



**Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones existentes en la parroquia
Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua**

Cunalata Vásquez, Fabiana Elizabeth

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría de Investigación en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Magíster en

Ingeniería Civil con Mención en Estructuras

Ing. Caiza Sánchez, Pablo Enrique PhD

29 de agosto de 2022



[Tesis_Cunalata_Fabiana.pdf](#)

Scanned on: 14:19 August 29, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text



El modo a la izquierda por:
PABLO ENRIQUE
CAIZA SANCHEZ

Identical Words	1706
Words with Minor Changes	521
Paraphrased Words	628
Omitted Words	0



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología
Centro de Posgrados

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones existentes en la parroquia Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua”** fue realizado por la señorita Cunalata Vásquez Fabiana Elizabeth cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 29 de agosto de 2022

Firma:

Ing. Caiza Sánchez Pablo Enrique Ph.D

Director

CC: 1707597272



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología
Centro de Posgrados

Responsabilidad de autoría

Yo, Cunalata Vásquez Fabiana Elizabeth con cédula de ciudadanía N° 1803716123, declaro que el contenido, ideas y criterio del trabajo de titulación: **Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones existentes en la parroquia Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 29 de agosto de 2022

Firma:

.....
Cunalata Vásquez Fabiana Elizabeth

CC: 1803716123



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Autorización de Publicación

Yo, Cunalata Vásquez Fabiana Elizabeth con cédula de ciudadanía N° 1803716123, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones existentes en la parroquia Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 29 de agosto de 2022

Firma:



.....
Cunalata Vásquez Fabiana Elizabeth

CC: 1803716123

Dedicatoria

A Dios, cuya presencia la he sentido en cada momento de mi vida, quien me ha dado fortaleza y sabiduría para continuar con entusiasmo y alegría.

A mis padres, Guillermo y Gladys por su constante apoyo, de manera especial a mi madre quien me ha acompañado en cada paso de mi vida y haber sido desde siempre mi compañera de estudios y mi mejor amiga.

A mi familia, de manera especial a mi tía Giovanna, por su apoyo incondicional en mi vida estudiantil.

Agradecimiento

A Dios, por todas las bendiciones recibidas y por ser la principal fortaleza en mi vida.

Al doctor Pablo Caiza por su guía y apoyo en la realización de este proyecto y su difusión en otros espacios.

Al ingeniero José Poveda y su grupo de estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por su participación y trabajo efectuado para que este proyecto se cristalice.

Al doctor Roberto Aguiar por su interés en el proyecto de investigación al permitirme difundir el trabajo realizado y los resultados obtenidos a través del programa de conferencias: “El conocimiento no se detiene Dr. Roberto Aguiar Falconí”

Al ingeniero Carlos Celi y al doctor Alejandro Calderón por su aporte con sus criterios y conocimientos.

Al ingeniero Fernando Cañizares por el aporte realizado para mejorar el presente trabajo.

Al doctor Jorge Jácome por la ayuda brindada en la difusión del proyecto a través de Radio Centro.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Ambato, de manera especial al Departamento de Avalúos y Catastros en la persona del ingeniero Fricson Moreira, Jefe de Cartografía y a la Unidad de Gestión de Riesgos por la información entregada.

A los docentes del programa de maestría por las oportunidades brindadas para mi crecimiento profesional.

A mis compañeros con quienes, a pesar de la virtualidad, compartimos muchos momentos y fomentamos una gran amistad.

Índice

Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	15
Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo I	20
Generalidades.....	20
Introducción.....	20
Antecedentes	21
Planteamiento del problema	25
Macro.....	25
Meso.....	29
Micro.....	31
Justificación e importancia.....	33
Objetivos	35
Objetivo General.....	35
Objetivos específicos	35
Hipótesis de investigación	35
Capítulo II	36
Marco teórico	36

Introducción.....	36
Evaluación del riesgo sísmico	36
Vulnerabilidad	37
Metodología SARA	42
Taxonomía GEM.....	49
Experiencia Ecuatoriana	53
OpenQuake	57
Principales características del motor OpenQuake.....	57
Método FEMA P-154	59
Tipos de edificaciones.....	62
Ventajas y limitaciones.....	65
Método FUNVISIS	67
Metodología NEC	79
Tipos de uso de edificaciones	80
Tipología del sistema estructural.....	80
Puntaje básico	81
Puntaje final y grado de vulnerabilidad sísmica.....	82
Capítulo III	84
Metodología	84
Área de influencia.....	84
Clasificación de suelos	87
Amenaza Sísmica de Ambato	91
Selección de la muestra	95

	10
Recolección de datos	96
Elaboración de las encuestas	100
Taxonomía GEM.....	100
FEMA P-154	104
FUNVISIS	107
NEC- 2015.....	108
Tratamiento de datos.....	108
Recopilación de información de formularios.....	108
Recopilación de información del total de edificaciones.....	115
Construcción del modelo de exposición.....	118
Generación de esquema de mapeo.....	119
Capítulo IV	128
Resultados de la investigación	128
Análisis de los resultados	128
Resultados de los levantamientos en campo	128
Resultados de los levantamientos visuales	144
Validez de los resultados	159
Modelo de exposición.....	163
Zona de estudio	163
Mapping Scheme o esquema de mapeo.....	164
Parroquia Huachi Chico	164
Capítulo V	173
Conclusiones y Recomendaciones	173

Conclusiones.....	173
Recomendaciones.....	176
Referencias.....	178
Apéndices.....	183

Índice de tablas

Tabla 1	Atributos y sus niveles de detalle de la taxonomía de GEM	53
Tabla 2	Tipos de edificios FEMA P-154	62
Tabla 3	Clases de ocupación de edificios y designaciones de ocupación	63
Tabla 4	Clases de ocupación de edificios y carga de ocupación	63
Tabla 5	Valores del Índice de Amenaza (IA)	68
Tabla 6	Índices de Vulnerabilidad específica (I_i) y pesos relativos (α_i).....	70
Tabla 7	Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la antigüedad (I_1).....	70
Tabla 8	Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con el Tipo estructural (I_2).....	71
Tabla 9	Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con irregularidades (I_{3f})	73
Tabla 10	Separación entre edificaciones.....	73
Tabla 11	Valores de Índice de Vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito (I_4)....	74
Tabla 12	Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la topografía y drenajes (I_5)	75
Tabla 13	Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado al grado de deterioro (I_6)	75
Tabla 14	Clasificación según el uso del edificio	76
Tabla 15	Valores del Índice de Importancia (I_i).....	76
Tabla 16	Valoración del Índice de Vulnerabilidad (I_v).....	77
Tabla 17	Valoración del Índice de Riesgo (I_R)	77
Tabla 18	Valoración del Índice de Priorización (I_p).....	78
Tabla 19	Tipos de uso de edificaciones NEC-15.....	80
Tabla 20	Tipos del sistema estructural implementados para la evaluación	81
Tabla 21	Puntaje básico de cada sistema estructural.....	81
Tabla 22	Valores de f_{peak} y A_{peak} para los puntos de Huachi Chico	89
Tabla 23	Eventos sísmicos ocurridos en Ambato y lugares cercanos	91
Tabla 24	Tipologías de edificaciones parroquia Huachi Chico	95

Tabla 25	Número de viviendas levantadas por zona	99
Tabla 26	Determinación de la región sísmica a partir de la respuesta de aceleración espectral M_{CER}	104
Tabla 27	Determinación de los valores S_s y S_1	106
Tabla 28	Tipologías GEM obtenidas	118
Tabla 29	Número de pisos	128
Tabla 30	Combinación de irregularidades estructurales en las viviendas levantadas.....	129
Tabla 31	Geometría en elevación de las viviendas levantadas	131
Tabla 32	Geometría en planta de las viviendas levantadas.....	132
Tabla 33	Tipologías FUNVISIS	133
Tabla 34	Tipologías FEMA.....	134
Tabla 35	Tipologías NEC	136
Tabla 36	Taxonomía GEM	137
Tabla 37	Índice de vulnerabilidad.....	139
Tabla 38	Índice de riesgo	140
Tabla 39	Índice de priorización de las viviendas levantadas	141
Tabla 40	Grado de vulnerabilidad NEC.....	142
Tabla 41	Vulnerabilidad FEMA.....	143
Tabla 42	Número de pisos parroquia Huachi Chico	144
Tabla 43	Material de techo parroquia Huachi Chico.....	146
Tabla 44	Material de paredes parroquia Huachi Chico.....	149
Tabla 45	Índice de vulnerabilidad parroquia Huachi Chico	149
Tabla 46	Índice de riesgo parroquia Huachi Chico	151
Tabla 47	Índice de priorización parroquia Huachi Chico.....	153
Tabla 48	Grado de vulnerabilidad NEC.....	154
Tabla 49	Índice de vulnerabilidad FEMA.....	156

Tabla 50	Taxonomía GEM parroquia Huachi Chico	157
Tabla 51	Comparación número de pisos.....	159
Tabla 52	Comparación índice de vulnerabilidad FUNVISIS.....	160
Tabla 53	Comparación índice de riesgo FUNVISIS.....	160
Tabla 54	Comparación índice de priorización FUNVISIS	161
Tabla 55	Comparación grado de vulnerabilidad NEC.....	161
Tabla 56	Comparación grado de vulnerabilidad FEMA	162
Tabla 57	Comparación taxonomía GEM	163
Tabla 58	Total de predios por zona.....	165
Tabla 59	Diferencia de pisos zona 1	166
Tabla 60	Diferencia de pisos zona 2	166
Tabla 61	Diferencia de pisos zona 3	167
Tabla 62	Diferencia de pisos zona 4	167
Tabla 63	Diferencia de pisos zona 5	168
Tabla 64	Tabla resumen	170
Tabla 65	Distribución de la población a nivel de cada parroquia según el censo 2010 (zona urbana)	171
Tabla 66	Proyecciones de población de las parroquias de la zona urbana del cantón Ambato	172

Índice de figuras

Figura 1 Epicentros de los terremotos mayores a 6.5 grados, ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta el 2017	28
Figura 2 Modelo de exposición SARA.....	45
Figura 3 Modelo de exposición regional.....	45
Figura 4 Vulnerabilidad social: diagrama de riesgo integrado	46
Figura 5 Vulnerabilidad social.- Ecuador.....	47
Figura 6 Pérdidas medias anuales	48
Figura 7 Genoma de la edificación.....	52
Figura 8 Tipologías constructivas.....	54
Figura 9 Principales grupos de trabajo de cálculo de peligros que soporta el motor de OpenQuake	58
Figura 10 Zonas donde se consideran los efectos topográficos en el Índice de Amenaza I_A	69
Figura 11 Construcciones en las que se considera vulnerabilidad asociada con la topografía (I5).....	74
Figura 12 Puntaje básico de cada sistema estructural	82
Figura 13 División Político- Administrativa del cantón Ambato	85
Figura 14 Fallas geológicas en la parroquia de Huachi Chico	86
Figura 15 Ubicación de los sitios seleccionados para el estudio geotécnico	87
Figura 16 Sitio de estudio, señales sísmicas y Espectros de Fourier	88
Figura 17 Curvas de igual período de vibración del suelo de Ambato	89
Figura 18 Clasificación de los suelos de la ciudad de Ambato desde el punto de vista sísmico	90
Figura 19 Mapa de fallas geológicas del cantón Ambato	93
Figura 20 Mapa de localización de la ciudad de Ambato y sismicidad registrada en el catálogo: ISG-GEM	94

Figura 21	División de la parroquia en zonas	97
Figura 22	Edificaciones levantadas.....	98
Figura 23	Levantamiento de información	99
Figura 24	Interfaz IDCT Direct Observation Survey	100
Figura 25	Parte de edificaciones levantadas mediante la aplicación.....	101
Figura 26	Plataforma Openquake	102
Figura 27	Interfaz de Plataforma Openquake para selección de taxonomía.....	103
Figura 28	Taxonomía GEM en su forma larga y corta.....	104
Figura 29	Espectros de Peligro Sísmico Uniforme en suelo tipo “D” con valores promedio y con valores envolvente	105
Figura 30	Identificación de S_s y S_1 en Espectros de Peligro Sísmico Uniforme (criterio promedio y envolvente).....	106
Figura 31	Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada	107
Figura 32	Zonificación Sísmica del Ecuador	107
Figura 33	Información general y código de la edificación	109
Figura 34	Características de la edificación.....	110
Figura 35	Condiciones de construcción.....	110
Figura 36	Características topográficas del terreno	111
Figura 37	Tipología de la estructura.....	111
Figura 38	Cálculos FEMA, NEC, FUNVISIS.....	111
Figura 39	Taxonomía GEM.....	112
Figura 40	Resultados aplicación IDCT DO SURVEY	112
Figura 41	Número de pisos en viviendas levantadas	128
Figura 42	Combinaciones de irregularidades estructurales.....	130
Figura 43	Geometría en elevación de las viviendas levantadas	131
Figura 44	Geometría en planta de las viviendas levantadas	132

Figura 45	Porcentajes de tipologías estructurales FUNVISIS.....	134
Figura 46	Porcentajes tipologías FEMA	135
Figura 47	Porcentajes tipologías NEC	136
Figura 48	Porcentajes tipología GEM.....	138
Figura 49	Calificación de la vulnerabilidad	139
Figura 50	Calificación del riesgo	140
Figura 51	Calificación de la priorización	141
Figura 52	Grado de vulnerabilidad NEC.....	142
Figura 53	Porcentajes vulnerabilidad FEMA	143
Figura 54	Distribución espacial del número de pisos parroquia Huachi Chico.....	145
Figura 55	Distribución espacial del material de techo parroquia Huachi Chico.....	147
Figura 56	Distribución espacial material de paredes parroquia Huachi Chico	148
Figura 57	Índice de vulnerabilidad FUNVISIS parroquia Huachi Chico	150
Figura 58	Distribución espacial del índice de riesgo parroquia Huachi Chico	152
Figura 59	Distribución espacial de índice de priorización parroquia Huachi Chico	153
Figura 60	Distribución espacial índice de vulnerabilidad NEC parroquia Huachi Chico	155
Figura 61	Distribución espacial índice de vulnerabilidad FEMA parroquia Huachi Chico.....	156
Figura 62	Distribución espacial taxonomía GEM.....	158

Resumen

Se pretende realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes mediante la metodología desarrollada por la fundación Global Earthquake Model (GEM foundation) dentro del marco del proyecto South America Risk Assessment (SARA), en la que se propone establecer un modelo de exposición, el mismo que se lo realizará considerando información obtenida mediante inspecciones visuales rápidas de viviendas utilizando los formularios presentados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), FEMA P-154 (base del formulario de NEC) y el procedimiento desarrollado dentro del Proyecto SismoCaracas en el cual se asignarán índices de vulnerabilidad, de riesgo y priorización sísmica a cada una de las edificaciones evaluadas.

El estudio en mención se enfocará en la parroquia Huachi Chico del cantón Ambato provincia de Tungurahua, con el fin de evaluar los posibles daños que se puedan presentar en las estructuras ante sismos, mediante una inspección técnica visual del estado actual de las construcciones, a efecto de establecer una guía para la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica; para ello se establecerá una muestra considerando el número total de edificaciones residenciales y mixtas.

Del estudio realizado se obtuvo que las viviendas de la parroquia presentan una vulnerabilidad media alta lo cual indica la importancia de trabajar en planes de reforzamiento para estructuras. La guía elaborada permitirá la reproducción del estudio en mención en otras ciudades para que el país disponga de estas investigaciones para planes de mitigación de riesgos.

Palabras clave: Vulnerabilidad, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Agencia Federal de Gestión de Emergencias, Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Abstract

The purpose is to carry out a seismic vulnerability study of existing buildings using the methodology developed by the Global Earthquake Model (GEM foundation) within the framework of the South America Risk Assessment (SARA) project, in which it is proposed to establish an exposure model, This will be done by considering information obtained through quick visual inspections of houses using the forms presented in the Ecuadorian Construction Standard (NEC), FEMA P-154 (basis of the NEC form) and the procedure developed within the SismoCaracas Project in which vulnerability, risk and seismic prioritization indexes will be assigned to each of the evaluated buildings.

The study will focus on the Huachi Chico parish of Ambato, province of Tungurahua, in order to evaluate the possible damages that may occur in the structures in the event of earthquakes, through a visual technical inspection of the current state of the buildings, in order to establish a guide for conducting seismic vulnerability studies; for this purpose, a sample will be established considering the total number of residential and mixed buildings.

From the study carried out, it was found that the houses in the parish have a medium-high vulnerability, which indicates the importance of working on reinforcement plans for structures. The guide developed will allow the reproduction of the study in other cities so that the country will have these investigations available for risk mitigation plans.

Keywords: Vulnerability, Venezuelan Seismological Research Foundation, Federal Emergency Management Agency, Ecuadorian Construction Standard

Capítulo I

Generalidades

Introducción

El presente proyecto de investigación pretende realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes mediante la metodología desarrollada por la fundación Global Earthquake Model (GEM foundation) dentro del marco del proyecto South America Risk Assessment (SARA), en la que se propone establecer un modelo de exposición, el mismo que se lo realizará considerando información censal, así como inspecciones visuales rápidas de viviendas utilizando los formularios presentados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), FEMA P-154 (base del formulario de NEC) y el procedimiento desarrollado dentro del Proyecto SismoCaracas en el cual se asignarán índices de vulnerabilidad, de riesgo y priorización sísmica a cada una de las edificaciones evaluadas.

El estudio en mención se enfocará en la parroquia Huachi Chico del cantón Ambato provincia de Tungurahua, con el fin de evaluar los posibles daños que se puedan presentar en las estructuras ante sismos, mediante una inspección técnica visual del estado actual de las construcciones, a efecto de establecer una guía para la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica; para ello se establecerá una muestra considerando el número total de edificaciones residenciales y mixtas. El modelo de exposición que se realizará contendrá un catálogo de las tipologías estructurales encontradas en la parroquia a partir de los levantamientos visuales, identificando sus características constructivas y estructurales, mediante los datos obtenidos con el uso de los formularios propuestos por NEC, FEMA y el proyecto SismoCaracas desarrollado por FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas), de este modo, se podrá determinar las posibles condiciones de vulnerabilidad y el riesgo de colapso ante los eventos sísmicos que puedan presentarse y de este modo

identificar, clasificar, seleccionar, describir las estructuras y sus elementos, de acuerdo a indicadores de riesgo sísmico.

El presente trabajo brindará una guía de evaluación de vulnerabilidad sísmica basado en un análisis visual rápido de las estructuras para obtener resultados que sean de utilidad para identificar zonas vulnerables y su correspondiente nivel de vulnerabilidad ante un evento sísmico.

Antecedentes

Pese a la relevancia que presenta el tema de ordenamiento territorial y planeación urbanística en las zonas de riesgo sísmico, no se ha prestado la atención requerida por parte de los investigadores a aquellos parámetros urbanísticos que influyen en la vulnerabilidad de las edificaciones. Los estudios e iniciativas que se conocen alrededor del mundo han realizado un análisis profundo acerca del comportamiento estructural y constructivo de edificaciones, en donde se toma al edificio como un elemento individual de la ciudad (Martínez, 2014).

A inicios del siglo XX nacen los estudios de vulnerabilidad como una respuesta ante las secuelas de sismos que han sucedido en varios lugares de mundo, razón por la cual, se encomendó a los ingenieros la función de valorar los efectos de los sismos en las viviendas y en las edificaciones en general, con el fin de plantear alternativas que reducirán los efectos en el futuro. De este modo, se empezaron a exponer las primeras definiciones de diseño sismorresistente y se comenzaron investigaciones dentro del campo de la ingeniería sísmica en distintos países del mundo (Llanos & Vidal, 2003).

A lo largo de las décadas de los años 60 y 70, emergen las llamadas “Técnicas de Screening” que son las metodologías iniciales que permiten realizar evaluaciones de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes, las mismas que se convirtieron en el fundamento para procedimientos que surgen después y que se muestran en normativas de gran importancia (Llanos & Vidal, 2003).

En varios países solo existen unos pocos métodos para evaluar rápidamente la vulnerabilidad sísmica de los edificios, uno de ellas, en el caso de Perú, fue desarrollado en el 2010, por la Unidad Estudios y Evaluación de Riesgos de la Dirección Nacional de Prevención, del INDECI. Se trata de una inspección visual del edificio que lo clasifica cualitativamente en cuatro niveles de riesgo: muy alto, alto, moderado y bajo. Esto se ha puesto en práctica en varios distritos de Lima, pero los informes resultantes de estos trabajos no tenían un modelo uniforme para su emisión debido a que no se ejecuta una inspección íntegra de la estructura de conformidad a los requisitos de la norma de seguridad sísmica y normas adicionales del Reglamento Nacional de Construcciones y cada especialista realiza su informe de conformidad a sus opiniones y perspectivas (Castro-Herrera, 2019).

El Centro de estudios y Prevención de Desastres (PREDES), en Perú, desarrolló otra metodología llamada “Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos” en el año 2008, la cual se fundamenta en la instauración de tablas y matrices que unían lo cualitativo con lo cuantitativo a través del establecimiento de valores según variables e indicadores y opiniones de carácter técnico de profesionales que califican a las edificaciones y las ubican dentro de cuatro niveles de riesgo: muy alto, alto, moderado y bajo (Castro-Herrera, 2019).

Todo ello debido a que el mundo ha estado expuesto siempre al riesgo ante eventos naturales, de ahí surge la necesidad de contar con edificaciones que sean seguras y no pongan en peligro la vida de sus habitantes; sin embargo, muchas estructuras son construidas sin una supervisión y sin el criterio técnico adecuado por lo que es importante evaluar las construcciones existentes con el fin de identificar su grado de vulnerabilidad ante un evento sísmico.

Con el pasar del tiempo las normas de diseño se han actualizado y conforme a las experiencias en cuanto al desempeño de las estructuras ante eventos sísmicos, se han establecido controles más rigurosos, que incluyen la evaluación del estado actual de las

estructuras con el fin de poder diagnosticar deficiencias en diseño y construcción, para así proponer las soluciones pertinentes para mejorar su desempeño.

En el año de 1988, la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA) realizó la publicación de la primera edición del Informe de FEMA 154 titulado: “Detección Visual Rápida de Edificaciones de Posibles Riesgos Sísmicos: Manual” (1988) el cual presenta un método de inspección y un puntaje de evaluación. Acompañando a este manual se publicó el documento FEMA 155 “Detección Visual Rápida de Edificaciones de Posibles Riesgos Sísmicos: Documentación de apoyo” (1988) en donde se explica la metodología de dicho procedimiento y las variables y valores que se utilizan en él. En la primera edición del FEMA 154 se muestra un método de detección visual rápido para reconocer aquellas estructuras que puedan significar un alto riesgo de pérdida de vidas y daños, así como una interrupción de los servicios de una comunidad cuando se presenta un terremoto. Para la segunda edición del Manual de FEMA 154 año 2002, se mostró un modelo de detección visual rápida para reconocer, clasificar y calificar a las estructuras que sísmicamente, significan gran peligro. La forma de calificación fue estudiada considerando la nueva información y se simplificó el manual con el fin de que su aplicación resulte más sencilla. En la segunda edición del FEMA 155 se explica la base técnica para el procedimiento de detección visual rápida (Castro-Herrera, 2019).

Por otro lado, en Venezuela, ante el terremoto ocurrido en Caracas 1967 con grandes pérdidas humanas y materiales, se impulsó el avance de las investigaciones sismológicas en el país creándose a partir de esa fecha dos comisiones que evaluaron los efectos del sismo. Una de ellas se dedicó a investigar las causas que provocaron las fallas en varios edificios del Área Metropolitana de Caracas y el Litoral Central mientras que la otra determinó las causas, características y consecuencias del sismo. Una vez conocidos los resultados de las investigaciones realizadas se planteó la necesidad de crear una institución especializada en el estudio e investigación de los eventos sísmicos, es así que, mediante decreto ejecutivo se crea en 1971 la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas. A partir de entonces se ha

trabajado en varios proyectos, entre ellos el Proyecto SismoCaracas que inició en el año 2011 con una duración de 4 años, cuyo objetivo fue evaluar el riesgo sísmico y proponer soluciones para su reducción en la ciudad mediante elaboración de inventarios a través de la recopilación de información básica de estructuras existentes, evaluación de manera preliminar de un número determinado de construcciones y el desarrollo de métodos para estimación de daños, pérdidas y riesgos (Gobierno Bolivariano de Venezuela, s.f.)

En Ecuador, con el fin de reducir los efectos ocasionados por la amenaza sísmica, se publicó en el año de 1952 el Código Nacional de la Construcción, sin embargo, en diciembre de 1976 se publicó el documento Guía popular de construcciones sismorresistentes, la cual constituyó el complemento a la actualización de la norma anterior, la nueva normativa fue el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC 77. En el año 2001 se publicó una actualización del Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC 2001) para determinar las especificaciones para el diseño de estructuras que son sensibles a los efectos de los terremotos durante su vida útil, incluyendo un mapa de microzonificación sísmica para el Ecuador. En la NEC del año 2011 se muestra el resultado de un estudio de peligrosidad sísmica publicado en el país, esto es, el mapa de zonas sísmicas elaborado bajo un enfoque probabilista (Parra, y otros, 2017).

Finalmente, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) a través de la Subsecretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos promovió la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) cuyo objetivo principal fue la actualización del Código Ecuatoriano de la Construcción del 2001 especificando parámetros, objetivos y procedimientos en base a requisitos mínimos de seguridad y salud y así definir principios de diseño y montaje con niveles de calidad cumpliendo con los principios básicos de habitabilidad. NEC 2015 proporciona también siete guías prácticas orientadas a profesionales y no profesionales para asegurar la correcta aplicación de la normativa en la construcción de viviendas y edificios con el objetivo de fortalecer las capacidades nacionales para reducir la vulnerabilidad a eventos sísmicos en el Ecuador (MIDUVI, s.f.).

Planteamiento del problema

Macro

La mayor parte de actividad sísmica en América Latina se da por la colisión entre la placa de Nazca y la del Pacífico, en Ecuador es el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional el ente encargado de registrar este tipo de actividad, identificar parámetros como la magnitud y epicentro del sismo una vez que ha sucedido; y pese a que se dispone de datos probabilísticos que permiten prever la periodicidad de movimientos sísmicos de acuerdo a su magnitud, no es posible identificar con seguridad el momento de ocurrencia de ellos (Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards Internacional, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, ORSTOM, & OYO Corporation, 1995).

El Ecuador se identifica por ser un país multiamenazas frente a desastres naturales, razón por la cual es estrictamente necesario mejorar la calidad de las edificaciones. En abril de 2016, un trágico acontecimiento ocurrido en Pedernales permitió obtener datos relevantes de edificaciones que colapsaron o que alcanzaron un alto nivel de deterioro, en donde se pudo notar ciertas características que predominaron en todas las estructuras: construcciones realizadas sin considerar normativas, carencia del control de un profesional durante la construcción y poca previsión de los daños estructurales que podrían darse ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud (Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards Internacional, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, ORSTOM, & OYO Corporation, 1995).

En los últimos 460 años, se han detectado en Ecuador un gran número de terremotos de magnitud considerable, entre los que se destacan aquellos que tuvieron lugar en la ciudad de Riobamba en el año de 1982 y, en la ciudad de Ibarra en el año de 1986, teniendo como resultado la destrucción total de ambas ciudades y la muerte de más de 60.000 personas (Cabezas, 2016).

En la ciudad de Quito, de conformidad a los datos registrados desde el año de 1587, se dispone de información sobre diversos eventos sísmicos con gran capacidad de destrucción,

que se presentaron por lo menos una vez por cada siglo a excepción de siglo XIX. El 5 de marzo de 1987 la capital fue afectada por un sismo fuerte, que provocó la muerte de aproximadamente 1000 personas fuera de los límites de la ciudad. Es necesario mencionar que el Ecuador ha pasado por varios eventos sísmicos, con diferentes niveles de afectación, muchos de ellos han sido de gran intensidad y han causado daños considerables y víctimas fatales, estos sismos se dieron en los años 1587, 1755, 1797, 1859 y 1868 (Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards Internacional, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, ORSTOM, & OYO Corporation, 1995).

Si se considera los sismos de pequeña magnitud y aquellos que son detectados únicamente por los sismógrafos, la cantidad de sismos que se registran en el territorio ecuatoriano podrían sumar varios miles por año. Es así que, dentro de la gran cantidad de actividad sísmica, en el lapso de 1541 hasta el año 2007, han ocurrido en el país 37 sismos de intensidad mayor o igual a VIII en escala MSK (llamado así por las iniciales Medvedev-Sponheuer-Karnik) donde los daños que se registran son considerables; sin embargo, si se toma en cuenta los sismos de intensidad VI (en donde se presentan daños moderados) los registros sísmicos importantes sumarán 123. El primer sismo del que se tiene registro en el país, sucedió en el año de 1541 con epicentro ubicado en la provincia de Napo, dando inicio al catálogo sísmico en Ecuador. Uno de los sismos históricos de gran intensidad, ocurrió en febrero del año 1797 en Riobamba convirtiéndose en el que mayores daños han causado en el Ecuador resultando afectadas las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar y Pichincha. En 1698 un sismo afectó las provincias de Chimborazo, Tungurahua y otras del centro del país. En agosto de 1898 un terremoto en la ciudad de Ibarra provocó daños considerables en la ciudad y sus alrededores (Rivadeneira, y otros, 2007).

En el año de 1900 empezaron a trabajar los primeros instrumentos de medición sísmica en el mundo, es por esta razón que se cuentan con registros a partir de esa fecha. El 31 de enero de 1906 un evento telúrico de magnitud $M_w=8.8$ en escala Richter azotó las costas de

Ecuador y Colombia; su epicentro fue aproximadamente a 18 km al noroeste de la ciudad de Esmeraldas causando además un tsunami que generó olas de hasta 5 metros de altura. El 2 de octubre de 1933 ocurrió un sismo de magnitud 6.9 con epicentro localizado frente a las costas de las poblaciones de Montañita y Olón acompañado de fuertes oscilaciones a nivel del mar y grandes olas. El 14 de mayo de 1942 un sismo sacudió a Manabí y a todo el Ecuador con una magnitud de 7.8 grados en escala Richter con una profundidad de 20 km cuyo epicentro estuvo localizado al oeste de la ciudad de Pedernales. En el año de 1944 un sismo importante afectó nuevamente a Esmeraldas de magnitud 6.7 con una profundidad de 20 km. Por otro lado, el 5 de agosto de 1949 el conocido como “terremoto de Ambato” de magnitud 6.8, causó la destrucción total del cantón Pelileo y grandes pérdidas en Guano, Patate, Pillaro y Ambato en donde se presentó un daño considerable. Años después, el 12 de diciembre de 1953 a una profundidad de 20 km un fuerte sismo de magnitud 7.3 se produjo cerca de la frontera Ecuador-Perú, frente a la población de Tumbes. La capital fue afectada por un sismo el 11 de mayo de 1955, el mismo que tuvo una magnitud de 6.5 con una profundidad de 15 km. El 16 de enero de 1956 a una profundidad de 20 km tuvo lugar un evento sísmico de fuertes características con epicentro ubicado a 6 km al norte de la población de Tosagua y a 26 km de Bahía de Caráquez con una magnitud de 7.0, algo similar ocurrió el 4 de agosto de 1998 (magnitud 7.2) con una profundidad de 33 km y cuyo epicentro se ubicó a 20 km al suroeste del sismo de 1956 (Moncayo, Velasco, Mora, Montenegro, & Cordova, 2017)

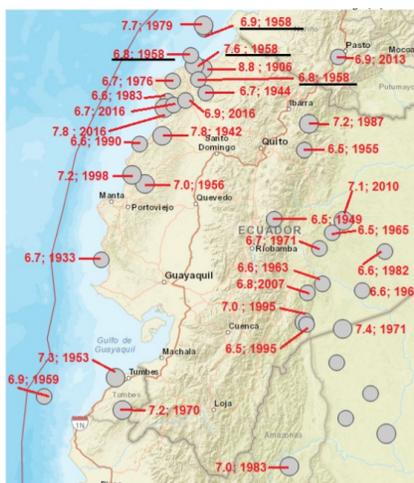
Esmeraldas, el 19 de enero de 1958, fue afectada nuevamente por un sismo de magnitud 7.6 a una profundidad de 28 km causando daños a pueblos pertenecientes a Ecuador y Colombia, además del colapso de un 30% de construcciones en la provincia de Esmeraldas. Se registraron tres réplicas de este sismo; la primera, con magnitud de 6.8 el mismo día que ocurrió el sismo principal 45 minutos más tarde; la segunda, de magnitud 6.9 se dio el 1 de febrero del mismo año y la tercera, ocurrida el 14 abril de magnitud 6.8. En el oriente ecuatoriano se han producido varios sismos importantes, uno ocurrido el 28 julio de 1961 de

magnitud 6.6 a una profundidad de 142 km y otro el 10 mayo de 1963 de magnitud 6.6 y profundidad de 20km cuyo epicentro se localizó cerca al límite entre las provincias de Morona Santiago y Pastaza (Moncayo, Velasco, Mora, Montenegro, & Cordova, 2017).

En el lapso de 1541 al año 2007 han ocurrido 50 sismos que ocasionaron daños moderados en las construcciones sin afectarlas estructuralmente, como el sismo de Santa Rosa del Tejar en la provincia de Imbabura el 8 de octubre 2000 de magnitud 5.4 (Rivadeneira, y otros, 2007).

Figura 1

Epicentros de los terremotos mayores a 6.5 grados, ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta el 2017



Nota. El gráfico muestra los epicentros de terremotos mayores a 6.5 grados desde el año 1900 hasta el 2017. Tomado de Moncayo, M., Velasco, G., Mora, C., Montenegro, M., & Cordova, J. (2017). *Terremotos mayores a 6.5 en escala de Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. Ingeniería, vol. 21, 55-64.*

Del mismo modo, los sismos que han ocurrido en la región Costa constituyen un peligro para varios sectores dentro del país, tal como sucedió el pasado 16 de abril de 2016 cuando un sismo de magnitud 7.8 (Mw) se originó frente a Pedernales provincia de Manabí, el mismo que resultó del desplazamiento de la placa de Nazca y Sudamericana (Chicaiza, 2017).

La destrucción causada por el terremoto se pudo observar en las provincias de Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y parte de Santo Domingo de Tsáchilas además de varias provincias de la región Sierra, en donde se registró una intensidad máxima de 4 dentro de la Escala Macrosísmica Europea (Instituto Geofísico EPN, 2016).

El Ecuador al ser conocido como un país que está expuesto a un peligro sísmico permanente, involucra la exposición a ciertos eventos que pueden traer consigo la pérdida de vidas humanas, pérdidas materiales y económicas; por lo tanto es necesario tomar medidas que permitan reducir los efectos negativos de un evento sísmico, entre ellos, el efectuar estudios que permitan determinar el comportamiento probable de una estructura ante dichos eventos, para así poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo (Fernández, Gómez, Carchipulla, Bonucci, & Pavón, 2018).

Una de las causas trascendentales de daño en las estructuras inducidas por los sismos es el comportamiento poco adecuado de las edificaciones, razón por la cual es importante determinar el grado de vulnerabilidad que presentan de acuerdo a la configuración estructural de las mismas, para así investigar soluciones y mejorar su respuesta estructural ante la influencia de un sismo de mediana o gran intensidad (Fernández, Gómez, Carchipulla, Bonucci, & Pavón, 2018).

Meso

Según el mapa de Intensidades Sísmicas (2008) presentado por el Instituto Geofísico, en Tungurahua, gran parte de la actividad sísmica que ocurre en la provincia corresponde a muy alta. Esta información netamente de carácter científica al cruzarla con los registros de eventos de importancia, muestran a esta provincia como altamente susceptible a sufrir eventos sísmicos. Sin embargo, el nivel de vulnerabilidad frente a esta amenaza es alta, al no contar con construcciones e infraestructura que sean sismorresistentes y la carencia de normativas para uso y manejo del suelo (Gobierno Provincial de Tungurahua, 2015-2017).

Por esta razón es de suma importancia que los gobiernos locales disminuyan la vulnerabilidad de las viviendas a través de construcciones nuevas que tengan medidas de seguridad y se realice reforzamiento estructural en las edificaciones antiguas; en virtud de que la ciudad de Ambato está ubicada en una zona altamente sísmica y volcánica (Diario La Hora, 2019).

Estudios realizados muestran que Ambato tiene suelos tipo C, los cuales se caracterizan por ser duros, fuertes y resistentes a las ondas sísmicas; también suelos tipo E que son más blandos y que se encuentran en antiguas quebradas que hoy en día son parques como: Infantil de Atocha, Automovilismo, La Cantera, José Cuesta de Ficoa, Lineal de la Quebrada Seca (Diario La Hora, 2019).

Además, se establece que en la ciudad existen 52 fallas geológicas, definidas como fracturas en la corteza terrestre; de ellas, 16 son de peligrosidad y se ubican en diversos sectores: una cruza Ficoa-Pinllo, otras en Santa Elena y Atocha, una de las fallas atraviesa Huachi Chico, la falla llamada "El Dorado" pasa por el sector de quebrada de Terremoto; una falla está en la parroquia Celiano Monge, dos se encuentran en La Península y dos en Pishilata (loma de Pasochoa), una pasa por la parroquia Picaihua y otra Izamba; en Santa Rosa una falla cruza el Casigana, Miraflores, Ficoa, Pinllo y llega hasta Ambatillo; una falla geológica se encuentra en la parroquia Totoras (Diario La Hora, 2019).

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), Ambato cuenta con una población de 329.9 mil habitantes, lo cual corresponde al 65.4% respecto a la provincia de Tungurahua; las principales actividades económicas de su población son el comercio al por mayor y menor seguido por las industrias manufactureras y la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, una pequeña parte de su población se dedica a otras actividades siendo el menor porcentaje las actividades profesionales, científicas y técnicas.

El terremoto sucedido en el año de 1949 causó la destrucción de gran parte de ciudades de las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi, el cantón Pelileo quedó

completamente destruido y en Ambato se derrumbaron viviendas y varias iglesias como La Matriz (conocida como La Catedral), Santo Domingo y La Merced. Según el Colegio de Arquitectos de Tungurahua, Ambato resurgió después de la tragedia y la ciudad se fue reconstruyendo de acuerdo a sus necesidades, por lo que no existe una verdadera identidad arquitectónica en la urbe. En la actualidad, según esta institución, al menos el 70 % de las construcciones existentes en la ciudad son informales, es decir, no contaron con la dirección técnica de un profesional en el campo, por lo tanto, no es posible garantizar que la ciudad soporte un sismo de gran magnitud (Diario La Hora, 2019).

Según la Unidad de Gestión de Riesgos del GAD Municipalidad de Ambato, existe un estudio de microzonificación sísmica de la ciudad, el mismo que es un insumo para el plan de desarrollo y reordenamiento local, proporciona lineamientos para construir con seguridad, sostenibilidad e inversión y sirve para la elaboración de planes de gestión de riesgos, emergencias y prevención ante eventos sísmicos. El estudio en mención fue realizado en las parroquias del cantón en donde se detectaron zonas con suelos tipo C (Diario La Hora, 2019).

Ambato debe considerarse como una región de alta sismicidad en la que ocurren frecuentemente sismos de gran magnitud, muchos de ellos cercanos a zonas urbanas por lo que ocasionan daños materiales considerables y pérdida de vidas, afectando a la ciudad en gran medida cuando se han presentado este tipo de eventos (Aguilar, 2008).

Micro

Huachi Chico es una de las 9 parroquias urbanas del cantón Ambato provincia de Tungurahua, constituye una de las parroquias más representativas de la ciudad y su templo, es una de las estructuras más importantes de la parroquia, fue construido entre los años 1910 a 1915, siendo el principal centro religioso durante 90 años. El 17 de febrero de 1952 se crea la Parroquia como mandato del Primer Sínodo Diocesano realizado del 13 al 17 de febrero del mismo año (Diócesis de Ambato, 2015).

Uno de los más grandes desastres sísmicos en la historia del Ecuador sucedió el 16 de abril de 2016, presentó una magnitud de 7.8 (Mw) según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, tuvo una profundidad de 20 Km con epicentro ubicado en la ciudad de Pedernales provincia de Manabí (Núñez, 2016). Si bien es cierto, la parroquia Huachi Chico no registró daño considerable en las estructuras que pertenecen a esta zona, sin embargo, la amenaza sísmica está presente; por lo que, es necesaria la aplicación de una evaluación técnica visual de edificaciones, de tal manera que se pueda conocer el grado de vulnerabilidad de cada estructura en análisis ante un nuevo evento sísmico.

En la Reforma a la Ordenanza Municipal de Creación y Delimitación de la Parroquias Urbanas de Ambato, aprobada el 6 de Noviembre de 1975 se establecen los límites de la Parroquia Huachi Chico como sigue: “Esta nueva Parroquia Urbana tendrá los siguientes linderos: al Oeste la Parroquia Matriz, al Sur-Oeste la quebrada “Puchato”; sigue por esta quebrada en dirección Oeste-Este en línea recta hasta el cruce del camino Ambato- Tisaleo; de aquí por un camino de segundo orden existente, hasta su unión con la carretera Panamericana Sur, bajando por esta en dirección Sur Norte, hasta el monumento a Rumiñahui en la Avenida Atahualpa; al Noroeste la Parroquia Celiano Monge”.

Entre las tradiciones más conocidas de esta parroquia está la producción del chocolate artesanal, el cual se obtiene del tostado y la molienda del cacao, por lo que se convirtió en una tradición gastronómica familiar que se ha practicado por más de 100 años en la comunidad. Hoy en día, la cuarta generación de los compradores de estas semillas que viajaban por varios días para traerla desde la región Costa, intentan actualizar este proceso productivo conservando su característica artesanal (Guerrero, 2014).

Actualmente, se pueden observar varias casas antiguas con amplios patios en su interior, en donde funcionan pequeñas fábricas en las que se elaboran manualmente las tabletas de chocolate especial amargo que pueden diluirse en leche o agua y que son muy apreciadas en los mercados del país (Guerrero, 2014).

De acuerdo a los datos presentados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, en donde se indica que el tipo de vivienda predominante en la zona urbana son casas o villas con un 62.35%, seguido por departamentos en casas o edificios con un 26.88%, cuartos en casas de inquilinato con un 7.64% y mediaguas con 2.98%, se determina que la mayor parte de estructuras corresponden a edificaciones hechas con materiales resistentes y cuentan con abastecimiento de agua y servicio higiénico mientras que un pequeño porcentaje corresponde a estructuras de un solo piso que generalmente tienen una sola caída de agua y no más de dos cuartos sin incluir cocina ni baño.

El material predominante en dichas estructuras para el techo es: hormigón, seguido por asbesto, zinc y teja; en paredes predomina: el ladrillo y bloque, en porcentajes muy pequeños se utiliza el adobe y la madera; finalmente, para pisos se prefiere la duela, parquet o tablón seguido por la cerámica, baldosa vinil o mármol y con un menor porcentaje la tabla sin tratar.

Considerando los estudios realizados por SARA a escala regional y los datos proporcionados por el INEC, predomina la construcción de mampostería (correspondiente a las tipologías de mampostería no reforzada, confinada y reforzada), así como los edificios de hormigón armado con o sin muros de relleno y los sistemas duales o paredes portantes, encontrándose en pequeños porcentajes casas de tierra/ adobe y estructuras de madera.

Justificación e importancia

Los terremotos ocasionan considerables daños materiales que dejan a gran cantidad de personas damnificadas además, de las víctimas mortales; lo cual indica que los programas de Evaluación de Riesgo Sísmico no se han puesto en práctica con el fin de impedir o aminorar estas pérdidas pese al adelanto que se tiene de ellos; la situación en mención predomina en la mayor parte de países en vías de desarrollo, por la carencia de recursos económicos asignados a la investigación y desarrollo de la tecnología, cuyo objetivo principal es la promover los estudios de prevención y mitigación del riesgo sísmico. La razón de las pérdidas tanto humanas como económicas causadas por los terremotos es un comportamiento sísmico

deficiente de las edificaciones, en donde en varias ocasiones se han llegado a colapsos parciales e incluso totales (Caballero, 2007).

Es necesario resaltar que los avances logrados dentro del campo del diseño de estructuras se pueden aplicar solamente a estructuras nuevas, pero considerando que la ocurrencia de los fenómenos sísmicos aún se encuentra fuera del control de la ciencia, es importante mejorar el comportamiento sísmico de edificaciones existentes y así mitigar las pérdidas que los terremotos han ocasionado en el mundo. Es así, que con este antecedente nacen los estudios de vulnerabilidad sísmica, a los que se debe asignar una atención especial en la actualidad, con el fin de crear planes de mitigación de futuros desastres por sismos (Yépez, Barbat, & Canas, 1995).

En la formulación de los planes de ordenamiento territorial (POT) de las ciudades, es importante incluir información referente a los escenarios de daño debido a amenazas naturales lo cual incluye temas relacionados con los sismos. Por lo tanto, es esencial disponer de estudios que permitan estar al tanto del grado de daño que pueden alcanzar las estructuras ante la acción de un sismo. De este modo, es posible realizar una mejor planificación del desarrollo urbano, mitigación de riesgos y la preparación de la ciudadanía para actuar ante una amenaza sísmica (Maldonado, Jasbón, & Chio Cho, 2010).

El crecimiento de la población de Huachi Chico en los últimos años ha sido notable, pese a ser una zona con un alto grado de consolidación, continúa su proceso de expansión, puesto que muchas personas han escogido el sector para construir sus viviendas a manera de casas independientes, conjuntos habitacionales o edificios con departamentos; así también instituciones públicas, educativas y centros comerciales están ubicados en el sector. Sin embargo, cuatro fallas geológicas atraviesan la parroquia, dos de ellas corresponden a la falla Huachi Chico y falla Ambato y las dos restantes son fallas de menor longitud, es por ello que la evaluación estructural rápida frente a riesgos naturales, es un complemento necesario para mantener la seguridad de la población.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la parroquia Huachi Chico, por ser una de las parroquias urbanas de mayor extensión y con un alto grado de consolidación, mediante inspección visual rápida considerando las metodologías presentadas por: FEMA P-154, NEC 2015 y FUNVISIS.

Objetivos específicos

- Obtener la información necesaria que permita el desarrollo de las metodologías anteriormente mencionadas para la posterior evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.
- Definir el tamaño de muestra representativa de las edificaciones existentes en la zona.
- Analizar la ordenación del territorio y el planeamiento urbanístico en la zona de estudio para obtener una clasificación de los parámetros urbanísticos que hacen que dicha zona sea más vulnerable y de este modo generar un aporte para los protocolos de evaluación sísmica.
- Establecer una guía para la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica.

Hipótesis de investigación

La realización de evaluaciones de vulnerabilidad sísmica mediante inspección visual rápida de edificaciones permitirá conocer e identificar las edificaciones típicas de la zona analizada y de este modo crear planes de mitigación de riesgo de pérdidas humanas y económicas.

Capítulo II

Marco teórico

Introducción

La predicción del comportamiento sísmico de edificaciones existentes es fundamental en la evaluación de pérdidas tanto económicas como sociales que producen los terremotos en zonas urbanas. Si bien es cierto, el diseño sísmico de estructuras nuevas se encuentra indicado en normas que, en su mayoría, se han comprobado en situaciones reales por lo que en general, garantizan un nivel adecuado de seguridad; no sucede de la misma manera con la problemática de evaluación del comportamiento sísmico de edificaciones existentes, en los cuales son necesarios estudios amplios, complejos y realizados por especialistas con el fin de obtener resultados confiables. Así también, en muchas zonas urbanas hay estructuras que se han diseñado sin considerar ninguna norma referente a cargas sísmicas, otras que se han modificado debido a un cambio de diseño o que han sufrido daños en terremotos pasados, lo cual no hace que sencilla la tarea de evaluación de su comportamiento frente a futuros eventos sísmicos. La carencia de información referente a estos aspectos sumada a otras incertidumbres como las propiedades de los materiales, hace que se necesiten estudios específicos con el fin de predecir el comportamiento sísmico de estructuras existentes. Hoy en día, los estudios necesarios para estimar el comportamiento sísmico de estructuras existentes se encuentran dentro del campo de la vulnerabilidad sísmica (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994).

Evaluación del riesgo sísmico

Los estudios de riesgo sísmico a partir de la observación y el análisis de los daños ocasionados por sismos se han incrementado de forma considerable en los últimos años. El riesgo sísmico está enmarcado dentro de los siguientes conceptos (Yépez, Barbat, & Canas, 1995):

- **Peligrosidad sísmica:** Representa la probabilidad de ocurrencia, en un período determinado de tiempo y en un área específica, de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad específica.
- **Vulnerabilidad sísmica:** Puede referirse a una sola estructura o un grupo de estructuras, se define como el grado de daño por la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno de una intensidad determinada.
- **Riesgo sísmico específico:** Representa la probabilidad de que una estructura o grupo de estructuras que se encuentran en riesgo, sufran uno o varios grados de daño durante un tiempo de exposición determinado.
- **Riesgo sísmico:** Está definido como el grado esperado de pérdidas sufridas por una estructura o un grupo de estructuras en riesgo, durante el período de exposición considerado (Yépez, Barbat, & Canas, 1995).

Según (Gómez & Loayza, 2014) de forma general, el riesgo sísmico se puede expresar como:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Sin embargo, cuando se desee calcular la vulnerabilidad sísmica de una zona específica, la ecuación del riesgo sísmico se ve afectada por la densidad poblacional y puede expresarse de la siguiente forma:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Exposición} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Costo}$$

Para este caso, la vulnerabilidad sísmica se mide en términos de pérdidas de vidas o económicas; en donde, la exposición es el número de personas o viviendas de la zona o el valor productivo del comercio del lugar (Gómez & Loayza, 2014).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad representa la predisposición intrínseca del edificio a verse afectado y a sufrir daños como consecuencia de la ocurrencia de un evento sísmico de determinada severidad. Los principales objetivos de un análisis de vulnerabilidad a gran escala (como la de

una ciudad) son: conocer el impacto de un terremoto en los grupos de edificios de la zona, planificar intervenciones preventivas para mitigación del riesgo sísmico y ayudar a la gestión de la emergencia después de un terremoto importante (Lagomarsino & Cattari, 2013).

Los pasos principales de un análisis de vulnerabilidad se pueden resumir como se indica a continuación:

1. Recopilación y revisión de los datos disponibles del área de interés, identificación de las tipologías estructurales y definición de los modelos de vulnerabilidad correspondientes.
2. Para cada tipología, la definición de los parámetros de la estructura en los que se basan los modelos; según los datos disponibles, el conjunto de parámetros puede ser único o diferenciado para una micro zona.
3. División del territorio en zonas, cada una de ellas caracterizada por un peligro uniforme; desagregación de los datos de exposición en diferentes clases homogéneas para vulnerabilidad.
4. Evaluación del punto de desempeño, curvas de fragilidad y probabilidades de daño para cada tipología y micro zona (considerando con mayor o menor precisión las incertidumbres implicadas (Lagomarsino & Cattari, 2013).

El objetivo de los estudios de vulnerabilidad sísmica es establecer el daño esperado en una estructura, grupo de estructuras o en toda una zona urbana, en caso de llegar a ocurrir un sismo de características determinadas. Una vez que se conoce el daño esperado, se pueden buscar alternativas para disminuirlo con el fin de reducir las pérdidas que podrían ocasionar futuros eventos sísmicos (Yépez, Barbat, & Canas, 1995).

Es así, que la vulnerabilidad se define como el nivel de daño que sufre una estructura por un evento sísmico de una intensidad determinada. Una estructura puede ser calificada

como vulnerable, sin embargo, eso no significa que está en riesgo si es que no se encuentra en un lugar de alta peligrosidad sísmica (Noel, 2019).

Clases de vulnerabilidad sísmica. Es importante mencionar que la vulnerabilidad sísmica se divide en tres clases: vulnerabilidad estructural, vulnerabilidad no estructural y vulnerabilidad funcional (Noel, 2019).

Vulnerabilidad estructural. Se entiende como vulnerabilidad estructural a los daños probables que pueden mostrar los elementos estructurales esto es, vigas, columnas, losas, etc., a causa de un movimiento sísmico, lo cual ocasiona que las estructuras se debiliten y en algunas ocasiones colapsen afectando a los habitantes de la edificación (Mattos, 2014).

Vulnerabilidad no estructural. La vulnerabilidad no estructural se refiere a los posibles daños que pueden mostrar los elementos no estructurales, estos son, los elementos arquitectónicos e instalaciones básicas, por ejemplo: las instalaciones de luz y agua; daños que son ocasionados por un evento sísmico, causando fisuras en muros y cielos rasos incluyendo también, el movimiento de objetos no anclados que pueden provocar daño a las personas que habitan en la edificación (Mattos, 2014).

Vulnerabilidad funcional. Este tipo de vulnerabilidad comprende los daños probables que pueden darse en un colapso funcional, es decir que, aunque la edificación se quede en pie, no podrá ser ocupada y perderá la funcionalidad para la que fue construida. Por lo tanto, para que vuelva a ser funcional, será necesario la realización de algún tipo de reforzamiento estructural, lo cual conlleva reinstalar en otro lugar a los habitantes de la edificación, así como también será importante tomar esas medidas antes de que suceda otro evento sísmico de mayor magnitud que ocasione pérdidas humanas y materiales (Mattos, 2014).

Métodos para evaluar la vulnerabilidad. Cuando se evalúa la vulnerabilidad sísmica de edificios es importante establecer, en primer lugar, los objetivos del proyecto, para posteriormente elegir la estrategia más adecuada y las herramientas que se requieren para realizar la evaluación de los edificios y cumplir estos objetivos. Así también, es necesario

comprender la diferencia entre los enfoques detallados que se utilizan para edificios individuales y los métodos más eficaces para el análisis a mayor escala de grupos de estructuras. Para edificios individuales, la utilización de una metodología más detallada implica una evaluación con un grado considerable de confiabilidad y con un nivel de información más profundo de la estructura analizada; pero, al aumentar el número de edificios y considerar una amplia zona de evaluación se incrementan los recursos y la cantidad de información necesaria, por lo que se requieren herramientas de inspección y registro menos sofisticadas. Las metodologías de información deben basarse en ciertos parámetros, algunos de carácter empírico basados en el conocimiento de los efectos de terremotos pasados, pero también en el análisis estadístico (Vicente, Parodi, Varum, Lagomarsino, & Mendes, 2010) .

Existe una gran variedad de fuentes bibliográficas en las que se hace una revisión de las metodologías existentes para evaluación de la vulnerabilidad sísmica. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994) señala métodos analíticos y métodos subjetivos para evaluar la vulnerabilidad; los analíticos se basan en los mismos principios utilizados para el diseño de edificaciones, éstos se concentran principalmente en la modelación de edificios de hormigón armado y se diferencian entre sí por el modelo mecánico que se utiliza para representar el comportamiento histerético del hormigón armado y por el indicador de daño utilizado para cuantificar la degradación de los elementos estructurales y de la misma estructura.

Por otro lado, los métodos subjetivos sirven para dar una idea sobre el comportamiento sísmico que puede esperarse de una zona urbana como una herramienta necesaria en planes de mitigación de desastres; una de sus características más importantes es la introducción de la opinión de un experto y el uso de datos empíricos como fuente de información para la evaluación de la vulnerabilidad. Los métodos subjetivos, generalmente, utilizan formularios de encuesta o levantamiento (survey forms) que se llenan por personal capacitado durante las investigaciones de campo; existen dos tipos de formularios: de levantamiento de daños, que se usan para recolectar los datos de daño de las estructuras luego de un evento sísmico, y de

levantamiento de vulnerabilidad, para recoger datos acerca de las características de las estructuras, como, por ejemplo, dimensiones, tipo de material, etc. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994).

Este método se subdivide en tres grupos diferentes: el primero está basado en el reconocimiento de tipologías estructurales dividida a su vez, en tres grupos; el primero que identifica clases tipológicas amplias, el segundo que agrupa tipologías detalladas a través de la combinación de diferentes tipos de elementos estructurales y el tercero que relaciona a las tipologías estructurales con las prácticas de construcción que generalmente se determinan por el periodo de construcción. A cada tipo estructural se le asocia una matriz de probabilidad de daño ya sea de acuerdo a un análisis estadístico de datos observados o por la opinión de profesionales expertos (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994).

Otro grupo de métodos está basado en la determinación, mediante un modelo mecánico simplificado de un parámetro de comportamiento único, el cual puede asociarse a una matriz de probabilidad de daño a través de modelos analíticos mejor trabajados como análisis estadísticos o investigaciones experimentales. Finalmente, en el tercer grupo, se combinan el primer y segundo grupo incluyendo evaluaciones heurísticas del comportamiento estructural que proporcionan un “índice de vulnerabilidad” (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994).

Por otro lado, las asociaciones europeas (RISK-UE 2004; LESLOSS 2007) han constituido grupos de trabajo sobre distintos aspectos de la evaluación de la vulnerabilidad y mitigación del riesgo sísmico; es así, que se han definido metodologías que se agrupan en tres categorías de acuerdo a su nivel de detalle, escala de evaluación y uso de datos (Vicente, Parodi, Varum, Lagomarsino, & Mendes, 2010).

Los enfoques de primer nivel emplean una gran cantidad de información cualitativa y resultan útiles para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica a gran escala; los enfoques de segundo nivel están basados en modelos mecánicos y dependen de información específica del conjunto de edificios y el tercer nivel conlleva el uso de técnicas de modelación numérica que

precisan un estudio completo y riguroso de los edificios individuales. De acuerdo a los criterios analizados se elegirá la metodología y el correspondiente nivel evaluación, que puede variar desde la evaluación de edificios basada en la observación visual hasta la modelación numérica de estructuras (Vicente, Parodi, Varum, Lagomarsino, & Mendes, 2010).

Existen varios sistemas de clasificación de metodologías, destacándose el propuesto por Corsanego y Petrini (1990) que las agrupan en función del tipo de resultado; esto es, técnicas directas que permiten predecir en una sola etapa el daño causado por un sismo, en este grupo se encuentran los métodos tipológicos y los mecánicos. Las técnicas indirectas, como punto de partida determinan un índice de vulnerabilidad y después relaciona el daño con la intensidad sísmica; las técnicas convencionales muestran un índice de vulnerabilidad que no está relacionado con la predicción del daño, es útil para comparar la vulnerabilidad relativa de estructuras diferentes ubicadas en áreas de igual sismicidad; finalmente las técnicas híbridas combinan los métodos anteriores con el criterio de profesionales especializados (Ahumada, 2005).

Considerando la base de clasificación señalada anteriormente, Dolce et al (1994) examinaron separadamente los elementos que intervienen en un análisis de vulnerabilidad como son los datos de entrada que corresponden a datos registrados luego de un sismo o a través de ensayos, características geométricas y mecánicas, sismicidad y datos geológicos-geotécnicos del área de estudio, los métodos empleados y los resultados que pueden ser funciones de vulnerabilidad o índices de vulnerabilidad obtenidos de forma empírica o experimental (Ahumada, 2005).

Metodología SARA

SARA corresponde a las siglas de South America Risk Assessment un proyecto a escala regional desarrollado por GEM (Global Earthquake Model) que se inició en enero del año 2013. El proyecto que tuvo una duración de tres años, tiene como objetivo calcular la peligrosidad y el riesgo, así como también estimar los factores sociales y económicos que

agravan los daños físicos y restan la capacidad de la población para responder y recuperarse de los eventos sísmicos que ocurren en Sudamérica (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

El proyecto se ha extendido a 7 países entre ellos: Perú, Ecuador, Venezuela, Colombia, Bolivia, Chile y Argentina. El estudio a más de incluir la evaluación del riesgo sísmico se elabora una serie de escenarios urbanos detallados para obtener resultados significativos para la reducción del riesgo de desastre. Lima y Quito fueron seleccionados para los escenarios de ciudad (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

El proyecto gira principalmente en torno a 5 módulos que son: riesgo, vulnerabilidad física y exposición, vulnerabilidad socioeconómica y resiliencia, estimación de pérdidas y escenarios urbanos (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

- **Riesgo:** Constituye un gran desafío para los expertos la modelización de la peligrosidad sísmica en América del Sur. Desde el punto de vista sísmico, Sudamérica es una de las regiones más activas del planeta, en donde han ocurrido varios de los terremotos más devastadores; la zona de subducción sudamericana domina el riesgo sísmico al oeste del continente y es la principal fuerza tectónica que impulsa sismos en Argentina, Bolivia, Ecuador, Perú y Colombia (Global Earthquake Model GEM, s.f.)

Es así, que el componente de riesgo sísmico incluye varios objetivos importantes para mejorar el estado de la evaluación de riesgo sísmico en América del Sur, como son: la armonización de conjuntos de datos de sismos críticos, la elaboración de estándares comunes para representar datos y de herramientas abiertas para recolección e interpretación de datos. Este componente se organizó en siete áreas de investigación:

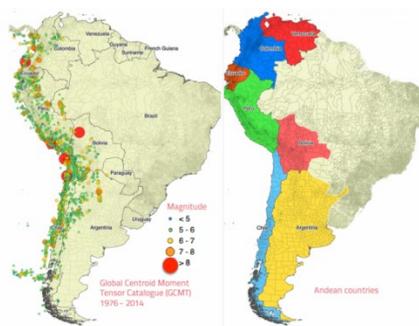
- Evaluación del estado actual de la práctica en el análisis de la amenaza sísmica en América del Sur (SA).
- Construcción de una base de datos armonizada de fallas consideradas “peligrosas”.
- Modelización de las zonas de subducción en Sudamérica.

- Catálogo de terremotos en Sudamérica.
- Base de datos de movimientos fuertes en América del Sur y selección de ecuaciones de predicción de movimientos del suelo para el análisis de peligrosidad sísmica.
- Creación de modelo de entrada para PSHA en América del Sur y cálculo de resultados (Global Earthquake Model GEM, s.f.)
- **Exposición y vulnerabilidad física:** Se ha considerado el desarrollo de bases de datos de exposición y funciones de vulnerabilidad para América del Sur a nivel regional, nacional y subnacional, para lo cual se seleccionaron aquellos países que eran los más propensos a eventos sísmicos fuertes para un análisis más detallado. Dicho análisis es llevado cabo con el apoyo de instituciones representativas en cada uno de los países seleccionados para obtener un modelo de exposición local y regional, el cual se enfoca a edificios residenciales en Sudamérica (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

Aparte de los modelos de exposición desarrollados, GEM ha trabajado en un Modelo de Fragilidad Regional para edificios de uso residencial en América Latina, tomando en cuenta aquellas edificaciones más comunes y representativas de acuerdo a lo obtenido en modelo de exposición regional, así como también el número de plantas y los niveles de ductilidad. Finalmente, se calibra el modelo utilizando datos de eventos sísmico graves ocurridos en la región (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

Figura 2

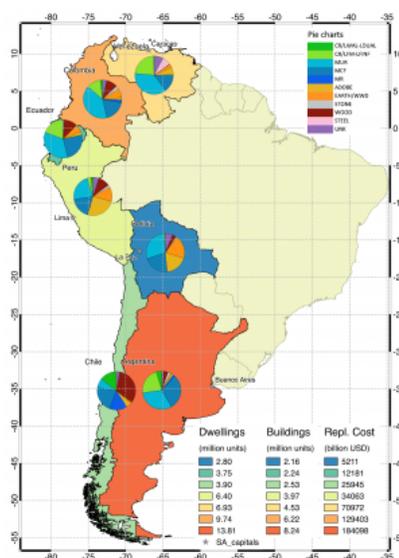
Modelo de exposición SARA



Nota. El gráfico muestra el modelo de exposición del proyecto South America Risk Assessment en América Latina. Tomado de: *South America Risk Assessment, 2016*

Figura 3

Modelo de exposición regional



Nota. El gráfico muestra el modelo de exposición regional del proyecto South America Risk Assessment para América Latina. Tomado de: *South America Risk Assessment, 2016*

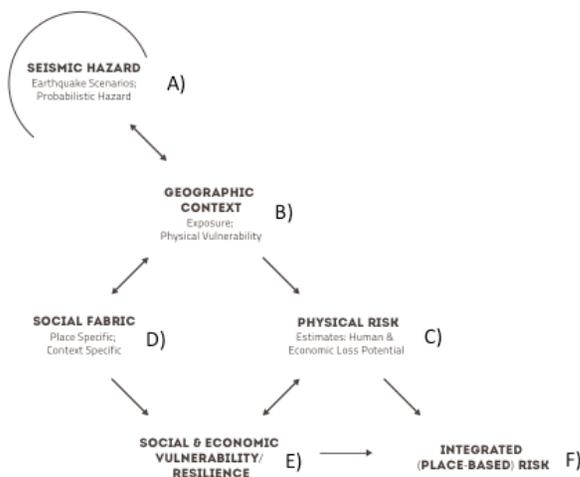
- Vulnerabilidad social y resiliencia:** El término vulnerabilidad social se refiere a aquellas características enmarcadas dentro de los sistemas sociales que determinan el potencial de pérdida o daño; al ser complejo medir la vulnerabilidad social en términos relativos, una forma común de para evaluarla es utilizar un conjunto de

indicadores indirectos compuestos que pueden ser: características preexistentes de las poblaciones y económicas como la edad, género, acceso a los recursos, distribución de la riqueza, acceso a la educación, recursos sanitarios y elementos de entorno construido. Para realizar el análisis de vulnerabilidad social e índices de riesgo integrados, SARA utilizó una plataforma de software de código abierto denominada: OpenQuake Integrated Risk Modelling Toolkit (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

Para medir la vulnerabilidad social en Sudamérica se determinaron, como punto de partida, las condiciones sociales relacionadas con la capacidad de las poblaciones para prepararse, responder y recuperarse de eventos sísmicos. En la figura siguiente se muestra el flujo de trabajo para construir los indicadores de riesgo integrados utilizando las herramientas de OpenQuake (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

Figura 4

Vulnerabilidad social: diagrama de riesgo integrado



Nota. El gráfico muestra el diagrama de riesgo integrado para vulnerabilidad social. Tomado de: *South America Risk Assessment, 2016*

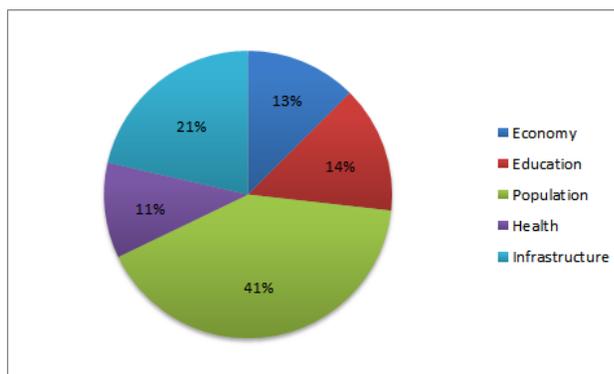
Dicho flujo de trabajo comprende en primer lugar la amenaza sísmica (A), luego el contexto geográfico de un área de estudio que incluye su exposición y vulnerabilidad física (B),

además las estimaciones de riesgo físico (C), las características sociales preexistentes de la población (D), las estimaciones de vulnerabilidad social (E) y la integración de estas estimaciones con las de riesgo sísmico (F) (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

El proyecto se desarrolló en dos etapas: la primera en donde se recopilaron y analizaron las variables socioeconómicas relevantes de fuentes disponibles para el público mientras que en el segundo período se trabajó con cada país tomando como base el censo más reciente y se clasificaron según la taxonomía de indicadores. En Ecuador, los indicadores de vulnerabilidad social se distribuyen en temas de población, economía, infraestructura, educación y salud (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

Figura 5

Vulnerabilidad social.- Ecuador



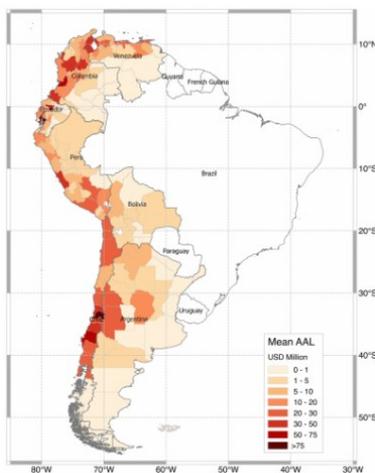
Nota. El gráfico muestra un diagrama circular con los indicadores de vulnerabilidad social para Ecuador.

Tomado de *Global Earthquake Model GEM. (s.f.). Integrated and collaborative seismic risk assesment.*

- Estimación nacional y subnacional de las pérdidas:** Para la estimación de las pérdidas SARA utilizó OpenQuake considerando el modelo de peligro, exposición y vulnerabilidad física. De este análisis se generan parámetros como las pérdidas medias anuales conocida por sus siglas en inglés como "AAL" que es una de las estadísticas de pérdidas más comunes que se generan en la evaluación de riesgos y permite una comparación directa de las pérdidas esperadas en diferentes áreas (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

Figura 6

Pérdidas medias anuales



Nota. La gráfica muestra las pérdidas medias anuales para América Latina. Tomado de *South America Risk Assessment, 2016*

Esta clase de resultados permite conocer las regiones que sufren grandes pérdidas económicas dentro de un país y que, por consiguiente, son las que deben considerarse en actividades de prevención de riesgos. Los resultados indican que Ecuador y Chile son los países con mayor pérdida media anual con 0.44% y 0.21% respectivamente, por otro lado, Argentina presenta el valor más bajo correspondiente a 0.02% (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

- Escenarios de ciudad:** Para el Ecuador, este estudio se realizó en la ciudad de Quito, considerando que el evento ocurrido en agosto de 2014 mostró la necesidad de realizar una actualización de las estimaciones de pérdidas, tomando en cuenta la vulnerabilidad socioeconómica de la población. Para realizar el modelo de exposición de la ciudad de Quito se utilizó las bases de datos catastrales, resultados del levantamiento de edificaciones que incluye fichas técnicas para describir a los edificios encuestados, mapas con la localización, identificación y clasificaciones

estructurales además de planos arquitectónicos y estructurales de una muestra de edificios (Global Earthquake Model GEM, s.f.).

Taxonomía GEM

Hoy en día no se cuenta con un sistema de clasificación de edificaciones y GEM ha intentado llenar este vacío desarrollando una taxonomía que satisfaga las necesidades de los usuarios del proyecto y que sea capaz de describir los todos los tipos de edificios del mundo. El proyecto abarcó un componente de investigación específico del riesgo sísmico mundial, entre ellos: el desarrollo de una base de datos de exposición, base de datos de consecuencias de terremotos pasados, desarrollo de funciones de vulnerabilidad sísmica y el desarrollo de herramientas para realizar inventarios y recopilación de datos de vulnerabilidad (Brzev, y otros, 2013).

Para llegar a una clasificación de edificios que satisfaga las necesidades de GEM y de sus usuarios se consideraron varios criterios:

1. Diferenciación en comportamiento sísmico: La taxonomía distingue las versiones sismorresistentes de los sistemas estructurales resistentes a los terremotos de los que no lo son.
2. Observable: Dos personas que examinen un mismo sistema estructural en campo deberán asignarlo al mismo grupo taxonómico basándose solamente en la definición textual del grupo en mención.
3. Completa: La taxonomía deberá incluir todas las características importantes de ingeniería para describir el comportamiento sísmico de la estructura de un edificio.
4. Simple y adaptable: La taxonomía debe tener el menor número de grupos posibles, dichos grupos taxonómicos podrán combinarse y las combinaciones resultantes seguirán distinguiendo las diferencias de comportamiento sísmico.
5. Casi exhaustivo: Todos los sistemas estructurales podrán asignarse a un grupo taxonómico.

6. Familiar para los profesionales de ingeniería y arquitectos: Es necesarios que tanto ingenieros como arquitectos se encuentren familiarizados con el sistema taxonómico, con el fin de identificar de una manera sencilla y precisa los atributos estructurales.
7. Aborda las estructuras diferentes a edificaciones: En un futuro se deberá incluir dentro de la taxonomía estructuras como presas, puentes y túneles.
8. Extensible a otros peligros: Si bien es cierto, existen pocas posibilidades de que GEM incluya otros peligros naturales como inundaciones, huracanes y erupciones volcánicas, otras localidades podrían desarrollar modelos similares que aborden estos peligros.
9. Fácil de utilizar: La taxonomía debe ser sencilla, intuitiva y fácil de utilizar para quienes recogen los datos, organizan su análisis y los usuarios finales.
10. Alcance internacional: La taxonomía debe ser aplicable para cualquier región del mundo (Brzev, y otros, 2013).

Es así, que la taxonomía de edificios de GEM describe un edificio o una tipología de este a través de los atributos que señalan las características específicas del edificio que pueden afectar en gran medida el comportamiento sísmico:

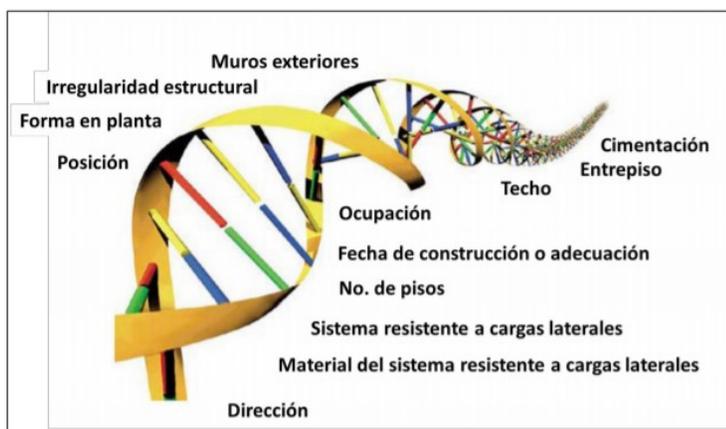
1. Dirección: Se utiliza para describir la orientación de los edificios con distintos sistemas de resistencia a cargas laterales en dos direcciones horizontales principales de la planta del edificio que son perpendiculares entre sí.
2. Material del sistema de resistencia a cargas laterales.
3. Sistema de resistencia a cargas laterales: Se refiere al sistema estructural que provee resistencia ante las fuerzas sísmicas horizontales.
4. Altura: En términos del número de plantas incluyendo información sobre el número de sótanos y la pendiente del terreno.
5. Fecha de construcción o remodelación.

6. Ocupación: Se refiere al tipo de actividad dentro del edificio.
7. Posición del edificio dentro de un bloque: Por ejemplo, puede calificarse a una estructura como edificio independiente si no está unido a otro edificio.
8. Forma de la planta de un edificio.
9. Irregularidad estructural: Es una característica de la disposición estructural de un edificio, como, por ejemplo, un piso mucho más alto que otros, una forma irregular del edificio, cambio de sistema estructural o material que ocasione una vulnerabilidad conocida durante un evento sísmico (esquina reentrante, piso blando, etc.). En caso de que pueda identificarse más de una irregularidad en una estructura se puede identificar como irregularidad primaria y secundaria.
10. Paredes exteriores: Considera el material del cerramiento del edificio.
11. Techo: Se describe el material de la cubierta, el sistema estructural que la soporta y la relación entre el techo y la pared, es decir, se estudia el material de cubierta, su forma y sistema.
12. Piso: Describe el material del piso, el tipo de sistema de éste y la conexión piso-pared.
13. Sistema de cimentación (Brzev, y otros, 2013).

En resumen, la filosofía de la taxonomía GEM es generar una descripción única de una estructura representada por un código de caracteres (string), lo cual se convierte en una especie de “código genético” de la estructura (Esquivel, 2020).

Figura 7

Genoma de la edificación



Nota. La figura muestra el código genético de la estructura generado a través de la taxonomía GEM. Tomado de *Esquivel, L. (2020). Inventario de edificaciones del cantón de San José para el caso específico de amenaza sísmica utilizando el método de mapeo ambiental rápido. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.*

Dicho código genético está compuesto por varios atributos que afectan el comportamiento sísmico de edificación como por ejemplo la irregularidad estructural, altura, sistema sismorresistente y, cuando se dispone de información detallada, es posible incluir atributos que contengan esta información, los cuales son descritos por uno o más niveles de detalle. Cada atributo ya sea, con o sin nivel de detalle se representan a través de un código; es así que, para una estructura cuyo material del sistema sismorresistente (SSR) sea mampostería confinada de bloques de arcilla con mortero a base de cemento se pueden utilizar los siguientes códigos: MCF para mampostería confinada, CLBR para bloques de arcilla y MOC para mortero a base de cemento. Para separar atributos se utiliza el símbolo “/” y para separar niveles de detalle dentro de un mismo atributo es “+”; por lo tanto en el ejemplo anterior, si la estructura tuviera un SSR tipo muro sin mayor ductilidad, que corresponden a los códigos LWAL y DNO, la taxonomía GEM sería: “MCF+CLBR+MOC/LWAL+DNO” (Esquivel, 2020).

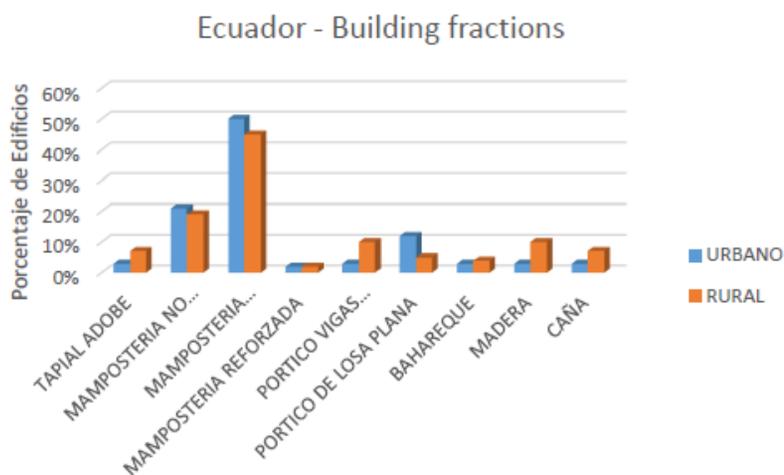
Tabla 1*Atributos y sus niveles de detalle de la taxonomía de GEM*

Atributo	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5
Dirección	---	---	---	---	---
Material del sistema resistente a cargas laterales	Tipo de material	Tecnología del material	Propiedades del material	---	---
Sistema resistente a cargas laterales (LLRS)	Tipo de LLRS	Ductilidad	---	---	---
Altura	Número de pisos	---	---	---	---
Fecha de construcción o adecuación	Construcción o adecuación terminada (año)	---	---	---	---
Posición del edificio en la cuadra	---	---	---	---	---
Forma en planta del edificio	---	---	---	---	---
Ocupación	Tipo de ocupación-general	Tipo de ocupación-detalle	---	---	---
Irregularidad estructural	Irregularidad en planta	Primaria	---	---	---
	Irregularidad en elevación	Secundaria	---	---	---
Muros exteriores	---	---	---	---	---
	Entrepiso	Material del sistema de entrepiso	Tipo de sistema de entrepiso	Conexiones de entrepiso	---

Nota. Recuperado de Esquivel, L. (2020). Inventario de edificaciones del cantón de San José para el caso específico de amenaza sísmica utilizando el método de mapeo ambiental rápido.

Experiencia Ecuatoriana

En Ecuador se trabajó en un modelo de exposición y uno de pérdidas estimadas con información basada en el Censo Poblacional de año 2010 del INEC, los materiales comunes utilizados fueron definidos por organismos citados en otros proyectos como por ejemplo: PAGER, UN- HABITAT y WHE además de las tipologías constructivas, que se muestran a continuación (Silva J.,2017):

Figura 8*Tipologías constructivas*

Nota. El gráfico muestra las tipologías constructivas para el Ecuador en el entorno urbano y rural. Tomado de Silva, J. (Junio de 2017). Guía de Reforzamiento para estructuras informales aporticadas según estudio de vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito. Sangolquí, Pichincha, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

En el estudio realizado por SARA en el país se mostró que existen cerca de 29 tipologías de viviendas (alrededor de 3748919 unidades de vivienda) entre las predominan la mampostería confinada, mampostería no reforzada y estructuras aporticadas de concreto reforzado con el 27%, 26% y 19% respectivamente, de lo cual se puede deducir que las estructuras aporticadas corresponden la tercera opción elegida por la población, de lo cual puede suponerse que constituye una realidad que se repite en las ciudades más representativas del país (Silva, 2017).

A finales del año 2015, se inició un proceso de levantamiento de información de configuración geométrica estructural de la ciudad de Quito, de una muestra de 11556 edificaciones multifamiliares, por medio de un convenio con GEM para emplear su metodología en el análisis de vulnerabilidad sísmica de otras ciudades en el mundo. Como primer paso se realizó un análisis de zonificación de la ciudad basado en la información socio económica y un

muestreo geométrico estructural, clasificando así a la capital en zonas homogéneas, en donde se realizó la distribución para el muestreo del número de edificaciones indicado como muestra representativa de las estructuras multifamiliares de hasta 4 pisos (Celi, Pantoja, Ayala, & Sosa, 2016).

Para realizar el inventario geométrico- estructural se utilizó la aplicación desarrollada por GEM (IDCT do survey), cuyos parámetros más importantes son el sistema resistente a carga lateral, materiales constitutivos estructurales y no estructurales, georreferenciación, entre otros. Como resultado, se identificaron 4 tipologías recurrentes en la muestra. La tipología 1, agrupó a edificaciones de un piso con techo de zinc, Eternit o losa de hormigón; la tipología 2 comprende las edificaciones de dos a tres pisos que presentan irregularidad en planta tipo L y entrepisos de hormigón; la tipología 3 se refiere a edificaciones de dos a tres pisos con una planta rectangular con entrepisos de hormigón; finalmente, la tipología 4 comprende estructuras de 4 a 6 pisos con planta rectangular y entrepisos de hormigón, éstas representan el 88% de la totalidad (Celi, Pantoja, Ayala, & Sosa, 2016).

Para los modelos matemáticos, se realizaron 114 modelaciones no lineales que serán distribuidas en las 4 tipologías; por otro lado, la representación no lineal, se observará mediante 4 modelos matemáticos diferentes. Es así que para la tipología 1, las curvas de capacidad se obtuvieron con el método de fibras; para la tipología 2 se utilizó el modelo de rigidez equivalente de muros; para la tipología 3, se representaron los mecanismos de disipación de energía por medio de plastificación concentrada y para la tipología 4, se representa el comportamiento del pórtico como un ensamblaje de celdas celosía. Para obtener las curvas de capacidad se utilizó la técnica de Non linear PushOver (NSP), con ello se procedió a calcular el punto de desempeño teórico en donde los modelos alcanzaron la demanda sísmica teórica para 100 y 475 años de retorno (Celi, Pantoja, Ayala, & Sosa, 2016).

En el estudio se concluyó que todas las tipologías frente al escenario sísmico de 475 años de período de retorno amplificado por un suelo tipo C, un porcentaje mayor al 80% de los

modelos matemáticos no alcanzaron la demanda sísmica, es decir este porcentaje puede resultar una pérdida económica total sin que esto conlleve un colapso completo de la estructura (Celi, Pantoja, Ayala, & Sosa, 2016).

El proyecto consta de dos fases más, la segunda titulada "*Fragility and Vulnerability Curves of Structural Typologies, Project GEM-SARA*" pretende incluir curvas de fragilidad para escenarios de peligrosidad sísmica espectral que va desde el 2% de probabilidad de excedencia hasta el 92% con amplificación de los 5 tipos de suelo que se encuentran en la NEC15 por medio de métodos estáticos directos y correlación HAZUS. La fase 3 "*Exposure Model of Structural Typologies Project GEM-SARA*" tratará a profundidad el costo de reposición (Celi, Pantoja, Ayala, & Sosa, 2016).

Por otro lado, a nivel regional, se han realizado estudios para la obtención de un modelo de fragilidad que abarque edificaciones residenciales que se han construido en América del Sur para hacer posible la comparación directa de resultados entre países y aplicarlo a nivel regional y obtener resultados confiables. (Villar-Vega, y otros, 2017) consideró este objetivo e investigó las características estructurales y dinámicas de los edificios residenciales de América del Sur y se desarrollaron osciladores de un grado de libertad; los modelos se contrastaron con registros de movimientos de terreno a través de análisis dinámicos no lineales y con la distribución de daños resultante se derivaron conjuntos de funciones de fragilidad.

Para poder llegar a ello, se realizó una revisión a los estudios realizados en varios países que presentan un nivel alto de peligrosidad sísmica entre ellos Chile, Colombia, Perú y Venezuela, en los cuales se revisan las curvas de fragilidad obtenidas para diferentes tipos de estructuras (Villar-Vega, y otros, 2017).

Para el estudio desarrollado, la capacidad estructural de cada tipo de edificio fue representado a través osciladores equivalente de un solo grado de libertad y la demanda sísmica se representó con más de 300 registros de movimiento de suelo; ambos componentes se combinaron por medio de un análisis no lineal tiempo-historia utilizando la herramienta *Risk*

Modeller's Toolkit, que está basado el software OpenSees para análisis no lineal, considerando además los estudios de fragilidad y vulnerabilidad existentes, debates de los talleres organizados localmente y la opinión de expertos en la región. Fueron tomados en cuenta distintos niveles de ductilidad, esquemas de daños y comportamientos de respuesta de conformidad a la clase del edificio. Las funciones de fragilidad se modelaron usando una distribución acumulativa “*lognormal*” y el nivel de medida de intensidad representativo se eligió en base a la correlación entre los movimientos del terreno y la distribución de los daños. Es importante considerar que si se desea evaluar las pérdidas por terremotos a escala local debe utilizarse una metodología más detallada puesto que, las funciones de fragilidad obtenidas no captan las características específicas de los edificios a nivel local (Villar-Vega, y otros, 2017).

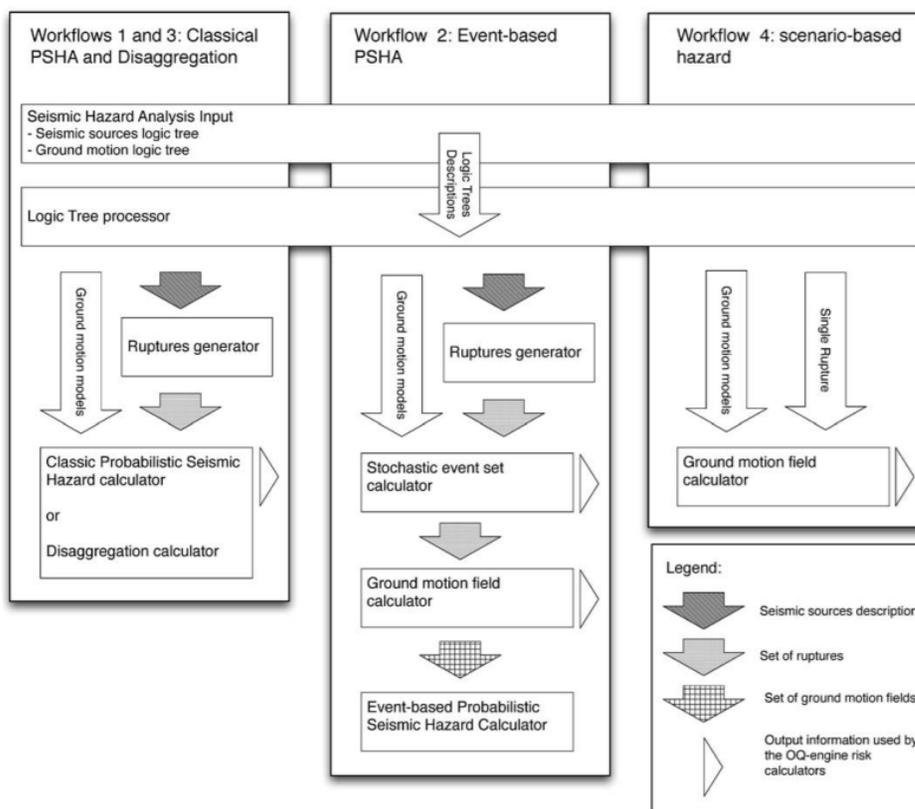
OpenQuake

OpenQuake-engine se trata de un software desarrollado por Global Earthquake Model que permite calcular la peligrosidad y el riesgo sísmico. De conformidad a los modelos actuales en el desarrollo de software que se basa en pruebas e integración continua, OpenQuake intenta volverse una herramienta abierta y útil para la comunidad interesada en estos tipos de análisis (Global Earthquake Model, 2022).

Principales características del motor OpenQuake. Es un software simple para múltiples casos de uso, en vista de que se prevé que los usuarios de OQ-engine sean investigadores que se interesan en realizar evaluaciones de riesgo sísmico a escala nacional, regional o global, por tal razón OQ-engine ofrece varios flujos de trabajo de cálculo que contribuyen a las diferentes necesidades y presentan varias estrategias de modelación de fuentes sísmicas; con el fin de dar solución a todos los casos de uso, el módulo peligro de OQ-engine tiene las siguientes calculadoras (Burton, Monelli, Crowley, & Pagani, 2014):

Figura 9

Principales grupos de trabajo de cálculo de peligros que soporta el motor de OpenQuake



Nota. La gráfica muestra los grupos de trabajo de cálculo de peligros del motor de OpenQuake. Tomado de Burton, C., Monelli, D., Crowley, H., & Pagani, M. (2014). *OpenQuake, a platform for collaborative seismic hazard and risk assessment. Seismological Research Letters Volume 85, Number 3.*

En la figura 9 se muestra de izquierda a derecha las principales calculadoras y flujos de datos utilizados en PSHA clásico y la desagregación y PSHA basada en eventos y peligrosidad basada en escenarios.

- Calculadora básica PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis): Permite el cálculo de curvas peligro, mapas y espectros de peligrosidad uniforme. Este es el enfoque que se toma generalmente para la evaluación de riesgos a escala regional/nacional. Con el uso del componente de riesgos de OQ, las curvas de peligrosidad calculadas se pueden combinar con un modelo de vulnerabilidad y exposición para obtener

- curvas de excedencia y mapas de pérdidas para varios periodos de retorno. Este tipo de análisis resulta útil para la evaluación comparativa entre activos en diferentes lugares, o para entender las áreas donde deben concentrarse las acciones de mitigación (Burton, Monelli, Crowley, & Pagani, 2014).
- **Calculadora PSHA basada en eventos:** Permite el cálculo de eventos estocásticos y campos de movimiento del suelo para cada ruptura. Los catálogos sintéticos calculados se pueden comparar con un catálogo real, mientras que las curvas y los mapas de peligro pueden derivarse del postprocesamiento de los campos de movimiento del suelo; los cuales son esenciales para las estimaciones de pérdidas, por lo que las curvas de excedencia y mapas de pérdidas se calculan para un conjunto de bienes combinando un modelo de vulnerabilidad y exposición con estos conjuntos de campos de movimientos del suelo (Burton, Monelli, Crowley, & Pagani, 2014).
 - **Calculadora de desagregación:** Con un modelo PSHA se calculan los escenarios de los terremotos que más contribuyen a un nivel de peligro determinado en un lugar específico (Burton, Monelli, Crowley, & Pagani, 2014).
 - **Calculadora de escenarios:** Dada una ruptura sísmica y un modelo de movimiento de suelo, se puede calcular un conjunto de campos de movimientos de suelo. Este es un caso típico de uso para el análisis de pérdidas a escala urbana. El conjunto de campos de movimiento de suelo puede utilizarse con un modelo de fragilidad/vulnerabilidad para calcular la distribución de daños/pérdidas de un conjunto de bienes (Burton, Monelli, Crowley, & Pagani, 2014).

Método FEMA P-154

El procedimiento de detección visual rápida conocida también por sus siglas en inglés como RVS constituye un método desarrollado para identificar, inventariar y examinar los edificios que son potencialmente peligrosos (punto de vista sísmico). En caso de ser

considerados como peligrosos, estos edificios deberán evaluarse por un profesional experto en diseño sísmico. El procedimiento RVS usa una metodología de estudio “de acera” de un edificio y un formulario de recolección de datos que es llenada por la persona que realiza la evaluación en base a la observación visual del edificio desde el exterior y si es posible, desde el interior. El formulario consta de dos páginas con espacio para incluir la información de identificación del edificio como su uso y tamaño, una fotografía, bocetos y datos relacionados con el comportamiento sísmico; con los datos recogidos se calcula una puntuación que muestra un indicio del comportamiento sísmico esperado del edificio (FEMA P-154, 2015).

Así también, permite identificar aquellos edificios que fueron diseñados y construidos antes del uso de la normativa de construcción para sismos, edificios que fueron construidos sobre suelos blandos, edificios con características poco aptas para resistir un sismo y estructuras con daños luego de un movimiento sísmico (Correa, 2016).

Debido a la eficacia y fácil uso de este método se utiliza en varios países alrededor del mundo para evaluar de manera rápida y en gran cantidad la vulnerabilidad sísmica de hospitales, colegios, edificios, entre otros; aunque esta metodología fue usada principalmente en los Estados Unidos por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (Alvarez & Pulgar, 2019).

El método cualitativo FEMA P-154 para efectuar análisis de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, está direccionado para ser aplicado sin realizar cálculos de análisis estructural. Este procedimiento registra datos relacionados a la edificación de acuerdo a la sismicidad, mostrando como resultado una puntuación que establecerá si se requiere una evaluación más detallada (Lanzziano & Clavijo, 2019).

Para realizar la recopilación de datos en campo y llenar el formulario, el primer paso es identificar el sistema primario estructura de resistencia a la fuerza sísmica y los materiales estructurales del edificio. En el formulario se tiene las puntuaciones básicas para distintas clases de edificios y el evaluador selecciona (encerrando en un círculo) lo que corresponde,

siendo posible cambiar la puntuación de acuerdo a los modificadores, que tienen que ver con propiedades de rendimiento observables y que deben sumarse o restarse al puntaje básico para obtener un puntaje final. Usando el formulario opcional es posible incluir información sobre la estructura mucho más detallada y así se podrá ajustar la puntuación con otros modificadores. Tanto las puntuaciones básicas como los modificadores de puntuación y las puntuaciones finales obtenidas corresponden a la probabilidad de colapso de un edificio ante la ocurrencia de un sismo raro, es decir, un movimiento de suelo equivalente al sismo máximo considerado (MCE), el cual se usa en la actualidad en las normativas a nivel nacional de diseño y evaluación para edificaciones existentes. Las puntuaciones finales varían entre 0 y 7, en donde los mayores valores indican un mejor desempeño sísmico esperado y por lo tanto una menor probabilidad de colapso (FEMA P-154, 2015).

Como se menciona en el párrafo anterior, para realizar la evaluación mediante este procedimiento se consideran dos formularios, en donde se registran, para el primero, los datos generales de la construcción, deficiencias debido a irregularidades, clase de suelo y Código de construcción; con ello, se obtiene un puntaje que considera la tipología del edificio evaluado y las patologías mencionadas. Así también se indica la presencia de otros peligros los cuales no interfieren en la obtención del puntaje final (Rodríguez , Aguilar-Meléndez, & Palazzo, 2021).

Para el formulario 2 se toman en cuenta valores (preajustados) que modifican al puntaje que se obtuvo en el primer formulario; dichos modificadores se refieren a casos concernientes a irregularidades y demás patologías, obteniéndose de este modo un puntaje que se registra también en el primer formulario; finalmente se concluye si se requiere una evaluación más detallada de elementos estructurales o no estructurales (Rodríguez , Aguilar-Meléndez, & Palazzo, 2021).

En la metodología RVS, como se indicó en los apartados anteriores, deberá determinar, como primer paso, el tipo de edificio señalando el material de construcción y el sistema primario de resistencia a la fuerza sísmica; así también se identificarán aquellas características del

edificio que cambian su comportamiento sísmico esperado de conformidad a la tipología de la estructura. La recolección de datos y la puntuación se hace frecuentemente en el lugar donde encuentra la estructura y toma alrededor de 15 a 30 minutos por edificio, requiriendo un tiempo adicional en caso de que se acceda al interior o si se usa el formulario para el nivel 2 (FEMA P-154, 2015).

Tipos de edificaciones

En la tercera edición existen 17 tipos de edificios FEMA, que incluyen las 15 tipologías que se utilizan en la segunda edición y dos nuevas clases W1A que corresponde a edificios residenciales de madera de varios pisos y MH a viviendas prefabricadas (FEMA P-154, 2015).

Tabla 2

Tipos de edificios FEMA P-154

Tipo	Descripción
W1	Viviendas unifamiliares o plurifamiliares con pórticos de madera ligera de una o más plantas de altura
W1A	Edificios residenciales de varios pisos con pórticos de madera ligera, con áreas planas en cada piso de más de 3.000 pies cuadrados
W2	Edificios comerciales e industriales con pórticos de madera con una superficie superior a 5.000 pies cuadrados. Para los edificios comerciales e industriales con menos de 5.000 pies cuadrados, también se puede utilizar el tipo W2.
S1	Edificios de acero con pórticos resistentes a momento
S2	Edificios con pórticos arriostrados de acero
S3	Edificios metálicos ligeros
S4	Edificios con pórticos de acero con muros de corte de hormigón in situ
S5	Edificios con pórticos de acero con muros de relleno de mampostería no reforzados
C1	Edificios de hormigón con pórticos resistentes a momento
C2	Edificios con muros de corte de hormigón
C3	Edificios don pórticos de hormigón con muros de relleno de mampostería no reforzada
PC1	Edificios basculantes
PC2	Edificios con pórticos de hormigón prefabricado
RM1	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles de suelo y techo
RM2	Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos de suelo y techo
URM	Edificios de mampostería no reforzada con muros de carga
MH	Viviendas prefabricadas

Nota. Recuperado de FEMA P-155

Del mismo modo, FEMA P-154 incluye la ocupación de los edificios y las presenta en clases de ocupación y designaciones de ocupación (FEMA P-154, 2015) (FEMA P-155, January 2015).

Tabla 3

Clases de ocupación de edificios y designaciones de ocupación

Clases de ocupación	
Asamblea	Asamblea pública en la que se reúnen 300 o más personas. Ejemplos: teatros, auditorios, centros comunitarios, salas de espectáculos e iglesias.
Comercial	Negocios minoristas y mayoristas, instituciones financieras, restaurantes, aparcamientos y almacenes ligeros.
Servicios de emergencia	Instalaciones críticas como comisarías de policía, estaciones de bomberos, hospitales y centros de comunicación.
Industrial	Grandes instalaciones, como fábricas, plantas de montaje e instalaciones de fabricación pesada.
Oficinas	Edificios de oficinas típicos que albergan funciones administrativas y de gestión.
Residencial	Casas, adosados, dormitorios, moteles, hoteles, apartamentos y condominios, y residencias para ancianos o discapacitados.
Escuelas	Todas las instalaciones educativas públicas y privadas, desde la guardería hasta el nivel universitario.
Almacén	Grandes almacenes utilizados para productos y almacenes comerciales. (La clase "Industrial" de la segunda edición incluía los grandes almacenes).
Servicios públicos	Instalaciones de agua, aguas residuales, energía, gas y electricidad
Gobierno	Edificios locales, estatales y federales no relacionados con las emergencias.
Histórico	Muchas variaciones de una comunidad a otra.
Refugio	Refugios designados o edificios específicamente identificados como refugios para su ocupación después de un evento.

Nota. Recuperado de FEMA P-155

En formulario FEMA P-154 nivel no se registra la carga de ocupación, sin embargo, si se desea determinar este valor, la siguiente tabla muestra las cargas de ocupación según las clases y designaciones de ocupación.

Tabla 4

Clases de ocupación de edificios y carga de ocupación

Clasificación/Designación de ocupación	Carga de ocupación
Residencial	
- Viviendas	1 persona/ 300 pies ²
- Hoteles y apartamentos	1 persona/ 200 pies ²
- Dormitorios	1 persona/ 100 pies ²

Clasificación/Designación de ocupación	Carga de ocupación
Comercial	1 persona/ 50-200 pies ²
Oficina	1 persona/ 100-200 pies ²
Industrial	1 persona/ 200 pies ²
Escuela	1 persona/ 50-100 pies ²
Asamblea	1 persona/ 10 pies ²
Servicios de emergencia	1 persona/ 100 pies ²
Gobierno	1 persona/ 100-200 pies ²
Histórico	Varía enormemente
Refugio	1 persona/ 50 pies ²
Servicios públicos	1 persona/ 500 pies ²
Almacén	1 persona/ 100-500 pies ²

Nota. Recuperado de FEMA P-155

En cuanto a los valores de puntuación y modificadores, la tercera edición de FEMA P-154 realiza varios cambios, en comparación con ediciones anteriores, alrededor de algunos aspectos, incluyendo las regiones de sismicidad en donde se tiene un total de cinco regiones para Estados Unidos: baja, moderada y alta (que se subdivide para mostrar una mayor precisión en alta y muy alta); el tipo de suelo se basa en el promedio de las puntuaciones básicas entre los suelos C y D con modificadores para ajustar este tipo de suelo al B y E. Los modificadores para irregularidades en planta y elevación se determinaron por medio de un procedimiento desarrollado por la Oficina de Planificación y Desarrollo de la Salud del Estado de California (OSHPD) que puede usarse para calcular la probabilidad de colapso de los edificios considerando este tipo de irregularidades. La puntuación mínima, será la probabilidad de colapso calculada considerando la peor combinación de deficiencias (FEMA P-155, January 2015).

Para el cálculo de puntuaciones básicas y los modificadores de puntuación se utilizó una versión modificada de la metodología HAZUS de OSHPD; para el desarrollo de dichas puntuaciones solo se requirió de la curva de fragilidad para el estado de daño completo, el cual indica que la estructura está en peligro inminente de colapso o ha colapsado. Como se ha mencionado en los apartados anteriores, FEMA P-154 considera 17 tipo de edificios, el puntaje

básico para 15 de ellos se calcularon tomando en cuenta los edificios modelo que se incluyen en el OSHPD HAZUS, sin embargo esta metodología no incluye el tipo W1A que describe a edificios de madera y tiene un contenido limitado del tipo MH que corresponde a viviendas prefabricadas; para la primera tipología los puntajes básicos se desarrollaron utilizando el juicio de ingeniería mientras que, para la segunda se utilizó el procedimiento OSHPD HAZUS usando valores de HAZUS TM para los parámetros de capacidad y fragilidad (FEMA P-155, January 2015).

El procedimiento OSHPD HAZUS considera tres niveles de desempeño: línea base, sub-línea base (sub-base) y ultra-sub-línea base (USB). Los edificios que no tienen deficiencias se evaluaron tomando en cuenta el desempeño de la línea base, mientras que cuando existen deficiencias, algunos parámetros fueron ajustados para el rendimiento SubBase o USB (FEMA P-155, January 2015).

Los modificadores de puntuación fueron determinados calculando la probabilidad de colapso dada la condición, por ejemplo: irregularidad en planta, pre-código; la probabilidad de colapso se convirtió en una puntuación equivalente y el modificador se obtuvo restando la puntuación básica de la puntuación equivalente (FEMA P-155, January 2015).

Ventajas y limitaciones

Ventajas. Entre las ventajas que se destacan del método RVS están la velocidad y que resulta muy sencilla de utilizar incluso para aquellas personas que no son ingenieros estructurales. Este método fue diseñado para reducir interpretaciones inadecuadas, así como la necesidad de opiniones de expertos. Grandes cantidades de edificios pueden ser evaluados de una forma rentable, puesto que las encuestas pueden realizarse de una forma rápida. Este procedimiento ha sido utilizado por varias personas y jurisdicciones distintas de los Estados Unidos por más de 25 años. Por lo tanto, se tiene un historial de uso muy largo además de varias actualizaciones (FEMA P-154, 2015).

Limitaciones. En cuanto a sus desventajas, la principal se relaciona con sus limitaciones intrínsecas como son:

- Revisión limitada: Debido a que la mayoría de veces se realiza desde el exterior, no es posible una revisión de planos y por consiguiente no se puede realizar ningún cálculo, lo que disminuye la precisión del RVS cuando se lo compara con un método más detallado que necesita un mayor tiempo e inversión de recursos.
- Determinar que el sistema de resistencia a la fuerza sísmica es integral al método (y a cualquier evaluación sísmica): En cualquier programa de inspección, es posible que, para un pequeño porcentaje de edificios, el sistema de resistencia a la fuerza sísmica no puede identificarse a través de una visualización rápida en virtud de que la estructura está cubierta por acabados arquitectónicos; en este caso, será necesaria una evaluación estructural detallada con el fin de determinar el tipo de estructura (FEMA P-154, 2015).

En cualquier situación es importante realizar una evaluación desde el interior, sin embargo, esto no siempre es posible por limitaciones de tiempo o acceso, por lo que pueden no ser detectados aquellos peligros interiores y resulta difícil la identificación del sistema estructural y de sus deficiencias (FEMA P-154, 2015).

Los métodos de evaluación detallados conllevan una revisión de planos y realización de cálculos, lo cual proporciona un alto nivel de comprensión de las características estructurales de cada edificio. Al revisar planos se pueden comprender varias deficiencias graves y que son complicadas para observar por medio de una inspección visual. Los cálculos de evaluación sísmica indican la relación entre las demandas de los miembros y sus capacidades asociadas y si se espera que tengan comportamientos dúctiles deseables o comportamientos no dúctiles no deseables. En este sentido el procedimiento RVS no incluye cálculos, puesto que las evaluaciones de la capacidad sísmica están basadas en consideraciones más generales que

tienen que ver con el tipo de edificación, irregularidades geométricas y condiciones del suelo del sitio (FEMA P-154, 2015).

Por la gran cantidad de edificios que se evalúan y la variabilidad en el nivel de experiencia, no puede evitarse el cometer errores, razón por la cual, es necesario contar con un programa refinado para garantizar la calidad y reducir errores. Finalmente, es importante organizar el programa de forma hábil y con cuidado para así garantizar un uso eficiente del personal y ordenar la información recopilada de la manera más útil, dado el gran esfuerzo que lleva reunir los datos y la posible flexibilidad en los objetivos del programa.

Método FUNVISIS

O. López, C. Coronel y R. Rojas en su artículo “Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes” presentan un procedimiento para la asignación de índices de vulnerabilidad, riesgo y de priorización sísmica de un número de edificaciones existentes que pueden estar ubicadas en cualquier lugar de Venezuela, dichos índices se obtienen de una visita e inspección de corta duración a la edificación. El índice de priorización se calcula como el producto de los índices de amenaza, vulnerabilidad e importancia, el cual considera el uso del edificio y el número de ocupantes. El procedimiento toma en cuenta las tipologías constructivas presentes en el país, incluyendo viviendas populares, y considera las experiencias de los sismos destructores de Caracas en 1967 y Cariaco en 1997. Para edificaciones que se encuentran en el Área Metropolitana de Caracas, el procedimiento indicado toma en cuenta la microzonificación sísmica de la ciudad. Los resultados que se obtienen al aplicar el procedimiento descrito son útiles para elegir aquellas edificaciones críticas que necesiten evaluaciones estructurales más detalladas y así se pueda tomar decisiones que permitan una gestión integral del riesgo sísmico. Este método se aplicó a una muestra de 154 edificios localizados en una parroquia de Caracas (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Al ser un método sencillo y de fácil aplicación se lo puede realizar en un gran número de estructuras, lo que lo hace muy útil para los programas de gestión integral que apuntan a la

reducción del riesgo sísmico, ya sea en una ciudad o en un municipio del país (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Índices de priorización de edificaciones. Para definir el índice de priorización se considera: la amenaza sísmica en el sitio, la vulnerabilidad de la estructura y la importancia de la edificación. Se identifica como I_p y se calcula con la siguiente ecuación (López , Coronel, & Rojas, 2014):

$$I_p = I_A \cdot I_V \cdot I_I \quad (1)$$

Donde:

I_A = Índice de amenaza

I_V = Índice de vulnerabilidad

I_I = Índice de importancia

Índice de amenaza. En Venezuela para determinar los valores del índice de amenaza se consideraron dos aspectos: el valor de la aceleración del terreno en roca (coeficiente A_o) en las siete zonas sísmicas establecidas en la normativa COVENIN 2001 y los efectos topográficos que amplifican el índice de amenaza en un 10% (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 5

Valores del Índice de Amenaza (IA)

Zona	Peligro Sísmico	A_o (Covenin, 2001)	I_A	
			Sin efectos topográficos	Con efectos topográficos
7		0.40	0.90	1
6	Elevado	0.35	0.80	0.88
5		0.30	0.68	0.75
4	Intermedio	0.25	0.56	0.63
3		0.20	0.45	0.50
2		0.15	0.34	0.38
1	Bajo	0.10	0.23	0.25
0		-	0.05	0.05

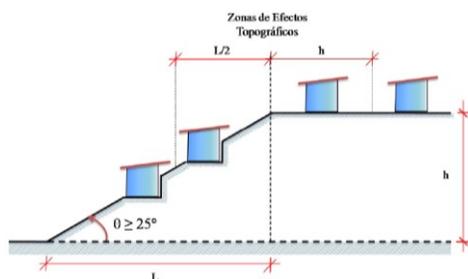
Nota. Recuperado de López, Ó., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Nótese que la multiplicación de los índices de amenaza y vulnerabilidad ($I_A I_V$) es el índice de riesgo de la estructura (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Para definir si se considera o no los efectos topográficos según la figura 10, estos se tomarán en cuenta cuando la edificación esté ubicada sobre la mitad superior ($L/2$) de una ladera con pendiente superior a 25 grados que corresponde aproximadamente al 46% o también en la zona de la cima que se encuentra a una distancia de la cresta menor a la altura (h) de la ladera.

Figura 10

Zonas donde se consideran los efectos topográficos en el Índice de Amenaza I_A



Nota. El gráfico muestra la forma para determinar las zonas en donde deben considerarse los efectos topográficos. Tomado de López, Ó., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). *Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol.29, N° 4, 107-126.*

Índice de vulnerabilidad. Mediante el cálculo del Índice de Vulnerabilidad se pretende determinar aquellas propiedades intrínsecas de la estructura que pueden influenciar para tener un comportamiento poco adecuado ante un evento sísmico. Para la definición de la vulnerabilidad se deben considerar: la antigüedad de la edificación, la tipología estructural, el número de pisos, la profundidad del depósito de suelo, su estado de conservación, la topografía del terreno y otros parámetros básicos de la edificación y de las paredes de relleno que ejercen una gran influencia en el comportamiento ante un sismo. Por lo tanto, el Índice de Vulnerabilidad se define de la siguiente manera (López, Coronel, & Rojas, 2014):

$$I_V = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \cdot I_i \quad (2)$$

Donde:

I_i = Índice de vulnerabilidad específica "i"

α_i = Peso relativo

Nótese que como I_i tiene un valor máximo de 100 el índice de vulnerabilidad también tendrá un valor máximo de 100.

Tabla 6

Índices de Vulnerabilidad específica (I_i) y pesos relativos (α_i)

I_i	Vulnerabilidad asociada con	α_i
I_1	Antigüedad y norma utilizada	0.25
I_2	Tipo estructural	0.35
I_3	Irregularidad	0.25
I_4	Profundidad del depósito	0.07
I_5	Topografía y drenajes	0.04
I_6	Grado de deterioro	0.04

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad I_1 . Considera la edad de la edificación y la normativa que se utilizó para su diseño, asignando un valor mayor de vulnerabilidad a que las construcciones que se diseñaron utilizando normativa más antigua puesto que su comportamiento ha mostrado que estas presentan menor resistencia, rigidez y capacidad para disipar energía (López, Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 7

Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la antigüedad (I_1)

Año de Construcción (t)	I_1
$t \leq 1939$	100
$1939 < t \leq 1947$	80
$1947 < t \leq 1955$	80
$1955 < t \leq 1967$	90
$1967 < t \leq 1982$	60
$1982 < t \leq 1998$	30
$1998 < t \leq 2001$	10

Año de Construcción (t)	I ₁
t>2001	15

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Índice de vulnerabilidad del tipo estructural I₂. Se establecen 15 tipologías estructurales y se indica para cada uno un valor de vulnerabilidad, sin embargo, es importante resaltar que para edificaciones que presenten más de una tipología estructural se deberá considerar el valor del tipo preponderante o el mayor valor (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Para determinar los valores de los índices, se tomó en cuenta que se debe castigar con un valor de vulnerabilidad más alto a aquellos sistemas que presentan una baja capacidad de disipación de energía y recompensar a los sistemas que son dúctiles y que tengan una alta resistencia y rigidez (López , Coronel, & Rojas, 2014).

En Venezuela se reconoce a la tipología 2 como la más utilizada en el país, en la que la mampostería se encuentra adyacente a los pórticos de hormigón armado lo cual reduce su comportamiento dúctil y contribuye a que se presenten modos de falla frágil que hacen que se tenga una vulnerabilidad mayor. A la tipología 1 se la reconoce como poco común, esta se caracteriza por tener la mampostería separada de los pórticos y con un adecuado arriostramiento que permite una adecuada estabilidad dentro y fuera del plano, lo cual disminuye considerablemente su vulnerabilidad (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 8

Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con el Tipo estructural (I₂)

Tipo Estructural	Descripción	I ₂
1	Pórticos de concreto armado	25
2	Pórticos de concreto armado con paredes de bloque de arcilla o de concreto	40
3	Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	10
4	Muros de concreto armado de poco espesor dispuestos en una sola dirección, como algunos sistemas constructivos tipo túnel	90
5	Pórticos de acero	40
6	Pórticos de acero con perfiles tubulares	60
7	Pórticos de acero diagonalizados	20

Tipo Estructural	Descripción	I ₂
8	Pórticos de acero con cerchas	40
9	Sistemas pre-fabricados en base de grandes paneles o de pórticos	90
10	Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada	70
11	Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada	100
12	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	90
13	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos	95
14	Viviendas de bahareque de un piso	90
15	Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, entre otros)	100

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes

Para la tabla 8 debe tomarse que para tipología 1 se considera que las paredes no interfieren con el desplazamiento lateral del pórtico y muestra estabilidad propia para movimientos dentro y fuera del plano. Por otro lado, las tipologías 11, 12 y 13 se refieren a las edificaciones que se construyeron sin diseño formal de ingeniería y sin seguir normas técnicas (López, Coronel, & Rojas, 2014).

Índice de Vulnerabilidad para las irregularidades I₃. Mediante este parámetro es posible modificar la vulnerabilidad de una estructura asignando un mayor valor a aquellas que presentan irregularidades geométricas o deficiencias estructurales importantes que limitan un buen comportamiento sísmico. En la tabla 9 se muestran 11 irregularidades como: columnas cortas, ausencia de vigas altas, planta baja débil, entre otros. Este índice se calcula mediante la siguiente ecuación (López, Coronel, & Rojas, 2014):

$$I_3 = \sum_{j=1}^{11} I_{3j} \leq 100 \quad (3)$$

Donde:

I_{3j} = Índice de Irregularidad asociado con la irregularidad j.

Debe considerarse que, si en la estructura no se identifica ninguna de las irregularidades que se indican el valor a asignarse será 1, mientras que, para el caso de viviendas populares y con dos o más pisos de mampostería no confinada que recae en la

tipología 11, se reconoce un valor de 100 incluso cuando no se haya identificado ningún tipo de irregularidad. Por otro lado, para la tipología 4, se debe seleccionar la irregularidad que se refiere a la ausencia de vigas altas. Para la irregularidad 9, se entiende que una edificación está adosada a otra cuando la separación entre ellas es menor valor al indicado en la tabla donde se define el valor de S (López, Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 9

Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con irregularidades (I_{3j})

j	Descripción de la irregularidad	I_{3j}	
1	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	40	
2	Ausencia de muros en una dirección como ocurre en algunos sistemas tipo túnel	80	
3	Edificios de carácter frágil sin capacidad para disipar energía, como las edificaciones de adobe o paredes de bloque que no poseen refuerzo metálico interior ni elementos de confinamiento (columnas, vigas de corona)	100	
4	Presencia de al menos un entrepiso blando o débil	50	
5	Presencia de columnas cortas	30	
6	Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes	30	
7	Aberturas significativas en losas	10	
8	Fuerte asimetría de masa o rigideces en planta o esquemas de elevación tipo L	20	
9	Adosamiento a edificio adyacente	(a) Losa contra Losa (b) Losa contra columna	10 20
10	Planta de forma I, H, T, U, C o similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal	10	
11	Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical	10	

Nota. Recuperado de López, Ó., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Tabla 10

Separación entre edificaciones

Número de pisos	Separación con edificación vecina S (cm)
1-2	14
3-5	30
6-10	70
11-15	100
>15	140

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Índice de Vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito I_4 . Este índice considera que una edificación alta es más vulnerable cuando está asentada sobre sedimentos de gran profundidad (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 11

Valores de Índice de Vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito (I_4)

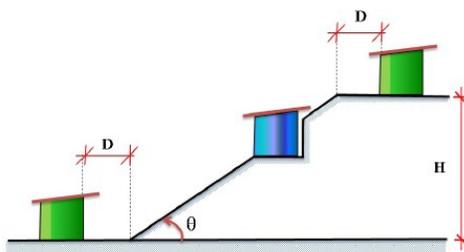
Situaciones de aplicación	I_4
Edificios con un número de pisos mayor que 6 y localizados en depósitos de sedimentos de profundidad mayor a 120 metros	100
Otros casos	0

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Índice de Vulnerabilidad asociado con la topografía y drenajes I_5 . Este índice pretende mostrar escenarios de vulnerabilidad que pueden presentarse en estructuras que se han levantado en laderas y en su cercanía, por una falla potencial de estabilidad en taludes que no se han protegido con la construcción de muros de contención. Para elegir el valor de este índice se considera el ángulo de inclinación de la ladera θ , su altura H y la distancia D , es importante resaltar que la vulnerabilidad aumenta cuando la estructura se encuentra en sitio donde no existe drenaje de aguas (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Figura 11

Construcciones en las que se considera vulnerabilidad asociada con la topografía (I_5)



Nota. La figura muestra la ubicación de las edificaciones cuando se debe considerar la vulnerabilidad asociada con la topografía. Tomado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol.29, N° 4, 107-126.

Tabla 12

Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado con la topografía y drenajes (I_5)

		Características	I_5
Localización de la construcción		Construcción sobre planicie	0
	Construcción sobre ladera con pendiente de ángulo θ dada por:	Entre 20° y 45°	50
		$\geq 45^\circ$	80
	Construcción sobre la cima o en la base de la ladera de pendiente $\theta \geq 20^\circ$, a una distancia D:	Menor o igual a H	80
		Mayor a H	0
Existencia de drenajes		Si	0
		No	20

Nota. Recuperado de López, Ó., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Índice de vulnerabilidad asociado con el grado de deterioro. Este índice castiga a la estructura asignando un mayor valor de vulnerabilidad a aquellas que presentan patologías como corrosión del acero y agrietamiento estructural; es importante señalar que para el deterioro de la estructura debe seleccionar un único valor entre a y b; si se trata de una edificación mixta, es decir, de concreto y acero, se deberá elegir el mayor valor entre a y b (López, Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 13

Valores del Índice de Vulnerabilidad asociado al grado de deterioro (I_6)

Componente	Grado de deterioro		I_6
Estructura	(a) Estructura de concreto: Agrietamiento en elementos estructurales de concreto armado y/o corrosión en acero de refuerzo	Severo	70
		Moderado	35
		Ninguno	0
	(b) Estructura de acero: Corrosión en elementos de acero y/o deterioro de conexiones y/o pandeo de elementos	Severo	70
		Moderado	35
		Ninguno	0
Paredes	Arietamiento en paredes de relleno	Severo	20
		Moderado	10
		Ninguno	0
Todos	Estado general de mantenimiento	Bajo	10
		Regular	5
		Bueno	0

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Índice de Importancia. Se denota por I_i y busca integrar en el proceso de priorización el tipo de ocupación y cuántas personas estarán expuestas en caso de la ocurrencia de un terremoto. Deberá utilizarse valores mayores para estructuras esenciales, es decir aquellas que deben seguir operando luego de la ocurrencia de un evento sísmico, este es el caso de hospitales, centros de salud, escuelas que se usan como albergues, etc. Sin embargo, se reconocen también otro tipo de estructuras que, aunque tengan el mismo tipo de ocupación y el mismo grado de vulnerabilidad estructural, es posible que se den pérdidas diferentes si existe un cambio considerable según su número de ocupantes. (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 14

Clasificación según el uso del edificio

Grupo	Uso del edificio
A1	Hospitales y centros de salud, estaciones de bomberos y de protección civil Cuarteles de policía, edificios de asiento del gobierno local, regional o nacional, edificios educativos, construcciones patrimoniales de valor excepcional, centrales eléctricas,
A2	subestaciones de alto voltaje y de telecomunicaciones, plantas de bombeo, depósitos de materias tóxicas o explosivas y centros que utilicen materiales radioactivos, torres de control, centros de tráfico aéreo
A3	Todas aquellas edificaciones no contenidas en los grupos A1 y A2, tales como viviendas, edificios de apartamentos, de oficinas, comerciales, hoteles, bancos, restaurantes, cines, teatros, almacenes y depósitos

Nota. Recuperado de López , Ó., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Tabla 15

Valores del Índice de Importancia (I_i)

Grupo	$N \leq 10$	$10 < N \leq 100$	$100 < N \leq 500$	$500 < N \leq 1000$	$N > 1000$
A1	0.90	0.92	0.95	0.97	1
A2	0.85	0.87	0.90	0.93	0.95
A3	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90

Nota: Recuperado de López , Ó., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Por lo tanto, las edificaciones se clasifican en tres grupos de acuerdo al uso según se indica en la tabla 14. El valor índice de importancia depende del uso del edificio y de las personas que ocupan el mismo (N) (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Valoración de los Índices de Vulnerabilidad. Para valorar el índice de vulnerabilidad se establecen seis rangos que van desde Muy Baja a Muy Elevada vulnerabilidad (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 16

Valoración del Índice de Vulnerabilidad (I_v)

Calificación de la Vulnerabilidad	I_v Rango de Valores
Muy elevada	$60 \leq I_v \leq 100$
Elevada	$40 \leq I_v < 60$
Media Alta	$30 \leq I_v < 40$
Media Baja	$20 \leq I_v < 30$
Baja	$10 \leq I_v < 20$
Muy Baja	$0 \leq I_v < 10$

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Valoración del Índice de Riesgo. El Índice de Riesgo de una estructura se calcula multiplicando los valores de los índices de amenaza y vulnerabilidad. Se establecen siete categorías de índices de riesgo que van desde Muy Bajo a Muy Elevado (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 17

Valoración del Índice de Riesgo (I_R)

Clasificación del riesgo	I_R Rango de valores
Muy Elevado	$60 \leq I_R \leq 100$
Elevado	$40 \leq I_R < 60$
Alto	$25 \leq I_R < 40$
Medio Alto	$15 \leq I_R < 25$
Medio Bajo	$8 \leq I_R < 15$
Bajo	$3 \leq I_R < 8$
Muy Bajo	$0 \leq I_R < 3$

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Valoración del índice de priorización. El Índice de Priorización considera la amenaza sísmica del sitio, la vulnerabilidad de la edificación, el uso y el número de ocupantes, por lo tanto, es el resultado del producto del índice de amenaza, vulnerabilidad e importancia. Se establecen doce categorías para el índice de priorización desde P1 que se refiere a la prioridad máxima hasta P12 que indica una prioridad mínima. El objetivo de este índice es ordenar los resultados y diferenciar las edificaciones con el fin de elegir las que sean más críticas y que pasarán a otra etapa que incluye estudios más detallados que conducirán a tomar decisiones para reducir el riesgo sísmico (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Tabla 18

Valoración del Índice de Priorización (I_p)

Calificación de la Priorización	I_p Rango de Valores
P1 (Prioridad máxima)	$60 \leq I_p \leq 100$
P2	$50 \leq I_p < 60$
P3	$40 \leq I_p < 50$
P4	$30 \leq I_p < 40$
P5	$25 \leq I_p < 30$
P6	$20 \leq I_p < 25$
P7	$16 \leq I_p < 20$
P8	$12 \leq I_p < 16$
P9	$8 \leq I_p < 12$
P10	$5 \leq I_p < 8$
P11	$2 \leq I_p < 5$
P12 (Prioridad mínima)	$0 \leq I_p < 2$

Nota. Recuperado de López, O., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes.

Este método incluye no sólo diferentes niveles de amenaza sísmica dentro del territorio venezolano sino también resultados del estudio de microzonificación sísmica del Área Metropolitana de Caracas y puede ser revisado de manera continua con el objetivo de incorporar estudios de microzonificación sísmica en otras poblaciones de Venezuela de acuerdo a la disponibilidad de los mismos. Su aplicabilidad es para edificaciones formales que fueron diseñadas y construidas de acuerdo a la normativa técnica, así como las edificaciones

populares que se construyen sin cumplir las normativas en mención (López , Coronel, & Rojas, 2014).

Metodología NEC

A partir del año 2015 se publica en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, una guía práctica de evaluación de estructuras que muestra una propuesta metodológica para inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras existentes (pre-evento), basado en el FEMA 154 (Rapid Visual Screening of Building for Potencial Seismic Hazards), la misma que se implementó, primero, por el Colegio de Arquitectos del Ecuador y el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (Albarracin, 2019).

Las estructuras se clasifican en tres categorías: edificios con baja vulnerabilidad en lo que se refiere a daños y seguridad de los habitantes del inmueble ante un evento sísmico, media vulnerabilidad que presentarían un comportamiento aceptable y alta vulnerabilidad que requerirían un análisis a detalle por profesional especializado en diseño estructural. Este procedimiento no necesita que la edificación se analice detalladamente en cuanto a sus características estructurales, sino solamente, es importante reconocer el tipo de sistema estructural y recoger los datos requeridos para llenar el formulario (Cueva, 2017).

El objetivo primordial de la inspección es determinar aquellas estructuras que presenten una alta vulnerabilidad para realizar un análisis más detallado y trabajar en planes de mitigación. Es importante considerar ciertos aspectos para la aplicación de método, como: la preparación de un presupuesto y la estimación de costos, realizar una visita preliminar para reconocer el sitio, aplicar el formulario de una forma correcta, el personal encargado de realizar la evaluación deberá estar capacitado, se deberá revisar toda la información que se tenga disponible (planos arquitectónicos y estructurales) y finalmente se deberá inspeccionar el sitio para recolectar toda la información de campo, incluyendo el tipo de ocupación, el sistema estructural, el área y año de construcción, etc. (Cueva, 2017).

Al ser una evaluación rápida, la persona que lo realiza deberá visitar la edificación y llenar un formulario. Este procedimiento dura entre 15 a 30 minutos, sin embargo, si es posible ingresar al interior de las edificaciones estará entre 30 y 60 minutos. Con este tipo de evaluación se busca reconocer aquellas estructuras que son más vulnerables ante un sismo que necesitan un análisis a detalle, así como también es útil para diseñar programas de mitigación de riesgos para un lugar específico, realizar inventarios de edificaciones de acuerdo al uso, entre otras (MIDUVI, 2016).

Tipos de uso de edificaciones

La guía de Evaluación Sísmica y rehabilitación de estructuras de la NEC 15 reconoce nueve tipos de uso para edificaciones, que se detallan en la tabla siguiente (MIDUVI, 2016):

Tabla 19

Tipos de uso de edificaciones NEC-15

Uso	Descripción
Asamblea	Sitios públicos para reuniones que albergan a personas en una sola habitación como: teatros, auditorios, centros comunitarios, iglesias, salas de espectáculo.
Comercial	Cualquier clase de empresas que no se encuentren dentro de las demás clasificaciones como bancos, restaurantes, centros comerciales, parqueaderos.
Servicios de emergencia	Aquellas edificaciones que deben mantenerse en pie luego de la ocurrencia de un sismo como: estaciones de policía, bomberos, hospitales, centros de salud y de comunicaciones.
Gobierno	Edificaciones del estado que no están dentro de los servicios de emergencia.
Histórico	Edificaciones calificadas como patrimoniales
Industrial	Toda clase de industria: fábricas, plantas de ensamblaje, almacenes grandes, bodegas, industria pesada.
Oficina	Edificios clásicos de oficinas, casas de oficina y lugares de gestiones.
Residencial	Estructural residenciales, casas, hoteles, moteles, hostales, conjuntos residenciales, hogares para ancianos y discapacitados.
Educativo	Instituciones educativas, públicas y privada: escuelas, colegios, institutos y universidades.

Nota. Recuperado de MIDUVI. (2016). Guía Práctica de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tipología del sistema estructural

De conformidad al formato de evaluación se tienen trece tipologías de sistemas estructurales que incluyen la mayor parte de clases que existen en el país (Cueva, 2017).

Tabla 20

Tipos del sistema estructural implementados para la evaluación

TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL					
Madera	W1	Pórtico Hormigón Armado	C1	Pórtico Acero Laminado	S1
Mampostería sin refuerzo	URM	Pórtico H. Armado con muros estructurales	C2	Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2
Mampostería reforzada	RM	Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	C3	Pórtico Acero Doblado en frío	S3
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	MX	H. Armado prefabricado	PC	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales de hormigón armado	S4
				Pórtico Acero con paredes de mampostería	S5

Nota. Recuperado de MIDUVI. (2016). Guía Práctica de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción

Puntaje básico

Considerando las trece tipologías estructurales establecidas en el formulario, se calculó un puntaje básico (índice de peligro estructural) que muestra la probabilidad de daño y pérdida de una edificación, según FEMA 154 y 155, los cuales se muestran en la tabla siguiente (MIDUVI, 2016):

Tabla 21

Puntaje básico de cada sistema estructural

Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5
Puntaje básico	4.4	1.8	2.8	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2

Nota. Recuperado de MIDUVI. (2016). Guía Práctica de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Modificadores. Constituyen los factores que ejercen una gran influencia en el comportamiento de la estructura analizada. El valor de los modificadores cambia según el tipo de estructura. En caso de que un modificador no aplique al sistema estructural seleccionado se escribirá N/A que significa “no aplica” (MIDUVI, 2016).

Los modificadores tienen que ver con:

- La altura de la edificación
- Irregularidad de la edificación
- Código de construcción utilizado
- Tipo de suelo

Figura 12

Puntaje básico de cada sistema estructural

PUNTAJES BASICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL S														
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5	
Puntaje Básico	4.4	1.8	2.8	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2	
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN														
Baja altura (menor a 4 pisos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	N/A	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	N/A	0.4	0.4	
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	N/A	N/A	0.3	0.6	0.8	0.3	0.4	0.6	0.8	N/A	0.8	0.8	
IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACIÓN														
Irregularidad vertical	-2.5	-1	-1	-1.5	-1.5	-1	-1	-1	-1	-1.5	-1.5	-1	-1	
Irregularidad en planta	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	
CÓDIGO DE LA CONSTRUCCIÓN														
Pre-código (construido antes de 1977) o auto construcción	0	-0.2	-1	-1.2	-1.2	-1	-0.2	-0.8	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2	
Construido en etapa de transición (entre 1977 y 2001)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Post código moderno (construido a partir de 2001)	1	N/A	2.8	1	1.4	2.4	1.4	1	1.4	1.4	1	1.6	1	
TIPO DE SUELO														
Tipo de suelo C	0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	
Tipo de suelo D	0	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	
Tipo de suelo E	0	-0.8	-0.4	-1.2	-1.2	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8	

Nota. El gráfico muestra los puntajes básicos y los modificadores para cada tipología estructural.

Puntaje final y grado de vulnerabilidad sísmica

Al igual que en la metodología FEMA el puntaje final denominado “S”, se calcula por medio de sumar o restar los valores de los modificadores, es así, que el valor final obtenido es mayor que 2.5 se concluye que la estructura analizada tiene una vulnerabilidad baja; si se encuentra en el rango entre 2 y 2.5 la edificación tiene una vulnerabilidad media y si es menor a 2, la estructura tiene una vulnerabilidad alta y es necesaria una evaluación especial, la cual deberá ser realizada por un profesional especializado en estructuras (MIDUVI, 2016).

El puntaje final indica una estimación de la probabilidad de colapso de una estructura en caso de la ocurrencia de un evento sísmico; el cual está basado en los valores de los

modificadores y en el conocimiento del evaluador para recopilar correctamente los datos de la estructura, es por esta razón que la calificación de vulnerabilidad que se obtiene por medio del formulario es aproximada (MIDUVI, 2016).

Capítulo III

Metodología

Área de influencia

El cantón Ambato está ubicado en el centro del país en la provincia de Tungurahua, limitado: al norte, por la provincia de Cotopaxi; al sur, por la provincia de Chimborazo; al este, por los cantones: Pillaro, Pelileo, Cevallos, Tisaleo y Mocha; y, al oeste, por la provincia de Bolívar (GAD Municipalidad de Ambato, 2015).

Cuenta con una superficie de 1016,454 km², que equivale al 29.94% de la extensión de la provincia de Tungurahua; está conformado en su estructura político administrativa por parroquias urbanas y rurales; la zona urbana agrupa a las parroquias de: San Francisco, La Merced, Celiano Monge, Huachi Loreto, Huachi Chico, La Matriz, Atocha – Ficoa, Pishilata y La Península, mientras que la zona rural agrupa 18 parroquias que son: Ambatillo, Atahualpa, Augusto N. Martínez, Constantino Fernández, Huachi Grande, Izamba, Juan Benigno Vela, Montalvo, Pasa, Picaihua, Pilahuín, Quisapincha, San Bartolomé de Pinllo, San Fernando, Santa Rosa, Totoras, Cunchibamba y Unamuncho (GAD Municipalidad de Ambato, 2015).

La ciudad de Ambato se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico, debido a que, de conformidad a los datos obtenidos de investigaciones realizadas, los eventos sísmicos ocurridos en los años 1687, 1698, 1786, 1797 y el 5 de agosto de 1949, causaron grandes deslizamientos de laderas, montes y taludes que terminaron con muchas viviendas y con la vida de varias personas. Del mismo modo, otra de las causas de grandes desastres, son las fallas geológicas, que, cuando se produce un sismo, causan grietas que producen la destrucción de todo lo que se encuentra a su paso (GAD Municipalidad de Ambato, 2015).

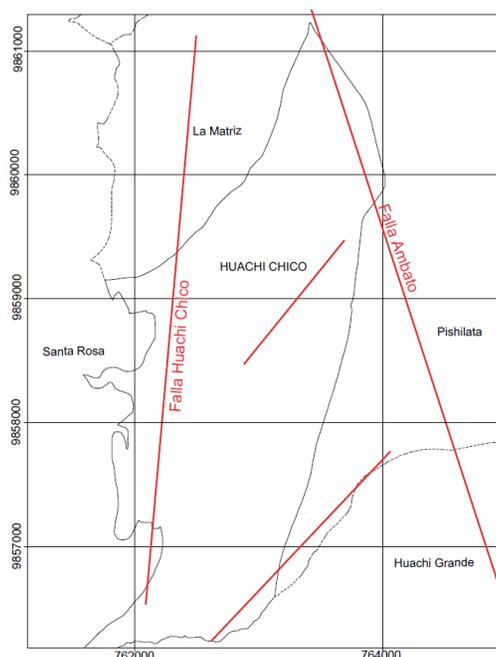
En Ambato existen tres fallas geológicas importantes que atraviesan la ciudad y que corresponden a la de Huachi (M=6.3), Ambato (M=6.5) y Totoras (M=6.5), las cuales pueden generar sismos impulsivos que si bien es cierto, son de corta duración pero que tienen un potencial altamente destructivo (Aguiar & Rivas, 2018).

Indoamérica, Iglesia de Huachi Chico, Iglesia “Divino Niño”, Complejo Judicial, entre otras estructuras que corresponden a edificaciones utilizadas para vivienda como conjuntos habitacionales y urbanizaciones.

Por la parroquia en mención cruzan cuatro fallas geológicas: la falla Huachi Chico que atraviesa la parroquia por el lado oeste, la falla Ambato que cruza por el norte y dos fallas de menor longitud por el centro y sur de la parroquia.

Figura 14

Fallas geológicas en la parroquia de Huachi Chico



Nota. La figura muestra las fallas geológicas que cruzan por la parroquia Huachi Chico. Tomado de GAD Municipalidad de Ambato. (17 de febrero de 2021). Fallas Geológicas del cantón Ambato. Ambato, Tungurahua, Ambato.

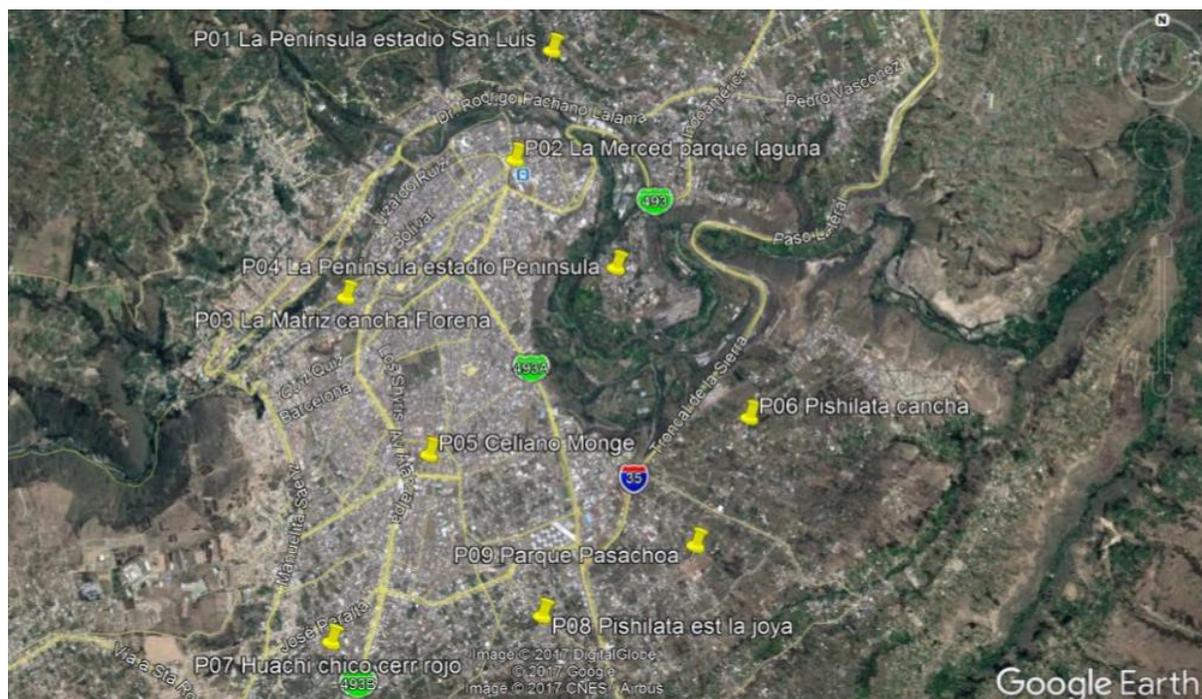
En la Reforma a la Ordenanza Municipal de Creación y Delimitación de la Parroquias Urbanas de Ambato, aprobada el 6 de Noviembre de 1975 se establecen los límites de la Parroquia Huachi Chico como sigue: “Esta nueva Parroquia Urbana tendrá los siguientes linderos: al Oeste la Parroquia Matriz, al Sur-Oeste la quebrada “Puchato”; sigue por esta quebrada en dirección Oeste-Este en línea recta hasta el cruce del camino Ambato- Tisaleo; de

aquí por un camino de segundo orden existente, hasta su unión con la carretera Panamericana Sur, bajando por esta en dirección Sur Norte, hasta el monumento a Rumiñahui en la Avenida Atahualpa; al Noroeste la Parroquia Celiano Monge”.

Clasificación de suelos

Figura 15

Ubicación de los sitios seleccionados para el estudio geotécnico



Nota. La figura muestra los lugares que se eligieron para realizar el estudio geotécnico en la ciudad de Ambato. Tomado de Aguiar, R., & Rivas, A. (2018). *Microzonificación Sísmica de Ambato. Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.*

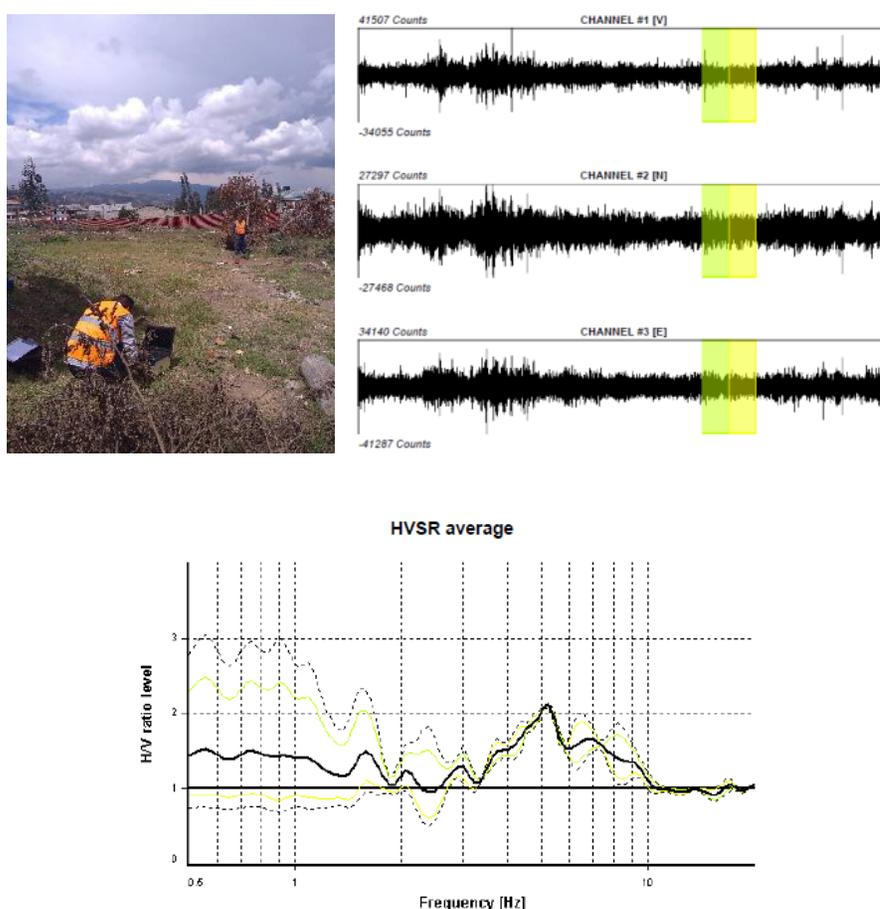
Según Aguiar & Rivas (2018) para el estudio geofísico de la ciudad de Ambato fueron seleccionados 9 sitios distribuidos en 4 zonas: la zona 1 incluye los puntos 1 y 4 que corresponden a La Península al estadio San Luis y estadio La Península respectivamente, la zona 2 comprende el punto 2 (La Merced parque Laguna) y el punto 3 (La Matriz Cancha Floreana), en la zona 3 se tiene el punto 5 (Celiano Monge) y el punto 7 (Huachi Chico Cerro

Rojo) y la zona 4 incluye el punto 6, 8 y 9 que corresponden a Pishilata Cancha, Pishilata Estadio La Joya y Parque Pasochoa.

De conformidad al estudio en mención y a la zona de influencia del proyecto, el punto de interés corresponde a P07 que comprende el sector de Huachi Chico, calle Ramón Salazar, el cual está ubicado al sur oeste de la ciudad, su principal característica es la presencia de depósitos piroclásticos acompañados de cangagua o cenizas volcánicas en superficie, es un suelo de alta compacidad (Aguiar & Rivas, 2018).

Figura 16

Sitio de estudio, señales sísmicas y Espectros de Fourier



Nota. La figura muestra los resultados obtenidos en el punto P07 en la parroquia Huachi Chico. Tomado de Aguiar, R., & Rivas, A. (2018). *Microzonificación Sísmica de Ambato. Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.*

Es así, que se obtuvieron los valores de f_{peak} y A_{peak} y el periodo de suelo T , los cuales se indican en la tabla siguiente:

Tabla 22

Valores de f_{peak} y A_{peak} para los puntos de Huachi Chico

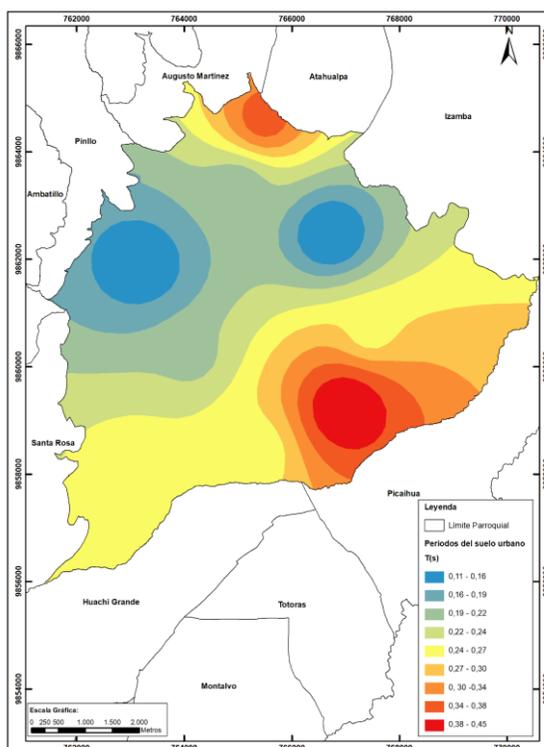
Código	Lugar	UTM	f_{peak} (Hz)	A_{peak}	T (s)	Observación
P07 A	Huachi Chico	763175, 9858169	5.23	2.126	0.19	Alta compacidad
P07 B	Huachi Chico	763194, 9858165	3.74	2.128	0.27	Alta compacidad

Nota. Recuperado de Aguiar, R., & Rivas, A. (2018). Microzonificación Sísmica de Ambato.

Mediante el estudio realizado se encontró que mayor parte de la ciudad presenta periodos de suelo inferiores a 0.27 segundos, lo cual indica que ante un evento sísmico la propagación de las ondas presentará muy poca amplificación del suelo.

Figura 17

Curvas de igual período de vibración del suelo de Ambato

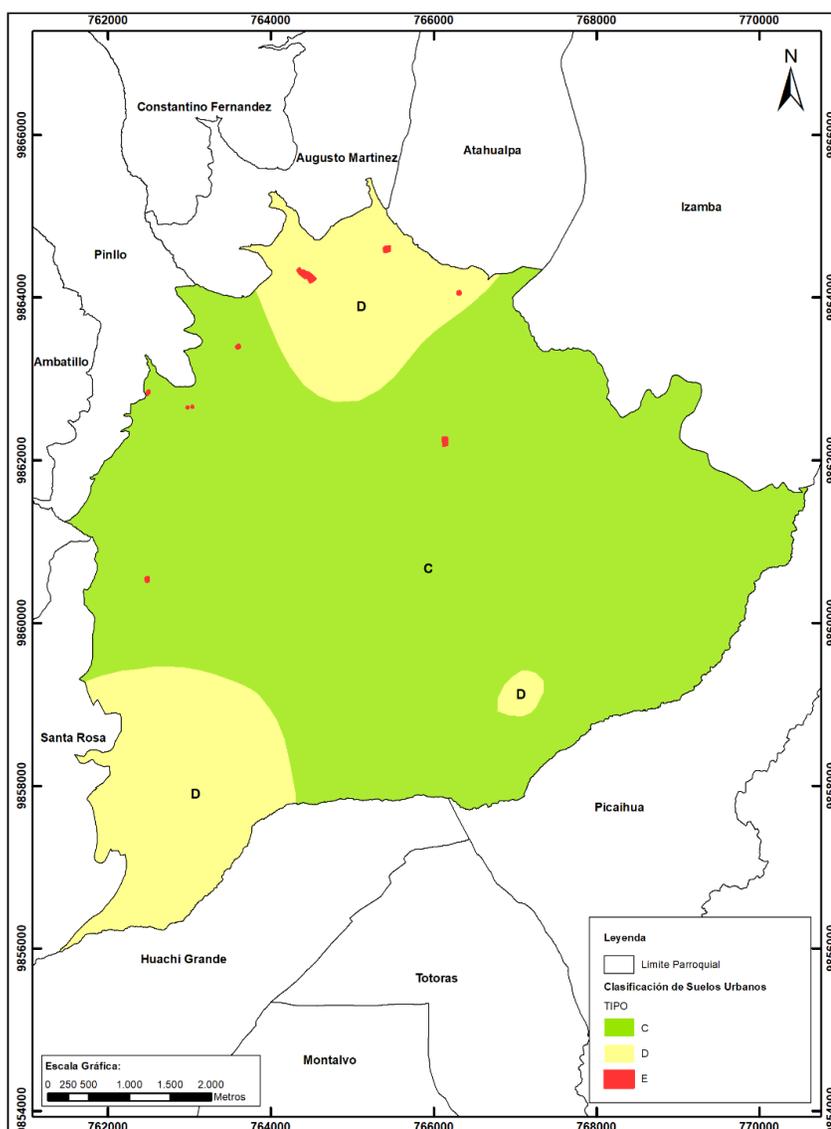


Nota. Tomado de Aguiar, R., & Rivas, A. (2018). Microzonificación Sísmica de Ambato. Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Para el punto P07 que corresponde a la parroquia de estudio, en el ensayo SPT, el valor de N es menor a 50 y la velocidad de onda de corte es ligeramente inferior a 360 m/s, por lo tanto, se tiene un perfil de suelo tipo D.

Figura 18

Clasificación de los suelos de la ciudad de Ambato desde el punto de vista sísmico



Nota. La figura muestra la clasificación de los suelos de la ciudad de Ambato, en donde a la parroquia Huachi Chico le corresponde un suelo tipo D. Tomado de *Aguir, R., & Rivas, A. (2018). Microzonificación Sísmica de Ambato.*

Amenaza Sísmica de Ambato

Según el plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015, el cantón Ambato se localiza en una zona que presenta un nivel de riesgo sísmico alto. Si bien es cierto, con el pasar de los años, han existido muchos avances en la ciencia y tecnología, sin embargo no ha sido posible determinar con precisión el momento en el que se producirá un sismo, su magnitud y principalmente, los efectos que produciría en el lugar de ocurrencia; pero resulta posible idear alternativas que ayuden a mitigar los resultados del evento sísmico (GAD Municipalidad de Ambato, 2015).

La actividad sísmo-tectónica presente en esta zona, se debe a que está localizada en una región con nivel sísmico alto en la que se han presentado cinco eventos sísmicos que mostraron tener intensidades mayores o iguales a VIII en la escala de Mercalli, desde hace varios años atrás, entre las cuales se puede mencionar los eventos ocurridos el 22 de noviembre de 1687, 20 de junio de 1698, 10 de mayo de 1786, 4 de febrero de 1797 y el 5 de agosto de 1949. La evidencia histórica muestra que el evento sísmico ocurrido el 20 de junio de 1998 causó deslizamientos de gran magnitud acompañados de flujos de lodo que se transportaron por la cuenca del río Ambato y provocaron la muerte de miles de personas (GAD Municipalidad de Ambato, 2019). Varios eventos sísmicos importantes se describen en la tabla siguiente:

Tabla 23

Eventos sísmicos ocurridos en Ambato y lugares cercanos

Fecha	Tipo de fenómeno	Lugar afectado	Consecuencia sobre las comunidades y sus asentamientos
1687	Terremoto	Ambato	Dstrucción de Ambato, Latacunga y pueblos aledaños, aproximadamente 7200 muertos
1698	Terremoto	Riobamba, Ambato y Latacunga	Gran destrucción de casas e iglesias aproximadamente 7000 muertos
1703	Terremoto	Latacunga	Estragos notables pero menores a los del terremoto del año 1698
1736	Terremoto	Provincia de Cotopaxi	Graves daños a casa e iglesias, muchas haciendas afectadas

Fecha	Tipo de fenómeno	Lugar afectado	Consecuencia sobre las comunidades y sus asentamientos
1757	Terremoto	Latacunga	Destrucciones materiales considerables, aproximadamente 400 personas
1840	Terremoto	Patate y Pelileo	Varios estragos materiales Ciudad integralmente destruida, 6000 muertos y miles de heridos, 100000 personas sin hogar, consecuencias socioeconómicas grandes y de larga duración
1949	Terremoto	Ambato y Pelileo	4.8 Richter
2002	Temblor	Ambato	Sentido en Ambato, Baños, Patate, Mocha, Salcedo
2012	Temblor	Pelileo	4.4 Richter
2012	Temblor	Píllaro	3.5 Richter
2014	Temblor	Pelileo	

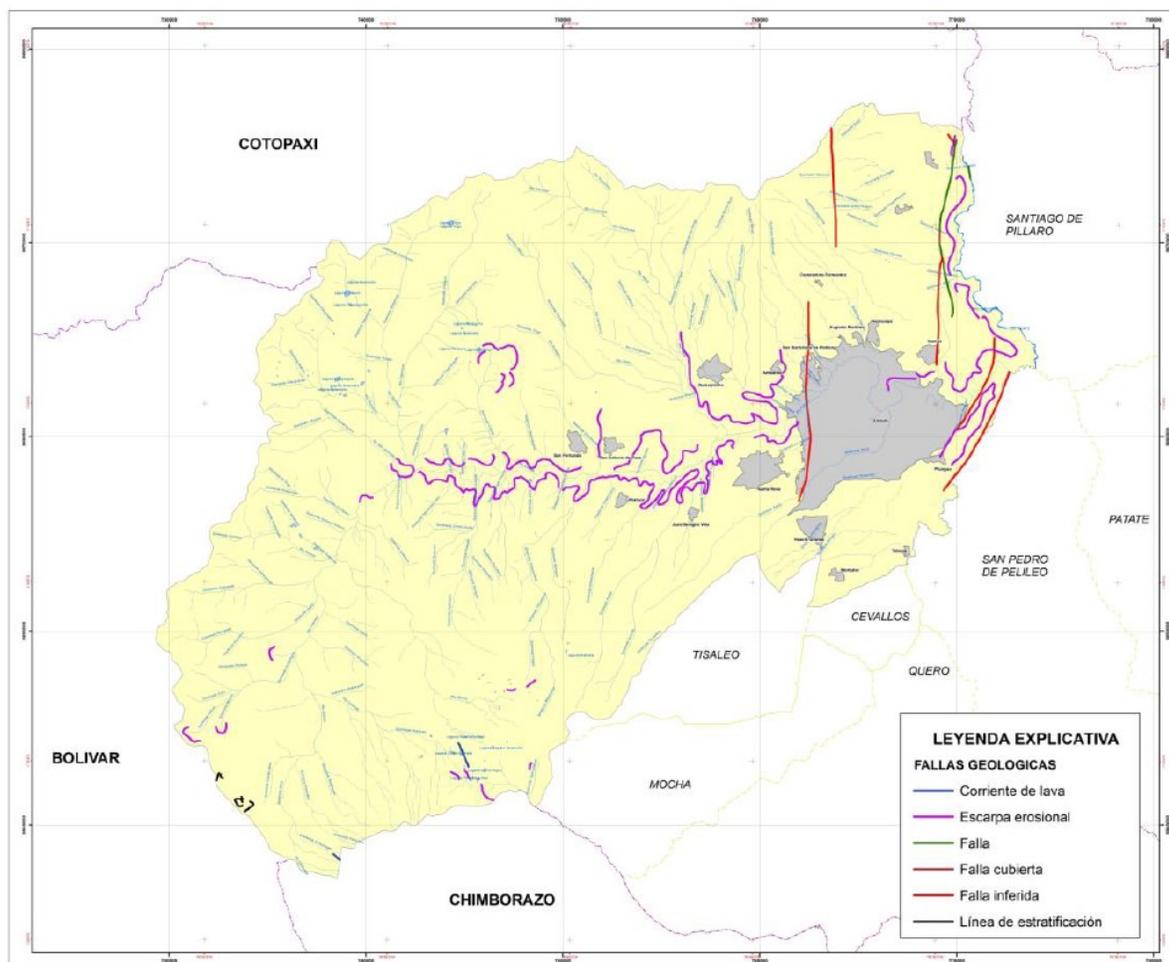
Nota. Recuperado de GAD Municipalidad de Ambato. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Ambato 2050.

Es importante indicar que, la sismicidad que causa este tipo de eventos en la localidad se debe en gran medida al sistema de fallas transcurrentes maestras que están encauzadas en el sentido NNE- SSW, NNW-SSE y N-S en la región sur del callejón interandino. Se conoce que el cantón Ambato pese a estar asentada sobre un suelo calificado como “bastante bueno” de acuerdo al punto de vista sísmico, muchas fallas geológicas pasan por la ciudad o están muy cerca de ella, lo cual obedece al movimiento incesante de las placas tectónicas (GAD Municipalidad de Ambato, 2019).

Tres fallas geológicas importantes se detallan en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, según expertos de la Escuela Politécnica Nacional; la primera, influiría en la destrucción de estructuras localizadas en la calle Cevallos, viaducto La Yahaira, calle 13 de abril, ciudadela La Vicentina y San Antonio; la segunda, se encuentra en la parte de Andiglata al pie de las laderas de San Bartolomé y zona del Colegio San Alfonso y la tercera falla que se localiza en la parte sur Oriental del cantón Ambato cerca de las poblaciones de Terremoto y Totoras (GAD Municipalidad de Ambato, 2015).

Figura 19

Mapa de fallas geológicas del cantón Ambato

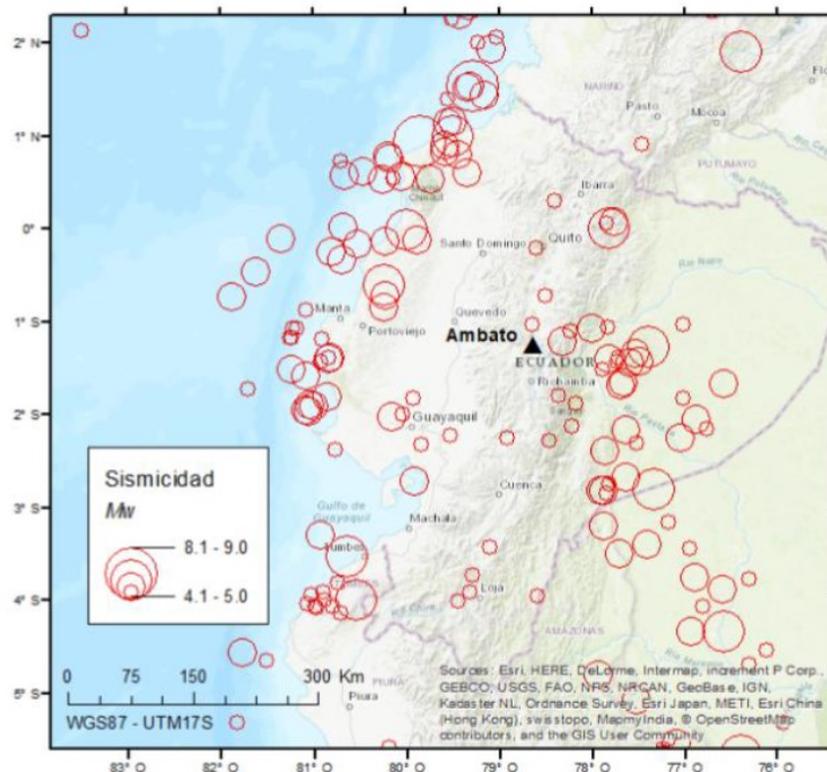


Nota. La figura muestra las fallas geológicas que cruzan por el cantón Ambato. Tomado de GAD *Municipalidad de Ambato. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Ambato.*

En la figura siguiente, se presenta la ciudad de Ambato en donde puede observar que se han producido importantes sismos muy cercanos a la ciudad, resultando alarmante que el último sismo registrado y con intensidad sísmica alta fue el ocurrido en el año 1949, lo cual indica que hasta el año 2018 han transcurrido 70 años por lo tanto las fallas locales del cantón están acumulando energía (Aguiar & Rivas, 2018).

Figura 20

Mapa de localización de la ciudad de Ambato y sismicidad registrada en el catálogo: ISG-GEM



Nota. La figura muestra a la ciudad de Ambato y los sismos registrados cerca de ella. Tomado de *Aguilar, R., & Rivas, A. (2018). Microzonificación Sísmica de Ambato. Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.*

Finalmente es importante resaltar que, de conformidad a investigaciones realizadas en la ciudad, el Ecuador fue dividido en cuatro zonas, en lo referente a la amenaza sísmica según su sismo génesis:

La primera, es la zona de subducción que tiene aproximadamente 350 km de extensión longitudinal y pasa entre Esmeraldas y Santa Elena. Los sismos se generan debido a la subducción de la Dorsal de Galápagos por debajo del margen continental. Aquí se ha verificado que la recurrencia es de 20 años con una intensidad de 7.8 a 8.8 en Mw.

La segunda, es la Zona de la Mega falla de Guayaquil que corresponde a una estructura de falla transcurrente que va en sentido oblicuo en el continente con un rumbo norte noreste y

pasa por Guayaquil, Babahoyo, Guaranda, Ambato (Pelileo, Patate, Riobamba). Se define una magnitud de 6.2 a 6.5, que fue la magnitud del sismo de Guayaquil de 1787. En esta mega estructura se originó uno de los más grandes sismos en la historia del país en el año 1949 que ocasionó la muerte de 6000 personas y la destrucción de Pelileo, Ambato y Riobamba. Se estima una recurrencia de 63 años.

La tercera es la Zona de fallas de acortamiento del Valle Interandino que se extiende desde Ambato hacia el norte hasta llegar a Quito e Ibarra, en donde cierran el valle que se encuentra entre las cordilleras Real y Occidental, varias fallas inversas activas.

La última zona es la del Enjambre Sísmico de Cutucú, que corresponde a la serranía oriental de los Andes ecuatorianos, donde se encuentra el frente de deformación de cordillera al sur de la Mega Falla de Guayaquil.

Selección de la muestra

El catastro municipal indica que, en la parroquia Huachi Chico existen 8374 edificaciones clasificadas en 12 tipologías constructivas, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 24

Tipologías de edificaciones parroquia Huachi Chico

	Tipología	N° edificaciones
1	H. Armado 1 piso	4015
2	H. Armado 2 a 4 pisos	1975
3	H. Armado > 4 pisos	9
4	Mixta 1 piso	1312
5	Mixta 2 pisos	553
6	Metálica 1 piso	226
7	Metálica 2 pisos	40
8	Bahareque 1 piso	71
9	Bahareque 2 pisos	73
10	Galpón industrial	33
11	Piedra Ornamental	51
12	Marquesina de gasolinera	16

Nota. La tabla muestra la cantidad de edificaciones por cada tipología identificada según el catastro municipal.

Para el presente proyecto se seleccionó una muestra de 947 viviendas, obtenida de conformidad a la fórmula para el cálculo de la muestra en poblaciones finitas según (Aguilar-Barojas, 2005), como se indica en la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n= Tamaño de muestra buscado

N= Tamaño de la población o universo

Z= Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

e= Error de estimación máximo aceptado

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q= (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

El universo corresponde a un total de 8368 edificaciones considerando un parámetro Z correspondiente a 1.96 con un nivel de confianza de 95% y un error del 3%. Reemplazando los datos en la fórmula presentada se obtiene una muestra de 947 edificaciones.

Recolección de datos

Para el proyecto se integraron 7 estudiantes de pregrado de la carrera de ingeniería civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, quienes colaboraron en la realización de los levantamientos, procesamiento de datos y obtención de parte de los resultados. El número de viviendas obtenidas en la muestra fueron distribuidas en toda la parroquia, la misma que fue dividida en cinco zonas considerando las calles principales.

Zona 1: Limitada por la avenida Atahualpa, la calle Luis Ernesto Alvarado, avenida Víctor Hugo y avenida Antonio Clavijo.

Zona 2: Limitada por las calles Luis Ernesto Alvarado y avenida Víctor Hugo, avenida Miguel de Cervantes, avenida Atahualpa y avenida Antonio Clavijo, Pedro Porras y avenida Manuelita Sáenz.

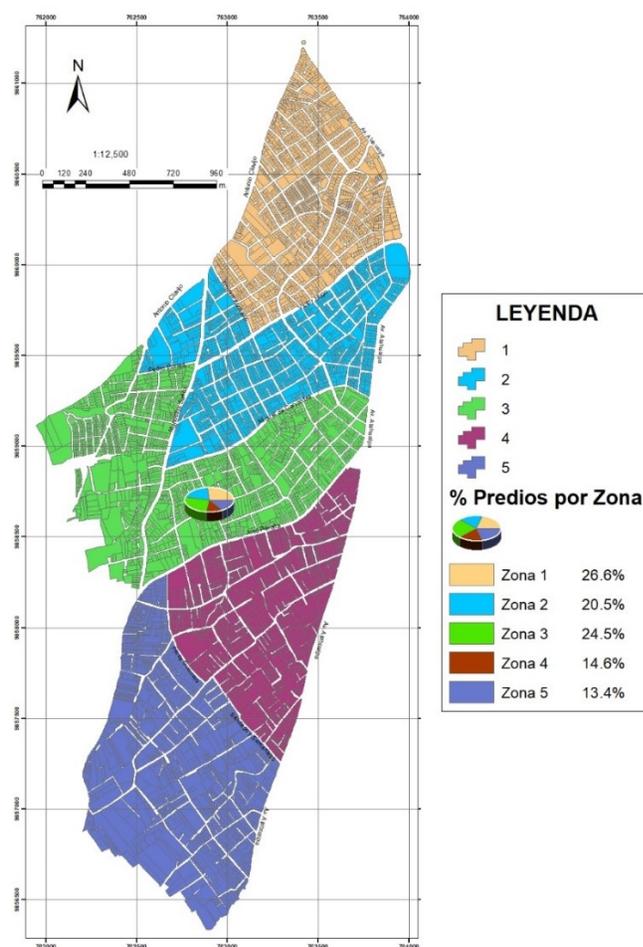
Zona 3: Limitada por avenida Antonio Clavijo, Pedro Porras y avenida Miguel de Cervantes, calle José Peralta, avenida Atahualpa y avenida Antonio Clavijo.

Zona 4: Limitada por las calles José Peralta, Miguel de Santiago y Samaniego, avenida Atahualpa y Alfredo Pérez Guerrero

Zona 5: Limitada por las calles Miguel de Santiago y Samaniego, Alfredo Pérez Guerrero y avenida Atahualpa

Figura 21

División de la parroquia en zonas



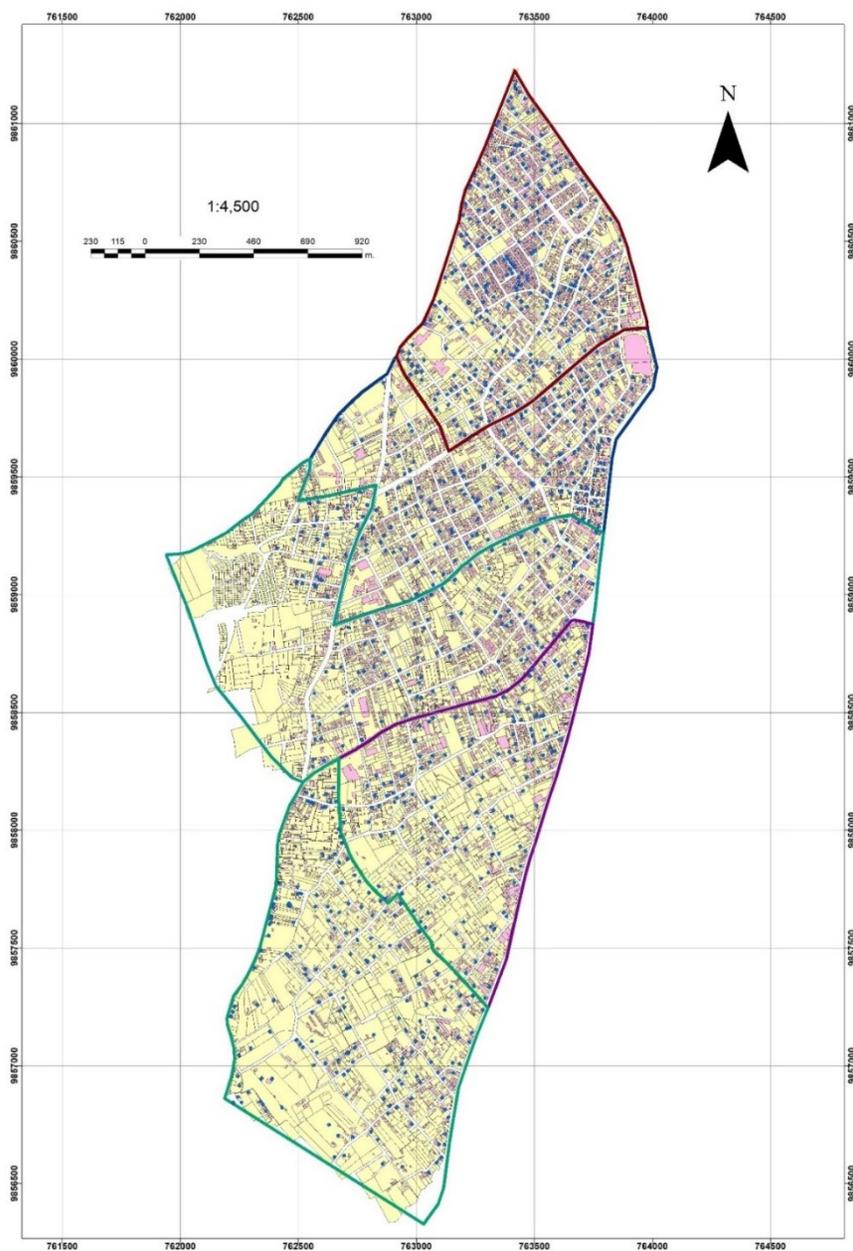
Nota. La figura muestra las zonas en las que fue dividida la parroquia.

La recopilación de información se la realizó mediante trabajo de campo y revisión bibliográfica.

El trabajo de campo consistió en realizar el levantamiento de la muestra de edificaciones indicada, para lo cual cada zona fue dividida en subsectores de acuerdo a las letras del alfabeto asignándose dos estudiantes para cada subsector.

Figura 22

Edificaciones levantadas



Nota. La figura muestra las edificaciones en las que se realizó el levantamiento de información durante el trabajo de campo.

Figura 23*Levantamiento de información*

Nota. Las fotografías muestran a los estudiantes realizando el levantamiento de información en el campo

Figura 24*Difusión del proyecto por medios locales*

Nota. Las fotografías muestran la entrevista en Radio Centro.

El número de edificaciones levantadas por cada zona se muestra a continuación:

Tabla 25*Número de viviendas levantadas por zona*

Zona	# Viviendas levantadas
1	300
2	204
3	148
4	151
5	195

Nota. La tabla muestra el número de viviendas que se levantado en cada zona.

Para facilitar la obtención de información el proyecto fue difundido a través de Radio Centro, en donde mediante una entrevista se dieron a conocer los objetivos, la metodología

utilizada y las preguntas que se realizan a los propietarios de las viviendas; así como también el aporte que se realizará en beneficio de la ciudad.

Elaboración de las encuestas

Los levantamientos en campo se realizaron para las 5 zonas hasta completar el número de viviendas indicadas en la muestra. En cada visita técnica, se utilizaron los formularios de FEMA, FUNVISIS, NEC-15 para recolectar los datos de cada edificación. Además, se utilizó la aplicación IDCT do Survey y la plataforma de Open Quake para obtener la taxonomía GEM de las estructuras levantadas.

Taxonomía GEM

IDCT do survey es una aplicación de libre acceso que permite recopilar las características de la estructura analizada. Por razones de la disponibilidad de la aplicación, para la obtención de la taxonomía GEM de cada edificación se utilizó tanto la aplicación IDCT do survey como la plataforma de OPENQUAKE.

Figura 25

Interfaz IDCT Direct Observation Survey



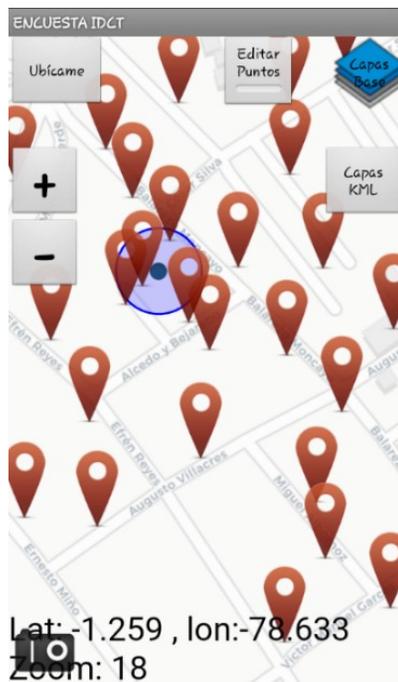
Nota. La figura muestra la interfaz de aplicación con las funciones de cada botón. Tomado de Rosser, J., Morley, J., & Vicini, A. (Enero de 2014). *User Guide: Android mobile tool for field data collection. Global Earthquake Model GEM.*

La aplicación recopila datos como el tipo de material utilizado en la construcción y su tecnología, el sistema de resistencia a carga lateral, irregularidad estructural; proporciona también un espacio para escribir comentarios, registrar la pendiente del terreno, la posición de la edificación dentro de la manzana, la forma en planta, el material de las paredes exteriores. En cuanto al techo, se puede indicar su forma, el material y el tipo de conexión; para el piso se registra el sistema de cimentación, el material y tipo de sistema de piso, y la conexión; así también se debe indicar la ocupación que, en este caso, el uso varía entre residencial y uso mixto. Finalmente, es posible ingresar datos en lo que se refiere a la fecha de construcción o reforzamiento de la estructura, el número de pisos sobre y bajo el nivel del suelo y la altura en centímetros de la planta baja. La interfaz de la aplicación se muestra en la Figura 25 (Interfaz IDCT Direct Observation Survey).

Con el uso de la aplicación se forma una pequeña base de datos de las edificaciones levantadas, parte del trabajo se visualiza en la figura siguiente:

Figura 26

Parte de edificaciones levantadas mediante la aplicación



Nota. En la figura se muestra parte de las edificaciones levantadas utilizando la aplicación IDCT do survey.

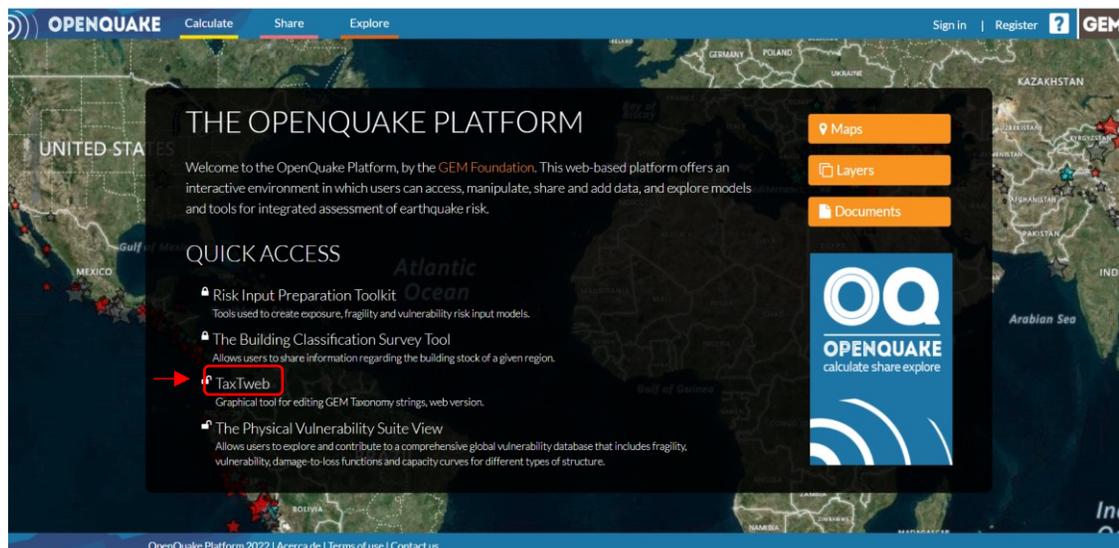
La aplicación utilizada, organiza los resultados en un archivo de extensión .csv, en el que mediante un tratamiento adecuado se puede obtener la taxonomía GEM de las edificaciones levantadas.

Del mismo modo, con el uso de la plataforma de Openquake es posible recolectar los datos de las edificaciones de una manera similar a la de la aplicación con la diferencia de que la plataforma no genera una base de datos automática, la taxonomía resultante deberá copiarse en lista de edificaciones que será elaborada por el investigador.

Para acceder a la plataforma se deberá ingresar a la página web de Openquake que se encuentra en la dirección: <https://platform.openquake.org/> se deberá dar click en la herramienta de acceso rápido Taxtweb.

Figura 27

Plataforma Openquake



Nota. La figura muestra la página web de Global Earthquake Model GEM, en donde se puede acceder a la herramienta en línea para determinar la taxonomía de una edificación.

Al escoger la opción indicada se podrá acceder a la plataforma de Openquake, que permite indicar las mismas características de la aplicación, esto es, sistema estructural en donde se proporciona la información del material del sistema resistente a carga lateral y el tipo

del sistema de carga lateral tanto para la dirección x como para la dirección y; así mismo, es posible indicar la información del edificio como el número de pisos, altura del primer nivel, pendiente del suelo, año de construcción o reforzamiento y tipo de ocupación. En la pestaña de características exteriores se señalará la posición del edificio dentro de un bloque, la forma en planta, irregularidad estructural tanto en planta como en elevación y el material de las paredes exteriores. Para el techo, se elegirá su forma, recubrimiento, material y tipo del sistema y la conexión, para el piso se escoge el material y tipo del sistema y la conexión; finalmente para la cimentación se debe elegir el sistema correspondiente.

Figura 28

Interfaz de Plataforma Openquake para selección de taxonomía

Nota. La figura muestra la pantalla de la herramienta web con los parámetros que se deben completar para determinar la taxonomía en la página de Global Earthquake Model GEM.

Una vez ingresados todos los parámetros conocidos de la edificación evaluada, la plataforma devuelve la taxonomía GEM en su forma larga y corta como se indica en la figura siguiente:

Figura 29

Taxonomía GEM en su forma larga y corta

Taxonomy string for this building typology:

Type of taxonomy: [Permalink](#) [Explanation](#)

Taxonomy string for this building typology:

Type of taxonomy: [Permalink](#) [Explanation](#)

Nota. La figura muestra los resultados que arroja la plataforma con la taxonomía en su forma larga y corta.

FEMA P-154

Para seleccionar correctamente el formulario a utilizar, es necesario determinar la sismicidad de la región que se va a evaluar. FEMA P-154 proporciona dos métodos para determinar la región de sismicidad: el primero, plantea encontrar el lugar en el que se encuentra la región inspeccionada en los mapas sísmicos proporcionados en uno de los anexos de esta normativa y de esta manera identificar la región sísmica correspondiente. Por otro lado, el segundo método plantea determinar la sismicidad del sitio utilizando valores de sitio específicos de peligro sísmico para movimientos del terreno MCE_R y suelos tipo B como los que se indican en USGS (U.S Geological Survey). FEMA proporciona cinco niveles de sismicidad, cada uno de ellos con sus parámetros y sus límites correspondientes que los definen, según se indica en la tabla siguiente:

Tabla 26

Determinación de la región sísmica a partir de la respuesta de aceleración espectral M_{CER}

Región Sísmica		Respuesta espectral de aceleración, S_s (periodo corto o 0.2 segundos)	Respuesta espectral de aceleración, S_1 (periodo largo o 1 segundo)
	Baja	$S_s < 0,25 \text{ g}$	$S_1 < 0,10 \text{ g}$
	Moderada	$0,25 \text{ g} \leq S_s < 0,50 \text{ g}$	$0,10 \text{ g} \leq S_1 < 0,20 \text{ g}$

Región Sísmica	Respuesta espectral de aceleración, S_s (periodo corto o 0.2 segundos)	Respuesta espectral de aceleración, S_1 (periodo largo o 1 segundo)
 Moderadamente alta	$0,50 \text{ g} \leq S_s < 1,00 \text{ g}$	$0,20 \text{ g} \leq S_1 < 0,40 \text{ g}$
 Alta	$1,00 \text{ g} \leq S_s < 1,50 \text{ g}$	$0,40 \text{ g} \leq S_1 < 0,60 \text{ g}$
 Muy Alta	$S_s \geq 1,50 \text{ g}$	$S_1 \geq 0,60 \text{ g}$

Nota. Recuperado de FEMA P-154. (Enero de 2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards

Donde:

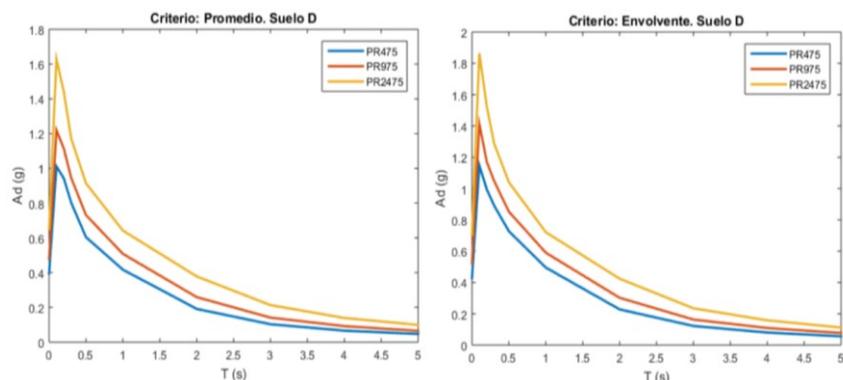
g = aceleración de gravedad en dirección horizontal

Es así, que deberán determinarse los valores correspondientes a S_s y S_1 para el sismo máximo considerado (MCE_R); en este sentido en el ASCE 7-16 se indican los valores de estos parámetros para Estados Unidos para un período de retorno de 2475 años (López , Marcillo, Pilco, & Villamizar, 2021)

Para este estudio, se utilizarán los espectros de peligro sísmico uniforme obtenidos en el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Ambato realizado por el doctor Roberto Aguiar en el año 2018. Entonces, a partir de las gráficas proporcionadas y considerando el periodo de retorno de 2475 años, que corresponde al valor del sismo máximo considerado.

Figura 30

Espectros de Peligro Sísmico Uniforme en suelo tipo "D" con valores promedio y con valores envolvente

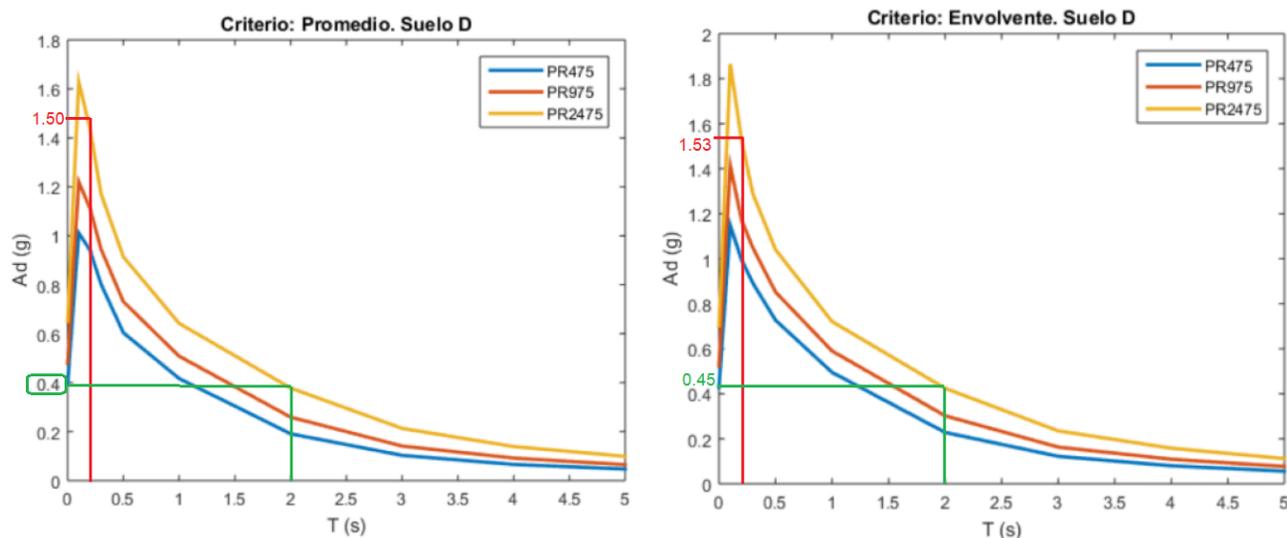


Nota. En la figura se muestran espectros de peligro sísmico uniforme para un suelo tipo D. Tomado de Aguiar, R., & Rivas, A. (2018). *Microzonificación Sísmica de Ambato*. Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

Con estos espectros se obtendrán gráficamente los valores de S_s y S_1 :

Figura 31

Identificación de S_s y S_1 en Espectros de Peligro Sísmico Uniforme (criterio promedio y envolvente)



Nota. En la figura se indican los valores correspondientes de S_s y S_1

Tabla 27

Determinación de los valores S_s y S_1

	Criterio: Promedio	Región Sísmica	Criterio: Envolvente	Región Sísmica
S_s	1.5	Muy Alta	1.53	Muy Alta
S_1	0.4	Alta	0.45	Alta

Nota. La tabla muestra los valores obtenidos de las gráficas de peligro sísmico uniforme

Según los valores obtenidos de la gráfica se observa que la respuesta espectral de aceleración para periodo corto tanto para el espectro de peligro sísmico obtenido bajo el criterio promedio como el obtenido bajo el criterio envolvente, ubican a la ciudad de Ambato en una región sísmica muy alta mientras que, para la respuesta de aceleración para periodo largo, bajo ambos criterios, ubican a la ciudad en una zona sísmica alta. Sin embargo, considerando los antecedentes del cantón expuestos en párrafos anteriores se adoptará como región sísmica muy alta y se utilizará el formulario correspondiente a ella.

FUNVISIS

La metodología propuesta por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas FUNVISIS propone el cálculo de índices de priorización para la gestión de riesgo sísmico, entre ellos se encuentra el índice de amenaza, el cual se determinará considerando la zonificación sísmica establecida en la NEC-SE-DS (Peligro Sísmico) y la ubicación de la edificación; según estos parámetros se obtendrán los valores de aceleración sísmica y de esta manera se determinará el factor de zona “z”.

Figura 32

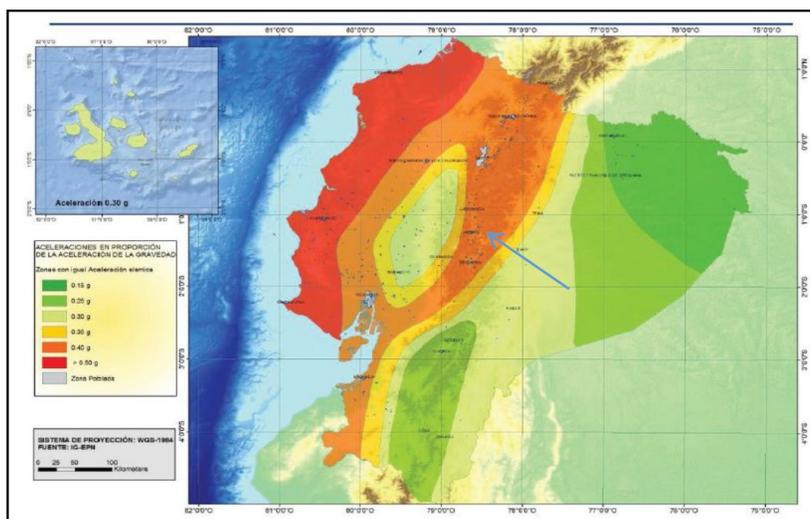
Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota. Recuperado de NEC-SE-DS. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.

Figura 33

Zonificación Sísmica del Ecuador



Nota. Tomado de NEC-SE-DS. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.

Por lo tanto, las edificaciones levantadas de conformidad a la normativa vigente en el Ecuador, se encuentran en la zona sísmica V con un factor de zona z de 0.40 g. Considerando que el formulario FUNVISIS 2014 es aplicable para las edificaciones en Venezuela, se ha realizado una adaptación entre los valores del Índice de Amenaza presentados en la Tabla 5 Valores del Índice de Amenaza (IA)), conforme a los valores de Zona Sísmica y Factor de zona obtenidos mediante el mapa de microzonificación sísmica del Ecuador. En virtud de que el valor del Factor de zona (z) es alto, se considera también un valor de peligro sísmico alto para determinar el Índice de Amenaza.

Con esta aclaración se procede a llenar los datos del formulario y luego al cálculo de los índices de vulnerabilidad para cada una de las edificaciones levantadas.

NEC- 2015

El formulario NEC es similar al que se presenta para la metodología FEMA P-154, por lo que para llenarlo se deberá identificar la tipología del sistema estructural de las viviendas visitadas y a partir de ella, se seleccionarán los modificadores correspondientes a: altura de la edificación, irregularidad ya sea vertical o en planta, código de la construcción y tipo de suelo.

Tratamiento de datos

Recopilación de información de formularios

Para procesar la información obtenida por medio de los formularios utilizados para realizar el levantamiento de la información se manejó el programa Excel en donde se trabajó en un nuevo formulario (elaborado por los estudiantes que se integraron al proyecto) que recopila los datos de los formularios NEC, FEMA y FUNVISIS. El formulario en mención se trata de una hoja macros en la que se llenan todos los parámetros que se presentan en cada formulario y se realizarán automáticamente los cálculos correspondientes para determinar el grado de vulnerabilidad y calcular los índices de priorización para el caso de la metodología presentada por FUNVISIS.

Una vez ingresados los parámetros de todos los formularios, serán recolectados en una base de datos que consta de un espacio para información general y código de la edificación. Es importante indicar que cada vivienda levantada fue identificada con un código que incluía:

- La zona a la que pertenecía: Ya sea la zona 1, 2, 3, 4 o 5, de conformidad a la división descrita al inicio del capítulo; por ejemplo, para una vivienda perteneciente a la zona 2 el código será Z2.
- Bloque: Para realizar la división de edificaciones de cada zona para los estudiantes participantes en el proyecto, se identificó a las cuadras asignadas como subzonas que se denominaron con las letras del alfabeto.
- Código: A las viviendas de cada subzona se enumeraron, con el fin de completar el código final que identificará a cada edificación levantada.

La información general incluye el nombre del propietario de la vivienda levantada, la dirección, un sitio de referencia que sirva para ubicar la edificación y las coordenadas.

Figura 34

Información general y código de la edificación

INFO GENERAL						CODIGO		
N	Nombre Encuesta	Dirección	Referencia	Coord. E	Coord. N	Zona	Bloque	Cod
309	Lucy Peñafiel	Alfredo Diezcanseco y Agra	Esquina	762969.29	9859721.31	Z2	D	3

Nota. La figura muestra la información general de las edificaciones levantadas del formulario en Excel realizado por los estudiantes colaboradores.

Del mismo modo, la base de datos muestra las características de la edificación destacando: su uso, el número de pisos, la altura de entrepiso en centímetros, el número de pisos bajo el nivel del suelo, el área de construcción en metros cuadrados, el año de construcción y el número de ocupantes de la edificación.

Figura 35*Características de la edificación*

CARACTERISTICAS DE LA EDIFICACION						
Uso	N° Pisos	H Piso (cr	N° Pisos s	Area (m2	Año Cons	N° Ocupante
Vivienda Unifamiliar	2	250	0	200	2015	4

Nota. La figura muestra las características de la edificación levantada del formulario en Excel realizado por los estudiantes colaboradores.

Además, se pueden visualizar las condiciones de construcción entre ellas: adiciones que se refiere a aumentos en la edificación, el tipo de suelo, indicar si existen problemas de licuefacción o deslizamientos, el número de lados adosados a otras edificaciones, irregularidades y esquema tanto en planta como en elevación y finalmente se deberá seleccionar los peligros de caída, por ejemplo: presencia de parapetos, apéndices, etc.

Figura 36*Condiciones de construcción*

CONDICIONES DE CONSTRUCCION									
Adiciones	Tipo de Suel	Licuefaccio	Deslizamiento	Lados Adosado	Irregularidad	Irregularidad	Esquema Elevacio	Esquema Plant	Peligro de Caíd
NO	D	NO	NO	0	Ninguno	Ninguno	Regular	Regular	Ninguno

Nota. La figura muestra las condiciones de construcción de la edificación levantada del formulario en Excel realizado por los estudiantes colaboradores.

Así también es importante incluir las características topográficas del terreno como: tipo de terreno, en donde se podrá elegir entre planicie, ladera, base o cima; la pendiente del terreno y en caso que la edificación evaluada se encuentre en una ladera se deberá indicar si está en la parte superior y la distancia de referencia, así como también la presencia de drenajes; para este caso en todas la edificaciones se consideró como afirmativa puesto que todas las estructuras estaban ubicadas en sitios que contaban con sistemas de agua potable y alcantarillado.

Figura 37

Características topográficas del terreno

CARACTERISTICAS TOPOGRAFICAS				
Tipo de Terreno	Pendiente	Ubic. superior L	Distancia de referencia	Drenajes
Planicie	Entre 20° a 45°	NO	Menor o igual a H (Altura de Ladera)	SI

Nota. La figura muestra las características topográficas de la edificación levantada del formulario en Excel realizado por los estudiantes colaboradores.

Por otra parte, el formulario recopila también la tipología estructural de acuerdo a los tres formularios utilizados, lo cual servirá para identificar el valor de puntaje básico para FEMA y NEC y para el cálculo de los índices de priorización en FUNVISIS.

Figura 38

Tipología de la estructura

TIPOLOGIA DE LA ESTRUCTURA		
T.E.FUNVISI	T.E.FEM	T.E.NEC
2. Pórticos de	(C3)Constru	C3

Nota. La figura muestra la tipología constructiva de la edificación levantada de acuerdo a las tres metodologías utilizadas del formulario en Excel realizado por los estudiantes colaboradores.

Finalmente, el formulario indica el valor de puntaje básico para las metodologías FEMA y NEC con los modificadores y el puntaje final, así como el cálculo de los índices de priorización para FUNVISIS.

Figura 39

Cálculos FEMA, NEC, FUNVISIS

CALCULO FEMA					
V. Inicial	Irr. Vertical	Irr. Plant	Cod. Constr	Suelo	P. final
1	0	0	0	0	1

CALCULO NEC						
V. Inicial.NE	Altura.NE	Irr. Vertical.NE	Irr. Planta.NE	Cod. Const.NE	Suelo.NE	P. final.N
1.6	0	0	0	1.4	-0.4	2.6

CALCULO FUNVISIS										
I.A	Grupo	I.Imp	I.v.1	I.v.2	I.v.3	I.v.4	I.v.5	I.v.6	I.V	I.P
1	A3	0.8	15	25	0	0	0	0	12.5	10

Nota. La figura muestra los cálculos para la obtención del puntaje final según las tres metodologías utilizadas del formulario en Excel realizado por los estudiantes colaboradores.

Además, se incluyeron dos columnas adicionales para la taxonomía GEM en forma larga y otra corta que servirá para recopilar los parámetros más relevantes de la taxonomía.

Figura 40

Taxonomía GEM

Taxonomía GEM	Taxonomía GEM (corta)
CR+CIP/LFM/HEX:2+HFEX:2.5/YEX: 2007/RES/PLFR	CR+CIP/LFM+DUC+RMN:2

Nota. La figura muestra las columnas adicionales para mostrar la taxonomía GEM obtenida ya sea por la aplicación o la página web de GEM.

Para obtener la taxonomía GEM se trabajó por una parte con los resultados arrojados por la aplicación IDCT DO SURVEY en un archivo de extensión .csv y por otro lado se copió en las celdas correspondientes la taxonomía obtenida en la plataforma OPENQUAKE tanto en su forma larga como en su forma corta.

El archivo .csv se muestra de la siguiente manera:

Figura 41

Resultados aplicación IDCT DO SURVEY

OBJ_UID	PROJ_UID	X	Y	SOURCE	COMMENTS
6fb98db1-9da5-4e80-839c-e7d66fdd71c2	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6358	-1.26746	FIELD	casa 1 piso hormigon armado
46053882-cc41-4fc9-87fc-1c150ac19108	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6372	-1.27049	FIELD	edificio uso mixto abajo superm
75b68a7b-48de-4ca0-9233-7f30d30ec5a7	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6376	-1.27086	FIELD	estructura dos pisos
0d6b410f-8782-407b-9085-57cbc900a8ba	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6381	-1.27123	FIELD	estructura tres pisos
be571e25-5e4d-4263-96c7-62e0f1c66aa3	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6373	-1.27141	FIELD	estructura que oaso por un ince
0d523680-c240-4431-9e36-eaff298c9fb1	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6369	-1.27118	FIELD	estructuras de 3 pisos
2c0300e3-8856-4f4c-a231-ac075eba7394	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6368	-1.27013	FIELD	uso mixto oficina adelante
37c48377-0878-4e77-9a6a-52785a96db5c	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6376	-1.27206	FIELD	casa comprada en obra gris
53b63567-b416-459d-9f25-be476ad1b2e8	14fc095e-f6c8-43f1-8373-7542c51001d0	-78.6379	-1.2723	FIELD	estructura 3 pisos

STR_IRREG	FLOOR_CONN	FLOOR_MAT	FLOOR_TYPE	FOUNDN_SYS	STORY_AG_Q	STORY_AG_1	STORY_AG_2	STORY_BG_Q	STORY_BG_1
IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	1		HEX	0
IRRE	FWC99	FC	FC2	FOS99	HEX	3		HEX	0
IRRE	FWC99	FC	FC2	FOS99	HEX	2		HEX	0
IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	3		HEX	0
IRRE	FWC99	FN		FOS99	HEX	1		HEX	0
IRRE	FWC99	FC	FC2	FOS99	HEX	3		HEX	0
IRRE	FWC99	FN		FOS99	HEX	2		H99	0
IRRE	FWC99	FC	FC2	FOS99	HEX	2		HEX	1
IRRE	FWC99	FC	FC2	FOS99	HEX	3		HEX	0

HT_GR_GF_Q	HT_GR_GF_1	HT_GR_GF_2	SLOPE	YR_BUILT_Q	YR_BUILT_1	YR_BUILT_2	YR_RETRO	OCCUPCY	OCCUPCY_DT	DATE_MADE
H99				Y99				RES	RES1	9/10/2021 11:31
HEX	240			YAPP		1995		MIX	MIX1	5/11/2021 14:44
HEX	240			YAPP		1999		MIX	MIX1	5/11/2021 14:59
HEX	240			YAPP		2000		RES	RES1	5/11/2021 15:26
HEX	230			YAPP		1980		RES	RES1	5/11/2021 15:44
HEX	240			YAPP		2000		MIX	MIX1	5/11/2021 16:04
HEX	240			Y99				MIX	MIX1	5/11/2021 16:32
HEX	240			YAPP		2014		RES	RES1	5/11/2021 17:20
HEX	240			YAPP		2012		RES	RES2	5/11/2021 17:37

MAT_TYPE_L	MAT_TYPE_T	LLRS_L	LLRS_T	LLRS_DCT_L	LLRS_DCT_T	STR_HZIR_P	STR_HZIR_S	STR_VEIR_P	STR_VEIR_S
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				
CR	CR	LN	LN	DNO	DNO				
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				
CR	CR	LFM	LFM	D99	D99				

PLAN_SHAPE	POSITION	NONSTRCEXW	ROOF_CONN	ROOFSYSMAT	ROOFCOVMAT	ROOF_SHAPE	ROOFSYSTYP	MAT_TECH_L	MAT_TECH_T
PLFR	BP1	EWMA	RWC99	RC	RMN	RSH1	RC2	CIP	CIP
PLFR	BPD	EWMA	RWC99	RC	RMN	RSH2	RC2	CIP	CIP
PLFSQ	BPD	EWC	RWC99	RC	RMT1	RSH1	RC2	CIP	CIP
PLFR	BP1	EWMA	RWC99	RC	RMN	RSH1	RC2	CIP	CIP
PLFR	BPD	EWMA	RWC99	RWO	RMT2	RSH2	RWO99	CIP	CIP
PLFU	BP1	EWMA	RWC99	RC	RMN	RSH1	RC2	CIP	CIP
PLFR	BP1	EWMA	RWC99	RC	RMN	RSH1	RC2	CIP	CIP
PLFR	BP1	EWMA	RWC99	RC	RMT1	RSH3	RC2	CIP	CIP
PLFR	BP1	EWMA	RWC99	RC	RMN	RSH1	RC2	CIP	CIP

Nota. La figura muestra parte del archivo .csv que arroja la aplicación IDCT do survey

La tabla resultante fue separada por partes por cuestiones de visualización y para que sea posible entender los parámetros que arroja la aplicación. La tabla presentada constituye parte de las edificaciones levantadas; nótese que cada fila corresponde a una estructura y en las columnas se tiene cada una de las características que reconoce la aplicación, que en este caso son:

- OBJ_UID: Identificación del objeto
- PROJ_UID: Identificación del proyecto
- X y Y: Coordenadas de latitud y longitud respectivamente
- SOURCE: Recurso
- COMMENTS: Comentarios
- PLAN_SHAPE: Forma en planta
- POSITION: Posición del edificio con respecto a los edificios adyacentes
- NONSTRCEXW: Material de paredes exteriores
- ROOF_CONN: Conexión de piso
- ROOFSYSMAT: Material de piso
- ROOFCOVMAT: Material de cobertura de techo

- ROOF_SHAPE: Forma de techo
- ROOFSYSTYP: Tipo de sistema de techo
- MAT_TECH_L: Tecnología del material del sistema resistente a carga lateral (SRCL) en sentido longitudinal
- MAT_TECH_T: Tecnología del material del sistema resistente a carga lateral (SRCL) en sentido transversal
- MAT_TYPE_L: Material del sistema resistente a cargas laterales en sentido longitudinal
- MAT_TYPE_T: Material del sistema resistente a cargas laterales en sentido transversal
- LLRS_L: Sistema resistente a carga lateral en sentido longitudinal
- LLRS_T: Sistema resistente a carga lateral en sentido transversal
- LLRS_DCT_L: Ductilidad del sistema resistente a carga lateral en sentido longitudinal.
- STR_HZIR_P y STR_HZIR_S: Irregularidades estructurales en planta
- STR_VEIR_P y STR_VEIR_S: Irregularidades estructurales en elevación
- STR_IRREG: Regular o irregular
- FLOOR_CONN: Conexión de piso
- FLOOR_MAT: Material de piso
- FLOOR_TYPE: Tipo de piso
- FOUNDN_SYS: Sistema de cimentación
- STORY_AG_Q: Exactitud del número de pisos
- STORY_AG_1: Número de pisos rango 1
- STORY_AG_2: Número de pisos rango 2, este parámetro se llena solamente en caso de que se haya escogido la opción para ingresar un rango del número de pisos.

- STORY_BG_Q: Exactitud del número de pisos bajo el nivel del suelo.
- STORY_BG_1: Número de pisos en el subsuelo rango 1
- STORY_BG_2: Número de pisos en el subsuelo rango 2, este parámetro se llena solamente en caso de que se haya escogido la opción para ingresar un rango del número de pisos bajo el nivel del suelo.
- HT_GR_GF_Q: Exactitud de la altura de entrepiso
- HT_GR_GF_1: Altura de entrepiso 1
- HT_GR_GF_2: Altura de entrepiso 2, este parámetro se llena solamente en caso de que se haya escogido la opción para ingresar un rango de valores para la altura de entrepiso.
- SLOPE: Pendiente
- YR_BUILT_Q: Exactitud del año de construcción
- YR_BUILT_1: Año de construcción 1
- YR_BUILT_2: Año de construcción 2
- YR_RETRO: Año de remodelación o reforzamiento
- OCCUPCY: Ocupación
- OCCUPCY_DT: Detalle del tipo de ocupación
- DATE_MADE: Fecha de realización de la encuesta

En total se realizó el levantamiento de 998 edificaciones.

Recopilación de información del total de edificaciones

Para validar la información recolectada en campo se realizó un levantamiento del total de predios existentes en la parroquia mediante inspección visual utilizando la herramienta Google Street View considerando también la información existente en el catastro. Con ello, se elaboró una nueva base de datos con los 7484 predios de la parroquia Huachi Chico que recopiló los siguientes datos:

- Zona: A la que pertenece cada predio según se definió al inicio de esta sección.
- ID_CATASTR: Clave catastral del predio
- ID_POLITIC
- FID_PREDIO: Número que identifica al predio
- FID_CONST: Número que identifica a la construcción
- PISOS: Número de pisos de la edificación
- N°_CONST_PREDIO: Número de edificaciones existentes en el predio
- M_TECHEO: Material de techo
- M_PAREDES: Material de paredes
- LLRS: Sistema de resistencia a carga lateral
- DUCTILIDAD: Una edificación se determinó como dúctil cuando el sistema de resistencia a carga lateral era un pórtico ya sea relleno de mampostería o solamente un pórtico de hormigón acompañado de una losa de hormigón (material de techo: hormigón); cualquier otro material de techo se calificó a la vivienda como no dúctil.
- OCUPACIÓN: RES1 corresponderá a vivienda unifamiliar, RES2 a vivienda multifamiliar, MIX1 a edificación de uso residencial y comercial.
- AREA_CONST: Para el área de construcción se registrará el valor establecido en el catastro.
- AREA_TERRE: Para el área del predio se trabajará de la misma manera que el área de construcción anotando el área registrada en catastro de la parroquia.
- DES_TIPOLO: El catastro de la parroquia presenta varias tipologías estructurales; en este espacio se registrará la que corresponda a la vivienda levantada.
- TIPO_SUELO: Tipo de suelo
- LICUEFACCIÓN

- DESLIZAMIENTOS
- LADOS_ADOSADOS: BPD se refiere a una edificación aislada, BP1 a una edificación adosada en un lado, BP2 a una edificación adosada en dos lados, BP3 a una edificación adosada en tres lados y BP99 a una edificación con adosamiento desconocido.
- IRREGULARIDAD_1 e IRREGULARIDAD_2: En este espacio se anotarán dos opciones de irregularidades que se indican en el formulario FUNVISIS.
- ESQUEMA_PLANTA: Forma en planta de la edificación.
- ESQUEMA_ELEVACIÓN: Forma en elevación de la edificación.
- PELIGRO_CAIDA: Se indicarán los peligros de caída de exteriores ya sea parapetos, apéndices, etc.
- TIPO_TERRENO: Se refiere a las características topográficas del terreno, es decir si la edificación se encuentra ubicada en planicie o ladera.
- UBIC_SUPERIOR_LADERA: En caso de que la estructura se encuentre en ladera se indicará si está ubicada en su parte superior.
- PENDIENTE
- DISTANCIA_REFERENCIA: Se refiere a la distancia de referencia en caso de que la edificación se encuentre en ladera.
- DET_ESTRUCTURAL: Se deberá indicar el grado de deterioro estructural de la edificación.
- DET_MAMPOSTERIA: Se deberá indicar el grado de deterioro de la mampostería.
- ESTADO_GENERAL: Se refiere al estado general en cuanto al mantenimiento de la vivienda.
- DRENAJES

Es importante considerar se realizó el levantamiento solamente de una edificación por predio.

Construcción del modelo de exposición

El modelo de exposición no es más que un catálogo de las tipologías estructurales existentes en una zona, para lo cual se utilizará la base de datos de las 998 viviendas levantadas, a partir de ahí se identificarán las taxonomías GEM de la zona de estudio.

Inicialmente se estableció un total de 56 tipologías que se redujeron a 25 luego de realizar un proceso de filtrado, llegando a un total de 34 considerando 11 tipologías adicionales luego de comparar las tipologías que se obtuvieron en los levantamientos de campo de la muestra seleccionada con los levantamientos de los predios de toda la parroquia utilizando Google Street View.

Tabla 28

Tipologías GEM obtenidas

N°	Tipología
1	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2
2	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5
3	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2
4	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4
5	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT2:1-2
6	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3
7	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT1:1-2
8	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT1:3-4
9	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:1-2
10	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:3-4
11	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:1-2
12	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:3-4
13	CR+CIP/LN+DNO+RMN:1-3
14	CR+CIP/LN+DNO+RMT2:1-2
15	CR+CIP/LN+DNO+RMT6:2-4
16	EU/LN+DNO+RMT1:1-3
17	EU/LN+DNO+RMT6:1-2
18	MR+CBH/LN+DNO+RMT6:1
19	MUR+CBH/LN+DNO+RMT6:1-3
20	MUR+CBH/LN+DNO+RMT1:1-2
21	MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT1:1-2
22	MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT6:2
23	S/LN+DNO+RMT6:1

N°	Tipología
24	W+W99/LN+DNO+RMT1:1-2
25	W+W99/LN+DNO+RMT6:1-2
ADICIONALES	
26	EU/LN+DNO+RMT7:2
27	MATO/LN+DNO+RMT6:1-2
28	MATO/LN+DUC+RMN:1-4
29	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4
30	ME/LN+DNO+RMT6:1-2
31	S/LFINF+DNO+RMT7:1-2
32	CR+CIP/LFM+DUC+RMN:1-3
33	CR+CIP/LFM+DNO+RMT6:1-2
34	W+W99/LN+DNO+RMT7:2
35	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:6-10
36	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:4-6

Nota. La tabla muestra las taxonomías GEM de toda la parroquia

Generación de esquema de mapeo

El esquema de mapeo o Mapping Scheme se trata de identificar las tipologías estructurales en una base de datos con georreferenciación, de este modo a cada edificación se asigna una tipología estructural según la taxonomía GEM. Con esta base de datos del total de edificaciones existentes en la parroquia se procedió a asignar una taxonomía GEM considerando los siguientes parámetros:

- Material del sistema resistente a carga lateral
- Tecnología del sistema resistente a carga lateral
- Sistema resistente a carga lateral
- Ductilidad
- Material de cubierta de techo
- Número de pisos

Tomando como base las tipologías indicadas en la tabla 28 se realizó un programa utilizando el software MATLAB que al leer la base de datos general asigne una tipología a cada edificación levantada. A continuación, se describe cada una de las tipologías asignadas:

Tipología 1: CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de techo de concreto sin recubrimiento adicional (RMN) de 1 a 2 pisos.

Tipología 2: CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de techo de concreto sin recubrimiento adicional (RMN) de 3 a 5 pisos.

Tipología 3: CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de techo de teja de arcilla u hormigón (RMT1) de 1 a 2 pisos.

Tipología 4: CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de techo de teja de arcilla u hormigón (RMT1) de 3 a 4 pisos.

Tipología 5: CR+CIP/LFINF+DNO+RMT2:1-2

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de techo de fibrocemento o teja metálica (RMT2) de 1 a 2 pisos.

Tipología 6: CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de techo de láminas metálicas o asbesto (RMT6) de 1 a 3 pisos.

Tipología 7: CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de teja de arcilla u hormigón (RMT1) de 1 a 2 pisos.

Tipología 8: CR+CIP/LFINF+DUC+RMT1:3-4

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de teja de arcilla u hormigón (RMT1) de 3 a 4 pisos.

Tipología 9: CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:1-2

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema

resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de fibrocemento o teja metálica (RMT2) de 1 a 2 pisos.

Tipología 10: CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:3-4

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de fibrocemento o teja metálica (RMT2) de 3 a 4 pisos.

Tipología 11: CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:1-2

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de láminas metálicas o de asbesto (RMT6) de 1 a 2 pisos.

Tipología 12: CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:3-4

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de láminas metálicas o de asbesto (RMT6) de 3 a 4 pisos.

Tipología 13: CR+CIP/LN+DNO+RMN:1-3

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP), sin sistema resistente a carga lateral (LN), paredes de mampostería de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de hormigón sin cubierta adicional (RMN) de 1 a 3 pisos.

Tipología 14: CR+CIP/LN+DNO+RMT2:1-2

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP), sin sistema resistente a carga lateral (LN), paredes de mampostería de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de fibrocemento o teja metálica (RMT2) de 1 a 2 pisos.

Tipología 15: CR+CIP/LN+DNO+RMT6:2-4

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP), sin sistema resistente a carga lateral (LN), paredes de mampostería de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de láminas metálicas o de asbesto (RMT6) de 2 a 4 pisos.

Tipología 16: EU/LN+DNO+RMT1:1-3

Incluye las edificaciones con paredes de tierra (EU) sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de teja de arcilla o de hormigón (RMT1) de 1 a 3 pisos.

Tipología 17: EU/LN+DNO+RMT6:1-2

Incluye las edificaciones con paredes de tierra (EU) sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de láminas metálicas o de asbesto (RMT6) de 1 a 2 pisos.

Tipología 18: MR+CBH/LN+DNO+RMT6:1

Incluye las edificaciones con muros de albañilería reforzados (MR), paredes de mampostería de bloque de hormigón hueco (CBH), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de láminas metálicas o de asbesto (RMT6) de 1 piso.

Tipología 19: MUR+CBH/LN+DNO+RMT6:1-3

Incluye las edificaciones con mampostería no reforzada (MUR), paredes de mampostería de bloque de hormigón hueco (CBH), sin sistema resistente a carga lateral (LN),

no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de hojas metálicas o de asbesto (RMT6) de 1 a 3 pisos.

Tipología 20: MUR+CBH/LN+DNO+RMT1:1-2

Incluye las edificaciones con mampostería no reforzada (MUR), paredes de mampostería de bloque de hormigón hueco (CBH), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de teja de arcilla o de hormigón (RMT1) de 1 a 2 pisos.

Tipología 21: MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT1:1-2

Incluye las edificaciones con mampostería no reforzada (MUR), paredes de mampostería de ladrillo (CLBRS), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de teja de arcilla o de hormigón (RMT1) de 1 a 2 pisos.

Tipología 22: MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT6:2

Incluye las edificaciones con mampostería no reforzada (MUR), paredes de mampostería de ladrillo (CLBRS), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de hojas metálicas o asbesto (RMT6) de 2 pisos.

Tipología 23: S/LN+DNO+RMT6:1

Incluye las edificaciones de acero (S), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de teja de arcilla o de hormigón (RMT1) de 1 piso.

Tipología 24: W+W99/LN+DNO+RMT1:1-2

Incluye las edificaciones de madera (W), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de teja de arcilla o de hormigón (RMT1) de 1 piso.

Tipología 25: W+W99/LN+DNO+RMT6:1-2

Incluye las edificaciones de madera (W), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de hojas metálicas o de asbesto (RMT6) de 1 a 2 pisos.

Tipologías adicionales

Tipología 26: EU/LN+DNO+RMT7:2

Incluye las edificaciones con paredes de tierra (EU) sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de madera o piedra asfáltica (RMT7) de 2 pisos.

Tipología 27: MATO/LN+DNO+RMT6:1-2

Incluye las edificaciones con paredes de vidrio (MATO) sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de hojas metálicas o asbesto (RMT1) de 1 a 2 pisos.

Tipología 28: MATO/LN+DUC+RMN:1-4

Incluye las edificaciones con paredes de vidrio (MATO) sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de hormigón sin recubrimiento adicional (RMN) de 1 a 2 pisos.

Tipología 29: CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de techo de madera o piedra asfáltica (RMT7) de 1 a 4 pisos.

Tipología 30: ME/LN+DNO+RMT6:1-2

Incluye las edificaciones con paredes de metal (ME) sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de hojas metálicas o de asbesto (RMT6) de 1 a 2 pisos.

Tipología 31: S/LFINF+DNO+RMT7:1-2

Incluye las edificaciones de acero (S) con pórticos rellenos de mampostería (LINF) de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de madera o piedra asfáltica (RMT7) de 1 a 2 pisos.

Tipología 32: CR+CIP/LFM+DUC+RMN:1-3

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos a momento (LFM) con paredes de hormigón, dúctil (DUC), con material de cubierta de techo de hormigón sin cubierta adicional (RMN) de 1 a 3 pisos.

Tipología 33: CR+CIP/LFM+DNO+RMT6:1-2

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos a momento (LFM) con paredes de hormigón, no dúctil (DNO), con material de cubierta de techo de láminas metálicas o es asbesto (RMT6) de 1 a 2 pisos.

Tipología 34: W+W99/LN+DNO+RMT7:2

Incluye las edificaciones de madera (W), sin sistema resistente a carga lateral (LN), no dúctil (DNO), material de cubierta de techo de madera o piedra asfáltica (RMT7) de 2 pisos.

Tipología 35: CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:6-10

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LFINF) con paredes de mampostería de bloque o ladrillo, dúctil (DUC), con material de cubierta de techo de concreto sin recubrimiento adicional (RMN) de 6 a 10 pisos.

Tipología 36: CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:4-6

Incluye las edificaciones que tienen como material del sistema resistente a carga lateral al concreto reforzado (CR) cuya tecnología es concreto colocado en sitio (CIP) y el sistema resistente a carga lateral constituye pórticos rellenos con paredes de mampostería (LFINF) con paredes de mampostería de bloque o ladrillo, no dúctil (DNO), con material de cubierta de techo de láminas metálicas o asbesto (RMT6) de 4 a 6 pisos.

Capítulo IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Análisis de los resultados

Resultados de los levantamientos en campo

Las edificaciones levantadas para realizar el modelo de exposición son únicamente de uso residencial y mixto y se las comparará con la información levantada por medio de la herramienta Google Street View.

Número de pisos. Se presentan los resultados del número del número de pisos de las edificaciones levantadas, los mismos que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 29

Número de pisos

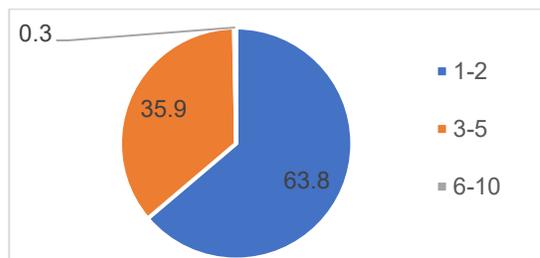
N° pisos	# Viviendas	Porcentaje
1-2	637	63.8
3-5	358	35.9
6-10	3	0.3

Nota. La tabla muestra los rangos de pisos, el número de viviendas y el porcentaje correspondiente de las edificaciones levantadas en campo.

Como se observa en la gráfica presentada, la mayor parte de estructuras levantadas tienen entre uno y dos pisos correspondiente al 63.8% seguido por las estructuras de tres a cinco pisos con el 35.9% y las de 6 a 10 pisos con un 0.3%.

Figura 42

Número de pisos en viviendas levantadas



Nota. La figura muestra el porcentaje de edificaciones levantadas en campo según el número de pisos, observándose que las más predominantes son las estructuras de 1 a 2 pisos.

Irregularidad estructural. Es importante recordar que en la base de datos se establecieron dos opciones para determinar las irregularidades, por lo tanto, se realizó una combinación de las dos alternativas para establecer las combinaciones más frecuentes en las edificaciones levantadas.

Tabla 30

Combinación de irregularidades estructurales en las viviendas levantadas

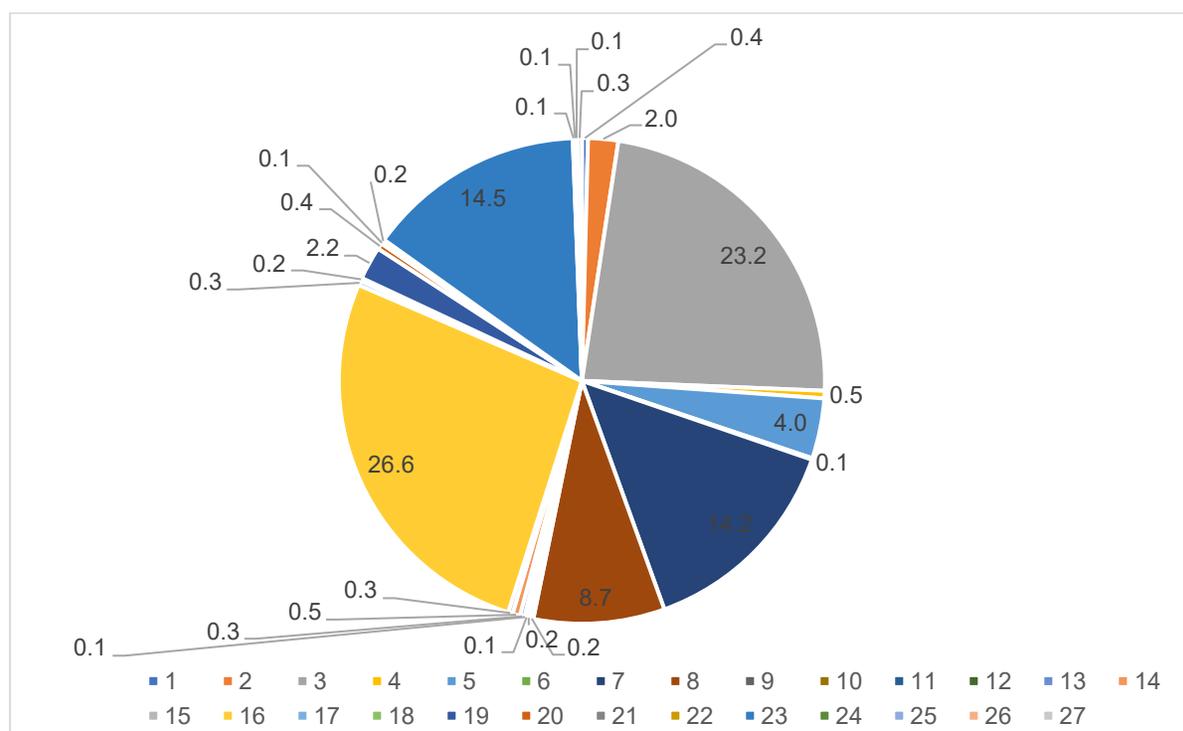
N°	Irregularidad estructural	# Viviendas	Porcentaje
1	Adosamiento: Losa contra columna + Adosamiento: Losa contra columna	4	0.4
2	Adosamiento: Losa contra columna + Adosamiento: Losa contra losa	20	2.0
3	Adosamiento: Losa contra columna + Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	232	23.2
4	Adosamiento: Losa contra columna + Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	5	0.5
5	Adosamiento: Losa contra columna	40	4.0
6	Adosamiento: Losa contra losa + Adosamiento: Losa contra losa	1	0.1
7	Adosamiento: Losa contra losa + Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	142	14.2
8	Adosamiento: Losa contra losa	87	8.7
9	Adosamiento: Losa contra losa + Presencia de columnas cortas	2	0.2
10	Ausencia de muros en una dirección	2	0.2
11	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones + Ausencia de muros en una dirección	1	0.1
12	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones + Discontinuidad de ejes de columnas o paredes portantes	1	0.1
13	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones + Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	3	0.3
14	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones + Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta	5	0.5
15	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones + Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical.	3	0.3
16	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	265	26.6
17	Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones + Presencia de columnas cortas	3	0.3
18	Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo) + Adosamiento: Losa contra losa	2	0.2
19	Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	22	2.2
20	Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo) + Planta de forma I, H, T, U, C ó similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal.	4	0.4
21	Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo) + Presencia de columnas cortas	1	0.1

N°	Irregularidad estructural	# Viviendas	Porcentaje
22	Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical	2	0.2
23	Ninguno	145	14.5
24	Planta de forma I, H, T, U, C ó similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal.	1	0.1
25	Planta de forma I, H, T, U, C ó similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal + Adosamiento: Losa contra columna	1	0.1
26	Planta de forma I, H, T, U, C ó similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal + Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	1	0.1
27	Planta de forma I, H, T, U, C ó similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal	3	0.3

Nota. En la tabla se muestra la combinación de irregularidades estructurales con el número de viviendas y el porcentaje correspondiente.

Figura 43

Combinaciones de irregularidades estructurales



Nota. El gráfico representa los porcentajes de acuerdo a la combinación de irregularidades estructurales en donde se observa que el mayor corresponde a la combinación 16 (ausencia de vigas altas en una o dos direcciones).

De la tabla y la gráfica anterior se observa que la irregularidad estructural más frecuente en la muestra de edificaciones levantadas corresponde a ausencia de vigas altas en una o dos direcciones con un 26.6% seguida por la combinación entre adosamiento: losa contra columna y ausencia de vigas alta en una o dos direcciones con un 23%, además de que un 14% de las viviendas levantadas no presenta ninguna irregularidad.

Geometría en elevación. A continuación, se muestra las formas de los esquemas en elevación de las edificaciones levantadas.

Tabla 31

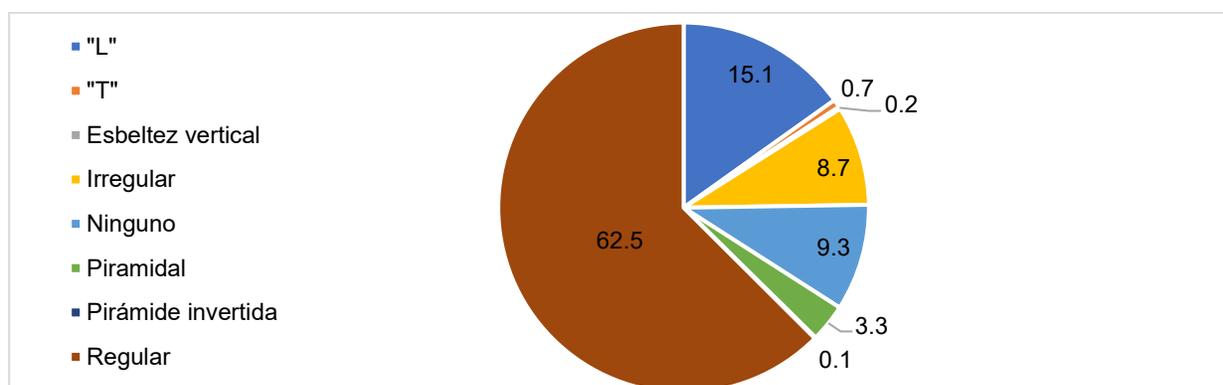
Geometría en elevación de las viviendas levantadas

Geometría en elevación	# Viviendas	Porcentaje
"L"	151	15.1
"T"	7	0.7
Esbeltez vertical	2	0.2
Irregular	87	8.7
Ninguno	93	9.3
Piramidal	33	3.3
Pirámide invertida	1	0.1
Regular	624	62.5

Nota. Esta tabla muestra las formas de geometría en elevación encontradas en los levantamientos de campo, pudiendo observarse que la mayor parte de viviendas levantadas son regulares en elevación, seguidas por la geometría en elevación tipo L.

Figura 44

Geometría en elevación de las viviendas levantadas



Nota. El gráfico representa los porcentajes de los tipos de geometría en elevación encontradas.

Del gráfico anterior se observa que la mayor parte de las viviendas presenta una geometría en elevación regular correspondiente al 62.5% seguida por una geometría en elevación tipo L con el 15.1% y finalmente la que menos se presenta es la de pirámide invertida con el 0.1%.

Geometría en planta. Se muestran además las formas de los esquemas en planta observados en las viviendas levantadas.

Tabla 32

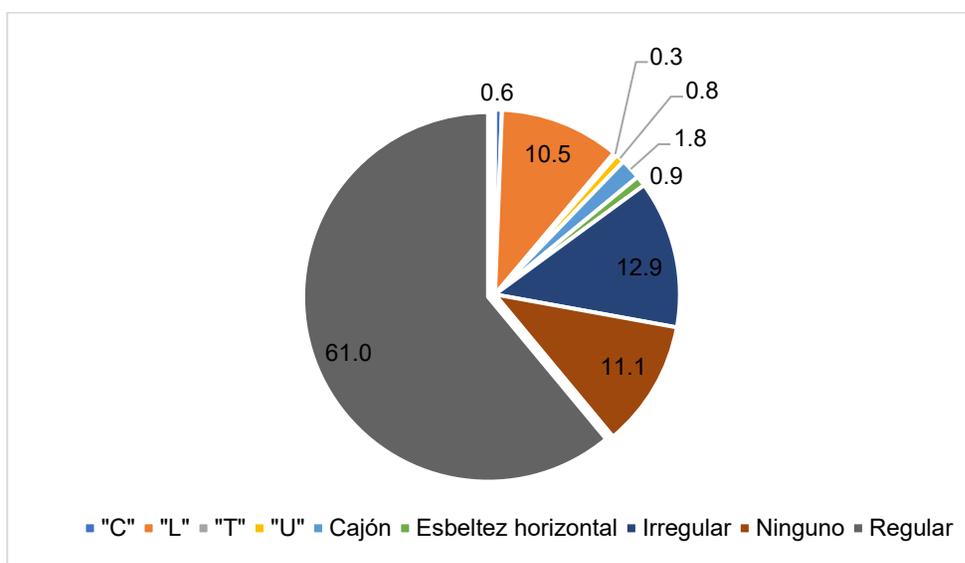
Geometría en planta de las viviendas levantadas

Geometría en planta	# Viviendas	Porcentaje
"C"	6	0.6
"L"	105	10.5
"T"	3	0.3
"U"	8	0.8
Cajón	18	1.8
Esbeltez horizontal	9	0.9
Irregular	129	12.9
Ninguno	111	11.1
Regular	609	61.0

Nota. La tabla muestra las formas de la geometría en planta encontradas en los levantamientos de campo.

Figura 45

Geometría en planta de las viviendas levantadas



Nota. Este gráfico representa los porcentajes de las forma de geometría en planta.

Del gráfico presentado se puede observar que la mayor parte de las viviendas levantadas presenta una geometría en planta regular con un 61% seguido por la forma irregular con un 12.9%, siendo lo que menor porcentaje presenta la geometría en forma de T con 0.3%.

Tipologías estructurales. Una vez aplicados los formularios se obtuvieron las tipologías estructurales más frecuentes en la muestra de edificaciones levantadas. A continuación, se revisarán los resultados obtenidos por cada formulario.

FUNVISIS. Las tipologías estructurales frecuentes de acuerdo al formulario FUNVISIS se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 33

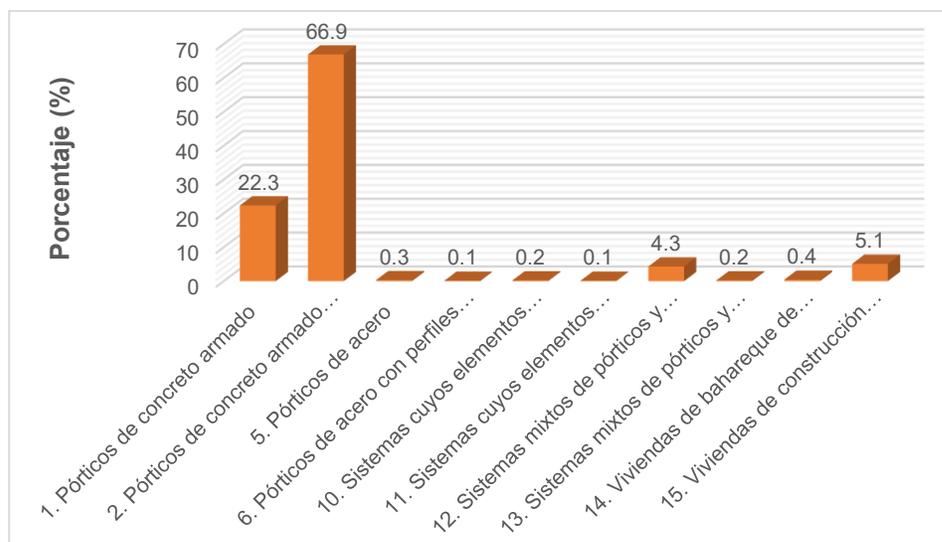
Tipologías FUNVISIS

Tipologías FUNVISIS	# Viviendas	Porcentaje
1. Pórticos de concreto armado	223	22.3
2. Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	668	66.9
5. Pórticos de acero	3	0.3
6. Pórticos de acero con perfiles tubulares	1	0.1
10. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada.	2	0.2
11. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada.	1	0.1
12. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	43	4.3
13. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos.	2	0.2
14. Viviendas de bahareque de un piso	4	0.4
15. Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	51	5.1

Nota. La tabla muestra las tipologías estructurales identificadas según FUNVISIS.

Figura 46

Porcentajes de tipologías estructurales FUNVISIS



Nota. El gráfico representa los porcentajes de las tipologías FUNVISIS encontradas en los levantamientos de campo realizados.

En la figura anterior se observa que la tipología más frecuente en la muestra de viviendas levantadas son pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto con un 66.9%, seguido por los pórticos de concreto armado con un 22.3%, siendo la tipología menos frecuente la de sistemas con elementos portantes de muros de mampostería confinada con un porcentaje correspondiente al 0.1%.

FEMA. Las tipologías estructurales frecuentes de acuerdo al formulario FEMA se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 34

Tipologías FEMA

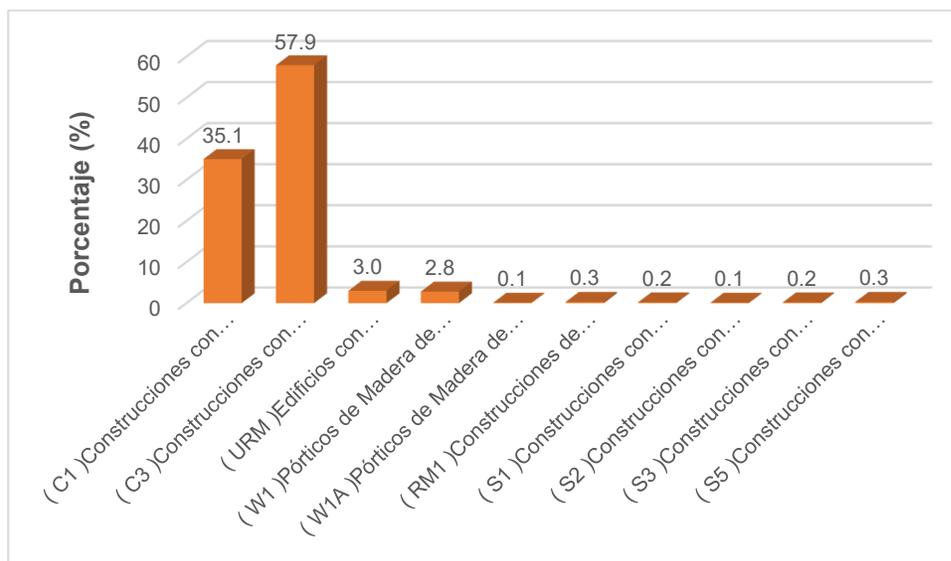
Tipologías FEMA	# Viviendas	Porcentaje
(C1) Construcciones con pórticos de hormigón resistente a momento	350	35.1
(C3) Construcciones con pórticos de hormigón y muros de relleno de mampostería no reforzado	578	57.9
(URM) Edificios con mampostería no reforzada	30	3.0

Tipologías FEMA	# Viviendas	Porcentaje
(W1) Pórticos de Madera de una o más plantas de altura	28	2.8
(W1A) Pórticos de Madera de varios pisos con área >300 m2	1	0.1
(RM1) Construcciones de mampostería reforzada, piso flexible y diafragma de techo	3	0.3
(S1) Construcciones con pórticos de acero resistentes a momentos	2	0.2
(S2) Construcciones con pórticos de acero	1	0.1
(S3) Construcciones con pórticos de metal ligero	2	0.2
(S5) Construcciones con pórticos de acero y mampostería de relleno no reforzada	3	0.3

Nota. La tabla muestra las tipologías estructurales identificadas según FEMA P-154

Figura 47

Porcentajes tipologías FEMA



Nota. El gráfico representa los porcentajes de las tipologías FEMA encontradas en los levantamientos de campo realizados.

Según el gráfico presentado la tipología más frecuente corresponde a la C3 o pórticos de hormigón armado y muros de relleno de mampostería no reforzada con un 57.9%, seguido por la tipología C1 que corresponde a construcciones con pórticos de hormigón resistente a

momento con un 35.1%; siendo la menos frecuente la W1A pórticos de madera de varios pisos con área mayor 300 m² y S2 construcciones con pórticos de acero ambas con el 0.1%

NEC. Las tipologías estructurales frecuentes de acuerdo al formulario NEC se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 35

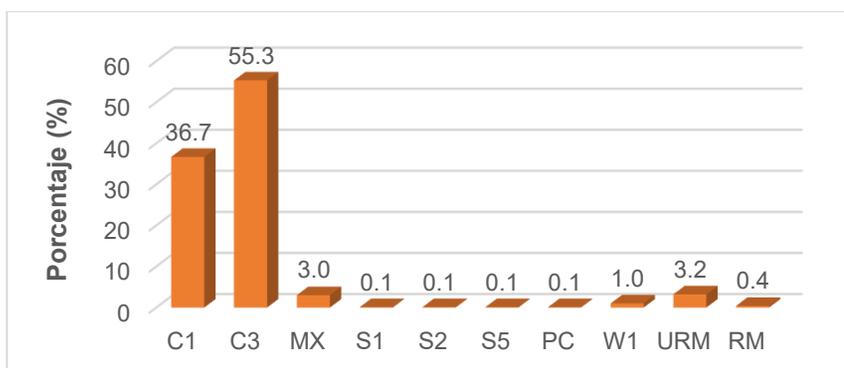
Tipologías NEC

Tipologías NEC		# Viviendas	Porcentaje
Pórtico hormigón armado	C1	366	36.7
Pórtico hormigón armado con mampostería confinada sin refuerzo	C3	552	55.3
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	MX	30	3.0
Pórtico de acero laminado	S1	1	0.1
Pórtico de acero laminado con diagonales	S2	1	0.1
Pórtico de acero con paredes de mampostería	S5	1	0.1
Hormigón armado prefabricado	PC	1	0.1
Madera	W1	10	1.0
Mampostería sin refuerzo	URM	32	3.2
Mampostería reforzada	RM	4	0.4

Nota. La tabla muestra las tipologías estructurales identificadas según el formulario de NEC 2015 en los levantamientos de campo.

Figura 48

Porcentajes tipologías NEC



Nota El gráfico representa los porcentajes de las tipologías NEC encontradas en los levantamientos de campo realizados.

De conformidad al gráfico presentado, la tipología más frecuente corresponde a la C3 o pórticos de hormigón armado con mampostería confinada sin refuerzo con un 55.3%, seguido por la tipología C1 que corresponde a pórticos de hormigón armado con un 36.7%; siendo la menos frecuente las S1, S2, S5 y PC correspondientes a acero laminado, acero laminado con diagonales, acero con paredes de mampostería y hormigón armado prefabricado respectivamente, con 0.1%.

GEM. De la muestra de edificaciones levantadas se obtuvieron 25 tipologías que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 36

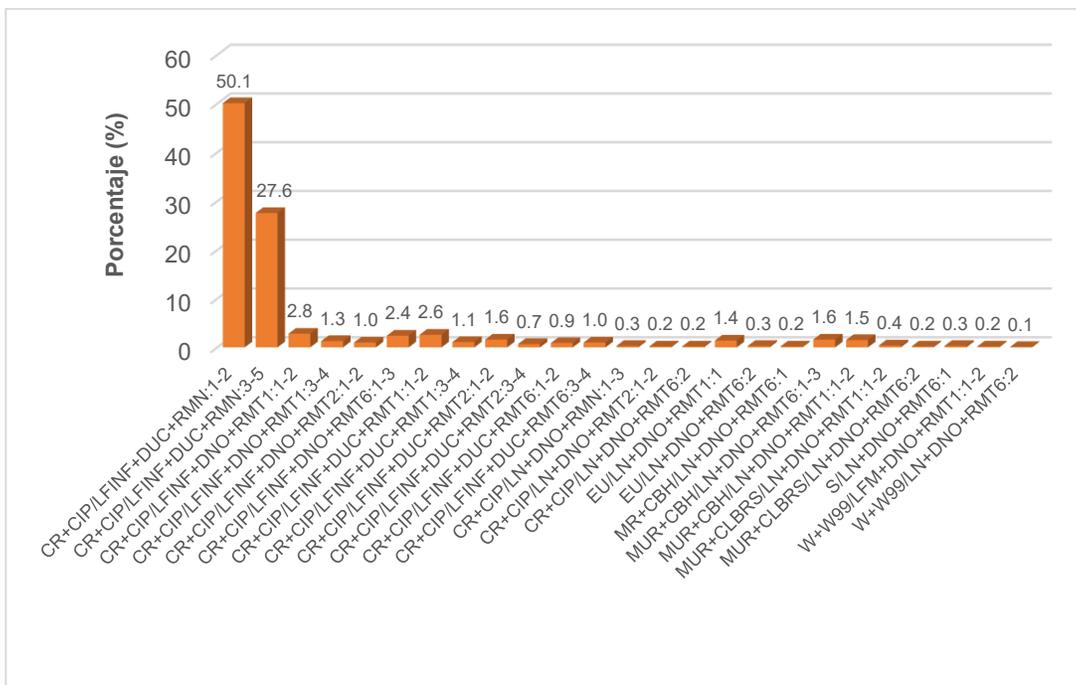
Taxonomía GEM

N°	Tipología GEM	# Viviendas	Porcentaje
1	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	500	50.1
2	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	275	27.6
3	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	28	2.8
4	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4	13	1.3
5	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT2:1-2	10	1.0
6	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	24	2.4
7	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT1:1-2	26	2.6
8	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT1:3-4	11	1.1
9	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:1-2	16	1.6
10	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:3-4	7	0.7
11	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:1-2	9	0.9
12	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:3-4	10	1.0
13	CR+CIP/LN+DNO+RMN:1-3	3	0.3
14	CR+CIP/LN+DNO+RMT2:1-2	2	0.2
15	CR+CIP/LN+DNO+RMT6:2	2	0.2
16	EU/LN+DNO+RMT1:1	14	1.4
17	EU/LN+DNO+RMT6:2	3	0.3
18	MR+CBH/LN+DNO+RMT6:1	2	0.2
19	MUR+CBH/LN+DNO+RMT6:1-3	16	1.6
20	MUR+CBH/LN+DNO+RMT1:1-2	15	1.5
21	MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT1:1-2	4	0.4
22	MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT6:2	2	0.2
23	S/LN+DNO+RMT6:1	3	0.3
24	W+W99/LFM+DNO+RMT1:1-2	2	0.2
25	W+W99/LN+DNO+RMT6:2	1	0.1

Nota. Esta tabla muestra las taxonomías encontradas según GEM.

Figura 49

Porcentajes tipología GEM



Nota. El gráfico representa los porcentajes de las tipologías GEM encontradas

De las tipologías encontradas se puede observar que la tipología más frecuente es la número 1 que corresponde a pórticos de hormigón de armado colocado en sitio rellenos de mampostería, dúctiles, con techo de hormigón armado sin recubrimiento adicional de 1 a 2 pisos con un 50.1% seguido por la tipología 2 de las mismas características con la diferencia de que esta tipología incluye viviendas de 3 a 5 pisos con 27.6%. Finalmente, la tipología menos frecuente son las edificaciones de madera sin sistema resistente a carga lateral no dúctiles con techo de hojas metálicas o asbesto de 2 pisos con 0.1%.

Puntajes obtenidos. Una vez aplicados los formularios indicados se procedió a calcular los puntajes finales según FEMA y NEC, así como los índices de vulnerabilidad para FUNVISIS.

FUNVISIS. Los índices calculados de acuerdo al formulario propuesto por FUNVISIS se muestra en las tablas siguientes:

Índice de vulnerabilidad

Tabla 37

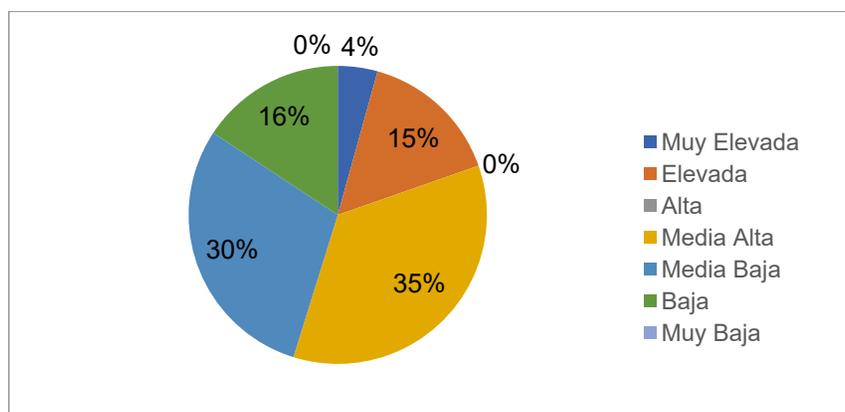
Índice de vulnerabilidad

Calificación de la Vulnerabilidad	N° de viviendas	Porcentaje
Muy Elevada	43	4.3
Elevada	153	15.3
Alta	0	0.0
Media Alta	351	35.2
Media Baja	294	29.5
Baja	157	15.7
Muy Baja	0	0.0

Nota. Esta tabla muestra la calificación de vulnerabilidad, el número de viviendas y el porcentaje correspondiente.

Figura 50

Calificación de la vulnerabilidad



Nota. La figura muestra los porcentajes de acuerdo al índice de vulnerabilidad.

En el gráfico anterior se observa que la mayor parte de las edificaciones levantadas presenta una vulnerabilidad media entre alta y baja con 35.2% y 29.5% respectivamente. El 15.3% y el 15.7% corresponde a vulnerabilidad elevada y vulnerabilidad baja; el menor

porcentaje pertenece a vulnerabilidad muy elevada esto es, 4.3%. Finalmente, no se tiene ninguna vivienda con calificación de vulnerabilidad alta y muy baja.

Índice de riesgo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla y la figura siguiente:

Tabla 38

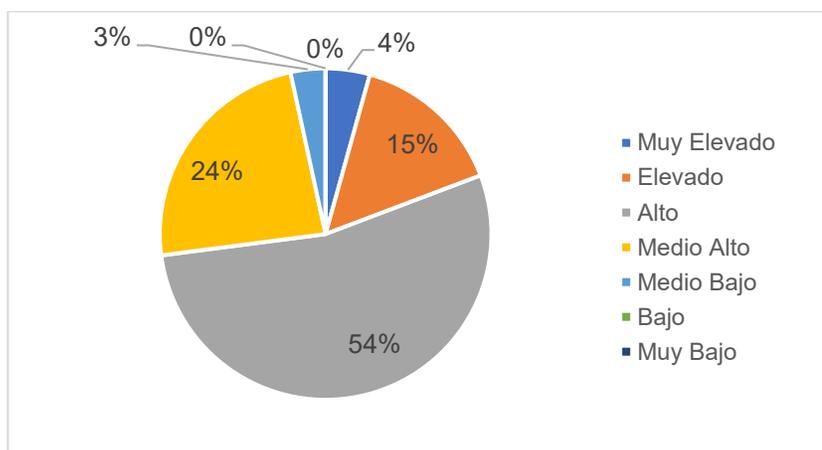
Índice de riesgo

Calificación del Riesgo	N° de viviendas	Porcentaje
Muy Elevado	43	4.3
Elevado	149	14.9
Alto	536	53.7
Medio Alto	236	23.6
Medio Bajo	34	3.4
Bajo	0	0.0
Muy Bajo	0	0.0

Nota. Esta tabla muestra la calificación de riesgo, el número de viviendas y el porcentaje correspondiente.

Figura 51

Calificación del riesgo



Nota. La figura muestra los porcentajes de acuerdo al índice de riesgo.

De acuerdo al gráfico mostrado se observa que la mayoría de las viviendas levantadas presentan un índice de riesgo alto que corresponde al 53.7%, seguido por una calificación de riesgo medio alto con un porcentaje del 23.6%. Un 14.9% de las edificaciones tiene un riesgo

elevado y el menor porcentaje presentado es un 3.4% que corresponde a la calificación de riesgo medio bajo.

Índice de priorización. El índice de priorización tiene la finalidad de ordenar los resultados y de este modo permitir una mejor selección de las edificaciones a fin de identificar aquellas que serán prioridad a la hora de realizar un análisis más detallado de riesgo sísmico.

Tabla 39

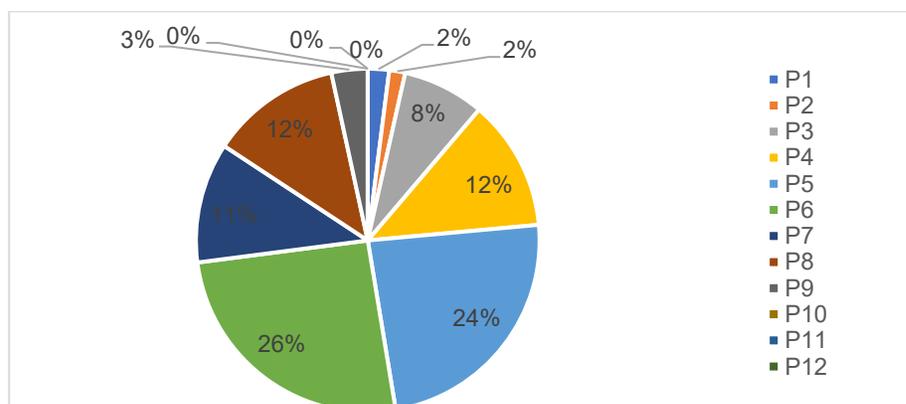
Índice de priorización de las viviendas levantadas

Calificación de la Priorización	N° de viviendas	Porcentaje
P1	20	2.0
P2	15	1.5
P3	77	7.7
P4	123	12.3
P5	238	23.8
P6	255	25.6
P7	113	11.3
P8	123	12.3
P9	34	3.4
P10	0	0.0
P11	0	0.0
P12	0	0.0

Nota. Esta tabla muestra la calificación de priorización, el número de viviendas y el porcentaje correspondiente.

Figura 52

Calificación de la priorización



Nota. La figura muestra los porcentajes de acuerdo al índice de priorización.

De acuerdo a la tabla y figura presentadas se observa que la mayor parte de viviendas levantadas se encuentran dentro de una prioridad media al ubicarse en los niveles P5 y P6 con porcentajes de 23.8% y 25.6% respectivamente. En los niveles P7 y P8 se tienen porcentajes de 11.3 y 12.3% mientras que en los niveles de priorización mayor se encuentran porcentajes de alrededor el 8%.

NEC. Una vez aplicados y tabulados los puntajes finales obtenidos por medio del formulario se tiene el siguiente resultado:

Tabla 40

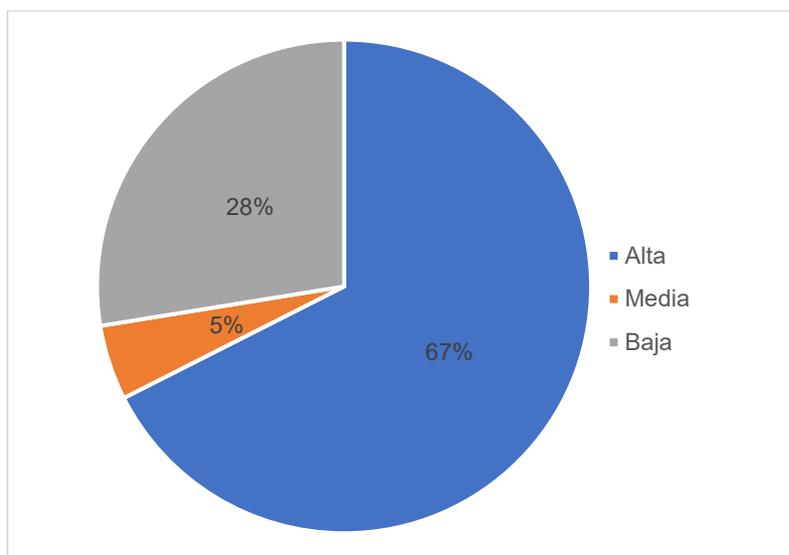
Grado de vulnerabilidad NEC

Grado de vulnerabilidad NEC	# Viviendas	Porcentaje
Alta	674	67.5
Media	49	4.9
Baja	275	27.6

Nota. Esta tabla muestra el grado de vulnerabilidad NEC, el número de viviendas y el porcentaje correspondiente.

Figura 53

Grado de vulnerabilidad NEC



Nota. La figura muestra los porcentajes de acuerdo al grado de vulnerabilidad NEC.

De acuerdo al gráfico obtenido se puede observar que la mayoría de edificaciones levantadas presenta una vulnerabilidad alta con un 67.5%; un 4.9% de edificaciones tiene una vulnerabilidad media y un 27.6% presenta un grado de vulnerabilidad bajo.

FEMA. Es importante resaltar que, para obtener el puntaje final, se debe comparar este valor con el mínimo indicado en el formulario, en caso de que sea menor al mínimo, se tomará este valor como el puntaje final. Para interpretar el valor final obtenido se considera que, si éste es menor a 2, se trata de una edificación con un alto grado de vulnerabilidad y será necesaria una evaluación especial (López , Marcillo, Pilco, & Villamizar, Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2021). Con este particular se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 41

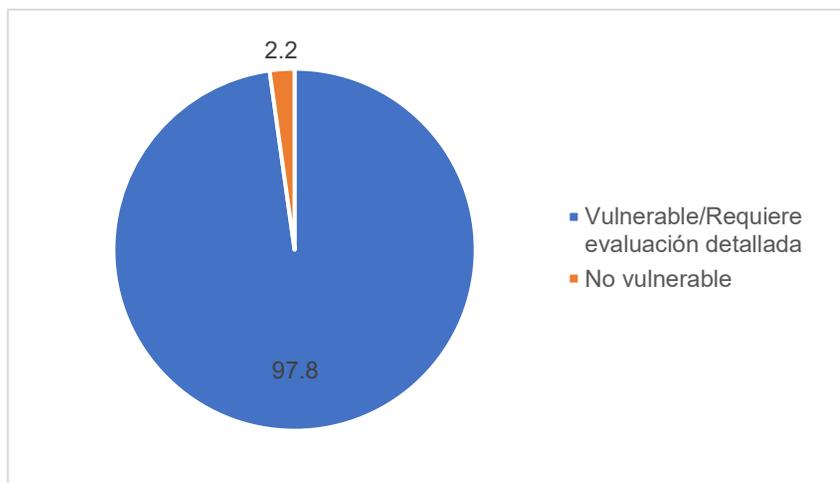
Vulnerabilidad FEMA

Vulnerabilidad FEMA	# Viviendas	Porcentaje
Vulnerable/Requiere evaluación detallada	976	97.8
No vulnerable	22	2.2

Nota. Esta tabla muestra el grado de vulnerabilidad FEMA, el número de viviendas y el porcentaje correspondiente.

Figura 54

Porcentajes vulnerabilidad FEMA



Nota. La figura muestra los porcentajes de acuerdo al grado de vulnerabilidad FEMA.

Del gráfico obtenido se observa que el 97.8% de las viviendas levantadas son vulnerables y requieren de una evaluación más detallada, lo cual indica que la mayoría de las edificaciones levantadas presentan un grado de vulnerabilidad alto.

Resultados de los levantamientos visuales

Como se mencionó en los párrafos anteriores para la realización de los levantamientos visuales se utilizó la herramienta Google Street View y se construyó una nueva base de datos con los 7484 predios que conforman la parroquia con el fin de verificar la validez de los datos levantados en campo. A continuación, se presentan los resultados de todos los predios que integran la parroquia.

Número de pisos. Se presentarán los resultados obtenidos del número de pisos en los levantamientos realizados de forma virtual.

Tabla 42

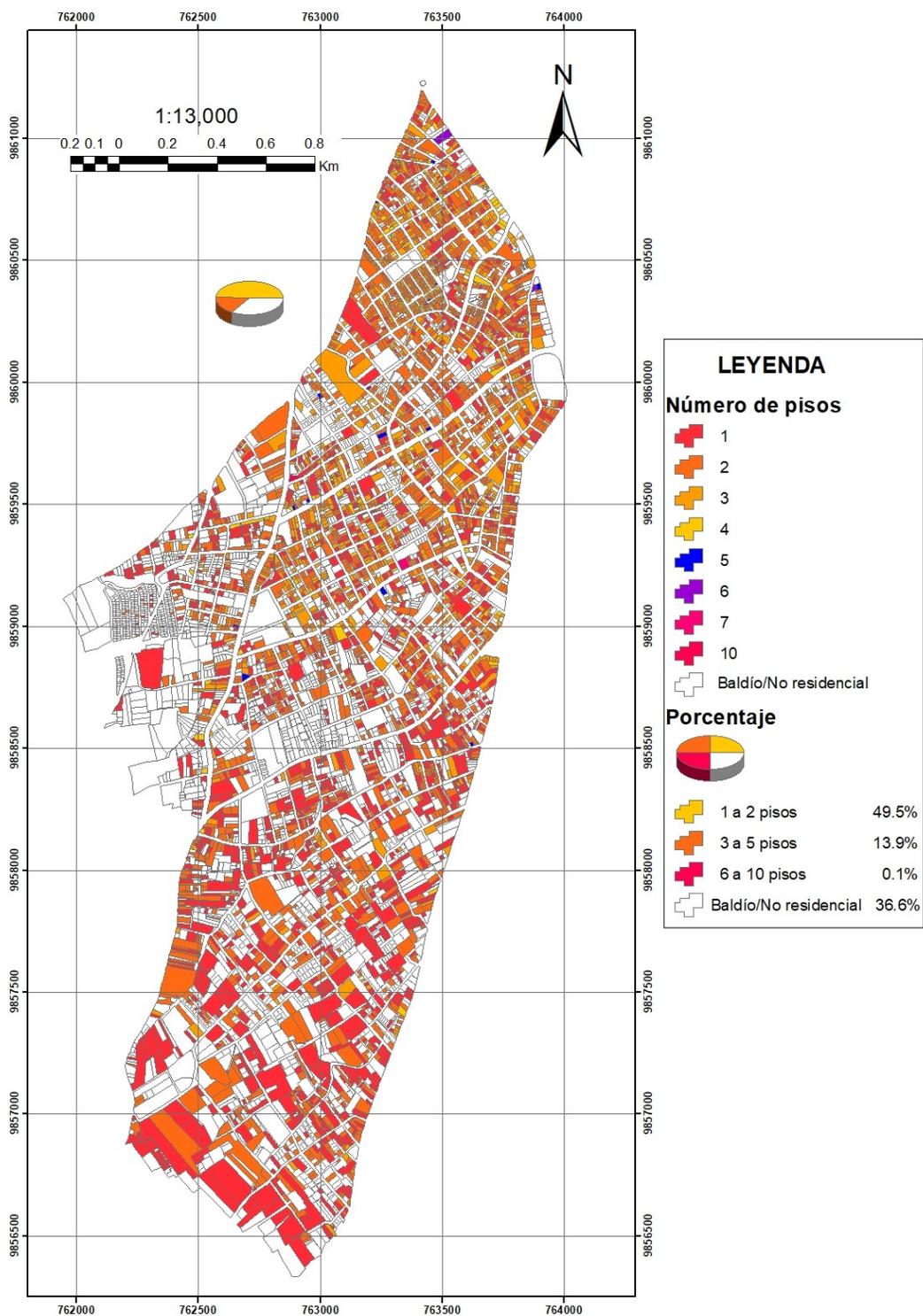
Número de pisos parroquia Huachi Chico

N° pisos	# Viviendas	Porcentaje
1	1465	19.6
2	2236	29.9
3	892	11.9
4	129	1.7
5	17	0.2
6	3	0.04
7	1	0.01
8	0	0.0
9	0	0.0
10	1	0.01
Baldío/No residencial	2740	36.6

Nota. En la tabla se muestra la cantidad de viviendas con el número de pisos y el porcentaje correspondiente en los levantamientos realizados de forma virtual

Figura 55

Distribución espacial del número de pisos parroquia Huachi Chico



Nota. La figura muestra la distribución del número de pisos en toda la parroquia.

En el gráfico mostrado se puede observar que en la parroquia analizada predominan las edificaciones de 1 a 2 pisos con un porcentaje del 49.5%, un porcentaje menor son edificaciones de 3 a 5 pisos (13.9%) y un porcentaje mínimo son estructuras de 6 a 10 pisos (0.1%) lo cual indica que existen muy pocas edificaciones con este número de pisos en la parroquia.

Material de techo. De la base de datos del total de predios se identificaron los materiales de techo utilizados en las edificaciones levantadas; destacándose el concreto, hojas metálicas o de asbesto, madera o piedra asfáltica y la teja. De cada material se identificó el número de estructuras y se obtuvo el porcentaje correspondiente, tal como se observa en la tabla siguiente:

Tabla 43

Material de techo parroquia Huachi Chico

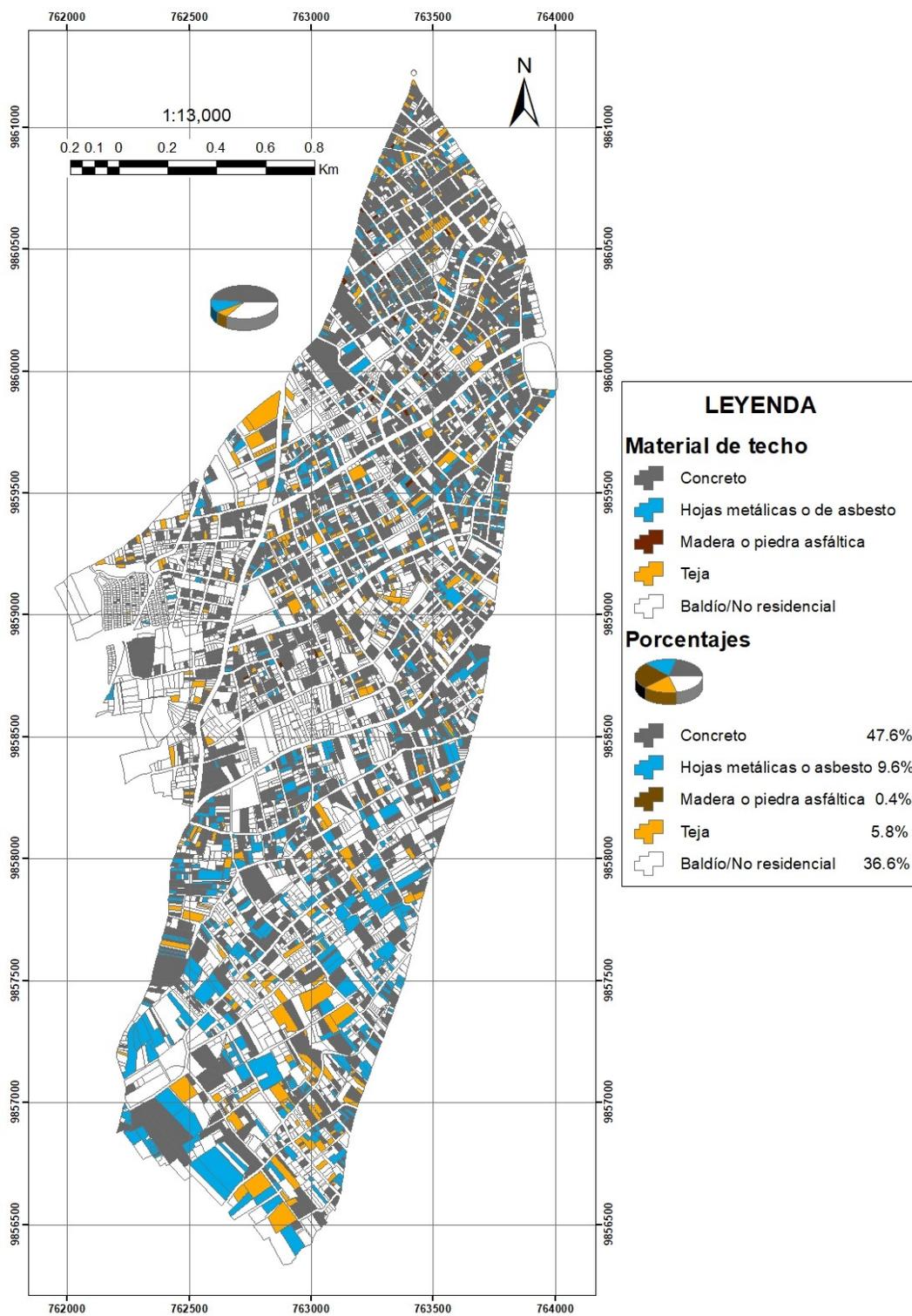
Material de techo	# Viviendas	Porcentaje
Concreto	3560	47.6
Hojas metálicas o de asbesto	719	9.6
Madera o piedra asfáltica	33	0.4
Teja	432	5.8
Baldío/No residencial	2740	36.6

Nota. En la tabla se muestran los materiales de techo encontrados en los levantamientos realizados de forma virtual.

De la tabla presentada y el gráfico que se muestra a continuación se observa que en las edificaciones de la parroquia el material de techo predominante constituye el concreto con un 47.6%, que se presenta en la parte norte de la parroquia en zonas consolidadas. Un 9.6% corresponde a las hojas metálicas o de asbesto que se observan en su mayoría en el sur de la parroquia, en donde se visualizaron viviendas poco planificadas además de considerarse una zona en proceso de consolidación. El 5.8% de techo de teja se distribuye en toda la parroquia y el 0.4% de techos de madera se presenta en las zonas 1, 2 y 3.

Figura 56

Distribución espacial del material de techo parroquia Huachi Chico

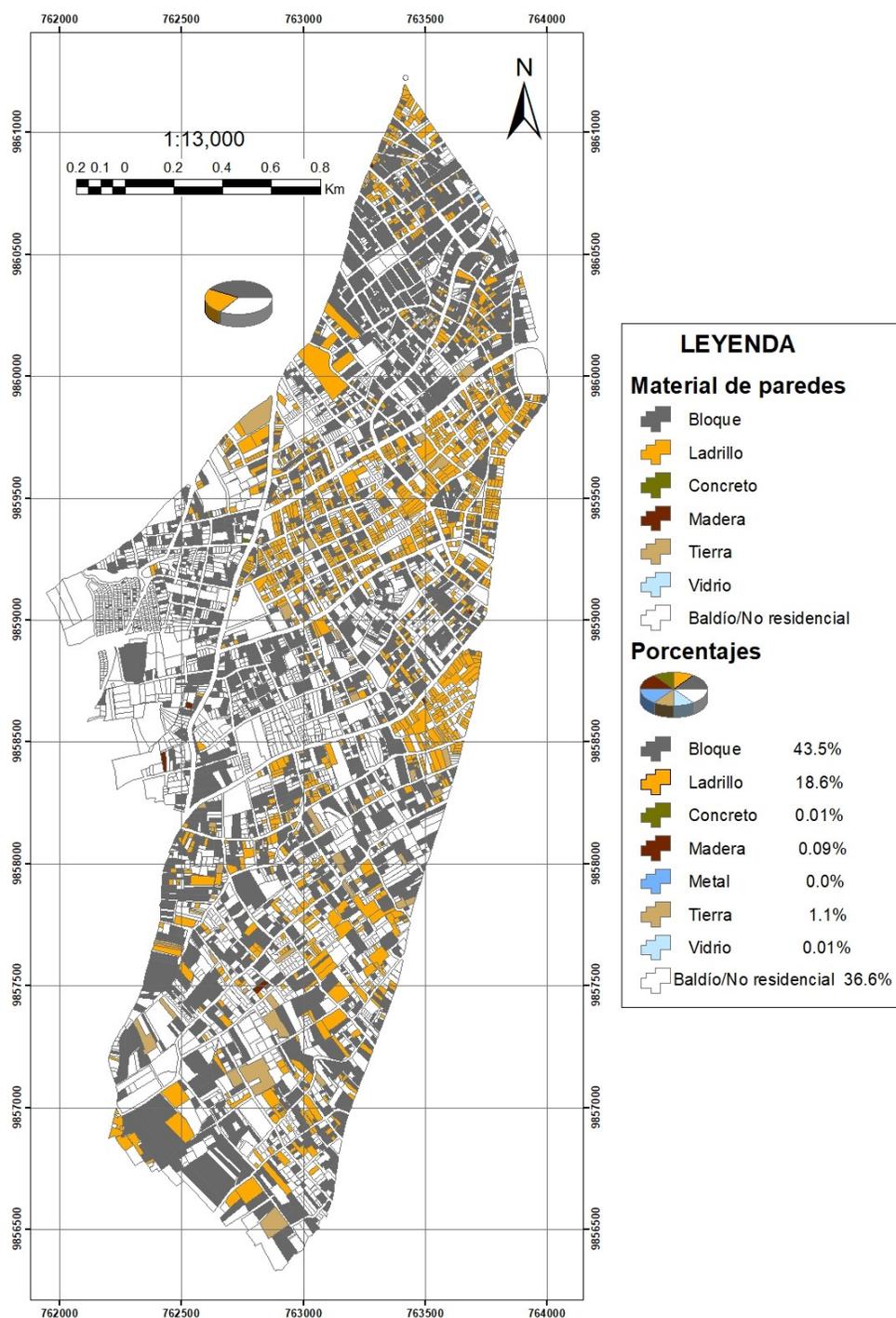


Nota. La figura muestra la distribución del material de techo en toda la parroquia.

Material de paredes

Figura 57

Distribución espacial material de paredes parroquia Huachi Chico



Nota. La figura muestra la distribución del material de techo en toda la parroquia.

Tabla 44*Material de paredes parroquia Huachi Chico*

Material de paredes	# Viviendas	Porcentaje
Bloque	3258	43.5
Ladrillo	1392	18.6
Concreto	1	0.01
Madera	7	0.09
Metal	0	0.00
Tierra	85	1.1
Vidrio	1	0.01
Baldío/No residencial	2740	36.6

Nota. En la tabla se muestran los materiales de paredes encontrados en los levantamientos realizados de forma virtual.

De la tabla y la gráfica presentadas se deduce que los materiales de paredes más usados en las edificaciones de la parroquia en estudio son el bloque y el ladrillo con el 43.5% y 18.6% respectivamente. Un pequeño porcentaje de estructuras son paredes de tierra se presentan en la parte norte y sur de la parroquia que corresponde, en su mayoría, a viviendas antiguas. Porcentajes mínimos se registran en madera, concreto y vidrio.

Puntajes obtenidos

FUNVISIS. A continuación, se presentan los índices de riesgo calculados a partir de la metodología FUNVISIS para las estructuras de la parroquia.

Índice de vulnerabilidad

Tabla 45*Índice de vulnerabilidad parroquia Huachi Chico*

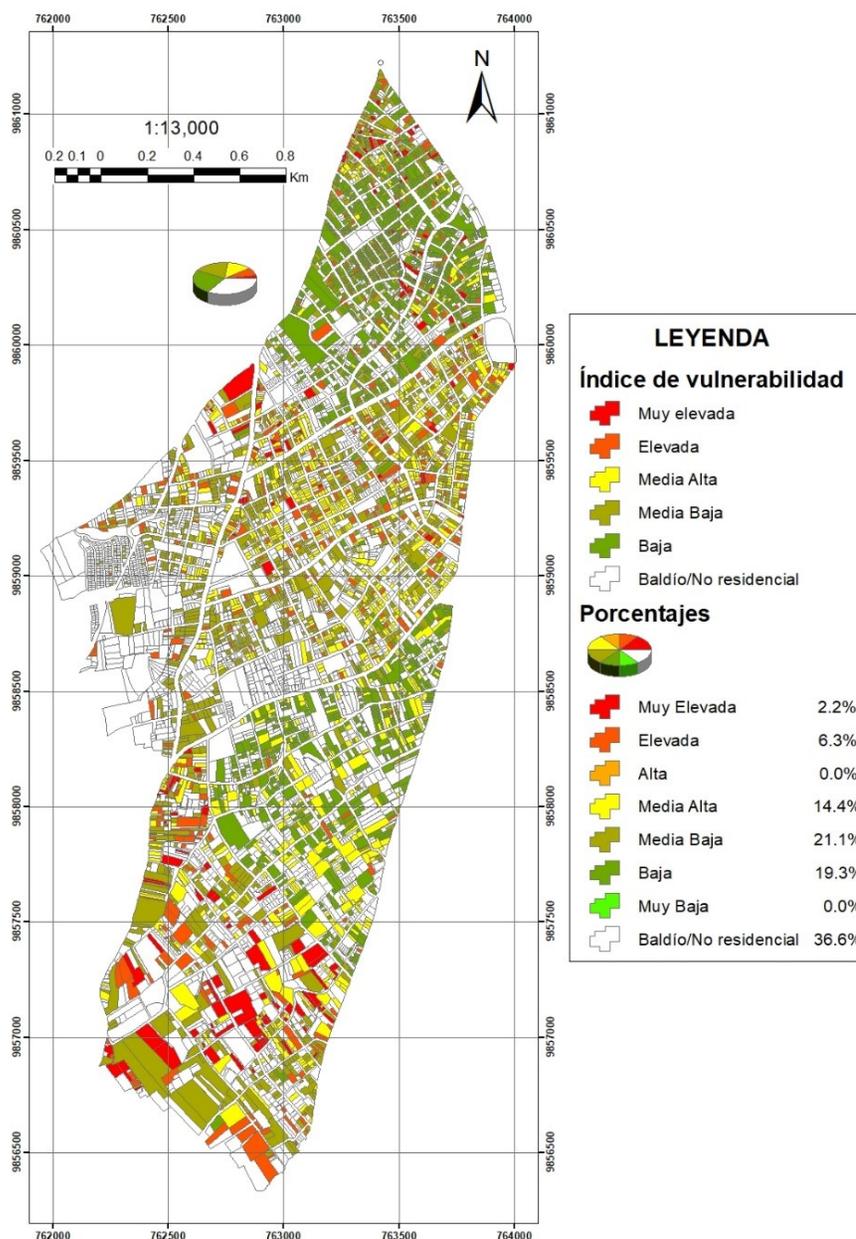
Calificación de la Vulnerabilidad	N° de viviendas	Porcentaje
Muy Elevada	168	2.2
Elevada	472	6.3
Alta	0	0.0
Media Alta	1076	14.4
Media Baja	1580	21.1
Baja	1448	19.3

Calificación de la Vulnerabilidad	Nº de viviendas	Porcentaje
Muy Baja	0	0.0
Baldío/No residencial	2740	36.6

Nota. En la tabla se muestran la calificación de vulnerabilidad de las viviendas de los levantamientos realizados de forma virtual.

Figura 58

Índice de vulnerabilidad FUNVISIS parroquia Huachi Chico



Nota. La figura muestra la calificación del índice de vulnerabilidad para toda la parroquia.

En el gráfico y la tabla mostrada se puede observar que el 14.4% de las edificaciones de la parroquia presenta una vulnerabilidad media alta y un 21.1% una vulnerabilidad media baja. Un 19.3% muestra un grado de vulnerabilidad bajo mientras porcentajes menores del 2.2% y 6.3% pertenece a vulnerabilidad muy elevada y elevada respectivamente.

Índice de riesgo. Se realizó el cálculo del índice de riesgo, considerando los datos ingresados para cada edificación en la base de datos general, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 46

Índice de riesgo parroquia Huachi Chico

Calificación del Riesgo	Nº de viviendas	Porcentaje
Muy Elevado	168	2.2
Elevado	472	6.3
Alto	2394	32.0
Medio Alto	1710	22.8
Medio Bajo	0	0.0
Bajo	0	0.0
Muy Bajo	0	0.0
Baldío/No residencial	2740	36.6

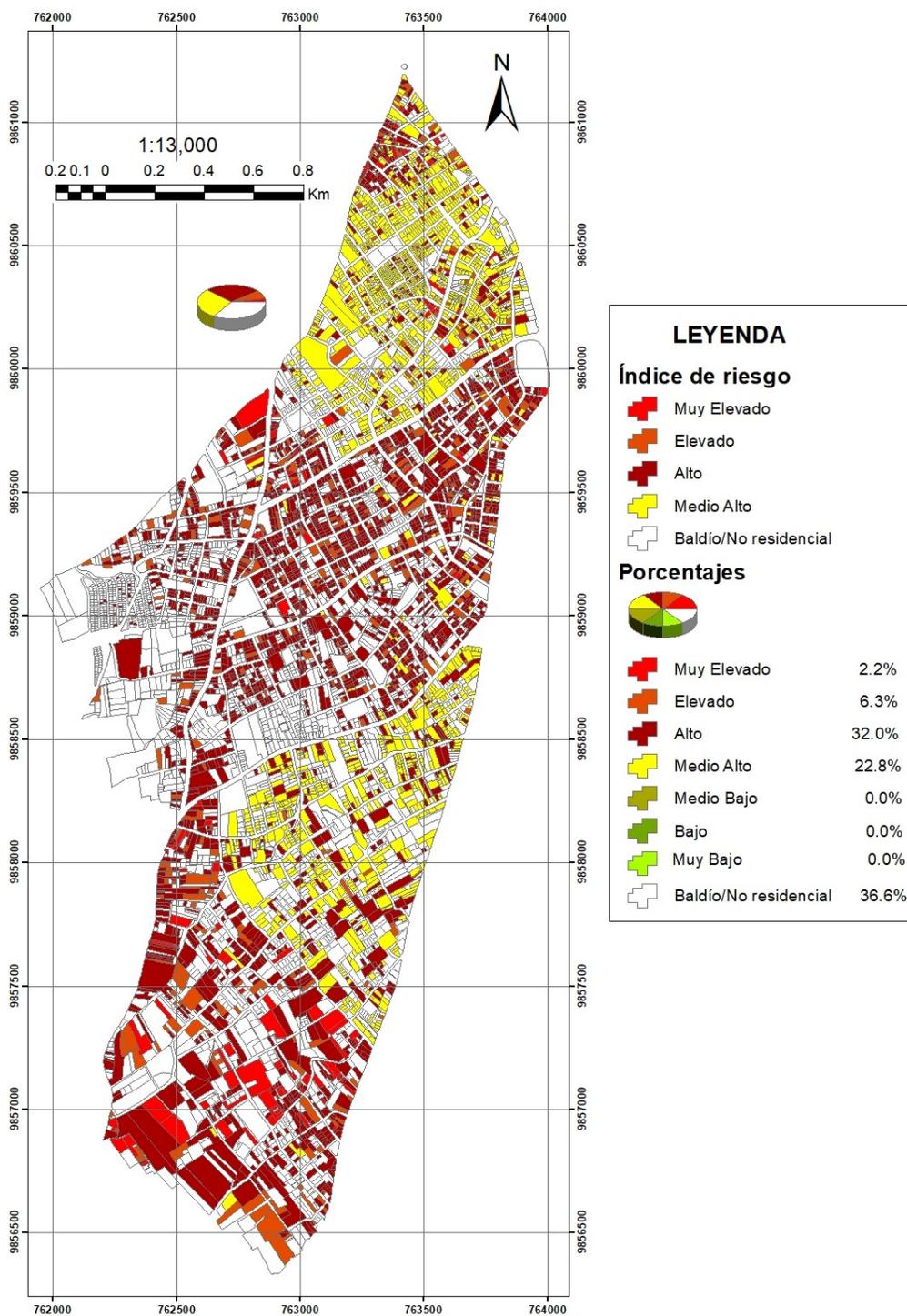
Nota. En la tabla se muestran la calificación de riesgo de las viviendas de los levantamientos realizados de forma virtual.

De la tabla anterior y la figura siguiente se observa que la parroquia tiene un nivel de riesgo alto al tener el mayor porcentaje, esto es, el 32.0% seguido por el riesgo medio alto con un 22.8%. Porcentajes menores del 6.3% y 2.2% pertenecen a niveles de riesgo elevado y muy elevado respectivamente.

Se puede notar, además, que el nivel de riesgo medio alto se distribuye en su mayor parte en las zonas 1 y 3, pocas edificaciones de las zonas en mención presentan niveles de riesgo muy elevado, elevado y alto; sin embargo, estos niveles están presentes en la zona centro y sur de parroquia lo cual puede deberse a la escasa planificación de las construcciones especialmente en la zona sur.

Figura 59

Distribución espacial del índice de riesgo parroquia Huachi Chico

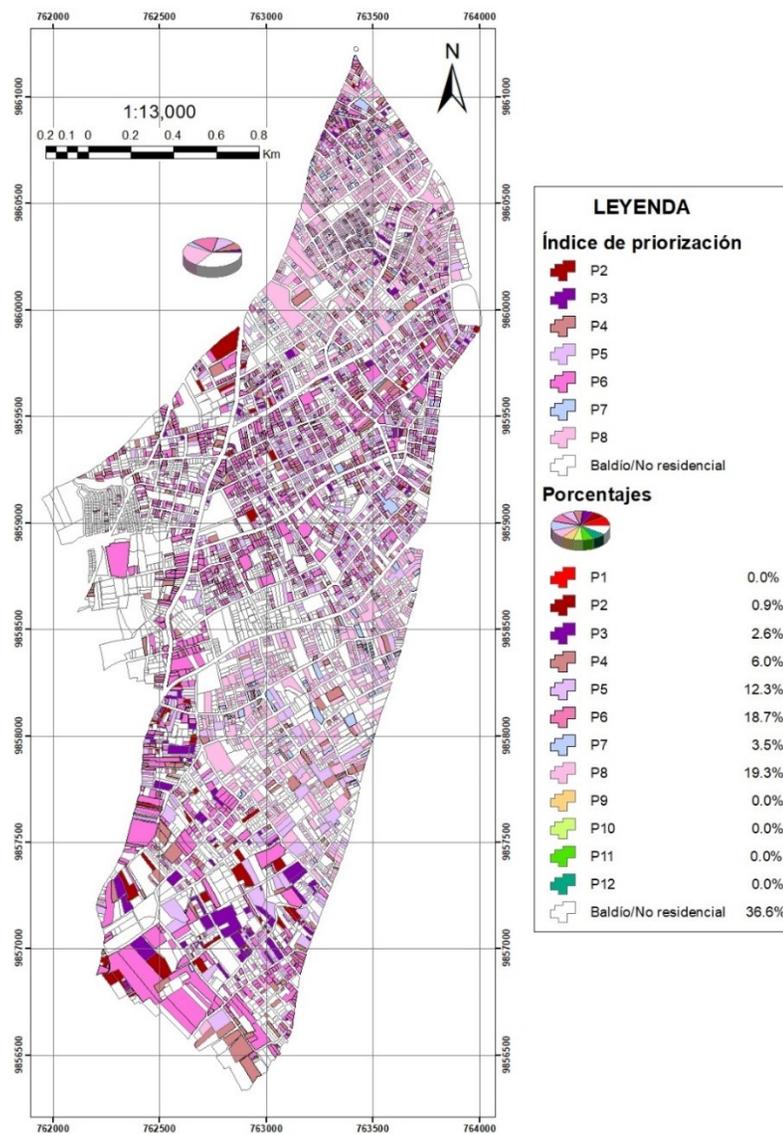


Nota. La figura muestra la calificación del índice de riesgo para toda la parroquia.

Índice de priorización

Figura 60

Distribución espacial de índice de priorización parroquia Huachi Chico



Nota. La figura muestra la calificación del índice de priorización para toda la parroquia.

Tabla 47

Índice de priorización parroquia Huachi Chico

Calificación de la Priorización	Nº de viviendas	Porcentaje
P1	0	0.0
P2	69	0.9
P3	195	2.6

Calificación de la Priorización	N° de viviendas	Porcentaje
P4	450	6.0
P5	919	12.3
P6	1401	18.7
P7	262	3.5
P8	1448	19.3
P9	0	0.0
P10	0	0.0
P11	0	0.0
P12	0	0.0
Baldío/No residencial	2740	36.6

Nota. En la tabla se muestran la calificación de la priorización de las viviendas de los levantamientos realizados de forma virtual.

Según se indica en la figura y tabla anterior se puede observar que las edificaciones de la parroquia se encuentran un nivel de priorización intermedio al encontrarse los mayores porcentajes en los niveles P5, P6, P7 y P8 con el 12.3%, 18.7%, 3.5% y 19.3% respectivamente. Pequeños porcentajes del 0.9% y 2.6% se encuentran en los niveles P2 y P3, lo cual indica que, si bien es cierto, los valores son bajos, hay un cierto porcentaje de edificaciones que requerirán prioridad para la realización de una evaluación especial. En los últimos niveles no se registran número de edificaciones.

NEC. Una vez aplicado los parámetros del formulario NEC para los levantamientos visuales se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 48

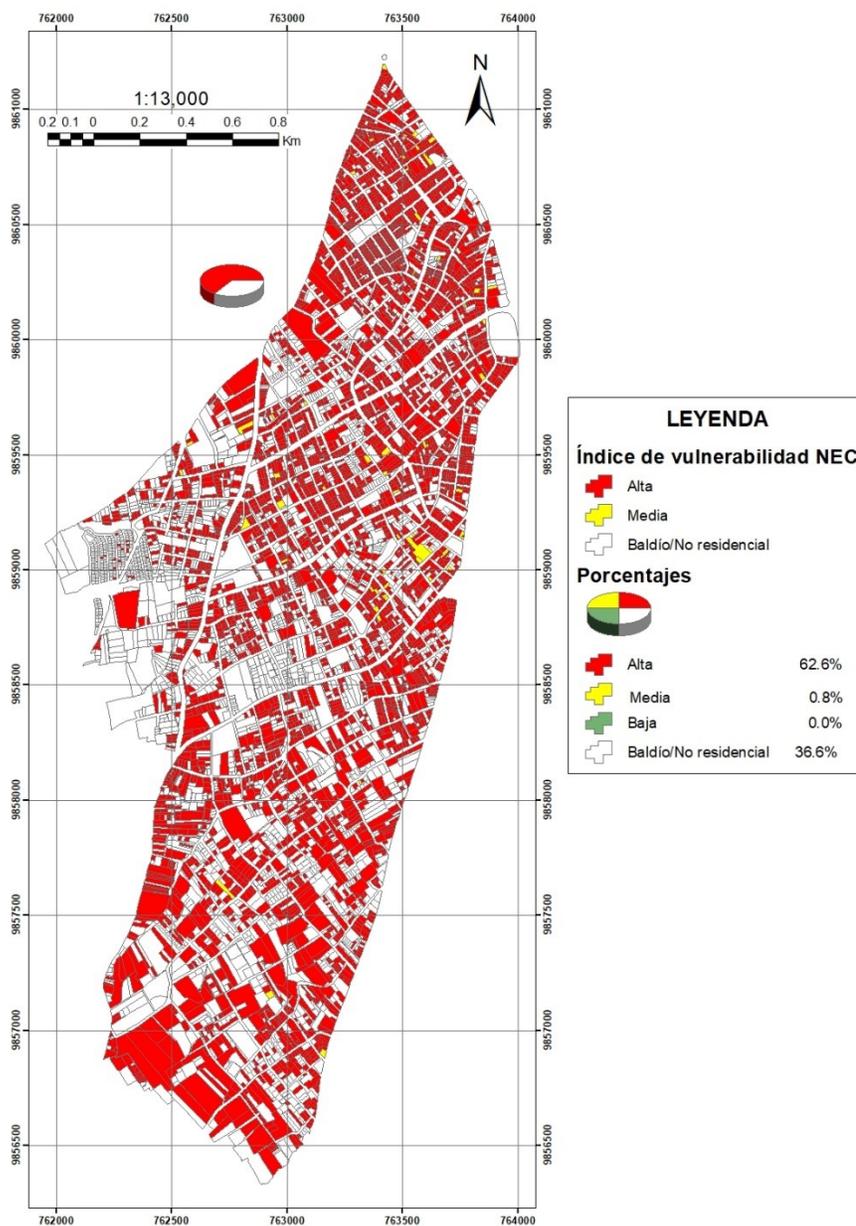
Grado de vulnerabilidad NEC

Grado de vulnerabilidad NEC	# Viviendas	Porcentaje
Alta	4687	62.6
Media	57	0.8
Baja	0	0.0
Baldío/No residencial	2740	36.6

Nota. En la tabla se muestran el grado de vulnerabilidad según NEC de las viviendas de los levantamientos realizados de forma virtual.

Figura 61

Distribución espacial índice de vulnerabilidad NEC parroquia Huachi Chico



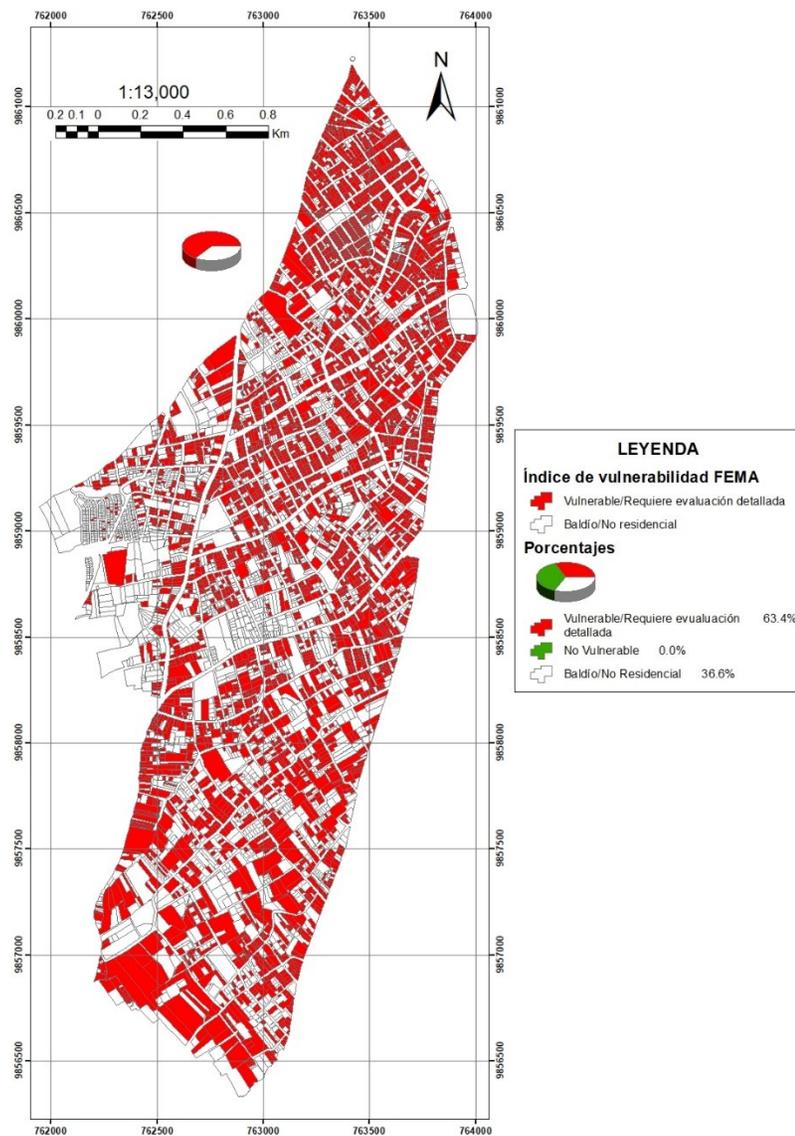
Nota. La figura muestra el índice de vulnerabilidad según NEC para toda la parroquia.

Del gráfico y la tabla mostrada se puede observar que de acuerdo al formulario NEC la parroquia presenta un alto grado de vulnerabilidad con el 62.6%, un pequeño porcentaje del 0.8% presenta un nivel de vulnerabilidad media y no se registra ninguna edificación con vulnerabilidad baja.

FEMA

Figura 62

Distribución espacial índice de vulnerabilidad FEMA parroquia Huachi Chico



Nota. La figura muestra el índice de vulnerabilidad FEMA para toda la parroquia.

Tabla 49

Índice de vulnerabilidad FEMA

Vulnerabilidad FEMA	# Viviendas	Porcentaje
Vulnerable/Requiere evaluación detallada	4744	63.4
No vulnerable	0	0.0

Vulnerabilidad FEMA	# Viviendas	Porcentaje
Baldío/No residencial	2740	36.6

Nota. En la tabla se muestran el grado de vulnerabilidad FEMA de las viviendas de los levantamientos realizados de forma virtual.

Del mapa y la tabla presentados se puede observar que el 63.4% de las edificaciones de la parroquia requieren una evaluación detallada, sin embargo, luego de realizarse el tipo de evaluación en mención se podrá determinar la necesidad y el tipo de reforzamiento adecuado para cada edificación.

GEM. Con la ayuda del programa realizado en MATLAB se determinó la taxonomía GEM para cada una de las edificaciones levantadas de forma virtual, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 50

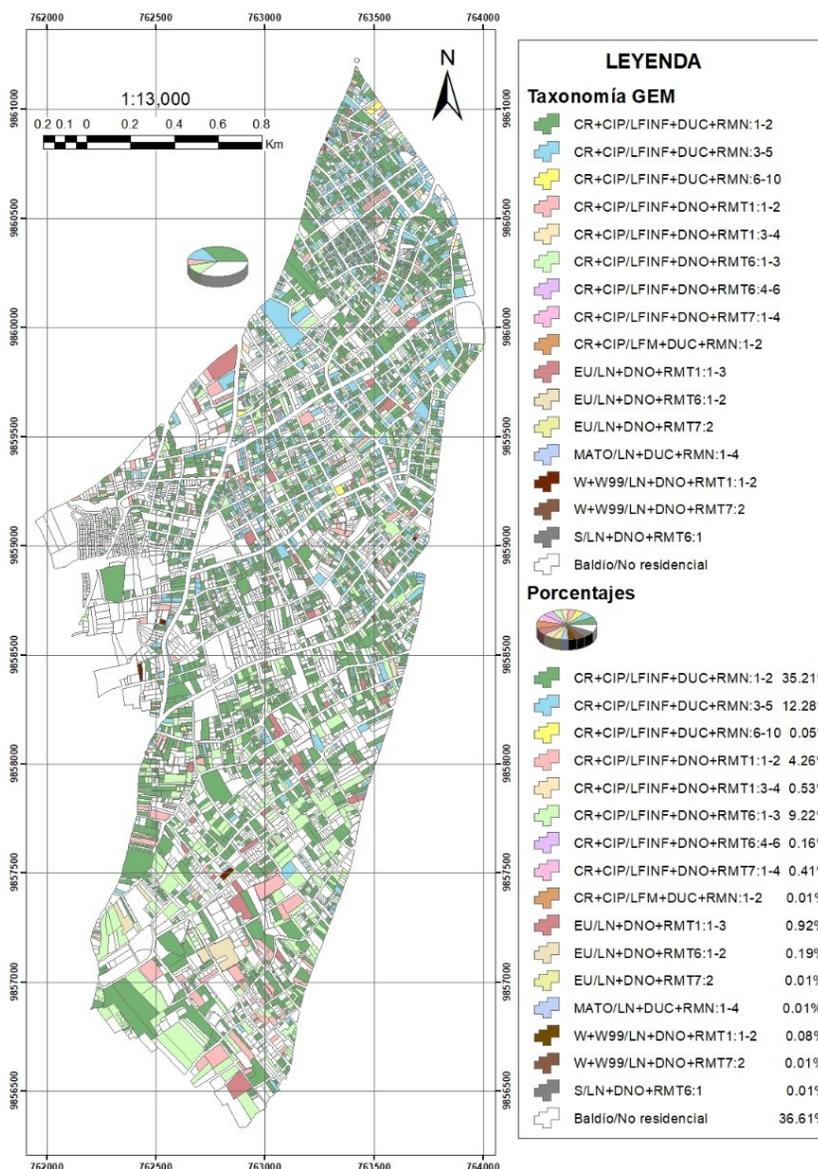
Taxonomía GEM parroquia Huachi Chico

N°	Taxonomía GEM	N° Viviendas	Porcentaje
1	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	2635	35.21
2	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	919	12.28
3	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:6-10	4	0.05
4	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	319	4.26
5	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4	40	0.53
6	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	690	9.22
7	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:4-6	12	0.16
8	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4	31	0.41
9	CR+CIP/LFM+DUC+RMN:1-2	1	0.01
10	EU/LN+DNO+RMT1:1-3	69	0.92
11	EU/LN+DNO+RMT6:1-2	14	0.19
12	EU/LN+DNO+RMT7:2	1	0.01
13	MATO/LN+DUC+RMN:1-4	1	0.01
14	W+W99/LN+DNO+RMT1:1-2	6	0.08
15	W+W99/LN+DNO+RMT7:2	1	0.01
16	S/LN+DNO+RMT6:1	1	0.01
17	No Aplica	2740	36.61

Nota. En la tabla se muestran las taxonomías GEM de las viviendas de los levantamientos realizados de forma virtual.

Figura 63

Distribución espacial taxonomía GEM



Nota. La figura muestra las taxonomías GEM para toda la parroquia.

De la tabla y el gráfico anterior se observa que la tipología predominante corresponde a pórticos de hormigón armado rellenos de mampostería fundidos en sitio, dúctiles con techo de hormigón sin recubrimiento adicional de 1 a 2 pisos con el 35.21% y de 3 a 5 pisos con el 12.28%. Un 9.22% corresponde a los pórticos de hormigón armado fundidos en sitio rellenos de

mampostería no dúctiles con cubierta de hojas metálicas o asbesto; porcentajes pequeños se reparten en el resto de tipologías encontradas.

Validez de los resultados

Para verificar que la muestra levantada refleje la realidad de todas las edificaciones que conforman la parroquia y de este modo definir el modelo de exposición que se utilizará para determinar el riesgo, se compararán los resultados obtenidos en los levantamientos visuales y de campo.

En cuanto al número de pisos se realiza una comparación en los porcentajes de los resultados obtenidos, en donde puede observarse que si bien es cierto los porcentajes difieren en alrededor del 14% para la primera categoría, se mantiene la misma tendencia, puesto que las edificaciones de 1 a 2 pisos son las que predominan en la parroquia. En la segunda categoría se tiene una diferencia mucho mayor del 22% mientras que en la última categoría la diferencia es pequeña, esto es el 0.2%. Es importante notar que la diferencia puede deberse a que existe un porcentaje de alrededor del 37% de terrenos baldíos o cuya ocupación es diferente a la residencial. Además, se evidenció en los levantamientos de campo que muchas edificaciones crecieron en altura al compararse con los datos registrados en el catastro especialmente para las estructuras que no se pudo acceder mediante la herramienta Google Street View, error que puede disminuirse con un factor de corrección para el número de pisos.

Tabla 51

Comparación número de pisos

N° pisos	Porcentajes	
	Campo	Visual
1-2	63.8	49.5
3-5	35.9	13.9
6-10	0.3	0.1

Nota. En la tabla se muestra la comparación de resultados en porcentaje del número pisos en los levantamientos realizados en campo y virtual.

FUNVISIS. En lo que se refiere a vulnerabilidad determinada mediante los formularios en FUNVISIS se tiene lo siguiente:

Tabla 52

Comparación índice de vulnerabilidad FUNVISIS

Calificación de la Vulnerabilidad	Porcentajes	
	Campo	Visual
Muy Elevada	4.3	2.2
Elevada	15.3	6.3
Alta	0.0	0.0
Media Alta	35.2	14.4
Media Baja	29.5	21.1
Baja	15.7	19.3
Muy Baja	0.0	0.0

Nota. En la tabla se muestra la comparación de resultados en porcentaje de la calificación de vulnerabilidad en los levantamientos realizados en campo y virtual.

En este índice se observa que la tendencia se mantiene en un grado de vulnerabilidad media alta y baja para la parroquia, con pequeñas variaciones en porcentaje; considerando el porcentaje de terrenos baldíos o de ocupación no residencial.

Tabla 53

Comparación índice de riesgo FUNVISIS

Calificación del Riesgo	Porcentajes	
	Campo	Visual
Muy Elevado	4.3	2.2
Elevado	14.9	6.3
Alto	53.7	32.0
Medio Alto	23.6	22.8
Medio Bajo	3.4	0.0
Bajo	0.0	0.0
Muy Bajo	0.0	0.0

Nota. En la tabla se muestra la comparación de resultados en porcentaje de la calificación de riesgo en los levantamientos realizados en campo y virtual.

En el índice de riesgo se observa que pese a las variaciones en porcentaje se conserva la tendencia de índice de riesgo alto y medio alto para la parroquia analizada.

Tabla 54

Comparación índice de priorización FUNVISIS

Calificación de Priorización	Porcentajes	
	Campo	Visual
P1	2.0	0.0
P2	1.5	0.9
P3	7.7	2.6
P4	12.3	6.0
P5	23.8	12.3
P6	25.6	18.7
P7	11.3	3.5
P8	12.3	19.3
P9	3.4	0.0
P10	0	0.0
P11	0	0.0
P12	0	0.0

Nota. En la tabla se muestra la comparación de resultados en porcentaje de la calificación de priorización en los levantamientos realizados en campo y virtual.

Para el índice de priorización se observa que los mayores porcentajes tanto para los levantamientos visual y en campo se ubican en los niveles P5, P6, P4 y P8, sin embargo, puede concluirse que la prioridad para una evaluación detallada de las edificaciones de la parroquia se encuentra en un nivel medio.

NEC

Tabla 55

Comparación grado de vulnerabilidad NEC

Grado de vulnerabilidad NEC	Porcentajes	
	Campo	Visual
Alta	67.5	62.6
Media	4.9	0.8
Baja	27.6	0.0

Nota. En la tabla se muestra la comparación de resultados en porcentaje de la calificación del grado de vulnerabilidad NEC en los levantamientos realizados en campo y virtual.

En el grado de vulnerabilidad NEC se observa que al igual que los demás parámetros se conserva la tendencia de que la mayor parte de las viviendas tanto levantadas en campo como visualmente presentan una vulnerabilidad alta seguidas por edificaciones con vulnerabilidad media; sin embargo, se tiene la diferencia de la inexistencia de edificaciones con vulnerabilidad baja en los levantamientos visuales lo cual se debe a que en ciertos lugares, especialmente en las zonas del sur de la parroquia, la herramienta Street View no permite el acceso a pasajes y a determinadas calles; por lo tanto los parámetros solicitados por la base de datos se llenaron considerando la información proporcionada por el catastro municipal y, en cuanto a los datos que debían obtenerse visualmente, se intentó ser conservadores escogiendo los parámetros más desfavorables de conformidad a las viviendas del sector.

FEMA

Tabla 56

Comparación grado de vulnerabilidad FEMA

Vulnerabilidad FEMA	Porcentajes	
	Campo	Visual
Vulnerable/Requiere evaluación detallada	97.8	63.4
No vulnerable	2.2	0.0

Nota. En la tabla se muestra la comparación de resultados en porcentaje de la calificación del grado de vulnerabilidad FEMA en los levantamientos realizados en campo y virtual.

En cuanto a la vulnerabilidad según FEMA P-154 se observa que, en general, las edificaciones en la parroquia son vulnerables y por lo tanto requieren una evaluación detallada. La diferencia en porcentajes se debe a que para la obtención de ellos en los levantamientos visuales se consideró el porcentaje correspondiente a lotes baldíos o con edificaciones de uso diferente al residencial. Del mismo modo, se observa que no se registran edificaciones no vulnerables en los levantamientos residenciales por la misma razón expuesta en la metodología

NEC, al no tener el acceso y visibilidad completa a todas las edificaciones con la herramienta Street View.

GEM. De las tipologías obtenidas tanto en los levantamientos en campo como en los levantamientos visuales, se realizó una comparación entre los porcentajes de las tipologías más frecuentes:

Tabla 57

Comparación taxonomía GEM

N°	Tipología GEM	Porcentaje	
		Campo	Visual
1	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	50.10	35.21
2	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	27.56	12.28
3	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	2.81	4.26
4	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4	1.30	0.53
5	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	2.40	9.22
6	EU/LN+DNO+RMT1:1-3	1.40	0.92
7	EU/LN+DNO+RMT6:1-2	0.30	0.19
8	S/LN+DNO+RMT6:1	0.30	0.01
9	W+W99/LFM+DNO+RMT1:1-2	0.20	0.08
10	W+W99/LN+DNO+RMT6:2	0.10	0.01

Nota. En la tabla se muestra la comparación de resultados en porcentaje de la calificación de las tipologías GEM obtenidas en los levantamientos realizados en campo y virtual.

En total se encontraron 10 tipologías que se presentan en ambos levantamientos, cuyos porcentajes se observan en la tabla anterior pudiéndose notar que hay poca variación, considerando también que en un levantamiento utilizando una herramienta para recorrido virtual resulta complicado determinar de forma exacta el material de techo especialmente en aquellas viviendas con visibilidad limitada.

Modelo de exposición

Zona de estudio

Para la zona de estudio se identificó inicialmente 56 tipologías, que fueron reducidas a 25 luego de realizar un proceso de filtrado y agrupar de conformidad a parámetros comunes, así como el número de pisos. Dichos resultados se muestran en la tabla 50.

Mapping Scheme o esquema de mapeo

Como ya se mencionó en apartados anteriores el mapping scheme o esquema de mapeo consiste en identificar las tipologías estructurales en una base de datos que cuenta con georreferenciación. Una vez que se obtuvo el modelo de exposición de las edificaciones levantadas, se trabajó en una base de datos que contenga el total de predios de la parroquia y sobre ella se realizó el proceso del esquema de mapeo para identificar edificaciones que coincidan con las 25 tipologías determinadas.

Parroquia Huachi Chico

Con la base de datos del total de predios de la parroquia se elaboró el modelo de exposición el cual incluye:

- Id: Se trata de un identificador que en este caso es la ciudad, el uso según la taxonomía GEM y el número.
- La latitud y longitud de la vivienda levantada en la inspección visual.
- La taxonomía que se asignó a cada vivienda mediante el uso del programa de MatLab.
- El número de edificaciones existentes en el predio.
- El costo de la edificación levantada, el cual se obtiene de la multiplicación del costo por metro cuadrado por el área de la edificación.
- La clave catastral
- El material y la tecnología del sistema resistente a carga lateral.
- El sistema resistente a carga lateral.
- La ductilidad y altura
- La zona a la que pertenece el predio.
- La parroquia.
- El área de construcción.

- El costo por metro cuadrado de construcción.

Corrección del número de pisos. Considerando que las imágenes presentadas en Google Street View datan del año 2014, y al realizar la comparación predio por predio de las viviendas levantadas tanto de forma visual como presencial, se observó que la parroquia había experimentado un crecimiento en la altura de sus edificaciones; por lo que, se obtuvo la diferencia en los números de pisos por cada zona con el fin de establecer cuánto debería ser el aumento y a qué número de edificaciones.

En primer lugar, se contabilizó el número de predios por zona, lo cual se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 58

Total de predios por zona

Zona	Total
1	1991
2	1536
3	1862
4	1092
5	1003

Nota. En la tabla se muestra el número total de predios por cada zona de la parroquia.

Considerando la diferencia obtenida en la comparación predio a predio, se obtuvo el porcentaje de viviendas levantadas en campo que no presentan ninguna diferencia en el número de pisos o que difieren en 1, 2, 3 pisos, etc. en los levantamientos presenciales y los realizados con la herramienta Google Street View; este porcentaje se utilizó para determinar el número real de viviendas que requieren corrección para cada zona.

Utilizando una distribución de Poisson se obtuvo la probabilidad de aumento de un determinado número de pisos en 7 años (considerando el año de las fotografías de Google Street View y la fecha de realización los levantamientos).

Tabla 59*Diferencia de pisos zona 1*

Zona 1					
Diferencia	Poisson	# Viviendas (Campo)	Porcentaje (campo)	Porcentaje Poisson	# Viviendas (total)
0	0.70276	213	72.9	70.28	1452
1	0.24789	60	20.5	24.79	409
2	0.04372	15	5.1	4.37	102
3	0.00514	3	1.0	0.51	20
4	0.00045	1	0.3	0.05	7
Total					1991

Nota. La tabla muestra la diferencia de pisos en la zona 1 a la cual se aplica una distribución de Poisson, además se muestra el número real de edificaciones que deben ser corregidas.

Para la zona 1 se tiene que alrededor de un 73% de viviendas no requieren corrección en el número de pisos; además se puede concluir que existe un 25% de probabilidad de que las viviendas aumenten 1 piso en 7 años y un 4% de que aumenten 2. Por lo tanto, se realizará el aumento de 1, 2, 3 y 4 pisos al número correspondiente de viviendas indicadas en la tabla.

Tabla 60*Diferencia de pisos zona 2*

Zona 2					
Diferencia	Poisson	# Viviendas (Campo)	Porcentaje (campo)	Porcentaje Poisson	# Viviendas (total)
0	0.67429	151	74.4	67.43	1143
1	0.26573	33	16.3	26.57	250
2	0.05236	13	6.4	5.24	98
3	0.00688	5	2.5	0.69	38
4	0.00068	0	0.0	0.07	0
6	0.00000	1	0.5	0.00	8
Total					1536

Nota. La tabla muestra la diferencia de pisos en la zona 2 a la cual se aplica una distribución de Poisson, además se muestra el número real de edificaciones que deben ser corregidas.

Para la zona 2 se tiene que alrededor de un 74% de viviendas no requieren corrección en el número de pisos; además se puede concluir que existe un 26% de probabilidad de que

las viviendas aumenten 1 piso en 7 años y un 5% de que aumenten 2. Sin embargo, se aumentará 1, 2,4 y 3 pisos al número de viviendas que corresponda según la tabla para la zona 2, no se realizará el aumento de 6 pisos en virtud de que solamente se tuvo una vivienda en los levantamientos de campo que requiere este aumento y que no existe probabilidad de aumento de 6 pisos en 7 años.

Tabla 61*Diferencia de pisos zona 3*

Zona 3					
Diferencia	Poisson	# Viviendas (Campo)	Porcentaje (campo)	Porcentaje Poisson	# Viviendas (total)
0	0.56553	82	56.94	56.55	1060
1	0.32235	42	29.17	32.23	543
2	0.09187	17	11.81	9.19	220
3	0.01746	1	0.69	1.75	13
4	0.00249	2	1.39	0.25	26
Total					1862

Nota. La tabla muestra la diferencia de pisos en la zona 3 a la cual se aplica una distribución de Poisson, además se muestra el número real de edificaciones que deben ser corregidas.

Para la zona 3 se tiene que alrededor de un 57% de viviendas no requieren corrección en el número de pisos; además se puede concluir que existe un 32% de probabilidad de que las viviendas aumenten 1 piso en 7 años y un 9% de que aumenten 2. Por lo tanto, se aumentarán 1, 2, 3 y 4 pisos al número de viviendas indicado en la tabla para la zona 2.

Tabla 62*Diferencia de pisos zona 4*

Zona 4					
Diferencia	Poisson	# Viviendas (Campo)	Porcentaje (campo)	Porcentaje Poisson	# Viviendas (total)
0	0.53335	79	56.43	53.34	616
1	0.33525	42	30.00	33.53	328
2	0.10536	13	9.29	10.54	101
3	0.02208	4	2.86	2.21	31
4	0.00347	2	1.43	0.35	16
Total					1092

Nota. La tabla muestra la diferencia de pisos en la zona 4 a la cual se aplica una distribución de Poisson, además se muestra el número real de edificaciones que deben ser corregidas.

Para la zona 4 se tiene que alrededor de un 56% de viviendas no requieren corrección en el número de pisos; además se puede concluir que existe un 34% de probabilidad de que las viviendas aumenten 1 piso en 7 años y un 10% de que aumenten 2. Al igual que en el resto de zonas se aumentarán 1, 2, 3 y 4 pisos al número de viviendas indicadas en la tabla.

Tabla 63

Diferencia de pisos zona 5

Zona 5					
Diferencia	Poisson	# Viviendas (Campo)	Porcentaje (campo)	Porcentaje Poisson	# Viviendas (total)
0	0.53129788	109	58.92	53.13	591
1	0.33601001	46	24.86	33.60	249
2	0.10625181	19	10.27	10.63	103
3	0.02239903	11	5.95	2.24	60
Total					1003

Nota. La tabla muestra la diferencia de pisos en la zona 5 a la cual se aplica una distribución de Poisson, además se muestra el número real de edificaciones que deben ser corregidas.

Para la zona 5 se tiene que alrededor de un 59% de viviendas no requieren corrección en el número de pisos; además se puede concluir que existe un 34% de probabilidad de que las viviendas aumenten 1 piso en 7 años y un 11% de que aumenten 2. Para esta zona únicamente se aumentarán 1, 2 y 3 pisos según se indica en la tabla para la zona 5.

Por lo tanto, se procederá a realizar las modificaciones indicadas a las edificaciones que cumplan las siguientes condiciones:

- Su material de paredes sea de bloque o ladrillo.
- El material de techo sea losa de concreto.
- Se considerará que ninguna edificación deberá tener más de 5 pisos.

Para aumentar 1 piso se deberá considerar lo siguiente:

- Se aumentará 1 piso a las edificaciones de más de 120 metros cuadrados hasta los 250 metros cuadrados de área de construcción.

- Se descartan las edificaciones de más de 300 metros cuadrados de área de construcción.
- Para la zona 2 se descartan las edificaciones de 4 y 5 pisos.
- En la zona 3, para completar el número establecido de viviendas se consideraron edificaciones de más de 300 metros cuadrados de área de construcción. Del mismo modo se consideran los terrenos baldíos, tomando en cuenta que en los levantamientos de campo se encontraron predios registrados como baldíos pero que ya tenían una construcción.
- Para la zona 4 se consideran edificaciones menores a 120 metros cuadrados mayores a 300 metros cuadrados de área de construcción, además de varios lotes baldíos para completar el número de edificaciones indicado.
- Para la zona 5 se tomaron en cuenta edificaciones menores a 120 metros y se consideraron varios lotes baldíos para alcanzar el número de edificaciones establecidas.

Para aumentar 2 pisos se realizaron las siguientes consideraciones:

- Se tomaron en cuenta áreas de construcción a partir de 50 metros cuadrados pero menores a 120 metros cuadrados.
- Se consideraron edificaciones de 1 y 2 pisos.
- En la zona 3 se recurrió a edificaciones de 3 pisos y menores a 50 metros cuadrados de construcción para completar el número de edificaciones.

En cuanto al aumento de 2 pisos, se tiene:

- Se consideran áreas de construcción pequeñas.
- Se dará prioridad a edificaciones de 1 y 2 pisos.

Finalmente, para aumentar 4 pisos se consideraron las edificaciones con áreas de construcción más bajas que tengan solamente 1 piso.

Como consideración general, es importante mencionar que como a varios lotes baldíos se les asignó 1 piso se debieron determinar ciertas características para que el programa elaborado le asigne una taxonomía, como:

- Se asume como material de techo al concreto, en virtud de que los aumentos se realizaron a edificaciones de losa de hormigón armado.
- Se asume como material de paredes al bloque puesto que es el material más usado en la parroquia.
- Se toma un valor de 120 metros cuadrados de área de construcción como valor aceptable para una casa de 1 piso.

Tabla 64

Tabla resumen

Pisos/Parámetro	1 piso	2 pisos	3 pisos	4 pisos
Area	Entre 120 y 250 m2	Entre 50 y 120 m2	Áreas de construcción bajas	Áreas de construcción muy bajas
# de pisos	-	Solo viviendas de 1 y 2 pisos	Edificaciones de 1 y 2 pisos	Solo edificaciones de 1 pisos
Zona 1	Descartar áreas > 300m2	-	-	-
Zona 2	Descartar viviendas de 4 y 5 pisos	-	-	-
Zona 3	Considerar áreas > 300m2 y lotes baldíos	Considerar áreas < 50m2 y viviendas de 3 pisos	-	-
Excepciones Zona 4	Considerar áreas > 300m2 y < 120m2 y lotes baldíos	-	-	-
Zona 5	Considerar áreas < 120m2 y lotes baldíos	-	-	-

Nota. La tabla muestra un resumen de las modificaciones realizadas para la corrección del número de pisos.

Obtención del costo de reposición. Para determinar el costo de reposición se utilizó el valor por metro cuadrado establecido en la Revista Técnica de la Cámara de la Construcción de Ambato, en su volumen N° 65 del mes de marzo de 2022, este valor es de una vivienda unifamiliar de dos plantas con acabados de mediana calidad. Para determinar el costo por

metro cuadrado al valor total establecido se le restó el 34.39% correspondiente a acabados, el valor obtenido se dividió para los metros cuadrados de construcción y se tiene que el costo por metro cuadrado sin considerar acabados es de \$254.72. Finalmente, el valor para cada vivienda se obtiene multiplicando este último valor por el área de construcción.

Obtención del número de ocupantes. Para determinar el número de ocupantes por vivienda, se consideró la población de la parroquia Huachi Chico determinada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en año 2010, sin embargo, al haber transcurrido 12 años del censo poblacional se realizó una proyección tomando en cuenta los datos de proyecciones establecidos por el INEC para la ciudad de Ambato.

Utilizando la propuesta metodológica de proyecciones de población 2010-2020 a nivel de distritos y circuitos proporcionado por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo se muestra un modo para estimar la población a partir del cálculo de las proporciones para cada parroquia que conforma la ciudad, mediante la división de la población de cada parroquia para la población total del cantón expresado en forma de porcentaje, obteniendo el valor de 6.6 para la parroquia de Huachi Chico.

Tabla 65

Distribución de la población a nivel de cada parroquia según el censo 2010 (zona urbana)

CENSO 2010		
Parroquia	Población	Distribución
Atocha-Ficoa	13490	4.09
Celiano Monge	34565	10.48
Huachi Chico	21766	6.60
Huachi Loreto	31535	9.56
La Matriz	21433	6.50
La Merced	14266	4.32
La Península	10502	3.18
Pishilata	11417	3.46
San Francisco	6211	1.88

Nota. La tabla muestra la distribución de la población por parroquia urbana de la ciudad.

Con las distribuciones encontradas a la población proyectada se calcula las poblaciones de cada una de las parroquias, multiplicando la distribución por la población proyectada al 2020 de todo el cantón que consiste en 387309 habitantes.

Tabla 66

Proyecciones de población de las parroquias de la zona urbana del cantón Ambato

Parroquia	Proyección 2020	
	Distribución	Población
Atocha-Ficoa	4.09	15840
Celiano Monge	10.48	40585
Huachi Chico	6.60	25557
Huachi Loreto	9.56	37028
La Matriz	6.50	25166
La Merced	4.32	16751
La Península	3.18	12331
Pishilata	3.46	13406
San Francisco	1.88	7293

Nota. La tabla muestra la proyección de la población para las parroquias urbanas del cantón Ambato en el año 2020.

El valor de la población de Huachi Chico correspondiente a 25557 habitantes se distribuirá para el número total de edificaciones de la parroquia (en este caso será la suma del número de construcciones registradas en cada predio) obteniéndose un valor de 3.55 habitantes por edificación.

Es importante mencionar, que las proyecciones de población obtenidas mediante esta metodología constituyen un ejercicio académico, en donde los valores obtenidos no coinciden de forma exacta con los valores oficiales proyectados para cada cantón, pero pueden tomarse como una referencia para tomar decisiones (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Septiembre, 2013).

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se determinó, a partir de los levantamientos en campo, que la mayor parte de las edificaciones levantadas presentan alturas entre 1 y 2 pisos (63.8%), además la mayoría de estructuras son regulares tanto en planta como en elevación con porcentajes del 61% y 62.5% respectivamente. Para la metodología FUNVISIS se obtuvo un total de 10 tipologías, siendo la más predominante los pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloque de arcilla o de concreto con un 66.9; para la metodología FEMA se obtuvieron 10 tipologías siendo la predominante las construcciones con pórticos y muros de relleno de mampostería no reforzado con el 57.9%; para la metodología NEC se tienen 10 tipologías en donde predominan los pórticos de hormigón armado con mampostería confinada sin refuerzo con un 55.3%; finalmente para las tipologías GEM se obtuvieron un total de 25 tipologías. En cuanto a la metodología FUNVISIS, las edificaciones levantadas presentan una vulnerabilidad media alta con un 35.2%, un índice de riesgo alto con un 53.7% y un índice de priorización 6, lo cual indica que las edificaciones tendrán una prioridad media al momento de decidir si requerirán una evaluación detallada. Para la metodología NEC se obtuvo un grado de vulnerabilidad alta y para la metodología FEMA se obtuvo que un 97.8% de edificaciones son vulnerables, por lo tanto, requieren evaluación detallada.
- A partir de los levantamientos visuales, se determinó que la parroquia presenta edificaciones entre 1 y 2 pisos con un porcentaje de 19.6% y 29.9% respectivamente. El material predominante de techo corresponde al hormigón con un 47.6% y de paredes de bloque y ladrillo con porcentajes de 43.5 y 18.6%. En cuanto a los puntajes obtenidos, para la metodología FUNVISIS se tiene que el

índice de vulnerabilidad de la parroquia corresponde a media alta y media baja con el 14.4% y 21.1%, el índice de riesgo es alto con el 32% y el índice de priorización se encuentra en P6 y P8. Para la metodología NEC, se determina que la parroquia presenta un alto grado de vulnerabilidad con el 62.6% y para la metodología FEMA se concluye que las edificaciones en la parroquia son vulnerables y que por lo tanto requieren evaluación detallada. Finalmente, para la taxonomía GEM las tipologías se redujeron a 16 predominando los pórticos de hormigón armado rellenos de mampostería fundidos en sitio, dúctiles con techo de hormigón sin recubrimiento adicional de 1 a 2 pisos y de 3 a 5 pisos.

- Una vez realizada la validación de resultados mediante la comparación de la información obtenida mediante los levantamientos visuales y de campo, se determinó que si bien es cierto los porcentajes difieren entre uno y otro se mantiene la misma tendencia para cada parámetro analizado, las diferencias obtenidas pueden deberse a que en ciertos lugares, especialmente en la parte sur de la parroquia, Google Street View no permite el acceso a pasajes y a determinadas calles por lo que, varias características, se llenaron considerando la información proporcionada por el catastro municipal y un criterio conservador escogiendo los parámetros más desfavorables para las viviendas sector.
- Se concluye que es necesario realizar una corrección del número de pisos debido a la desactualización del catastro y a la antigüedad de las fotos de Google Street View, considerando el crecimiento de la ciudad observado al realizar los levantamientos visuales.
- Una vez revisados los resultados de vulnerabilidad obtenidos mediante los formularios, se concluyó que la parroquia Huachi Chico presenta una vulnerabilidad media-alta, por lo cual es importante comenzar a estudiar y planificar planes de reforzamiento.

- Se evidenció la importancia de este tipo de trabajos como un primer paso para evaluar técnicamente el riesgo sísmico utilizando formatos internacionales como la metodología empleada por el proyecto SARA (South America Risk Assessment) a través de GEM (Global Earthquake Model).
- Se determinó que mediante la inspección visual rápida de edificaciones y la identificación de las características de cada una de ellas recopiladas mediante los formularios permitió conocer las edificaciones típicas de la parroquia a través de 16 tipologías de acuerdo a la taxonomía GEM y con el modelo de exposición realizado se podrá determinar pérdidas humanas y económicas, lo cual permitirá la creación de planes mitigación de riesgos.
- Se concluyó que es necesario continuar y profundizar el trabajo realizado con el objetivo de preparar y por lo tanto dar resiliencia a la sociedad mediante el trabajo conjunto con organismos estatales y la academia.
- Se observó que todas las metodologías aplicadas proporcionan información importante para este tipo de estudios, sin embargo, FEMA únicamente califica a las edificaciones como vulnerables o no vulnerables, descartando calificaciones de vulnerabilidad media que permiten establecer condiciones de priorización al momento de decidir a qué número de estructuras se deberá aplicar una evaluación más detallada. Por otro lado, NEC establece tres categorías de evaluación de vulnerabilidad: alta, media y baja, a diferencia de la metodología FEMA; FUNVISIS, por su parte, muestra una forma completa para calificar la vulnerabilidad, al determinar tres índices importantes: riesgo, vulnerabilidad y priorización, lo cual hace que sea una metodología que considera todas las características de una edificación, y está basada en estudios que sin bien es cierto son de Venezuela, pueden aplicarse al Ecuador, convirtiéndose en una metodología recomendable para ser aplicada en nuestro país. La taxonomía GEM, proporciona una forma

ordenada para clasificar a las estructuras considerando todos los parámetros que la caracterizan, el usuario podrá definir aquellos que le sean de mayor utilidad de acuerdo al objetivo de investigación; de este modo de podrán determinar las tipologías frecuentes en un grupo de edificaciones pudiendo así asociarlas con curvas de vulnerabilidad obtenidas en otras investigaciones. Dicha metodología supera a las demás que proporcionan una forma muy generalizada para determinar las tipologías estructurales.

- Se determinó que los objetivos de investigación tanto generales como específicos se cumplieron en su totalidad, puesto que fue posible la aplicación de las tres metodologías: NEC, FEMA y FUNVISIS para realizar una evaluación visual rápida de edificaciones residenciales que componen la parroquia Huachi Chico, mediante entrevistas de corta duración a los propietarios de una muestra de edificaciones quienes proporcionaron la información necesaria para completar los formularios. Mediante las inspecciones realizadas se determinó que, especialmente en las zonas de la parte sur de la parroquia existe una gran cantidad de construcciones por lo tanto existe una falta de control de construcciones en el sector. Finalmente, con la experiencia obtenida se creó una guía para la elaboración de estudios de vulnerabilidad sísmica con el fin de proporcionar instrucciones sencillas que ayuden a aquellas personas interesadas en realizar este tipo de estudios.
- Se determinó un valor de costo de reposición y un número aproximado de habitantes por cada vivienda, los mismos que pueden ser utilizados para obtener mapas de pérdidas tanto humanas como económicas.

Recomendaciones

- Es importante desarrollar un plan integral de prevención de vulnerabilidad y riesgo sísmico con el fin de evitar pérdidas humanas y económicas.

- Es necesario realizar un correcto seguimiento y control de construcciones para aquellas edificaciones nuevas con el fin de verificar el cumplimiento de normativas.
- Es importante informar a la ciudadanía de la realización de este tipo de estudios mediante medios de comunicación para tener un acceso más sencillo a la información.
- Con el fin de contar con una información de calidad es necesario tener levantamientos detallados y una base catastral actualizada.
- Es necesario que el personal que participe en la realización de los levantamientos se capacite en el manejo de formularios y se uniformicen los criterios con el objetivo de que la base de datos contenga el menor número de errores.
- Para facilitar el manejo de la información es importante la creación de bases de datos automatizadas que permita disminuir los errores y de esta manera sea más sencillo el proceso de depuración.

Referencias

- Aguilar, R., & Rivas, A. (2018). *Microzonificación Sísmica de Ambato*. Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.
- Aguilar, A. (20 de Agosto de 2008). *Análisis de vulnerabilidad no estructural del Hospital de Solca de la ciudad de Ambato y sus consecuencias*. Ambato, Tungurahua, Ecuador: IAEN Diplomado Superior en Gestión Integral de Riesgos y Desastres.
- Aguilar-Barojas, S. (2005). Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 333-338. Obtenido de Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud: <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>
- Ahumada, P. (Agosto de 2005). *Uso de sistemas de información geográfica en los estudios de riesgo sísmico: Aplicación al análisis de sistemas de tuberías*. México D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.
- Albarracín, A. (2019). *Aplicación de metodologías simplificadas de pre-evento sísmico, para la determinación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la UCE*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Alvarez, J., & Pulgar, X. (30 de Agosto de 2019). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de vulnerabilidad (FEMA P-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Brzev, S., Scawthorn, C., Charleson, A., Allen, L., Greene, M., Jaiswal, K., & Silva, V. (2013). *GEM Building Taxonomy Version 2.0*. Pavia: GEM Foundation.
- Burton, C., Monelli, D., Crowley, H., & Pagani, M. (2014). OpenQuake, a platform for collaborative seismic hazard and risk assessment. *Seismological Research Letters* Volume 85, Number 3.
- Caballero, Á. (15 de Julio de 2007). *Determinación de la Vulnerabilidad Sísmica por medio del Método del Índice de Vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el Centro Histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del Sistema de Información Geográfica*. Sincelejo: Universidad del Norte.
- Cabezas, J. (17 de Agosto de 2016). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Edificio de la Facultad de Comunicación Social, de la Universidad Central del Ecuador, utilizando la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-RE, 2015)*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Caicedo, C., Barbat, A., Canas, J., & Aguilar, R. (1994). *Vulnerabilidad sísmica de edificios*. Barcelona: Monografías de Ingeniería Sísmica Editor A.H Barbat.
- Callejas, A. (2015). *Estudios y diseños definitivos línea de sub-transmisión "El Batán" provincia de Tungurahua- cantón Ambato*. Ambato: Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.

- Castro-Herrera, M. (2019). *Inspección sísmica visual rápida de los edificios de la Universidad de Piura por el Método FEMA 154*. Piura, Perú: Universidad de Piura.
- Celi, C. (21 de Febrero de 2022). *Por qué como sociedad no nos preparamos ante sismos?* Obtenido de Programa de conferencias "El conocimiento no se detiene" Dr. Roberto Aguiar: https://ceincilab.wordpress.com/conferencias_raf/
- Celi, C., Pantoja, J., Ayala, C., & Sosa, D. (2016). Capacity Curves of Structural Typologies of Quito - Ecuador, Project GEM -. *Revista PUCE*, 41-79.
- Chicaiza, M. (Junio de 2017). *Modelo de Exposición y Mapa de Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Coronel, G. (11 de Julio de 2022). *Vulnerabilidad, riesgo y resiliencia de las construcciones*. Obtenido de Programa de conferencias "El conocimiento no se detiene" Dr. Roberto Aguiar: https://ceincilab.wordpress.com/conferencias_raf/
- Correa, C. (2016). *Análisis comparativo de las metodologías para la evaluación de daños estructurales en edificaciones luego de un evento sísmico*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Cueva, C. (2 de Marzo de 2017). *Vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015)* . Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Diario La Hora. (6 de Agosto de 2019). En Ambato 7 de cada 10 construcciones son informales. *Diario La Hora*, págs. A1-A3.
- Diócesis de Ambato. (2015). Obtenido de San Roque de Huachi Chico: <https://diocesisambato.org/locations/huachi-chico/>
- Escuela Politécnica Nacional, GeoHazards Internacional, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, ORSTOM, Q., & OYO Corporation. (1995). *Proyecto para el manejo del riesgo sísmico de Quito*. Quito: TRAMA.
- Esquivel, L. (2020). *Inventario de edificaciones del cantón de San José para el caso específico de amenaza sísmica utilizando el método de mapeo ambiental rápido* . Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- FEMA P-154. (Enero de 2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, third edition*.
- FEMA P-155. (January 2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation*. Thrid Edition.
- Fernández, I., Gómez, A., Carchipulla, N., Bonucci, Y., & Pavón, M. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de 97 edificaciones de la "Comuna Santa Clara de San Millán", Quito. *EÍDOS UTE Revista*.
- GAD Municipalidad de Ambato. (1954). *Ordenanza Municipal de Creación y Delimitación de las Parroquias Urbanas de Ambato*. Ambato.

- GAD Municipalidad de Ambato. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Ambato.
- GAD Municipalidad de Ambato. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Ambato 2050.
- GAD Municipalidad de Ambato. (17 de Febrero de 2021). *Fallas Geológicas del cantón Ambato*. Ambato, Tungurahua, Ambato.
- Global Earthquake Model. (2022). *OpenQuake Engine User Instruction Manual version 3.13.0*. Obtenido de <https://docs.openquake.org/manuals/OpenQuake%20Manual%20%28latest%29.pdf>
- Global Earthquake Model GEM. (s.f.). *Global earthquake model maps*. Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/gem/>
- Global Earthquake Model GEM. (s.f.). *Integrated and collaborative seismic risk assesment*. Obtenido de <https://storage.globalquakemodel.org/what/regions/south-america/>
- Gobierno Bolivariano de Venezuela. (s.f.). *FUNVISIS*. Obtenido de Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas: <http://www.funvisis.gob.ve/index.php>
- Gobierno Provincial de Tungurahua. (2015-2017). *Agenda Tungurahua desde la Visión Territorial*. Tungurahua.
- Gómez, W., & Loayza, A. (2014). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Centros de Salud del Distrito de Ayacucho*. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Guerrero, M. (9 de Junio de 2014). *El conocimiento de las leyendas comunitarias y la memoria histórica de la comunidad ambateña en los centros educativos fiscales del área urbana del cantón Ambato- Parroquia Huachi Chico en el periodo Septiembre 2011- Julio 2012*. Ambato, Tungurahua, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Instituto Geofísico EPN. (17 de abril de 2016). Obtenido de Evaluación de intensidades sismo en Pedernales: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1316-informe-sismico-especial-n-12-2016>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. (2010). *Ficha de Cifras Generales Ambato-Tungurahua*. Ambato.
- Lagomarsino, S., & Cattari, S. (2013). Seismic Vulnerability of Existing Buildings: Observational and Mechanical Approaches for Application in Urban Areas. En *Seismic Vulnerability of Structures*. Philippe Gueguen.
- Lanziano, R., & Clavijo, F. (Octubre de 2019). *Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica de Corregimiento de Otaré y del Barrio Betania, en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander, aplicando la metodología del Manual FEMA P-154*. Ocaña, Colombia: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Llanos, L., & Vidal, L. (2003). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: una propuesta metodológica*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.

- López , Ó., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). Índices de priorización para la gestión del riesgo sísmico en edificaciones existentes. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol.29, N° 4*, 107-126.
- López , W., Marcillo, R., Pilco, R., & Villamizar, V. (10 de Septiembre de 2021). *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- López , W., Marcillo, R., Pilco, R., & Villamizar, V. (10 de Septiembre de 2021). *Vulnerabilidad estructural de cuatro edificaciones en el Campus Sangolquí de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.
- Maldonado, E., Jaspón, N., & Chio Cho, G. (2010). Funciones de vulnerabilidad calculadas para edificaciones en muros de hormigón reforzado . *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 25 No. 1*, 63-82.
- Martínez, S. (28 de abril de 2014). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación de la ciudad de Lorca, región de Murcia. Madrid, España.
- Mattos, F. (2014). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica del edificio municipal del distrito de Río Negro a través del método de Hirosawa* . Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- MIDUVI. (s.f.). Obtenido de Presentación Norma Ecuatoriana de la Construcción: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/presentacion-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- MIDUVI. (2016). *Guía Práctica de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Moncayo, M., Velasco, G., Mora, C., Montenegro, M., & Cordova, J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala de Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Ingeniería, vol. 21*, 55-64.
- NEC-SE-DS. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.
- Noel, J. (2019). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica aplicando el método italiano para determinar el riesgo sísmico en las viviendas de adobe de la Quinta Los Virreyes del Rímac*. Lima, Perú: Universidad San Martín de Porres.
- Núñez, K. (2016). *Aplicación de la Evaluación Técnica Visual de estructuras ante fenómenos naturales, para cuatro puentes que atraviesan el río Santa Clara, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha*. Quito, Pichincha, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Parra, H., Benito, M., Gaspar, J., Fernández, A., Luna, M., & Molina, X. (2017). *Estimación de la peligrosidad sísmica en Ecuador continental*. Sangolquí, Tungurahua, Ecuador: Publicaciones científicas Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

- Quinde, P. (25 de Abril de 2022). *Identificación de edificios con riesgo sísmico alto: aplicación en ciudad de México*. Obtenido de Programa de conferencias "El conocimiento no se detiene" Dr. Roberto Aguiar: https://ceincilab.wordpress.com/conferencias_raf/
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: Corporación Editora Nacional.
- Rodríguez, Y., Aguilar-Meléndez, A., & Palazzo, G. (2021). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de un conjunto de edificios educacionales en Ecuador*. Argentina: 26° Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural.
- Rosser, J., Morley, J., & Vicini, A. (Enero de 2014). User Guide: Android mobile tool for field data collection. Global Earthquake Model GEM.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (Septiembre, 2013). *Propuesta Metodológica de Proyecciones de Población 2010-2020 a nivel de distritos y circuitos*. Quito.
- Silva, J. (Junio de 2017). *Guía de Reforzamiento para estructuras informales aporticadas según estudio de vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Vicente, R., Parodi, S., Varum, H., Lagomarsino, S., & Mendes, J. (2010). Seismic vulnerability and risk assesment: case study of the historic city centre of Coimbra, Portugal. *Bull Earthquake Eng* (2011), 1067-1096.
- Villar-Vega, M., Silva, V., M.EERI, Crowley, H., Yepes, C., Tarque, N., . . . Santa María, H. (2017). *Development of a Fragility Model for the Residential Building Stock in South America*. Earthquake Spectra.
- Yépez, F., Barbat, A., & Canas, J. (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. España: Editor A.H Barbat.

Apéndices