

- NTC-2018, Norme Tecniche per le Costruzioni, Aprobado por Decreto Ministerial de 17 de enero de 2018, publicado en el G.U. n. 42 de 20/02/2008 - Suppl. Ordinario n. 8.
- Circolare sulle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008, publicado en el G.U. n. 47 de 26 de febrero de 2009. – Suppl. Ordinario n. 27.
- Circolare N° 26, 2010. “Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico” Italia: Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Italia.

### **4.2.1 Conceptos**

#### **Definición de Estados Límite**

La normativa italiana considera diversos estados límites para una estructura. Estos están relacionados a la operatividad, daño y prevención del colapso de la estructura y al resguardo de la vida de los ocupantes.

Los estados límite que deben considerarse para los bienes culturales son, como regla general, SLV y SLD, para la definición de los cuales se hace referencia al punto 3.2.1 de la NTC:

- Estado Límite de salvaguarda de la Vida SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita): Estado que permite resguardar la seguridad de las personas. Luego del terremoto, el edificio sufre roturas y colapsos de los componentes no estructurales y de la planta y daño significativo de los componentes estructurales lo que se asocia con una pérdida significativa

de rigidez con respecto a las acciones horizontales; en cambio, la construcción conserva una parte de la resistencia y rigidez para acciones verticales y un margen de seguridad contra el colapso debido a acciones sísmicas horizontales;

- Estado Límite de Daño SLD (Stato Limite di Danno): Estado que permite resguardar la funcionalidad de la estructura. Tras el terremoto, la construcción en su conjunto, incluidos los elementos estructurales, los elementos no estructurales, los equipos relevantes para su función, sufre daños que no ponen en riesgo a los usuarios y no comprometen significativamente la capacidad de resistencia y rigidez frente a acciones verticales y horizontales, permaneciendo inmediatamente utilizable incluso en la interrupción de uso de parte del equipo.

En el caso chileno, la normativa está orientada a lograr estructuras que eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

## 4.2.2 Factores de confianza

Para compensar la falta de un adecuado nivel de conocimiento sobre aquellos elementos necesarios para realizar una evaluación del riesgo sísmico de una estructura, se le aplica un factor de seguridad o de confianza  $F_C$ , con un valor entre 1 y 1.35, el cual depende de cuatro factores parciales de confianza  $F_{Ck}$  ( $k=1,4$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$F_C = 1 + \sum_{k=1}^4 F_{Ck} \quad (6)$$

Los posibles valores de los factores parciales de confianza se encuentran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Definición del nivel de conocimiento a partir de factores parciales de confianza

Relieve geométrico	Identificación del proceso constructivo histórico	Propiedades mecánicas de los materiales	Terreno y fundaciones
Geométrica completa  $F_{C1} = 0.05$	Restitución hipotética de las fases de construcción  $F_{C2} = 0.12$	Parámetros mecánicos derivados de datos ya disponibles  $F_{C3} = 0.12$	Investigaciones limitadas sobre terreno y fundaciones, ausencia de datos geotécnicos  $F_{C4} = 0.06$
Levantamiento geométrico completo, con patrones de agrietamiento y deformación  $F_{C1} = 0.00$	Restitución parcial de las fases de construcción  $F_{C2} = 0.06$	Investigaciones limitadas sobre los parámetros mecánicos de los materiales  $F_{C3} = 0.06$	Investigaciones limitadas sobre terreno y fundaciones, disponibilidad de datos geotécnicos  $F_{C4} = 0.03$
	Restitución completa de las fases de construcción  $F_{C2} = 0.00$	Investigaciones exhaustivas sobre los parámetros mecánicos de los materiales  $F_{C3} = 0.00$	Investigaciones exhaustivas sobre terreno y fundaciones  $F_{C4} = 0.00$

Nota. Fuente: Circolare N° 26, 2010.

Los factores de confianza son particularmente importantes para edificios patrimoniales debido a que por diversos motivos suele no tenerse de manera completa toda la información necesaria para evaluar su riesgo sísmico. Por su nivel de antigüedad hay cosas que son muy difíciles o imposibles de saber si no se tienen registros históricos del inmueble. Como gran parte de estos edificios no han sido construidos siguiendo normativas sísmicas, normalmente los materiales utilizados no tienen propiedades mecánicas homogéneas ni cumplen con algún estándar reconocido, por lo que se debe realizar estudios de las diferentes partes de un elemento para tener una idea más precisa de sus propiedades. Sin embargo, los recursos para realizar estudios son limitados.

## 4.2.3 Nivel de Evaluación LV1

Luego del análisis sistemático del comportamiento sísmico de las iglesias italianas construidas en base a mampostería frente a los principales eventos sísmicos de las últimas décadas, se observó

que las iglesias no muestran un comportamiento monolítico, sino que se puede descomponer en sus diferentes macroelementos:

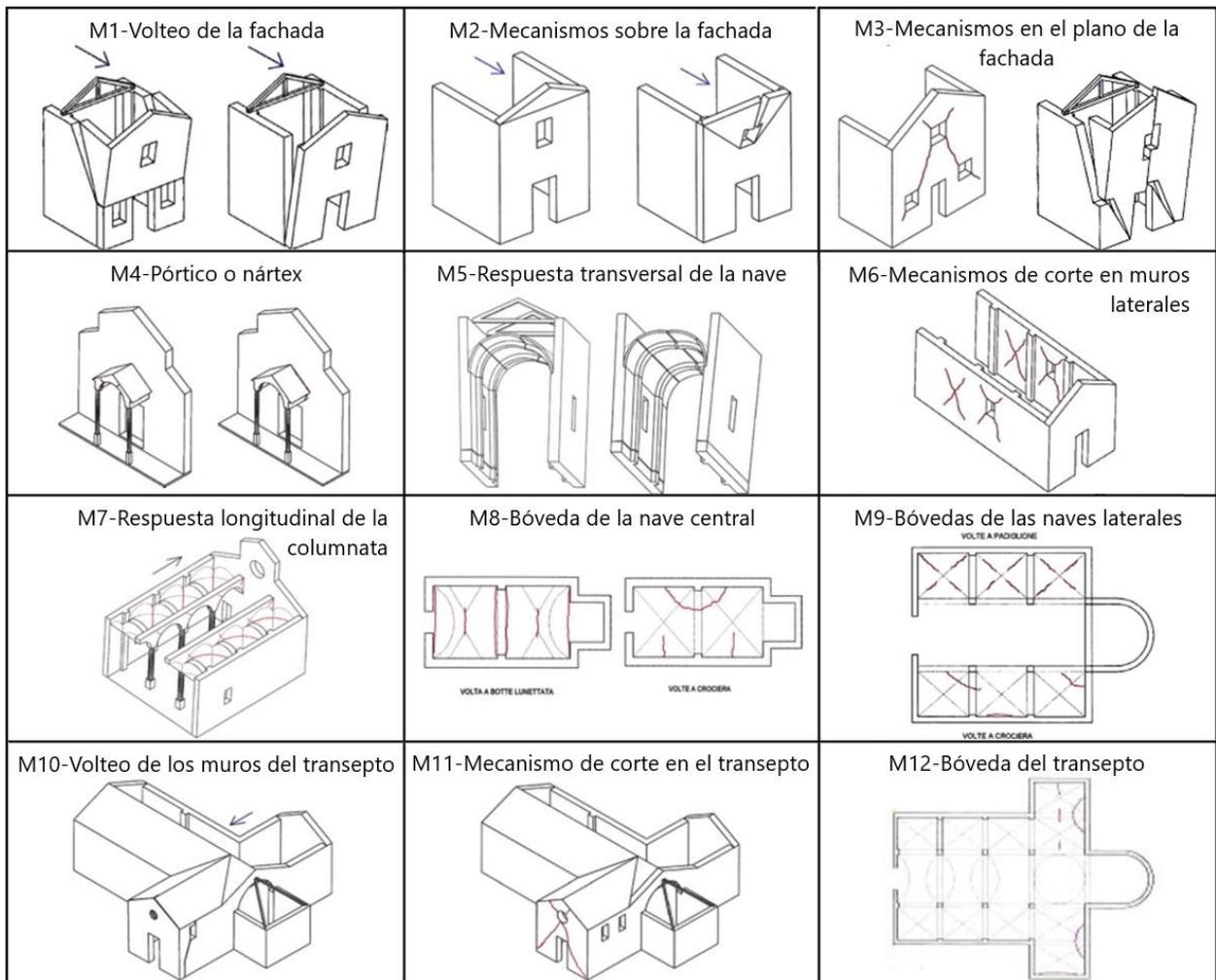
<b>MECANISMO DE DAÑO</b>	<b>MACROELEMENTO</b>
M1-Volteo de la fachada	<b>FACHADA</b>
M2-Mecanismos en la parte superior de la fachada	
M3-Mecanismos en el plano de la fachada	
M4-Pórtico o nártex	
M5-Respuesta transversal de la nave	<b>NAVE</b>
M6-Mecanismos de corte en muros laterales	
M7-Respuesta longitudinal de la columnata	
M8-Bóveda de la nave central	
M9-Bóvedas de las naves laterales	
M10-Volteo de los muros del transepto	<b>TRANSEPTO</b>
M11-Mecanismo de corte en el transepto	
M12-Bóveda del transepto	
M13-Arco triunfal	<b>ARCO TRIUNFAL</b>
M14-Cúpula y tambor	<b>CÚPULA</b>
M15-Linterna	
M16-Volteo del ábside	<b>ÁBSIDE</b>
M17-Mecanismo de corte en el ábside	
M18-Bóveda del presbiterio o del ábside	
M19-Elementos de la techumbre: nave	<b>TECHUMBRE</b>
M20-Elementos de la techumbre: transepto	
M21-Elementos de la techumbre: ábside	
M22-Volteo de las capillas	<b>CAPILLAS CUERPOS ANEXOS</b>
M23-Mecanismos de corte en las capillas	
M24-Bóvedas de las capillas	
M25-Interacciones por irregularidad planialtimétrica (cuerpos adyacentes, etc.)	
M26-Volúmenes exteriores (espadañas, almenas, pináculos, estatuas, etc.)	<b>VOLÚMENES EXTERIORES TORRE CAMPANARIO</b>
M27-Torres	
M28-Campanarios	

Figura 4.4: Mecanismos de colapso por macroelemento (Lagomarsino y Podestà 2005: 59)

Los macroelementos, a su vez, poseen diferentes mecanismos de colapso que pueden ser activados durante un evento sísmico. Son 28 los mecanismos observados e incluidos en la normativa italiana, los que se encuentran en la Figura 4.4, asociados a su respectivo macroelemento, y se esquematizan en la Figura 4.5.

En el nivel de evaluación LV1 se realiza un análisis estático de los mecanismos, el cual puede ser lineal o no lineal. Se obtiene como resultado:

- Índice de Vulnerabilidad
- Índice de Daños
- Mecanismos de colapso más vulnerables
- Mecanismos de colapso con mayores daños
- Aceleraciones que activan los mecanismos asociados al Estado Límite de Daños (SLD) y al Estado Límite de Salvaguarda (SLV).



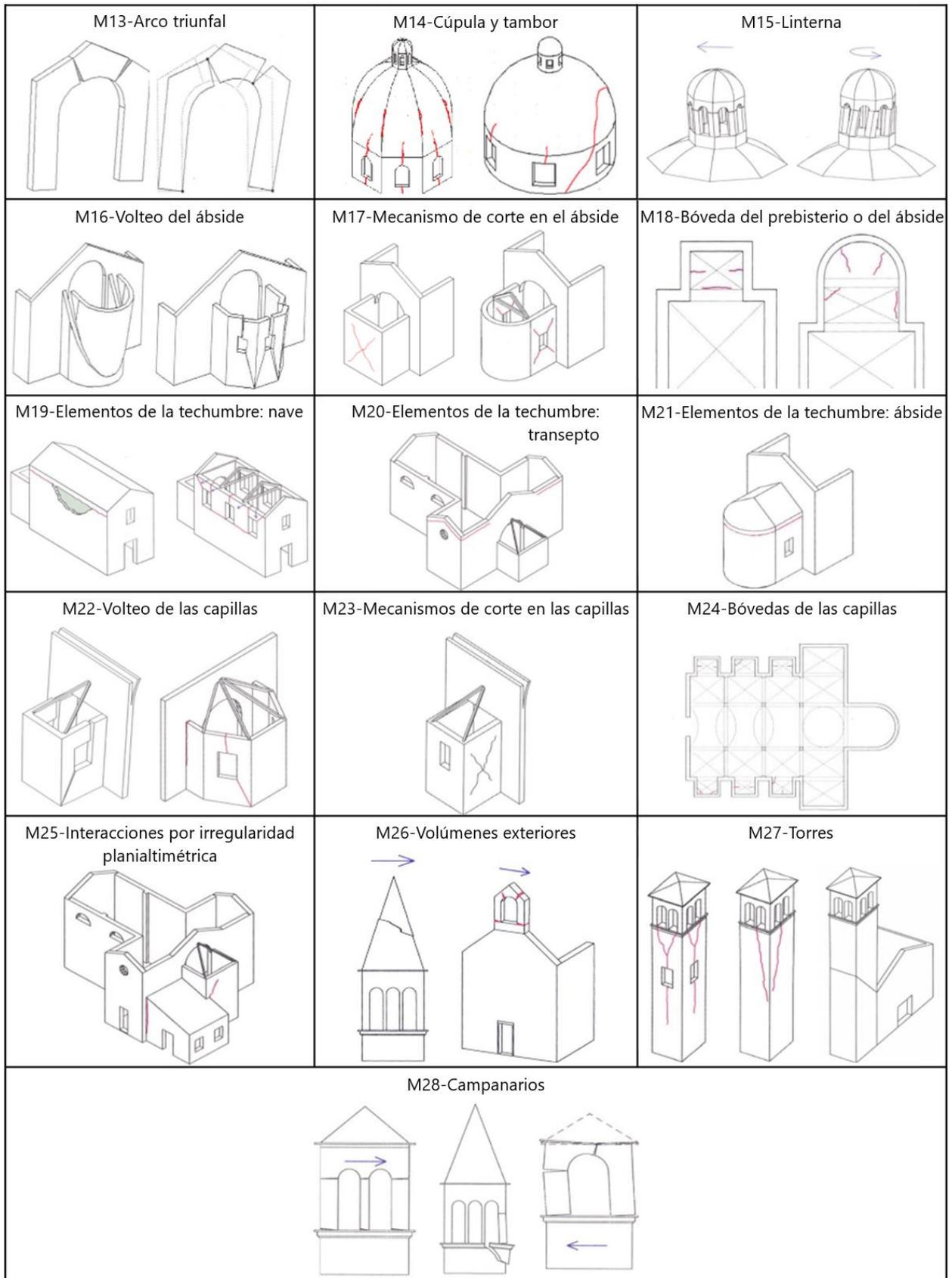


Figura 4.5: Esquemas de mecanismos de colapso. Fuente: MIBAC, 2006.

A partir de la evaluación de estos mecanismos, se pueden obtener diferentes índices, como el de vulnerabilidad y el de daño, además de aceleraciones. Para ello se utilizan diferentes fichas y ecuaciones, en las que es importante determinar qué tanto influye cada mecanismo en el comportamiento de la estructura, es decir, el peso ( $\rho_k$ ) de cada mecanismo. Los valores de  $\rho_k$  varían entre 0,5 y 1 si el macroelemento está presente, y se le asigna el valor 0 si es que no está presente. En el primer caso, los posibles valores de  $\rho_k$  según cada mecanismo se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 4.3: Valores del peso de cada mecanismo activado.

Número del mecanismo	Valor de $\rho_k$
4 y 15	$\rho_k = 0.5$
10, 11, 12, 18, 22, 23, 24, 25, 26	$0.5 < \rho_k < 1$
El resto de los mecanismos	$\rho_k = 1$

#### 4.2.3.1 Índice de Vulnerabilidad

La estimación de este índice consiste en la evaluación de cada mecanismo, indicando si puede activarse o no frente a un sismo, cuál es su nivel de importancia en comparación a los otros mecanismos y qué indicadores de fragilidad o de aumento de resistencia posee. Esto se realiza mediante el llenado de una ficha realizada a partir de la información del Anexo C de la (Circolare N° 26, 2010).

Una vez llenada la ficha, se procede a realizar el cálculo del Índice de Vulnerabilidad ( $i_v$ ) mediante el uso de la siguiente ecuación:

Índice de Vulnerabilidad,  $i_v$ :

$$i_v = \frac{1}{6} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k (v_{ki} - v_{kp})}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k} + \frac{1}{2} \quad (7)$$

Donde,

El subíndice  $k$  hace referencia al mecanismo. Como se consideraron 28 mecanismos, las sumatorias van de 1 a 28.

$\rho_k$ : es el peso de cada mecanismo de colapso según su importancia (0-1).

$v_{ki}$ : es el puntaje de los indicadores de vulnerabilidad.

$v_{kp}$ : es el puntaje de los elementos que aumentan la resistencia sísmica.

Como se mencionó con anterioridad, si un mecanismo puede activarse, su valor de  $\rho_k$  varía entre 0,5 y 1, y si no puede activarse, el valor de  $\rho_k$  es 0.

Los indicadores de vulnerabilidad ( $v_{ki}$ ) y de resguardo sísmico ( $v_{kp}$ ) que puede poseer cada mecanismo están establecidos en el Anexo C de la (Circolare N° 26, 2010), y se señalan en el

Anexo del presente trabajo. Cada indicador de protección sísmica ( $v_{kp}$ ) se evalúa con un número entre 0 y 3 según su nivel de eficacia, siendo 0: ineficaz; 1: modesto o poco efectiva; 2: buena; 3: muy efectiva. A su vez, cada indicador de vulnerabilidad también se evalúa con un número entre 0 y 3, el cual depende de su nivel de gravedad, siendo 0: inexistente; 1: poca presencia; 2: severa; 3: muy severa.

Existe una ficha de evaluación propuesta por Lagomarsino (2004) que combina los indicadores de vulnerabilidad del Anexo C de la Circolare N° 26 (2010) con indicadores de daño. Este trabajo resulta muy útil, ya que entrega guías para evaluar cada indicador.

Los puntajes  $v_{ki}$  y  $v_{kp}$  dependerán de cuántas veces se repitan los valores de cada indicador según se indica en la Tabla 5.1 de la Circolare N° 26 (2010), y que se encuentra traducida al español en la siguiente tabla:

Tabla 4.4: Evaluación de la puntuación de vulnerabilidad para cada mecanismo de daño.

Gravedad o eficacia	N° de indicadores de vulnerabilidad o elementos sismo-resistentes	$v_{ki}$ o $v_{kp}$
3	Al menos 1	3
2	Al menos 2	
2	1	2
1	Al menos 2	
1	1	1
0	Ninguno	0

Como los puntajes  $v_{ki}$  y  $v_{kp}$  tienen un valor máximo igual a 3, el término  $(v_{ki} - v_{kp})$  de la ecuación (7) tiene un rango de [-3,3].

#### 4.2.3.2 Análisis de Riesgo Sísmico

A partir del análisis estadístico de los daños sufridos por más de 4000 iglesias italianas, se evaluaron las distribuciones probabilísticas asociadas a diferentes intensidades sísmicas (matrices de probabilidad de daños), mientras variaba el índice de vulnerabilidad. A través de una adecuada correlación entre la intensidad y la máxima aceleración en el suelo, fue posible definir una correlación directa entre la entrada sísmica y la vulnerabilidad detectada. Esto permite calcular, para cada iglesia, los valores de aceleración del terreno, correspondientes al Estado Límite de Daños (SLD) y al Estado Límite de Salvaguarda (SLV). Las siguientes son las funciones de correlación propuestas, referidas al subsuelo rígido:

Estado Límite de salvaguarda de la Vida (Sato Limite di Danno):

$$a_{\text{SLD}} S = 0.025 \cdot 1.8^{2.75 - 3.44i_v} \quad (8)$$

Estado Límite de Daño (Stato Limite di Salvaguardia della Vita);

$$a_{SLV}S = 0.025 \cdot 1.8^{5.1-3.44i_v} \quad (9)$$

Donde S es el factor de amplificación que se tiene en cuanto a la categoría del suelo y de las condiciones topográficas.

Para tener estas funciones de correlación aplicables en el caso chileno, son necesarias matrices de probabilidad de daño a partir de las cuales realizar un análisis estadístico. No se cuenta con estudios suficientes para elaborar las matrices de probabilidad de daño. Un trabajo realizado por González (2020) estudia la aplicación del nivel LV1 a 5 iglesias de la ciudad de Valparaíso, del que se infiere que las ecuaciones (8) y (9) no son aplicables al contexto chileno. Con respecto a las aceleraciones, en el trabajo se concluye que:

Lo que no es aplicable directamente en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del patrimonio chileno, es la estimación de la amenaza sísmica según los lineamientos italianos. En primer lugar, no existe una microzonificación sísmica normativa del país (detallada al nivel italiano o similar) que unifique criterios de comparación, dificultando la posibilidad de comparar territorialmente el patrimonio construido. Además, no presenta proyecciones para distintos periodos de retorno de las aceleraciones esperadas, (como si lo tiene la norma italiana) para estimar los factores de aceleración e índice de seguridad.

Y, por otra parte, aun cuando en este trabajo de título se utilizó información de zonificación sísmica que pudo ser adaptada a lo requerido en la metodología italiana. Los valores que se obtuvieron no se condicen con lo observado en la realidad de las iglesias estudiadas. Esto quiere decir que las aceleraciones calculadas que causarían daño y/o colapso en las cinco iglesias de Valparaíso según la norma italiana, son mucho menores al resultado de las aceleraciones basales esperadas en el sitio, dando como resultado una vulnerabilidad muy alta, y estimando el colapso inminente de las estructuras, caso que no se condice con lo observado y con la historia de las cinco iglesias de Valparaíso. Por lo tanto, para poder aplicar de manera completa la metodología italiana presentada, se requeriría de un estudio de calibración de aceleraciones que entregue valores correspondientes a la realizada chilena. (González, 2020).

#### 4.2.3.3 Índice de Daño

A partir de la ficha Scheda Chiese A-DC, que es una ficha de levantamiento de daño de las iglesias, se puede obtener el Índice de daño de la iglesia. Por cada uno de los 28 mecanismos de colapso se debe evaluar su nivel de daño según la escala macrosísmica europea EMS-98 (véase la Figura 4.6).

Clasificación de daño a edificios de mampostería	
	<b>Grado 1: Sin daño o daño leve</b> (Sin daño estructural, daño no estructural leve) Grietas muy delgadas en muy pocos muros. Caída de pequeños pedazos de repello. Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos.
	<b>Grado 2: Daño moderado</b> (daño estructural leve, daño no estructural moderado) Grietas en muchos muros. Caída de pedazos grandes de repello. Colapso parcial de chimeneas.
	<b>Grado 3: Daño substancial a severo</b> (daño estructural moderado, daño no estructural moderado) Grietas largas y extensas en casi todos los muros. Caída de tejas. Fractura de las chimeneas en la línea del techo; falla de elementos individuales no estructurales (particiones, tabicaciones).
	<b>Grado 4: Daño muy severo</b> (daño estructural severo, daño no estructural muy severo) Falla seria en muros; falla estructural parcial de techos. Falla de techos y pisos.
	<b>Grado 5: Destrucción</b> (daño estructural muy severo) Colapso o casi colapso total.

Figura 4.6: Clasificación de daño según escala macrosísmica europea EMS-98. Fuente: Gürnthal et al, 1998.

A partir de esta evaluación se puede determinar el Índice de daño ( $i_d$ ).

Índice de daño,  $i_d$ :

$$i_d = \frac{1}{5} \frac{\sum_{k=1}^{28} \rho_k d_k}{\sum_{k=1}^{28} \rho_k} \quad (10)$$

Donde,

$\rho_k$  = es el peso de cada indicador de daño

$d_k$  = es el nivel de daño sufrido por el k-ésimo mecanismo (de 0 a 5).

Si en esta ecuación nombramos como “ $d$ ” el numerador y “ $n$ ” el denominador, es decir:

$$\sum_{k=1}^{28} \rho_k d_k = d \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^{28} \rho_k = n \quad (12)$$

Donde,

$d$ : es el puntaje total de daño.

$n$ : es el número de mecanismos posibles.

Finalmente

$$i_d = \frac{d}{5n} \quad (13)$$

#### 4.2.4 Trabajos que han aplicado la metodología italiana a estructuras de adobe latinoamericanas

Entre los trabajos encontrados, destacan los realizados sobre iglesias patrimoniales de la ciudad chilena de Valparaíso por González (2020) y Pareja (2011). También el trabajo realizado sobre la Catedral de Puno, Perú, por Apaza (2018)

En los estudios realizados por González (2020) y Apaza (2018) se ha concluido que los métodos LV1 y LV2 de la metodología italiana son apropiados para su uso en los casos de estudio. Esto genera buenas expectativas sobre la aplicación de la metodología italiana en las estructuras de adobe latinoamericanas.

## 4.3 Norma de Tierra

Entre los beneficios de utilizar el adobe como material de construcción se encuentran sus características como aislante térmico y acústico, su bajo costo, la simplicidad en su construcción y su menor impacto medioambiental.

Pese a que han colapsado muchas construcciones de adobe, todavía quedan muchas en pie que necesitan ser restauradas.

Debido a lo anteriormente señalado, la existencia de una Norma de Tierra en Chile era algo sumamente necesario, tanto como para la restauración de estructuras antiguas, como para la construcción de nuevas estructuras de adobe. No había normativa legal hasta el año 2012, año en el cual fue publicada la Norma de Tierra.

Algunos conceptos e indicaciones importantes de esta normativa son:

### **Esbeltez:**

- Los muros no deberán sobrepasar una esbeltez de 8.
- El espesor mínimo de muros estará determinado implícitamente por la esbeltez máxima.
- En caso de ser necesario, se podrá reducir la altura de los muros, retirando hiladas de adobes a fin de cumplir con la limitación de esbeltez.

### **Tamaño máximo de vanos:**

- Los vanos no deberán tener un ancho superior a 2,5 veces el espesor del muro.

### **Ubicación de vano:**

- Los vanos para ventanas y puertas deberán ubicarse a una distancia no menor a 3 veces el espesor del muro desde el borde libre más próximo.

### **Arriostramientos verticales:**

- La longitud libre, medida en la base deberá ser mayor o igual a 3 veces el espesor del muro a arriostar
- Podrán usarse como arriostramiento vertical los muros transversales interiores o contrafuertes especialmente diseñados, todos los cuales deberán estar correctamente trabados en su estructura.
- El espesor de los contrafuertes deberá ser igual o mayor que el del muro a arriostar.

# Capítulo 5

## Evaluación del riesgo sísmico

En este capítulo se aplicará el nivel de evaluación del riesgo sísmico LV0 y el nivel de evaluación de la vulnerabilidad sísmica LV1 a las 5 iglesias en estudio en su condición previa al terremoto de 2005. También se determinará el índice de daño contemplado en el método LV1 a las iglesias luego del terremoto del 2005, para así someter a prueba la aplicación de los métodos a este tipo de iglesias.

Además, se aplicarán los niveles LV0 y LV1 a la iglesia de Chusmiza en su condición actual, para así, si es que se determina que los niveles son apropiados para su uso, determinar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico que posee la iglesia en el presente. Esto servirá para justificar la necesidad o no de realizar intervenciones a la iglesia.

No se utilizarán los niveles LV2 y LV3 de la metodología italiana porque no cumplen con la condición de ser una herramienta aplicable a escala territorial.

### 5.1 Resultados previos

Los niveles de evaluación LV0 y LV1 ya han sido aplicados en cuatro de las iglesias de Laonzana, Huaviña, Sibaya y Usmagama en su condición previa al terremoto del 2005 por Díaz Fuentes (2019a). Sin embargo, este trabajo todavía no ha sido publicado a la fecha de emisión del presente Trabajo de Memoria. De manera preliminar, se puede acceder a estos resultados a través del Webinar realizado por Díaz Fuentes (2019b). Entre los resultados del método LV1 expuestos en este Webinar se encuentran los valores del término  $(v_{ki} - v_{kp})$  de la ecuación (7) de cada mecanismo, los que son necesarios para el cálculo de índice de vulnerabilidad. Se observa que algunos de estos términos salen del rango  $[-3,3]$ , límite que genera la aplicación de la Tabla 4.4, por lo que se detectó un error en la aplicación de esta metodología. La existencia de este error, y el hecho de que los resultados todavía no han sido publicados oficialmente, hace que se descarte el uso de ellos en el presente trabajo.

## 5.2 Aplicación del Nivel de Evaluación LV0 a las iglesias

A partir de la información recopilada en el Capítulo 2, se llenaron las fichas de Amenazas y de Vulnerabilidad, correspondientes a las Herramientas 2 y 3 del método LV0.

La información para determinar la severidad del daño de los parámetros de amenaza sísmica se encuentra en el capítulo II del libro *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno* de Díaz Fuentes (2016). Por su parte, la información requerida para clasificar los parámetros de la vulnerabilidad sísmica se encuentra en el capítulo III del mencionado libro.

Este nivel de Evaluación será aplicado a las iglesias en su condición anterior al terremoto del 2005.

### 5.2.1 Aplicación del LV0 a iglesia de Chusmiza

#### 5.2.1.1 Llenado de la ficha de Amenazas (Herramienta 2)

##### 1) **Intensidad máxima Macro-sísmica:**

Severidad Catastrófica

Como se aprecia en la Tabla 2.4, la máxima magnitud calculada fue de  $M_w=8.2$  y la máxima intensidad fue X en la escala de Mercalli, fue un sismo de magnitudes catastróficas, pero ocurrió relativamente lejos de la iglesia de Chusmiza (181.3), donde la intensidad fue moderada, con  $MMI=5.8$  (USGS Earthquake Hazards Program, s.f.).

El Sismo que más afectó a la zona fue el del 2005, con  $M_w=7.8$ . Fue de menor intensidad que el del 2014, pero a menor distancia del epicentro (menos de 25 km de distancia). Entre las iglesias, la de Chusmiza fue la que se encontró a más distancia del epicentro y donde hubo menor intensidad.

El hecho de encontrarse en el altiplano hace que en Chusmiza la amenaza sísmica frente a sismos de tipo interplaca (de mayor frecuencia) sea menor que las otras cuatro iglesias. No se puede decir lo mismo de sismos intraplaca y corticales, ya que la distancia al epicentro puede ser menor.

##### 2) **Deslizamiento laderas o fractura roca:**

Severidad Catastrófica

La gran oscilación térmica que ocurre durante el día hace posible que ocurra una fractura por termoclastismo. Esto, sumado a la pendiente de la quebrada y la presencia de asentamientos humanos irregulares, puede derivar en un deslizamiento de laderas.

### **3) Erosión:**

Severidad Catastrófica

Debido al invierno altiplánico, existe una alta exposición a la lluvia y el viento.

Por otro lado, las iglesias se encuentran a más de 80 km de la costa, por lo que no hay efecto aerosol marino.

### **4) Estrés físico:**

Severidad Catastrófica

El nivel de asoleamiento es grande debido a que se encuentra en una zona árida. Durante el día existe una alta oscilación térmica.

### **5) Contaminación:**

Severidad Sin daño

No se presenta esta amenaza. Hay muy baja circulación de vehículos debido a la baja cantidad de habitantes y al difícil acceso. No hay aeropuertos, puertos ni autopistas cerca. No hay fuentes de contaminación cercanas.

### **6) Socio-organizacional:**

Severidad Sin daño

Las localidades poseen pocos habitantes, ninguna sobrepasa los 100 habitantes. No hay registro de vandalismo en Carabineros de Chile. Las localidades forman parte de una ruta turística, pero no se tiene información sobre el número de visitantes. No existen museos en las localidades. No hay hoteles, sólo Chusmiza cuenta con alojamientos compartidos en internet. Existe una baja probabilidad de incendios forestales o urbanos que afecten el inmueble, debido al entorno desértico, baja cantidad de árboles y la lejanía con respecto a los otros inmuebles.

Actualmente esta amenaza es de Severidad Catastrófica por dos motivos: el primero es el aumento de la circulación como se vio en el Capítulo 2; el segundo y más importante es que una parte de los habitantes del pueblo de Chusmiza quiere que la iglesia se remplace por una nueva debido al temor de que ocurra un colapso tras un nuevo sismo.

### **7) Disminución demográfica y falta de mantenimiento:**

Severidad Catastrófica

Como se aprecia en la sección 2.1.3, la población en la comuna de Huara y en las localidades de las iglesias ha ido disminuyendo con el tiempo. Esto trae como consecuencia la paulatina pérdida de la tradición constructiva para realizar una correcta mantención de las iglesias.

### 5.2.1.2 Llenado de la ficha de Vulnerabilidad (Herramienta 3)

#### 1) Posición y cimientos:

Clase A

Edificio sobre terreno suelto no sometido a empujes, con pendiente menor o igual a 10%, y plano de apoyo de cimientos a una altura única

#### 2) Configuración en planta:

Clase C

$$40 \leq \beta_1 < 60$$

$$a = 5.61 \text{ m}; l = 12.51 \text{ m}$$

$$\beta_1 = a/l \cdot 100 = 44.8$$

#### 3) Configuración en elevación:

Clase A

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

#### 4) Distancia entre muros arriostrantes y vulnerabilidad de volcamiento:

Clase C

Espesor del muro: 0.42 m; Altura máxima: 7.14 m

Esbeltez máxima: 7.14

Se cumplen 3 de las 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:  
Se cumple. La esbeltez máxima es menor a 8.
- Los vanos no deben tener un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro:  
Ancho del vano de la entrada: 1.4 m;  
Límite de 2.5 veces el espesor del muro: 1.05 m.  
No se cumple. El vano más grande, el de acceso es mayor a 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:  
Se cumple. No hay vanos a menos de 1.26 m de los bordes libres.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro:  
No se cumple. Los muros laterales tienen más de 12 m de largo, y ningún arriostramiento entre los extremos, por lo que la longitud entre ejes de arriostramiento supera con creces los 2.52 m (6 veces el espesor del muro).
- La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor a 10% de su altura:

Se cumple. El 10% de 1.7 m (menor altura de los muros) son 0.17 m, y no se observan desplomes que superen esta medida.

**5) Elementos no estructurales:**

Clase A

El edificio no presenta accesorios, salientes o voladizos que puedan caer durante un sismo.

**6) Tipo-organización del sistema resistente:**

Clase D

Este indicador evalúa el comportamiento monolítico de la estructura. Como no existe una solera diagonal que conecte los muros, no hay una buena traba entre los muros ortogonales.

**7) Calidad del sistema resistente:**

Los parámetros corresponden al código I-Adobe.

Clase B antes del terremoto del 2005

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 se desconoce el espesor de las juntas, por lo que se considera la clase más conservadora entre A y B.

En el estado actual de la iglesia, corresponde a clase D, debido a que los últimos terremotos generaron deficiencias en el traslape entre muros ortogonales y algunos desprendimientos del adobe.

**8) Estructuras horizontales:**

Clase D

En este caso no hay estructuras horizontales que ayuden a conectar los diferentes elementos de la iglesia entre sí, por lo que se ve aumentado el riesgo de volteo de los muros.

**9) Cubierta:**

Clase D

Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, no es ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio y el sistema de techumbre es mucho menos rígido que los muros.

**10) Estado de conservación:**

Clase B antes del terremoto del 2005

Edificios que presentan daños superficiales no generalizados, con excepción de los casos en los cuales se hayan producido por terremotos. No se observa presencia de humedad ni de agentes bióticos asociados a la presencia de humedad.

En el estado actual de la iglesia corresponde a la Clase D, debido a que no han sido reparados los daños sufridos en los últimos terremotos, y a la pérdida de revoque.

### **11) Alteraciones del ambiente**

#### Clase B

Se cumplen hasta tres de las siguientes condiciones que aumentan la vulnerabilidad constructiva:

- a) Baja Accesibilidad: Se cumple.
- b) Abandono: No se cumple.
- c) Zona densamente poblada: No se cumple.
- d) Aislamiento: Se cumple.
- e) Conflicto con respecto a su entorno geográfico: Se cumple, ya que al lado sur hay una ladera con peligro de derrumbe y durante el invierno altiplánico se generan problemas con las lluvias.
- f) Conflicto con respecto a su entorno construido: No se cumple.
- g) Conflicto con respecto a su entorno social: No se cumple.
- h) Desinterés: No se cumple.

En el estado actual de la iglesia, el punto e) ya no se cumple, pues el año 2019 se construyó un muro de contención. Por otro lado, el punto f) ahora sí se cumple, debido a que hay pobladores de Chusmiza que quisieran reemplazar la capilla por una de hormigón armado.

### **12) Alteraciones negativas en el sistema constructivo**

#### Clase B

Se realizó modificación en el sistema de techumbre con materiales no del todo compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez, debido a la diferencia de rigidez entre la techumbre y los uros. Sin embargo, la techumbre anterior tampoco era del todo compatible en cuanto a rigidez, y la modificación es reversible.

### **13) Vulnerabilidad al fuego**

#### Clase B

El edificio cuenta con las tres siguientes condiciones:

- Presencia de ornamentos y muebles inflamables.
- Falta de compartimentación y divisiones interiores.
- Peligro derivado de incendios provocados por presencia de velas encendidas.

### 5.2.1.3 Resultados LV0 iglesia de Chusmiza

Con la información anterior, se obtiene la ficha LV0 de la iglesia de Chusmiza:

Tabla 5.1: LV0 Iglesia de Chusmiza.

Indicadores		Chusmiza antes del 2005	Chusmiza actual
VULNERABILIDAD	1	Posición y cimientos	A
	2	Configuración en planta	C
	3	Configuración en elevación	A
	4	Distancia entre muros	C
	5	Elementos no estructurales	A
	6	Tipo-organización del S.R.	D
	7	Calidad del sistema resistente	B
	8	Estructuras horizontales	D
	9	Cubierta	D
	10	Estado de conservación	B
	11	Alteraciones del ambiente	B
	12	Alteraciones en el sistema constructivo	B
	13	Vulnerabilidad al fuego	B
<b>Índice de vulnerabilidad sísmica (V)</b>		<b>50.17</b>	<b>63.63</b>
AMENAZAS	1	Intensidad Máx. Macro-sísmica	0.40
	2	Deslizamiento laderas o fractura roca	0.25
	3	Erosión	0.10
	4	Estrés físico	0.10
	5	Contaminación	0
	6	Socio-organizacional	0
	7	Falta de mantenimiento	0.05
<b>Índice de amenaza sísmica (H)</b>		<b>0.90</b>	<b>0.95</b>
<b>RIESGO TOTAL [V x (H+1)]</b>		<b>95.32</b>	<b>124.08</b>

En esta metodología, el límite entre una vulnerabilidad media y alta es 55.52. Es así como antes del terremoto del 2005, la vulnerabilidad de la estructura era media, lo que se condice con su comportamiento frente al sismo, pues, si bien sufrió daños, ninguna parte de la iglesia colapsó.

Las principales diferencias entre la condición previa al 2005 y el estado actual del inmueble radican en los daños sufridos por los sismos del 2005 y 2015, la falta de mantención, la construcción de un muro aluvial el 2019, y a que en la actualidad hay diferencias en la comunidad con respecto a mantener la capilla o reemplazarla por una nueva.

Estas diferencias se ven reflejadas en los índices:

- Vulnerabilidad: Los daños sufridos por los sismos y la falta de mantención de la iglesia afectan negativamente en los indicadores de la Calidad del sistema resistente y el Estado de Conservación. El muro aluvial mejora el indicador de Alteraciones del ambiente, pero

a su vez este indicador se ve afectado negativamente por las diferencias que hay en la comunidad en cuanto a conservar la iglesia original.

- Amenaza: Las diferencias en cuanto a mantener la capilla impactan en el indicador Socio-organizacional, por lo que el índice de amenaza sísmica aumenta en 0.05 puntos.
- Riesgo: como los índices de vulnerabilidad y amenaza aumentan, también lo hace el riesgo total.

Actualmente el índice de vulnerabilidad V de la iglesia de Chusmiza es alto, pues el método refleja las diferencias mencionadas anteriormente.

En general, se observa que las condiciones más favorables que ayudan a disminuir el índice de vulnerabilidad están relacionadas a que el terreno es llano y a algunas características estructurales, como no poseer elementos no estructurales y la uniformidad de la configuración en elevación.

## 5.2.2 Aplicación del LV0 a iglesia de Laonzana

### 5.2.2.1 Llenado de la ficha de Amenazas (Herramienta 2)

La iglesia de Laonzana, al igual que las iglesias de Huaviña, Sibaya y Usmagama, posee las mismas amenazas que la iglesia de Chusmiza.

### 5.2.2.2 Llenado de la ficha de Vulnerabilidad (Herramienta 3)

#### 1) Posición y cimientos:

Clase C

Se encuentra sobre suelo suelto (deslizamientos en masa de arena y limo, PPI1r), con una pendiente entre 10 y 30%.

#### 2) Configuración en planta:

Clase D

$$\beta_1 < 40$$

$$a = 8 \text{ m}; \quad b = 4.3 \text{ m}; \quad l = 23.8 \text{ m}$$

$$\beta_1 = a/l \cdot 100 = 33.61; \quad \beta_2 = ab/l \cdot 100 = 16.04$$

#### 3) Configuración en elevación:

Clase B

La distribución de la masa y elementos resistentes no es uniforme en toda la altura, ya que la iglesia posee diferencias de nivel. Existen otras irregularidades por la presencia de torres y capillas, pero estas no superan la altura del edificio.

#### 4) Distancia entre muros arriostrantes y vulnerabilidad de volcamiento:

Clase C

Espesor del muro: 1 m; Altura máxima: 4.47 m

Esbeltez máxima: 4.47

Se cumplen 3 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: Se cumple
- Los vanos no deben tener un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro:  
Ancho del vano de la entrada: 1.84 m;  
Límite de 2.5 veces el espesor del muro: 2.5 m.  
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:  
No se cumple debido a la presencia de un vano en la esquina de la sacristía.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro:  
No se cumple, debido a que en la nave central hay muros que sobrepasan ese límite, uno posee más de 10 m de largo no arriostrado.
- La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor a 10% de su altura:  
Se cumple. El 10% de 4.47 m son 0.45 m, y no se observan desplomes que superen esta medida.

**5) Elementos no estructurales:**

Clase A

El edificio no presenta accesorios, salientes o voladizos que puedan caer durante un sismo.

**6) Tipo-organización del sistema resistente:**

Clase D

Este indicador evalúa el comportamiento monolítico de la estructura. Al igual que el caso de Chusmiza, no existe una solera diagonal que conecte los muros, por lo que no hay una buena traba entre los muros ortogonales.

**7) Calidad del sistema resistente:**

Los parámetros corresponden al código I-Adobe.

Clase D

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.

**8) Estructuras horizontales:**

Clase D

En este caso no hay estructuras horizontales que ayuden a conectar los diferentes elementos de la iglesia entre sí, por lo que se ve aumentado el riesgo de volteo de los muros

**9) Cubierta:**

Clase D

Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, no es ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio y el sistema de techumbre es mucho menos rígido que los muros.

**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) Alteraciones del ambiente:**

#### Clase C

Se cumplen 4 de las siguientes condiciones que aumentan la vulnerabilidad constructiva:

- a) Baja Accesibilidad: Se cumple.
- b) Abandono: Se cumple.
- c) Zona densamente poblada: No se cumple.
- d) Aislamiento: Se cumple.
- e) Conflicto con respecto a su entorno geográfico: Se cumple, debido al peligro de derrumbe de laderas.
- f) Conflicto con respecto a su entorno construido: No se cumple.
- g) Conflicto con respecto a su entorno social: No se cumple.
- h) Desinterés: No se cumple.

### **12) Alteraciones negativas en el sistema constructivo:**

#### Clase B

Se realizó modificación en el sistema de techumbre con materiales no del todo compatibles en cuanto a su resistencia y rigidez, debido a la diferencia de rigidez entre la techumbre y los uros. Sin embargo, la techumbre anterior tampoco era del todo compatible en cuanto a rigidez, y la modificación es reversible.

### **13) Vulnerabilidad al fuego:**

#### Clase B

El edificio cuenta con las 3 siguientes condiciones:

- Presencia de ornamentos y muebles inflamables.
- Falta de compartimentación y divisiones interiores.
- Peligro derivado de incendios provocados por presencia de velas encendidas.

### 5.2.2.3 Resultados LV0 iglesia de Laonzana

Con la información anterior, se obtiene la ficha LV0 de la iglesia de Laonzana:

Tabla 5.2: LV0 Iglesia de Laonzana.

		<b>Indicadores</b>	<b>Laonzana</b>
<b>VULNERABILIDAD</b>	1	Posición y cimientos	<b>C</b>
	2	Configuración en planta	<b>D</b>
	3	Configuración en elevación	<b>B</b>
	4	Distancia entre muros	<b>C</b>
	5	Elementos no estructurales	<b>A</b>
	6	Tipo-organización del S.R.	<b>D</b>
	7	Calidad del sistema resistente	<b>D</b>
	8	Estructuras horizontales	<b>D</b>
	9	Cubierta	<b>D</b>
	10	Estado de conservación	<b>C</b>
	11	Alteraciones del ambiente	<b>C</b>
	12	Alteraciones en el sistema constructivo	<b>B</b>
	13	Vulnerabilidad al fuego	<b>B</b>
		<b>Índice de vulnerabilidad sísmica (V)</b>	<b>68.68</b>
<b>AMENAZAS</b>	1	Intensidad Máx. Macro-sísmica	0.40
	2	Deslizamiento laderas o fractura roca	0.25
	3	Erosión	0.10
	4	Estrés físico	0.10
	5	Contaminación	0
	6	Socio-organizacional	0
	7	Falta de mantenimiento	0.05
		<b>Índice de amenaza sísmica (H)</b>	<b>0.90</b>
		<b>RIESGO TOTAL [V x (H+1)]</b>	<b>130.49</b>

En su condición previa al 2005, la iglesia de Laonzana tiene un índice de vulnerabilidad alto, lo que se condice con su comportamiento frente al sismo, pues sufrió graves daños.

En general, se observa que las condiciones más desfavorables que aumentan el índice de vulnerabilidad están relacionadas principalmente a la estructura de la iglesia, como los indicadores Configuración en planta, Distancia entre muros, Tipo-organizacional del sistema resistente, Calidad del sistema resistente, Estructuras horizontales y Cubierta.

### 5.2.3 Aplicación del LV0 a iglesia de Huaviña

Se tiene poca información sobre esta iglesia, debido a que no hay planos de su estado original antes del terremoto del 2005. Se tienen los planos actuales de la iglesia, en su condición reconstruida, los cuales fueron proyectados a partir de fotografías e historias orales que la comunidad compartió. Por esto, las medidas necesarias para la aplicación de este nivel en la condición previa al 2005 se obtendrán a partir de los planos actuales.

#### 5.2.3.1 Llenado de la ficha de Amenazas (Herramienta 2)

La iglesia de Huaviña posee las mismas amenazas que las iglesias de Laonzana, Sibaya y Usmagama.

#### 5.2.3.2 Llenado de la ficha de Vulnerabilidad (Herramienta 3)

##### 1) Posición y cimientos:

Clase B

No hay certezas de si el terreno es de roca. La pendiente está entre  $10\% < p \leq 30\%$  y no hay presencia de empujes de suelo.

##### 2) Configuración en planta:

Clase D

$$\beta_1 < 40$$

$$a = 8.6 \text{ m}; b = 6.8 \text{ m}; l = 32.4 \text{ m}$$

$$\beta_1 = a/l \cdot 100 = 26.54 \text{ m}; \quad \beta_2 = ab/l \cdot 100 = 20 \text{ m}$$

##### 3) Configuración en elevación:

Clase B

La distribución de la masa y elementos resistentes no es uniforme en toda la altura, ya que la iglesia posee diferencias de nivel. Existen otras irregularidades por la presencia de torres y capillas, pero estas no superan la altura del edificio.

##### 4) Distancia entre muros arriostrantes y vulnerabilidad de volcamiento:

Clase C

Espesor del muro: 1 m; Altura máxima: 4.3 m

Esbeltez máxima: 4.3

Se cumplen 3 de las 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:  
Se cumple
- Los vanos no deben tener un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro:  
Ancho del vano de la entrada: 2.52 m;  
Límite de 2.5 veces el espesor del muro: 2.5 m  
Se cumple debido a que se sobrepasa el límite por muy poco.
- 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:  
No se cumple.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro:  
No se cumple. Principalmente en la nave central.
- La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor a 10% de su altura:  
Se cumple.

**5) Elementos no estructurales:**

Clase A

El edificio no presenta accesorios, salientes o voladizos que puedan caer durante un sismo.

**6) Tipo-organización del sistema resistente:**

Clase D

Este indicador evalúa el comportamiento monolítico de la estructura. Como no existe una solera diagonal que conecte los muros, no hay una buena traba entre los muros ortogonales.

**7) Calidad del sistema resistente:**

Los parámetros corresponden al código I-Adobe.

Clase D

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.

**8) Estructuras horizontales:**

Clase D

Al igual que en el caso de Chusmiza, no hay estructuras horizontales que ayuden a conectar los diferentes elementos de la iglesia entre sí, por lo que se ve aumentado el riesgo de volteo de los muros.

### **Cubierta:**

#### Clase D

Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, no es ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio y el sistema de techumbre es mucho menos rígido que los muros.

### **9) 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.

### **10) Alteraciones del ambiente:**

#### Clase C

Se cumplen 4 de las siguientes condiciones que aumentan la vulnerabilidad constructiva:

- a) Baja Accesibilidad: Se cumple.
- b) Abandono: Se cumple.
- c) Zona densamente poblada: No se cumple.
- d) Aislamiento: Se cumple.
- e) Conflicto con respecto a su entorno geográfico: Se cumple.
- f) Conflicto con respecto a su entorno construido: No se cumple.
- g) Conflicto con respecto a su entorno social: No se cumple.
- h) Desinterés: No se cumple.

### **11) Alteraciones negativas en el sistema constructivo:**

#### Clase C

Se cambió el sistema de techumbre. En la parte superior de la fachada se redujo la cantidad de hiladas de adobes y se cambió la sección de madera, como se ve en la Figura 3.13.

### **12) Vulnerabilidad al fuego:**

#### Clase B

El edificio cuenta con las 3 siguientes condiciones:

- Presencia de ornamentos y muebles inflamables.
- Falta de compartimentación y divisiones interiores.
- Peligro derivado de incendios provocados por presencia de velas encendidas.

### 5.2.3.3 Resultados LV0 iglesia de Huaviña

Con la información anterior, se obtiene la ficha LV0 de la iglesia de Huaviña:

Tabla 5.3: LV0 Iglesia de Huaviña.

		<b>Indicadores</b>	<b>Huaviña</b>
<b>VULNERABILIDAD</b>	1	Posición y cimientos	B
	2	Configuración en planta	D
	3	Configuración en elevación	B
	4	Distancia entre muros	C
	5	Elementos no estructurales	A
	6	Tipo-organización del S.R.	D
	7	Calidad del sistema resistente	D
	8	Estructuras horizontales	D
	9	Cubierta	D
	10	Estado de conservación	C
	11	Alteraciones del ambiente	C
	12	Alteraciones en el sistema constructivo	C
	13	Vulnerabilidad al fuego	B
		<b>Índice de vulnerabilidad sísmica (V)</b>	<b>65.99</b>
<b>AMENAZAS</b>	1	Intensidad Máx. Macro-sísmica	0.40
	2	Deslizamiento laderas o fractura roca	0.25
	3	Erosión	0.10
	4	Estrés físico	0.10
	5	Contaminación	0
	6	Socio-organizacional	0
	7	Falta de mantenimiento	0.05
		<b>Índice de amenaza sísmica (H)</b>	<b>0.90</b>
		<b>RIESGO TOTAL [V x (H+1)]</b>	<b>125.38</b>

Al igual que la iglesia de Laonzana, la iglesia de Huaviña tiene un índice de vulnerabilidad alto en su condición previa al 2005, lo que se condice con su comportamiento frente al sismo, pues sufrió graves daños. También se observa que las condiciones más desfavorables que aumentan el índice de vulnerabilidad están relacionadas principalmente a la estructura de la iglesia.

## 5.2.4 Aplicación del LV0 a iglesia de Sibaya

### 5.2.4.1 Llenado de la ficha de Amenazas (Herramienta 2)

La iglesia de Sibaya posee las mismas amenazas que las iglesias de Laonzana, Huaviña y Usmagama.

### 5.2.4.2 Llenado de la ficha de Vulnerabilidad (Herramienta 3)

#### 1) Posición y cimientos:

Clase C

Se emplaza sobre suelo suelto (PPI1r), con mediana pendiente y empujes de suelo sobre el muro posterior.

#### 2) Configuración en planta:

Clase D

$$\beta_1 < 40$$

$$a = 9.73 \text{ m}; \quad b = 7.6 \text{ m}; \quad l = 39.75 \text{ m}$$
$$\beta_1 = a/l \cdot 100 = 24.48; \quad \beta_2 = b/l \cdot 100 = 19.12$$

#### 3) Configuración en elevación:

Clase A

La distribución de la masa y elementos resistentes es bastante uniforme en toda la altura, ya que la iglesia bajas diferencias de nivel. Existen otras irregularidades por la presencia de torres y capillas, pero estas no superan en más del 10% la altura del edificio.

#### 4) Distancia entre muros arriostrantes y vulnerabilidad de volcamiento:

Clase C

Espesor del muro: 1 m; Altura máxima: 5.29 m

Esbeltez máxima: 5.29 m

Se cumplen 3 de las 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:  
Se cumple.
- Los vanos no deben tener un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro:  
Ancho del vano de la entrada: 2.1 m;  
Límite de 2.5 veces el espesor del muro: 2.5 m.  
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:  
No se cumple en la fachada de la iglesia.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro:  
No se cumple en los muros laterales de la nave central.
- La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor a 10% de su altura:  
Se cumple.

**5) Elementos no estructurales:**

Clase A

El edificio no presenta accesorios, salientes o voladizos que puedan caer durante un sismo.

**6) Tipo-organización del sistema resistente:**

Clase D

Este indicador evalúa el comportamiento monolítico de la estructura. Al igual que el caso de Chusmiza, no existe una solera diagonal que conecte los muros, por lo que no hay una buena traba entre los muros ortogonales.

**7) Calidad del sistema resistente:**

Los parámetros corresponden al código I-Adobe.

Clase D

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.

**8) Estructuras horizontales:**

Clase D

Al igual que en el caso de Chusmiza, no hay estructuras horizontales que ayuden a conectar los diferentes elementos de la iglesia entre sí, por lo que se ve aumentado el riesgo de volteo de los muros.

**9) Cubierta:**

Clase D

Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, no es ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio y el sistema de techumbre es mucho menos rígido que los muros.

**10) Estado de conservación:**

Clase D

Hay muros en malas condiciones, con desprendimiento de material en la parte superior.

**11) Alteraciones del ambiente:**

Clase C

Se cumplen 4 de las siguientes condiciones que aumentan la vulnerabilidad constructiva:

- a) Baja Accesibilidad: Se cumple.
- b) Abandono: Se cumple.
- c) Zona densamente poblada: No se cumple.
- d) Aislamiento: Se cumple.
- e) Conflicto con respecto a su entorno geográfico: Se cumple.
- f) Conflicto con respecto a su entorno construido: No se cumple.
- g) Conflicto con respecto a su entorno social: No se cumple.
- h) Desinterés: No se cumple.

**12) Alteraciones en el sistema constructivo:**

Clase D

Antes del terremoto del 2005, se construyó una torre de campanario junto a la fachada de hormigón, lo que no es compatible con el adobe debido a su diferencia de rigidez y propiedades diferentes. Además, la fachada fue intervenida agregando un recubrimiento y cambiando el arco de la entrada por uno de hormigón.

**13) Vulnerabilidad al fuego:**

Clase B

El edificio cuenta con las 3 siguientes condiciones:

- Presencia de ornamentos y muebles inflamables.
- Falta de compartimentación y divisiones interiores.
- Peligro derivado de incendios provocados por presencia de velas encendidas.

### 5.2.4.3 Resultados LV0 iglesia de Sibaya

Con la información anterior, se obtiene la ficha LV0 de la iglesia de Sibaya:

Tabla 5.4: LV0 Iglesia de Sibaya.

		<b>Indicadores</b>	<b>Sibaya</b>
<b>VULNERABILIDAD</b>	1	Posición y cimientos	<b>C</b>
	2	Configuración en planta	<b>D</b>
	3	Configuración en elevación	<b>A</b>
	4	Distancia entre muros	<b>C</b>
	5	Elementos no estructurales	<b>A</b>
	6	Tipo-organización del S.R.	<b>D</b>
	7	Calidad del sistema resistente	<b>D</b>
	8	Estructuras horizontales	<b>D</b>
	9	Cubierta	<b>D</b>
	10	Estado de conservación	<b>D</b>
	11	Alteraciones del ambiente	<b>C</b>
	12	Alteraciones en el sistema constructivo	<b>D</b>
	13	Vulnerabilidad al fuego	<b>B</b>
		<b>Índice de vulnerabilidad sísmica (V)</b>	<b>75.41</b>
<b>AMENAZAS</b>	1	Intensidad Máx. Macro-sísmica	0.40
	2	Deslizamiento laderas o fractura roca	0.25
	3	Erosión	0.10
	4	Estrés físico	0.10
	5	Contaminación	0
	6	Socio-organizacional	0
	7	Falta de mantenimiento	0.05
		<b>Índice de amenaza sísmica (H)</b>	<b>0.90</b>
		<b>RIESGO TOTAL [V x (H+1)]</b>	<b>143.28</b>

Esta iglesia también tiene un índice de vulnerabilidad alto, pero es mayor que las iglesias de Laonzana y Huaviña debido los empujes de suelo presentes por muros de contención y a la gravedad de las alteraciones negativas en el sistema constructivo, producto de añadir elementos de hormigón armado al momento de reparar la fachada de la iglesia.

## 5.2.5 Aplicación del LV0 a iglesia de Usmagama

### 5.2.5.1 Llenado de la ficha de Amenazas (Herramienta 2)

La iglesia de Usmagama posee las mismas amenazas que las iglesias de Laonzana, Huaviña y Sibaya.

### 5.2.5.2 Llenado de la ficha de Vulnerabilidad (Herramienta 3)

#### 1) Posición y cimientos:

Clase C

Se emplaza sobre suelo suelto (PPI1r), con pendiente entre 10% y 20%, y empuje de suelo sobre el muro posterior.

#### 2) Configuración en planta:

Clase D

$$\beta_1 < 40$$

$$a = 9 \text{ m}; \quad b = 5.7 \text{ m}; \quad l = 25.6 \text{ m}$$

$$\beta_1 = a/l \cdot 100 = 35.4; \quad \beta_2 = b/l \cdot 100 = 22.3$$

#### 3) Configuración en elevación:

Clase A

La distribución de la masa y elementos resistentes no es del todo uniforme en toda la altura, ya que la iglesia posee diferencias de nivel. No posee otras irregularidades.

#### 4) Distancia entre muros arriostrantes y vulnerabilidad de volcamiento:

Clase C

Espesor del muro: 1.4 m; Altura máxima: 5.13 m

Esbeltez máxima: 3.66

Se cumplen 3 de las 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:  
Se cumple.
- Los vanos no deben tener un ancho mayor que 2.5 veces el espesor del muro:  
Ancho del vano de la entrada: 2.26 m;  
Límite de 2.5 veces el espesor del muro: 3.5 m.  
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:  
No se cumple en la sacristía.
- La longitud entre ejes de arriostramientos transversales de un muro debe ser menor a seis veces el espesor del muro:  
No se cumple.
- La verticalidad relativa de un muro no debe ser mayor a 10% de su altura:  
Se cumple.

**5) Elementos no estructurales:**

Clase A

El edificio no presenta accesorios, salientes o voladizos que puedan caer durante un sismo.

**6) Tipo-organización del sistema resistente:**

Clase D

Este indicador evalúa el comportamiento monolítico de la estructura. Al igual que el caso de Chusmiza, no existe una solera diagonal que conecte los muros, por lo que no hay una buena traba entre los muros ortogonales.

**7) Calidad del sistema resistente:**

Los parámetros corresponden al código I-Adobe.

Clase D

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.

**8) Estructuras horizontales:**

Clase D

Al igual que en el caso de Chusmiza, no hay estructuras horizontales que ayuden a conectar los diferentes elementos de la iglesia entre sí, por lo que se ve aumentado el riesgo de volteo de los muros.

**9) Cubierta:**

Clase D

Edificio con cubierta que causa empujes moderados, sin una estructura horizontal continua de coronamiento de los muros, no es ejecutada con materiales propios de la estructura original del edificio y el sistema de techumbre es mucho menos rígido que los muros.

**10) Estado de conservación:**

Clase D

Se encuentra en mal estado de conservación debido a que el poblado ha estado décadas deshabitado, por lo que no ha recibido una correcta mantención.

**11) Alteraciones del ambiente:**

Clase C

Se cumplen 4 de las siguientes condiciones que aumentan la vulnerabilidad constructiva:

- a) Baja Accesibilidad: Se cumple.
- b) Abandono: Se cumple.
- c) Zona densamente poblada: No se cumple.
- d) Aislamiento: Se cumple.
- e) Conflicto con respecto a su entorno geográfico: Se cumple.
- f) Conflicto con respecto a su entorno construido: No se cumple.
- g) Conflicto con respecto a su entorno social: No se cumple.
- h) Desinterés: No se cumple.

**12) Alteraciones negativas en el sistema constructivo:**

Clase D

La iglesia ha sufrido alteraciones negativas debido que ha sufrido varios daños por sismos y aludes a lo largo de su historia, por lo que ha tenido varias modificaciones.

**13) Vulnerabilidad al fuego:**

Clase B

El edificio cuenta con las 3 siguientes condiciones:

- Presencia de ornamentos y muebles inflamables.
- Falta de compartimentación y divisiones interiores.
- Peligro derivado de incendios provocados por presencia de velas encendidas.

### 5.2.5.3 Resultados LV0 iglesia de Usmagama

Con la información anterior, se obtiene la ficha LV0 de la iglesia de Usmagama:

Tabla 5.5: LV0 Iglesia de Usmagama.

		<b>Indicadores</b>	<b>Usmagama</b>
<b>VULNERABILIDAD</b>	1	Posición y cimientos	<b>C</b>
	2	Configuración en planta	<b>D</b>
	3	Configuración en elevación	A
	4	Distancia entre muros	<b>C</b>
	5	Elementos no estructurales	A
	6	Tipo-organización del S.R.	<b>D</b>
	7	Calidad del sistema resistente	<b>D</b>
	8	Estructuras horizontales	<b>D</b>
	9	Cubierta	<b>D</b>
	10	Estado de conservación	<b>D</b>
	11	Alteraciones del ambiente	<b>C</b>
	12	Alteraciones en el sistema constructivo	<b>D</b>
	13	Vulnerabilidad al fuego	B
		<b>Índice de vulnerabilidad sísmica (V)</b>	<b>75.41</b>
<b>AMENAZAS</b>	1	Intensidad Máx. Macro-sísmica	0.40
	2	Deslizamiento laderas o fractura roca	0.25
	3	Erosión	0.10
	4	Estrés físico	0.10
	5	Contaminación	0
	6	Socio-organizacional	0
	7	Falta de mantenimiento	0.05
		<b>Índice de amenaza sísmica (H)</b>	<b>0.90</b>
		<b>RIESGO TOTAL [V x (H+1)]</b>	<b>143.28</b>

Al igual que la iglesia de Sibaya, la vulnerabilidad es alta y mayor que las iglesias de Laonzana y Huaviña, pues, también como en Sibaya, hay empujes de suelo presentes por muros de contención y las alteraciones negativas en el sistema constructivo fueron graves por la adición de elementos de hormigón armado. En este caso fue en el muro lateral norte donde fueron añadidos elementos de hormigón.

Las cuatro últimas iglesias analizadas comparten que la mayoría de los indicadores de vulnerabilidad relacionados a la estructura presentan condiciones desfavorables.

Todas las iglesias presentan un elevado índice de amenaza sísmica, el que es igual a 0.9, de un máximo de 1.0, en su condición previa al terremoto del 2005. Las amenazas que no están presentes son la de Contaminación y la Socio-organizacional, pero, junto con la Falta de mantenimiento, son los tipos de amenaza con menor peso al momento de calcular el índice. Por ello, la ausencia de estos dos tipos de amenaza no disminuye significativamente el índice de amenaza sísmica.

### 5.3 Aplicación del Nivel de Evaluación LV1 a las iglesias

Para comenzar a aplicar este nivel de evaluación es necesario determinar qué mecanismos de colapso podrían generarse y cuáles no, descartándolos según la ausencia de algunos de los macroelementos de las iglesias.

Las cinco iglesias tienen en común la ausencia de los siguientes macroelementos y sus mecanismos de colapso asociados: Nártex (M4); Columnata (M7); Bóvedas (M8, M9, M12, M18, M24); Arco triunfal (M13); Cúpula (M14, M15); Volúmenes exteriores que no sean torres o campanarios (M26).

Hay otros macroelementos con sus mecanismos asociados que no se presentan en algunas de las iglesias:

- Sibaya: Capillas (M22, M23, M24).
- Usmagama: Transepto (M10, M11, M12, M20); Volúmenes exteriores (M26, M27, M28).
- Chusmiza: Transepto (M10, M11, M12, M20); Ábside (M16, M17, M21); Capillas (M22, M23, M24); Volúmenes exteriores (M26, M27, M28).

Con esto, el peso ( $\rho_k$ ) de cada mecanismo de colapso presente en las cinco iglesias queda:

Tabla 5.6: Peso de los mecanismos de colapso presentes en las cinco iglesias.

Macroelemento	N°	Mecanismo de colapso	Laonzana	Huaviña	Sibaya	Usmagama	Chusmiza
Fachada	M1	Volteo de la fachada	1	1	1	1	1
	M2	Mecanismos en la parte sup. de la fachada	1	1	1	1	1
	M3	Mecanismos en el plano de la fachada	1	1	1	1	1
Nave	M5	Respuesta transversal de la nave	1	1	1	1	1
	M6	Mecanismos de corte en muros laterales	1	1	1	1	1
Transepto	M10	Volteo de los muros del transepto	0.9	0.9	0.9	0	0
	M11	Mecanismo de corte en el transepto	0.9	0.9	0.9	0	0
Ábside	M16	Volteo del ábside	1	1	1	1	0
	M17	Mecanismo de corte en el ábside	1	1	1	1	0
Techumbre	M19	Elementos de la techumbre: nave	1	1	1	1	1
	M20	Elementos de la techumbre: transepto	0.9	0.9	0.9	0	0
	M21	Elementos de la techumbre: ábside	1	1	1	1	0
Capillas y Cuerpos anexos	M22	Volteo de las capillas	0.9	0.9	0	0.9	0
	M23	Mecanismos de corte en las capillas	0.9	0.9	0	0.9	0
	M25	Interacciones por irregularidad planimétrica	0.9	0.9	0.9	0.9	0
Volúmenes exteriores	M27	Torres	1	1	1	0	0
	M28	Campanarios	1	1	1	0	0
Muro posterior	M29	Volteo del muro posterior	0	0	0	0	1
	M30	Mec. en la parte sup. del muro posterior	0	0	0	0	1
	M31	Mecanismos en el plano del muro posterior	0	0	0	0	1

Como la iglesia de Chusmiza no posee ábside, se agregó un nuevo macroelemento para poder evaluar su muro posterior. Este muro tiene características similares al muro de la fachada, por lo que este nuevo macroelemento posee los mismos mecanismos, fichas de evaluación y peso ( $\rho_k$ ) que el macroelemento correspondiente a la fachada.

A continuación, se llenarán las fichas de evaluación de los diferentes mecanismos presentes en los macroelementos de las iglesias. Para esto, se utilizarán las guías para determinar el grado de eficacia de los elementos de protección sísmica y el nivel de gravedad de los indicadores de vulnerabilidad que se encuentran en Lagomarsino (2004).

Se aplicará este nivel de evaluación a las iglesias en su condición previa al 2005 para analizar la capacidad de predicción del LV1 frente al terremoto del 2005 y su utilidad como herramienta utilizable a escala territorial.

### 5.3.1 Aplicación del LV1 a iglesia de Chusmiza

En el caso de la iglesia de Chusmiza, también se aplicará el LV1 a su condición actual para poder estudiar el nivel de vulnerabilidad sísmica que posee. La diferencia entre ambas condiciones radica principalmente en que en la condición actual el estado de conservación ha empeorado y hay mayor presencia de grietas producto de los sismos del 2005 y 2014.

Como se mencionó anteriormente, a esta iglesia se agregó como macroelemento el muro posterior, al cual están asociados los siguientes mecanismos:

- M29: Volteo del muro posterior.
- M30: Mecanismos en la parte superior del muro posterior.
- M31: Mecanismos en el plano del muro posterior.

No se tiene información detallada sobre cómo se encontraba la estructura antes del terremoto del 2005.

Como a la capilla de Chusmiza se aplicará el LV1 en dos estados temporales, a diferencia con las otras cuatro iglesias que solo se evalúan en un estado temporal, se describirá con más detalle la aplicación de este nivel de evaluación.

#### 5.3.1.1 Fachada

La fachada es de adobe con aparejo de soga, de 0.42 metros de espesor, con cimentación de mampostería de piedra. Actualmente presenta un gran daño debido a los terremotos del 2005 y 2014, lo que se refleja en que la fachada posee una deficiente conexión con los muros laterales, daño por capacidad última y agrietamiento en los vanos. No hay presencia de refuerzos que hayan sido colocados en años anteriores.

La fachada se encuentra verticalmente arriostrada en ambos extremos por los muros laterales. Existe una continuación de estos muros, que se proyectan unos 0.420 [m] hacia fuera de la fachada. Luego de los terremotos disminuyó esa capacidad de arriostramiento debido a las grietas estructurales verticales que se generaron entre la fachada y los muros laterales. La presencia de estas grietas demuestra que la calidad de la conexión entre muros fue insuficiente.

Se observa que hay grietas diagonales en la parte superior de la fachada, a ambos lados, posiblemente debido a esfuerzos de corte.



Figura 5.1: Fachada de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PRS, 2017.

La fachada contiene dos vanos, la entrada y una ventana, ambos ubicados en el centro de la fachada, con un ancho de 1.4 [m] y 0.43 [m] respectivamente. En ambos vanos se presentaron desprendimientos en ambos costados de la parte central.

### Llenado de la ficha del Mecanismo 1: Volteo de la Fachada

#### *Protección sísmica:*

- No hay presencia de cadenas longitudinales paralelas a los muros laterales.
- No hay contrafuertes, pero sí cuerpos adosados que corresponden a la continuación de los muros que se proyecta 420 [mm] hacia fuera de la fachada. Sin embargo, según la NTM 002, los arriostramientos verticales deben tener una longitud libre mayor o igual a 3 veces el espesor del muro, cosa que en este caso no se cumple.
- En el estado actual de la iglesia ya no existe una buena conexión entre la fachada y los muros laterales (eficacia = 0), pero se puede asumir que antes sí existía, solo que de poca efectividad (eficacia = 1).

#### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- Las vigas maestras de la techumbre ejercen empujes en la fachada, pero de baja intensidad debido a que la cubierta es liviana.

- No hay presencia de vanos en las paredes laterales.

### **Llenado de la ficha del Mecanismo 2:**

#### *Protección sísmica:*

- No existe una buena conexión entre el sistema de techumbre y los muros.
- No hay mucha información sobre la techumbre, pero se asumirá que no hay tabloncillos cruzados.
- La viga que está sobre la fachada es de madera y no tiene una buena conexión con la fachada.

#### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- Existe un vano en la parte superior de la fachada. Según la NTM 002, los vanos no deberán tener un ancho superior a 2,5 veces el espesor del muro. El vano tiene un ancho de 430 [mm], por lo que cumple con el requerimiento y no se considerará como un vano grande.
- No hay presencia de parapeto.
- La viga de amarre no es rígida ni de gran tamaño, no hay vigas maestras de hormigón armado y la cubierta es liviana (gravedad=0). Según Lagomarsino (2004), uno de los parámetros para evaluar la deficiencia constructiva en este indicador es la calidad de la mampostería, y dado que en la condición actual los muros de la iglesia han perdido su calidad, este indicador tiene gravedad=1 en la condición actual.

### **Llenado de la ficha del Mecanismo 3:**

#### *Protección sísmica:*

- No hay presencia de refuerzos paralelos a la pared de la fachada.
- No hay contrafuertes, edificios o cuerpos adosados que impidan total o parcialmente el volteo de los muros laterales ni consecuentemente el mecanismo en el plano de la fachada.

#### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- El ancho del vano de la entrada sobrepasa el ancho máximo estipulado por la NTM 002, que es de 2.5 veces el espesor del muro, lo que corresponde a 1.05 [m] en este caso, mientras que la entrada mide 1.4 [m] de ancho (3.33 veces el espesor del muro). Por otro lado, como la ventana se encuentra arriba de la entrada, hay una baja relación de espacio sólido versus espacio hueco, pues si se dibuja una línea vertical al centro de la fachada, ésta contaría con 0.3 [m] de espacio sólido y 2.95 [m] de espacio hueco. En cuanto a la cantidad de aberturas, se cumple con el límite de dos aberturas para iglesias de un piso.  
La esbeltez, espesor/altura según Lagomarsino (2004), debe ser menor a 0.1 para considerarse vulnerable, cosa que no ocurre pues la esbeltez es igual a  $420/3250=0.13$ . Tampoco se sobrepasa el límite de esbeltez establecida por la NTM 002; altura/espesor

menor o igual a 8. Por la pérdida de calidad de la mampostería, en la condición actual se tiene gravedad=1.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la fachada:

Tabla 5.7: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Chusmiza.

<b>M1: Volteo de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tensores longitudinales	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otro edf.)	0	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trabas de buena calidad entre la fachada y los muros de la nave	1		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos que causan empujes (bóvedas, arcos, viga maestra)	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos en las paredes laterales cerca de las esquinas	0		
<b>M2: Mecanismos en la parte superior de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones puntuales con los elementos de la techumbre	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostramiento del envigado de la techumbre	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vigas de amarre livianas (metálicas reticulares, mampostería armada, otro)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos (ej. rosetón)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un parapeto de grandes dimensiones y peso	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Viga de amarre rígida, viga maestra de c.a., cubierta pesada en c.a.	0		
<b>M3- Mecanismos en el plano de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un refuerzo paralelo al muro frontal	0	0	2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Contraste lateral dado por cuerpos adosados, iglesia inserta en un agregado	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de vanos de grandes dimensiones o en gran cantidad	2	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Esbeltez elevada (relación altura/espesor)	0		

### 5.3.1.2 Nave

Los muros laterales de la iglesia poseen similares características con el muro de la fachada en cuanto a materialidad, aparejo, espesor y cimientos. La altura de los muros varía entre 1.77 [m] y 2.06 [m]. No poseen vanos. No existe solera superior.

En la actualidad se presenta un gran daño debido a los terremotos del 2005 y 2014. Los muros poseen una deficiente conexión entre sí, están en malas condiciones y presentan daño por capacidad última del material (PRS. 2017).

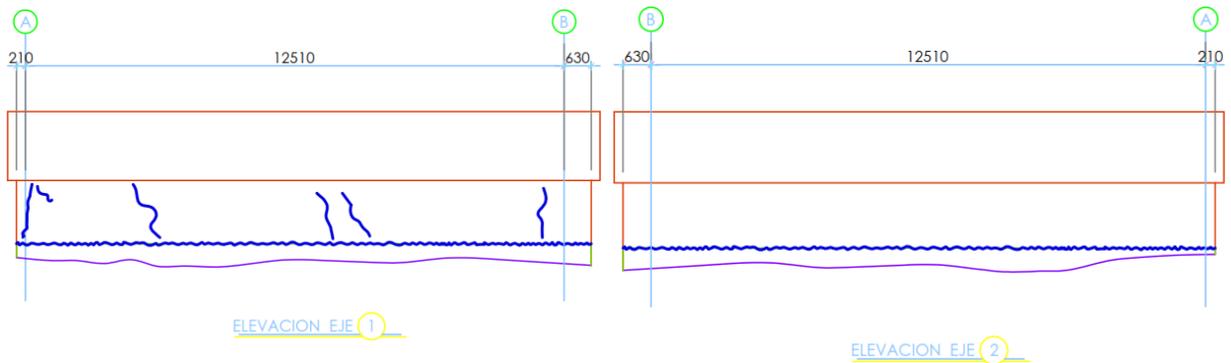


Figura 5.2: Muros laterales de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PRS, 2017.

### Llenado de la ficha del Mecanismo 5:

#### *Protección sísmica:*

- No hay contrafuertes externos.
- No hay presencia de cuerpos adyacentes.
- No hay tirantes paralelos a la fachada, y el sistema de techumbre no está atirantado.

#### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- La esbeltez, espesor/altura según (Lagomarsino S., 2004), debe ser menor a 0.1 para considerarse vulnerable, cosa que no ocurre pues la esbeltez es igual a  $420/2060=0.204$ . Tampoco se sobrepasa el límite de esbeltez establecida por la NTM 002; altura/espesor menor o igual a 8. El espesor de los muros es mayor a 0.4 [m]. Por la pérdida de calidad de la mampostería, en la condición actual se tiene gravedad=1.
- No existen arcos o bóvedas.

### Llenado de la ficha del Mecanismo 6:

#### *Protección sísmica:*

- Se asumirá que solo hubo una fase de construcción, pero la albañilería no es de tan buena calidad.
- No hay presencia de aberturas.
- No existe una solera superior.

#### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- No hay presencia de aberturas ni zonas con espesor reducido.
- No existe una solera superior.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la nave:

Tabla 5.8: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Chusmiza.

<b>M5: Respuesta transversal de la nave</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de contrafuertes externos que eviten la rotación de los muros	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un cuerpo adyacente	0	0	0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes paralelos a la fachada	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de muros de gran esbeltez	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arcos y bóvedas	0		
<b>M6: Mecanismos de corte en muros laterales</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (solo en caso de construcción) y de buena calidad	1		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	1	-1
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento ligero (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas o mampostería de espesor reducido	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento rígido (c.a.) cubierta pesada en c.a.	0		

### 5.3.1.3 Techumbre

La estructura de techo original se removió en una fecha desconocida. La estructura actual es a dos aguas con sistema de par y nudillo de madera, y su cubierta es de zinc. Su estado es en mala condición debido a que no existe una buena conexión entre el sistema de techumbre y los muros.

#### Llenado de la ficha del Mecanismo 19:

##### *Protección sísmica:*

- No hay presencia de solera superior ni bordes ligeros.
- Los puntales están conectados a los muros, pero la conexión no es buena.
- No hay presencia de elementos cruzados o tirantes metálicos.
- Existe una mala conexión entre el sistema de techumbre y los muros.

##### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- La cubierta genera empuje estático debido a que la techumbre no posee un sistema atirantado, pero no es muy grande debido a que la cubierta es liviana.
- No hay borde rígido y la cobertura no es pesada. Por la pérdida de calidad de la mampostería, en la condición actual se tiene gravedad=1.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la techumbre:

Tabla 5.9: Ficha de evaluación de los mecanismos de la techumbre de la iglesia de Chusmiza.

M19: Elementos de la techumbre: nave					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0	0	1
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones de la viga a la mampostería	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	0		

### 5.3.1.4 Muro posterior

Este macroelemento se agregó debido a que la iglesia de Chusmiza no posee ábside, por lo que la evaluación de la parte posterior de la iglesia no está contenida dentro de los macroelementos convencionales.

La principal diferencia entre el muro posterior y la fachada es que el primero no posee la abertura de la entrada. Como ambos muros son muy similares, se evaluará el muro posterior con el mismo criterio que para la fachada.

El espesor del muro es de 0.42 [m] y su altura máxima es de aproximadamente 3 [m].

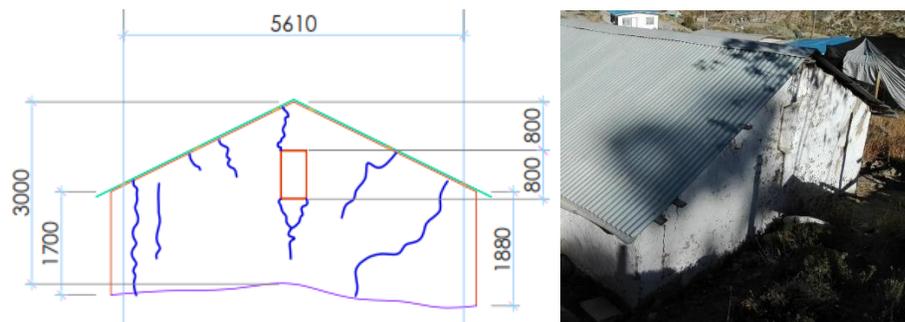


Figura 5.3: Muro posterior de la iglesia de Chusmiza. Fuente: PRS, 2017.

Se presenta un gran daño debido a los terremotos del 2005 y 2014. El muro posee una deficiente conexión entre sí, daño por capacidad última y agrietamiento en el vano. No hay presencia de refuerzos que hayan sido colocados en años anteriores.

Este muro se encuentra verticalmente arriostrado en ambos extremos por los muros laterales. Luego de los terremotos disminuyó la capacidad de arriostramiento debido a las grietas estructurales verticales que se generaron entre el muro posterior y uno de los muros laterales. La presencia de estas grietas demuestra que la calidad de la conexión entre muros fue insuficiente.

Se observa que a ambos lados de la parte superior del muro hay grietas diagonales, posiblemente generadas a partir de esfuerzos de corte.

### **Llenado de la ficha del Mecanismo 29:**

#### *Protección sísmica:*

- No hay presencia de cadenas longitudinales paralelas a los muros laterales.
- No hay contrafuertes.
- En el estado actual de la iglesia ya no existe una buena conexión entre el muro posterior y los muros laterales (eficacia = 0), pero se puede asumir que antes sí existía, solo que de poca efectividad (eficacia = 1).

#### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- Las vigas maestras de la techumbre ejercen empujes en la fachada, pero de baja intensidad debido a que la cubierta es liviana.
- No hay presencia de vanos en las paredes laterales.

### **Llenado de la ficha del Mecanismo 30:**

#### *Protección sísmica:*

- No existe una buena conexión entre el sistema de techumbre y los muros.
- No hay mucha información sobre la techumbre, pero se asumirá que no hay tablonces cruzados.
- La viga que está sobre la fachada es de madera y no tiene una buena conexión con la fachada.

#### *Indicadores de vulnerabilidad:*

- Existe un vano en la parte superior del muro. Según la NTM 002, los vanos no deberán tener un ancho superior a 2,5 veces el espesor del muro. El vano tiene un ancho de 430 [mm], por lo que cumple con el requerimiento y no se considerará como un vano grande.
- No hay presencia de parapeto.
- La viga de amarre no es rígida ni de gran tamaño, no hay vigas maestras de hormigón armado y la cubierta es liviana. Por la pérdida de calidad de la mampostería, en la condición actual se tiene gravedad=1.

## Llenado de la ficha del Mecanismo 31:

### Protección sísmica:

- No hay presencia de refuerzos paralelos a la pared de la fachada.
- No hay contrafuertes, edificios o cuerpos adosados que impidan total o parcialmente el volteo de los muros laterales ni consecuentemente el mecanismo en el plano de la fachada.

### Indicadores de vulnerabilidad:

- Solo hay un vano, y no es de grandes dimensiones.
- La esbeltez, espesor/altura según (Lagomarsino S., 2004), debe ser menor a 0.1 para considerarse vulnerable, cosa que no ocurre pues la esbeltez es igual a  $420/3000=0.14$ . Tampoco se sobrepasa el límite de esbeltez establecida por la NTM 002; altura/espesor menor o igual a 8. Por la pérdida de calidad de la mampostería, en la condición actual se tiene gravedad=1. Por la pérdida de calidad de la mampostería, en la condición actual se tiene gravedad=1.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del muro posterior:

Tabla 5.10: Ficha de evaluación de los mecanismos del muro posterior de la iglesia de Chusmiza.

<b>M29: Volteo del muro posterior</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tensores longitudinales	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	0	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trabas de buena calidad entre la fachada y los muros de la nave	1		0
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos que causan empujes (bóvedas, arcos, viga maestra)	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos en las paredes laterales cerca de las esquinas	0		
<b>M30: Mecanismos en la parte superior del muro posterior</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones puntuales con los elementos de la techumbre	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostramiento del envigado de la techumbre	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vigas de amarre livianas (metálicas reticulares, mampostería armada, otro)	0		0
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos (ej. rosetón)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un parapeto de grandes dimensiones y peso	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Viga de amarre rígida, viga maestra de c.a., cubierta pesada en c.a.	0		
<b>M31: Mecanismos en el plano del muro posterior</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un refuerzo paralelo al muro frontal	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Contraste lateral dado por cuerpos adosados, iglesia inserta en un agregado	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vanos de grandes dimensiones o en gran cantidad (incluso tapeados)	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Esbeltez elevada (relación altura/espesor)	0		

### 5.3.1.5 Índice de Vulnerabilidad LV1

Tabla 5.11: Resultados de la aplicación del LV1 a la iglesia de Chusmiza, antes del terremoto del 2005 y en la actualidad.

Mecanismo de colapso			Antes del terremoto del 2005			2021		
N°	Mecanismo de daño	pk	vkp	vki	vki-vkp	vkp	vki	vki-vkp
M1	Volteo de la fachada	1	1	1	0	0	1	1
M2	Mecanismos en la parte superior de la fachada	1	0	0	0	0	1	1
M3	Mecanismos en el plano de la fachada	1	0	2	2	0	2	2
M5	Respuesta transversal de la nave	1	0	0	0	0	1	1
M6	Mecanismos de corte en muros laterales	1	1	0	-1	0	0	0
M19	Elementos de la techumbre: nave	1	0	1	1	0	2	2
M29	Volteo del muro posterior	1	1	1	0	0	1	1
M30	Mec. en la parte superior del muro posterior	1	0	0	0	0	1	1
M31	Mecanismos en el plano del muro posterior	1	0	0	0	0	1	1
<b>Índice de Vulnerabilidad <math>I_v</math></b>			<b>0.537</b>			<b>0.685</b>		

Como el método LV1 evalúa la vulnerabilidad sísmica de un inmueble, no considera de manera directa las amenazas contempladas en el método LV0, que evalúa el riesgo sísmico.

Esto se ve reflejado en que la construcción del muro aluvial y las discrepancias existentes en la comunidad con respecto a conservar la capilla original no generan una diferencia entre los resultados en la condición previa al terremoto del 2005 y en la condición actual al momento de aplicar el LV1, como sí se generan al momento de aplicar el LV0.

La vulnerabilidad de la capilla de Chusmiza aumentó luego de los terremotos, debido principalmente a la disminución de la calidad de la conexión entre muros producida por los daños y la falta de mantención.

Los mecanismos más vulnerables en ambas condiciones son: Mecanismos en el plano de la fachada (M3) y Elementos de la techumbre: nave (M19).

En la condición actual, en todos los mecanismos, excepto el de corte en muros laterales (M6), la resta entre los puntajes de indicadores de vulnerabilidad y protección ( $v_{ki} - v_{kp}$ ) es mayor a 0, por lo que podrían tener una vulnerabilidad importante.

### 5.3.2 Aplicación del LV1 a iglesia de Laonzana

Se describirá esta iglesia en su condición previa al terremoto del 2005.

La iglesia de Laonzana posee muros de adobe y contrafuertes de mampostería de piedra asentada en barro a los costados de la nave central y en las esquinas del ábside. Está conformada por una nave única, un ábside, un transepto que aloja una capilla y una sacristía, un cuerpo anexo que corresponde a una bodega y una torre campanario junto al lado izquierdo de la fachada.

#### 5.3.2.1 Fachada

La parte superior de la fachada es de madera, por lo que no hay continuidad de material en la fachada. El espesor del muro es de 1 metro, y su altura es de 4,25 metros aprox.



Figura 5.4: Fachada de la iglesia de Laonzana. Fuente: CMN, (s.f.-c)

No hay presencia de tensores longitudinales paralelos a los muros laterales. La fachada posee contrafuertes en los costados, pero no fuera del plano, por lo que no hay contrafuertes que puedan evitar el volteo de la fachada. La presencia de un coro alto de madera genera empujes en la fachada.

La parte superior de la fachada posee un vano, pero es pequeño y no genera problemas estructurales significativos en esta sección de la fachada por ser de madera.

A ambos costados de la fachada hay elementos de contraste que cumplen con el grosor requerido, pero cuya altura es al rededor de un 25% menor que la altura del muro de la fachada. El elemento de contraste del lado derecho no está bien conectado con la fachada, lo que puede generar problemas de corte, por lo que no representa un contraste eficiente. El muro de la fachada es de los que está en mejores condiciones entre los muros de la iglesia, debido al que ha habido un mayor mantenimiento del revoque por ser la cara más visible de este inmueble.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la fachada:

Tabla 5.12: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Laonzana.

<b>M1: Volteo de la fachada</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tensores longitudinales	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabas de buena calidad entre la fachada y los muros de la nave	0		1
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos que causan empujes (bóvedas, arcos, viga maestra)	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos en las paredes laterales cerca de las esquinas	0		
<b>M2: Mecanismos en la parte superior de la fachada</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones puntuales con los elementos de la techumbre	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostramiento del envigado de la techumbre	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vigas de amarre livianas (metálicas reticulares, mampostería armada, otro)	0		0
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos (ej. rosetón)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un parapeto de grandes dimensiones y peso	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Viga de amarre rígida, viga maestra de c.a., cubierta pesada en c.a.	0		
<b>M3: Mecanismos en el plano de la fachada</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un refuerzo paralelo al muro frontal	0	0	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Contraste lateral dado por cuerpos adosados, iglesia inserta en un agregado	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vanos de grandes dimensiones o en gran cantidad	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Esbeltez elevada (relación altura/espesor)	0		

### 5.3.2.2 Nave

El espesor de los muros es de 1 metro, y su altura es de 4,47 metros aproximadamente. La nave posee contrafuertes de mampostería en ambos muros longitudinales.

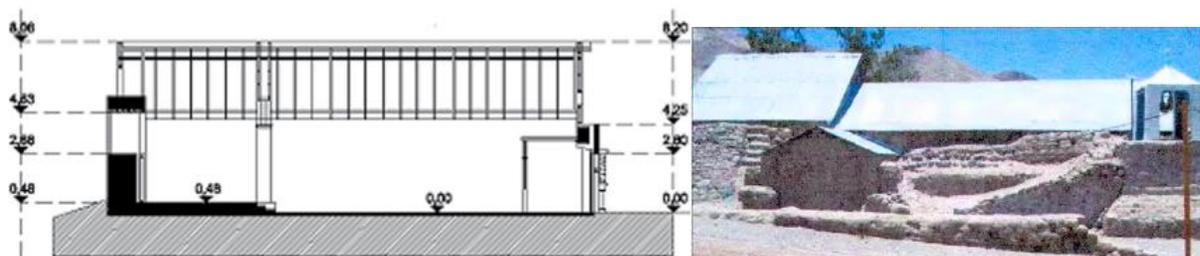


Figura 5.5: Nave de la iglesia de Laonzana.

Los contrafuertes son bastante gruesos y de una altura similar a la de los muros, pero han perdido calidad con el tiempo. El contrafuerte del muro poniente está en mejores condiciones que el del lado oriente.

No hay aberturas en los muros laterales. La calidad de la albañilería ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo, debido a los daños percibidos por sismos anteriores y a la falta de mantenimiento, lo que, según (Lagomarsino, S. 2004), aumenta la gravedad del segundo indicador de vulnerabilidad del mecanismo de corte en los muros laterales.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la nave:

Tabla 5.13: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Laonzana.

<b>M5: Respuesta transversal de la nave</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de contrafuertes externos que eviten la rotación de los muros	2		-2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un cuerpo adyacente	0	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes paralelos a la fachada	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de muros de gran esbeltez	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arcos y bóvedas	0		
<b>M6: Mecanismos de corte en muros laterales</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (solo en caso de construcción) y de buena calidad	0		1
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento ligero (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas o mampostería de espesor reducido	0	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento rígido (c.a.) cubierta pesada en c.a.	1		

### 5.3.2.3 Transepto

Hay presencia de contrafuertes junto a los muros laterales del transepto, pero algunos no cumplen con las dimensiones requeridas y se han ido disgregando con el tiempo. El cuerpo anexo junto a la sacristía sirve de contraste para esta parte del transepto. Las fachadas del transepto no poseen contrafuertes eficientes que impidan su volteo. La cubierta es liviana, pero al no estar atirantada genera empujes moderados que propician el volteo de los muros laterales del transepto. No hay presencia de bordes rígidos, pero el desprendimiento de algunas partes de la zona superior de la fachada evidencia que la calidad de la mampostería es deficiente.

Con esta información se procede llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del transepto:

Tabla 5.14: Ficha de evaluación de los mecanismos del transepto de la iglesia de Laonzana.

<b>M10: Volteo de los muros del transepto</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes longitudinales	0		1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	1		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena conexión con la cubierta (refuerzo perimetral)	0	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena calidad en la unión entre el muro frontal y los laterales	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, vigas en c.a., cubierta pesada	2		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas en el muro frontal (roseta) y/o en los muros laterales	0	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una vela de gran tamaño y peso	0		
<b>M11: Mecanismo de corte en el transepto</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		1
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	1		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	0	1	

### 5.3.2.4 Ábside

El ábside posee contrafuertes en el costado norte y en las esquinas. Se encuentra a un nivel superior al de la nave, con una diferencia de 48 centímetros.



Figura 5.6: Parte posterior de la iglesia de Laonzana. Fuente: CMN, (s.f.-c)

Los contrafuertes son bastante gruesos y altos. Éstos han perdido algo de su calidad por el paso del tiempo, sobre todo en la zona cercana al transepto. Hay un cuerpo anexo en el costado que no tiene contrafuerte. El muro posterior, hasta cierta altura, posee un espesor significativamente mayor que el resto de los muros. Estas características hacen que el contraste sea efectivo. La cubierta es

liviana, pero al no estar atirantada genera empujes moderados que propician el volteo de los muros laterales del ábside.

Los muros del ábside se conservan de mejor forma debido a la protección contra la erosión que les han brindado los contrafuertes, por lo que la presencia de una abertura en el muro sur poniente no representa un fuerte debilitamiento. En el muro posterior de la iglesia hay dos aberturas en una misma línea vertical.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del ábside:

Tabla 5.15: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Laonzana.

<b>M16: Volteo del ábside</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzo en el contorno (semicircular, poligonal y rectangular)	0		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, cuerpos adyacentes, otros)	3	3	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de cubierta de contrapeso, sin empuje	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	<b>-2</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en muros	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bóvedas empujando	0	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Borde rígido, cubierta pesada, vigas de techo de c.a.	1		
<b>M17: Mecanismo de corte en el ábside</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	1		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenos arquivoltas en las aberturas	0	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	0	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	1		

### 5.3.2.5 Techumbre

El sistema de techumbre corresponde a una estructura de madera aserrada a dos aguas con cubierta de planchas de zinc onduladas. Cada macroelemento posee su techumbre separada de los otros techos.

En general, por la falta de mantención no se puede asegurar una buena conexión entre las partes de la techumbre. La techumbre genera empujes estáticos debido a que no se encuentra atirantada, pero no son de alto grado debido a que la cubierta es liviana.

Con esta información, y como toda la techumbre posee características similares, se procede a llenar una sola ficha de evaluación con los tres mecanismos de la techumbre:

Tabla 5.16: Ficha de evaluación de los tres mecanismos de la techumbre de la iglesia de Laonzana.

<b>M19, M20 y M21: Elementos de la techumbre</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones de la viga a la mampostería	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	1		

### 5.3.2.6 Capillas y cuerpos anexos

El cuerpo anexo que no forma parte del transepto corresponde a una bodega. Se encuentra junto al ábside y la sacristía. Presenta una abertura en la esquina sur, en el muro sur poniente, que corresponde a una entrada al recinto desde el exterior.

La bodega posee contrastes por un contrafuerte y la sacristía. Hay abertura en una esquina, que por su posición genera un fuerte debilitamiento.

La calidad de la albañilería ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo, debido a los daños percibidos por sismos anteriores y a la falta de mantenimiento, lo que, según (Lagomarsino, S. 2004), aumenta la gravedad del primer indicador de vulnerabilidad del mecanismo de corte en las capillas.

En cuanto a las interacciones por irregularidad planimétrica, se generan debido a que la capilla, la sacristía y la bodega poseen menor altura y grosor de muro que la nave principal, por lo que hay una elevada diferencia de rigidez entre los cuerpos. No se tiene información sobre elementos de enlace que generen acciones concentradas.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos:

Tabla 5.17: Ficha de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos de la iglesia de Laonzana.

<b>M22: Volteo de las capillas</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, edificios contiguos)	1		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes y refuerzos en el perímetro	0	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena calidad en la unión entre el muro frontal y laterales	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en los muros	3	3	

<b>M23: Mecanismos de corte en las capillas</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenos arquitrabes en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	1	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	2		
<b>M25: Interacciones por irregularidad planimétrica</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una conexión adecuada entre mampostería de diferentes fases	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzos horizontales de conexión	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de una elevada diferencia de rigidez entre los dos cuerpos	3	3	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Posibilidad de acciones concentradas transmitidas por el elemento de enlace	0		

### 5.3.2.7 Volúmenes exteriores

La torre campanario está conformada sobre el contrafuerte del lado nororiente de la fachada, a la cual se encuentra adosada. Su base es de mampostería de piedra asentada en barro, con revoque de barro blanqueado en la cara de la fachada. El campanario es de madera con planchas de zinc. Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores:

Tabla 5.18: Ficha de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores de la iglesia de Laonzana.

<b>M27: Torres</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzos horizontales a diferentes alturas	0	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una distancia adecuada de los muros de la iglesia (si es adyacente)	0		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de buena conexión con los muros de la iglesia (si están incrustadas)	1		0
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de aberturas significativas en múltiples niveles	0		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Restricción asimétrica en las paredes de la base (torre incorporada)	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Apoyo irregular de la torre con el suelo (presencia de arcos en algunos lados)	0		
<b>M28: Campanarios</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de pilares rígidos y/o arcos de luz reducida	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzo metálico	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una cobertura pesada u otras masas significativas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de empuje estático de la cobertura	0		

### 5.3.2.8 Índice de Vulnerabilidad LV1

A continuación, se resumen los indicadores de protección y vulnerabilidad obtenidos a partir del llenado de las fichas de evaluación de los mecanismos presentes en la iglesia de Laonzana, y se determina su índice de vulnerabilidad.

Tabla 5.19: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Laonzana.

Mecanismo de colapso			Indicadores de protección y vulnerabilidad sísmica		
N°	Mecanismo de daño	pk	vkp	vki	vki-vkp
M1	Volteo de la fachada	1	0	1	1
M2	Mecanismos en la parte superior de la fachada	1	0	0	0
M3	Mecanismos en el plano de la fachada	1	0	0	0
M5	Respuesta transversal de la nave	1	2	0	-2
M6	Mecanismos de corte en muros laterales	1	0	1	1
M10	Volteo de los muros del transepto	0.9	1	2	1
M11	Mecanismo de corte en el transepto	0.9	0	1	1
M16	Volteo del ábside	1	3	1	-2
M17	Mecanismo de corte en el ábside	1	1	1	0
M19	Elementos de la techumbre: nave	1	0	2	2
M20	Elementos de la techumbre: transepto	0.9	0	2	2
M21	Elementos de la techumbre: ábside	1	0	2	2
M22	Volteo de las capillas	0.9	1	3	2
M23	Mecanismos de corte en las capillas	0.9	0	2	2
M25	Interacciones por irregularidad planimétrica	0.9	0	3	3
M27	Torres	1	1	1	0
M28	Campanarios	1	0	0	0
<b>Índice de Vulnerabilidad <math>i_v</math></b>			<b>0.621</b>		
<b><math>a_{SLV} S</math> (g)</b>			<b>0.143</b>		
<b><math>a_{SLD} S</math> (g)</b>			<b>0.036</b>		

Se observa que los mecanismos más vulnerables son los asociados a los macroelementos de:

- Techumbre (M19, M20 y M21): Debido a la mala conexión entre los muros y la techumbre, al empuje moderado que causa el sistema de la techumbre por no ser atirantado y a la deficiente calidad de los muros de la iglesia. Esta situación se repite en mayor o menor grado en las iglesias de Huaviña, Sibaya y Usmagama.
- Cuerpos Anexos (M22, M23 y M25): M22 y M23 debido a la abertura en la esquina de la bodega y a la disminución en la calidad de la mampostería. M25 debido a la diferencia de rigidez entre los macroelementos centrales (nave y ábside) y los macroelementos laterales (transepto y bodega).

Los mecanismos menos vulnerables son la Respuesta transversal de la nave (M5) y el Volteo del ábside (M16), los que deben su baja vulnerabilidad a la presencia de contrafuertes efectivos.

### 5.3.3 Aplicación del LV1 a iglesia de Huaviña

Se describirá esta iglesia en su condición previa al terremoto del 2005.

La iglesia de Huaviña posee muros de adobe y contrafuertes de mampostería de piedra en la fachada. Está conformada por una nave única, un ábside, un transepto que aloja dos capillas, un cuerpo anexo que corresponde a una sacristía y una torre campanario junto al lado derecho de la fachada.

#### 5.3.3.1 Fachada

La fachada, al igual que los otros muros de la iglesia, es de adobe. El espesor del muro es de 1 metro, y la abertura de la entrada mide al rededor de 2.5 metros de ancho. En las modificaciones sufridas a lo largo de su historia, se han quitado hiladas de adobe de la fachada y cambiado la parte superior de madera por una nueva estructura de madera.



Figura 5.7: Fachada de la iglesia de Huaviña luego del sismo del 2005 (Jorge Tuna. s.f.).

La fachada posee contrafuertes a ambos lados de la entrada, pero su espesor es menor al del muro de la fachada, por lo que no constituye un elemento de contraste totalmente eficiente. La presencia de un coro alto de madera genera empujes en la fachada. En la Figura 5.7 se pueden apreciar vigas de madera perpendiculares a la fachada que se asoman tras la caída de los contrafuertes de la fachada, las que pueden conformar una solera que represente un tirante longitudinal.

La parte superior de la fachada posee un vano, pero es pequeño y no genera problemas estructurales significativos en esta sección de la fachada por ser de madera.

No hay un contrafuerte efectivo al costado izquierdo de la fachada. Junto al costado derecho hay una torre campanario que no está conectado a la fachada, no conforman una estructura continua, por lo que no hay un contraste lateral eficiente. El muro de adobe de la fachada sólo posee una abertura, pero su ancho supera levemente el límite de 2.5 veces el espesor del muro. La albañilería

de la fachada no posee una excelente calidad debido al transcurso del tiempo, daños percibidos en sismos anteriores y a que ha habido periodos donde no ha tenido un revoque que proteja al adobe.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la fachada:

Tabla 5.20: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Huaviña.

<b>M1: Volteo de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de tensores longitudinales	1		-1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	1	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Trabas de buena calidad entre la fachada y los muros de la nave	1		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos que causan empujes (bóvedas, arcos, viga maestra)	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos en las paredes laterales cerca de las esquinas	0		
<b>M2: Mecanismos en la parte superior de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones puntuales con los elementos de la techumbre	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostramiento del envigado de la techumbre	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vigas de amarre livianas (metálicas reticulares, mampostería armada, otro)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos (ej. rosetón)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un parapeto de grandes dimensiones y peso	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Viga de amarre rígida, viga maestra de c.a., cubierta pesada en c.a.	0		
<b>M3: Mecanismos en el plano de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un refuerzo paralelo al muro frontal	0	0	2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Contraste lateral dado por cuerpos adosados, iglesia inserta en un agregado	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de vanos de grandes dimensiones o en gran cantidad	1	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Esbeltez elevada (relación altura/espesor)	1		

### 5.3.3.2 Nave

La nave de esta iglesia está conformada por muros de adobe de un metro de espesor. No hay contrafuertes en los costados de la nave.

La nave central presenta varias aberturas debido a la presencia de nichos en ambos muros y una entrada en el muro sur oriente.



Figura 5.8: Interior de la iglesia de Huaviña. Fuente: Archivo Fotográfico Roberto Montandón.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la nave:

Tabla 5.21: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Huaviña.

<b>M5: Respuesta transversal de la nave</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de contrafuertes externos que eviten la rotación de los muros	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un cuerpo adyacente	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes paralelos a la fachada	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de muros de gran esbeltez	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arcos y bóvedas	0		
<b>M6: Mecanismos de corte en muros laterales</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (solo en caso de construcción) y de buena calidad	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento ligero (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas o mampostería de espesor reducido	2	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento rígido (c.a.) cubierta pesada en c.a.	0		

### 5.3.3.3 Transepto

El transepto alberga dos capillas, las que se encuentran a un nivel bastante inferior que la nave central.

Junto a la capilla norte se encuentra un cuerpo adyacente que corresponde a la sacristía. No hay más elementos de contraste, por lo que no se genera una protección sísmica eficaz. La cubierta es liviana, pero al no estar atirantada genera empujes moderados que propician el volteo de los muros laterales del transepto. En el muro norte de la capilla sur hay una abertura que se encuentra dentro de la línea de la cuña de 45° asociada al volteo de la fachada.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del transepto:

Tabla 5.22: Ficha de evaluación de los mecanismos del transepto de la iglesia de Huaviña.

<b>M10: Volteo de los muros del transepto</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes longitudinales	0		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena conexión con la cubierta (refuerzo perimetral)	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena calidad en la unión entre el muro frontal y los laterales	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, vigas en c.a., cubierta pesada	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas en el muro frontal (roseta) y/o en los muros laterales	1	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una vela de gran tamaño y peso	0		
<b>M11: Mecanismo de corte en el transepto</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		0
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	0	0	

### 5.3.3.4 Ábside

El ábside se encuentra a un nivel levemente superior a la nave central. En el costado norponiente hay un cuerpo anexo que corresponde a una sacristía.



Figura 5.9: Interior de la iglesia de Huaviña luego del sismo del 2005 (Jorge Tuna. s.f.).

En el ábside no hay más elementos de contraste que la sacristía, por lo que no se genera una protección sísmica eficaz. En el muro sur del ábside hay una ventana y en el muro norte está la entrada a la sacristía, ambas aberturas se encuentran dentro de la línea de la cuña de 45° asociada al volteo del muro posterior de la iglesia. La cubierta es liviana, pero al no estar atirantada genera empujes moderados que propician el volteo de los muros laterales del ábside.

La calidad de la albañilería ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo, debido a los daños percibidos por sismos anteriores y a la falta de mantenimiento, lo que, según (Lagomarsino, S. 2004), aumenta la gravedad del primer indicador de vulnerabilidad del mecanismo de corte en el ábside.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del ábside:

Tabla 5.23: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Huaviña.

<b>M16: Volteo del ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzo en el contorno (semicircular, poligonal y rectangular)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, cuerpos adyacentes, otros)	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de cubierta de contrapeso, sin empuje	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en muros	2		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bóvedas empujando	0	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Borde rígido, cubierta pesada, vigas de techo de c.a.	1		
<b>M17: Mecanismo de corte en el ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenos arquitrabes en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Protección sísmica	Gravedad	vki	2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	1	2	

### 5.3.3.5 Techumbre

El sistema de techumbre corresponde a una estructura de madera aserrada a dos aguas con cubierta de planchas de zinc onduladas. Cada macroelemento posee su techumbre separada de los otros techos.

En general, por la falta de mantención no se puede asegurar una buena conexión entre las partes de la techumbre. La techumbre genera empujes estáticos debido a que no se encuentra atirantada, pero no son de alta gravedad debido a que la cubierta es liviana.

Con esta información, y como toda la techumbre posee características similares, se procede a llenar una sola ficha de evaluación con los tres mecanismos de la techumbre:

Tabla 5.24: Ficha de evaluación de los tres mecanismos de la techumbre de iglesia de Huaviña.

<b>M19, M20 y M21: Elementos de la techumbre</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones de la viga a la mampostería	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	1		

### 5.3.3.6 Capillas y cuerpos anexos

El cuerpo anexo corresponde a una sacristía que está en la esquina norte de la iglesia, junto a una capilla del transepto y el ábside.

No hay contrafuertes de mampostería de piedra junto a la sacristía que impida su volteo.

La calidad de la albañilería ha ido disminuyendo a lo largo del tiempo, debido a los daños percibidos por sismos anteriores y a la falta de mantenimiento, lo que, según (Lagomarsino, S. 2004), aumenta la gravedad del primer indicador de vulnerabilidad del mecanismo de corte en las capillas.

Se generan interacciones por irregularidad planimétrica debido a que las capillas y la bodega poseen menor altura y grosor de muro que la nave principal, por lo que hay una elevada diferencia de rigidez entre los cuerpos. Además, hay marcadas diferencias de nivel entre los cuerpos mencionados y la nave central, en cuya conexión se pueden generar acciones concentradas. También se pueden generar este tipo de acciones en la unión entre la sacristía y la capilla norte, debido a que los muros nororiente de estos cuerpos no están en línea.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos:

Tabla 5.25: Ficha de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos de la iglesia de Huaviña.

<b>M22: Volteo de las capillas</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, edificios contiguos)	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes y refuerzos en el perímetro	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena calidad en la unión entre el muro frontal y laterales	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en los muros	0	0	

<b>M23: Mecanismos de corte en las capillas</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		1
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenos arquivoltas en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	0		
<b>M25: Interacciones por irregularidad planimétrica</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una conexión adecuada entre mampostería de diferentes fases	0	0	3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzos horizontales de conexión	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de una elevada diferencia de rigidez entre los dos cuerpos	3	3	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Posibilidad de acciones concentradas transmitidas por el elemento de enlace	3		

### 5.3.3.7 Volúmenes exteriores

La iglesia posee una torre campanario en la esquina sur, la cual está al costado de la fachada, pero no está conectada a ella.

La calidad de la mampostería es buena, pero la torre no posee una distancia adecuada de los muros de la iglesia. En la cara nororiental de la torre hay una abertura que corresponde a la entrada, pero no es de grandes dimensiones, por lo que en general, la torre descarga su peso sobre porciones continuas de cimientos.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores.

Tabla 5.26: Ficha de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores de la iglesia de Huaviña.

<b>M27: Torres</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	2		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzos horizontales a diferentes alturas	0	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una distancia adecuada de los muros de la iglesia (si es adyacente)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buena conexión con los muros de la iglesia (si están incrustadas)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de aberturas significativas en múltiples niveles	0		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Restricción asimétrica en las paredes de la base (torre incorporada)	2	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Apoyo irregular de la torre con el suelo (presencia de arcos en algunos lados)	0		

M28: Campanarios					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de pilares rígidos y/o arcos de luz reducida	0	0	0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzo metálico	0	0	
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una cobertura pesada u otras masas significativas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de empuje estático de la cobertura	0	0	

### 5.3.3.8 Índice de Vulnerabilidad LV1

A continuación, se resumen los indicadores de protección y vulnerabilidad obtenidos a partir del llenado de las fichas de evaluación de los mecanismos presentes en la iglesia de Huaviña, y se determina su índice de vulnerabilidad.

Tabla 5.27: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Huaviña

Mecanismo de colapso			Indicadores de protección y vulnerabilidad sísmica		
N°	Mecanismo de daño	pk	vkp	vki	vki-vkp
M1	Volteo de la fachada	1	2	1	-1
M2	Mecanismos en la parte superior de la fachada	1	0	0	0
M3	Mecanismos en el plano de la fachada	1	0	2	2
M5	Respuesta transversal de la nave	1	0	0	0
M6	Mecanismos de corte en muros laterales	1	0	2	2
M10	Volteo de los muros del transepto	0.9	0	2	2
M11	Mecanismo de corte en el transepto	0.9	0	0	0
M16	Volteo del ábside	1	0	2	2
M17	Mecanismo de corte en el ábside	1	0	2	2
M19	Elementos de la techumbre: nave	1	0	2	2
M20	Elementos de la techumbre: transepto	0.9	0	2	2
M21	Elementos de la techumbre: ábside	1	1	2	2
M22	Volteo de las capillas	0.9	0	0	0
M23	Mecanismos de corte en las capillas	0.9	0	1	1
M25	Interacciones por irregularidad planimétrica	0.9	0	3	3
M27	Torres	1	2	2	0
M28	Campanarios	1	0	0	0
<b>Índice de Vulnerabilidad <math>I_v</math></b>			<b>0.685</b>		
<b><math>a_{SLV} S (g)</math></b>			<b>0.125</b>		
<b><math>a_{SLD} S (g)</math></b>			<b>0.032</b>		

Entre los mecanismos más vulnerables de la iglesia de Huaviña, coinciden con Laonzana los asociados a la techumbre y las interacciones por irregularidad planimétrica, por los mismos motivos que en el caso de Laonzana.

Los otros mecanismos más vulnerables son:

- En el plano de la fachada (M3): por el ancho del vano y la falta de contrastes eficientes a los costados de la fachada (la torre no está conectada).
- De corte en los muros laterales de la nave (M6): por la presencia de aberturas en ambos muros.
- Volteo de los muros en el transepto (M10): por la falta de elementos de contraste efectivos.
- Los asociados al ábside (M16 y M17): debido a que en ambos muros laterales hay aberturas.

El único mecanismo en el cual la vulnerabilidad puede ser más baja es el del volteo de la fachada, lo que se debe a la presencia de tensores longitudinales de madera y contrafuertes, ambos de poca efectividad. Entre todas las iglesias, la de Huaviña es la única con contrafuertes que tienen algún grado de efectividad al momento de evitar el volteo de la fachada, pues en las de Chusmiza y Laonzana no hay, y los contrafuertes de las de Sibaya y Usmagama han sido intervenidos de manera negativa o ineficiente.

El índice de vulnerabilidad  $i_v$  es elevado, pues su valor es 0.685 de un máximo de 1, lo que se condice con la gravedad de los daños sufridos por el terremoto del 2005.

### 5.3.4 Aplicación del LV1 a iglesia de Sibaya

Se describirá esta iglesia en su condición previa al terremoto del 2005.

La iglesia de Sibaya posee muros de mampostería de piedra y contrafuertes de hormigón armado enchapados en laja a ambos lados de la fachada. Está conformada por una nave única, un ábside, un transepto que aloja dos capillas, y una torre campanario de hormigón armado junto al lado derecho de la fachada. Hay un cuerpo anexo, pero no tiene techumbre y está abandonado, por lo que no se considerará como un macroelemento.

#### 5.3.4.1 Fachada

La fachada de la iglesia de Sibaya sufrió importantes intervenciones. El arco de la entrada es nuevo, posiblemente de hormigón armado; se añadió un recubrimiento a la fachada



Figura 5.10: Fachada de la iglesia de Sibaya.

La traba entre la fachada y los muros de la nave no es de buena calidad debido al daño acumulado por el paso del tiempo y los daños provocados por diferentes sismos y a las reparaciones que generaron alteraciones negativas en el sistema constructivo. El recubrimiento genera empujes dinámicos debido a que añade peso a la fachada.

La parte superior de la fachada posee un vano, pero es pequeño y no genera problemas estructurales significativos en esta sección de la fachada por ser de madera.

Como la Torre de hormigón que está al costado es de hormigón armado, posee rigidez más elevada que la del muro de la fachada, por lo que no representa un contraste lateral eficiente. La entrada es algo ancha, pero cumple con requisito de ser menor a 2,5 veces el espesor del muro, sin embargo, se pueden generar esfuerzos de corte debido a la interacción entre el arco de hormigón y el muro de mampostería. Debido a las alteraciones negativas ya mencionadas, la calidad de la mampostería es deficiente, lo que, según (Lagomarsino, S. 2004), aumenta la gravedad del segundo indicador de vulnerabilidad del mecanismo en el plano de la fachada.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la fachada:

Tabla 5.28: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Sibaya.

<b>M1: Volteo de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tensores longitudinales	0		3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabas de buena calidad entre la fachada y los muros de la nave	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos que causan empujes (bóvedas, arcos, viga maestra)	3	3	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos en las paredes laterales cerca de las esquinas	0		
<b>M2: Mecanismos en la parte superior de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones puntuales con los elementos de la techumbre	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostramiento del envigado de la techumbre	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vigas de amarre livianas (metálicas reticulares, mampostería armada, otro)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos (ej. rosetón)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un parapeto de grandes dimensiones y peso	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Viga de amarre rígida, viga maestra de c.a., cubierta pesada en c.a.	0		
<b>M3: Mecanismos en el plano de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un refuerzo paralelo al muro frontal	0		2
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Contraste lateral dado por cuerpos adosados, iglesia inserta en un agregado	0	0	
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de vanos de grandes dimensiones o en gran cantidad	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Esbeltez elevada (relación altura/espesor)	2	2	

### 5.3.4.2 Nave

Los muros de la nave poseen 1 metro de espesor y son de mampostería de piedra asentada en barro.



Figura 5.11: Muros laterales de la iglesia de Sibaya. Fuente: Ernesto Chambe, 2014.

Hay contrafuertes junto a los muros laterales, pero son de espesor muy reducido y baja altura, por lo que no son un contraste eficiente. Los muros laterales se encuentran en mal estado, debido a la falta de mantenimiento y de revoque, y que en algunas partes se ha desprendido parte de la zona superior del muro.

En algunas partes de la nave ha habido desprendimientos de la mampostería en la zona superior, por lo que su espesor se ha reducido y se evidencia la disminución en la calidad de los muros.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la nave:

Tabla 5.29: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Sibaya.

<b>M5: Respuesta transversal de la nave</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de contrafuertes externos que eviten la rotación de los muros	0		1
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un cuerpo adyacente	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes paralelos a la fachada	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de muros de gran esbeltez	1		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arcos y bóvedas	0	1	
<b>M6: Mecanismos de corte en muros laterales</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (solo en caso de construcción) y de buena calidad	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento ligero (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas o mampostería de espesor reducido	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento rígido (c.a.) cubierta pesada en c.a.	2	2	

### 5.3.4.3 Transepto

En el transepto se encuentran las dos capillas de la iglesia.



Figura 5.12: Capilla sur poniente (izquierda) y nororiente (centro y derecha) de la iglesia de Sibaya. Fuente: Ernesto Chambe, 2014.

No hay contrafuertes. La conexión con la techumbre es muy deficiente debido a la disgregación de la mampostería en zonas superiores de los muros. La cubierta es liviana, pero al no estar atirantada genera empujes moderados que propician el volteo de los muros laterales del transepto. En ambas capillas hay aberturas. En el muro sur de la capilla norponiente hay una pequeña abertura, como se muestra en la Figura 5.13. En esta figura se puede observar que el muro está deteriorado.

Los dinteles de madera no cumplen con el grosor requerido y están en malas condiciones. El desprendimiento de partes de la mampostería ha hecho que el espesor de los muros disminuya.



Figura 5.13: Ventana capilla norponiente del transepto. Fuente: Ernesto Chambe, 2014.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del transepto:

Tabla 5.30: Ficha de evaluación de los mecanismos del transepto de la iglesia de Sibaya.

<b>M10: Volteo de los muros del transepto</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes longitudinales	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena conexión con la cubierta (refuerzo perimetral)	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Buena calidad en la unión entre el muro frontal y los laterales	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, vigas en c.a., cubierta pesada	2		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas en el muro frontal (roseta) y/o en los muros laterales	1	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una vela de gran tamaño y peso	0		
<b>M11: Mecanismo de corte en el transepto</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	2		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	2	3	3

### 5.3.4.4 Ábside

El ábside de esta iglesia se encuentra prácticamente hundido en el cerro, por lo que el propio terreno representa un elemento de contraste.



Figura 5.14: Muro nororiente (izquierda), norponiente (centro) y sur poniente (derecha) del ábside. Fuente: Ernesto Chambe, 2014.

Los muros laterales del ábside se encuentran en mejor estado que los de la nave. En el muro sur oriente del ábside hay una entrada al recinto sin techumbre, y se encuentra dentro de la línea de la cuña de 45° asociada al volteo del muro posterior de la iglesia. La cubierta es liviana, pero al no estar atirantada genera empujes moderados que propician el volteo de los muros laterales del ábside.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del ábside.

Tabla 5.31: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Sibaya.

<b>M16: Volteo del ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzo en el contorno (semicircular, poligonal y rectangular)	0		0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, cuerpos adyacentes, otros)	2	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de cubierta de contrapeso, sin empuje	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en muros	1		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bóvedas empujando	0	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Borde rígido, cubierta pesada, vigas de techo de c.a.	1		
<b>M17: Mecanismo de corte en el ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenos arquivadros en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Protección sísmica	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	0		0
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	0	0	

### 5.3.4.5 Techumbre

El sistema de techumbre corresponde a una estructura de madera aserrada a dos aguas con cubierta de planchas de zinc onduladas. Cada macroelemento posee su techumbre separada de los otros techos.

No hay una buena conexión entre la techumbre y los muros de la iglesia debido a la falta de una solera. En general, por la falta de mantenimiento no se puede asegurar una buena conexión entre las partes de la techumbre. La techumbre genera empujes estáticos debido a que no se encuentra atirantada, pero no son de alto grado debido a que la cubierta es liviana. La mampostería de los muros del ábside se encuentra en mejor estado que los de la nave y transepto.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la techumbre:

Tabla 5.32: Ficha de evaluación de los mecanismos de la techumbre de la iglesia de Sibaya.

<b>M19: Elementos de la techumbre: nave</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones de la viga a la mampostería	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	2	2	
<b>M20: Elementos de la techumbre: transepto</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones puntuales de la viga a la mampostería	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	2	2	
<b>M21: Elementos de la techumbre: ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones de la viga a la mampostería	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	1	2	

### 5.3.4.6 Capillas y cuerpos anexos

Esta iglesia no posee cuerpos anexos que no correspondan al transepto o a una torre.

Los muros de la iglesia poseen una altura similar. Hay presencia de una elevada diferencia de rigidez entre la torre y la fachada, porque la torre es de hormigón armado. Se pueden generar acciones concentradas entre los elementos de hormigón armado de la torre, contrafuertes y el arco de la entrada con los muros de adobe de la iglesia.

Tabla 5.33: Ficha de evaluación de los mecanismos de los cuerpos anexos de la iglesia de Sibaya.

M25: Interacciones por irregularidad planimétrica					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una conexión adecuada entre mampostería de diferentes fases	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzos horizontales de conexión	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de una elevada diferencia de rigidez entre los dos cuerpos	3	3	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Posibilidad de acciones concentradas transmitidas por el elemento de enlace	3		

### 5.3.4.7 Volúmenes exteriores

El material de construcción de la torre hace que tenga mucha mayor resistencia frente a un sismo que el resto de la iglesia. El hecho de que sea de hormigón armado hace que el material sea bastante homogéneo y que haya varios refuerzos horizontales de acero. Puede que la viga sobre la entrada a la torre no tenga la altura correcta para soportar los esfuerzos de corte. La restricción es asimétrica, pues está junto al costado de la fachada de la iglesia, la que además posee materiales de construcción diferentes al de la torre.

El campanario también es de hormigón armado, por lo que sus pilares son rígidos y poseen refuerzo metálico.

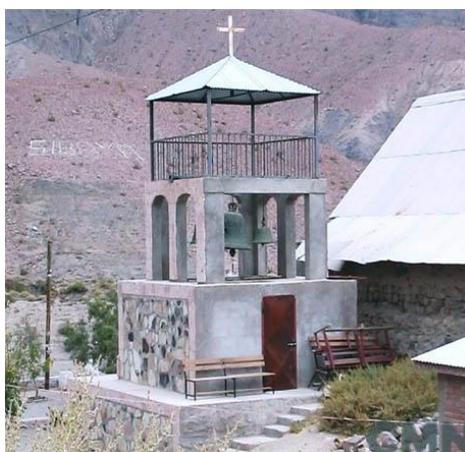


Figura 5.15. Torre y campanario de la iglesia de Sibaya. Fuente: CMN.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores:

Tabla 5.34: Ficha de evaluación de los mecanismos de los volúmenes exteriores de la iglesia de Sibaya.

<b>M27: Torres</b>						
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	2	3	-1	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de refuerzos horizontales a diferentes alturas	3			
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una distancia adecuada de los muros de la iglesia (si es adyacente)	0			
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buena conexión con los muros de la iglesia (si están incrustadas)	0			
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de aberturas significativas en múltiples niveles	1	2		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Restricción asimétrica en las paredes de la base (torre incorporada)	1			
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Apoyo irregular de la torre con el suelo (presencia de arcos en algunos lados)	0			
<b>M28: Campanarios</b>						
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de pilares rígidos y/o arcos de luz reducida	1	2	-2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de refuerzo metálico	2			
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una cobertura pesada u otras masas significativas	0	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de empuje estático de la cobertura	0			

### 5.3.4.8 Índice de Vulnerabilidad LV1

A continuación, se resumen los indicadores de protección y vulnerabilidad obtenidos a partir del llenado de las fichas de evaluación de los mecanismos presentes en la iglesia de Sibaya, y se determina su índice de vulnerabilidad.

Tabla 5.35: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Sibaya

Mecanismo de colapso			Indicadores de protección y vulnerabilidad sísmica		
N°	Mecanismo de daño	pk	vkp	vki	vki-vkp
M1	Volteo de la fachada	1	0	3	3
M2	Mecanismos en la parte superior de la fachada	1	0	0	0
M3	Mecanismos en el plano de la fachada	1	0	2	2
M5	Respuesta transversal de la nave	1	0	1	1
M6	Mecanismos de corte en muros laterales	1	0	2	2
M10	Volteo de los muros del transepto	0.9	0	2	2
M11	Mecanismo de corte en el transepto	0.9	0	3	3
M16	Volteo del ábside	1	2	2	0
M17	Mecanismo de corte en el ábside	1	0	0	0
M19	Elementos de la techumbre: nave	1	0	2	2
M20	Elementos de la techumbre: transepto	0.9	0	2	2
M21	Elementos de la techumbre: ábside	1	0	2	2
M25	Interacciones por irregularidad planimétrica	0.9	0	3	3
M27	Torres	1	3	2	0
M28	Campanarios	1	3	0	-2
<b>Índice de Vulnerabilidad <math>I_v</math></b>			<b>0.717</b>		
<b><math>a_{SLV} S (g)</math></b>			<b>0.118</b>		
<b><math>a_{SLD} S (g)</math></b>			<b>0.030</b>		

Entre los mecanismos más vulnerables, se encuentran los asociados a la techumbre por los mismos motivos que las iglesias de Laonzana y Huaviña. También lo es la interacción por irregularidad planimétrica, que en el caso de Sibaya se agrega el motivo de la posibilidad de acciones concentradas en la conexión entre las partes de mampostería de la iglesia y los agregados de hormigón.

Otros mecanismos vulnerables son:

- Volteo de la fachada (M1): Alteraciones negativas por incorporación de elementos de hormigón armado.
- De corte en muros laterales (M6): Muy malas condiciones de los muros laterales y zonas con espesor reducido.
- Transepto: Muy malas condiciones de los muros laterales y presencia de aberturas.

El campanario tiene baja vulnerabilidad debido a que es de hormigón armado.

### 5.3.5 Aplicación del LV1 a iglesia de Usmagama

Se describirá esta iglesia en su condición previa al terremoto del 2005.

#### 5.3.5.1 Fachada

En las modificaciones sufridas a lo largo de su historia, se han quitado hiladas de bloques de la fachada. En una modificación anterior se cambió la parte superior de madera por una nueva estructura de madera, pero en la última modificación no se tiene certeza de si la nueva parte superior es de madera, ya que posee un recubrimiento. Se asumirá que es de madera porque es el material que se suele utilizar en el segmento superior de la fachada en este tipo de iglesias.



Figura 5.16: Fachada y detalle del portal de la iglesia de Usmagama. Fuente: Moroni, 2005.

La cadena de hormigón armado añadida al muro lateral sur corresponde a un tensor longitudinal que, al no tener compatibilidad con el material de la fachada y no estar bien conectada a ésta, no cumple con la función de evitar el volteo de la fachada. Los contrafuertes de la fachada no cumplen con el requisito de poseer un espeso igual o mayor al del muro de la fachada, y al haber sido reconstruidos, no hay certezas sobre su calidad. Debido a los diferentes daños sufridos a lo largo de su historia, no se puede asegurar una buena calidad de la traba entre la fachada y el muro lateral norte de la nave. La techumbre genera empujes, pero no de gran intensidad debido a que es liviana. Como el muro lateral sur fue reconstruido sin realizar una buena conexión con la fachada, por la incompatibilidad de los materiales y por la no incorporación de elementos que aseguren una buena calidad de conexión, se produjo una alteración negativa en el sistema constructivo, lo que aumentó la vulnerabilidad de la estructura. Esta alteración negativa genera la misma vulnerabilidad que la presencia de grandes vanos en las paredes laterales cerca de las esquinas.

La presencia de la solera de hormigón armado también genera interacciones negativas en su conexión con la parte superior de la fachada.

A los costados de la fachada hay contrafuertes cuyo espesor cumple con los requisitos, pero que, por el paso del tiempo, falta de mantención y daños percibidos en sismos anteriores, ha perdido su nivel de calidad. El ancho del vano de la entrada es menor a 2,5 veces el espesor del muro, pero es bastante alto en comparación a la altura total del muro de mampostería.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la fachada:

Tabla 5.36: Ficha de evaluación de los mecanismos de la fachada de la iglesia de Usmagama.

<b>M1: Volteo de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de tensores longitudinales	0		3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste eficientes (contrafuertes, cuerpos adosados, otros)	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabas de buena calidad entre la fachada y los muros de la nave	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos que causan empujes (bóvedas, arcos, viga maestra)	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos en las paredes laterales cerca de las esquinas	3	3	
<b>M2: Mecanismos en la parte superior de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones puntuales con los elementos de la techumbre	0		3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostramiento del envigado de la techumbre	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de vigas de amarre livianas (metálicas reticulares, mampostería armada, otro)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de grandes vanos (ej. rosetón)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un parapeto de grandes dimensiones y peso	0	3	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Viga de amarre rígida, viga maestra de c.a., cubierta pesada en c.a.	3		
<b>M3: Mecanismos en el plano de la fachada</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de un refuerzo paralelo al muro frontal	0		1
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Contraste lateral dado por cuerpos adosados, iglesia inserta en un agregado	1	1	
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de vanos de grandes dimensiones o en gran cantidad	1		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Esbeltez elevada (relación altura/espesor)	2	2	

### 5.3.5.2 Nave

Los muros de mampostería de piedra tienen un espesor de 1.4 metros. La nave posee contrafuertes de mampostería en ambos muros longitudinales. Hay una sacristía en el lado sur, y había una capilla al lado norte que se derrumbó en fecha desconocida.



Figura 5.17: Nave de la iglesia de Usmagama. Fuente: Moroni, M. 2005.

Los contrafuertes son bastante gruesos y de una altura similar a la de los muros, pero ha perdido calidad y en algunas partes se ha disgregado. El cuerpo anexo norte se encuentra derrumbado, por lo que sólo hay un cuerpo adyacente que ejerza un contraste al volteo del muro, el cual podría ser más efectivo si se encontrara más cerca del centro de la nave. La calidad de la mampostería de los muros es mala, debido a la falta de mantenimiento, daños percibidos en sismos anteriores y las alteraciones negativas ya descritas en el muro lateral sur.

Hay presencia nichos en los muros laterales y una salida en cada muro a los cuerpos anexos. La solera y los pilares de hormigón armado representan un confinamiento rígido.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la nave:

Tabla 5.37: Ficha de evaluación de los mecanismos de la nave de la iglesia de Usmagama.

<b>M5: Respuesta transversal de la nave</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de contrafuertes externos que eviten la rotación de los muros	2		0
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de un cuerpo adyacente	1	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de tirantes paralelos a la fachada	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de muros de gran esbeltez	2	2	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arcos y bóvedas	0		
<b>M6: Mecanismos de corte en muros laterales</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (solo en caso de construcción) y de buena calidad	0		3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento ligero (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de grandes aberturas o mampostería de espesor reducido	2	3	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de confinamiento rígido (c.a.) cubierta pesada en c.a.	3		

### 5.3.5.3 Ábside

El ábside se encuentra a un nivel superior a la nave central. No se pudo determinar si había un borde rígido sobre el muro norte del ábside como sí lo había en el muro norte de la nave, pero se asumirá que no, debido a que durante el terremoto del 2005 el primer muro colapsó completamente y el segundo colapsó parcialmente (se mantuvo en pie la estructura de hormigón). Además, no se observan rastros de un borde rígido entre los escombros.

Los contrafuertes se disgregado por el paso del tiempo y la falta de mantención, por lo que sólo el terreno tras el muro posterior representa un contraste eficaz. La entrada a la sacristía es una abertura que aumenta la debilidad del ábside. La cubierta es liviana, pero al no estar atirantada genera empujes moderados que propician el volteo de los muros laterales del ábside.



Figura 5.18: Interior de la iglesia de Usmagama. Fuente: Donoso, 2004).

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos del ábside:

Tabla 5.38: Ficha de evaluación de los mecanismos del ábside de la iglesia de Usmagama.

<b>M16: Volteo del ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzo en el contorno (semicircular, poligonal y rectangular)	0		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, cuerpos adyacentes, otros)	1	1	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de cubierta de contrapeso, sin empuje	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en muros	1		1
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bóvedas empujando	0	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Borde rígido, cubierta pesada, vigas de techo de c.a.	1		
<b>M17: Mecanismo de corte en el ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenos arquitrabes en las aberturas	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		
Sí	No	Protección sísmica	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada	3		3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido	0	3	

#### 5.3.5.4 Techumbre

El sistema de techumbre corresponde a una estructura de madera aserrada a dos aguas con cubierta de planchas de zinc onduladas. Cada macroelemento posee su techumbre separada de los otros techos.

En general, por la falta de mantención no se puede asegurar una buena conexión entre las partes de la techumbre. La techumbre genera empujes estáticos debido a que no se encuentra atirantada,

pero no son de alta gravedad debido a que la cubierta es liviana. Hay presencia de un borde rígido que corresponde a la solera de hormigón sobre el muro norte de la nave. Los muros de la nave y el ábside se encuentran en malas condiciones.

Con esta información, se procede a llenar las fichas de evaluación de los mecanismos de la techumbre:

Tabla 5.39: Ficha de evaluación de los mecanismos de la techumbre de la iglesia de Usmagama.

<b>M19: Elementos de la techumbre: nave</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		3
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones de la viga a la mampostería	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1	3	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	3		
<b>M21: Elementos de la techumbre: ábside</b>					
Sí	No	Protección sísmica	Eficacia	vkp	vki-vkp
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)	0		2
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de conexiones de la viga a la mampostería	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)	0		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de buenas conexiones de los elementos de cobertura	0		
Sí	No	Indicadores de vulnerabilidad	Gravedad	vki	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de cubierta que genere empuje estático	1	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada	2		

### 5.3.5.5 Capillas y cuerpos anexos

Esta iglesia poseía una capilla en el lado norte

No se tiene información sobre el estado de este cuerpo anexo antes del terremoto del 2005, por lo que se asumirán los valores de (Díaz, D. 2009):

- M22:  $(v_{ki} - v_{kp}) = 0$ .
- M23:  $(v_{ki} - v_{kp}) = 0$ .

En cuanto a las interacciones por irregularidad planimétrica, se generan debido a una elevada diferencia de rigidez entre la fachada y el muro sur, pues el segundo posee partes de hormigón armado. También se generan interacciones en la conexión entre la solera de hormigón del muro sur y el muro de la fachada. La ficha de evaluación de este mecanismo queda:

Tabla 5.40: Ficha de evaluación del mecanismo M25 de la iglesia de Usmagama.

<b>M25: Interacciones por irregularidad planimétrica</b>					
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Protección sísmica</b>	<b>Eficacia</b>	<b>vkp</b>	<b>vki-vkp</b>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de una conexión adecuada entre mampostería de diferentes fases	0	0	
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Presencia de refuerzos horizontales de conexión	0		
<b>Sí</b>	<b>No</b>	<b>Indicadores de vulnerabilidad</b>	<b>Gravedad</b>	<b>vki</b>	3
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Presencia de una elevada diferencia de rigidez entre los dos cuerpos	3	3	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Possibilidad de acciones concentradas transmitidas por el elemento de enlace	3		

### 5.3.5.6 Índice de Vulnerabilidad LV1

A continuación, se resumen los indicadores de protección y vulnerabilidad obtenidos a partir del llenado de las fichas de evaluación de los mecanismos presentes en la iglesia de Usmagama, y se determina su índice de vulnerabilidad.

Tabla 5.41: Cálculo del índice de vulnerabilidad (LV1) de la iglesia de Usmagama.

<b>Mecanismo de colapso</b>			<b>Indicadores de protección y vulnerabilidad sísmica</b>		
<b>Nº</b>	<b>Mecanismo de daño</b>	<b>pk</b>	<b>vkp</b>	<b>vki</b>	<b>vki-vkp</b>
M1	Volteo de la fachada	1	0	3	3
M2	Mecanismos en la parte superior de la fachada	1	0	3	3
M3	Mecanismos en el plano de la fachada	1	1	2	1
M5	Respuesta transversal de la nave	1	2	2	0
M6	Mecanismos de corte en muros laterales	1	0	3	3
M16	Volteo del ábside	1	1	2	1
M17	Mecanismo de corte en el ábside	1	0	3	3
M19	Elementos de la techumbre: nave	1	0	3	3
M21	Elementos de la techumbre: ábside	1	0	2	2
M22	Volteo de las capillas	0.9	0	0	0
M23	Mecanismos de corte en las capillas	0.9	0	0	0
M25	Interacciones por irregularidad planimétrica	0.9	0	3	3
<b>Índice de Vulnerabilidad <math>i_v</math></b>			<b>0.809</b>		
<b><math>a_{SLV} S (g)</math></b>			<b>0.098</b>		
<b><math>a_{SLD} S (g)</math></b>			<b>0.025</b>		

Entre los mecanismos más vulnerables, se encuentran los asociados a la techumbre (M21) por los mismos motivos que las iglesias de Laonzana, Huaviña y Sibaya. También lo son los mecanismos (M1), (M6) y (M25), por el mismo motivo que en el caso de Sibaya.

(M2) es vulnerable debido a su interacción con la solera superior de hormigón armado del muro norte.

## 5.4 Determinación del índice de daño

Como se vio en la sección 4.2.3.3, el nivel LV1 de la metodología italiana contempla una ficha para determinar el índice de daño, la cual fue llenada para las cinco iglesias en su estado posterior al terremoto del 2005.

M	Descripción del daño sísmico	L	H	S	U	C
M1	Desprendimiento de la fachada de las paredes laterales o evidente desplome	4	4	4	5	3
M2	Disgregación de la mampostería o deslizamiento de la cadena de amarre / solera	4	2	5	5	2
M3	Lesiones inclinadas (corte) – Lesiones verticales o arqueadas (rotación) – Otras fisuras o abombamientos	4	4	5	5	2
M5	Rotación de las paredes laterales	4	3	5	5	1
M6	Lesiones inclinadas (solas o cruzadas) – Lesiones en correspondencia de discontinuidad en la mampostería	4	3	5	5	2
M10	La pared frontal se desprende de las paredes laterales	5	3	5	0	0
M11	Lesiones inclinadas (solas o cruzadas) – Lesiones por discontinuidad	5	3	5	0	0
M16	Lesiones verticales o arqueadas en las paredes del ábside	3	3	4	4	0
M17	Lesiones inclinadas (solas o cruzadas) – Lesiones en correspondencia de discontinuidad del muro	3	3	4	4	0
M19	Lesiones cercanas a las cabezas de las vigas de madera, deslizamiento de las mismas – Desconexiones entre las cadenas de amarre o soleras y la mampostería – Movimientos significativos de la cubierta de la techumbre	4	3	5	5	1
M20	Lesiones cercanas a las cabezas de las vigas de madera, deslizamiento de las mismas – Desconexiones entre las cadenas de amarre o soleras y la mampostería – Movimientos significativos de la cubierta de la techumbre	5	3	5	0	0
M21	Lesiones cercanas a las cabezas de las vigas de madera, deslizamiento de las mismas – Desconexiones entre las cadenas de amarre o soleras y la mampostería – Movimientos significativos de la cubierta de la techumbre	4	3	5	5	0
M22	La pared frontal se desprende de las paredes laterales	5	3	0	5	0
M23	Lesiones inclinadas (solas o cruzadas) – Lesiones en correspondencia de discontinuidad del muro	5	3	0	5	0
M25	Movimiento en correspondencia de discontinuidad constructiva – Lesiones en la mampostería por efecto de martilleo	5	3	5	5	0
M27	Lesiones cercanas a la junta entre la torre y el cuerpo de la iglesia – Lesiones de corte o deslizamiento – Lesiones verticales o arqueadas (expulsión de una o más esquinas de la torre)	5	4	4	0	0
M28	Lesiones en los arcos – Rotaciones o deslizamientos de las pilastras	5	4	1	0	0
M29	Desprendimiento de la fachada de las paredes laterales o evidente desplome	0	0	0	0	3
M30	Disgregación de la mampostería o deslizamiento de la cadena de amarre / solera	0	0	0	0	2
M31	Lesiones inclinadas (corte) – Lesiones verticales o arqueadas (rotación) – Otras fisuras o abombamientos	0	0	0	0	2
Índice de daño	<b>n (número de mecanismos posibles)</b>	17	17	15	12	9
	<b>d (puntaje total de daño)</b>	74	54	67	58	18
	<b>id=d/5n</b>	<b>0.87</b>	<b>0.64</b>	<b>0.89</b>	<b>0.97</b>	<b>0.40</b>

*Nota.* M= Mecanismo; L=Laonzana; H=Huaviña; S=Sibaya; U=Usmagama; C=Chusmiza. Esta ficha fue adaptada de Díaz Fuentes et al. (2018, p.11).

El orden de menor a mayor índice de daño es Chusmiza, Huaviña, Laonzana, Sibaya y Usmagama. Laonzana y Sibaya poseen prácticamente el mismo índice de daño.

# Capítulo 6

## Comentarios y Conclusiones

### 6.1 Comentarios y conclusiones sobre el uso de las metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de construcciones patrimoniales en adobe

La Tabla 6.1 contiene los resultados de la aplicación del LV0 a las iglesias cinco iglesias en estudio en su condición previa al terremoto del 2005, obtenidos en el Capítulo 5.

De aquí se tienen observaciones importantes:

- Tanto el índice de vulnerabilidad como el Riesgo total de la iglesia de Chusmiza es considerablemente menor que las otras cuatro iglesias.
  - Que el riesgo total sea menor se debe a que tanto el índice de vulnerabilidad como el índice de amenaza sísmica son menores que las otras 4 iglesias.
  - Todas las iglesias poseen vulnerabilidad alta menos la de Chusmiza, que posee vulnerabilidad media.
  - Lo anterior se condice con los daños sufridos por el terremoto del 2005, pues la iglesia de Chusmiza sufrió daños medios, mientras que los daños de las iglesias con alto índice de vulnerabilidad V fueron graves.
- Como se ve en la Figura 6.1, existe un grado de correlación entre el índice de vulnerabilidad V y el índice de daños. Esto no quiere decir que su relación sea directa, pero se puede decir que el método LV0 da una idea sobre la gravedad de los daños sísmicos que puede sufrir la estructura.
- Los indicadores de mayor vulnerabilidad están relacionados con la mala calidad de la conexión entre las partes de las iglesias y a su configuración en planta.

- En cuanto al riesgo total:
  - Como el riesgo total es un número entre 0 y 200, podría decirse que si su valor es igual a 100, entonces es equivalente a decir que hay un 50% de probabilidades de que ocurran daños graves frente a sismos de alta intensidad.
  - El riesgo total calculado también es un buen predictor de los daños de las iglesias, pues es menor que 100 (50%) en el caso de Chusmiza, y mayor que 100 (50%) en las otras cuatro iglesias

Tabla 6.1: Aplicación del LV0 a las 5 iglesias de la Quebrada de Tarapacá en su condición previo al terremoto del 2005.

Indicadores		Laonzana	Huaviña	Sibaya	Usmagama	Chusmiza	
VULNERABILIDAD	1	Posición y cimientos	C	B	C	C	A
	2	Configuración en planta	D	D	D	D	C
	3	Configuración en elevación	B	B	A	A	A
	4	Distancia entre muros	C	C	C	C	C
	5	Elementos no estructurales	A	A	A	A	A
	6	Tipo-organización del S.R.	D	D	D	D	D
	7	Calidad del sistema resistente	D	D	D	D	B
	8	Estructuras horizontales	D	D	D	D	D
	9	Cubierta	D	D	D	D	D
	10	Estado de conservación	C	C	D	D	B
	11	Alteraciones del ambiente	C	C	C	C	B
	12	Alteraciones en el sistema constructivo	B	C	D	D	B
	13	Vulnerabilidad al fuego	B	B	B	B	B
<b>Índice de vulnerabilidad sísmica (V)</b>		<b>68.68</b>	<b>65.99</b>	<b>75.41</b>	<b>75.41</b>	<b>50.17</b>	
AMENAZAS	1	Intensidad Máx. Macro-sísmica	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
	2	Deslizamiento laderas o fractura roca	0.25	0.00	0.00	0.00	0.25
	3	Erosión	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	4	Estrés físico	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	5	Contaminación	0	0	0	0	0
	6	Socio-organizacional	0	0	0	0	0
	7	Falta de mantenimiento	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>Índice de amenaza sísmica (H)</b>		<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	<b>0.90</b>	
<b>RIESGO TOTAL [V x (H+1)]</b>		<b>130.49</b>	<b>125.38</b>	<b>143.28</b>	<b>143.28</b>	<b>95.32</b>	

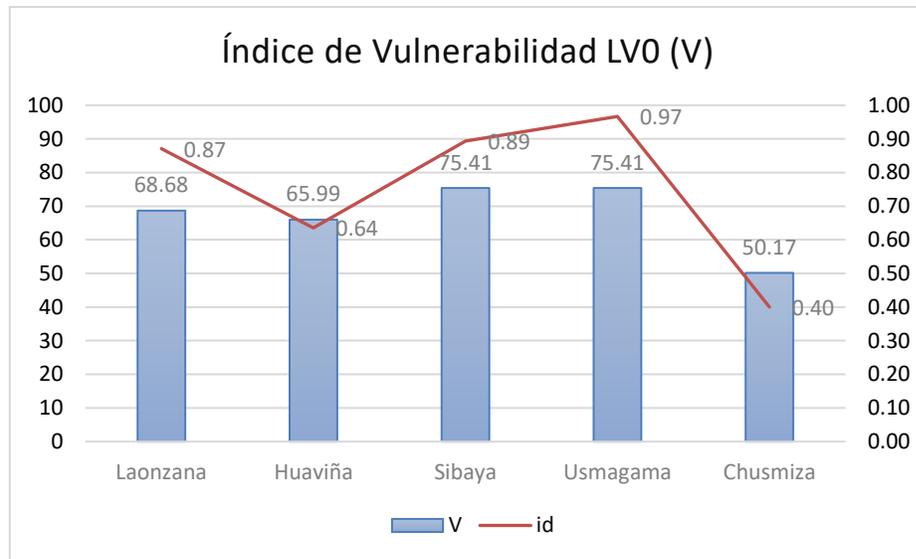


Figura 6.1: Gráfico con los índices de vulnerabilidad (V) del LV0 de las iglesias en su condición previa al sismo del 2005 y con los índices de daño (id) frente al terremoto del 2005.

En la Tabla 6.2 se encuentra la diferencia entre los indicadores de vulnerabilidad y protección sísmica ( $v_{ki} - v_{kp}$ ) de las cinco iglesias obtenidos a partir del llenado de la ficha de evaluación del LV1. El llenado de ficha se encuentra en la sección 5.3 del capítulo anterior.

Se puede comentar que:

- La iglesia de Chusmiza es la que posee menor  $i_v$ , lo que se condice con el hecho de haber sido la iglesia que sufrió menos daños durante el terremoto del 2005.
- Por otro lado, la iglesia de Usmagama fue la que percibió más daños durante el sismo y es la de mayor  $i_v$ .
- La iglesia de Sibaya fue la segunda con mayor daño y la segunda con mayor  $i_v$ .
- La iglesia de Laonzana posee una mayor lejanía entre su índice de vulnerabilidad  $i_v$  y el índice de daño  $i_d$ .
- Los valores de los indicadores de protección y vulnerabilidad sísmica pueden cambiar si se obtiene nueva información sobre las iglesias.
- El índice de vulnerabilidad  $i_v$  es útil para evaluar el nivel de vulnerabilidad de este tipo de iglesias, pues los daños sísmicos se condicen con la vulnerabilidad calculada.

Tabla 6.2: Resultados de la aplicación del LV1 a las 5 iglesias.

Parámetros			Iglesias antes del 2005				
Nº	Mecanismo de daño	pk	Laonzana	Huaviña	Sibaya	Usmagama	Chusmiza
M1	Volteo de la fachada	1	1	-1	3	3	0
M2	Mecanismos en la parte superior de la fachada	1	0	0	0	3	0
M3	Mecanismos en el plano de la fachada	1	0	2	2	1	2
M4	Pórtico o nártex	0.5	0	0	0	0	0
M5	Respuesta transversal de la nave	1	-2	0	1	0	0
M6	Mecanismos de corte en muros laterales	1	1	2	2	3	-1
M7	Respuesta longitudinal de la columnata	1	0	0	0	0	0
M8	Bóveda de la nave central	1	0	0	0	0	0
M9	Bóvedas de las naves laterales	1	0	0	0	0	0
M10	Volteo de los muros del transepto	0.9	1	2	2	0	0
M11	Mecanismo de corte en el transepto	0.9	1	0	3	0	0
M12	Bóveda del transepto	0.9	0	0	0	0	0
M13	Arco triunfal	1	0	0	0	0	0
M14	Cúpula y tambor	1	0	0	0	0	0
M15	Linterna	0.5	0	0	0	0	0
M16	Volteo del ábside	1	-2	2	0	1	0
M17	Mecanismo de corte en el ábside	1	0	2	0	3	0
M18	Bóveda del presbiterio o del ábside	0.9	0	0	0	0	0
M19	Elementos de la techumbre: nave	1	2	2	2	3	1
M20	Elementos de la techumbre: transepto	0.9	2	2	2	0	0
M21	Elementos de la techumbre: ábside	1	2	2	2	2	0
M22	Volteo de las capillas	0.9	2	0	0	0	0
M23	Mecanismos de corte en las capillas	0.9	2	1	0	0	0
M24	Bóvedas de las capillas	0.9	0	0	0	0	0
M25	Interacciones por irregularidad planimétrica	0.9	3	3	3	3	0
M26	Volúmenes exteriores	0.8	0	0	0	0	0
M27	Torres	1	0	0	0	0	0
M28	Campanarios	1	0	0	-2	0	0
M29	Volteo del muro posterior	1	0	0	0	0	0
M30	Mecanismos en la parte superior del muro posterior	1	0	0	0	0	0
M31	Mecanismos en el plano del muro posterior	1	0	0	0	0	0
<b>Índice de Vulnerabilidad <math>i_v</math></b>			<b>0.62</b>	<b>0.68</b>	<b>0.72</b>	<b>0.81</b>	<b>0.54</b>
<b><math>a_{SLV} S</math> (g)</b>			<b>0.14</b>	<b>0.13</b>	<b>0.12</b>	<b>0.10</b>	<b>0.17</b>
<b><math>a_{SLD} S</math> (g)</b>			<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>

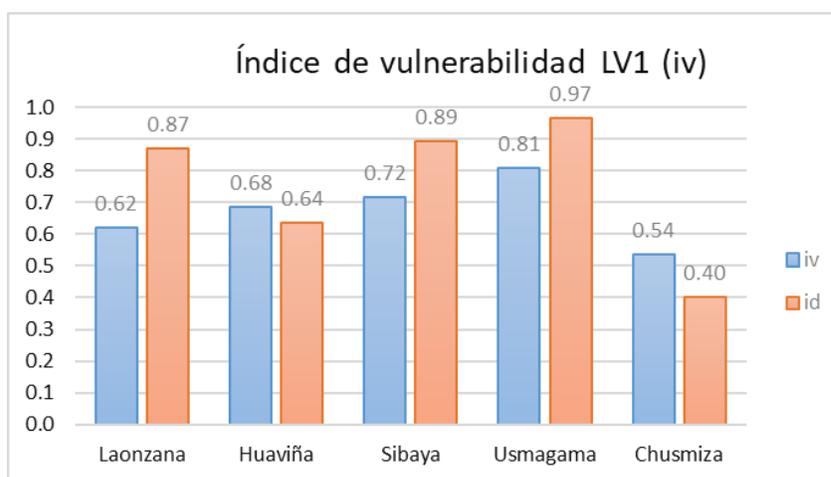


Figura 6.2: Gráfico con los índices de vulnerabilidad (iv) del LV1 de las iglesias en su condición previa al sismo del 2005 y con los índices de daño (id) frente al terremoto del 2005.

Los resultados de LV0 y LV1 en las 5 iglesias, junto con el índice de daños, se resumen en la Tabla 6.3. Se observa que la iglesia de Chusmiza es la que posee menores índices de vulnerabilidad y menor riesgo total, lo que coincide con el menor índice de daños. A su vez, la iglesia de Usmagama es la que posee mayores índices de vulnerabilidad y riesgo total, coincidiendo con el mayor índice de daños.

Tabla 6.3 Resumen de los resultados de LV1 y LV0 en las iglesias en su condición previa al 2005

Método	Índice	Laonzana	Huaviña	Sibaya	Usmagama	Chusmiza
LV0	V	68.68	65.99	75.41	75.41	50.17
	R	130.49	125.38	143.28	143.28	85.28
LV1	$i_v$	0.62	0.68	0.72	0.81	0.54
Daños	$i_d$	0.87	0.64	0.89	0.97	0.40

Finalmente, se concluye que:

- Los métodos LV0 y LV1 resultaron ser útiles para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica que poseían las cinco iglesias antes del terremoto del 2005, ya que los índices de vulnerabilidad obtenidos se condicen con los daños observados después del sismo.
- Con ambos métodos se pudo determinar qué iglesias poseían mayor vulnerabilidad antes del sismo del 2005 (Usmagama y Sibaya) y cuáles poseían menor vulnerabilidad (Chusmiza).
- Mediante el método LV0, se pudo obtener resultados satisfactorios en cuanto a determinar el riesgo sísmico de las iglesias, pues, al igual que los índices de vulnerabilidad, los resultados se condicen con los daños sufridos durante el terremoto del 2005.
- Las metodologías LV0 y LV1 son apropiadas para su uso en las iglesias de la cultura constructiva en tierra andina.

## 6.2 Recomendaciones para la iglesia de Chusmiza

Los resultados del Capítulo 5 indican que la vulnerabilidad y riesgo sísmico de la iglesia de Chusmiza actualmente son altos, esto significa que, si no se toman medidas para disminuir su vulnerabilidad, existen altas probabilidades de que la capilla colapse en un siguiente sismo de alta intensidad.

A partir de la aplicación del nivel de evaluación LV1 a la capilla de Chusmiza, se observó que el cambiar el sistema de techumbre podría disminuir la gravedad de varios indicadores de vulnerabilidad. Desde el punto de vista arquitectónico y patrimonial, se considera que no habría problema con realizar este cambio, debido a que el sistema de techumbre actual no es el original.

En caso de que la comunidad decidiera conservar la capilla, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Cambiar el sistema de techumbre actual por un sistema atirantado para disminuir el empuje ejercido en los muros. Esta medida se debe evaluar desde el punto de vista arquitectónico, ya que no forma parte de las características patrimoniales de las iglesias de la Quebrada de Tarapacá.
- Sistema de techumbre arriostrado, de tal manera que se comporte como un diafragma flexible.
- Construir una solera sobre los muros de un material a determinar, que sea liviano para no sobreexigir a los muros. Se recomienda que no sea de hormigón armado, ya que se considera que los materiales no son compatibles (Modena, 2009).
- Realizar una buena conexión entre el sistema de techumbre y los muros.
- Poner diagonales en las esquinas que unan los muros ortogonales para mejorar conexión.
- Que la cubierta sea de paja y barro para que su aspecto sea acorde con el resto de la capilla.
- Otro motivo para el uso de la paja brava como cubierta es que es un aislante térmico efectivo.

Con estas medidas se puede reducir el riesgo de volteo de los muros de capilla. Esta propuesta se debe conversar con la comunidad y con expertos en arquitectura patrimonial, para evaluar el impacto que tendrá en sus características patrimoniales y su factibilidad. También hay que considerar las condiciones de aislación térmica dentro de la iglesia, ya que las temperaturas pueden ser bastante bajas.

En cuanto al estado de los muros se recomienda una constante mantención del revoque de los muros para conservar su protección contra la erosión.

Para mejorar la conexión entre los muros y controlar el agrietamiento de los muros, Díaz Fuentes (2016) propone intervenciones a la iglesia de Laonzana (véase Figura 6.4) que son apropiadas para la iglesia de Chusmiza:

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. (Díaz Fuentes, 2016, p. 232).

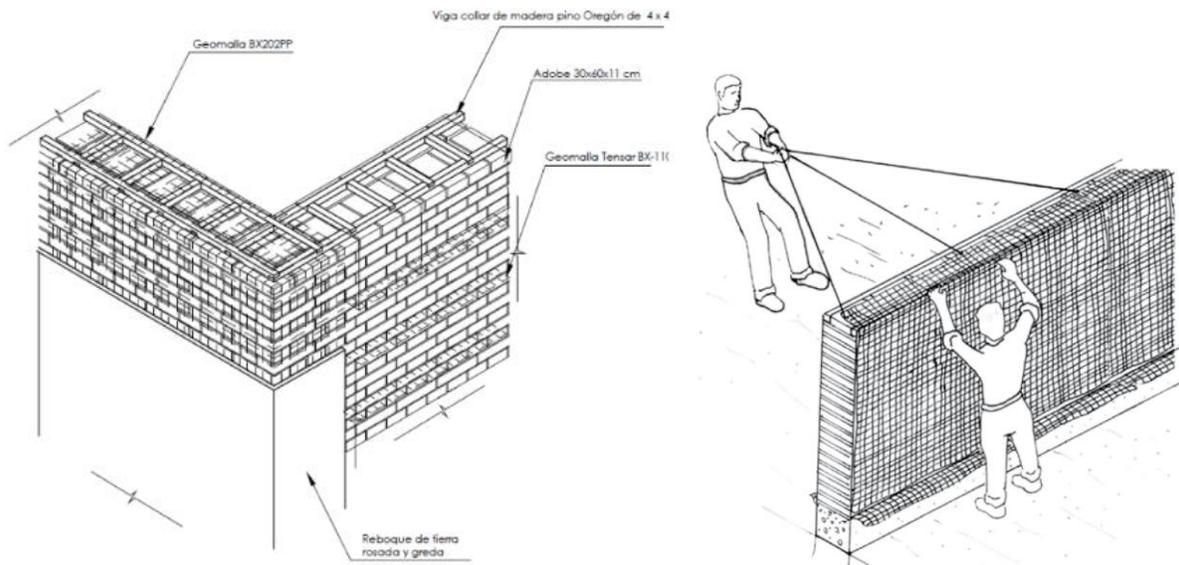


Figura 6.4: Detalle de instalación de escalerilla de madera y geomalla en muros<sup>a</sup> (izquierda), Detalle de instalación de geomalla en muros<sup>b</sup> (derecha).

*Nota.* <sup>a</sup> Proyecto de restauración de la Iglesia de Socoroma, Chile, <sup>Fuentes:</sup> <sup>a</sup>Fundación Altiplano en Archivo del Consejo de Monumentos Nacionales, Chile. <sup>b</sup>J. Vargas, et al., Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas, Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2007.

### 6.3 Comentarios y recomendaciones para avanzar en la elaboración de metodologías relevantes para la reducción del riesgo sísmico de construcciones patrimoniales del contexto andino

En el presente trabajo se estudiaron cinco iglesias de la cultura constructiva en tierra andina de la Quebrada de Tarapacá, las que se encuentran ubicadas dentro de un radio pequeño de 25 km, por lo que su amenaza sísmica es similar. Estas iglesias fueron afectadas en las últimas décadas por dos grandes sismos. El primero, el terremoto del 2005, fue un sismo intraplaca, cuyo epicentro se ubicó muy cerca de las iglesias; a menos de 45 km de Chusmiza, la iglesia más lejana al epicentro. Cuatro de las iglesias se derrumbaron casi en su totalidad, fueron reconstruidas entre el año 2011 y 2013, proceso en el que en 3 de ellas se cambió el sistema resistente, pasando del adobe al hormigón armado. El segundo sismo fue el del 2014, que afectó a las iglesias reconstruidas. Este terremoto no causó daños graves, a excepción de la iglesia de Laonzana, cuyo muro posterior se desplomó.

Los sismos de subducción con epicentros en el fondo marino, aún cuando han sido algunos de mayor magnitud, han tenido menor intensidad y producido menos daño en el lugar en estudio debido a la distancia, que atenúa el movimiento. Los sismos intraplaca y corticales han sido los que han afectado más gravemente a la zona debido a su proximidad, resultando en consecuencias catastróficas. Los tres tipos de movimientos telúricos mencionados han ocurrido en el último tiempo, siendo el de mayor intensidad (VIII-XIII) el sismo intraplaca del 24 de julio de 2005, seguido por el sismo superficial del 13 de junio de 2001 (intensidad VII) y el sismo interplaca del 1 de abril (intensidad VI).

En cuanto a los sismos de tipo intraplaca continental, no es posible descartar la ocurrencia de grandes terremotos superficiales (Campos et al., 2005). Debido a la catástrofe social y económica que los eventos corticales pueden provocar, es necesario aumentar el nivel de conocimiento de la amenaza sísmica y su riesgo asociado, para tomar decisiones que disminuyan el riesgo sísmico y que las nuevas construcciones estén mejor preparadas para resistir sismos este tipo. Para esto se requiere fortalecer red acelerográfica, seguir realizando estudios para cartografiar las fallas activas y que la norma NCh 433 Of. 96 considere de manera directa los sismos corticales.

El terremoto del 2005 significa una puesta a prueba de los indicadores de vulnerabilidad utilizados en el presente trabajo, ya que permite revelar si estos son útiles para anticipar los daños en los casos analizados.

**De los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir que los índices de los métodos LV0 y LV1 sirven para anticipar el nivel de daño que podrían sufrir las iglesias de la cultura constructiva en tierra andina frente a un sismo de mayor intensidad, por lo que el método de**

**evaluación del riesgo sísmico LV0 y el método de evaluación de la vulnerabilidad sísmica LV1 son apropiados para su uso en este tipo de iglesias a escala territorial.**

Durante la aplicación del método LV1 se observó que sus resultados están sujetos a la interpretación de las personas que lo utilicen, pues si un indicador de vulnerabilidad o protección está presente, queda a criterio de quien aplica el método qué nivel de gravedad/eficacia asignarle. Las fichas de Lagomarsino (2004) son una importante guía para la aplicación del LV1, pero no logra anular la variabilidad de resultados que distintas personas pueden obtener al analizar un mismo inmueble. Para aplicar este método de manera más certera, sería útil la creación de una guía adaptada al contexto andino, que esté en español y posea anexos que ayuden a determinar la calidad del adobe y mampostería de piedra de la región. Sería útil también agregar a esta guía las intervenciones negativas más frecuentes y su impacto en el llenado de las fichas, ya que las fichas de evaluación LV1 y la guía de Lagomarsino (2004) no contemplan de manera directa las intervenciones negativas que haya tenido una estructura.

El problema anterior está menos presente al momento de aplicar el método LV0, ya que el valor de sus indicadores está más acotado a condiciones claras. Esto representa una ventaja comparativa en su uso con respecto al método LV1.

Se necesitan más estudios de las estructuras pertenecientes a la cultura constructiva en tierra andina, para recopilar datos sobre su desempeño frente a distintas intensidades sísmicas, y así elaborar matrices de probabilidad de daños. Estas matrices servirán para intentar calibrar la aplicación del nivel LV1.

Producto del terremoto del 2014, las iglesias reconstruidas sufrieron daños de diversa gravedad debido a la incompatibilidad entre los materiales originales (adobe y mampostería de piedra) con los nuevos materiales usados en la reconstrucción (acero y hormigón armado). El mayor daño ocurrió en la iglesia de Laonzana, pues el muro original de adobe de la parte posterior de la iglesia colapsó, lo que pudo deberse a la falta de conexión con los muros laterales del ábside por incompatibilidad del material. Otros daños como grietas en los muros de la nave pueden deberse a la interacción negativa entre el adobe presente y los marcos de acero y muros de hormigón armado de la zona de la fachada. La reparación con elementos no compatibles de las cuatro iglesias se debió en gran medida a que en esa fecha no había una norma de tierra, pues ésta fue publicada el año 2012. Es urgente aprender de las interacciones negativas entre elementos que no son compatibles en su materialidad, para no repetir estas metodologías de reparación y para lograr que las nuevas intervenciones que se realicen en edificios patrimoniales sean efectivas.

No se observó una directa relación entre el tipo de suelo con los daños recibidos, pues la iglesia de Usmagama, que se encuentra en el suelo con mejor comportamiento sísmico entre las iglesias, fue la que sufrió más daños durante el terremoto de Tarapacá del 2005. Entonces, en este caso pesan más las condiciones inherentes a la estructura que el tipo de suelo donde se emplazan las iglesias. El clima es un factor importante en la determinación del riesgo sísmico de una estructura, pues sus fenómenos asociados como el asoleamiento, lluvias, heladas y vientos pueden perjudicar el estado de conservación del edificio, disminuyendo su desempeño sísmico.

Debido a la gran amenaza sísmica del país y a alta vulnerabilidad sísmica que en general poseen los edificios patrimoniales de adobe, es muy probable que en un futuro sismo de mayor intensidad más estructuras patrimoniales resulten gravemente dañadas. Es por esto que es necesario realizar labores preventivas de mantenimiento e intervención adecuadas en los bienes patrimoniales inmuebles que lo requieran. También se podría avanzar en la realización de archivos con fotografías, videos y tours virtuales de los bienes por si éstos llegan a colapsar, para que las futuras generaciones puedan conocer parte de los edificios patrimoniales que para entonces ya no estén presentes.

Al momento de decidir qué bienes culturales inmuebles conservar, y cuáles de sus características preservar, se está inserto en la discusión de qué es lo patrimonial. ¿Es la forma del edificio? ¿Sus materiales? ¿El hecho de no poseer intervenciones? ¿El uso que se le da? ¿Las personas que lo utilizan? Esta es una discusión abierta y muy relevante, de la cual dependen las acciones futuras que se realicen en cuanto a la gestión del riesgo sísmico de las estructuras patrimoniales.

En este trabajo se pudo evidenciar la participación de diferentes tipos de profesionales involucrados en la preservación de los edificios patrimoniales. Al momento de abordar el estudio de una estructura, los ingenieros civiles solemos abocarnos sólo a parámetros relacionados a las cargas, resistencias, suelos y métodos constructivos de la estructura, pero tendemos a dejar de lado el ámbito arquitectónico, cultural y comunitario relacionado al bien inmueble. Es importante que durante el desarrollo profesional de los ingenieros se realicen proyectos interdisciplinarios, tanto para lograr una mejor calidad del resultado final de los proyectos como para el desarrollo integral de los profesionales involucrados.

Es necesario seguir realizando estudios de las metodologías LV0 y LV1 en diferentes edificios patrimoniales del contexto andino, para determinar si son una herramienta que es apropiada para su uso en la región.

# Bibliografía

- Aguilar. (2015) *Investigations on the structural behaviour of archaeological heritage in Peru*. Elsevier Ltd. Perú.
- Apaza, D. (2018). *Evaluación de mecanismos de colapso generados por acciones sísmicas en la catedral de Puno*. Perú
- Boroscheck, R., Comte, D., Soto, P. (2001). *Terremoto superficial de Chusmiza 24 de julio, 2001, Mw=6.3 Tiempo origen: 05:00 (UTC) Latitud: 19° 35.4' Sur; Longitud: 69° 18.4 Oeste*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
- Campos, J., Ruiz, S., Pérez, A., Ruiz J., Kausel, E., Thiele, R., Saragoni R. y Sepúlveda, S. (2005). *Terremotos corticales de las Melosas 1958, Chusmiza 2001 y Curicó 2004: un análisis comparativo con los terremotos de Northridge 1994 y Kobe 1995: Nuevos antecedentes para el peligro sísmico en Chile*. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas, 16-19 de noviembre de 2005, Concepción – Chile.
- Centro Sismológico Nacional. (2014). *Informe Técnico Terremoto de Iquique, Mw=8.2, 1 de abril de 2014*.
- Centro Sismológico Nacional. (s.f.). *Sismicidad y terremotos en Chile*. Revista Anales, Séptima Serie, N°1, mayo 2011.
- Circolare N° 26. (2010). *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico*. Italia: Ministero per i Beni e le Attività Culturali - Italia.
- Circolare sulle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008.
- Cisternas, A. (2011). *El país más sísmico del mundo*.
- Consejo de Monumentos Nacionales. (s.f.-a). *Iglesia de Huaviña*. Recuperado de: <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/iglesia-huavina>
- Consejo de Monumentos Nacionales. (s.f.-b). *Iglesia de Usmagama*. Recuperado de: <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/iglesia-usmagama>

- Consejo de Monumentos Nacionales. (s.f.-c). *Iglesia de Laonzana*. Recuperado de: <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/capilla-laonzana>
- Consejo de Monumentos Nacionales. (s.f.-d). *Iglesia de Sibaya*. Recuperado de: <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/iglesia-sibaya>
- Contreras, V. y Boroscheck, R. (2015). *Curvas de atenuación espectrales para sismos chilenos*.
- Decreto Supremo N°5705. (3 de agosto de 1953).
- Decreto Supremo N°0013. (27 de enero de 2009).
- Dirección General de Aguas. (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad - Cuenca Quebrada de Tarapacá*.
- Dirección General de Aguas. (2014). *Investigación y análisis de los mecanismos de recarga de la Pampa del Tamarugal*.
- Dirección General de Aguas. (2017). *Actualización del balance hídrico nacional*.
- Díaz Fuentes, D. (2015). *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*. Santiago.
- Díaz Fuentes, D. (2016). *Diseño de herramientas de evaluación del riesgo para la conservación del patrimonio cultural inmueble. Aplicación en dos casos de estudio del norte andino chileno*. México, Publicaciones encRym/Inah.
- Díaz Fuentes, D. (2017). *Un método simplificado para evaluar el riesgo sísmico y priorizar la atención de los bienes culturales inmuebles: el caso de Chile*.
- Díaz Fuentes, D., Bustos, L. C., Gómez Badillo, J., Caffarella, R., Laterza, M. y D'Amato, M. (2018) Evaluación sistemática de templos y conjuntos religiosos afectados por los terremotos de septiembre del 2017 y análisis de los resultados. Aplicación en 10 iglesias del Estado de Morelos, México
- Díaz Fuentes, D. (2019a). *Religious heritage against seismic danger in Latin America: methodology for seismic risk assessment through a territorial approach and by learning from the Italian experience. Application in Chile, Mexico and Italy*. PhD Thesis to obtain the degree in Cities and Landscapes: Architecture, Archaeology, Cultural Heritage, History and Resources, Università degli Studi della Basilicata, Matera, Italia.
- Díaz Fuentes, D. (8 de mayo de 2019b). *Visión sistemática del riesgo sísmico con enfoque territorial. Evaluación de las iglesias de albañilería ante la amenaza sísmica con base en métodos italianos. Aplicación en Italia y Chile* [Webinar]. Organizzazione Internazionale Italo-Latino Americana. <https://iila.org/es/webinar-el-concepto-de-la-carta-del-rischio-en-el-contexto-andino-de-america-latina-8-de-mayo-de-2019/>

- Donoso, M. (2004). *Iglesias del desierto*. Reproducido con permiso del autor.
- Easton, G. (2016). *Normativa sísmica y sustentabilidad: la urgencia del progreso*. Centro de Investigación Periodística. Chile. Recuperado de: <https://www.ciperchile.cl/2016/05/18/normativa-sismica-y-sustentabilidad-la-urgencia-del-progreso/>
- El País. (24 de agosto de 2017). *Amatrice, un año después del terremoto*. Recuperado de: [https://elpais.com/elpais/2017/08/24/album/1503560310\\_031475.html#foto\\_gal\\_1](https://elpais.com/elpais/2017/08/24/album/1503560310_031475.html#foto_gal_1)
- Ernesto Chambe. (n.d.). Inicio [Canal de YouTube]. Recuperado de <https://www.youtube.com/channel/UCnejNhNlcIN9Xof3TdTb3Iw>
- Ernesto Chambe. (12 de octubre de 2014). *Iglesia de Sibaya antes del terremoto del 2005*. Recuperado de: [https://www.youtube.com/watch?v=kXX\\_LihBMpI](https://www.youtube.com/watch?v=kXX_LihBMpI)
- González, G. (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del patrimonio cultural chileno: estudio de iglesias patrimoniales de Valparaíso*. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Ilustre Municipalidad de Huará. (3 de junio de 2019). *Hoy en Chusmiza se hizo entrega del muro de contención que protege a la iglesia de la Localidad. Esta obra (...)*. [Imagen adjunta] [Publicación de estado]. Facebook. <https://www.facebook.com/291276071010506/posts/1335236399947796/>
- International Council on Monuments and Sites. (2010) *Declaración de Lima para la gestión de riesgo del patrimonio cultural*. Perú.
- Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales. (2013). *Diagnóstico de riesgo en quebradas laterales a los cauces de quebradas de Camiña y Tarapacá*.
- Jorge Tuna. (s.f.). *Huaviña mi Pueblo, canción de raíz folclórica andina de Chile*. Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=5xbCAB3yvjl>
- Jorquera, N. (2014). *Culturas constructivas que conforman el patrimonio chileno construido en tierra*. Revista AUS 16, segundo semestre 2014.
- Lagomarsino, S. (2004). *Metodologia per la valutazione del danno e della vulnerabilità e manuale della scheda chiese di II livello*. (C. Civerra, Ed.) L'Aquila, Italia: Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, sede L'Aquila.
- Lagomarsino, S., Podestà, S. (2005). *Analisi di vulnerabilità e rischio sismico degli edifici monumentali*.
- Laterza, M. (2017). *Seismic analysis methods of ancient masonry churches in Matera*. Department of European and Mediterranean Cultures, University of Basilicata, Via Lazzazera, Matera, Italy.

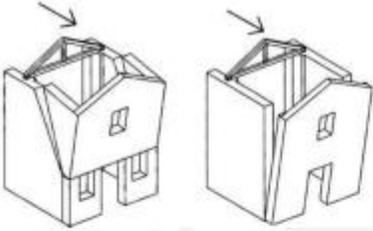
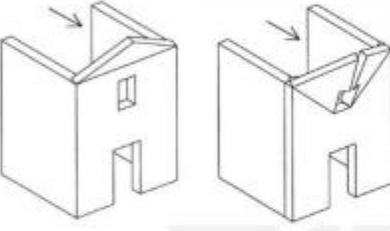
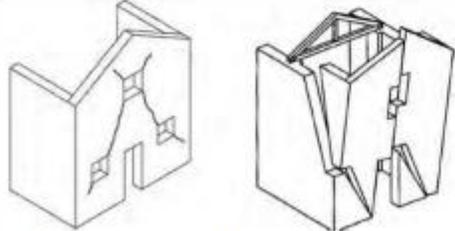
- Laterza, M. (2017) *Seismic assessment of masonry churches in Matera landscape*. Department of European and Mediterranean Cultures, University of Basilicata, Via Lazzazera, Matera, Italy.
- Lictevoud, E., Maass, C., Córdoba, D., Herrera, V., Payano, R. (2012). *Recursos Hídricos. Región de Tarapacá. Diagnóstico y Sistematización de la Información*. Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos.
- Márquez, Y. (20 de junio de 2021). *Hombre de 63 años es el octavo migrante que muere cruzando frontera en Colchane*. Biobiochile.cl. Recuperado de: <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-tarapaca/2021/06/20/hombre-de-63-anos-es-el-octavo-migrante-que-muere-cruzando-frontera-en-colchane.shtml>
- Milano, L. (2009). *Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi. Allegato alle Linee Guida per la Riparazione e il Rafforzamento di elementi strutturali, Tamponature e Partizioni*.
- Ministerio de Obras Públicas. (2016) *Guía de diseño arquitectónico Aymara para edificios y espacios públicos*.
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2014). *Plan de Reconstrucción Región de Tarapacá, Sismos 1 y 2 de abril 2014*.
- 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, Nápoles, Doppiavoce.
- Moroni, María Ofelia. (2005) *Daños causados por el terremoto de 13 de junio de 2005 en las iglesias de la Región de Tarapacá*. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, Chile. Con la colaboración del Ministerio de Educación, Consejo de Monumentos Nacionales, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Arquitectura.
- NCh 1928.Of1993 Modificada en 2009
- NCh 433.Of1996 Modificada en 2009. *Diseño sísmico de edificios*. Norma Chilena
- NTC-2018, *Norme Tecniche per le Costruzioni*. Italia
- Oficina Nacional de Emergencia, Departamento de Protección Civil. (Agosto 2005). *Informe Consolidado Terremoto Primera Región de Tarapacá, 13 de junio de 2005*.
- Oficina Nacional de Emergencia. (2009). *Sismo destructivo de Tarapacá, 13 junio 2005*.
- Pareja, F. (2011). *Aplicación del índice de vulnerabilidad GNDT para edificaciones patrimoniales en iglesia Santa Ana, Valparaíso, Chile*. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

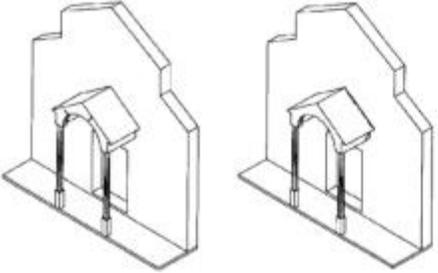
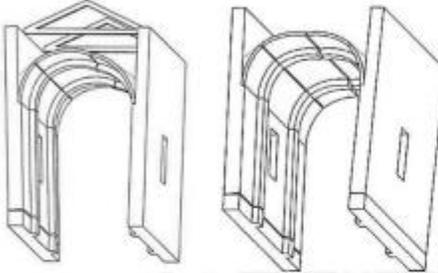
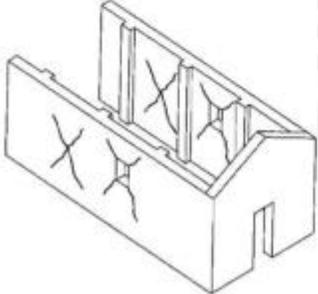
- Peyrat, S., Campos, J., de Chabaliér, J. B., Pérez, A., Bonvalot, S., Bouin, M.-P., Legrand, P., Nercessian, A., Charade, O., Patau, G., Clévéde, E., Kausel, E., Bernard, D., and Vilotte, J.-P. (2006). *Tarapacá intermediate-depth earthquake (Mw 7.7, 2005, northern Chile): A slab-pull event with horizontal fault plane constrained from seismologic and geodetic observations*. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, L22308, doi:10.1029/2006GL027710, 2006.
- Programa Riesgo Sísmico (PRS). (2017). *Evaluación de Riesgo Sísmico en Iglesias de la Quebrada de Tarapacá*. (Informe final Trabajo Dirigido de Diego Díaz Sandoval, a cargo de Juliette Marin Ríos). Santiago, Chile.
- Townsend, J. (Febrero 2011). *Iglesia de Sibaya*. Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. Recuperado de <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/iglesia-sibaya>
- Subsecretaría de Desarrollo Regional. (2012). *Puesta en valor del patrimonio*.
- United nations Office for Disaster Risk Reduction. (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*.
- United States Geological Survey Earthquake Hazards Program. (s.f.). *M 8.2 - 94km NW of Iquique, Chile*. US Geological Survey USGS. Recuperado el 10 de junio de 2021 de:<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usc000nzvd/shakemap/intensity>
- Vázquez, S. (2018). *Análisis de los aportes hídricos de la cuenca de la Quebrada de Tarapacá a la pampa del tamarugal mediante la implementación del modelo hidrológico distribuido GSSHA*. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Velasco, E. (Enero de 2011). *Capilla de Laonzana*. Consejo de Monumentos Nacionales de Chile. Recuperado de <https://www.monumentos.gob.cl/monumentos/monumentos-historicos/capilla-laonzana>
- Zona Franca de Iquique. (5 de junio de 2019). *ZOFRI y su permanente aporte al desarrollo regional*. ZOFRI. Recuperado de: <https://www.zofri.cl/es-cl/Nosotros/Prensa/Paginas/ZOFRI-y-su-aporte-regional.aspx>

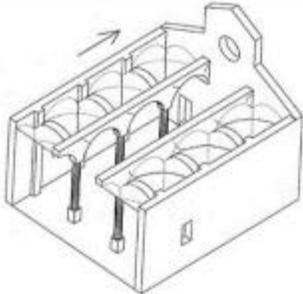
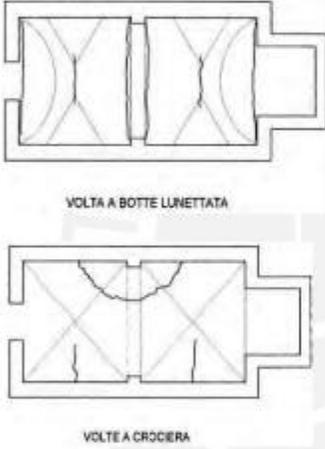
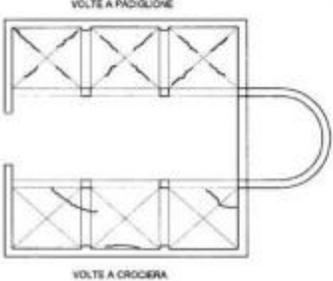
# Anexos

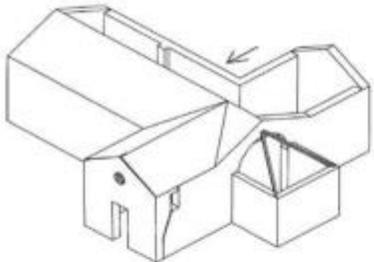
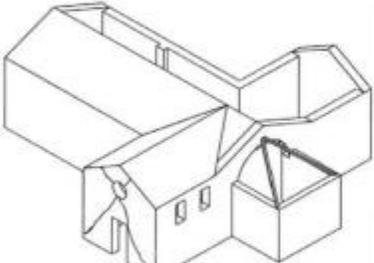
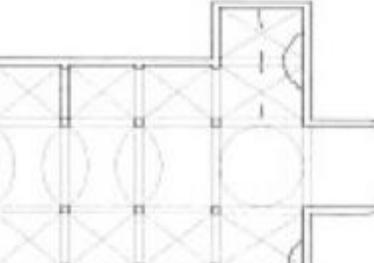
Anexo 01: Mecanismos de Colapso y sus indicadores de vulnerabilidad y resguardo sísmico.

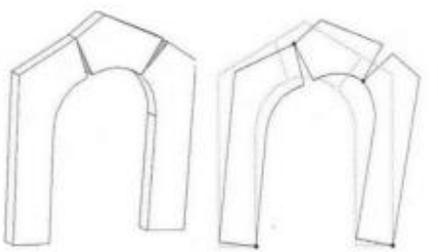
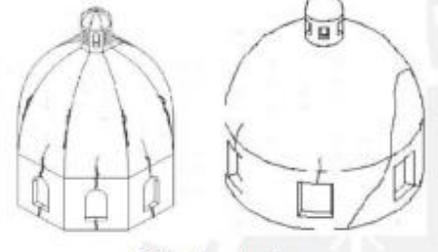
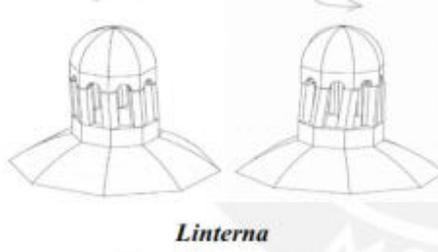
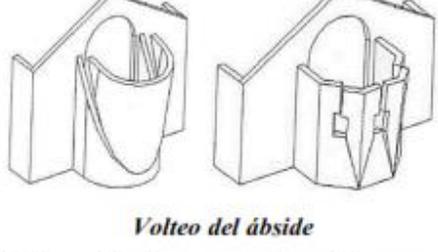
Extraído de Apaza (2018, 109 a 117) adaptada de la (Circolare N° 26, 2010).

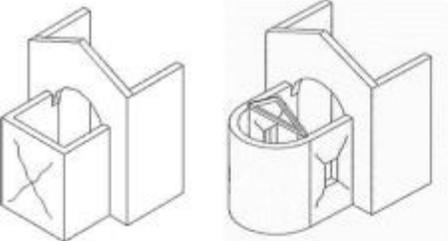
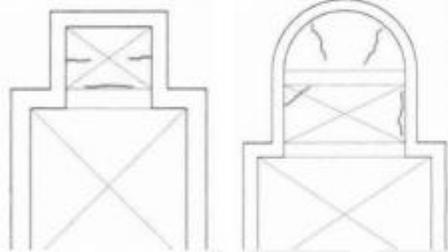
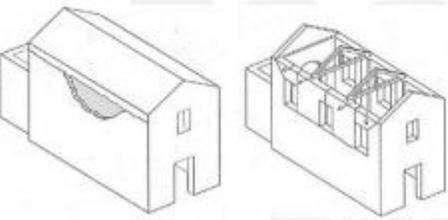
N°	<i>Mecanismo.</i>	<i>Indicadores de vulnerabilidad</i>	<i>Indicador de resguardo sísmico</i>
1	 <p><b>Volteo de la fachada</b> Separación de la fachada de los muros laterales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de elementos que generen empuje ortogonal a la fachada (apoyos, bóvedas, arcos).</li> <li>• Presencia de aberturas en los muros laterales cerca de la esquina.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo longitudinales.</li> <li>• Presencia de edificios, contrafuertes que impiden total o parcialmente la rotación de la fachada.</li> <li>• Buena calidad en la unión entre la fachada y los muros laterales de la nave.</li> </ul>
2	 <p><b>Mecanismo sobre la fachada</b> Volteo del tímpano, con grieta horizontal o deslizamiento del borde</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de grandes aberturas (rosetas)</li> <li>• Presencia de un tímpano de gran tamaño y peso</li> <li>• Presencia de bordes de c.a. de grandes dimensiones, cobertura pesada de c.a.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de conexiones puntuales con los elementos de cubierta.</li> <li>• Presencia de elementos de sujeción del plano.</li> <li>• Presencia de confinamiento ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, viga de c.a.).</li> </ul>
3	 <p><b>Mecanismo en el plano de la fachada</b> Agrietamiento diagonal (corte); agrietamiento vertical o arqueadas (rotación), otras grietas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de grandes aberturas (incluido rosetas)</li> <li>• Elevada esbeltez de la fachada. (relación ancho/alto)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo paralelo al muro frontal.</li> <li>• Presencia de edificios, contrafuertes que impiden la rotación del muro</li> </ul>

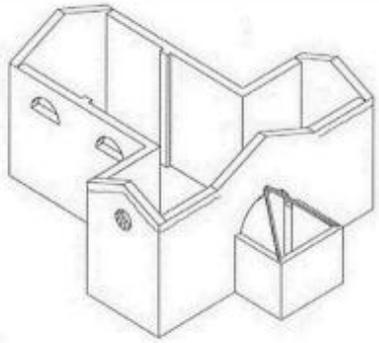
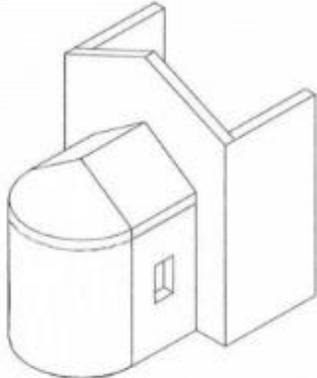
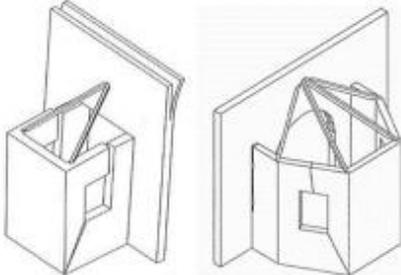
<p>4</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Nártex</i></p> <p>Falla en arcos o por rotación de columnas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de elementos empujadores (arcos, bóvedas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo o tirante paralelo a las fachada o muros longitudinales.</li> <li>• Presencia de columnas de rigidez adecuada.</li> </ul>
<p>5</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Respuesta transversal de la nave</i></p> <p>Grietas en los arcos (con posible continuación en la bóveda) - Rotaciones del muro lateral - Elementos no verticales y aplastamiento en las columnas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de muros de elevada esbeltez</li> <li>• Presencia de arcos y bóvedas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de contrafuerte externo que eviten la rotación de los muros.</li> <li>• Presencia de un cuerpo adyacente.</li> <li>• Presencia de tirantes paralelos a la fachada.</li> </ul>
<p>6</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Mecanismo de corte en muros laterales</i></p> <p>Grietas inclinadas (simple o cruzada), debido a la discontinuidad de la mampostería.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de grandes aberturas o mampostería de espesor reducido (rosetas)</li> <li>• Presencia de confinamiento rígido (c.a.), cubierta pesada de c.a.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad</li> <li>• Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas</li> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada o c.a.)</li> </ul>

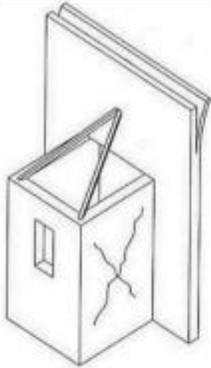
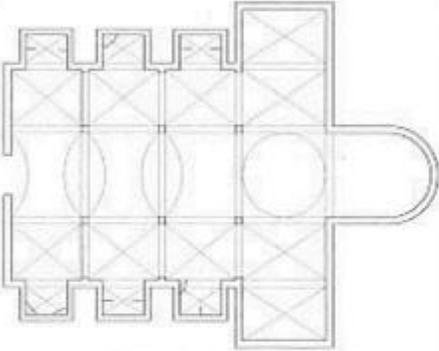
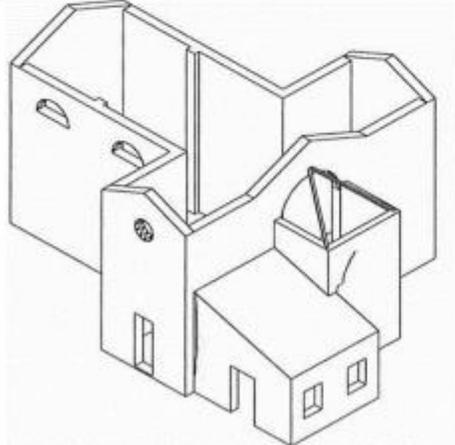
<p>7</p>	 <p><b>Respuesta longitudinal de columnas en la nave de la iglesia</b></p> <p>Grietas en arcos - Aplastamiento y / o fisuración en la base de las columnas – Fisuras por corte en la bóveda de las naves laterales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bóvedas pesadas en la nave central</li> <li>• Cobertura pesada de concreto armado o refuerzo rígido de espesor considerable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo paralelo a muros longitudinales</li> <li>• Presencia de contrafuertes y/o edificios en las fachadas</li> </ul>
<p>8</p>	 <p><b>Boveda de la nave central</b></p> <p>Fisura en las bóvedas de la nave central, y en la conexión arco – bóveda.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cargas concentradas transmitidas por la cobertura</li> <li>• Presencia de lunetas de dimensiones considerables.</li> <li>• Bóveda delgada, especialmente si están en grandes espacios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo en una posición eficaz</li> </ul>
<p>9</p>	 <p><b>Bovedas de las naves laterales</b></p> <p>Fisura en las bóvedas y desacoplamiento de los arcos y muros laterales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cargas concentradas transmitidas por la cobertura</li> <li>• Presencia de lunetas de dimensiones considerables.</li> <li>• Bóveda delgada, especialmente si están en grandes espacios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo en una posición eficaz</li> </ul>

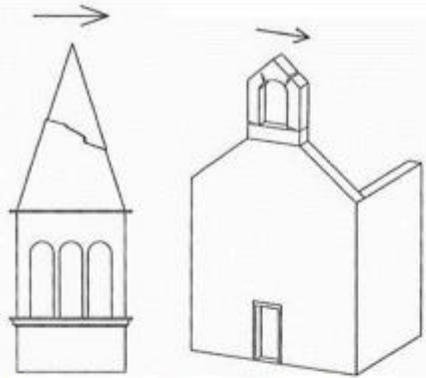
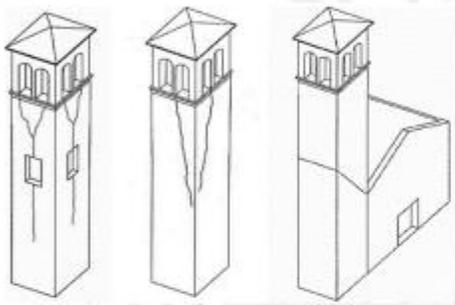
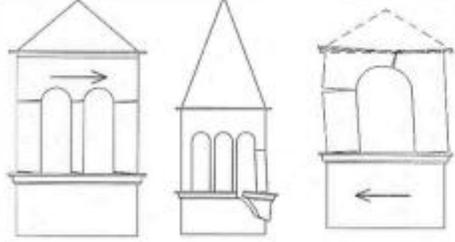
<p>10</p>	 <p><b><i>Volteo de muros del extremo del transepto</i></b></p> <p>Desprendimiento del muro frontal de los laterales - Inclinación o disgregación del timpano en la parte superior.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bordes rígidos, vigas en c.a., cubierta pesada</li> <li>• Presencia de grandes aberturas en el muro frontal (roseta) y / o en los muros laterales</li> <li>• Presencia de una vela de gran tamaño y peso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo longitudinal.</li> <li>• Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, otros edificios)</li> <li>• Buena conexión con la cobertura (refuerzo perimetral)</li> <li>• Buena calidad en la unión entre el muro frontal y los laterales.</li> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros).</li> </ul>
<p>11</p>	 <p><b><i>Mecanismo de corte en los muros del transepto</i></b></p> <p>Grietas inclinadas (simples o cruzadas) – Fisuras por discontinuidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada</li> <li>• Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad</li> <li>• Presencia de travesaños o dinteles en las aberturas.</li> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)</li> </ul>
<p>12</p>	 <p><b><i>Bóveda del transepto</i></b></p> <p>Fisura en la bóveda, arcos y en los muros laterales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cargas concentradas transmitidas por la cobertura</li> <li>• Presencia de lunetas de dimensiones considerables.</li> <li>• Bóveda delgada, especialmente si están en grandes espacios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo en una posición eficaz</li> </ul>

<p>13</p>	 <p><b>Arco triunfal</b></p> <p>Fisuras en el arco – Desplazamiento de apoyos – fisuras horizontales en la base de los pedestales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cobertura pesada de c.a.</li> <li>• Presencia de cúpula o tambor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de muros de contraste efectivos (relación luz/ancho de la nave, transepto, otros)</li> <li>• Presencia de refuerzo en una posición eficaz</li> <li>• Presencia de apoyos bien contruidos y/o adecuado espesor.</li> <li>• Presencia de tímpano superior.</li> </ul>
<p>14</p>	 <p><b>Cúpula - tambor</b></p> <p>Daño en la cúpula (en arco) con posible continuación en el tambor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• presencia de cobertura pesada de c.a.</li> <li>• Presencia de grandes aberturas en el tambor</li> <li>• Presencia de cargas concentradas transmitidas por la cobertura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de un borde circular externo, incluso en múltiples niveles.</li> <li>• Presencia en el tambor de contrafuerte exterior</li> <li>• Cúpula apoyada directamente en los arcos de triunfo (sin tambor)</li> </ul>
<p>15</p>	 <p><b>Linterna</b></p> <p>Daño en el cupulino de la linterna - Rotaciones o desplazamiento de los elementos verticales (pilares).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linterna de elevada esbeltez, con grandes aberturas y pequeños pilares.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo externo.</li> <li>• Presencia de pilastras o contrafuertes</li> <li>• Dimensiones más pequeñas que las de la cúpula.</li> </ul>
<p>16</p>	 <p><b>Volteo del ábside</b></p> <p>Daños verticales o arqueadas en los muros del ábside – Daños verticales en ábsides poligonales - Daños en “U” en ábsides semicirculares.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en los muros</li> <li>• Presencia de bóvedas empujando</li> <li>• Borde rígido, cubierta pesada, vigas de techo de c.a.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de refuerzo en el contorno o refuerzo horizontal.</li> <li>• Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, cuerpos adyacentes, otros edificios)</li> <li>• Presencia de cubierta de contrapeso, sin empuje.</li> </ul>

<p>17</p>	 <p><b>Mecanismos de corte en el presbiterio o en el ábside</b></p> <p>Fisuras inclinadas (simples o cruzadas) - Daños en las discontinuidades del muro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada</li> <li>• Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad</li> <li>• Presencia de buenos arquivados en las aberturas.</li> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros).</li> </ul>
<p>18</p>	 <p><b>Bóveda del presbiterio o del ábside</b></p> <p>Daños en las bóvedas y en las conexiones con los arcos y muros laterales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cargas concentradas transmitidas por la cobertura</li> <li>• Presencia de lunetas de dimensiones considerables.</li> <li>• Bóveda delgada, especialmente si están en grandes espacios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La presencia de refuerzo horizontal en una posición eficaz.</li> </ul>
<p>19</p>	 <p><b>Mecanismos en los elementos de cubierta - muros laterales de la nave</b></p> <p>Daños cerca de los apoyos de las vigas de madera, deslizamiento de las mismas - Conexiones entre bordes y mampostería - Movimientos significativos de la cubierta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cubierta que genere empuje estático</li> <li>• Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)</li> <li>• Presencia de conexiones puntuales de la viga a la mampostería</li> <li>• Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)</li> <li>• Presencia de buenas conexiones de los elementos de cubierta.</li> </ul>

<p>20</p>	 <p><b>Mecanismos en los elementos de cubierta – transepto</b></p> <p>Daños cerca de los apoyos de las vigas de madera, deslizamiento de las mismas - Conexiones entre bordes y mampostería - Movimientos significativos de la cubierta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cubierta que genere empuje estático</li> <li>• Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)</li> <li>• Presencia de conexiones puntuales de la viga a la mampostería</li> <li>• Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)</li> <li>• Presencia de buenas conexiones de los elementos de cubierta.</li> </ul>
<p>21</p>	 <p><b>Mecanismos en los elementos de cubierta - ábside y presbiterio</b></p> <p>Lesión cerca de las cabezas de las vigas de madera, deslizamiento de las mismas - Conexiones entre los bordillos y la mampostería - Movimientos significativos de la tapa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cubierta que genere empuje estático</li> <li>• Presencia de bordes rígidos, cobertura pesada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros)</li> <li>• Presencia de conexiones puntuales de la viga a la mampostería</li> <li>• Presencia de arriostres (elementos cruzados o tirantes metálicos)</li> <li>• Presencia de buenas conexiones de los elementos de cubierta.</li> </ul>
<p>22</p>	 <p><b>Volteo de la capilla</b></p> <p>Separación del muro frontal de los laterales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de un fuerte debilitamiento por la presencia de aberturas en los muros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de elementos de contraste efectivos (contrafuertes, edificios contiguos)</li> <li>• Presencia de tirantes y refuerzos en el perímetro</li> <li>• Buena calidad en la unión entre el muro frontal y laterales.</li> </ul>

23	 <p><b>Mecanismos de corte en muros de la capilla</b></p> <p>Fisuras inclinadas (simples o cruzadas) - Daños en las discontinuidades del muro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de bordes rígidos, cubierta pesada</li> <li>• Presencia de aberturas grandes o áreas con mampostería de espesor reducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad</li> <li>• Presencia de buenos arquiteabes en las aberturas.</li> <li>• Presencia de bordes ligeros (metal reticulado, mampostería reforzada, otros).</li> </ul>
24	 <p><b>Bóveda de la capilla</b></p> <p>Daños en las bóvedas y en las conexiones con los arcos y muros laterales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de cargas concentradas transmitidas por la cobertura</li> <li>• Presencia de lunetas de dimensiones considerables.</li> <li>• Bóveda delgada, especialmente si están en grandes espacios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La presencia de refuerzo horizontal en una posición eficaz .</li> </ul>
25	 <p><b>Irregularidad en planta - altura</b></p> <p>Movimiento en discontinuidades de construcción – Daños de mampostería por martilleo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de una elevada diferencia de rigidez entre los dos cuerpos</li> <li>• Posibilidad de acciones concentradas transmitidas por el elemento de enlace.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de una conexión adecuada entre mampostería de diferentes fases</li> <li>• Presencia de refuerzos horizontales de conexión.</li> </ul>

<p>26</p>	 <p><b>Voladizos (velas, chapiteles, pináculos, estatuas)</b></p> <p>Evidencia de rotación permanente o deslizamiento – Daños y fisuras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elementos de alta esbeltez</li> <li>• Posición asimétrica con respecto al elemento subyacente (especialmente si el voladizo tiene una gran masa).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de pasadores de conexión con la mampostería o elementos de retención.</li> <li>• Elementos de limitada importancia y tamaño</li> <li>• Mampostería monolítica (de buena calidad).</li> </ul>
<p>27</p>	 <p><b>Torre de campanario</b></p> <p>Daños cerca de la unión con el cuerpo de la iglesia – fisuras de corte o deslizamiento - Fisura vertical o arqueada (exposición de uno o más ángulos).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de aberturas significativas en múltiples niveles.</li> <li>• Restricción asimétrica en las paredes de la base (torre incorporada)</li> <li>• Apoyo irregular de la torre con el suelo (presencia de arcos en algunos lados, muros en voladizo).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mampostería uniforme (fase de construcción única) y de buena calidad</li> <li>• Presencia de refuerzos horizontales a diferentes alturas</li> <li>• Presencia de una distancia adecuada de los muros de la iglesia (si es adyacente)</li> <li>• Presencia de buena conexión con los muros de la iglesia (si están incrustadas).</li> </ul>
<p>28</p>	 <p><b>Campanario</b></p> <p>Daños en los arcos - Rotaciones o deslizamientos de los elementos verticales (pilares).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de una cobertura pesada u otras masas significativas.</li> <li>• Presencia de empuje estático de la cobertura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presencia de pilares rígidos y/o arcos de luz reducida.</li> <li>• Presencia de refuerzo metálico.</li> </ul>