



**Generación de un modelo de exposición y vulnerabilidad visual sísmica de edificaciones residenciales existentes en la parroquia Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua utilizando herramientas Open Source de la fundación “Global Earthquake Model”.**

Araujo Franco, Christian Eduardo; Escalante López Daniel Alejandro; Escobar Acurio, Karina Micaela; Ligña Conza, Jefferson Hernán; Ordoñez Sosa, Andree Rafael; Paredes Dávila, Raúl Alejandro y Ruiz Cazar, Francisco Fernando.

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera De Ingeniería Civil

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Poveda Hinojosa, José Daniel MSc.

10 de marzo del 2022



TESIS\_ARAUJO\_ESCALANTE\_ESCOBAR\_LIGÑA\_ORDOÑEZ\_PA...

Scanned on: 20:23 March 3, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	207
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Omitted Words	570

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
JOSE DANIEL  
POVEDA  
HINOJOSA

.....  
Ing. Poveda Hinojosa, José Daniel MSc.

C.C 1717467235



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de integración curricular, **“Generación de un modelo de exposición y vulnerabilidad visual sísmica de edificaciones residenciales existentes en la parroquia Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua utilizando herramientas Open Source de la fundación Global Earthquake Model”** fue realizado por los señores **Araujo Franco, Christian Eduardo; Escalante López Daniel Alejandro; Escobar Acurio, Karina Micaela; Ligña Conza, Jefferson Hernán; Ordoñez Sosa, Andree Rafael; Paredes Dávila, Raúl Alejandro y Ruiz Cazar, Francisco Fernando**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de marzo del 2022.

Firma:



.....  
Ing. Poveda Hinojosa, José Daniel MSc.

C.C 1717467235



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros, **Araujo Franco, Christian Eduardo; Escalante López Daniel Alejandro; Escobar Acurio, Karina Micaela; Ligña Conza, Jefferson Hernán; Ordoñez Sosa, Andree Rafael; Paredes Dávila, Raúl Alejandro y Ruiz Cazar, Francisco Fernando**, con cédulas de ciudadanía No. **1725863532, 1726339391, 1805278643, 1726513185, 1722781786, 0202129862 y 0604313841**, respectivamente, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Generación de un modelo de exposición y vulnerabilidad visual sísmica de edificaciones residenciales existentes en la parroquia Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua utilizando herramientas Open Source de la fundación Global Earthquake Model”**, es de nuestra 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, 10 de marzo del 2022.

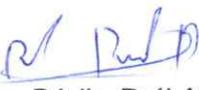
  
Araujo Franco, Christian Eduardo  
CC:1725863532

  
Escalante López Daniel Alejandro  
CC: 1726339391

  
Escobar Acurio, Karina Micaela  
CC: 1805278643

  
Ligña Conza, Jefferson Hernán  
CC:1726513185

  
Ordoñez Sosa, Andree Rafael  
CC:1722781786

  
Paredes Dávila, Raúl Alejandro  
CC: 0202129862

  
Ruiz Cazar, Francisco Fernando  
CC:0604313841



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Araujo Franco, Christian Eduardo; Escalante López Daniel Alejandro; Escobar Acurio, Karina Micaela; Ligña Conza, Jefferson Hernán; Ordoñez Sosa, Andree Rafael; Paredes Dávila, Raúl Alejandro y Ruiz Cazar, Francisco Fernando**, con cédulas de ciudadanía **No. 1725863532, 1726339391, 1805278643, 1726513185, 1722781786, 0202129862 y 0604313841**, respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Generación de un modelo de exposición y vulnerabilidad visual sísmica de edificaciones residenciales existentes en la parroquia Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua utilizando herramientas Open Source de la fundación Global Earthquake Model”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de marzo del 2022.

Araujo Franco, Christian Eduardo  
CC:1725863532

Escalante López Daniel Alejandro  
CC: 1726339391

Escobar Acurio, Karina Micaela  
CC: 1805278643

Ligña Conza, Jefferson Hernán  
CC:1726513185

Ordoñez Sosa, Andree Rafael  
CC:1722781786

Paredes Dávila, Raúl Alejandro  
CC: 0202129862

Ruiz Cazar, Francisco Fernando  
CC:0604313841

## DEDICATORIA

A Dios, mis padres Jack, Rosa, mis hermanos y abuelos, quienes han sido el eje fundamental de mi desarrollo académico, profesional y personal, con su amor, cariño comprensión y constancia; dedico especialmente este trabajo y los venideros a mi abuelo Marco, quien me ha acompañado con su apoyo incondicional y confianza, quien infundió en mí la pasión al estudio, trabajo y me permitió tener desde mi primera calculadora, hasta ahora mi primer proyecto laboral.

***Christian Araujo***

A mis padres, Paco y Marybel, por haberme forjado como la persona que soy y haberme acompañado en todo el camino brindándome su apoyo incondicional, amor y comprensión, motivándome día a día a alcanzar mis sueños. A mi familia y amigos por acompañarme en esta travesía.

***Karina Escobar***

El presente trabajo lo dedico a mi abuelo Leónidas, por darme la fuerza, por enseñarme lo fundamental de la vida, por el ejemplo brindado y sobre todo por el cariño que supo regalarme durante los años que estuvo a mi lado.

A mis padres Jenny y Marcelo quienes con esfuerzo y dedicación me han forjado a ser el hombre que soy, quienes pese a cualquier adversidad nunca permitieron que la vida me incomodara, quienes son mi mayor admiración y ejemplo a seguir como seres humanos y pareja, porque sin ellos nada de esto sería posible y sobre todo porque los amo con mi vida.

***Daniel Escalante***

A mis padres Julio y Mónica, quienes han sido los pilares fundamentales de mi formación como persona y como profesional, quienes estuvieron en cada momento que los necesité con su consejo y apoyo incondicional, ellos que sentaron en mí las bases de responsabilidad y los deseos de superación para llegar a ser alguien mejor cada día.

**Jefferson Ligña**

A mi familia y a todas las personas que me brindaron su apoyo durante todo este proceso y nunca dudaron de mí.

**Andree R. Ordóñez Sosa**

A todos quienes estuvieron junto a mí en este largo trecho.

*“Independientemente de cómo se viaje, de los atajos que se tomen, del cumplimiento o no de las expectativas, uno siempre acaba aprendiendo algo”*

*(Jack Kerouac)*

**Raúl Paredes**

Dedico ese trabajo a mi familia que me supo acompañar y formar desde tempranas edades, me enseñó que los objetivos se construyen al día a día y que ser alguien respetoso y responsable me ayudaría a cumplir mis metas.

**Francisco Ruíz**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco primeramente a Dios quien me colma de bendiciones cada día y me da fuerzas, a mis padres y abuelos por su apoyo incondicional y amor, a mis hermanos por su camaradería, a mis amigos que han estado conmigo en toda época con sus frases de aliento. A cada uno de mis docentes por impartir sus conocimientos y fomentar en mí el deseo de investigar y aprender. A la carrera de Ingeniería Civil, por enseñarme que los retos difíciles son posibles superar con ahínco y predisposición.

***Christian Araujo***

A Dios y a la Virgen por brindarme salud, fortaleza y entendimiento para lograr este objetivo. A mis padres, Paco y Marybel, mis hermanos, Pamela y Ariel, por su paciencia y apoyo a la distancia durante estos años de estudio con palabras de aliento en los momentos difíciles. A mis amigos, Emilio y Carolina, que fueron mi nueva familia y estuvieron presentes en los buenos y malos momentos apoyándome, brindándome un buen consejo y compartiendo sonrisas. A mi querida Universidad que me abrió sus puertas para tan grandiosa experiencia y a mis docentes por compartir sus conocimientos y guiarme hasta este gran objetivo.

***Karina Escobar***

A Dios y a la santísima Virgen María por acompañarme en los momentos de duda y dolor y por guiarme por el camino del bien.

A mi madre Jenny López, quien nunca dejo que saliera de casa con el estómago vacío, una bendición y un beso, quien con su carácter fuerte y vos dulce supo aconsejarme para que no me desviara del buen camino, a mi padre Marcelo Escalante, quien, con su esfuerzo diario, nunca permitió que me faltara nada, con su silencio me

supo decir muchas cosas más que cualquier consejo, quien es un ejemplo para mi vida, quien me enseñó que a un hombre vale lo que vale su palabra.

A mis hermanas, gracias a ellas el llegar a mi casa es llegar a mi hogar, por las sonrisas que me han regalado, por inspirarme a ser un ejemplo digno de seguir, por apoyarme en momentos difíciles, y sobre todo porque por ellas daría la vida y a mi hermano, quien ha sido parte fundamental de mi crecimiento como persona.

***Daniel Escalante***

Agradezco a Dios por darme salud y permitirme pasar por una buena experiencia en la Universidad y así poder llegar a cumplir la meta de ser profesional.

Agradezco a mis padres por estar siempre en los buenos y malos momentos, a mis compañeros y amigos por las experiencias vividas que nos acordaremos a través de los años, gracias a todos ellos por estar presentes en cada paso de mi formación profesional.

***Jefferson Ligña***

Primeramente, agradezco a mis padres Alex y Amparito por siempre confiar en mí, por los valores y principios que me han inculcado y sobre todo por ser mis mejores guías de vida. Gracias, por tanto.

A mi hijo Isaac y mi pareja Karen por ser ese motor que impulsa mis sueños y esperanzas, gracias por su apoyo incondicional pese a las adversidades que se presentaron, siempre me llenaron de amor y motivación para seguir adelante.

Agradezco infinitamente a mi hermano Alan, por ser la primera persona que me vio como un ejemplo y con sus palabras me hace sentir orgulloso de lo que soy y de lo que te puedo enseñar. Gracias también a mi familia y amigos por haber sido una parte fundamental de mi vida y brindarme todo su apoyo.

**Andree R. Ordóñez Sosa**

*“Nunca es demasiado tarde o, en algún caso, demasiado pronto para ser quien quieres ser. No hay límite de tiempo, empieza cuando quieras. Puedes cambiar o no hacerlo, no hay normas al respecto. De todo podemos sacar una lectura positiva o negativa... Espero vivas una vida de la que sientas orgullo. Y si ves que no es así, espero que tengas la fortaleza para empezar de nuevo”. (F. Scott Fitzgerald)*

**Raúl Paredes**

Agradezco a todas las personas que me acompañaron de tantos modos en esta travesía. A mi Familia, amigos y profesores que sin su apoyo no hubiera sido la misma historia. Y de una manera especial quiero agradecer a mi madre y mi abuelo que siempre fueron quienes me impulsaron y creyeron en mí. Les debo todo lo que soy y lo que llegare a ser.

**Francisco Ruíz**

Queremos agradecer de parte de todo el equipo de investigación al Ms. José Poveda por todo el apoyo y conocimientos brindados a lo largo de la investigación, también agradecemos a la Ing, Fabiana Cunalata y a sus padres por la cálida bienvenida en la ciudad de Ambato y todo el apoyo estratégico brindado sin el cual no hubiera sido posible la culminación del trabajo de titulación.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1: PROBLEMA.....	23
Planteamiento del problema .....	23
Formulación del problema .....	24
Antecedentes .....	24
Justificación e importancia.....	25
Objetivos .....	27
Objetivo General.....	27
Objetivos Específicos .....	27
Hipótesis .....	28
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	29
Estado del Arte.....	29
Evaluación del riesgo de Sudamérica (SARA) .....	30
Proyectos Colombianos.....	32
Antecedentes de la investigación .....	34
Fundamentación teórica .....	36
Análisis de Riesgo Sísmico.....	36
Riesgo sísmico .....	36
Mapa de Vulnerabilidad .....	37
Modelo de Exposición.....	52
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....	56
Modalidad de Investigación .....	56

Niveles de Investigación .....	56
Población y Muestra .....	57
Población.....	57
Muestra – Cantidad de Edificaciones.....	57
Técnicas de recolección de datos.....	58
Recolección de datos en campo .....	58
Recolección de datos visual .....	67
Validez y Confianza.....	69
Procedimiento de validación: .....	69
Técnicas de Análisis de datos .....	69
Análisis de datos de levantamientos de campo .....	70
Análisis de datos visuales.....	70
Análisis de datos en software QGIS .....	70
Obtención de tipologías con Matlab.....	70
Análisis de vulnerabilidad física con OpenQuake (OQ).....	71
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
Población y muestra .....	76
Resultado de datos del levantamiento en campo .....	77
Características de la edificación .....	78
Tipologías GEM.....	103
Vulnerabilidad sísmica.....	105

Riesgo sísmico .....	107
Resultados de datos de levantamiento visual .....	107
Características de la edificación .....	108
Esquema de mapeo.....	122
Vulnerabilidad sísmica.....	138
Riesgo sísmico .....	152
Validación de datos .....	156
Comparación de datos recolectados en campo con respecto al levantamiento visual. ....	156
Análisis de pérdidas .....	158
Pérdidas estructurales.....	159
Comprobación de la hipótesis .....	166
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES, .....	171
Conclusiones.....	171
Zona1 .....	172
Zona 2 .....	173
Zona 3.....	173
Zona 4.....	174
Zona 5 .....	175
Propuesta.....	176
Datos informativos.....	176
Diseño Propuesta.....	176

Recomendaciones.....	178
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	179
ANEXOS .....	183

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Costos de reposición aproximado .....	31
Tabla 2 Parroquias Urbanas de la ciudad de Ambato .....	35
Tabla 3 Valores del Índice de Amenaza ( $I_A$ ).....	38
Tabla 4 Índice de vulnerabilidad específica y pesos relativos .....	39
Tabla 5 Valores de índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad ( $I_1$ ).....	39
Tabla 6 Valores del índice de vulnerabilidad asociado con el tipo estructural ( $I_2$ )....	40
Tabla 7 Valores del índice de vulnerabilidad asociado con irregularidades ( $I_{3j}$ ).....	41
Tabla 8 Valores del índice de vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito ( $I_4$ ) .....	42
Tabla 9 Valores del índice de vulnerabilidad asociado con la topografía y a los drenajes ( $I_5$ ) .....	42
Tabla 10 Valores del índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro ( $I_6$ )...43	
Tabla 11 Valoración del índice de vulnerabilidad $I_V$ .....	44
Tabla 12 Valoración del índice de riesgo $I_R$ .....	44
Tabla 13 Tipología del Sistema estructural implementados por el FEMA-P154 .....	47
Tabla 14 Puntaje básico para cada Tipología del Sistema Estructural .....	48
Tabla 15 Grado de vulnerabilidad .....	48
Tabla 16 Tipología del sistema estructural implementados para la evaluación .....	50
Tabla 17 Puntaje básico de cada sistema estructural .....	51
Tabla 18 Valoración de grado de vulnerabilidad sísmica .....	51

Tabla 19 Abreviaturas GEM.....	55
Tabla 20 Nivel de confianza según parámetro $Z_{\alpha}$ .....	57
Tabla 21 Tipologías estructurales .....	62
Tabla 22 Irregularidades estructurales.....	65
Tabla 23 Parámetros de las fallas ciegas de la ciudad de Ambato .....	71
Tabla 24 Número de pisos – Zona 1 .....	78
Tabla 25 Irregularidades estructurales - Zona 1.....	78
Tabla 26 Irregularidad en la geometría en planta - Zona 1.....	79
Tabla 27 Irregularidades en la geometría en elevación – Zona 1.....	80
Tabla 28 Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS – Zona 1 .....	81
Tabla 29 Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 1 .....	82
Tabla 30 Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC – Zona 1 .....	82
Tabla 31 Número de pisos - Zona 2.....	83
Tabla 32 <i>Irregularidades estructurales - Zona 2.....</i>	84
Tabla 33 <i>Irregularidad en la geometría en planta - Zona 2.....</i>	85
Tabla 34 <i>Irregularidad en la geometría en elevación - Zona 2 .....</i>	85
Tabla 35 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS - Zona 2 .....</i>	86
Tabla 36 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 2 .....</i>	87
Tabla 37 <i>Tipologías estructurales de acuerdo a metodología NEC - Zona 2 .....</i>	88
Tabla 38 <i>Número de pisos - Zona 3.....</i>	89
Tabla 39 <i>Irregularidades estructurales - Zona 3.....</i>	89

Tabla 40 <i>Irregularidad en la geometría en planta - Zona 3</i> .....	90
Tabla 41 <i>Irregularidad en la geometría en elevación - Zona 3</i> .....	91
Tabla 42 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS - Zona 3</i> .....	91
Tabla 43 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 3</i> .....	92
Tabla 44 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC - Zona 3</i> .....	92
Tabla 45 <i>Número de pisos - Zona 4</i> .....	93
Tabla 46 <i>Irregularidades estructurales - Zona 4</i> .....	94
Tabla 47 <i>Irregularidad en la geometría en planta - Zona 4</i> .....	95
Tabla 48 <i>Irregularidades en la geometría en elevación – Zona 4</i> .....	95
Tabla 49 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS - Zona 4</i> .....	96
Tabla 50 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 4</i> .....	97
Tabla 51 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC - Zona 4</i> .....	98
Tabla 52 <i>Número de pisos – Zona 5</i> .....	98
Tabla 53 <i>Irregularidades estructurales - Zona 5</i> .....	99
Tabla 54 <i>Irregularidad en la geometría en planta - Zona 5</i> .....	100
Tabla 55 <i>Irregularidades en la geometría en elevación – Zona 5</i> .....	101
Tabla 56 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS – Zona 5</i> .....	101
Tabla 57 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 5</i> .....	102
Tabla 58 <i>Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC – Zona 5</i> ....	103
Tabla 59 <i>Tipologías estructurales de la parroquia de Huachi Chico</i> .....	104

Tabla 60 Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS – Parroquia Huachi Chico....	105
Tabla 61 Índice de Vulnerabilidad según NEC 2015 - Parroquia Huachi Chico.....	106
Tabla 62 Índice de Vulnerabilidad según FEMA-P154 - Parroquia Huachi Chico..	106
Tabla 63 Índice de Riesgo Sísmico según FUNVISIS - Parroquia Huachi Chico ..	107
Tabla 64 Tipologías estructurales adicionales .....	122
Tabla 65 Tipologías Estructurales Zona – 1.....	123
Tabla 66 Tipologías estructurales - Zona 2.....	127
Tabla 67 Tipologías estructurales - Zona 3.....	130
Tabla 68 Tipologías estructurales - Zona 4.....	132
Tabla 69 Tipologías estructurales - Zona 5.....	135
Tabla 70 Pérdidas de la parroquia de Huachi Chico .....	158
Tabla 71 Pérdidas de la Zona 1 de Huachi Chico .....	159
Tabla 72 Pérdidas de la Zona 2 de Huachi Chico .....	160
Tabla 73 Pérdidas de la Zona 3 de Huachi Chico .....	162
Tabla 74 Pérdidas de la Zona 4 de Huachi Chico .....	163
Tabla 75 Pérdidas de la Zona 5 de Huachi Chico .....	165

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Curva de Capacidad, Tipología 1, Modelos 1 – 6.....	31
Figura 2 Costo de reposición aproximado (USD), para diferentes eventos sísmicos / Colapso total de todas las tipologías.....	32
Figura 3 Catastro de la parroquia de Huachi Chico.....	35
Figura 4 Zonas donde se consideran los efectos topográficos.....	38
Figura 5 Ejemplo de curva de fragilidad.....	53
Figura 6 Encuesta metodología FUNVISIS.....	59
Figura 7 Encuesta metodología FEMA P-154.....	60
Figura 8 Encuesta metodología NEC.....	61

Figura 9 Base de Datos – Excel.....	68
Figura 10 Levantamiento visual – Zona 2.....	68
Figura 11 Mapa de intensidad - Escenario 1000 de la Zona 2 de Huachi Chico.....	72
Figura 12 Función Gaussiana.....	75
Figura 13 Zonas de la Parroquia de Huachi Chico.....	77
Figura 14 Distribución espacial del número de Pisos – Zona 1.....	108
Figura 15 <i>Distribución espacial de Material de Techo – Zona 1.....</i>	109
Figura 16 <i>Distribución espacial de Material de Paredes – Zona 1.....</i>	110
Figura 17 <i>Distribución espacial del Números de Piso - Zona 2.....</i>	111
Figura 18 <i>Distribución espacial del Material de Techo – Zona 2.....</i>	112
Figura 19 <i>Distribución espacial del Material de Paredes – Zona 2.....</i>	113
Figura 20 <i>Distribución espacial del Números de Piso - Zona 3.....</i>	114
Figura 21 <i>Distribución espacial del Material de Techo – Zona 3.....</i>	115
Figura 22 <i>Distribución espacial del Material de Paredes – Zona 3.....</i>	116
Figura 23 <i>Distribución espacial del Números de Piso - Zona 4.....</i>	116
Figura 24 <i>Distribución espacial de materiales de techo - Zona 4.....</i>	117
Figura 25 <i>Distribución espacial del Material de Paredes – Zona 4.....</i>	118
Figura 26 <i>Distribución espacial del Números de Piso - Zona 5.....</i>	119
Figura 27 <i>Distribución espacial de materiales de techo - Zona 5.....</i>	120
Figura 28 <i>Distribución espacial de materiales de paredes - Zona 5.....</i>	121
Figura 29 <i>Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 1.....</i>	123
Figura 30 <i>Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 2.....</i>	127
Figura 31 <i>Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 3.....</i>	131
Figura 32 <i>Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 4.....</i>	132
Figura 33 <i>Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 5.....</i>	134
Figura 34 <i>Distribución espacial de las Tipologías GEM – Huachi Chico.....</i>	137

Figura 35 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS –</i>	
<i>Zona 1.....</i>	138
Figura 36 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 -</i>	
<i>Zona 1.....</i>	139
Figura 37 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 –</i>	
<i>Zona 1.....</i>	140
Figura 38 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona</i>	
<i>2.....</i>	141
Figura 39 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 -</i>	
<i>Zona 2.....</i>	142
Figura 40 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 –</i>	
<i>Zona 2.....</i>	143
Figura 41 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona</i>	
<i>3.....</i>	144
Figura 42 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 –</i>	
<i>Zona 3.....</i>	144
Figura 43 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 -</i>	
<i>Zona 3.....</i>	145
Figura 44 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona</i>	
<i>4.....</i>	146
Figura 45 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 -</i>	
<i>Zona 4.....</i>	147
Figura 46 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 –</i>	
<i>Zona 4.....</i>	148
Figura 47 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona</i>	
<i>5.....</i>	149

Figura 48 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 - Zona 5</i> .....	150
Figura 49 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 – Zona 5</i> .....	151
Figura 50 <i>Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 1</i> .	152
Figura 51 <i>Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 2</i> .	153
Figura 52 <i>Distribución espacial del Índice de riesgo según FUNVISIS – Zona 3</i> ...	154
Figura 53 <i>Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 4</i> .	154
Figura 54 <i>Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 5</i> .	155
Figura 55 <i>Pérdidas estructurales en USD – Zona 1</i> .....	159
Figura 56 <i>Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad – Zona 1</i> ...	160
Figura 57 <i>Pérdidas estructurales en USD – Zona 2</i> .....	161
Figura 58 <i>Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 2</i> ....	161
Figura 59 <i>Pérdidas estructurales en USD – Zona 3</i> .....	162
Figura 60 <i>Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 3</i> ....	163
Figura 61 <i>Pérdidas estructurales en USD- Zona 4</i> .....	164
Figura 62 <i>Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 4</i> ....	164
Figura 63 <i>Pérdidas estructurales en USD- Zona 5</i> .....	165
Figura 64 <i>Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 5</i> ....	166
Figura 65 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS – Parroquia de Huachi Chico</i> .....	167
Figura 66 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según NEC 2015 – Parroquia de Huachi Chico</i> .....	168
Figura 67 <i>Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FEMA P-154 – Parroquia de Huachi Chico</i> .....	169

## RESUMEN

El presente estudio analiza la vulnerabilidad sísmica en la parroquia de Huachi Chico, zona urbana de Ambato, esto conlleva a la división del área en 5 zonas, la generación de un modelo de exposición y mapas de vulnerabilidad de las edificaciones residenciales del sector. La investigación tiene como objetivo extraer datos útiles para la delimitación de áreas vulnerables junto a sus diferentes niveles de exposición ante un evento telúrico.

Para construir el modelo citado se aplicó la metodología GEM (Global Earthquake Model) empleada en numerosos países de Latinoamérica para la evaluación de riesgo sísmico, además de la metodología FEMA P-154, FUNVISIS y la NEC 2015. Para el modelo de exposición se definió una lista de tipologías estructurales derivadas de las características constructivas y constitutivas de las edificaciones de los 7314 predios levantados visualmente con herramientas digitales los cuales se cotejaron con las 998 edificaciones evaluadas en campo a través de encuestas de cada metodología mencionada.

Una vez procesada la información se logró identificar el predominio de pórticos de hormigón armado y mampostería de relleno, constituyendo más del 50% de las edificaciones en toda la parroquia. También se obtuvo los índices de vulnerabilidad que de acuerdo con la metodología FUNVISIS es una zona de vulnerabilidad media baja, FEMA P-154 una zona vulnerable y NEC 2015 una zona de alta vulnerabilidad. Finalmente, realizado el modelo de exposición y bajo la simulación de un evento sísmico se estima un 13.27% de pérdidas económicas en la parroquia por daños y colapso en estructuras.

- Palabras claves:

- **AMENAZA**
- **RIESGO**
- **VULNERABILIDAD**
- **EXPOSICIÓN**
- **OPENQUAKE**

## ABSTRACT

The present study analyzes the seismic vulnerability in the parish of Huachi Chico, urban area of Ambato, this led to the division of the area into 5 zones, the generation of an exposure model and vulnerability maps of the residential buildings in the sector. The research aims to extract useful data for the delimitation of vulnerable areas along with their different levels of exposure to an earthquake event.

To build the aforementioned model, the GEM (Global Earthquake Model) methodology used in numerous Latin American countries for the evaluation of seismic risk was applied, in addition to the FEMA P-154, FUNVISIS and NEC 2015 methodology. For the exposure model, it was defined a list of structural typologies derived from the constructive and constitutive characteristics of the buildings of the 7314 properties visually surveyed with digital tools which were compared with the 998 buildings evaluated in the field through surveys of each methodology mentioned.

Once the information was processed, it was possible to identify the predominance of reinforced concrete porches and infill masonry, constituting more than 50% of the buildings in the entire parish. The vulnerability indices were also obtained, which according to the FUNVISIS methodology is a medium-low vulnerability zone, FEMA P-154 a vulnerable zone and NEC 2015 a high vulnerability zone. Finally, after performing the exposure model and under the simulation of a seismic event, an estimated 13.27% of economic losses in the parish due to damage and collapse of structures.

- Keywords:

- **HAZARD**
- **RISK**
- **VULNERABILITY**
- **EXPOSITION**
- **OPEN QUAKE**

## **CAPÍTULO 1: PROBLEMA**

En el presente capítulo se describe información relevante para el estudio de la vulnerabilidad sísmica en la parroquia de Huachi Chico, se describen los antecedentes de la ciudad de Ambato, la cual es una fuente económica de gran importancia para el desarrollo del país y que ya ha experimentado de cerca el daño por terremotos por el sismo de Pelileo en 1949, con esta información se plantea el problema de estudio, objetivos y la respectiva hipótesis.

### **Planteamiento del problema**

Ecuador en la historia de su república ha experimentado múltiples fenómenos sísmicos de gran magnitud; un claro ejemplo ha sido el sismo que se generó en Pelileo – Ambato en el año 1949, el cual dejó como consecuencia destrucción y muerte de sus pobladores. Las poblaciones de Cotopaxi y Tungurahua fueron las principales afectadas, debido a la destrucción severa en un gran porcentaje de estructuras, en provincias como Chimborazo y Bolívar se pudo observar movimiento de masas de tierra, causando grietas en terrenos y destrucción de caminos. Adicionalmente, debido a la fuerte intensidad, se pudo observar cambios de paisajes en muchos lugares y licuefacción de suelos, especialmente en el sector de la Moya de Pelileo.

(Hernández & Lockhart Castro, 2011) indica que se debe realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica como requisito previo a un análisis sismo resistente, con el fin de tener como respuesta si es necesario realizar un reforzamiento a la estructura, todo esto con el fin de que el comportamiento de la estructura ante un sismo sea el adecuado.

En el presente documento se detalla la evaluación de estructuras pertenecientes a la parroquia de Huachi Chico, de la ciudad de Ambato en la provincia de Tungurahua a fin de conocer el índice de vulnerabilidad sísmica. La parroquia en su totalidad tiene una superficie urbana de 615.7 Ha. que representa el 13,17% total de Ambato, siendo la

segunda parroquia urbana más representativa después de Pishilata (GAD Municipalidad de Ambato, 2019).

Producto de la importancia de la parroquia de Huachi-Chico dentro del cantón de Ambato, surge la necesidad de generar un modelo de exposición y vulnerabilidad visual sísmica de las edificaciones residenciales pertenecientes a la parroquia urbana.

### **Formulación del problema**

Las edificaciones residenciales en la parroquia de Huachi Chico representan elementos de interacción diaria para la sociedad, elementos que pueden ser o no un riesgo o un espacio de sustento en caso de sismo, debido a esto se plantea el estudio sísmico de vulnerabilidad presente en cada una de ellas, y se formulan los siguientes problemas:

¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica general de la parroquia de Huachi Chico?

¿Qué tipologías estructurales se encuentran en la parroquia de Huachi Chico según el esquema de mapeo de la metodología GEM?

¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica según las metodologías FUNVISIS, FEMA P-154 y NEC 2015 en las diferentes zonas de Huachi Chico?

¿Cuál es el porcentaje estimado de pérdidas económicas debido al daño y colapso de las estructuras en la parroquia de Huachi Chico?

### **Antecedentes**

El Ecuador se encuentra ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, uno de los puntos más activos sísmicamente del planeta, formando parte del denominado “Bloque Andino”, que corresponde a la placa sudamericana. La interacción entre la placa de Nazca y la Sudamericana generan un comportamiento dinámico que se le denomina

Sistema Mayor Dextral que, junto con la subducción que presenta la costa ecuatoriana son los principales generadores de actividad sísmica (Martinez, 2016).

En la historia del país se han presentado eventos sísmicos como el de 1906 en Esmeraldas con una magnitud de 8,8 siendo uno de los más grandes registrados, en Bahía de Caráquez en 1997 de magnitud 7,1 o el más reciente de Pedernales en 2016 con una magnitud de 7,8, entre otros. Estos eventos han sido los causantes de grandes daños estructurales y han dejado al descubierto grandes falencias con el diseño sismorresistente.

Ambato, una de las principales ciudades del Ecuador, ya ha sido afectada por grandes y catastróficas actividades sísmicas como es la del terremoto del 5 de agosto de 1949 que ocurrió a las 14h08, con intensidad de X en la escala de Mercalli. Según investigaciones realizadas por José Egred, el terremoto provocó 6000 muertos, unas 1000 personas sin hogar y tuvo un área afectada de 1920 km<sup>2</sup>. Entre las ciudades con mayor destrucción fueron Pelileo 100%, Píllaro 90%, Guano 80% y Ambato 75%, gracias a los estudios de Egred, se logró determinar que los principales efectos fueron grietas en el terreno, derrumbes, deslizamientos voluminosos en montes y caminos de toda la región (Geofísico, 2013).

Roberto Aguiar (2018), en su estudio de microzonificación sísmica de Ambato determino el período de vibración de los suelos para poder identificar las aceleraciones espectrales de la zona en función de su sismicidad, proporcionando al presente trabajo información útil para determinar la vulnerabilidad de las estructuras en la ciudad de Ambato.

### **Justificación e importancia**

Ambato, al ser la cabecera cantonal de la provincia de Tungurahua que cuenta con una población de 329 856 habitantes según datos del INEC del censo del 2010. Se

encuentra dividida en 9 parroquias urbanas, una de ellas es la parroquia de Huachi Chico, siendo una de las parroquias con mayor relevancia económica.

Debido a la ubicación geográfica de la ciudad, siendo comunicación entre la Amazonia y Costa ecuatoriana permite la ampliación de la matriz productiva y una conexión de redes entre los mercados ecuatorianos; permitiendo un crecimiento de la población económicamente activa del 7,4%, generando un ingreso por actividad de comercio de \$ 370 millones en 2015, siendo un punto importante del desarrollo de la economía de la sierra centro; en cuanto al sector inmobiliario generó \$ 341 millones en 2015, siendo una actividad relevante en la ciudad por su crecimiento en los últimos años, según datos del INEC (GAD Municipalidad de Ambato, 2019).

Tomando en cuenta el historial sísmico del país, se denota que la ciudad de Ambato no está libre de la posibilidad de experimentar un inminente terremoto, considerando que presenta tres fallas geológicas atravesando la ciudad que son: Huachi (M=6.3), Ambato (M=6.5) y Totorá (M=6.5), las cuales pueden generar sismos impulsivos, que se caracterizan por tener una duración corta, pero son sumamente destructivos, se puede decir que los suelos de Ambato son perfiles tipo "C" y "D", de ellos el 70% son perfiles tipo "C" existen también perfiles de suelo "E" pero en una mínima porción (Aguar & Rivas Medina, 2018).

A pesar de los riesgos descritos anteriormente no se han encontrado investigaciones previas de riesgo sísmico de la zona, por lo que es necesario desarrollar un estudio en la ciudad para así poder evaluar el grado de vulnerabilidad de las estructuras en el caso de que ocurra un sismo, además de generar planes de mitigación y fundamentalmente la creación de nuevos códigos de construcción (Cortés, 2018).

Las técnicas constructivas de nuestro país han evolucionado a lo largo de los años; en una ciudad como Ambato que se ha ido desarrollando paulatinamente existe un porcentaje de población que realiza construcciones aun de manera ilegal o artesanal

incumpliendo las normas establecidas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda lo que podría provocar construcciones con deficiencia estructural, y al momento de presentarse un evento sísmico, daños importantes o colapso, generando inseguridad para sus habitantes.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Elaborar un modelo de exposición y vulnerabilidad visual sísmica de las edificaciones residenciales existentes en la parroquia de Huachi Chico en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

### ***Objetivos Específicos***

- Elaboración del modelo de exposición y vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales existentes en el sector limitado por la Avenida Atahualpa, la calle Luis Ernesto Alvarado, Avenida Víctor Hugo y Avenida Antonio Clavijo (Zona 1).
- Elaboración del modelo de exposición y vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales existentes en el sector limitado por la calle Luis Ernesto Alvarado y Avenida Víctor Hugo, Avenida Miguel de Cervantes, Avenida Atahualpa y Avenida Antonio Clavijo, Pedro Porras y Avenida Manuelita Sáenz (Zona 2).
- Elaboración del modelo de exposición y vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales existentes en el sector limitado por la Avenida Antonio Clavijo, Pedro Porras y Avenida Miguel de Cervantes, calle José Peralta, Avenida Atahualpa y Avenida Antonio Clavijo (Zona 3).
- Elaboración del modelo de exposición y vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales existentes en el sector limitado por las calles José

Peralta, Miguel de Santiago y Samaniego, Avenida Atahualpa y Alfredo Pérez Guerrero (Zona 4).

- Elaboración del modelo de exposición y vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales existentes en el sector limitado por las calles Miguel de Santiago y Samaniego, Alfredo Pérez Guerrero y Avenida Atahualpa (Zona 5).

### **Hipótesis**

El modelo de exposición revelará que la parroquia de Huachi Chico tiene un índice de vulnerabilidad sísmica alto.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presentan estudios realizados en Sudamérica que sirven de referencia para el desarrollo del trabajo propuesto, también conceptos básicos sobre riesgo y vulnerabilidad sísmica, al igual que las metodologías para su cálculo y obtención de mapas de vulnerabilidad y modelo de exposición.

### **Estado del Arte**

Durante varias décadas, las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgo sísmico de las estructuras se han analizado utilizando métodos empíricos basados en la recopilación de estadísticas de daños posteriores a un terremoto. Estos métodos no se enfocan de la mejor manera en la conexión del comportamiento estructural con el daño observado y la cuantificación del efecto del reforzamiento sísmico sobre la sismicidad, para lo cual se proponen métodos actualizados y significativamente capaces de aproximarse a la realidad (D'Ayala, 2013).

Se han desarrollado sistematizaciones relativas a los métodos actuales de evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo, por lo tanto, difieren debido a los diversos grados de certidumbre en varios factores, como la calidad y disponibilidad de la información, características de las estructuras que se examinan, etc.

Las funciones de fragilidad son indispensables para realizar un modelo de vulnerabilidad, relacionando de manera probabilística la intensidad de los sismos con los estados de daños a los edificios, que pueden incluir las incidencias del daño en términos de pérdidas humanas y materiales (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015).

A continuación, se presentan algunas investigaciones desarrolladas en Sudamérica relacionadas con este estudio:

### ***Evaluación del riesgo de Sudamérica (SARA)***

El proyecto de la evaluación del riesgo para Sudamérica, en inglés South America Risk Assessment, abreviado SARA, es un programa regional impulsado por Global Earthquake Model (GEM) entre 2013 y 2015, para calcular amenazas y riesgos, estimando factores sociales e impactos económicos del aumento de daños físicos, la reducción de la capacidad de respuesta y recuperación de daños por terremotos en América del Sur, involucrando a expertos y personas especializadas de cada región.

Como parte del proyecto, se realizó una evaluación de la amenaza sísmica para Sudamérica, realizando un balance del estado de las fallas activas, el proceso de subducción, la clasificación sísmica y otros parámetros diferentes. Además, el proyecto se centró en 5 módulos que son:

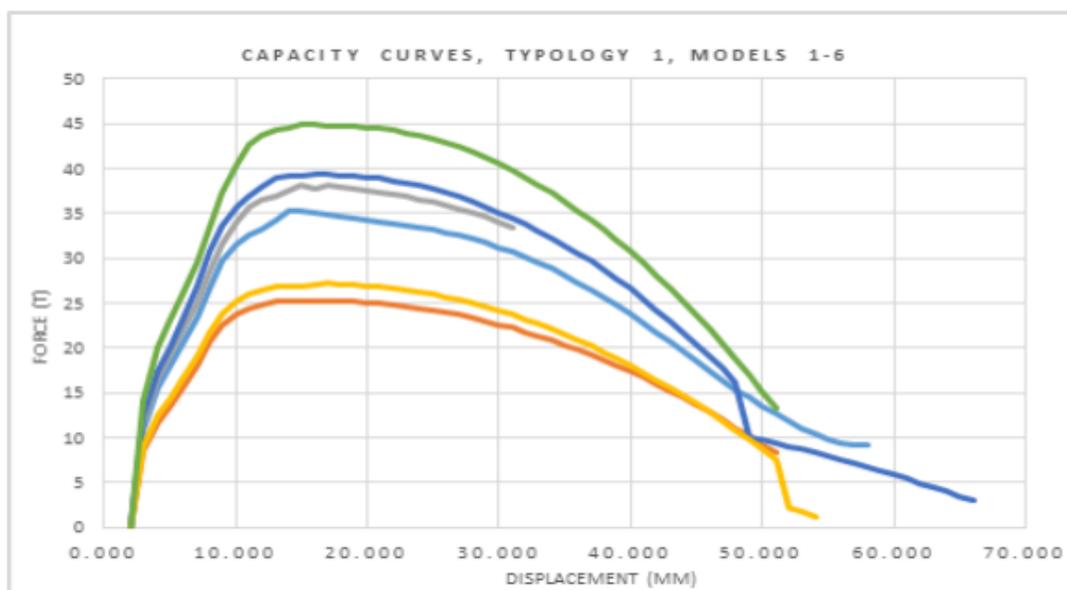
- Riesgo
- Exposición y vulnerabilidad física
- Vulnerabilidad socioeconómica y resiliencia
- Estimación de daños
- Escenarios de la ciudad

Los países seleccionados fueron: Perú, Colombia, Chile, Venezuela y Ecuador. Obteniendo resultados específicos para las ciudades de Lima, Medellín, Iquique, Osorno, Rancagua y Quito.

Para Quito se realizó un análisis no lineal estático, considerando un tipo de suelo B – C; del total de 11556 unidades se tomó 4 tipologías recurrentes obteniendo un comportamiento no lineal global aproximado al comportamiento real de la estructura, representado por las curvas de capacidad, Figura 1. Se exponen dos escenarios sísmicos con periodos de retorno de 100 y 475 años, obteniendo los costos de reposición ante el colapso de la estructura (Celi et al., 2016).

**Figura 1**

*Curva de Capacidad, Tipología 1, Modelos 1 – 6*



**Nota:** Recuperado de (Celi et al., 2016).

**Tabla 1**

*Costos de reposición aproximado*

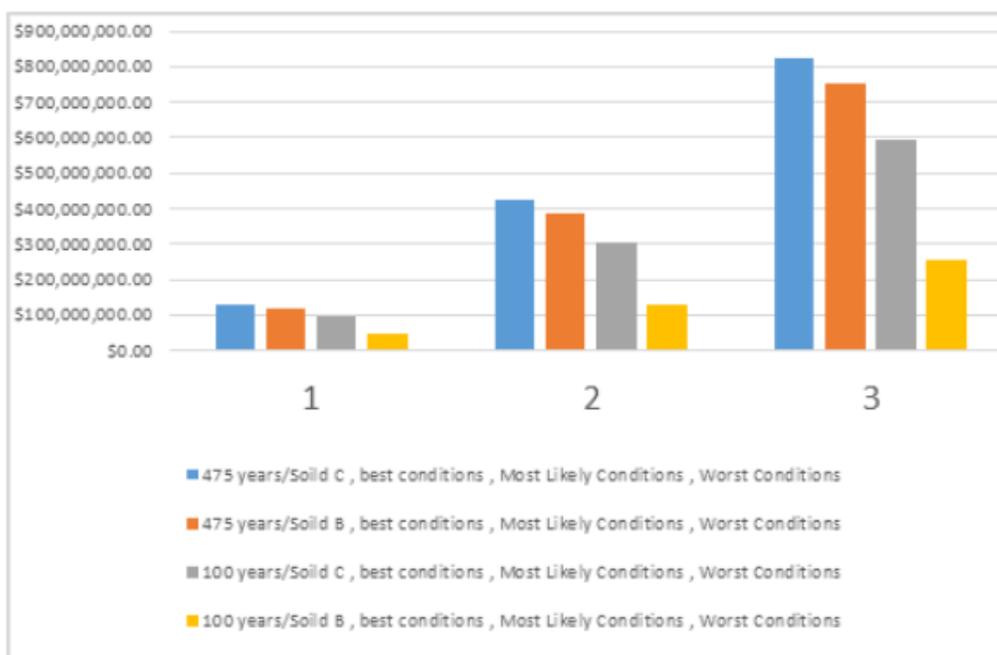
<b>Condiciones Probabilísticas</b>	<b>Costo de Reemplazo (USD)</b>	<b>Escenarios Sísmicos</b>
Mejor	\$128 144 333,00	475 años/Suelo C
	\$118 688 717,00	475 años/Suelo B
	\$96 318 720,00	100 años/Suelo C
	\$46 122 547,00	100 años/Suelo B
Más Probable	\$424 805 990,00	475 años/Suelo C
	\$386 983 526,00	475 años/Suelo B
	\$304 943 616,00	100 años/Suelo C
Peor	\$131 287 450,00	100 años/Suelo B
	\$825 422 400,00	475 años/Suelo C

Condiciones Probabilísticas	Costo de Reemplazo (USD)	Escenarios Sísmicos
	\$754 505 280,00	475 años/Suelo B
	\$596 030 400,00	100 años/Suelo C
	\$257 313 600,00	100 años/Suelo B

**Nota:** Recuperado de (Celi et al., 2016).

## Figura 2

*Costo de reposición aproximado (USD), para diferentes eventos sísmicos / Colapso total de todas las tipologías*



**Nota:** Recuperado de (Celi et al., 2016).

## Proyectos Colombianos

Una gran proporción del territorio de Colombia está sometido a riesgo sísmico, con el 87% de la población de Colombia ubicada en territorio de riesgo sísmico moderado a alto. El crecimiento poblacional está concentrado en las ciudades de mayor densidad como Bogotá y la segunda Medellín (Zora Mejía & Acevedo Jaramillo, 2019).

Los estudios de alarma, riesgo y vulnerabilidad por eventos naturales en Colombia han sido impulsados desde sus inicios considerablemente por la ingeniería sísmica, dando como resultado la necesidad de la aplicación de un código sismorresistente propio, basado en la norma AIS 100, gracias a este antecedente aparece el primer estudio general de riesgo sísmico en Colombia durante el año 1984. Este estudio fue elaborado por la AIS en agrupación con la Universidad de los Andes y algunos otros investigadores, para la elaboración de mapas de zonificación sísmica del país, así como también catálogos nacionales de eventos y requisitos sísmicos para edificios (Juan Camilo Olaya G. & Miguel G. Mora C., 2016).

El primer estudio de microzonificación sísmica que se desarrolló en Colombia fue para la ciudad de Popayán en el año 1992 por parte de Ingeominas, la Universidad de los Andes y por la comunidad europea. Posteriormente este estudio fue actualizado entre los años 2010 y 2012 por parte de la mencionada universidad en convenio con particulares (Juan Camilo Olaya G. & Miguel G. Mora C., 2016).

En el 2016 se resaltan algunas contribuciones de las más actuales a las Evaluaciones Probabilísticas del Riesgo (EPR) en Colombia, cada una de ellas elaborada para un fenómeno de advertencia diferente y con el fin principal de establecer una guía técnica para los estudios y determinación de vulnerabilidad, amenaza y riesgo utilizando un enfoque probabilístico a la luz de lo que exige la ley de gestión del riesgo de desastres publicada en el año 2012 (Juan Camilo Olaya G. & Miguel G. Mora C., 2016).

Colombia tiene un amplio historial de estudios relacionados a la vulnerabilidad sísmica abarcando a más de 12 ciudades en el país destacando ciudades como; Bogotá, Medellín, Cali y Manizales. Estos estudios tienen el interés de reducir o mitigar el riesgo sísmico identificando las estructuras con capacidad sísmica adecuada y las que necesitan algún tipo de intervención (Zora Mejía & Acevedo Jaramillo, 2019).

### **Antecedentes de la investigación**

Se han llevado a cabo varias investigaciones sobre vulnerabilidad y riesgo sísmico, un antecedente importante es el proyecto "Training and Communication for Earthquake Risk Assessment" (TREQ), se ejecuta desde marzo del año 2020. Este proyecto tuvo como objetivo articular a las academias, organizaciones de la sociedad civil y gobiernos locales de 3 ciudades sudamericanas para evaluar el riesgo urbano por sismos, además de producir recursos que faciliten la difusión de los resultados en la sociedad y toma de decisiones para el manejo del riesgo sísmico (Quito Informa, 2020).

Las ciudades seleccionadas para el proyecto fueron: Cali (Colombia), Quito (Ecuador) y Santiago de los Caballeros (República Dominicana). El proyecto está financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), la cual es una agencia independiente del gobierno federal de los Estados Unidos (Global Earthquake Model, 2020).

La organización GEM ofrece capacitaciones en línea personalizadas para el uso de sus herramientas (OpenQuake) como una introducción a los conocimientos básico de riesgo sísmico, el cual está dirigido a personas interesadas en realizar un estudio de vulnerabilidad.

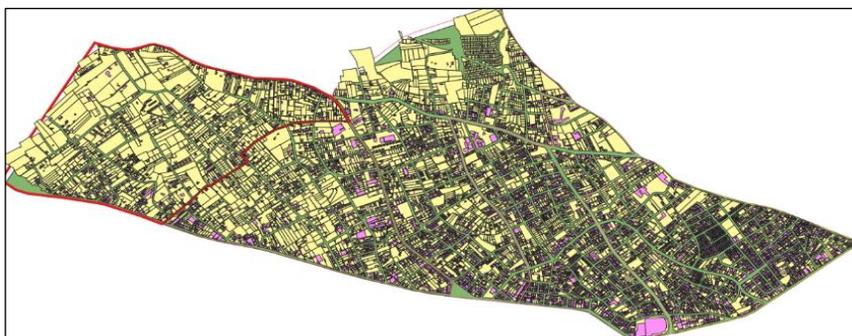
Basándose en el estudio realizado en la ciudad de Quito, se desea conocer el estado actual de riesgo y vulnerabilidad sísmica en la parroquia de Huachi Chico de la ciudad de Ambato, que de acuerdo al plan de ordenamiento territorial de Ambato forma parte de las 9 parroquias urbanas las cuales se observan en la Tabla 2, (GAD Municipalidad de Ambato, 2019).

**Tabla 2***Parroquias Urbanas de la ciudad de Ambato*

<b>Parroquias Urbanas</b>	<b>Área (Ha)</b>
Atacocha Ficoa	381,43
Celiano Monge	527,38
Huachi Chico	617,18
Huachi Loreto	319,49
La matriz	374,58
La Merced	198,65
La península	471,79
Pishilata	1759,02
San Francisco	51,18
<b>Área Total</b>	<b>4700,69</b>

**Nota:** Recuperado de (GAD Municipalidad de Ambato, 2019).

La parroquia urbana de Huachi Chico, como se puede apreciar en la Figura 3, cuenta con alrededor de 617,18 Ha, con predios que datan desde el año 1939 hasta predios actuales, es una zona variable en tipo de construcciones ya que existen zonas más desarrolladas que otras, el proyecto se lo dividió en 5 zonas.

**Figura 3***Catastro de la parroquia de Huachi Chico*

**Nota:** Recuperado de (GAD Municipalidad de Ambato, 2019).

## **Fundamentación teórica**

Para lograr realizar un análisis de riesgo sísmico se debe tener en cuenta conceptos básicos que ayuden a comprender el estudio y cómo funcionan los fenómenos naturales (terremotos) y cuáles son sus consecuencias, dichos conceptos se mencionan a continuación.

### ***Análisis de Riesgo Sísmico***

El análisis de riesgo sísmico es un método que consiste en la determinación de un nivel de peligro debido a la ocurrencia de sismos, dentro de un periodo determinado de tiempo y un área de interés (GEM Foundation, 2021).

### ***Riesgo sísmico***

Es la probabilidad que se representará como un nivel de pérdida o daño que se igualará o superará durante un tiempo. El nivel de daño debe ser cuantificado, este puede ser una pérdida monetaria en un determinado rango, el número de víctimas de la región o el costo de reparar una instalación (Baker, 2021).

**Análisis de Riesgo.** Se refiere a la caracterización de las consecuencias que son producto del peligro sísmico como daños estructurales, muertes, y pérdidas económicas (Baker, 2021).

El riesgo es el resultado del producto de la amenaza (A) y la vulnerabilidad (V) donde intervienen varias variables (Coronel-Delgado et al., 2014).

$$R = A \times V$$

***Ecuación 1***

**Amenaza.** Es la probabilidad de que se pueda producir un fenómeno con una cierta intensidad, en un sitio y periodo determinado que tenga el potencial de producir efectos negativos sobre la población, bienes, servicios, infraestructuras y el ambiente (Coronel-Delgado et al., 2014).

**Vulnerabilidad Sísmica.** Es la predisposición intrínseca que tiene la estructura de ser susceptible a sufrir daños y llegar a perder su función al momento que ocurra un evento sísmico. Puede llegar a ser una media de los daños que son producidos por los movimientos de tierras provocados por los sismos (Aguiar & Rivas Medina, 2018).

### **Mapa de Vulnerabilidad**

Muestra la forma en que se distribuyen las diferentes tipologías estructurales con su respectivo nivel de vulnerabilidad, a lo largo del área que se haya designado a estudiar (Chicaiza, 2017). Para lo cual, en el presente trabajo se ocupan 3 metodologías de evaluación, como son:

**Metodología FUNVISIS.** Metodología desarrollada en Venezuela que establece índices de vulnerabilidad, riesgo y priorización en edificaciones no mayores a cuatro pisos y tipologías constructivas típicas, que permite comparar una edificación con otra y definir prioridades para estudios posteriores. La información es recopilada mediante una inspección de corta duración en sitio (López et al., 2014).

**Índice de amenaza.** Se debe considerar:

- 1) La relación de los valores del coeficiente de la aceleración del terreno  $A_0$  (López et al., 2014).
- 2) El efecto topográfico amplificando la amenaza en un 10% (López et al., 2014).

**Tabla 3**

Valores del Índice de Amenaza ( $I_A$ )

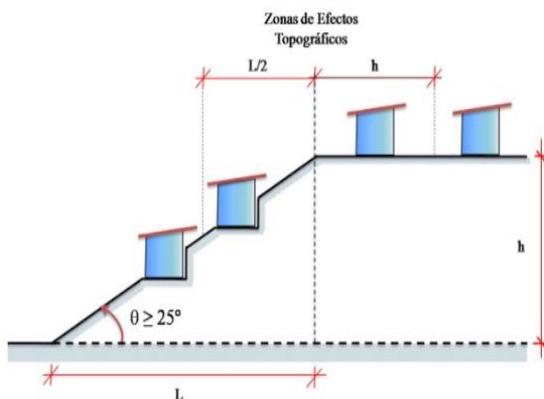
Zona	Peligro Sísmico	$A_o$ (COVENIN, 2001)	$I_A$	
			Sin efecto topográfico	Con efecto topográfico
7		0,40	0,90	1
6	Elevado	0,35	0,80	0,88
5		0,30	0,68	0,75
4	Intermedio	0,25	0,56	0,63
3		0,20	0,45	0,50
2		0,15	0,34	0,38
1	Bajo	0,10	0,23	0,25
0		-	0,05	0,05

**Nota:** Recuperado de (López et al., 2014).

Los efectos topográficos son considerados cuando la construcción está ubicada sobre la mitad superior de la ladera con una pendiente mayor a  $25^\circ$ , o en la cima a una distancia de la cresta menor a la altura de la ladera, Figura 4, (López et al., 2014).

**Figura 4**

Zonas donde se consideran los efectos topográficos.



**Nota:** Recuperado de (López et al., 2014).

**Índice de vulnerabilidad.** Reconoce las características intrínsecas de una estructura que durante un sismo puede tener un rendimiento inapropiado (López et al., 2014).

$$I_V = \sum_{i=1}^6 \alpha_i \times I_i$$

**Ecuación 2**

Donde:

$I_i$  : índice de vulnerabilidad específica “i”

$\alpha_i$  : peso relativo

**Tabla 4**

*Índice de vulnerabilidad específica y pesos relativos*

$I_i$	Vulnerabilidad asociada con:	$\alpha_i$
$I_1$	Antigüedad y norma utilizada	0,25
$I_2$	Tipo estructuras	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 et al., 2014).

A continuación, se presentan los valores de los tipos de índices de vulnerabilidad que se deben considerar.

**Tabla 5**

*Valores de índice de vulnerabilidad asociado a la antigüedad ( $I_1$ )*

Año de construcción (t)	t≤1939	1939<t≤1947	1947<t≤1955	1955<t≤1967	1967<t≤1982	1982<t≤1998	1998<t≤2001	t>2001
$I_1$	100	80	80	90	60	30	10	15

**Nota:** Recuperado de (López et al., 2014).

**Tabla 6***Valores del índice de vulnerabilidad asociado con el tipo estructural ( $I_2$ )*

<b>Tipo estructural</b>	<b>Descripción</b>	$I_2$
1	Pórticos de concreto armado <sup>(a)</sup>	25
2	Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques 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 del tipo túnel	90
5	Pórticos de acero	40
6	Pórticos de acero con perfiles tubulares	60
7	Pórticos de acero diagonalizados	20
8	Pórticos de acero con cerchas	40
9	Sistemas prefabricados den 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 <sup>(b)</sup>	100
12	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos <sup>(b)</sup>	90
13	Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos <sup>(b)</sup>	95

Tipo	Descripción	$I_2$
<b>estructural</b>		
14	Viviendas de bahareque de un piso	90
15	Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, entre otros)	100

Nota: <sup>(a)</sup> En esta estructura las paredes no interfieren con el desplazamiento lateral del pórtico y tienen estabilidad propia para movimientos en su plano y fuera de su plano.

<sup>(b)</sup> Son aquellas construcciones típicas de los barrios que han sido construidas sin diseño de ingeniería formal y sin seguimiento de normas técnicas. Recuperado de (López et al., 2014).

*Índice de vulnerabilidad para las irregularidades  $I_3$*

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

(López et al., 2014).

#### Tabla 7

*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 de paredes de bloques 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

<b>J</b>	<b>Descripción de la irregularidad</b>	$I_{3j}$	
7	Aberturas significativas en losas	10	
8	Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta o esquemas de elevación tipo L <sup>(1)</sup>	20	
9	Adosamiento a edificio adyacente	(a) Losa contra losa	10
		(b) Losa contra columna	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: <sup>(1)</sup> Entran dentro de esta irregularidad las construcciones en pendiente con semisótanos, en donde una losa está confinada por el terreno, por un lado, pero libre por otro lado. Recuperado de (López et al., 2014).

**Tabla 8**

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado con la profundidad del depósito ( $I_4$ )*

<b>Situaciones de aplicación</b>	$I_4$
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 et al., 2014).

**Tabla 9**

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado con la topografía y a los drenajes ( $I_5$ )*

		<b>Características</b>	$I_5$
Localización de	Construcción sobre planicie		0
la construcción		Entre 20° y 45°	50

	<b>Características</b>	$I_5$
Construcción sobre ladera con pendiente de ángulo $\theta$ dada por:	$\geq 45^\circ$	80
	Menor o igual a H	80
Construcción sobre la cima o en la base de la ladera de pendiente $\theta \geq 20^\circ$ , a una distancia D:	Mayor a H	0
	Si	0
Existencia de drenajes	No	20

**Nota:** Recuperado de (López et al., 2014).

**Tabla 10**

*Valores del índice de vulnerabilidad asociado al grado de deterioro ( $I_6$ )*

<b>Componente</b>	<b>Grado de deterioro</b>	$I_6$	
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) Estructuras 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	Severo	10
		Moderado	5
		Ninguno	0

**Nota:** Recuperado de (López et al., 2014).

**Valoración de los índices de vulnerabilidad.**

**Tabla 11**

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 et al., 2014).

**Valoración de los índices de riesgo.**

$$I_R = I_A \times I_V$$

**Ecuación 4**

Donde:

$I_R$ : índice de riesgo

$I_A$ : índice de amenaza

$I_V$ : índice de vulnerabilidad

(López et al., 2014)

**Tabla 12**

Valoración del índice de riesgo  $I_R$

Calificación del riesgo	$I_R$ Rango de valores
Muy elevado	$60 \leq I_R \leq 100$
Elevado	$40 \leq I_R < 60$
Medio alto	$25 \leq I_R < 40$

Calificación del riesgo	$I_R$ Rango de valores
Medio bajo	$15 \leq I_R < 25$
Bajo	$3 \leq I_R < 15$
Muy bajo	$0 \leq I_R < 3$

**Nota:** Recuperado de (López et al., 2014).

**Metodología FEMA.** La metodología FEMA P-154, se utiliza para determinar de forma cualitativa si una estructura necesita ser reforzada en base a un índice (Hernández & Lockhart Castro, 2011).

Se utiliza un formulario que contiene la descripción visual rápida de una edificación en donde se determina: la ubicación, número de pisos, el año en que fue construido, el área de la construcción, la ocupación de la edificación, foto o ilustración breve del inmueble residencial, donde se toma mucho en cuenta las irregularidades en planta y en elevación. El formulario da espacio para colocar el número de personas que ocupan el inmueble, el tipo de suelo, indicar si hay peligro de caída de elementos exteriores, tales como: chimeneas, apéndices, parapetos, entre otros. Se presenta un cuadro con las diferentes tipologías estructurales con su determinada abreviación, para continuar con los puntajes básicos, modificadores y el puntaje final con los diferentes parámetros calificativos de la estructura que van a depender de las irregularidades, el código de construcción y el tipo de suelo. Al final, se presenta el grado de revisión de la edificación, si existen otros riesgos y la acción que se requiere para tal edificación (Hernández & Lockhart Castro, 2011).

**Edificaciones Vulnerables.** Las construcciones que han sido realizadas en base a Códigos de Construcción que no poseen previsiones sísmicas o mucho peor sin ningún código o norma de construcción.

Las edificaciones en donde no hayan sido aplicadas normas de construcción, pero se considera las acciones sísmicas van a dar una mayor seguridad a la vida de la construcción aun cuando un terremoto de gran magnitud afecte a la edificación. Se establece que las normas vigentes cumplen con los requerimientos para que una edificación sea sismo resistente y con ello las construcciones más antiguas o construidas antes de la vigencia de un código de construcción tienen una mayor probabilidad de ser altamente vulnerables (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

***Vulnerabilidad Debido a Tipología Estructural.*** Las edificaciones antiguas por lo general han sido construidas con tipologías estructurales de muros de adobe, mamposterías de bloque o ladrillo sin reforzamiento, estos muros soportan viguetas que pueden ser de madera o de hormigón realizado in situ sin una supervisión técnica, y a su vez estas tipologías tienen una cubierta de teja, hojas metálicas o de asbesto. Existe otro tipo de construcción que a pesar de haber sido construido con hormigón armado puede ser vulnerable ante un evento sísmico por el hecho de haberse realizado antes de la vigencia de las normas de construcción para el diseño sismo resistente.

En la construcción, emplear otros materiales como el acero o madera estructural en vigas y columnas, rellenos con mampostería reforzada, van a generar un sistema de pórticos resistentes a momentos con muros resistentes a cargas laterales, por ende, serán considerados con una baja vulnerabilidad, aunque hay que tomar en cuenta que en un evento sísmico la estructura va a depender de su configuración y nivel de detalle de cada elemento estructural (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

**Procedimiento de Evaluación del Grado de Vulnerabilidad.** Llenar las diferentes secciones de formulario: datos de la edificación, datos del profesional evaluador, datos de la construcción, la ocupación el tipo de suelo, los riesgos geológicos, si existe algún tipo de problema por adyacencia, irregularidades, si hay algún peligro de caída exteriores y comentarios en donde se pondrá todo lo que se pueda observar de la edificación.

Colocar una fotografía y esquema del inmueble, en el caso de estar en campo se realiza un breve bosquejo de la edificación en planta y elevación.

Identificar la tipología del sistema estructural y sus materiales del que está construida la edificación. Cada tipología tiene asignado un puntaje básico que será modificado por el evaluador. Los modificadores se suman o se restan al puntaje básico para determinar el puntaje final, el cual se divide para el puntaje mínimo de la tipología y con ello se podrá relacionar con el grado de vulnerabilidad de cada edificación (Ballesteros & Caizaguano, 2020).

**Tabla 13**

*Tipología del Sistema estructural implementados por el FEMA-P154*

<b>TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	
Madera	W1
Mampostería sin refuerzo	URM
Mampostería reforzada	RM
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	MX
Pórtico Hormigón Armado	C1
Pórtico H Armado con muros estructurales	C2
Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	C3
H. Armado prefabricado	PC

<b>TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	
Pórtico Acero Laminado	S1
Pórtico Acero Laminado con diagonales	S2
Pórtico Acero Doblado en frío	S3
Pórtico Acero Laminado con muros estructurales de hormigón	S4
Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	S5

**Nota:** Recuperado de (Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, 2015).

**Tabla 14**

*Puntaje básico para cada Tipología del Sistema Estructural*

<b>Código</b>	W1	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC	RM	URM	MH
<b>Puntaje Básico</b>	2.1	1.5	1.4	1.6	1.4	1.2	1.0	1.2	0.9	1.1	1.1	0.9	1.1

**Nota:** Recuperado de (Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, 2015).

**Tabla 15**

*Grado de vulnerabilidad*

<b>GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>	
$S > 1,0$	Vulnerable, requiere evaluación detallada
$S \leq 1,0$	No vulnerable

**Modificadores.** Los parámetros son calificativos de la estructura que van a estar de acuerdo con el tipo de edificio FEMA (Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, 2015).

- IRREGULARIDADES

Irregularidad Vertical Grave

Irregularidad Vertical Moderada

Irregularidad en planta

- CÓDIGO DE LA CONSTRUCCIÓN

Pre - código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción.

Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015).

Post código moderno (construido a partir de 2015).

- SUELO

Suelo Tipo A o B

Suelo Tipo E (1-3 pisos)

Tipo de suelo E (>3 pisos)

**Metodología NEC.** Basada en la metodología FEMA P-154, clasifica las construcciones en tres categorías considerando los daños y seguridad para los ocupantes ante un sismo:

- 1) Edificios con vulnerabilidad baja
- 2) Edificios con vulnerabilidad media
- 3) Edificios con vulnerabilidad alta

Las edificaciones que presentan vulnerabilidad alta necesitan de un estudio más detallado (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

Esta evaluación rápida necesita de una visita a la edificación, mediante la cual se llenan parámetros de un formulario obteniendo una calificación, que la ubicará en una de las tres categorías (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

**Sistema estructural.****Tabla 16***Tipología del sistema estructural implementados para la evaluación*

<b>TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL</b>					
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	Pórticos 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	Pórticos Acero con paredes mampostería	S4
				Laminado con muros estructurales de hormigón armado	S5

**Nota:** Recuperado de (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

Cada tipo de construcción tiene un índice de peligro estructural que refleja la probabilidad de daño y pérdida, dicho índice está basado en la FEMA 154 – 155 (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

**Tabla 17***Puntaje básico de cada sistema estructural*

<b>Tipología</b>														
<b>del sistema</b>	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5	
<b>estructural</b>														
<b>Puntaje</b>	4,4	1,8	2,8	1,8	2,5	2,8	1,6	2,4	2,6	3	2	2,8	2	
<b>Básico</b>														

**Nota:** Recuperado de (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

**Modificadores.** Son los principales factores que afectan en el rendimiento de la edificación, cada uno de ellos tiene un valor distinto según el tipo de estructura (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

- 1) Altura de la edificación
- 2) Irregularidad de la edificación
- 3) Código de construcción
- 4) Tipo de suelo

**Puntaje final, S y grado de vulnerabilidad sísmica.** El puntaje final, S, se obtiene de la suma y/o resta de los valores de los modificadores, el cual designara el grado de vulnerabilidad de la estructura (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

**Tabla 18***Valoración de grado de vulnerabilidad sísmica*

<b>GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA</b>	
S < 2,0	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial
2,5 < S < 2,0	Mediana vulnerabilidad
S > 2,5	Baja vulnerabilidad

**Nota:** Recuperado de (De M, Urbano Y Vivienda 2016).

Después de obtener el índice de vulnerabilidad de la parroquia mediante las metodologías mencionadas, se realiza la suposición de un escenario sísmico donde se utiliza la metodología GEM para la generación de un modelo de exposición

### ***Modelo de Exposición***

Se denomina un modelo de exposición a la asociación de diferentes tipologías estructurales que se encuentran en un espacio delimitado, en las cuales contiene información sobre las estructuras como su localización, distribución en el territorio, características estructurales, número de viviendas y número de ocupantes (Chicaiza, 2017). Esto se relaciona a un supuesto escenario sísmico en el que se toma en cuenta una ruptura sísmica y ecuaciones de movimientos de terreno.

**Metodología Global Earthquake Model (GEM)** Se puede decir que Global Earthquake Model funciona como un foro internacional en el que participan diversas personas como organizaciones con el propósito de compartir, desarrollar, experimentar con diferentes herramientas y aplicaciones en su página web la cual permite realizar un análisis y evaluación del riesgo que puede ocurrir después de un evento sísmico (MAPS, 2018).

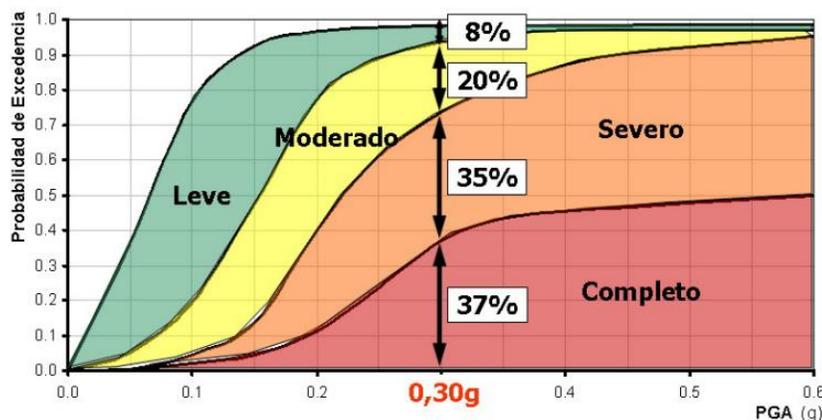
Para la organización GEM que define el “Riego Sísmico Integrado” nos indica que se debe tener en cuenta los siguientes parámetros que permiten el desarrollo de la metodología:

- Exposición: La infraestructura que pueda presentar riesgo al momento que se presente un evento sísmico.
- Escenarios: en estadística, los escenarios son los intentos de argumentar una secuencia hipotética de sucesos, con el fin de encontrar solución al problema o deducir un hecho futuro.

- **Análisis determinístico:** modelo matemático que al final de su estudio, obtiene el mismo resultado, es decir sus salidas no se alteran por más variaciones realizadas.
- **Análisis probabilístico:** también conocidos como análisis o modelos estocásticos, obtienen resultados diferentes, debido a que alguna de sus variables es desconocida o tienen cierto grado de incertidumbre.
- **Modelos de consecuencias:** Los modelos de consecuencia o también conocidos como (daño - pérdida) relacionan el estado de daño que puede sufrir una estructura con el número de ocupantes afectados o el valor que pueda alcanzar un estado de daño. Estos modelos pueden considerar la incertidumbre creando modelos probabilísticos como no considerarlo obteniendo modelos determinísticos.
- **Curvas de fragilidad:** Una curva de fragilidad define la probabilidad de que una estructura al ser afectada por un evento sísmico pueda exceder un estado de daño y todo esto en función a un parámetro que se encarga de delimitar la intensidad sísmica.

**Figura 5**

*Ejemplo de curva de fragilidad.*



**Nota:** Recuperado de (Velásquez & Blondet, n.d.)

- Costo de reposición - Ocupantes: Mediante el uso de las curvas de fragilidad se puede saber el estado de daño de las estructuras según el modelo y junto con un modelo de consecuencia se puede relacionar el estado de daño con pérdidas económicas o de vidas.
- Curvas de vulnerabilidad: Las curvas de vulnerabilidad definen mediante parámetros que representen de la mejor manera las funciones de distribución de pérdidas para los rangos de intensidad. Mediante estos parámetros descritos las curvas de fragilidad logran expresar en términos de pérdidas económicas.

La herramienta en la que se desarrolla el estudio es OpenQuake, una plataforma que está integrada por varios softwares que permiten que el usuario pueda hacer uso de los datos existentes que han surgido como resultado de las investigaciones que este organismo ha ido realizando, lo cual permite que se realicen mejores proyectos de una manera colaborativa (Silva, 2017).

**Esquema de mapeo.** El mapeo es la asociación de componentes con la finalidad de organizar cierta información en una taxonomía que es la combinación de las características que tiene la edificación y en donde se pueda definir, por ejemplo: el sistema estructural, el material de techo, el material de paredes, su grado ductilidad, su sistema de resistencia a cargas laterales, entre otros parámetros más detallados para cada edificación. Con esto se logra mejorar la comprensión y una mayor rapidez en la búsqueda de las diferentes tipologías estructurales y con esto también se puede obtener el porcentaje de las diferentes tipologías de sistemas estructurales (Chicaiza, 2017).

### Siglas taxonomía GEM.

**Tabla 19**

*Abreviaturas GEM*

<b>Abreviatura</b>	<b>Descripción</b>
CR	Concreto reforzado
EU	Tierra no reforzada
MR	Mampostería reforzada
MUR	Mampostería no reforzada
S	Acero
W	Madera
MATO	Otros materiales
CIP	Concreto in-situ
CBH	Bloques huecos de concreto
CLBRS	Bloques solidos de arcilla
W99	Madera desconocida
LFINF	Pórtico relleno
LN	Sin sistema resistente a cargas laterales
DUC	Dúctil
DNO	No dúctil
RMN	Techo de hormigón sin cobertura adicional
RMT1	Cubierta con teja de arcilla u hormigón
RMT2	Cubierta de fibrocemento o tejas metálicas
RMT6	Cubierta de láminas metálicas o de asbesto
RMT7	Cubierta de techo de tejas de madera o asfalto

**Nota:** Recuperado de (Scawthorn et al., 2013).

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

Se describe la modalidad cualitativa y cuantitativa de la investigación. Además, de la utilización de un muestreo aleatorio estratificado, para que mediante el manejo de la probabilidad y nivel de confianza poder determinar la muestra del universo seleccionado, en la cual se aplica las metodologías FUNVISIS, FEMA P-154 y NEC 2015 para la obtención de datos. También se realiza un levantamiento visual del total de predios en el catastro mediante la herramienta de Street View relacionando la base de datos proporcionada por el municipio y la generada, obteniendo información relevante para lograr el desarrollo del Modelo de Exposición y estimar las pérdidas económicas ante un evento sísmico.

#### **Modalidad de Investigación**

La investigación que se lleva a cabo tiene como objetivo principal, además de lograr una correcta revisión bibliográfica, alcanzar objetivos prácticos, específicos e inmediatos mediante el desarrollo de indicadores de riesgo sísmico en beneficio de la sociedad. Además, el proyecto busca procesar y analizar las características estructurales de los predios pertenecientes a la parroquia de Huachi Chico, donde se realizó un levantamiento de los datos requeridos al igual de un control de los mismos para que representen información válida para el proyecto. Basándose en una investigación cuantitativa y cualitativa de toda esta información, se espera obtener datos estimados de vulnerabilidad, pérdida y riesgo que puedan ser relevantes sobre las estructuras residenciales del sector.

#### **Niveles de Investigación**

El perfil de la actual investigación se acopla a un nivel correlacional, ya que se pretende determinar la influencia directa entre las características de las edificaciones y su índice de vulnerabilidad intrínseco.

## Población y Muestra

### ***Población.***

Para la presente investigación sobre vulnerabilidad sísmica del sector de Huachi Chico en la ciudad de Ambato, determina un número de 7485 predios como población de estudio.

### ***Muestra – Cantidad de Edificaciones.***

Para establecer la cantidad edificaciones de estudio, se valió del uso del muestreo aleatorio estratificado, es decir establecer ciertas condiciones y requisitos que permitan garantizar la representatividad y sobre todo reducir el error al agrupar la información, en este caso de las edificaciones de tipo residencial, dentro de la parroquia.

A continuación, se indica el nivel de confianza, es decir la probabilidad, según el factor Alfa, que garantiza que el parámetro de estudio se encuentra dentro del intervalo estimado.

**Tabla 20**

*Nivel de confianza según parámetro  $Z_\alpha$*

<b>Nivel de confianza</b>	$Z_\alpha$
99,7%	3,00
99%	2,58
98%	2,33
96%	2,05
95%	1,96
90%	1,645
80%	1,28

Nivel de confianza	$Z_{\alpha}$
50%	0,674

**Nota:** Recuperado de (Scawthorn et al., 2013).

La cantidad de edificaciones, es decir el tamaño de la muestra, se estableció mediante la siguiente ecuación de tamaño de muestra finito debido al conocimiento del universo seleccionado y las condiciones de la investigación (Hernández-Sampieri, 2014).

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la Población o Universo

$Z_{\alpha}$  = Parámetro estadístico que depende del Nivel de Confianza (NC)

e = Error de estimación máximo aceptado.

p= probabilidad de que ocurra el evento.

q=probabilidad de que no ocurra el evento.

## Técnicas de recolección de datos

### *Recolección de datos en campo*

Utilizando el catastro del sector de Huachi Chico se dividió a la parroquia en 5 zonas de las cuales se tomó un número de viviendas para completar el número total de la muestra. En cada zona se consideran viviendas típicas en las manzanas, en las que se realiza un análisis visual de la estructura y se completa los campos solicitados en las encuestas de FUNVISIS, FEMA P-154 y NEC 2015, para generar una base de datos.

Al realizar las visitas, los pobladores de las distintas zonas mostraron desconfianza y resistencia a colaborar con la información solicitada, por tanto, se

proporcionó identificaciones e información conveniente sobre el proyecto, también se complementó con difusión radial, permitiendo avanzar con mayor seguridad la aplicación de las encuestas.

Se recopiló información como coordenadas UTM, número de pisos, altura entre piso aproximada, área de construcción, año de construcción aproximado, número de ocupantes, tipo de suelo, irregularidades estructurales, características topográficas, deterioro de la vivienda y tipología de la estructura.

### Elaboración de encuestas.

#### a) FUNVISIS

Figura 6

Encuesta metodología FUNVISIS

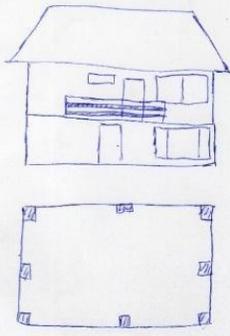
PLANILLA DE INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES (Características Sismorresistentes)			
1. Datos generales			
1.1 Fecha:	05/11/2021	1.2 Hora inicio:	14:30
1.3 Hora culminación:	14:45	1.4 Código:	Z2-A-1
2. Datos de los participantes			
Función	Nombre y apellido	Teléfono	Correo electrónico
2.1 Inspector	Karina Escobar	0994104456	kmaria513@espe.edu.ec
2.2 Revisor	Jefferson Liza	0998992157	jhlizal@espe.edu.ec
2.3 Supervisor	Fabian Coronado	0998935559	fc Coronado@espe.edu.ec
	Jose Puente	0999021691	jp Puente@espe.edu.ec
2. Datos del entrevistado			
3.1 Relación con la Edif.	3.2 Nombre y apellido	3.3 Teléfono	3.4 Correo electrónico
	Danyela Moya	0995389089	
4. Identificación y ubicación de la edificación			
4.1 Nombre o N° Fvul.	Muñoz	4.2 N° de pisos:	2
4.3 N° de sótanos:	0	4.4 Ciudad:	Ambato
4.5 Municipio:	Ambato	4.6 Pto. de Referencia:	FRENK U, Indomérica
4.7 Paredes:	Agromark	4.8 Calle, vareda:	
4.9 Sector:		4.10 Proy. UTM (REGVEN)	4.11 Coord. X: 762769
		4.12 Coord. Y:	9859457
		4.13 Hora:	17
5. Uso de la edificación (marcar con "x", múltiples opciones)			
<input type="checkbox"/> Gubernamental	<input type="checkbox"/> Militar	<input type="checkbox"/> Médico-Astrológico	<input type="checkbox"/> Industrial
<input type="checkbox"/> Bomberos	<input type="checkbox"/> Vivienda Popular	<input type="checkbox"/> Educativo	<input type="checkbox"/> Comercial
<input type="checkbox"/> Protección Civil	<input checked="" type="checkbox"/> Vivienda Unifamiliar	<input type="checkbox"/> Deportivo-Recreativo	<input type="checkbox"/> Oficina
<input type="checkbox"/> Policial	<input type="checkbox"/> Vivienda Multifamiliar	<input type="checkbox"/> Cultural	<input type="checkbox"/> Religiosa
6. Capacidad de ocupación (marcar con "x", múltiples opciones)			
6.1 Número de personas que ocupan el inmueble:	3	6.2 Ocupación durante:	<input type="checkbox"/> Diurna <input checked="" type="checkbox"/> Noche
7. Año de construcción (resaltar y marcar con "x", una opción)			
Año:	2011	<input type="checkbox"/> Antes de 1949	<input type="checkbox"/> Entre 1949 y 1967
		<input type="checkbox"/> Entre 1968 y 1982	<input type="checkbox"/> Entre 1983 y 1998
		<input type="checkbox"/> Entre 1999 y 2001	<input checked="" type="checkbox"/> Después de 2001
8. Condición del terreno (resaltar con "x", una opción por pregunta)			
8.1 Edificación en:	<input checked="" type="checkbox"/> Platanos	8.2 Pendiente del terreno:	<input checked="" type="checkbox"/> 20°-45°
	<input type="checkbox"/> Ladera	8.3 Localizada sobre la mitad superior de la ladera:	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
	<input type="checkbox"/> Base	8.4 Pendiente del talud:	<input type="checkbox"/> 20°-45°
	<input type="checkbox"/> Cima	8.5 Pendiente del talud:	<input type="checkbox"/> Menor a 11 del talud <input type="checkbox"/> Mayor a 11 del Talud
9. Tipo Estructural			
9.1 Marque con "x", múltiples opciones:	de pórticos.		
<input type="checkbox"/> 1. Pórticos de concreto armado	<input type="checkbox"/> 10. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada		
<input checked="" type="checkbox"/> 2. Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de a rejilla o de concreto	<input type="checkbox"/> 11. Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería no confinada		
<input type="checkbox"/> 3. Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales	<input type="checkbox"/> 12. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos		
<input type="checkbox"/> 4. Sistemas con muros de concreto armado de poca espesor, dispuestos en una sola dirección (algunos sist. tipo túnel)	<input type="checkbox"/> 13. Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos		
<input type="checkbox"/> 5. Pórticos de acero	<input type="checkbox"/> 14. Viviendas de bahareque de un piso		
<input type="checkbox"/> 6. Pórticos de acero con perfiles tubulares	<input type="checkbox"/> 15. Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)		
<input type="checkbox"/> 7. Pórticos de acero diagonalizados			
<input type="checkbox"/> 8. Pórticos de acero con cerchas			
<input type="checkbox"/> 9. Sistemas pre-fabricados a base de grandes paneles o			
9.2 Indique el número del tipo estructural predominante:			
10. Esquema de planta (marcar con "x")			
<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> L	<input type="checkbox"/> Esbeltez horizontal	<input type="checkbox"/> T
<input type="checkbox"/> T	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> Ninguno	<input type="checkbox"/> U
<input type="checkbox"/> U <sup>o</sup> ó C <sup>o</sup>	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Píndale invertida	<input type="checkbox"/> L
		<input type="checkbox"/> Piramidal	<input checked="" type="checkbox"/> Rectangular
			<input type="checkbox"/> Ninguno



c) NEC

Figura 8

Encuesta metodológica NEC

EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES													
ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACIÓN DE LA EDIFICACIÓN A EVALUARSE						DATOS EDIFICACIÓN							
						Dirección: Calle Vigemonte Nombre de la Edificación: Fed. Huachi Sitio de referencia: J. Huachi Chico Tipo de uso: Residencial Fecha de evaluación: 05/11/2019 Año de construcción: 2011 Año de remodelación: Área construida: 110 m <sup>2</sup> Número de pisos: 2							
						DATOS DEL PROFESIONAL Nombre del evaluador: Kevin C. Ceballos Cédula del evaluador: 18033264-5 Registro SISMOSCTI:							
FOTOGRAFÍAS													
TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL													
MADERA	W1	Pórtico Hormigón Armado				C1	Pórtico Acero Laminado				51		
Mampostería sin refuerzo	SM	Pórtico H. Armado con muros estructurales				C2	Pórtico Acero Laminado con diagonales				52		
Mampostería reforzada	RM	Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo				C3	Pórtico Acero Laminado con muros estructurales de hormigón armado				53		
Mixta acero-hormigón o mixta maderas-hormigón	MX	H. Armado prefabricado				PC	Pórtico Acero con paneles de mampostería				54		
											55		
PUNTALES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTALES FINALES													
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5
Puntaje básico	6.4	3.8	2.8	3.8	2.5	2.8	(1.0)	2.4	2.8	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	0.4	N/A	0.4	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	0.6	0.8
IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACIÓN													
Irregularidad vertical	-2.5	-1	-1	-1.5	-3.5	-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
CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN													
Pre-código moderno (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 etapas de transición (entre 1977 y 2003)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Post-código moderno (construido a partir de 2003)	1	N/A	2.5	1	1.4	2.4	(1.0)	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	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	(0.4)	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
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
PUNTAJE FINAL											2.6		
GRADO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA													
1 < 2.0	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación espacial												
2.5 > 5 > 2.0	Medio vulnerabilidad												
5 > 2.5	Baja vulnerabilidad												
OBSERVACIONES:											Firma RESPONSABLE EVALUACIÓN 		
Altura de empuje: 2,50m      Estructura de maderas y lega para techo. Rampetas													

**Tipología estructural.** Para establecer la tipología del edificio, la persona a evaluar tiene que ser capaz de identificar el sistema estructural de las residencias que se hallen en el área de investigación. Si por cualquier circunstancia el evaluador no logre determinar el sistema estructural del edificio a primera vista y no haya acceso alguno, se debe ir descartando los sistemas que claramente no pertenezcan a la estructura en estudio y puntuar las posibles opciones que restan. Los tipos de estructuras residenciales que se presentan en gran parte del sector de Huachi Chico se los presenta a continuación.

Tabla 21

*Tipologías estructurales*

Tipos de edificaciones	Descripción
<p data-bbox="321 403 691 499">Estructura liviana de madera simple, de 1 o 2 pisos</p> 	<p data-bbox="750 403 1386 699">Estas edificaciones están conformadas por columnas, vigas, celosías o armaduras de madera natural o laminada que mantienen un sistema estructural ligero. Son estructuras de 1 o 2 pisos como máximo.</p>
<p data-bbox="308 827 714 995">Estructuras con pórticos de acero rellenas de mampostería no reforzada</p> 	<p data-bbox="750 827 1403 1333">Estructuras que parten de una placa base en donde se ubican los pórticos de acero laminados en frío o caliente, la edificación tiene paredes de mampostería (bloque o ladrillo) externa y como divisiones internas de la residencia. Las columnas se las ocultan colocando malla y siendo enlucidas a la par con las paredes. Llevan techo con cubierta metálica ligera.</p>
<p data-bbox="302 1365 714 1533">Estructuras de hormigón armado con pórticos resistentes a momento y carga lateral</p> 	<p data-bbox="750 1365 1403 1661">Estructuras cuyos elementos estructurales, vigas, columnas y losas son de hormigón armado. La estructura está compuesta por marcos rígidos, por ello, son resistentes a momento con un buen rendimiento y dan buen grado de ductilidad.</p>

Tipos de edificaciones	Descripción
<p data-bbox="354 268 683 428">Estructuras de hormigón armado con relleno de mampostería no reforzada</p> 	<p data-bbox="751 268 1393 632">Estas estructuras forman pórticos con columnas y vigas de hormigón armado, son rellenas de mampostería no reforzadas, las columnas y vigas suelen tener el mismo espesor terminado de la pared. En este caso si el relleno de mampostería tiende a caer fácilmente en un evento sísmico.</p>
<p data-bbox="326 758 704 989">Estructuras de muros de mampostería reforzada con diafragmas flexibles de piso y techo.</p> 	<p data-bbox="751 758 1393 1457">Muros de mampostería sean paredes portantes de bloque o ladrillo trabados sin la presencia de columnas de hormigón armado, se colocan varillas corrugadas de acero de armado longitudinal y transversal. El espesor depende del recubrimiento y ancho del bloque o ladrillo, por lo general va desde los 15 a los 20 cm. Estas construcciones tienen un comportamiento moderado ante sismos si su anclaje de losa, configuración estructural y reforzamiento son los adecuados.</p>
<p data-bbox="313 1562 716 1661">Estructuras de muros de pared no reforzadas</p>	<p data-bbox="751 1562 1385 1860">Estas estructuras cuentan con paredes portantes de mampostería sin reforzar, al construir las paredes con ladrillo, bloque, adobe o bahareque estas no tendrán el refuerzo de varillas de acero. En estas construcciones son realizadas por lo</p>

Tipos de edificaciones	Descripción
	<p>general sin un código de construcción y que muy seguido utilizan un mortero blando para unir los diferentes tipos de mampostería. El comportamiento ante un sismo tiende a ser pobre si los anclajes de los muros de paredes al piso y al techo son mal realizados o no existen.</p>
<p>Mixta acero - hormigón o mixta madera - hormigón</p>	<p>Estas estructuras están conformadas de un sistema estructural de diferentes materiales. Pueden existir la combinación de columnas de hormigón armado con vigas metálica o columnas de hormigón armado con vigas de madera. Se debe tomar el sistema constructivo principal y más crítico para determinar la tipología de la edificación.</p>
	

**Nota:** Recuperado de (De and Urbano Y Vivienda 2016).

**Irregularidades estructurales.** Para determinar las irregularidades estructurales, el evaluador será capaz de identificar los tipos de irregularidades en edificios dentro del sector de estudio. En el caso de no haber acceso a la edificación se realiza un análisis visual. Los tipos de irregularidades que se presentan en gran parte del sector de Huachi Chico se los presenta a continuación.

Tabla 22

*Irregularidades estructurales*

Tipo de irregularidad	Descripción
<p data-bbox="315 401 745 499">Ausencia de vigas altas en una o más direcciones</p> 	<p data-bbox="789 401 1373 569">La presencia de vigas cortas presenta concentración de esfuerzos que provoca una falla frágil.</p>
<p data-bbox="334 842 729 873">Adosamiento: losa contra losa</p> 	<p data-bbox="789 842 1352 1010">El golpeteo no tiene consecuencias graves, pero puede causar colisión dependiendo la magnitud de los sismos.</p>
<p data-bbox="306 1232 756 1264">Adosamiento: losa contra columna</p> 	<p data-bbox="789 1232 1341 1463">Las columnas están sujetas a fuerzas cortantes muy altas, por lo que la columna puede colapsar debido a corte (Cole et al., 2010).</p>
<p data-bbox="318 1612 745 1644">Geometrías irregulares en planta</p>	<p data-bbox="789 1612 1373 1841">Cuando se diseñan plantas complejas o irregulares existiendo ángulos de quiebre en la estructura concentrando la mayor cantidad de esfuerzos.</p>

Tipo de irregularidad	Descripción
	
<p data-bbox="358 594 683 695">Geometrías irregulares en elevación</p>	<p data-bbox="789 594 1385 695">Las irregularidades en elevación provocan grandes concentraciones de esfuerzo en la estructura.</p>
	
<p data-bbox="318 993 683 1031">Adiciones en elevación o planta.</p>	<p data-bbox="789 993 1385 1031">Generan irregularidad en la edificación.</p>
	
<p data-bbox="305 1356 683 1591">Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical.</p>	<p data-bbox="789 1356 1385 1591">Es una irregularidad vertical que se agrava a medida que aumenta su altura, en la que se concentran las masas en los niveles superiores a causa de tanque, piscinas, estacionamientos, entre otros.</p>

Tipo de irregularidad	Descripción
	<p>Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta</p> <p>Se busca la semejanza del centro de rigidez y centro de masa para evitar torsión.</p>
	<p>Presencia de columnas cortas</p> <p>Las columnas pueden tener una falla frágil causando daño a la estructura.</p>
	

**Nota:** Recuperado de (De & Urbano Y Vivienda, 2016).

### ***Recolección de datos visual***

Utilizando la información digital del catastro del sector de Huachi Chico y la herramienta de Street View de Google, se realiza un levantamiento visual de todos los predios de cada zona, describiendo principalmente las viviendas residenciales unifamiliares, multifamiliares o mixtas.

Para la base de datos general se tomó en cuenta los datos referentes a ID del catastro, ID político, FID de predio, FID de la construcción, número de pisos, número de construcciones en el predio, material de techo, material de paredes, ocupación, área de construcción, área del predio, tipología, tipo de suelo, licuefacción, deslizamiento, lados adosados, irregularidades, esquema en planta, esquema en elevación, peligro de caída, tipo de terreno, pendiente, deterioro estructural, deterioro de mampostería, estado general de la construcción y drenaje.

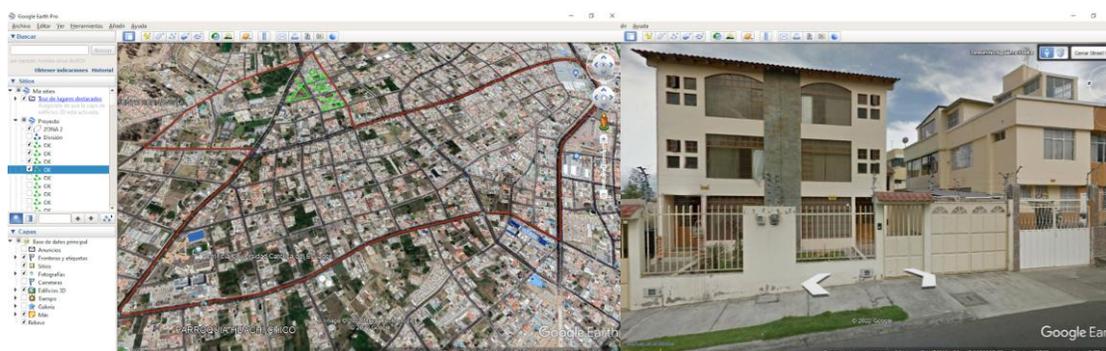
**Figura 9**

*Base de Datos - Excel*

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		
1	ZONA	ID_CATASTR	ID_POLITIC	FID_PREDIO	FID_CONST	PISOS	Nº_CONST	PREDIO	M_TECHO	M_PAREDES	OCCUPACIÓN	AREA_CONST	AREA_TERR	DES_TIPOLO	TIPO_SUELO	LICUEFACCIÓN	DESIZAMIENTOS	LADOS	ADOSADOS	IRREGULARID
13	1	123011009	180150	4467	97	2	1		Teja	Bloque	RES1	24,91	191,706801	Mixta 1 piso	D	NO	NO	BPD		Estructura fr (construcciones de bloque sin elem
14	1	123011008	180150	5903	96	3	1		Concreto	Bloque	RES2	336,42	171,592294	A, A, 2 a 4 piso	D	NO	NO	BP2		Ausencia de vigas una o dos dire
15	1	123011005	180150	3142	93	1	1		Teja	Bloque	RES1	66,5	217,765775	H, A, 1 piso	D	NO	NO	BP1		Adosamiento: Losa columnas
16	1	123011004	180150	3153	-	-	-			Bloque	RES1	#N/D	219,437537		D	NO	NO			
17	1	123011019	180150	3791	117	1	2		Hojas metálicas o de asbesto	Bloque	RES1	83,66	414,16734	H, A, 1 piso	D	NO	NO	BP1		Adosamiento: Losa
18	1	123011020	180150	3014	118	2	2		Madera o piedra asfáltica	Tierra	RES1	29,84	230,213917	Mixta 1 piso	D	NO	NO	BPD		Estructura fr (construcciones de bloque sin elem
19	1	123011021	180150	2853	122	3	1		Concreto	Bloque	MIX1	177,06	217,75325	A, A, 2 a 4 piso	D	NO	NO	BP1		Ausencia de vigas una o dos dire
20	1	123011022	180150	6395	124	3	2		Concreto	Bloque	RES1	104,94	312,386624	A, A, 2 a 4 piso	D	NO	NO	BP2		Adosamiento: Losa
21	1	123011023	180150	1838	126	2	2		Concreto	Bloque	RES2	53,23	380,670288	Mixta 1 piso	D	NO	NO	BP2		Ausencia de vigas una o dos dire
22	1	123011002	180150	4043	91	3	1		Concreto	Bloque	MIX1	262,68	165,923647	A, A, 2 a 4 piso	D	NO	NO	BP2		Ausencia de vigas una o dos dire
23	1	123012014	180150	3912	159	1	1		Hojas metálicas o de asbesto	Tierra	RES1	20	138,974066	choreque 1 pi	D	NO	NO	BP1		Estructura fr (construcciones de bloque sin elem
24	1	123012015	180150	1951	162	3	1		Concreto	Ladrillo	RES2	57	37,6663778	Mixta 1 piso	D	NO	NO	BP1		Adosamiento: Losa

**Figura 10**

*Levantamiento visual – Zona 2*



## **Validez y Confianza**

Se dice que la efectividad de un instrumento de medición se la aprueba cuando la validez indica efectivamente lo que debe calcular.

### ***Procedimiento de validación:***

Una vez concluidos los instrumentos de recolección de datos presencialmente, es necesario realizar una validación que corrobore la efectividad del procedimiento, para lo cual se propone realiza una comparación con el levantamiento visual descrito.

El proceso de validación se lo realiza comparando cada predio levantado es decir la muestra de 998 residencias, con respecto a los 7484 predios que se levantó mediante la herramienta de Street View, para lo cual se asignó un identificador catastral a cada coordenada correspondiente al levantamiento presencial, para de esta forma anexar y comparar la información que se contiene en las 2 bases de datos correspondiente a cada levantamiento, de esta manera se compara características fundamentales como lo son: número de pisos, Material de Paredes, resultados de los formularios de vulnerabilidad y tipología GEM.

De igual manera se prevé realizar una comparación menos exhaustiva la cual consiste en comparar los datos porcentuales de las características fundamentales antes nombradas, las cuales están descritas en el capítulo 4.

## **Técnicas de Análisis de datos**

Después de obtenidos los datos, se procedió a elaborar una base de datos general en una hoja electrónica de cálculo tanto para los levantamientos en campo y los levantamientos mediante la herramienta Street View de Google.

Estas bases de datos contienen la información más relevante de cada edificación para poder realizar los cálculos de vulnerabilidad.

### ***Análisis de datos de levantamientos de campo***

Los levantamientos en campo se unificaron en una sola base de datos, es decir se recolectó la información más importante de las encuestas de FUNVISIS, FEMA P-154 y NEC 2015. Una vez ingresados los datos correspondientes la base de datos nos arroja automáticamente los cálculos de los formularios de FEMA P-154 y NEC 2015, nos muestra los indicadores de riesgo de acuerdo con la metodología venezolana FUNVISIS para poder obtener el índice de riesgo.

Adicionalmente se registra en esta base de datos la taxonomía corta proporcionada por GEM.

### ***Análisis de datos visuales***

Esta base de datos refleja el total de predios presentes en las 5 zonas de la parroquia de Huachi Chico. Donde se identificaron aspectos similares a la base de datos de campo y se incluyó información presente en el catastro municipal como el número de predio y tipología de construcción. En esta base de datos de igual manera se incluye una taxonomía.

### ***Análisis de datos en software QGIS***

Utilizando el software QGIS 3.22.2, el cual es un sistema de información geográfica (SIG) gratuito, fue posible analizar y realizar mapas que incluyen las características de la estructura para obtener comparaciones y estadísticas de las particularidades de las edificaciones residenciales de cada zona.

### ***Obtención de tipologías con Matlab***

Para poder obtener las tipologías estructurales del análisis de datos visuales se procedió a elaborar un código en el programa computacional Matlab, el cual permite desarrollar algoritmos para obtener cálculos. Con la ayuda de este software fue posible

agilizar la obtención de la codificación (taxonomía) en base a las características estructurales de cada zona.

### ***Análisis de vulnerabilidad física con OpenQuake (OQ)***

Para realizar el análisis de vulnerabilidad física con el software OpenQuake, el presente se fundamentó en 3 factores importantes para realizar un análisis determinista, estos forman parte del Escenario Sísmico, los cuales son: Ruptura sísmica, GMPEs y los efectos del suelo.

**Ruptura sísmica.** Al realizar un análisis determinista es necesario asignar una ruptura en particular, para lo cual, tras escogerla, es necesario conocer características de la falla a modelar, tales como: Magnitud, ángulo “rake”, localización de la falla, profundidad, ángulo “strike” y buzamiento, el software nos genera una ruptura arbitraria con las características nombradas, para el presente estudio se utilizó los parámetros de la falla ciega de Huachi como se puede observar en la Tabla 23.

**Tabla 23**

*Parámetros de las fallas ciegas de la ciudad de Ambato*

<b>Nombre</b>	<b>Tipo de falla</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Ancho (km)</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Buzamiento (Grados)</b>	<b>Rake (grados)</b>
Huachi	Inversa	12,04	6,00	6,3	45	90
Ambato	Inversa	16,30	6,00	6,5	45	90
Totora	Transcurrente- Inversa	17,65	6,00	6,5	45	90

**Nota:** Recuperado de (Aguiar & Rivas Medina, 2018)

OpenQuake también puede procesar datos más específicos de ruptura como la traza de esta en la superficie y volumen de ruptura.

**GMPEs.** Los modelos de movimiento del terreno modelados en OQ no son perfectos, este tipo de análisis tienen un alto rango de incertidumbre asociada, por lo cual se tiene que generar la estimación a partir de varios escenarios distintos con diversas intensidades, para que los daños resultantes de cada uno de los escenarios converjan en un valor aceptado. En la Figura 11, se puede observar un ejemplo de uno de los escenarios de intensidad.

**Figura 11**

*Mapa de intensidad - Escenario 1000 de la Zona 2 de Huachi Chico*



En OQ se calcula amenazas, riesgo y pérdidas: económicas y humanas, estos escenarios o modelos de exposición se generan a partir de la información que se reunió en los levantamientos de recolección visuales, ya que se va a modelar todos los predios existentes dentro de la parroquia de Huachi Chico, en este proceso se ingresa la ruptura generada.

En el modelo de exposición es necesario depurar la base de datos, eliminando los predios que no aplican al análisis (baldíos y no residenciales), de igual manera la matriz de datos deberá tener columnas con la siguiente información: un identificador,

coordenadas geográficas, la taxonomía asignada a cada predio, número de viviendas por predio, precio estructural por predio, número de personas por predio; para poder calcular la fatalidad y demás características que el usuario crea necesaria.

Los modelos de movimiento del terreno se basarán en modelos compatibles con sismicidad cortical superficial. Los GMPEs seleccionados para crear el escenario fueron: AkkarEtAlRjb2014, ChiouYoungs2014 y ZhaoEtAl2016Asc.

**Efectos del suelo.** La falla estructural de las edificaciones durante los eventos sísmicos depende de las propiedades y características de vibración de la estructura y el suelo, porque el suelo tiene rigidez y masa por naturaleza, por lo tanto, tiene su propio periodo de vibración (LUIS MIGUEL MÉNDEZ JARAMILLO, 2015).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción nos da las instrucciones adecuadas para la construcción de distintas edificaciones, de esta manera se elige los espectros de respuesta elástica de acuerdo con el tipo de suelo. Esta norma nos indica tomar el valor medio de la velocidad de onda cortante  $V_{s30}$ .

Para este proyecto se trabajó con un tipo de suelo D, el cual nos indica que es un suelo rígido con velocidad de onda de corte promedio  $180\text{m/s}$  ( $600\text{ft/s}$ )  $< V_{s30} < 360\text{m/s}$  ( $1200\text{ft/s}$ ), o con un conteo de golpes promedio de SPT  $15 \leq N_{30m} \leq 50$ , o con resistencia al corte no drenado promedio  $50\text{KPa}$  ( $1000\text{psf}$ )  $\leq S_u \leq 100\text{KPa}$  ( $2000\text{psf}$ ) (NEC-SE-DS, 2015).

**Análisis de pérdidas económicas.** La parroquia de Huachi Chico, cuenta con una diversa tipología estructural mencionada en este estudio, para realizar un análisis de pérdidas, se obtuvo un valor de construcción en  $\text{m}^2$  mediante la revista "Modus Vivendi" de la Cámara de la Construcción de Ambato, la cual presenta un presupuesto de obras civiles de \$ 596,80 USD, sin embargo, se consideró solamente el precio de la construcción en obra gris, para lo cual se descontó el valor de los acabados de \$ 237,23

USD, llegando a un valor de \$ 359.57 USD el m<sup>2</sup> de construcción. Todo esto con el fin de tener un panorama más realista de lo que se llegaría a perder en el caso de que el escenario sísmico modelado llegase a suceder.

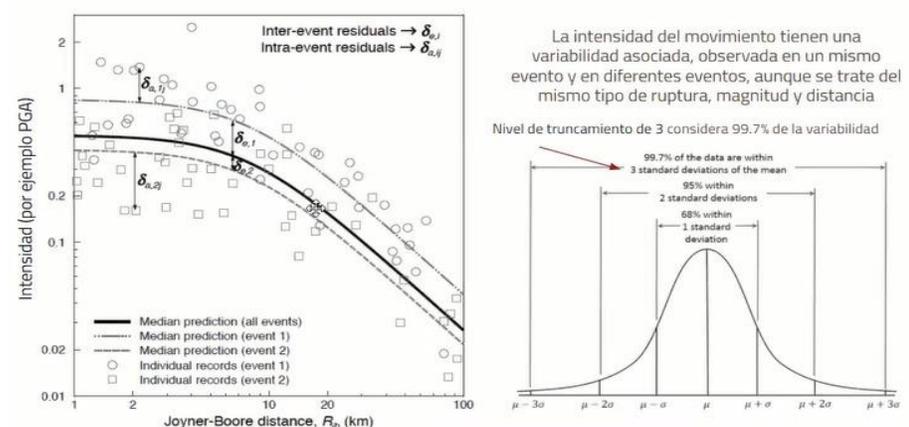
Otra forma de analizar las pérdidas económicas fue asignando un valor de unidad a todos los predios, de esta manera las pérdidas generadas en el escenario sísmico darían como resultados un porcentaje con respecto a cada predio.

**Variabilidad en la intensidad del movimiento del terreno.** El software realiza el número de simulaciones que se le establezca, por lo que, no hacemos una sola simulación sino varias de una misma ruptura (evento sísmico) para asegurar estar capturando la variabilidad, ya que en algunos escenarios se modelan intensidades muy leves y en otros, intensidades muy fuertes, con ello, se puede conocer las consecuencias, pérdidas o daños en todo el rango de incertidumbre, en este caso de estudio se utiliza el valor de 1000 simulaciones, en donde empíricamente se muestra que los resultados convergen.

Para el nivel de truncamiento se toma en cuenta toda la incertidumbre asociada a la GEMPs descrita por una función Gaussiana; se toma el valor de 3 para el truncamiento que considera el 99.7% de la variabilidad, con lo cual la incertidumbre toma la proyección mediana del movimiento del terreno agregándole variación de intensidades leves o fuertes, separadas hasta 3 desviaciones estándar de la media. Haciendo simulaciones hasta muy lejos de la mediana.

Figura 12

## Función Gaussiana



**Nota:** Recuperado de GEM.

Por lo tanto, al establecer un truncamiento de 3 y pedir que se realice 1000 simulaciones por cada una, se va a obtener un total de 3000 escenarios, a partir de ello, se generan pérdidas para cada predio en cada simulación, el software toma el valor en cada una de las simulaciones y genera un promedio.

Una vez completado el modelo de exposición, es necesario contar con un mapa de taxonomías, donde a cada una de las tipologías estructurales se les asigna una curva de vulnerabilidad y un peso asignado a las taxonomías, esto para proporcionar una mayor confiabilidad al modelo. Las curvas de vulnerabilidad que se usaron en este estudio son de (Martins & Silva, 2021).

Para que el software obtenga los resultados de pérdidas, utiliza las curvas de fragilidad consiguiendo el estado de daño que va a resultar de las estructuras en un determinado evento sísmico, permitiendo relacionar cada estado de daño con un porcentaje de pérdida. El modelo de fragilidad proporciona distribución de daño y el modelo de consecuencia brinda el porcentaje de costo de daño, obteniendo los modelos de vulnerabilidad se consigue una tasa de pérdida que dependerá de la intensidad aplicada en el evento.

## CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se detalla los resultados que se obtuvieron, por medio de tablas y de manera grafica con mapas, caracterizando a las viviendas según el número de pisos, irregularidades estructurales, material de paredes y techo, para la obtención de las diferentes tipologías que varían en cada zona según su construcción. Para la parroquia se estimó según la metodología FUNVISIS vulnerabilidad media baja, FEMA P-154 vulnerable y requiere de un estudio detallado y para la NEC 2015 alta vulnerabilidad. También se estima las pérdidas estructurales en USD y en índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad de cada zona que se obtuvo aplicando el software OQ.

### **Población y muestra**

#### *Cálculos de la muestra finita*

La zona de estudio de Huachi Chico comprende 7484 predios, divididos en 5 partes, según base de datos identificados en el catastro municipal proporcionado.

Al aplicar la ecuación 6, antes mencionada, se encontró el valor de la muestra de 935 predios, distribuidos a lo largo de 5 zonas, con un nivel mínimo de error asignado, parámetro que garantiza la confiabilidad de la muestra identificada, y se calculó según la aplicación de los siguientes datos:

$N = 7484$  predios.

$Z_{\alpha} = 1,67$  parámetro asignado para un nivel de confianza del 96%.

$e =$  Se asigna un error aceptable del 3%.

$p = 50\%$ , cuando no se conoce la probabilidad, se asigna dicho valor.

$q = 50\%$ , es el valor de  $1 - p$ , que se asigna para casos donde no se identifica probabilidad.

$$n = \frac{7485 * 2.19^2 * 0.50 * 0.50}{0.03^2 * (7485 - 1) + 0.50 * 0.50}$$

$$n = 935 \text{ predios}$$

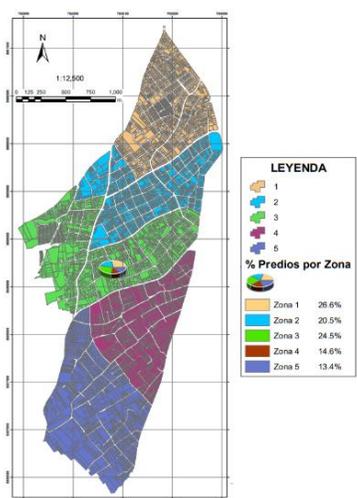
Una vez identificada la muestra se procedió a dividir la misma por zonas para que la recolección de información de una manera equitativa.

### Resultado de datos del levantamiento en campo

El trabajo en campo inició el 5 y 6 de noviembre del 2021 dividiendo el grupo en 4 parejas a las cuales se les repartió las subzonas de la Zona 2, el levantamiento de esta zona finalizó el 12 de noviembre del 2021 donde también se inició la Zona 1 la cual finalizó el 13 de noviembre del 2021, las Zonas 3, 4 y 5 se realizó los días 16, 17 y 18 de noviembre del 2021. La jornada de trabajo fue de 7h00 a 13h00 – 14h00 a 17h00 entre semana y los fines de semana de 8h00 a 13h00 – 14h00 a 16h00. En promedio se logró realizar el levantamiento de 30 a 40 viviendas diarias con la ayuda de las encuestas de las diferentes metodologías; después de procesar los datos se obtuvo la base de datos y con esta la tipología GEM usando la aplicación TaxtWEB del OpenQuake para obtener una taxonomía corta para identificar la tipología estructural.

### Figura 13

Zonas de la Parroquia de Huachi Chico



### **Características de la edificación**

**Zona 1.** Se realizó el levantamiento en campo de un total de 300 viviendas de tipo residencial.

- *Número de pisos*

**Tabla 24**

*Número de pisos – Zona 1*

<b>Número de pisos</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
De 1 a 3	272	90,67%
De 4 a 6	28	9,33%

Según la Tabla 24, del total de viviendas en la zona, un 90,67% se encuentra en el rango de 1 a 3 pisos y un 9,33% en el rango de 4 a 6 pisos.

Se puede evidenciar que en la zona 1 de Huachi Chico predominan las viviendas de entre 1 a 3 pisos.

- *Irregularidades estructurales*

A continuación, se presentan las tablas con el número de viviendas que presentan las distintas irregularidades.

**Tabla 25**

*Irregularidades estructurales - Zona 1*

<b>Irregularidad estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	204	68,00%
Adosamiento: Losa contra losa	91	30,33%
Adosamiento: Losa contra columna	146	48,67%

<b>Irregularidad estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	12	4,00%
Planta de forma I, H, T, U, C o similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal.	2	0,67%
Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical.	1	0,33%
Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta	3	1,00%

Se evidencio que puede existir más de una irregularidad en la vivienda. Según la Tabla 25, las irregularidades con mayor porcentaje son:

Del total de viviendas un 68,00% presentan la ausencia de vigas altas en uno o dos sentidos.

Del total de viviendas un 48,67% presenta adosamiento losa contra columna.

Del total de viviendas un 30,33% presentan adosamiento losa contra losa.

La irregularidad con menor porcentaje son las masas que crecen significativamente con la elevación con un 0,33% del total de las viviendas.

### **Tabla 26**

#### *Irregularidad en la geometría en planta - Zona 1*

<b>Geometrías irregulares en planta</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	197	65,67%
Ninguno	29	9,67%
Irregular	25	8,33%

<b>Geometrías irregulares en planta</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
"L"	35	11,67%
Cajón	6	2,00%
Esbeltez horizontal	4	1,33%
"C"	1	0,33%
"U"	2	0,66%
"T"	1	0,33%

Según la Tabla 26, del total de viviendas un 65,67% presenta regularidad en la geométrica en planta. La forma irregular con el porcentaje más alto es el tipo "L" con 11,67% y las de menor porcentaje son las de tipo "T" y "U" con 0,33%.

**Tabla 27**

*Irregularidades en la geometría en elevación – Zona 1*

<b>Geometrías irregulares en elevación</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	193	64,33%
"L"	40	13,33%
Ninguno	26	8,67%
Irregular	22	7,33%
Piramidal	12	4,00%
"T"	5	1,67%
Esbeltez Vertical	2	0,67%

Según la Tabla 27, del total de viviendas un 64,33% presenta regularidad en la geométrica en elevación. La forma irregular con el porcentaje más alto es "L" con 13,33% y la de menor porcentaje es la de "Esbeltez Vertical" con 0,67%.

- *Tipología estructural*

**Tabla 28**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS – Zona 1*

<b>Tipología Estructural FUNVISIS</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Pórticos de concreto armado	114	38,00%
Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	161	53,67%
Pórticos de acero	1	0,33%
Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	13	4,33%
Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	6	2,00%
Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura mayor a 2 pisos	2	0,67%
Viviendas de bahareque de un piso	3	1,00%

Según la Tabla 28, se puede apreciar que el material dominante en las estructuras de la zona 1 según FUNVISIS son los pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto.

**Tabla 29***Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 1*

<b>Tipología Estructural</b> <b>FEMA P-154</b>	<b>N.º de</b> <b>viviendas</b>	<b>%</b>
(C1) Pórtico Hormigón Armado	147	49,00%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	136	45,33%
(S5) Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	1	0,33%
(W1) MADERA	9	3,00%
(URM) Mampostería sin refuerzo	5	1,67%
(S3) Construcciones con pórticos de metal ligero	2	0,67%

Según la Tabla 29, se puede apreciar que el material dominante en las estructuras de la zona 1 según FEMA P-154 son los pórticos de hormigón armado.

**Tabla 30***Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC – Zona 1*

<b>Tipología Estructural</b> <b>NEC</b>	<b>N.º de</b> <b>viviendas</b>	<b>%</b>
(C1) Pórtico Hormigón Armado	155	51,67%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	122	40,67%
(S1) Pórticos Acero Laminado	1	0,33%

Tipología Estructural NEC	N.º de viviendas	%
(W1) MADERA	3	1,00%
(RM) Mampostería reforzada	1	0,33%
(URM) Mampostería sin refuerzo	5	1,67%
(MX) Mixta acero-hormigón o mixta madera- hormigón	13	4,33%
(W1) Madera	3	1,00%

Según la Tabla 30, se puede apreciar que el material dominante en las estructuras de la zona 1 según NEC 2015 son los pórticos de hormigón armado.

**Zona 2.** Se realizó el levantamiento en campo de 204 viviendas residenciales distribuidas en la zona.

- *Número de pisos*

**Tabla 31**

*Número de pisos - Zona 2*

Número de pisos	N.º de viviendas	%
De 1 a 3	189	92,65%
De 4 a 6	14	6,86%
De 7 a 10	1	0,49%

Según la Tabla 31, del total viviendas en la zona, un 92,65% se encuentran entre el rango de 1 a 3 pisos, un 6,86% en el rango de 4 a 6 y un 0,49% en el rango de 7 a 10 pisos.

Se puede evidenciar que en la zona 2 de Huachi Chico predominan las viviendas de entre 1 a 3 pisos.

- *Irregularidades estructurales*

A continuación, se presentan las tablas con el número de viviendas que presentan las distintas irregularidades.

**Tabla 32**

*Irregularidades estructurales - Zona 2*

<b>Irregularidad estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	144	70,59%
Adosamiento: Losa contra losa	87	42,65%
Adosamiento: Losa contra columna	48	23,53%
Adiciones en elevación o planta	34	16,67%
Presencia de columnas cortas	4	1,96%
Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	2	0,98%
Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical.	2	0,98%
Fuerte asimetría de masas o rigideces en planta	1	0,49%

Se evidencio que puede existir más de una irregularidad en la vivienda. Según la Tabla 32, las irregularidades con mayor porcentaje son:

Del total de viviendas un 70,59% presentan la ausencia de vigas altas en uno o dos sentidos.

Del total de viviendas un 42,65% presentan adosamiento losa contra losa.

Del total de viviendas un 23,53% presenta adosamiento losa contra columna.

La irregularidad con menor porcentaje es la fuerte asimetría de masas o rigideces en planta con un 0,49% del total de las viviendas.

**Tabla 33**

*Irregularidad en la geometría en planta - Zona 2*

<b>Geometrías irregulares en planta</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	111	54,41%
Ninguno	43	21,08%
Irregular	22	10,78%
"L"	22	10,78%
Esbeltez horizontal	3	1,47%
"C"	2	0,98%
"U"	1	0,49%

Según la Tabla 33, del total de viviendas un 54,41% presenta regularidad en la geométrica en planta. La forma irregular con el porcentaje más alto es "Irregular" con 10,78% y la de menor porcentaje es "U" con 0,49%.

**Tabla 34**

*Irregularidad en la geometría en elevación - Zona 2*

<b>Geometrías irregulares en elevación</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	110	53,92%
"L"	38	18,63%
Ninguno	35	17,16%
Irregular	12	5,88%
Piramidal	7	3,43%

<b>Geometrías irregulares en elevación</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
"T"	2	0,98%

Según la Tabla 34, del total de viviendas un 53,92% presenta regularidad en la geométrica en elevación. La forma irregular con el porcentaje más alto es "L" con 18,63% y la de menor porcentaje es "T" con 0,98%.

- *Tipología estructural*

De acuerdo con los levantamientos realizados en campo se determinaron las siguientes tipologías estructurales según las metodologías del FUNVISIS, FEMA P-154 Y NEC:

**Tabla 35**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS - Zona 2*

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
<b>FUNVISIS</b>		
Pórticos de concreto armado	58	28,43%
Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	110	55,39%
Pórticos de acero	2	0,98%
Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	3	1,47%
Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	28	13,73%

De la Tabla 35, se determina que la tipología estructural según la metodología FUNVISIS en las estructuras de la zona 2 son los pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto.

**Tabla 36**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 2*

<b>Tipología Estructural FEMA P-154</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
(C1) Pórtico Hormigón Armado	79	38,73%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	115	56,37%
(S5) Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque	2	0,98%
(W1) MADERA	2	0,98%
(RM) Mampostería reforzada	1	0,49%
(URM) Mampostería sin refuerzo	2	0,98%
(MX) Mixta acero-hormigón o mixta madera- hormigón	3	1,47%

De la Tabla 36, se determina que la tipología estructural según la metodología FEMA P-154 en las estructuras de la zona 2 son los Pórtico de Hormigón Armado con mampostería confinada sin refuerzo.

**Tabla 37***Tipologías estructurales de acuerdo a metodología NEC - Zona 2*

<b>Tipología Estructural NEC</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
(C1) Pórtico Hormigón Armado	79	38,73%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	115	56,37%
(S5) Pórticos Acero con paredes mampostería	2	0,98%
(W1) MADERA	2	0,98%
(RM) Mampostería reforzada	1	0,49%
(URM) Mampostería sin refuerzo	2	0,98%
(MX) Mixta acero-hormigón o mixta madera- hormigón	3	1,47%

De la Tabla 37, se determina que la tipología estructural según la metodología NEC en las estructuras de la zona 2 son los Pórtico de Hormigón Armado con mampostería confinada sin refuerzo.

**Zona 3.** Se realizó el levantamiento en campo de 148 viviendas residenciales distribuidas en la zona.

- *Número de pisos*

**Tabla 38***Número de pisos - Zona 3*

<b>Número de pisos</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
De 1 a 3	140	95%
De 4 a 6	8	5%

Según la Tabla 38, del total de viviendas levantadas un 95% se encuentran entre el rango de 1 a 3 pisos y un 5% en el rango de 4 a 6 pisos.

Se puede evidenciar que en la zona 3 de Huachi Chico predominan las viviendas de entre 1 a 3 pisos.

- *Irregularidades estructurales*

A continuación, se presentan las tablas con el número de viviendas que presentan las distintas irregularidades.

**Tabla 39***Irregularidades estructurales - Zona 3*

<b>Irregularidad estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	100	67,57%
Adosamiento: Losa contra losa	26	17,57%
Adosamiento: Losa contra columna	53	35,81%
Adiciones en elevación o planta	34	16,67%
Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	2	1,35%

De acuerdo con la Tabla 39, se evidenció que puede existir más de una irregularidad en la vivienda, por lo que las irregularidades con mayor porcentaje son:

Del total de viviendas en la zona, el 67,57% presenta la ausencia de vigas altas en uno o dos sentidos.

Del total de viviendas en la zona el 35,81% es adosamiento losa contra columna

Del total de viviendas en la zona el 17,57% es adosamiento losa contra losa.

La irregularidad con menor porcentaje es la de estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo) con un 1,35% del total de las viviendas.

#### **Tabla 40**

##### *Irregularidad en la geometría en planta - Zona 3*

<b>Geometrías irregulares en planta</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	89	60,14%
Irregular	39	26,35%
"L"	9	6,08%
Esbeltez horizontal	1	0,68%
Cajón	9	6,08%
"U"	1	0,68%

Según la Tabla 40, del total de viviendas un 60,14% presenta regularidad en la geométrica en planta. La forma irregular con el porcentaje más alto es "Irregular" con 26,35% y la de menor porcentaje es "U" con 0,68%.

**Tabla 41***Irregularidad en la geometría en elevación - Zona 3*

<b>Geometrías irregulares en elevación</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	94	63,51%
"L"	24	16,22%
Ninguno	1	0,68%
Irregular	25	16,89%
Piramidal	4	2,70%

Según la Tabla 41, del total de viviendas un 63,51% presenta regularidad en la geométrica en elevación. La forma irregular con el porcentaje más alto es "L" con 16,22%.

- *Tipología estructural*

De acuerdo con los levantamientos realizados en campo se determinaron las siguientes tipologías estructurales según las metodologías del FUNVISIS, FEMA P-154 Y NEC:

**Tabla 42***Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS - Zona 3*

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
<b>FUNVISIS</b>		
(C1) Construcciones con pórticos de hormigón muros de relleno no reforzado.	65	43,92%
(C3) Construcciones con pórticos de hormigón y muros de relleno no reforzado.	77	52,03%

(W1) Pórticos de Madera de una o más plantas de altura	4	2,70%
(URM) Edificios con mampostería no reforzada	2	1,35%

De la Tabla 42, se determina que la tipología estructural según la metodología FUNVISIS en las estructuras de la zona 3 son los pórticos de hormigón y muros de relleno no reforzado.

**Tabla 43**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 3*

Tipología Estructural FEMA P-154	N.º de viviendas	%
Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	142	95,95%
Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	4	2,70%

De la Tabla 43, se determina que la tipología estructural según la metodología FEMA P-154 en las estructuras de la zona 3 son los pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto.

**Tabla 44**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC - Zona 3*

Tipología Estructural NEC	N.º de viviendas	%
(C1) Pórtico Hormigón Armado	55	37,16%

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de</b>	<b>%</b>
<b>NEC</b>	<b>viviendas</b>	
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	89	60,14%
(W1) MADERA	1	0.68%
(URM) Mampostería sin refuerzo	2	1,35%
(MX) Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	1	0,68%

De la Tabla 44, se determina que la tipología estructural según la metodología NEC 2015 en las estructuras de la zona 3 son los Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo.

**Zona 4.** Se realizó el levantamiento en campo de 151 viviendas residenciales distribuidas en la zona.

- *Número de pisos*

#### **Tabla 45**

*Número de pisos - Zona 4*

<b>Número de pisos</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
De 1 a 3	141	93,37%
De 4 a 6	10	6,62%

Según la Tabla 45, del total viviendas un 93,37% se encuentran entre el rango de 1 a 3 pisos y un 6,62% en el rango de 4 a 6 pisos.

Se puede evidenciar que en la zona 4 de Huachi Chico predominan las viviendas de entre 1 a 3 pisos.

- *Irregularidades estructurales*

A continuación, se presentan las tablas con el número de viviendas que presentan las distintas irregularidades.

**Tabla 46**

*Irregularidades estructurales - Zona 4*

<b>Irregularidad estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	108	71,52%
Adosamiento: Losa contra losa	15	9,93%
Adosamiento: Losa contra columna	37	24,50%
Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	4	2,64%
Planta de forma I, H, T, U, C o similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal.	4	2,64%
Masas que crecen significativamente con la elevación (Tipo T o pirámide invertida) o esbeltez excesiva vertical.	2	0,33%

Se evidencio que puede existir más de una irregularidad en la vivienda. De acuerdo con la Tabla 46, las irregularidades con mayor porcentaje son:

Del total de viviendas un 71,52% presentan la ausencia de vigas altas en uno o dos sentidos.

Del total de viviendas un 9,93% presentan adosamiento losa contra losa.

Del total de viviendas un 24,50% presenta adosamiento losa contra columna.

La irregularidad con menor porcentaje son las masas que crecen significativamente con la elevación o esbeltez excesiva vertical con un 0,33% del total de las viviendas.

**Tabla 47**

*Irregularidad en la geometría en planta - Zona 4*

<b>Geometrías irregulares en planta</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	91	60,26%
Irregular	25	8,33%
"L"	14	9,27%
Cajón	2	1,33%
"C"	2	1,33%
"U"	1	0,66%

Según la Tabla 47, del total de viviendas un 60,26% presenta regularidad en la geométrica en planta. La forma irregular con el porcentaje más alto es el tipo "L" con 9,27% y las de menor porcentaje son las de tipo "U" con 0,66%.

**Tabla 48**

*Irregularidades en la geometría en elevación – Zona 4*

<b>Geometrías irregulares en elevación</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	102	67,54%
"L"	17	11,26%
Ninguno	7	4,63%
Irregular	17	11,26%
Piramidal	8	5,30%

Según la Tabla 48, del total de viviendas un 67,54% presenta regularidad en la geométrica en elevación. La forma irregular con el porcentaje más alto es “L” e irregulares con 11,26% y la de menor porcentaje es la de “Piramidal” con 5,30%.

- *Tipología estructural*

De acuerdo con los levantamientos realizados en campo se determinaron las siguientes tipologías estructurales según las metodologías del FUNVISIS, FEMA P-154 Y NEC:

**Tabla 49**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS - Zona 4*

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
<b>FUNVISIS</b>		
Pórticos de concreto armado	29	19,20%
Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	110	72,84%
Pórticos de acero	1	0,66%
Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	9	5,96%
Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	1	0,66%

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
<b>FUNVISIS</b>		
Sistemas cuyos elementos portantes		
sean muros de mampostería confinada	1	0,66%

De la Tabla 49, se determina que la tipología estructural según la metodología FUNVISIS en las estructuras de la zona 4 son los pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto.

**Tabla 50**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 4*

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
<b>FEMA P-154</b>		
(C1) Pórtico Hormigón Armado	27	17.88%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	110	72.84%
(S2) Construcciones con pórticos de acero	1	0.66%
(W1) MADERA	5	3.31%
(RM1) Construcciones de mampostería reforzada, piso flexible y diafragma de techo	1	0.66%
(URM) Mampostería sin refuerzo	7	4.63%

De la Tabla 50, se determina que la tipología estructural según la metodología FEMA P-154 en las estructuras de la zona 4 son los Pórtico de Hormigón Armado con mampostería confinada sin refuerzo.

**Tabla 51**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC - Zona 4*

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
<b>NEC</b>		
(C1) Pórtico Hormigón Armado	29	19,20%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	110	72,84%
(W1) MADERA	1	0,66%
(URM) Mampostería sin refuerzo	7	4,64%
(MX) Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	4	2,65%

De la Tabla 51, se determina que la tipología estructural según la metodología NEC en las estructuras de la zona 4 son los Pórtico de Hormigón Armado con mampostería confinada sin refuerzo.

**Zona 5.** Se realizó el levantamiento en campo de 195 viviendas residenciales distribuidas en la zona.

- *Número de pisos*

**Tabla 52**

*Número de pisos – Zona 5*

<b>Número de pisos</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
De 1 a 3	192	98,46%

De 4 a 6

3

1,54%

De acuerdo con la Tabla 52, del total de viviendas en la zona, un 98.46% se encuentra en el rango de 1 a 3 pisos y un 1.54% en el rango de 4 a 6 pisos.

Se puede evidenciar que en la zona 5 de Huachi Chico predominan las viviendas de entre 1 a 3 pisos.

- *Irregularidades estructurales*

A continuación, se presenta una tabla con el número de viviendas que presentan las distintas irregularidades.

**Tabla 53**

*Irregularidades estructurales - Zona 5*

<b>Irregularidad estructural</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Ausencia de vigas altas en una o dos direcciones	97	49,74%
Adosamiento: Losa contra losa	15	7,69%
Adosamiento: Losa contra columna	8	4,10%
Estructura frágil (Construcciones de adobe o de bloque sin elementos de refuerzo)	16	8,21%
Planta de forma I, H, T, U, C o similar, sin presencia de juntas, o esbeltez excesiva horizontal.	3	1,54%
Ausencia de muros en una dirección	1	0,51%
Ninguno	55	28,21%

En la Tabla 53, se logra evidenciar que puede existir más de una irregularidad en la vivienda. Por lo que las irregularidades con mayor porcentaje son:

Del total de viviendas un 49,74% presentan la ausencia de vigas altas en uno o dos sentidos.

Del total de viviendas un 7,69% presentan adosamiento losa contra losa, esto se debe a que en esta zona las edificaciones se encuentran más alejadas, ya que la densidad poblacional no es tan alta como en las otras zonas.

Del total de viviendas un 4,10% presenta adosamiento losa contra columna.

La irregularidad con menor porcentaje es la de ausencia de muros en una dirección 0,51% del total de las viviendas.

**Tabla 54**

*Irregularidad en la geometría en planta - Zona 5*

<b>Geometrías irregulares en planta</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	121	62,05%
Ninguno	30	15,38%
Irregular	13	6,67%
"L"	25	12,82%
Cajón	1	0,51%
Esbeltez horizontal	1	0,51%
"C"	1	0,51%
"U"	3	1,54%

Como se puede observar en la Tabla 54, del total de viviendas un 62,05% presenta regularidad en la geométrica en planta. La forma irregular con el porcentaje más alto es el tipo "L" con 12,85% y las de menor porcentaje son las de tipo cajo, con esbeltez horizontal y tipo "C" con 0,51%.

**Tabla 55***Irregularidades en la geometría en elevación – Zona 5*

<b>Geometrías irregulares en elevación</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Regular	125	64,33%
"L"	32	16,41%
Ninguno	24	12,31%
Irregular	11	5,64%
Piramidal	3	1,54%

En la Tabla 55, se puede divisar que del total de viviendas un 64,33% presenta regularidad en la geométrica en elevación. La forma irregular con el porcentaje más alto es "L" con 16,41% y la de menor porcentaje es la de "Piramidal" con 1,54%.

- *Tipología estructural*

**Tabla 56***Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FUNVISIS – Zona 5*

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de</b>	<b>%</b>
<b>FUNVISIS</b>	<b>viviendas</b>	
Pórticos de concreto armado	22	11,28%
Pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto	142	72,82%
Sistemas cuyos elementos portantes sean muros de mampostería confinada.	1	0,51%
Viviendas de construcción precaria (tierra, madera, zinc, etc.)	22	11,28%

<b>Tipología Estructural</b> <b>FUNVISIS</b>	<b>N.º de</b> <b>viviendas</b>	<b>%</b>
Sistemas mixtos de pórticos y de mampostería de baja calidad de construcción, con altura no mayor a 2 pisos	7	2,00%
Viviendas de bahareque de un piso	1	1,00%

Se puede apreciar en la Tabla 56, que el material dominante en las estructuras de la zona 5 según FUNVISIS son los pórticos de concreto armado rellenos con paredes de bloques de arcilla o de concreto.

#### **Tabla 57**

*Tipologías estructurales de acuerdo con metodología FEMA P-154 - Zona 5*

<b>Tipología Estructural</b> <b>FEMA P-154</b>	<b>N.º de</b> <b>viviendas</b>	<b>%</b>
(C1) Pórtico Hormigón Armado	32	16,41%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	140	71,79%
(RM1) Construcciones de mampostería reforzada, piso flexible y diafragma de techo	1	0,51%
(W1) MADERA	9	4,62%
(URM) Mampostería sin refuerzo	13	6,67%

Se puede apreciar en la Tabla 57, que el material dominante en las estructuras de la zona 5 según FEMA P-154 son los Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo.

**Tabla 58***Tipologías estructurales de acuerdo con metodología NEC – Zona 5*

<b>Tipología Estructural</b>	<b>N.º de</b>	<b>%</b>
<b>NEC</b>	<b>viviendas</b>	
(C1) Pórtico Hormigón Armado	25	12,82%
(C3) Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo	139	71,28%
(RM) Mampostería reforzada	2	1,03%
(URM) Mampostería sin refuerzo	16	8,21%
(MX) Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	9	4,62%
(W1) Madera	4	2,05%

Se puede apreciar en la Tabla 58, que el material dominante en las estructuras de la zona 5 según NEC 2015 son los Pórtico H. Armado con mampostería confinada sin refuerzo.

### ***Tipologías GEM***

Realizado el levantamiento de campo se utilizarán los parámetros de material de paredes, material de techo, número de pisos, la ductilidad y su sistema de resistencia a cargas laterales. Estos parámetros serán ingresados en la aplicación web de OpenQuake para obtener un tipo de taxonomía corto.

De acuerdo con lo antes mencionado se obtuvieron las siguientes tipologías estructurales:

**Tabla 59***Tipologías estructurales de la parroquia de Huachi Chico*

<b>N.º</b>	<b>TIPOLOGÍA</b>	<b>N.º de Viviendas</b>	<b>%</b>
1	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	500	50,10%
2	CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	275	27,56%
3	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	28	2,81%
4	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4	13	1,30%
5	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT2:1-2	10	1,00%
6	CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	24	2,40%
7	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT1:1-2	26	2,61%
8	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT1:3-4	11	1,10%
9	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:1-2	16	1,60%
10	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT2:3-4	7	0,70%
11	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:1-2	9	0,90%
12	CR+CIP/LFINF+DUC+RMT6:3-4	10	1,00%
13	CR+CIP/LN+DNO+RMN:1-3	3	0,30%
14	CR+CIP/LN+DNO+RMT2:1-2	2	0,20%
15	CR+CIP/LN+DNO+RMT6:2	2	0,20%
16	EU/LN+DNO+RMT1:1	14	1,40%
17	EU/LN+DNO+RMT6:2	3	0,30%
18	MR+CBH/LN+DNO+RMT6:1	2	0,20%
19	MUR+CBH/LN+DNO+RMT6:1-3	16	1,60%
20	MUR+CBH/LN+DNO+RMT1:1-2	15	1,50%
21	MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT1:1-2	4	0,40%
22	MUR+CLBRS/LN+DNO+RMT6:2	2	0,20%

N.º	TIPOLOGÍA	N.º de Viviendas	%
23	S/LN+DNO+RMT6:1	3	0,30%
24	W+W99/LFM+DNO+RMT1:1-2	2	0,20%
25	W+W99/LN+DNO+RMT6:2	1	0,10%
		998	100%

### ***Vulnerabilidad sísmica***

De acuerdo con los datos levantados y cálculos realizados para cada una de las metodologías se obtuvieron los siguientes resultados de vulnerabilidad sísmica en el sector.

**Tabla 60**

*Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS – Parroquia Huachi Chico*

Índice de Vulnerabilidad	N.º de viviendas	%
Muy elevada	43	4,31%
Elevada	153	15,33%
Media alta	351	35,17%
Media baja	294	29,46%
Baja	157	15,73%
Muy baja	0	0,00%
	998	100%

De la Tabla 60, se determinó que del total de viviendas el 4,31% tiene vulnerabilidad muy elevada, el 15,33% vulnerabilidad elevada, el 35,17% vulnerabilidad media alta, el 29,46% vulnerabilidad baja y el 15,73% vulnerabilidad baja.

Se puede evidenciar que en la parroquia de Huachi Chico según la metodología FUNIVISIS la mayoría de las viviendas tiene un índice de vulnerabilidad media alta.

**Tabla 61***Índice de Vulnerabilidad según NEC 2015 - Parroquia Huachi Chico*

<b>Índice de Vulnerabilidad</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Alta vulnerabilidad	674	67,54%
Media vulnerabilidad	49	4,91%
Baja vulnerabilidad	275	27,56%
	998	100%

De la Tabla 61, se determinó que del total de viviendas el 67,54% tiene alta vulnerabilidad, el 4,91% media vulnerabilidad y el 27,56% baja vulnerabilidad.

Se puede evidenciar que en la parroquia de Huachi Chico según la metodología NEC 2015 la mayoría de las viviendas tiene un índice de vulnerabilidad alto.

**Tabla 62***Índice de Vulnerabilidad según FEMA-P154 - Parroquia Huachi Chico*

<b>Índice de Vulnerabilidad</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Vulnerable / Requiere evaluación detallada	951	95,29%
No vulnerable	47	4,71%
	998	100%

De la Tabla 62, se determinó que del total de viviendas el 95,29% tiene alta vulnerabilidad, el 4,71% media vulnerabilidad y el 0,00% baja vulnerabilidad.

Se puede evidenciar que en la parroquia de Huachi Chico según la metodología NEC 2015 la mayoría de las viviendas tiene un índice de vulnerabilidad alto.

### **Riesgo sísmico**

De acuerdo con los datos levantados y cálculos realizados según la metodología FUNVISIS se obtuvo los siguientes resultados de riesgo sísmico en el sector.

**Tabla 63**

*Índice de Riesgo Sísmico según FUNVISIS - Parroquia Huachi Chico*

<b>Índice de Riesgo</b>	<b>N.º de viviendas</b>	<b>%</b>
Muy elevado	43	4,31%
Elevado	149	14,93%
Medio alto	536	53,71%
Medio bajo	236	23,65%
Bajo	34	3,41%
Muy bajo	0	0,00%
	998	100%

De la Tabla 63, se determinó que del total de viviendas el 4,31% tiene riesgo muy elevado, el 14,93% riesgo elevado, el 53,71% riesgo medio alto, el 23,65% riesgo medio bajo y el 3,41% riesgo bajo.

Se puede evidenciar que en la parroquia de Huachi Chico según la metodología FUNVISIS la mayoría de las viviendas tiene un índice de riesgo medio alto.

### **Resultados de datos de levantamiento visual**

Para el análisis de resultados se consideró datos relevantes de la base de datos como el número de pisos, material de techo y material de paredes.

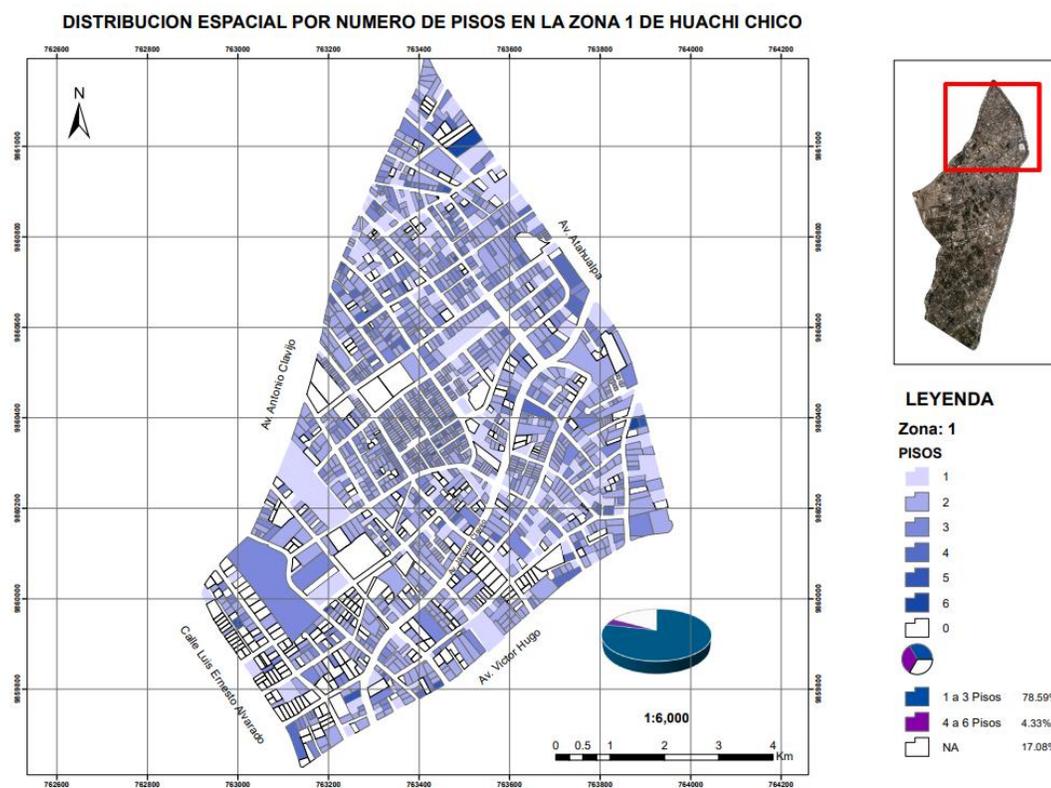
### Características de la edificación

**Zona 1.** Se realizó el levantamiento visual de 2008 predios de los cuales el 17% corresponden a lotes baldíos u ocupaciones de tipo no residencial.

- Número de pisos

### Figura 14

*Distribución espacial del número de Pisos – Zona 1*



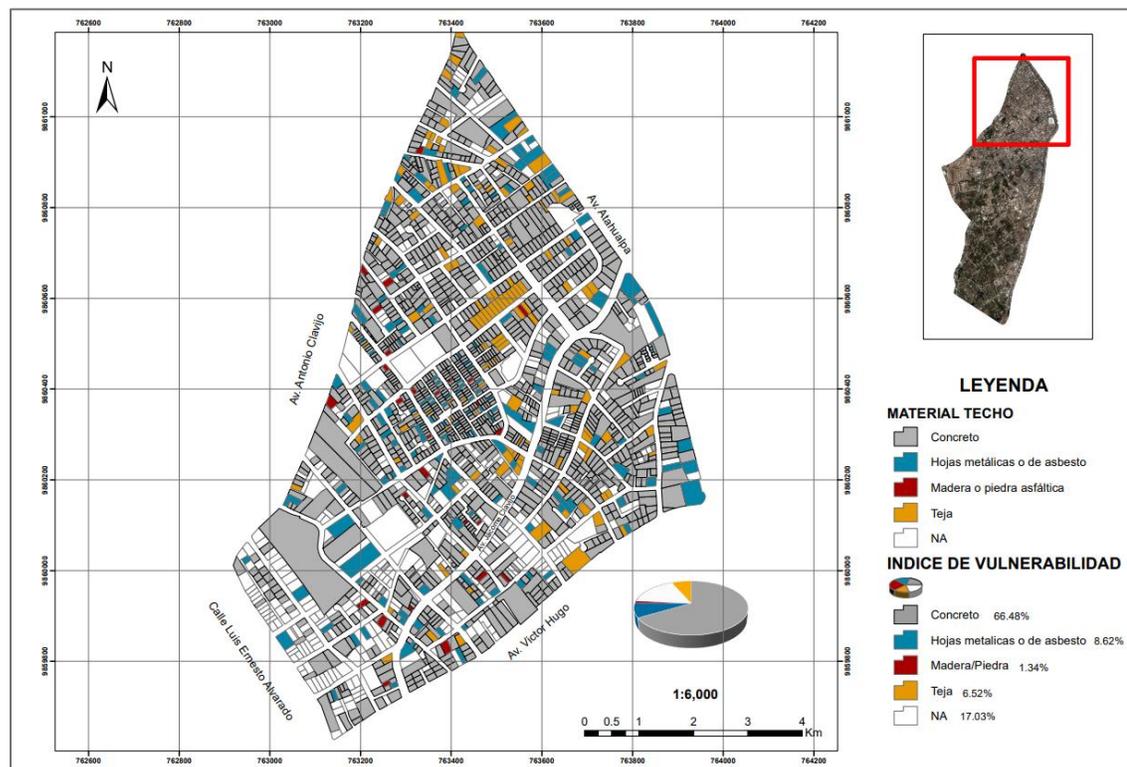
En la Figura 14, se puede determinar que, del total de predios el 78,59% son viviendas de 1 a 3 pisos, el 4,33% son viviendas de 4 a 6 pisos, mientras que el 17,08% pertenece a predios sin construcción o edificaciones no residenciales.

Se puede evidenciar que en la Zona 1 de Huachi Chico el número de pisos predominante en las viviendas está en el rango de 1 a 3 pisos.

- Material de techo

**Figura 15**

*Distribución espacial de Material de Techo – Zona 1*



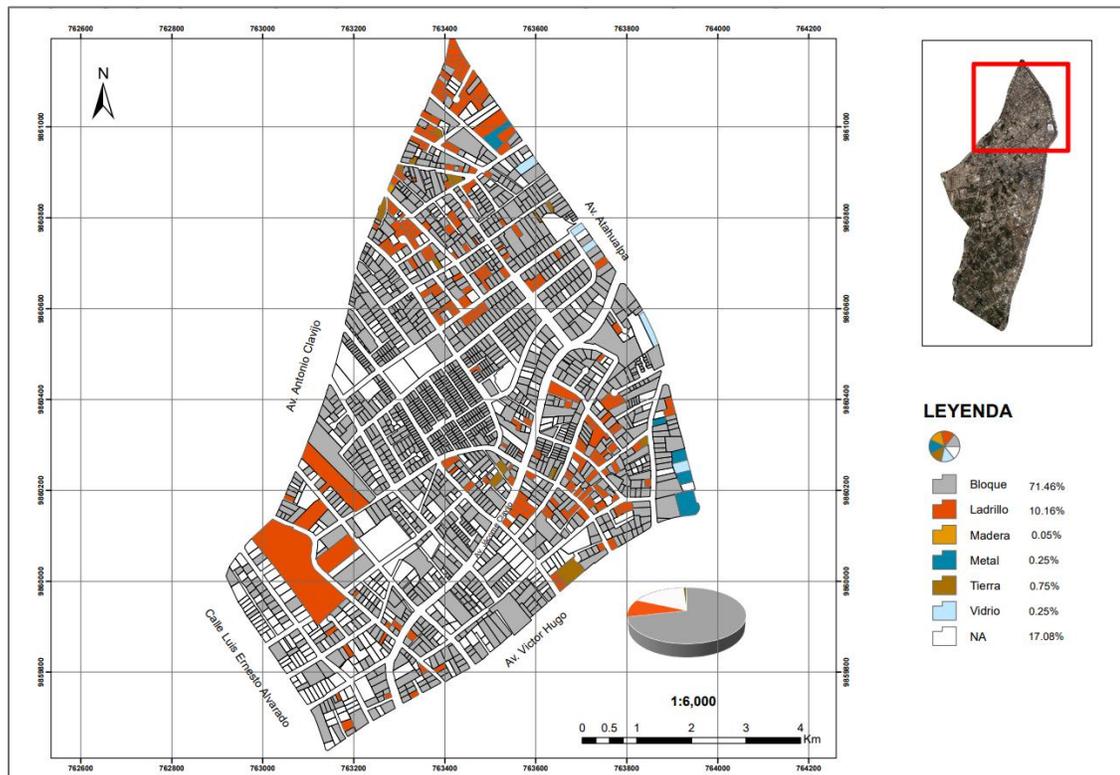
En la Figura 15, se evidencia que del total de viviendas el 66.48% tienen techo de concreto, el 8.62% techo de hojas metálicas o asbesto, el 1.34% el techo de madera/piedra, el 6.52% tienen el techo de teja, y el 17.03% restante corresponde a predios que no aplican al estudio.

Se puede evidenciar que en la zona 1 de Huachi Chico el material predominante como material de techo es el uso del concreto.

- Material de paredes

**Figura 16**

*Distribución espacial de Material de Paredes – Zona 1*



En la Figura 16, se determina que del total de viviendas el 71.46% tiene paredes con mampostería de bloque, el 10.16% tiene mampostería de ladrillo, el 0.05% tiene mampostería de madera, el 0.25% tiene material de metal, el 0.75% tiene paredes de tierra (adobe), el 0.25% tiene material de vidrio y el 17.08% restante pertenece a edificaciones que no se incluyen en el estudio.

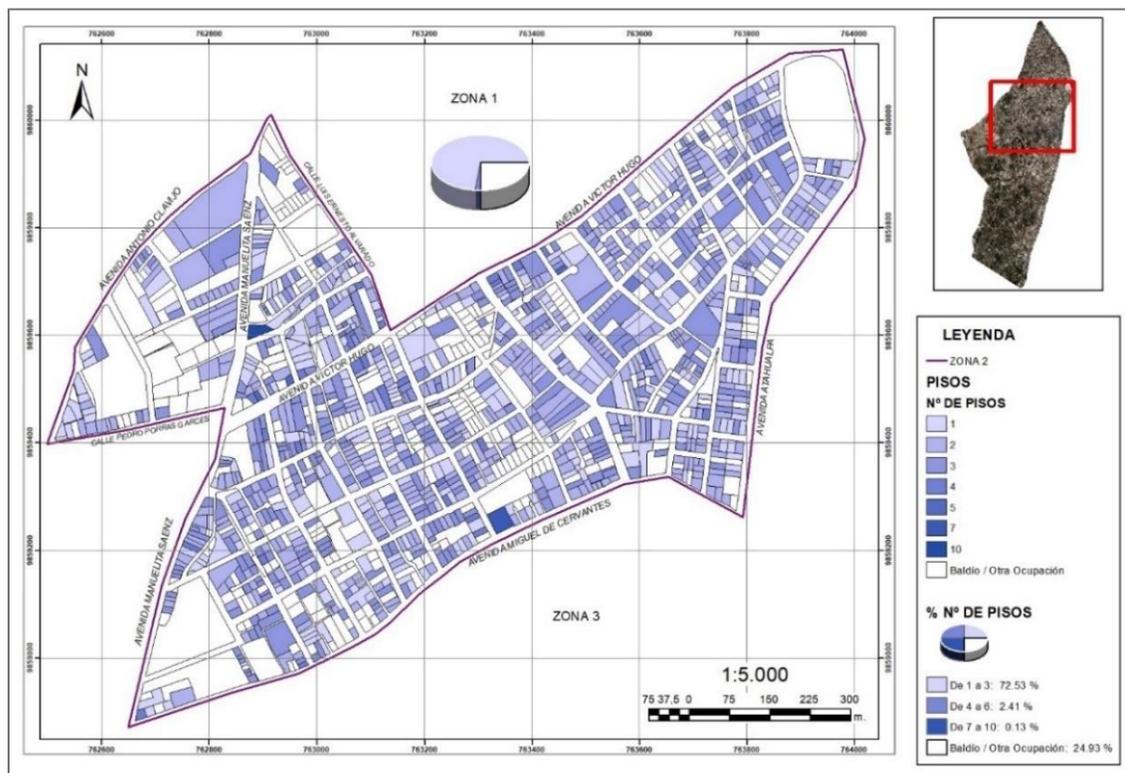
Se puede evidenciar que el material predominante en la zona 1 de Huachi Chico es el Bloque.

**Zona 2.** Se realizó el levantamiento visual de 1535 predios donde 383 que equivale al 24,93% corresponde a lotes baldíos u otra ocupación.

- Número de pisos

**Figura 17**

*Distribución espacial del Números de Piso - Zona 2*



De la Figura 17, se determinó que del total de viviendas el 72,53% son de 1 a 3 pisos, el 2,41% son de 4 a 6 pisos y 0,13% son de 7 a 10 pisos.

Se puede evidenciar que en la Zona 2 de Huachi Chico el número de pisos predominante en las viviendas está en el rango de 1 a 3 pisos.

- Material de techo

**Figura 18**

*Distribución espacial del Material de Techo – Zona 2*



De la Figura 18, se determina que del total de viviendas el 54.27% tienen techo de concreto, el 12.83% techo de hojas metálicas o asbesto, el 0.07% el techo de madera y el 7.88% tienen el techo de teja.

Se puede evidenciar que en la zona 2 de Huachi Chico el material predominante como material de techo es el uso del concreto.

- Material de paredes

**Figura 19**

*Distribución espacial del Material de Paredes – Zona 2*



De la Figura 19, se determina que del total de viviendas el 26.58% tiene paredes con mampostería de bloque, el 47.36% tiene mampostería de ladrillo y el 1.11% tiene paredes de tierra (adobe).

Se puede evidenciar que el material predominante en la zona 2 de Huachi Chico es el Ladrillo.

**Zona 3.** Se realizó el levantamiento visual de un total de 1847 predios, donde los terrenos baldíos u otra ocupación, ocupan el 49% del total de la zona.

- Número de pisos

En la Figura 20, se determinó que del total de viviendas el 72,53% son de 1 a 3 pisos, el 2,41% son de 4 a 6 pisos y 0,13% son de 7 a 10 pisos.

Figura 20

*Distribución espacial del Números de Piso - Zona 3*



- Material de techo

En la Figura 21, se determina que del total de viviendas el 54.27% tienen techo de concreto, el 12.83% techo de hojas metálicas o asbesto, el 0.07% el techo de madera y el 7.88% tienen el techo de teja.

Se puede evidenciar que en la zona 3 de Huachi Chico el material predominante como material de techo es el uso del concreto.

Figura 21

Distribución espacial del Material de Techo – Zona 3



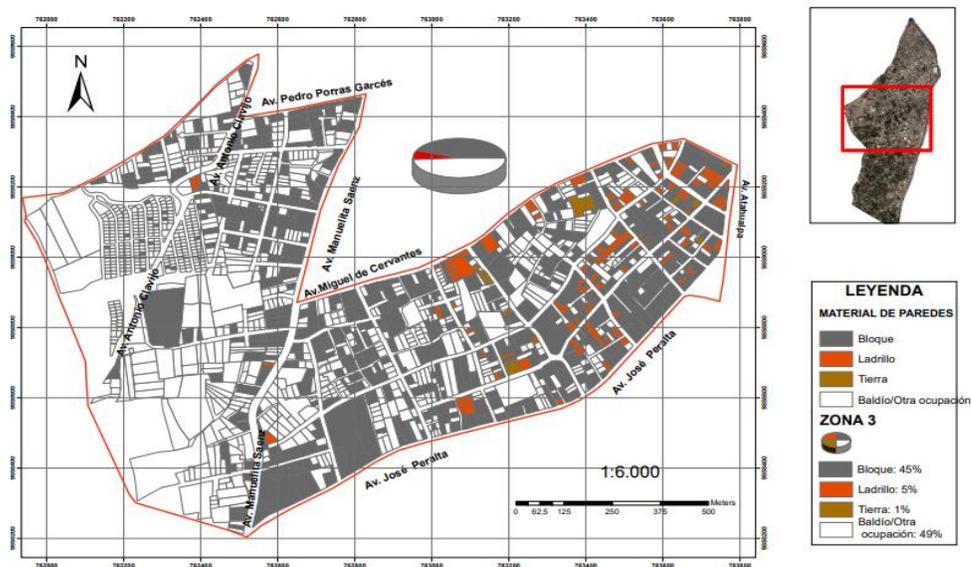
- Material de paredes

En la Figura 22, se determina que del total de viviendas el 26.58% tiene paredes con mampostería de bloque, el 47.36% tiene mampostería de ladrillo y el 1.11% tiene paredes de tierra (adobe).

Se puede evidenciar que el material predominante en la zona 3 de Huachi Chico es el bloque, debido a ser una zona más reciente en comparación a la zona 1 y 2.

**Figura 22**

*Distribución espacial del Material de Paredes – Zona 3*

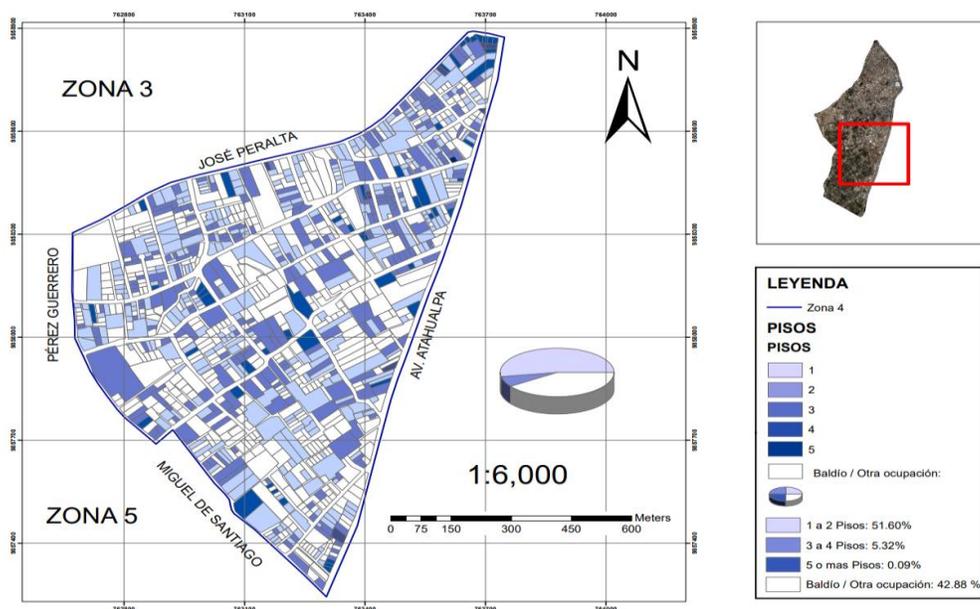


**Zona 4.** Se realizó el levantamiento visual de 1092 viviendas residenciales donde 469 predios equivalen al 43,06% corresponde a lotes baldíos u otra ocupación.

- Número de pisos

**Figura 23**

*Distribución espacial del Números de Piso - Zona 4*



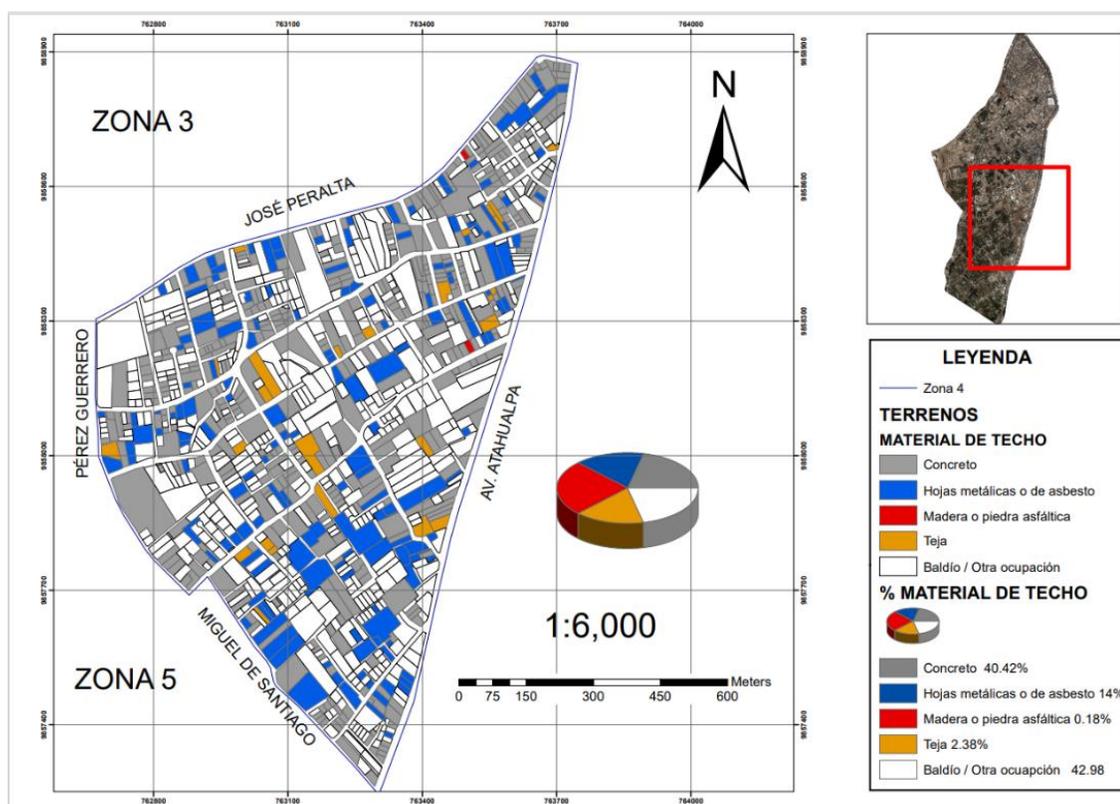
De la Figura 23, se determinó que del total de viviendas el 90,49% son de 1 a 2 pisos, el 9,33% son de 3 a 4 pisos y 0,16% son de 5 o más pisos.

Se puede evidenciar que en la Zona 4 de Huachi Chico el número de pisos predominante en las viviendas está en el rango de 1 a 2 pisos.

- Material de techo

### Figura 24

#### Distribución espacial de materiales de techo - Zona 4

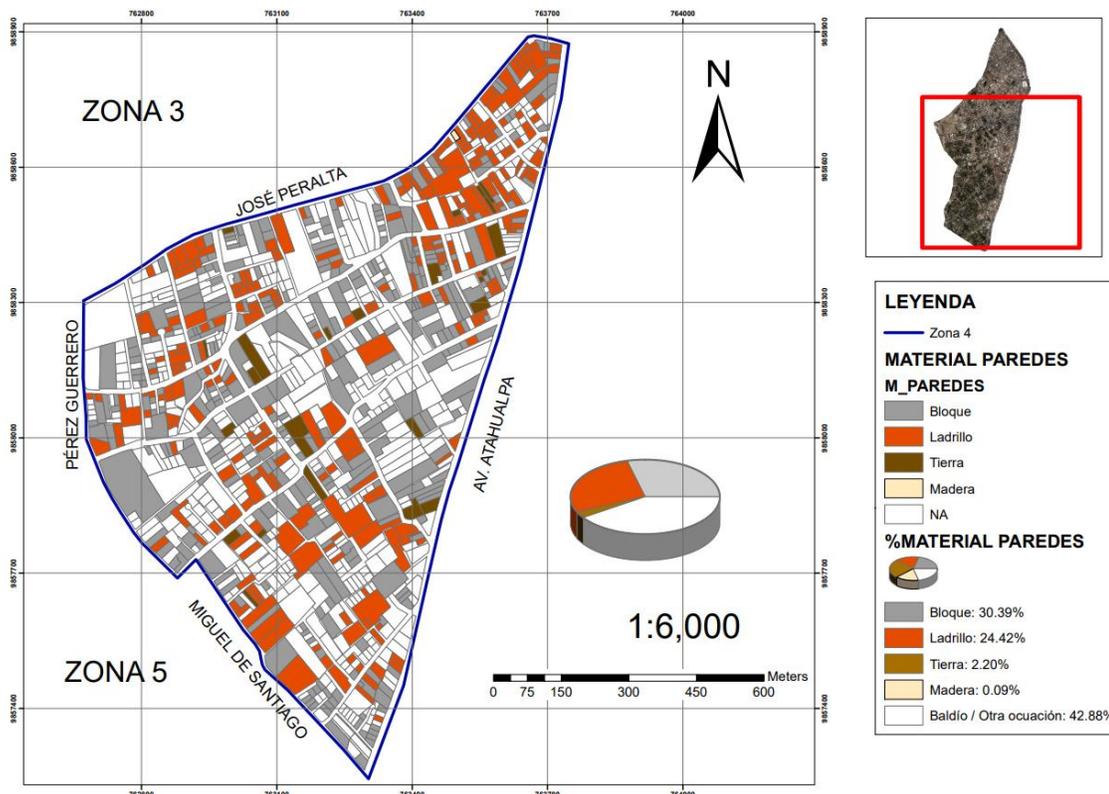


De la Figura 24, se puede concluir que el material predominante en la zona con respecto a materiales de techo es el concreto con un 40,42%, muy seguido del material denominado hojas metálicas o de asbesto con un 14%.

- Material de paredes

**Figura 25**

*Distribución espacial del Material de Paredes – Zona 4*



De la Figura 25, se determina que del total de viviendas el 30,39% tiene paredes con mampostería de bloque, el 24,42% tiene mampostería de ladrillo y el 2,20% tiene paredes de tierra (adobe).

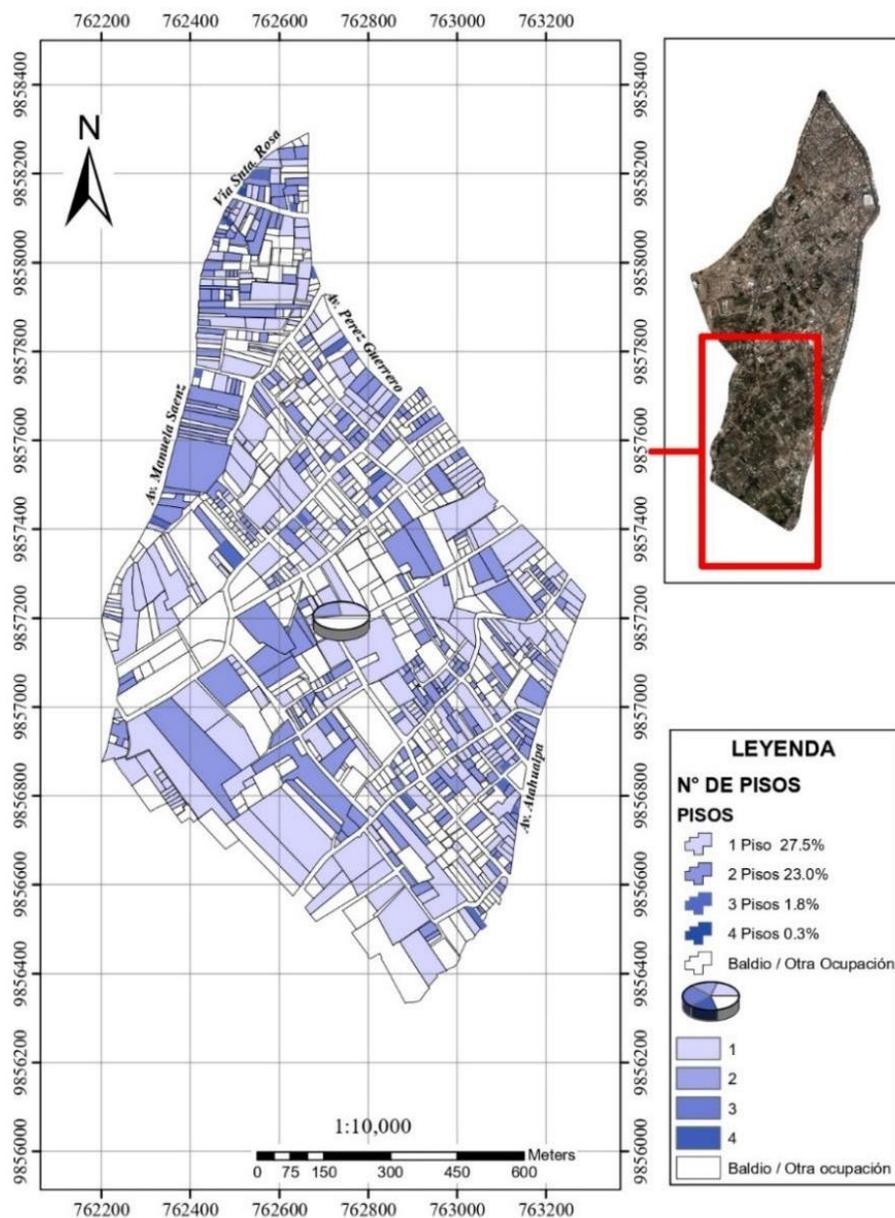
Se puede evidenciar que el material predominante en la zona 4 de Huachi Chico es el Bloque.

**Zona 5.** Se realizó el levantamiento visual de 1003 viviendas residenciales donde 475 viviendas que equivale al 47.35% corresponde a lotes baldíos u otra ocupación.

- Número de pisos

Figura 26

Distribución espacial del Números de Piso - Zona 5

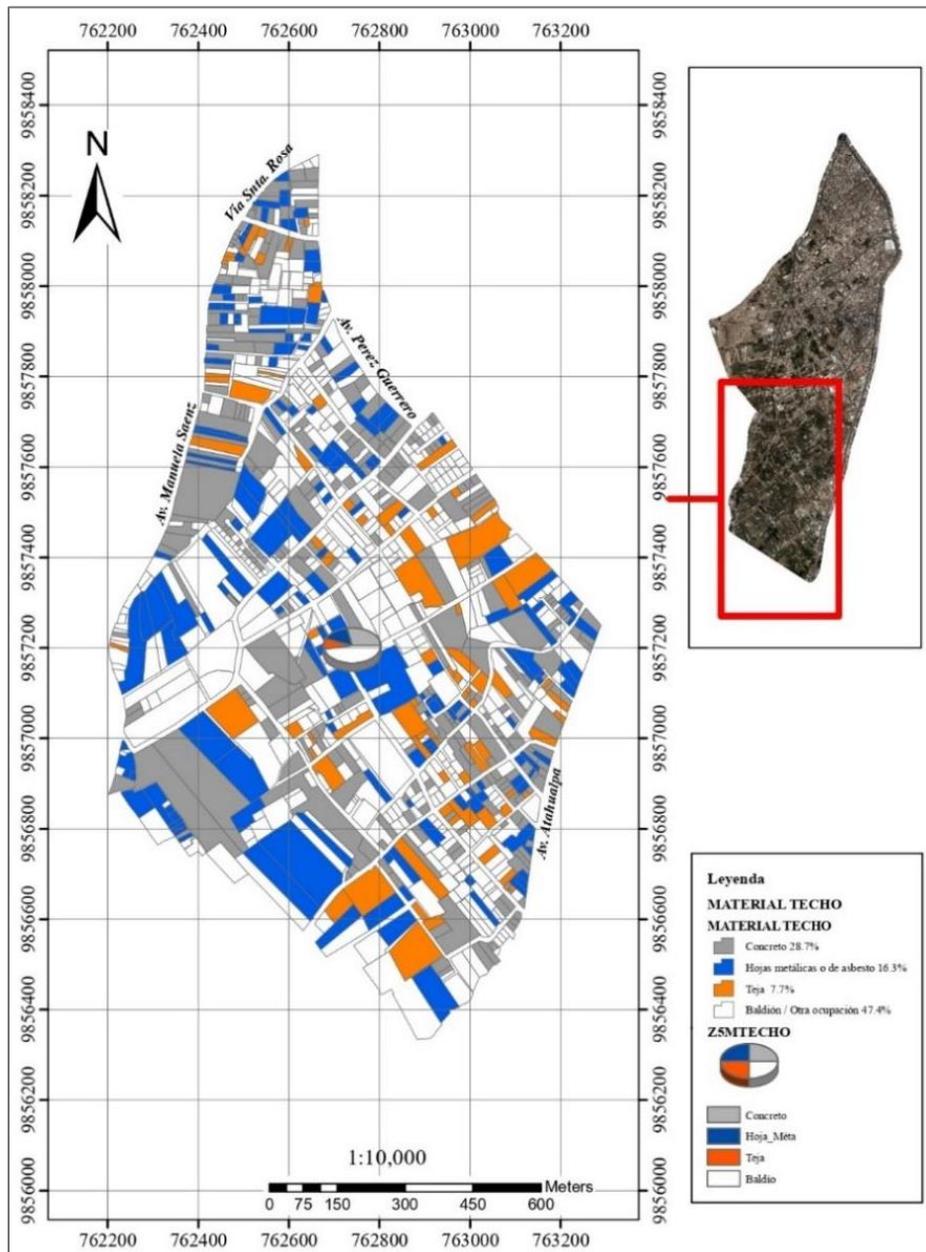


De la Figura 26, se determinó que del total de viviendas el 27,5% son de 1 piso. 2 pisos el 23,0%, el porcentaje disminuye en 3 a más pisos, con menos del 3%, esto refleja que la zona no ha tenido la necesidad de crecer en altura.

- Material de techo

**Figura 27**

*Distribución espacial de materiales de techo - Zona 5*

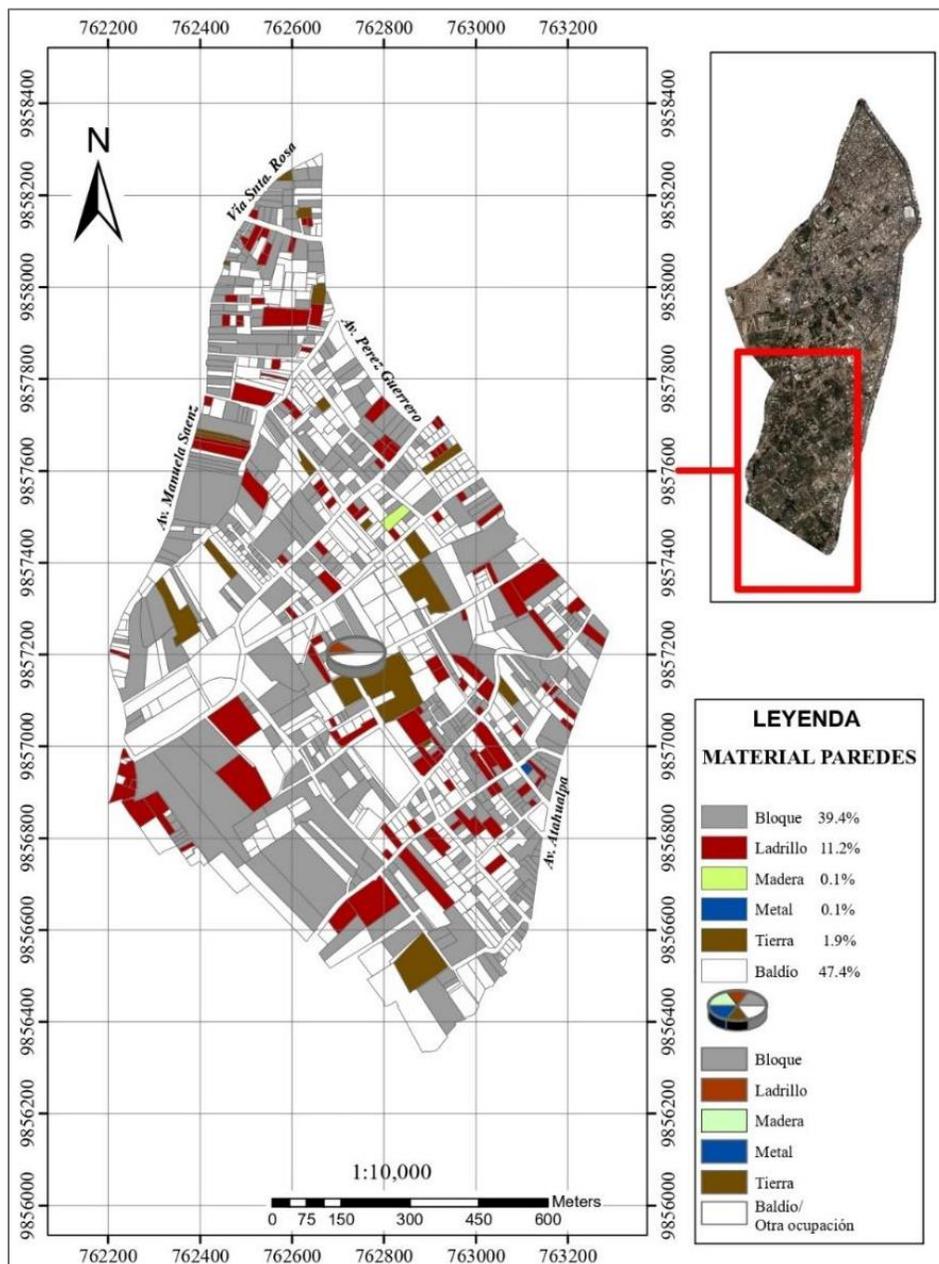


De la Figura 27., se puede concluir que el material predominante en la zona con respecto a materiales de techo es el concreto con un 28,7%, muy seguido del material denominado hojas metálicas o de asbesto con un 16,3%.

- Material de paredes

**Figura 28**

*Distribución espacial de materiales de paredes - Zona 5*



De la Figura 28, se obtiene que el bloque como material de paredes predomina con un 39,4%, seguido del ladrillo usado un 11,2% en la zona 5, los demás materiales se muestran poco significativos.

### **Esquema de mapeo**

De acuerdo con el levantamiento en campo se obtuvieron 25 tipologías estructurales, en cuanto al levantamiento visual se pudo determinar 9 tipologías estructurales adicionales con el fin de cubrir todas las estructuras que tenía diferencias a las tipologías iniciales, quedando un total de 34 tipologías estructurales en la parroquia de Huachi Chico.

**Tabla 64**

*Tipologías estructurales adicionales*

<b>TIPOLOGÍAS ADICIONALES</b>	
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
31	S/LFINF+DNO+RMT7:1-2
32	CR+CIP/LFM+DUC+RMN:1-2
33	CR+CIP/LFM+DNO+RMT6:1-2
34	W+W99/LN+DNO+RMT7:2

## Zona 1.

Figura 29

Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 1

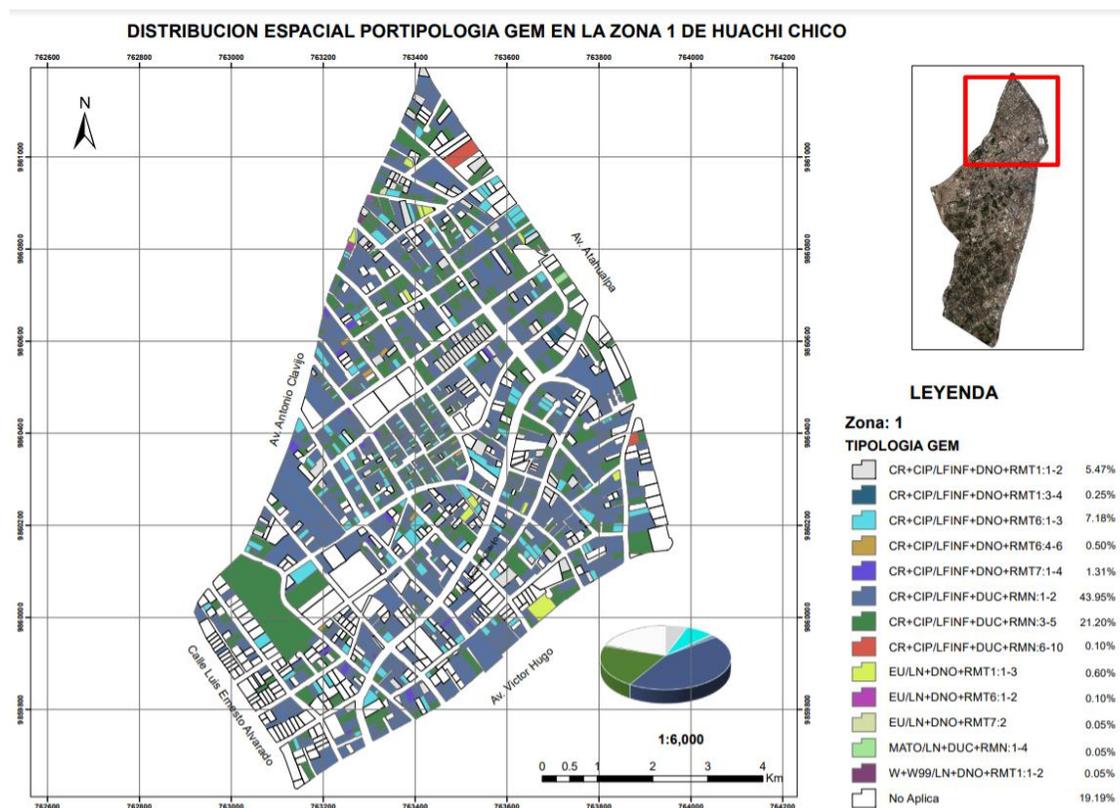


Tabla 65

Tipologías Estructurales Zona – 1

TIPOLOGÍAS	N.º de Predios	%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	109	5,47%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4	5	0,25%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	143	7,18%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:4-6	10	0,50%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4	26	1,31%

<b>TIPOLOGÍAS</b>	<b>N.º de Predios</b>	<b>%</b>
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	875	43,95%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	422	21,20%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:6-10	2	0,10%
EU/LN+DNO+RMT1:1-3	12	0,60%
EU/LN+DNO+RMT6:1-2	2	0,10%
EU/LN+DNO+RMT7:2	1	0,05%
MATO/LN+DUC+RMN:1-4	1	0,05%
W+W99/LN+DNO+RMT1:1-2	1	0,05%
Baldío / Otra ocupación	382	19,19%
	1991	100,00%

De acuerdo con la Tabla 65, se evidencia que:

El 5,47% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 0,25% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 3 y 4 pisos.

El 7,18% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de

pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 0,50% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:4-6; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 4 y 6 pisos.

El 1,31% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de madera o asfalto, y número de pisos de entre 1 y 4 pisos.

El 43,95% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 21,20% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 3 y 5 pisos.

El 0,10% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:6-10; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de

pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional, y número de pisos de entre 6 y 10 pisos.

El 0,60% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT1:1-3; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 0,10% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT6:1-2; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 0,05% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT7:2; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de madera o asfalto de dos pisos.

Otro 0,05% del total de predios analizados de la zona 1, tienen una tipología MATO/LN+DUC+RMN:1-4; es decir es una edificación de otro tipo de material, sin sistema resistente a cargas laterales, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y entre 1 y dos pisos de altura.

Y el 19,24% del total de predios analizados en la zona 1 son terrenos baldíos o pertenecen a otro tipo de ocupación.

## Zona 2.

Figura 30

Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 2



Tabla 66

Tipologías estructurales - Zona 2

TIPOLOGÍAS	N.º de Predios	%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	534	34,79%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	297	19,35%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:6-10	2	0,13%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	74	4,82%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4	33	2,15%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	192	12,51%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:4-6	2	0,13%

<b>TIPOLOGÍAS</b>	<b>N.º de Predios</b>	<b>%</b>
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4	1	0,07%
EU/LN+DNO+RMT1:1-3	14	0,91%
EU/LN+DNO+RMT6:1-2	3	0,20%
Baldío / Otra ocupación	383	24,95%
	1535	100,00%

De la Tabla 66, se determinó los siguientes resultados:

El 34,79% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 19,35% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 3 y 5 pisos.

El 0,13% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:6-10; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional, y número de pisos de entre 6 y 10 pisos.

El 4,82% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de

pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 2,15% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 3 y 4 pisos.

El 12,51% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 0,13% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:4-6; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 4 y 6 pisos.

El 0,07% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de madera o asfalto, y número de pisos de entre 1 y 4 pisos.

El 0,91% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT1:1-3; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 0,20% del total de predios analizados de la zona 2, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT6:1-2; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 24,95% del total de predios analizados de la zona 2 son terrenos baldíos o tienen otra ocupación.

**Zona 3.** La zona 3 presenta 6 tipologías donde priman las estructuras de concreto armado con y sin con ductilidad, que varían en función de los pisos. El 32,97% de las estructuras tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2. La segunda tipología, con un 6,90% es la tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5. El 4,04% tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2. El 2,53%, tiene una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3. El 0,16% una tipología R+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4. Mientras el 0,54%, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT1:1-3. Además, cabe recalcar que el 52,80% del total de predios analizados de la zona 3 son terrenos baldíos o tienen otra ocupación. A continuación, en la Tabla 67 se presenta los porcentajes distribuidos a lo largo de la zona.

**Tabla 67**

*Tipologías estructurales - Zona 3*

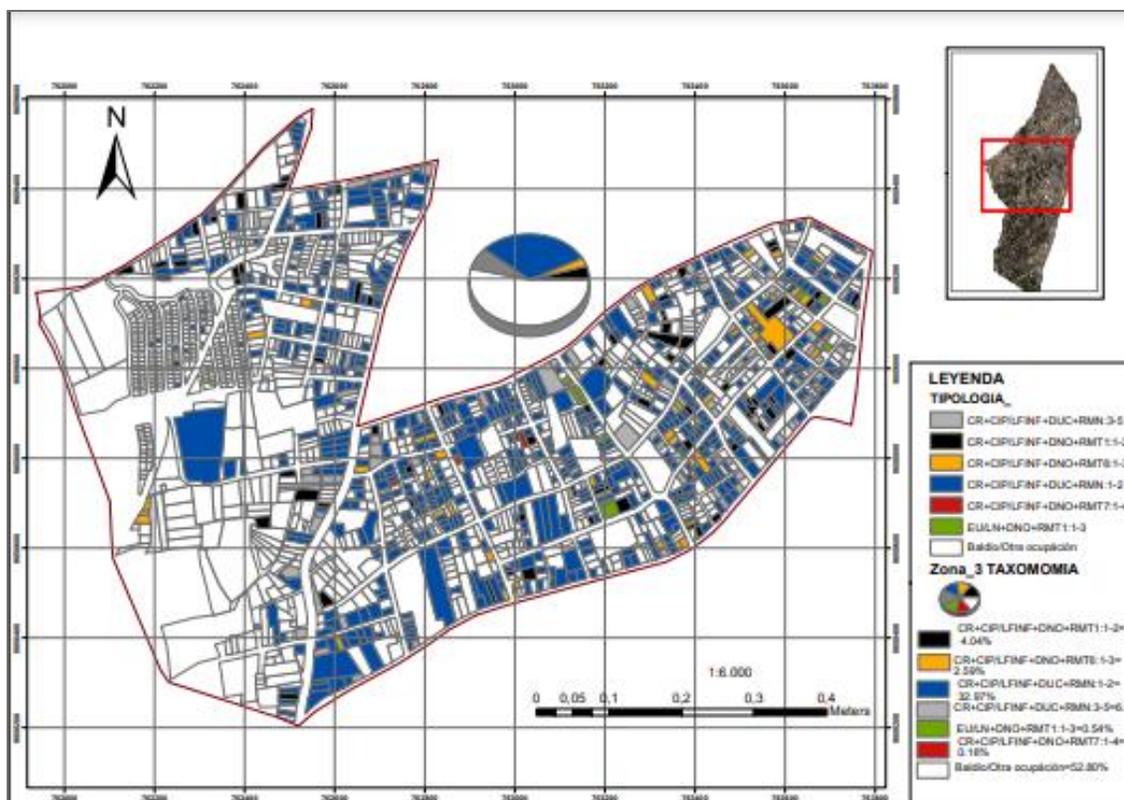
<b>TIPOLOGÍAS</b>	<b>N.º de Predios</b>	<b>%</b>
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	612	32,97%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	128	6,90%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	75	4,04%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	48	2,59%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4	3	0,16%
EU/LN+DNO+RMT1:1-3	10	0.54%

TIPOLOGÍAS	N.º de Predios	%
Baldío / Otra ocupación	980	52,80%
	1864	100.00%

En la Figura 31, se muestra la distribución de las tipologías de la zona 3, mostrando que la principal son de concreto armado, con ductilidad, de 1-2 pisos, seguido por la de 3 pisos, de igual manera están presentes en su mayoría estructuras con ductilidad desconocida, cabe recalcar que solo se presentan 6 tipologías debido a que esta zona no presenta grandes edificios.

**Figura 31**

*Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 3*



## Zona 4.

Figura 32

Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 4

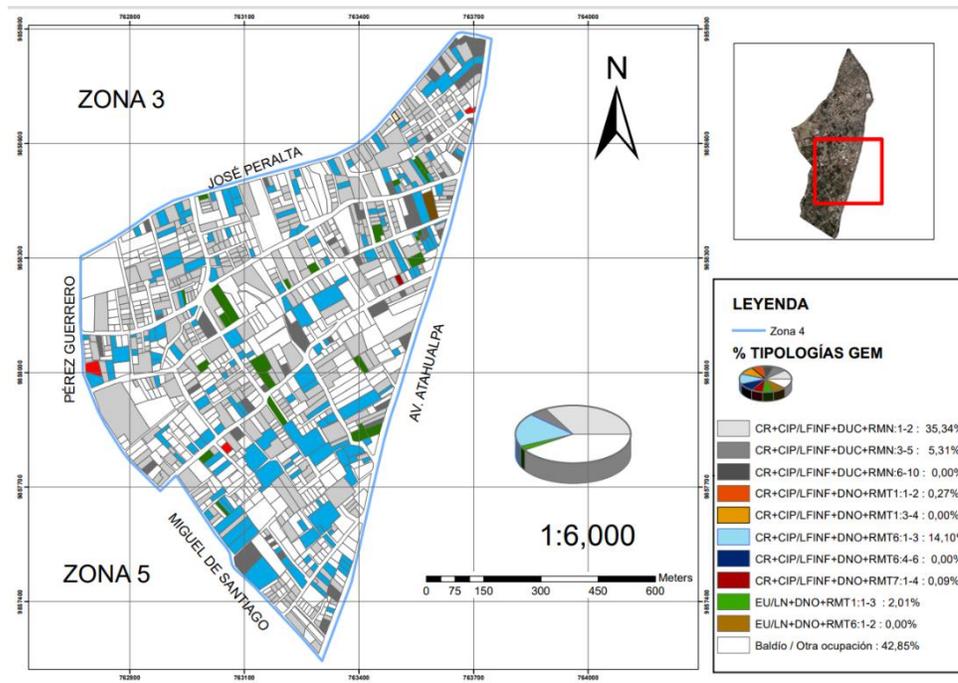


Tabla 68

Tipologías estructurales - Zona 4

TIPOLOGÍAS	N.º de Predios	%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	386	35,34%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	58	5,31%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	3	0,27%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	154	14.10%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4	1	0.09%
EU/LN+DNO+RMT1:1-3	22	2.01%
Baldío / Otra ocupación	468	42.85%
	1092	100.00%

De la Tabla 68, se determinó los siguientes resultados:

El 35.34% del total de predios analizados de la zona 4, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 5.31% del total de predios analizados de la zona 4, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 3 y 5 pisos.

El 0.27% del total de predios analizados de la zona 4, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 14.10% del total de predios analizados de la zona 4, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 0.09% del total de predios analizados de la zona 4, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT7:1-4; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de madera o asfalto, y número de pisos de entre 1 y 4 pisos.

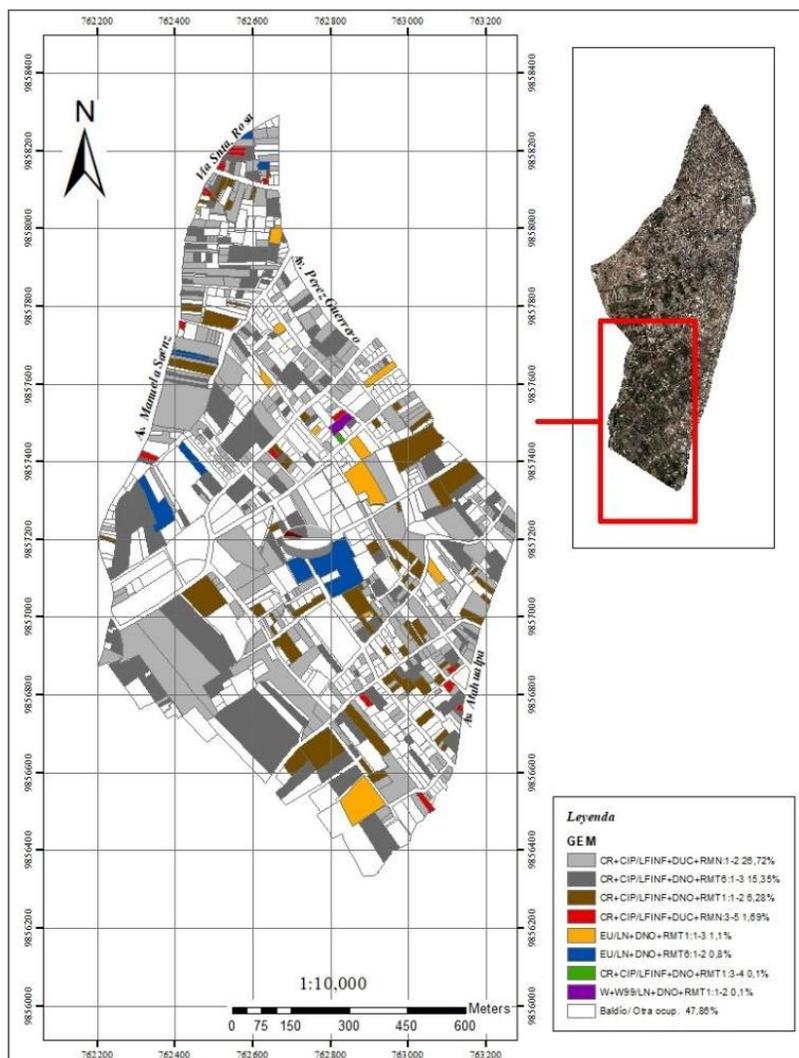
El 2.01% del total de predios analizados de la zona 4, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT1:1-3; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 42.85% del total de predios analizados de la zona 4 son terrenos baldíos o tienen otra ocupación.

### Zona 5.

**Figura 33**

*Distribución espacial de las Tipologías GEM – Zona 5*



**Tabla 69***Tipologías estructurales - Zona 5*

<b>TIPOLOGÍAS</b>	<b>N.º de Predios</b>	<b>%</b>
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2	268	26,72%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3	154	15,35%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2	63	6,28%
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5	17	1,69%
EU/LN+DNO+RMT1:1-3	11	1,10%
EU/LN+DNO+RMT6:1-2	8	0,80%
CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4	1	0,10%
W+W99/LN+DNO+RMT1:1-2	1	0,10%
Baldío / Otra ocupación	480	47,86%
	1003	100,00%

De la Tabla 69, se determinó los siguientes resultados:

El 26.72% del total de predios analizados de la zona 5, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 1,69% del total de predios analizados de la zona 5, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 3 y 5 pisos.

El 6,28% del total de predios analizados de la zona 5, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 2 pisos.

El 0,1 % del total de predios analizados de la zona 5, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:3-4; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 3 y 4 pisos.

El 15,35% del total de predios analizados de la zona 5, tienen una tipología CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3; es decir, es una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de pórticos rellenos de mampostería, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 1,10% del total de predios analizados de la zona 5, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT1:1-3; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de techo de tejas de arcilla u hormigón, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

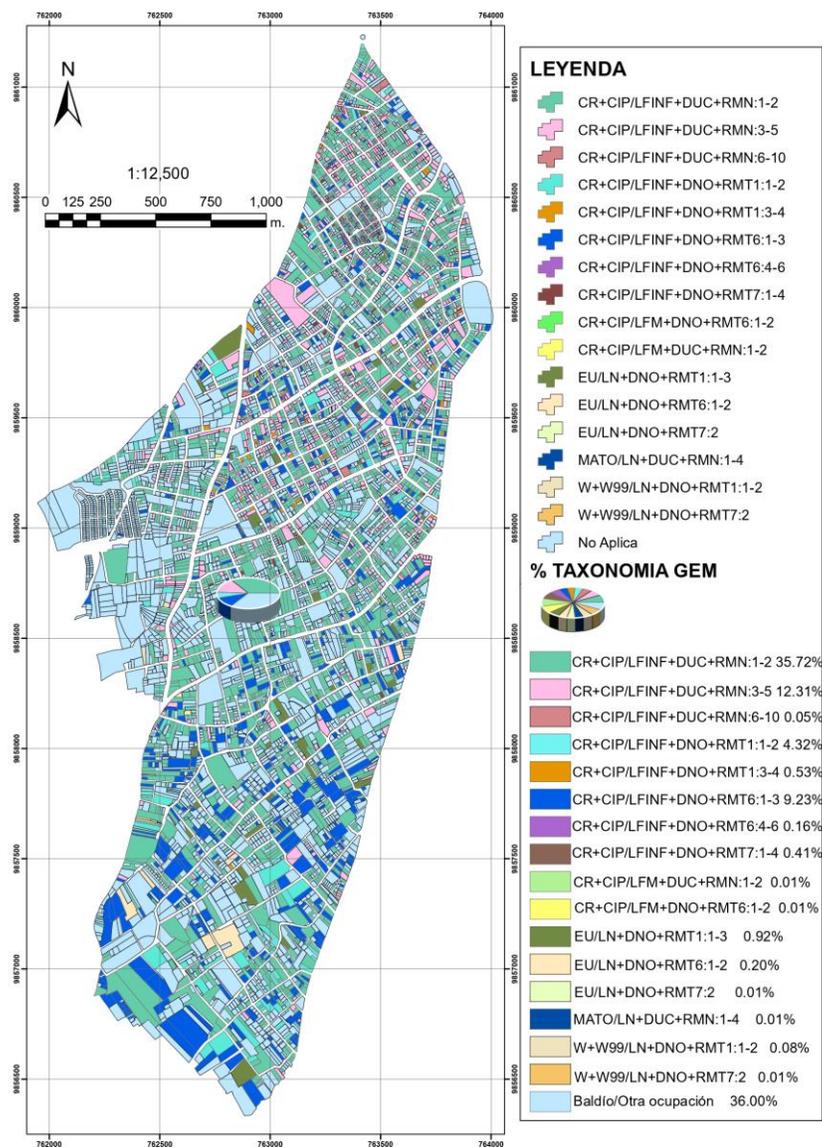
El 0,80% del total de predios analizados de la zona 5, tienen una tipología EU/LN+DNO+RMT6:1-2; es decir, es una edificación de tierra no reforzada, sin sistema resistente a cargas laterales, no dúctil, con cubierta de láminas metálicas o de asbesto, y número de pisos de entre 1 y 3 pisos.

El 47.86% del total de predios analizados de la zona 2 son terrenos baldíos o tienen otra ocupación.

## Parroquia de Huachi Chico.

**Figura 34**

*Distribución espacial de las Tipologías GEM – Huachi Chico*



De acuerdo a la Figura 34, se puede evidenciar que la tipología estructural predominante en la parroquia de Huachi Chico según las taxonomía GEM es CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2, es decir, una edificación de concreto reforzado realizado con concreto elaborada in situ, con sistema resistente a cargas laterales de

pórticos rellenos de mampostería, dúctil, con techo de hormigón sin cobertura adicional y número de pisos de entre 1 y 2, que equivale al 35,72% de los predios analizados.

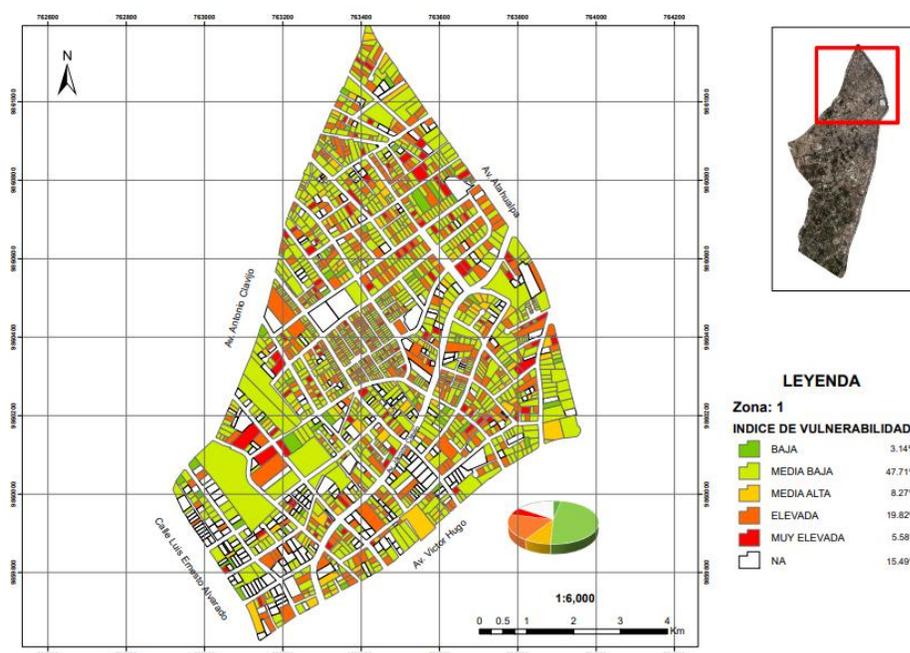
### ***Vulnerabilidad sísmica***

#### **Zona 1.**

- Metodología FUNVISIS

#### **Figura 35**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS – Zona 1.*



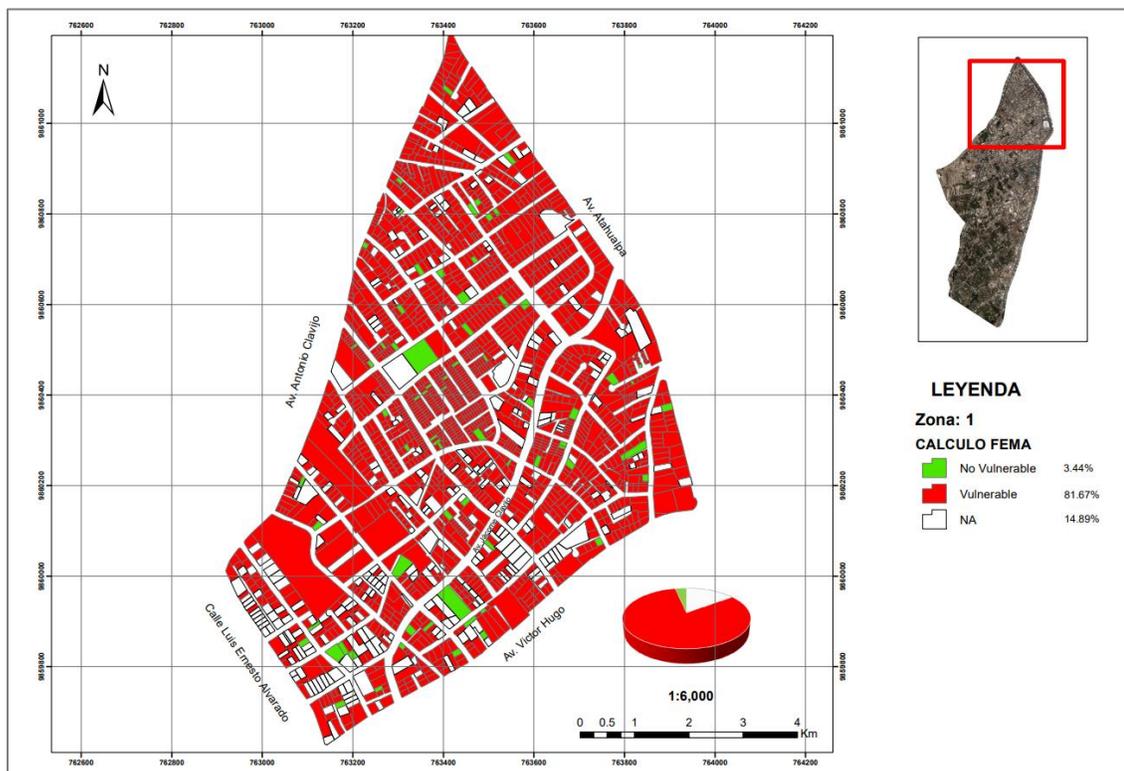
En la Figura 35 se determinó que del total de viviendas el 47,71% tiene un índice de vulnerabilidad medio bajo, el 19,82% una vulnerabilidad elevada, el 8,27% una vulnerabilidad media alta, el 5,58% una vulnerabilidad muy elevada y el 3,14% una vulnerabilidad baja, mientras que el 15,49% corresponde a edificaciones no aptas para este estudio.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 1 de la parroquia de Huachi Chico tiene una vulnerabilidad sísmica media baja.

- Metodología FEMA P-154

**Figura 36**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 - Zona 1.*



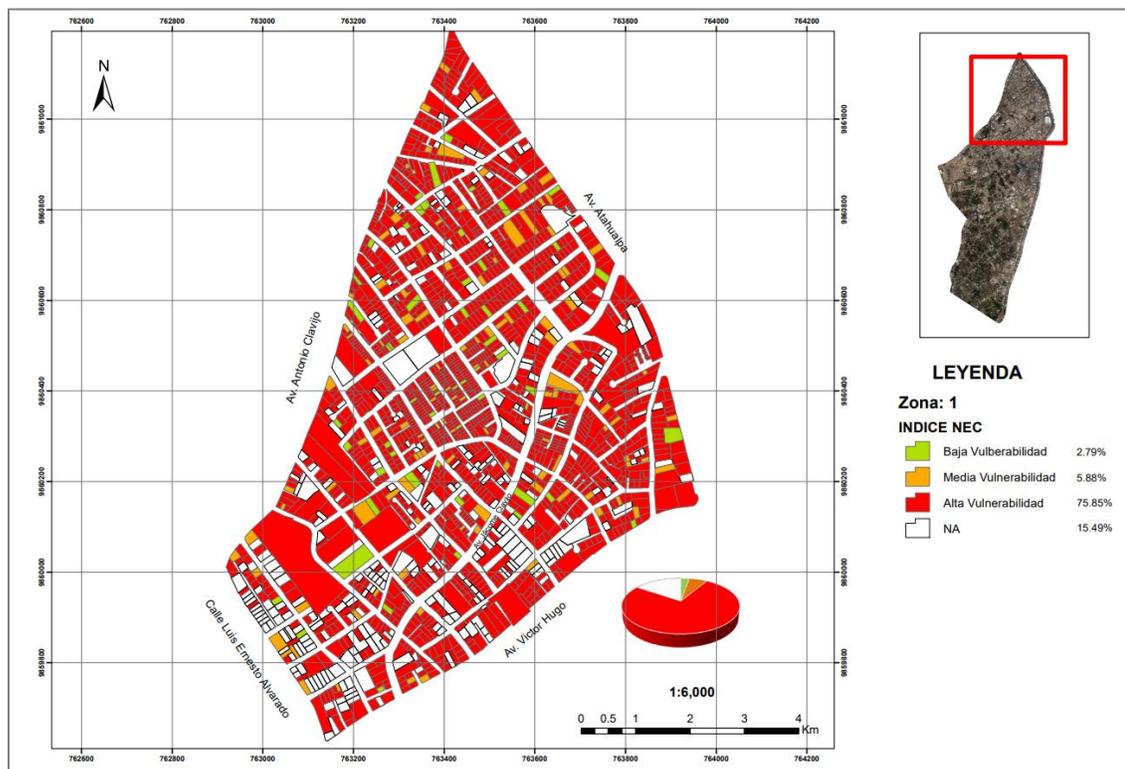
De la Figura 36, se determinó que del total de viviendas el 81,67% son vulnerables y requieren una evaluación detallada, mientras que el 3,44% no son vulnerables.

Se puede evidenciar según la metodología FEMA P-154 que la zona 1 de la parroquia de Huachi Chico es vulnerable por lo que sus viviendas necesitan un estudio más detallado.

- Metodología NEC

**Figura 37**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 – Zona 1*



De la Figura 37, se pudo determinar que del total de viviendas el 75,85% tiene alta vulnerabilidad, el 5,88% tiene media vulnerabilidad y el 2,79% tiene una baja vulnerabilidad.

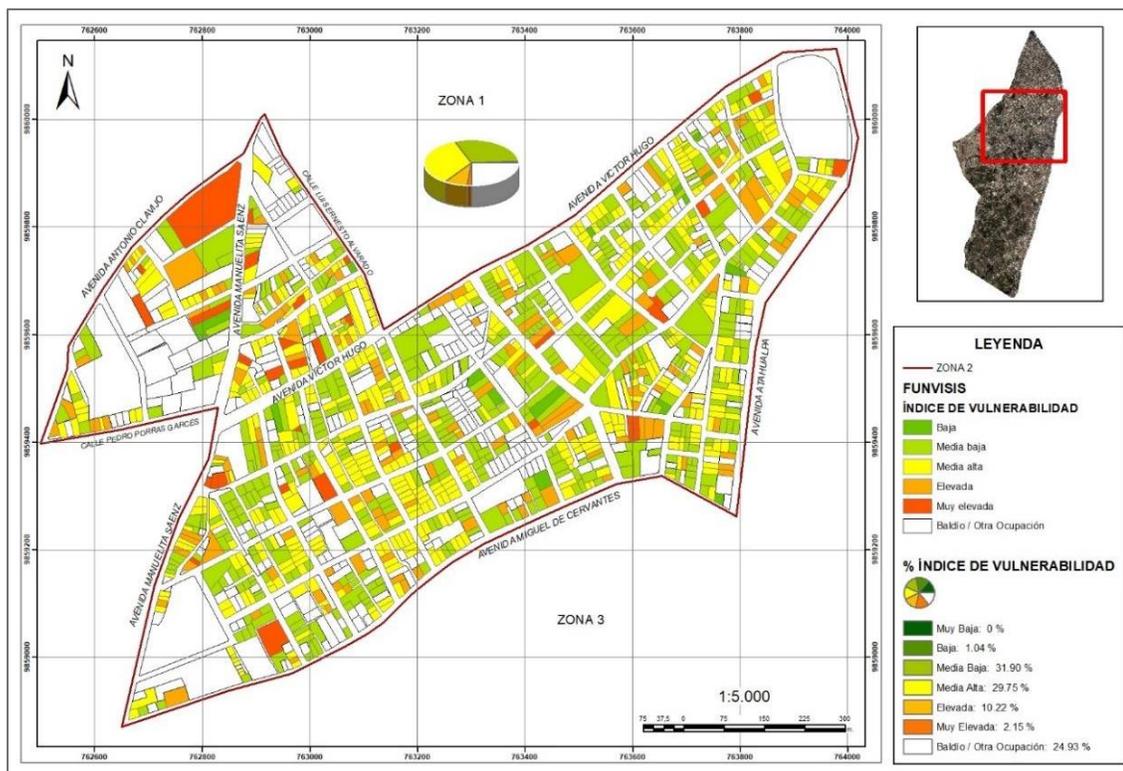
Se puede evidenciar según la metodología NEC 2015 que la zona 1 de la parroquia de Huachi Chico tiene alta vulnerabilidad sísmica.

## Zona 2.

- Metodología FUNVISIS

**Figura 38**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona 2*



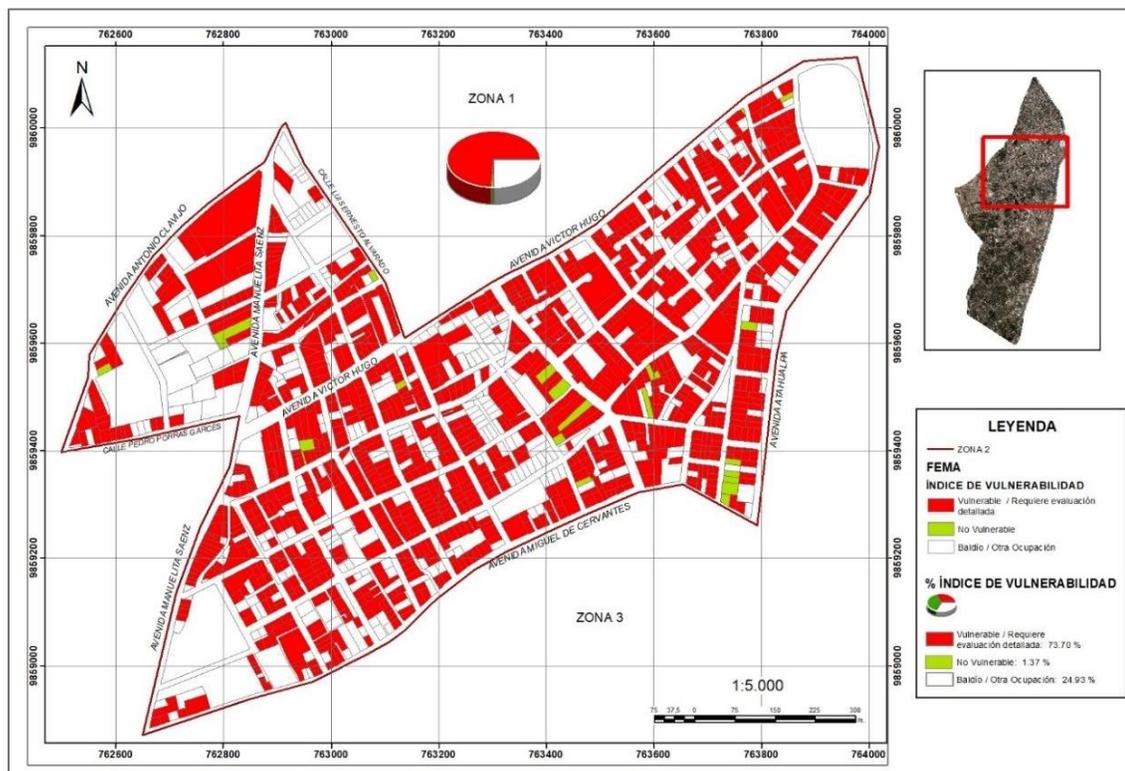
De la Figura 38, se determinó que del total de viviendas el 31,90% tiene vulnerabilidad media baja, el 20,75% vulnerabilidad media alta, el 10,22% vulnerabilidad elevada, el 2,15% vulnerabilidad muy elevada y el 1,04% vulnerabilidad baja.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 2 de la parroquia de Huachi Chico tiene una vulnerabilidad sísmica media baja.

- Metodología FEMA P-154

**Figura 39**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 - Zona 2.*



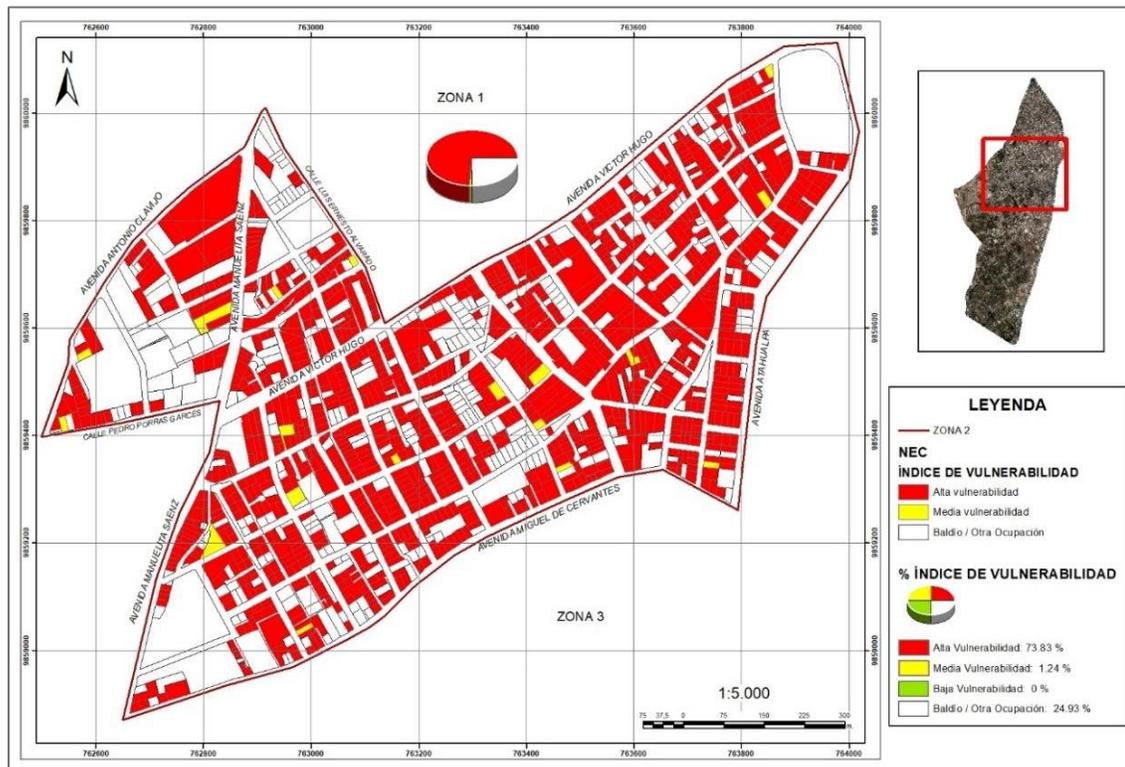
De la Figura 39, se determinó que del total de viviendas el 73,70% son vulnerables y requieren una evaluación detallada, mientras que el 1,37% no son vulnerables.

Se puede evidenciar según la metodología FEMA P-154 que la zona 2 de la parroquia de Huachi Chico es vulnerable por lo que sus viviendas necesitan un estudio más detallado.

- Metodología NEC

**Figura 40**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 – Zona 2*



De la Figura 40, se determinó que del total de viviendas el 73,83% tiene alta vulnerabilidad y el 1,24% media vulnerabilidad.

Se puede evidenciar según la metodología NEC 2015 que la zona 2 de la parroquia de Huachi Chico tiene alta vulnerabilidad sísmica.

### **Zona 3.**

- Metodología FUNVISIS

En la Figura 41, se indica los resultados del estudio de vulnerabilidad en la zona 3 mediante la aplicación de la metodología FUNVISIS. Se obtiene que la mayoría de las construcciones presenta un índice medio bajo y medio alto, debido a las condiciones constructivas que priman.

**Figura 41**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona 3.*

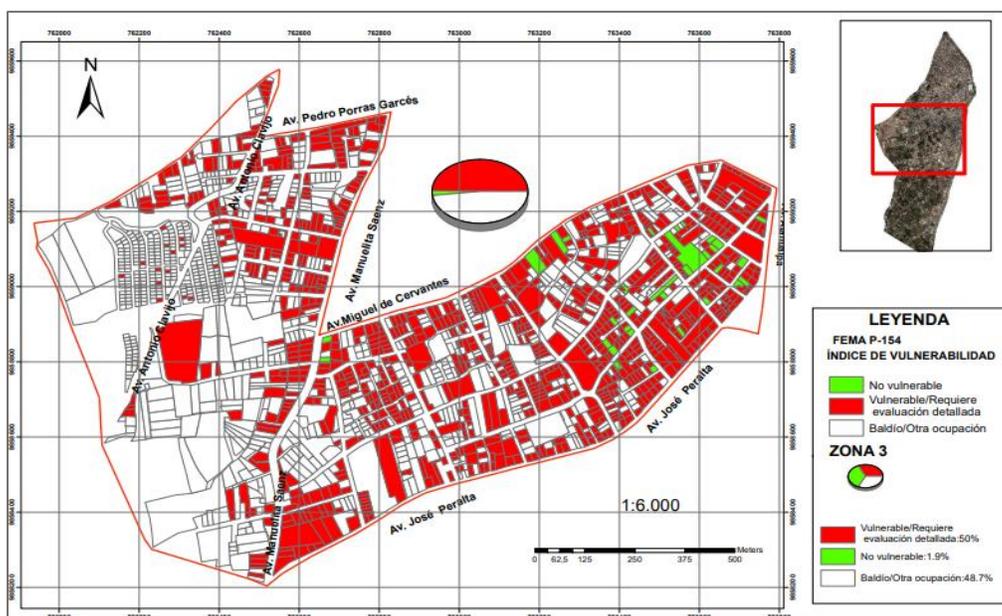


- Metodología FEMA P-154

En la Figura 42, se muestran los siguientes resultados: no vulnerable y vulnerable o que requiere evaluación detallada para poder determinar la vulnerabilidad.

**Figura 42**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 – Zona 3*

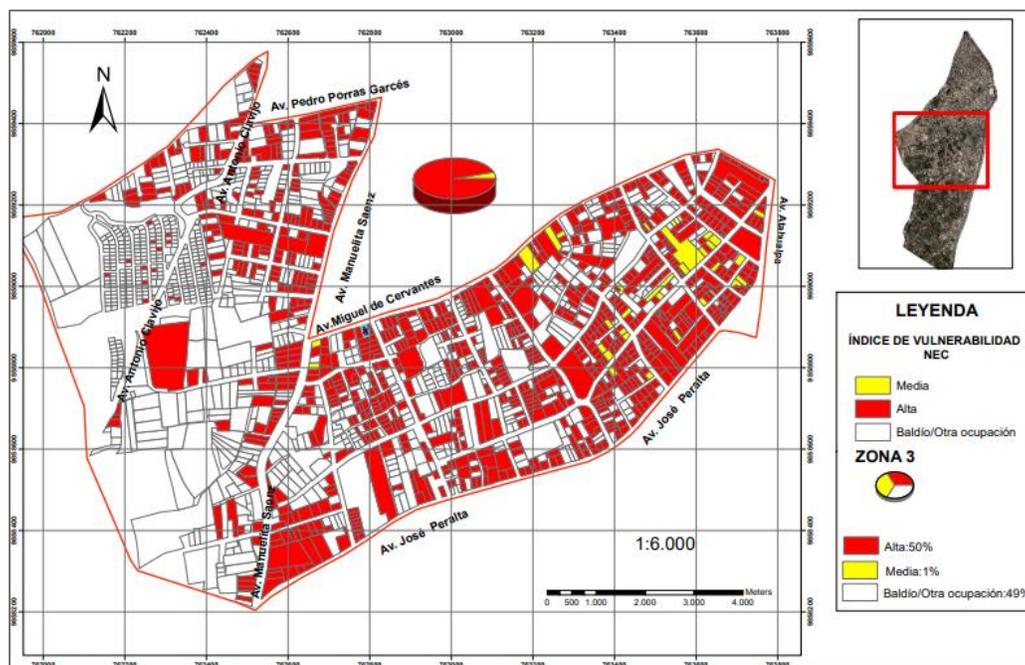


- Metodología NEC

En la Figura 43, se obtuvieron los siguientes resultados: alta del 50%, media del 1%, estos resultados se deben principalmente a que las construcciones son pre-código.

### Figura 43

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 - Zona 3.*

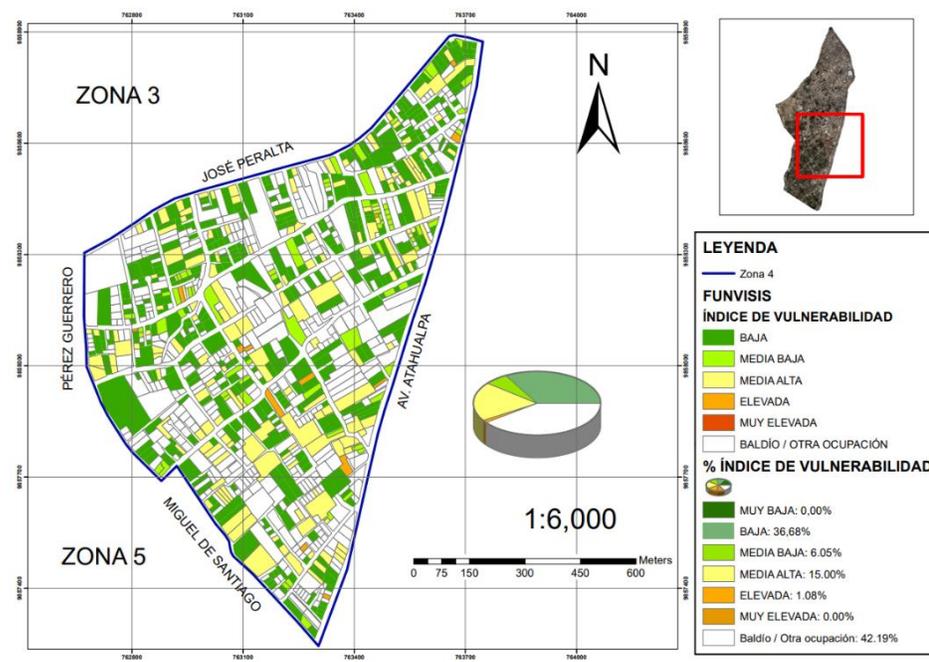


## Zona 4

- Metodología FUNVISIS

**Figura 44**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona 4.*



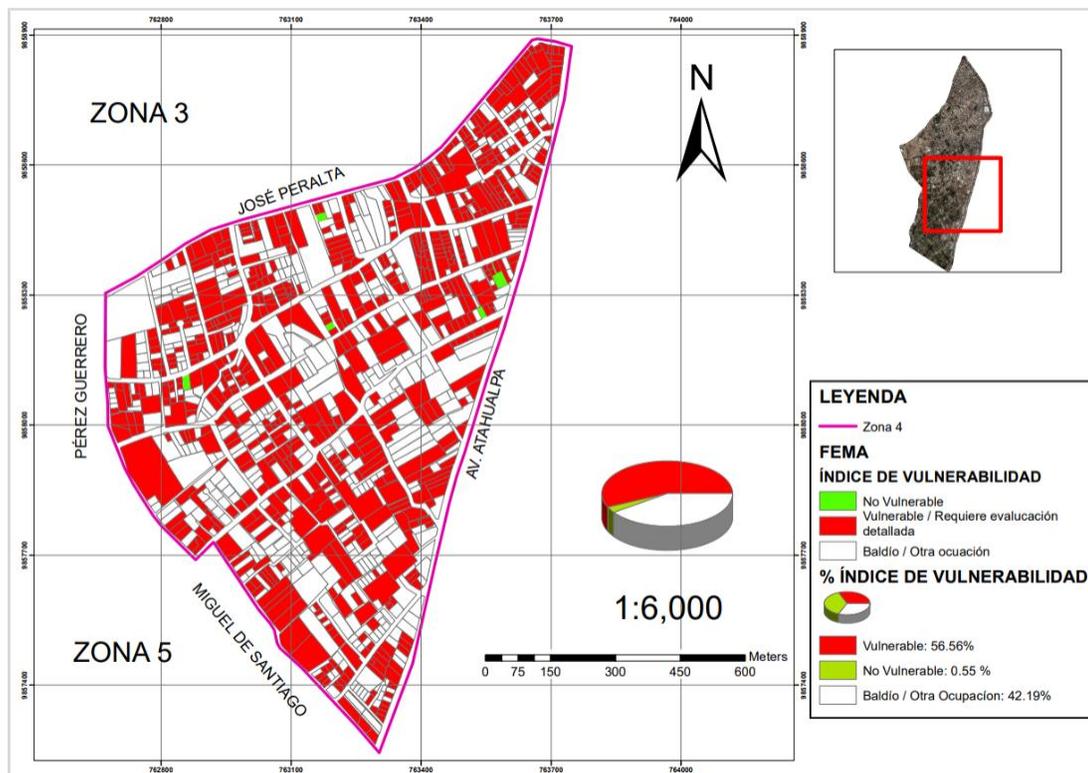
En la Figura 44., se determinó que del total de viviendas el 36,68% tiene vulnerabilidad baja, el 6,05% vulnerabilidad media baja, el 15% vulnerabilidad media alta, el 1,08% vulnerabilidad elevada.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 4 de la parroquia de Huachi Chico tiene una vulnerabilidad sísmica baja.

- Metodología FEMA P-154

**Figura 45**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 - Zona 4.*



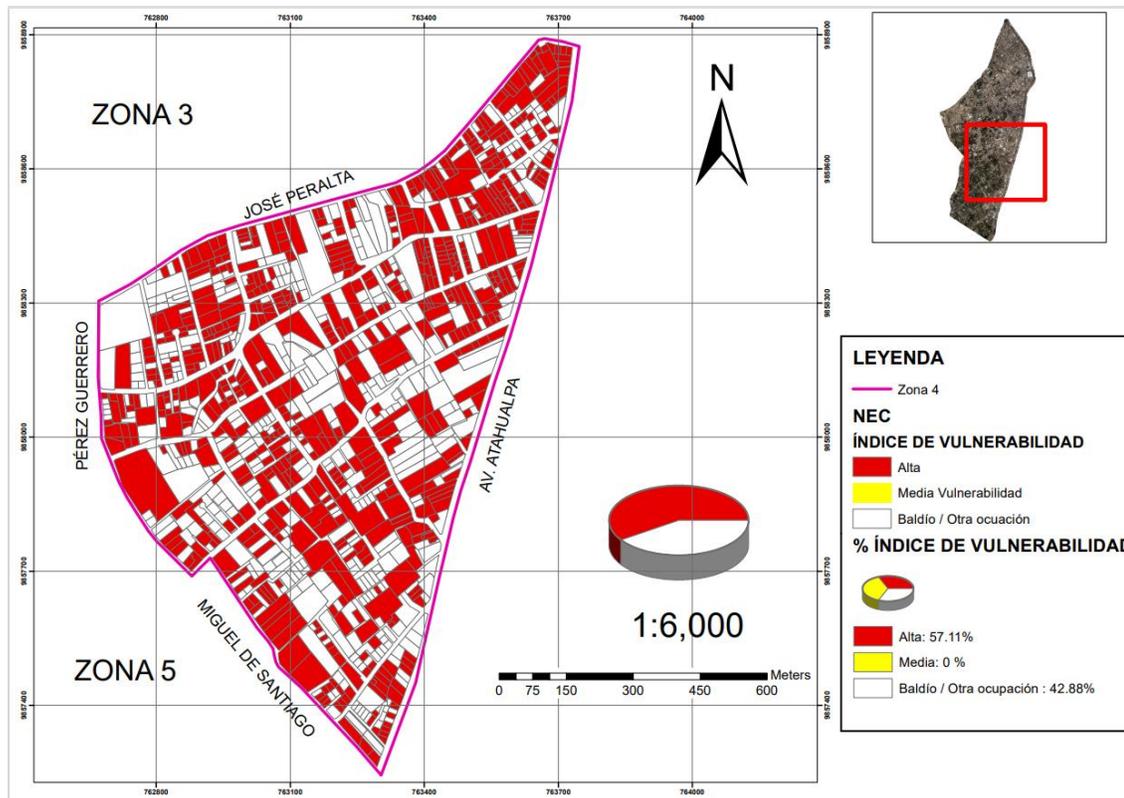
De la Figura 45, se determinó que del total de viviendas el 54,72% son vulnerables y requieren una evaluación detallada, mientras que el 2,40% no son vulnerables.

Se puede evidenciar según la metodología FEMA P-154 que la zona 4 de la parroquia de Huachi Chico es vulnerable por lo que sus viviendas necesitan un estudio más detallado.

- Metodología NEC

**Figura 46**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 – Zona 4*



De la Figura 46, se determinó que del total de viviendas el 57,11% tiene alta vulnerabilidad.

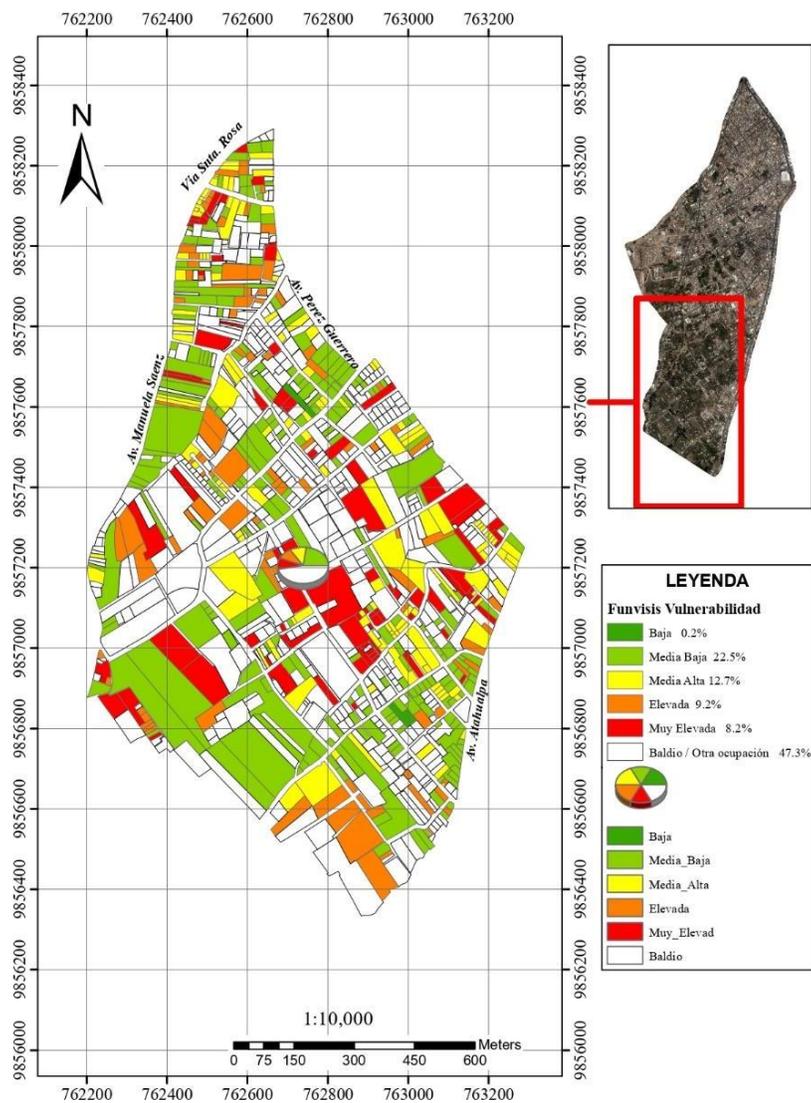
Se puede evidenciar según la metodología NEC 2015 que la zona 4 de la parroquia de Huachi Chico tiene alta vulnerabilidad sísmica.

## Zona 5.

- Metodología FUNVISIS

**Figura 47**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS - Zona 5.*



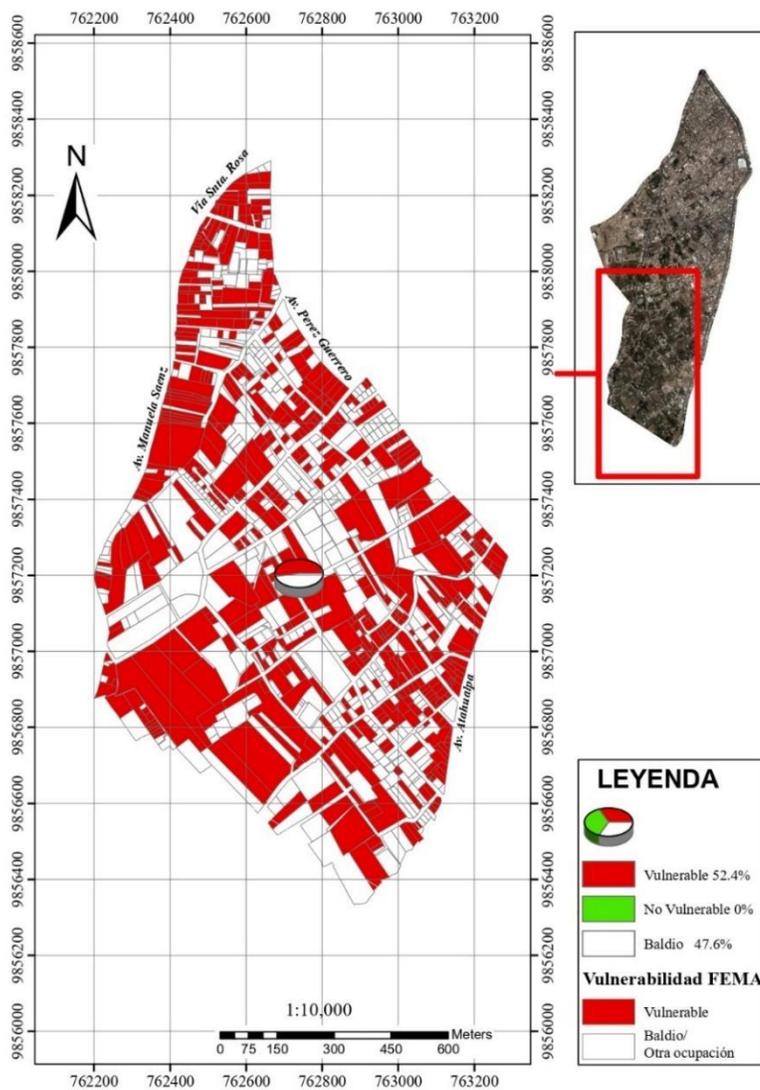
De la Figura 47, se determinó que del total de viviendas el 22,5% tiene vulnerabilidad media baja, el 12,7% vulnerabilidad media alta, el 9,2% vulnerabilidad elevada, el 8,2% vulnerabilidad muy elevada y el 0,2% vulnerabilidad baja.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 5 de la parroquia de Huachi Chico predomina una vulnerabilidad sísmica media baja.

- Metodología FEMA P-154

**Figura 48**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la FEMA P-154 - Zona 5.*



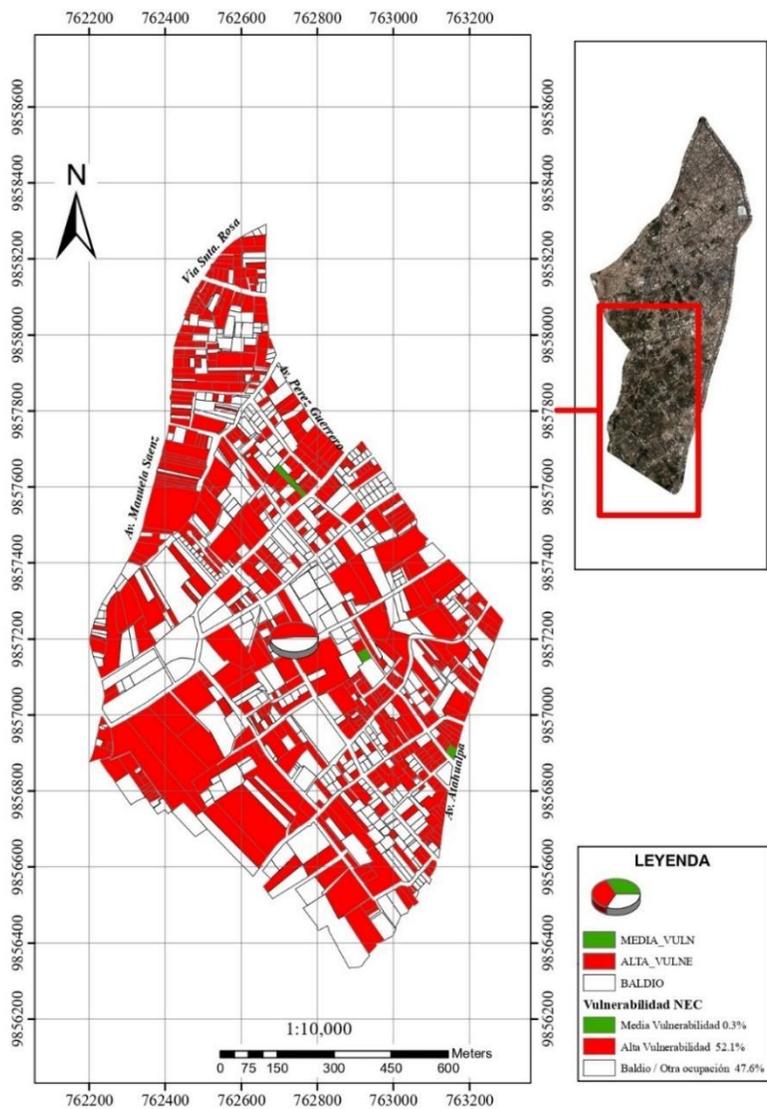
De la Figura 48, se determinó que del total de viviendas el 52.4% son vulnerables y requieren una evaluación detallada, es decir sin contar los lotes baldíos,

significa que toda la zona 5 necesita atención, es alarmante los resultados que nos proporciona el formulario FEMA P-154.

- Metodología NEC

**Figura 49**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según la NEC 2015 – Zona 5*



De la Figura 49, se determinó que del total de viviendas el 52,1% tiene alta vulnerabilidad y el 0,3% media vulnerabilidad.

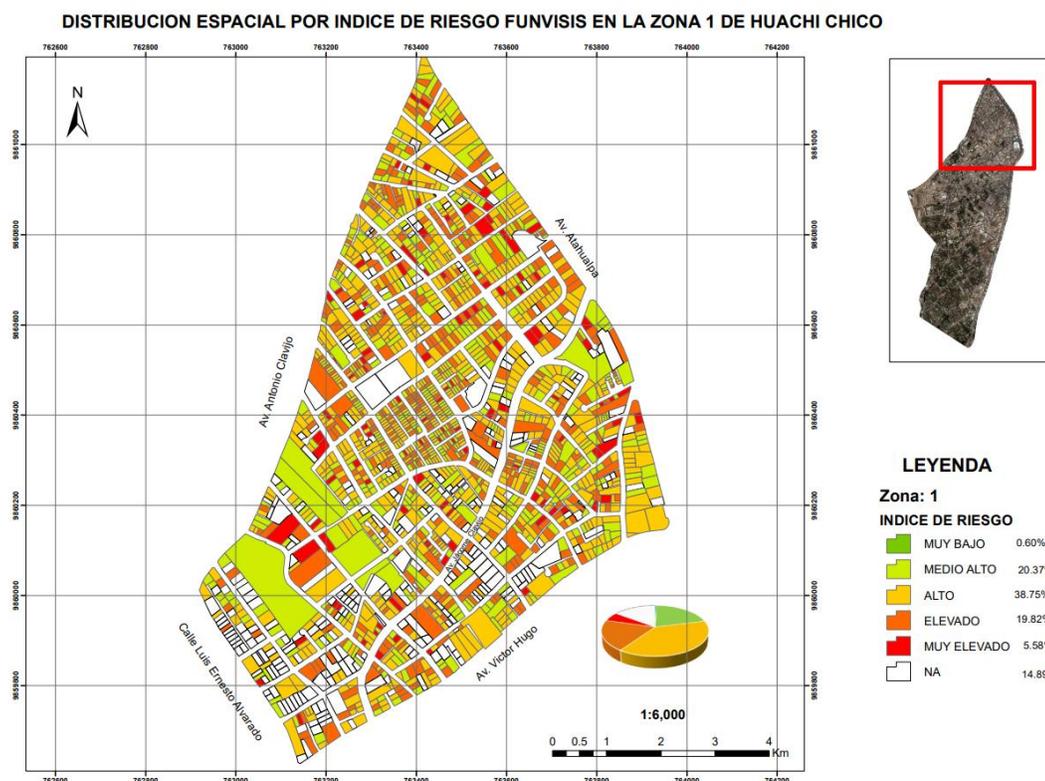
Se puede evidenciar según la metodología NEC 2015 que la zona 5 de la parroquia de Huachi Chico tiene alta vulnerabilidad sísmica.

### Riesgo sísmico

#### Zona 1.

**Figura 50**

*Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 1*



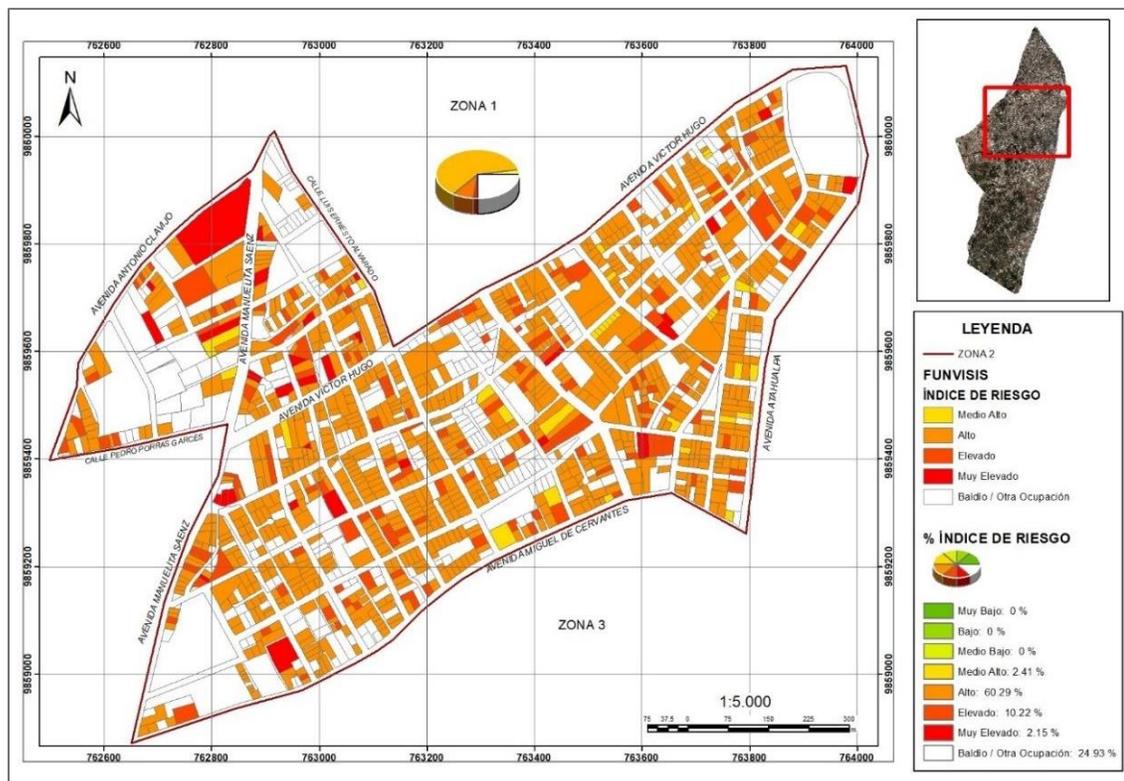
De la Figura 50, se determinó que del total de viviendas el 0.60% tiene un riesgo muy bajo, el 20.37% un riesgo medio alto, el 38,75% un riesgo alto, el 19.82% un riesgo elevado y el 5.58% tiene un riesgo muy elevado.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 1 de la parroquia de Huachi Chico tiene un alto riesgo sísmico.

## Zona 2.

**Figura 51**

*Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 2.*



De la Figura 51, se determinó que del total de viviendas el 60,29% tiene riesgo alto, el 10,22% riesgo elevado, el 2,41% riesgo medio alto y el 2,15% riesgo muy elevado.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 2 de la parroquia de Huachi Chico tiene un alto riesgo sísmico.

## Zona 3.

En la Figura 52, se muestra los resultados, donde existe un alto porcentaje de viviendas con riesgo alto.

**Figura 52**

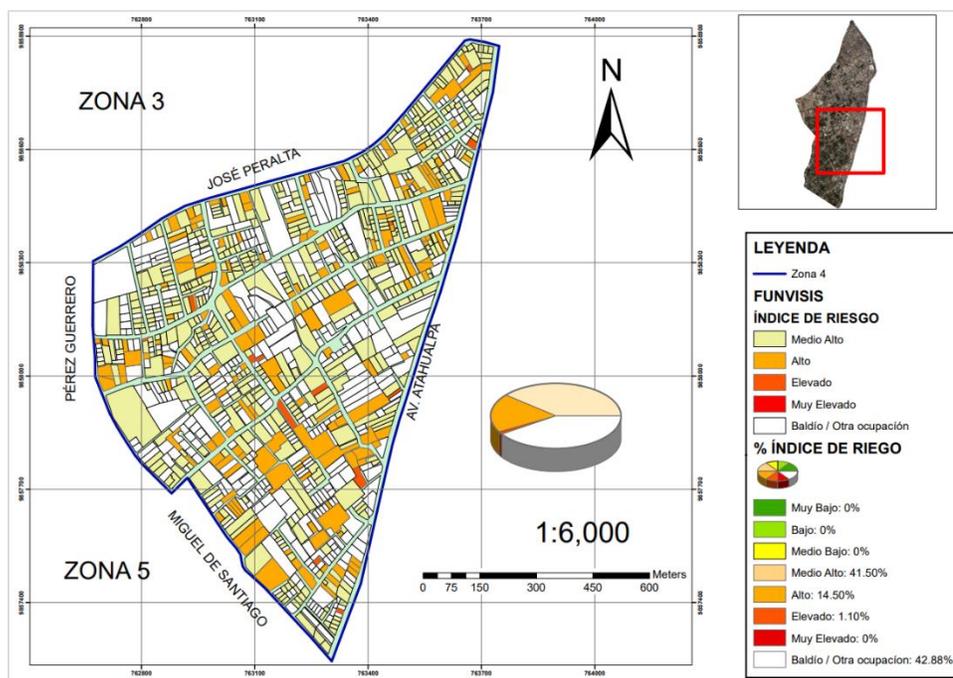
*Distribución espacial del Índice de riesgo según FUNVISIS – Zona 3*



**Zona 4.**

**Figura 53**

*Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 4.*



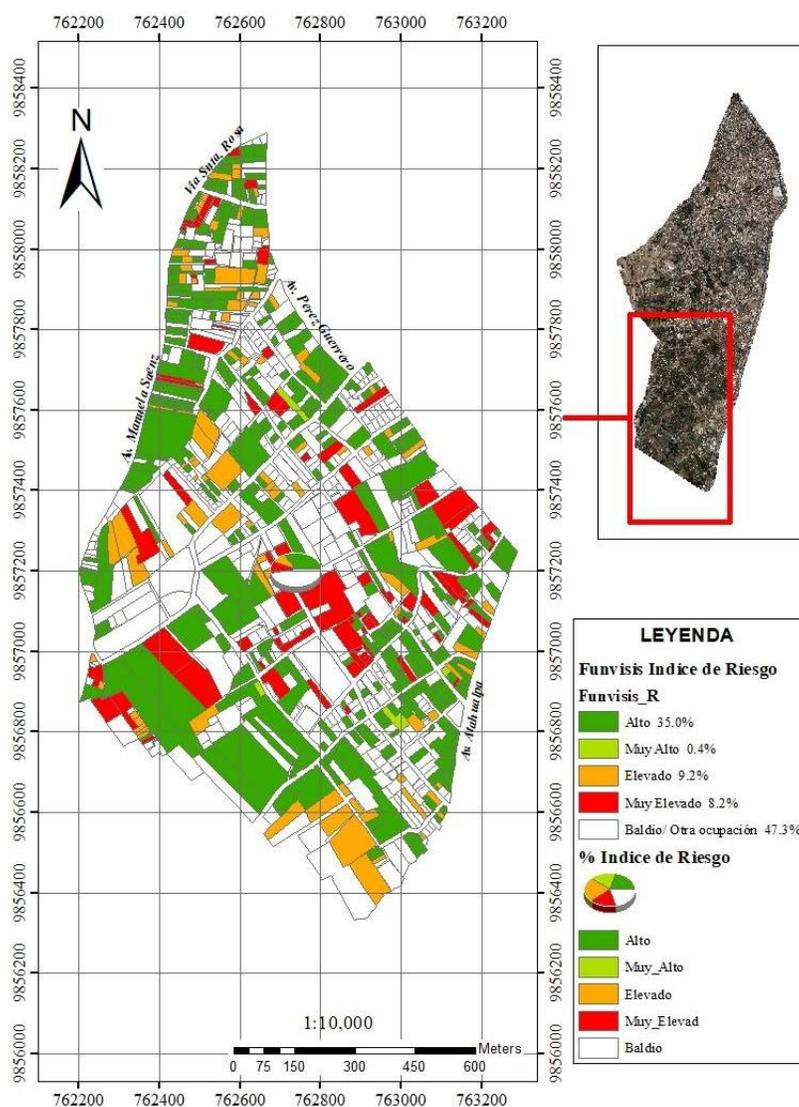
De la Figura 53, se determinó que del total de viviendas el 14,50% tiene riesgo alto, el 1,10% riesgo elevado, el 41,50% riesgo medio alto.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 4 de la parroquia de Huachi Chico tiene un alto riesgo sísmico.

### Zona 5.

**Figura 54**

*Distribución espacial del Índice de Riesgo según FUNVISIS – Zona 5.*



De la Figura 54, se determinó que del total de viviendas el 35,0% tiene riesgo alto, el 9,2% riesgo elevado, 8,2% riesgo muy elevado.

Se puede evidenciar según la metodología FUNVISIS que la zona 5 de la parroquia de Huachi Chico tiene un alto riesgo sísmico.

### **Validación de datos**

Tras depurar las bases de datos, corregir coordenadas y asignar un identificador catastral a cada punto, se tiene como paso siguiente comparar las dos bases de datos.

### ***Comparación de datos recolectados en campo con respecto al levantamiento visual.***

Si los valores son similares entre los puntos levantados con un mismo ID. Catastral se le asigna un punto, caso contrario el valor es cero, de esta manera se puntuó cada predio en su respectiva característica, siendo estas: número de pisos, Material de Paredes, resultados de los formularios de vulnerabilidad y tipología GEM.

**Número de pisos.** En el caso de número de pisos se ha obtenido un 57.57% de similitud entre las dos bases de datos, es decir de 998 predios recolectados en campo 575 son similares a los del levantamiento visual, cabe recalcar que la comparación se ha realizado a nivel de predio, y se sabe que el número de viviendas por predio es variable, por lo cual no necesariamente la residencia levantada en campo coincidirá con la seleccionada en el levantamiento visual, de igual manera el número de pisos es variable en el tiempo, y las imágenes base generadas por Street View no tienen un año específico de haber sido tomadas, esta es la mayor incertidumbre que se puede encontrar, pese a que estima que un 57,57% de similitud es aceptable.

**FEMA.** En el caso del formulario FEMA P-154 se consideró un rango de vulnerabilidad dependiendo de la tipología de la estructura y su índice base, siendo el criterio, si es menor que el índice asignado se considerará una estructura vulnerable y requiere una evaluación detallada, de otra forma se considera que no es vulnerable, se disminuyó de esta forma la incertidumbre en rango de valores, pese a eso y los problemas mencionados anteriormente, se obtuvo una similitud entre levantamientos del 52,39%, es decir 523 residencias levantadas presencialmente tienen el mismo resultado de vulnerabilidad de los 998 totales.

**NEC.** Pese a que el formulario que corresponde a la NEC es fundamentado en FEMA P-154 su validación difiere en este caso tenemos una similitud del 70,23%, esto indica 701 predios similares al total ya mencionado.

**FUNVISIS.** Al tener valores de vulnerabilidad muy variables que van desde vulnerabilidad baja hasta vulnerabilidad muy elevada se ha considerado disminuir esta incertidumbre disminuyendo a dos únicas categorías: vulnerable y no vulnerable, este cambio se lo realizó para comparar entre base de datos y se obtuvo como resultado un 67,74% de similitud, que difiere al doble de cuando se trabaja con las categorías propias del formulario ya que en este modo nos resulta un 34,02% de similitud.

**Taxonomía GEM.** Para la taxonomía GEM se comparó cada abreviatura característica del predio, en la taxonomía corta se consideran 4 abreviaturas, por lo cual se ha hecho el análisis de cada una, después de cada validación de similitud se obtuvo un promedio de las 4 y dio como resultado un 77,77% de similitud, cabe recalcar que la mayor similitud entre los ítems validados este ha sido el más acertado, esto se debe a que la taxonomía habla en si de la tipología característica de Huachi Chico, reduciendo su variabilidad a un rango específico de características únicas, generalizándolas para la zona.

### **Análisis de pérdidas**

A partir del análisis de los resultados obtenidos del software OQ del modelo de exposición con un evento sísmico de magnitud 6,3 Mw, se logró identificar pérdidas estructurales y económicas de la parroquia, Tabla 70, así como también en las distintas zonas de la parroquia que se detalla a continuación.

**Tabla 70**

*Pérdidas de la parroquia de Huachi Chico*

<b>Pérdidas económicas de Huachi Chico</b>			
<b>Zona</b>	<b>Valor expuesto (USD)</b>	<b>Valor de pérdida (USD)</b>	<b>Porcentaje de pérdida</b>
1	118 057 000,00	14 557 900,0	12,33%
2	77 304 500,00	1 023 200,0	13,24%
3	56 874 297,00	7 292 667,0	12,82%
4	41 391 794,00	5 845 261,00	14,12%
5	48 154 336,53	7 433 014,01	15,44%
<b>Total</b>	<b>341 781 927,5</b>	<b>45 825 405,39</b>	<b>13,27%</b>

**Pérdidas estructurales**

**Zona 1.**

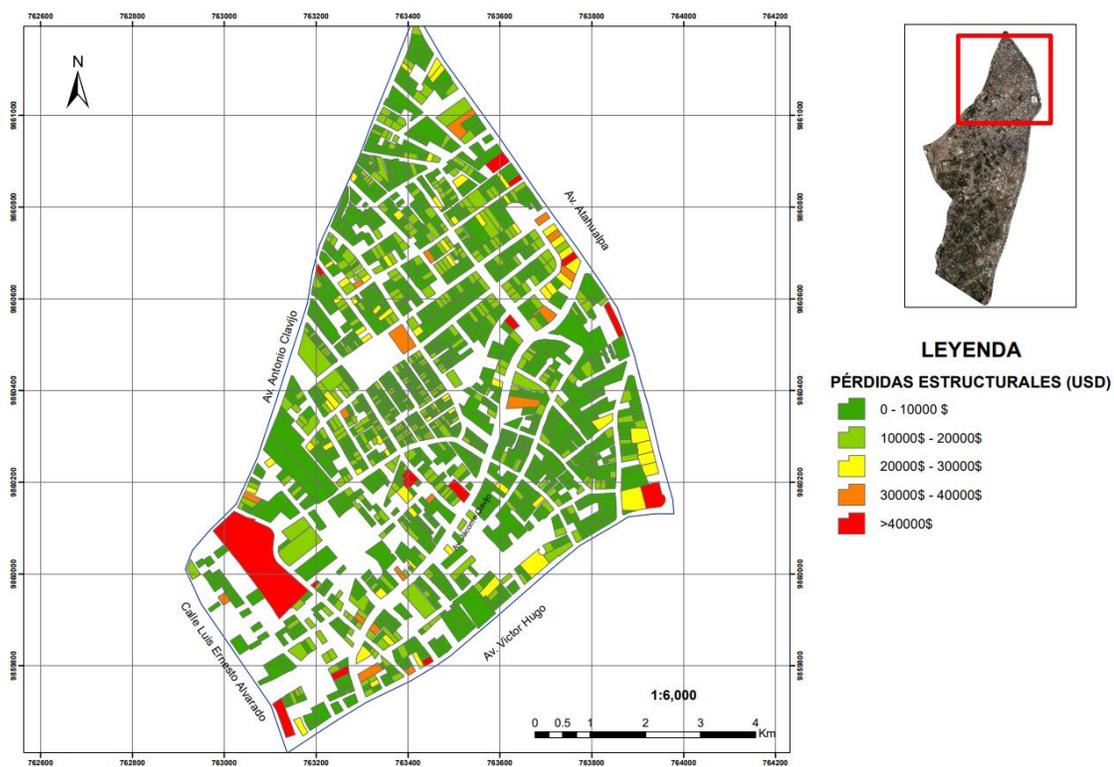
**Tabla 71**

*Pérdidas de la Zona 1 de Huachi Chico*

<b>Pérdidas de la Zona 1 de Huachi Chico</b>			
	<b>Valor de pérdida</b>	<b>Valor expuesto</b>	
<b>Tipo de pérdida</b>	<b>(USD)</b>	<b>(USD)</b>	<b>Índice de pérdida</b>
Estructural	14 557 900,0	118 057 000,0	12,33%

**Figura 55**

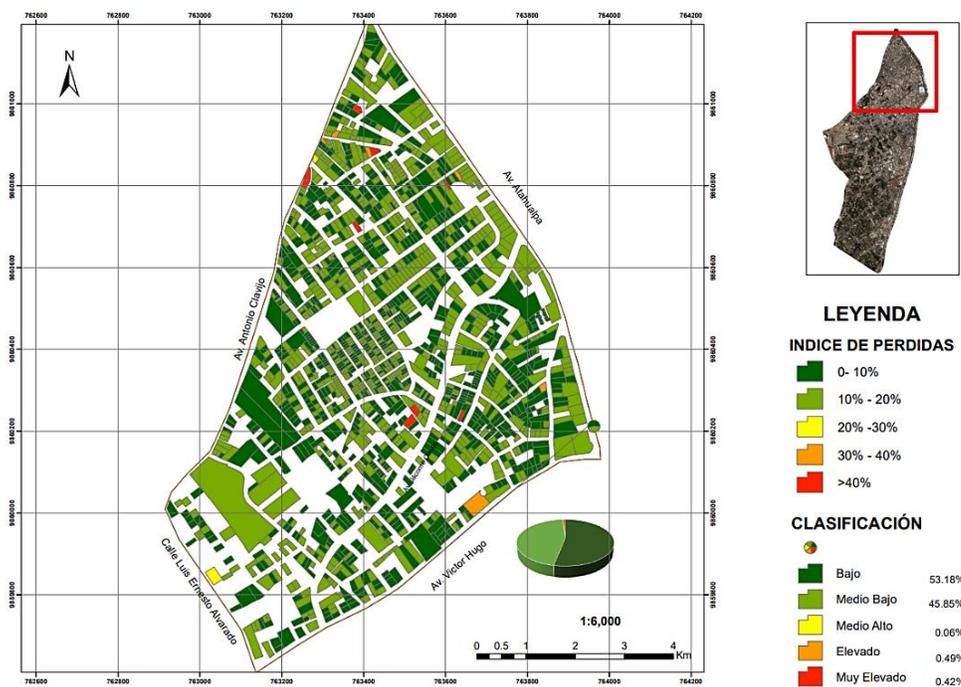
*Pérdidas estructurales en USD – Zona 1*



En la Figura 55, se puede evidenciar que las pérdidas estructurales en USD que predominan van desde valores de 0 a \$ 20 000 en toda la zona.

Figura 56

*Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad – Zona 1*



En la Figura 56, se puede evidenciar que el índice de pérdidas que predomina es de 0% a 10% que indica una vulnerabilidad baja equivalente al 53,18% del total de predios.

## Zona 2.

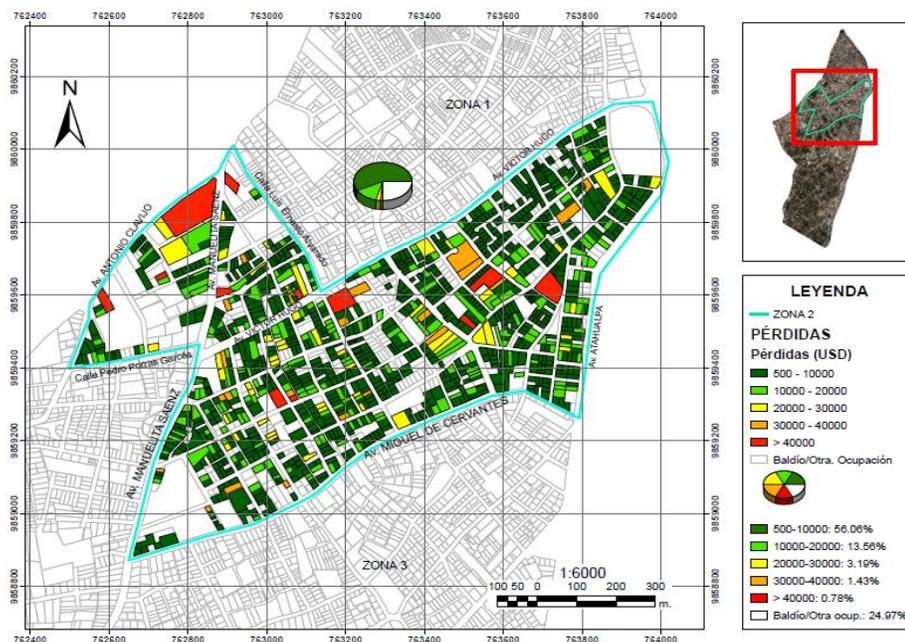
Tabla 72

*Pérdidas de la Zona 2 de Huachi Chico*

Pérdidas de la Zona 2 de Huachi Chico			
	Valor de pérdida	Valor expuesto	
Tipo de pérdida	(USD)	(USD)	Índice de pérdida
Estructural	10 232 000,0	77 304 500,0	13,24%

**Figura 57**

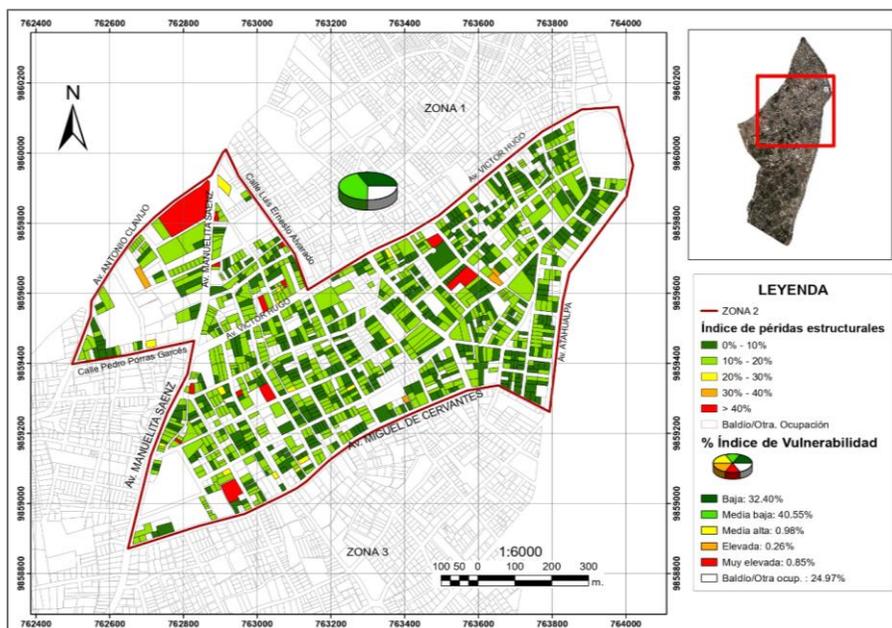
*Pérdidas estructurales en USD – Zona 2*



En la Figura 57, se puede evidenciar que las pérdidas estructurales en USD que predominan van desde valores de 500 a \$ 10 000 en toda la zona.

**Figura 58**

*Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 2*



En la Figura 58, se puede evidenciar que el índice de pérdidas que predomina es de 10% a 20% que indica una vulnerabilidad media baja equivalente al 40,55% del total de predios.

**Zona 3.**

**Tabla 73**

*Pérdidas de la Zona 3 de Huachi Chico*

<b>Pérdidas de la Zona 3 de Huachi Chico</b>			
<b>Tipo de pérdida</b>	<b>Valor de pérdida (USD)</b>	<b>Valor expuesto (USD)</b>	<b>Índice de pérdida</b>
Estructural	7 292 667,0	56 874 297,0	12,82%

**Figura 59**

*Pérdidas estructurales en USD – Zona 3*



En la Figura 59, se puede evidenciar que las pérdidas estructurales en USD que predominan van desde valores de 500 a \$ 10 000 en toda la zona.

Figura 60

Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 3



En la Figura 60, se puede evidenciar que el índice de pérdidas que predomina es de 0% a 10% que indica una vulnerabilidad baja equivalente al 49,84% del total de predios.

#### Zona 4.

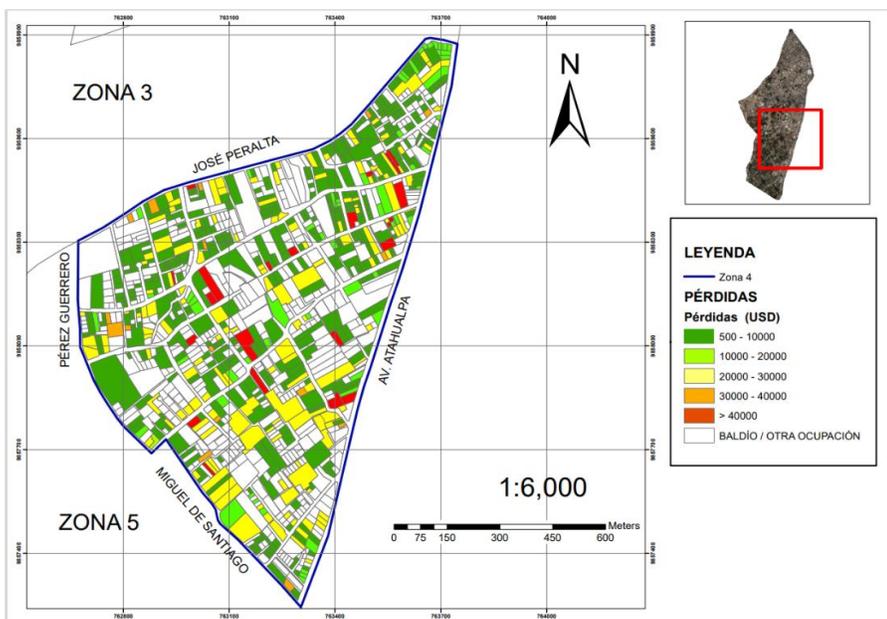
Tabla 74

Pérdidas de la Zona 4 de Huachi Chico

Pérdidas de la Zona 4 de Huachi Chico			
	Valor de pérdida	Valor expuesto	
Tipo de pérdida	(USD)	(USD)	Índice de pérdida
Estructural	5 845 261,00	41 391 794,00	14,12%

**Figura 61**

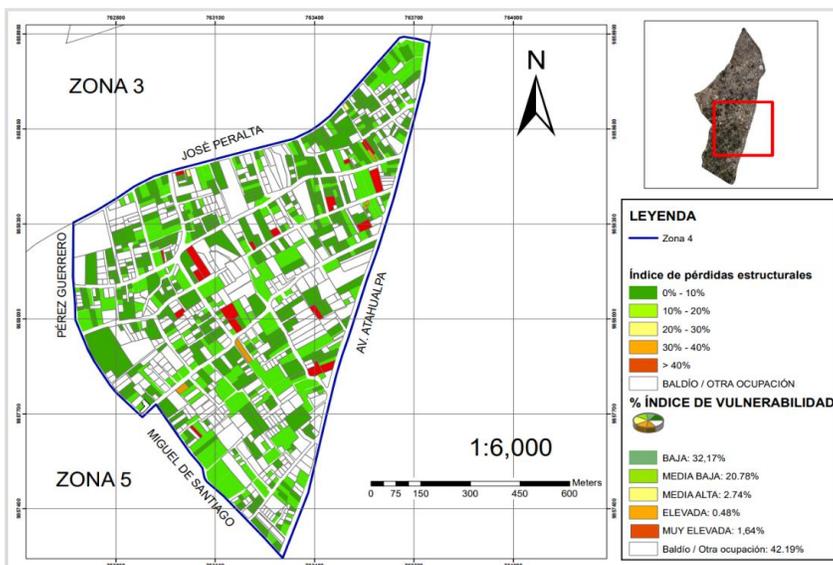
*Pérdidas estructurales en USD- Zona 4*



En la Figura 61, se puede evidenciar que las pérdidas económicas que predominan van desde valores de \$ 10000 a \$ 30000 en toda la zona.

**Figura 62**

*Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 4*



En la Figura 62, se puede evidenciar que el índice de pérdidas que predomina es de 0% a 10% que indica una vulnerabilidad baja equivalente al 32,17% del total de predios.

**Zona 5.**

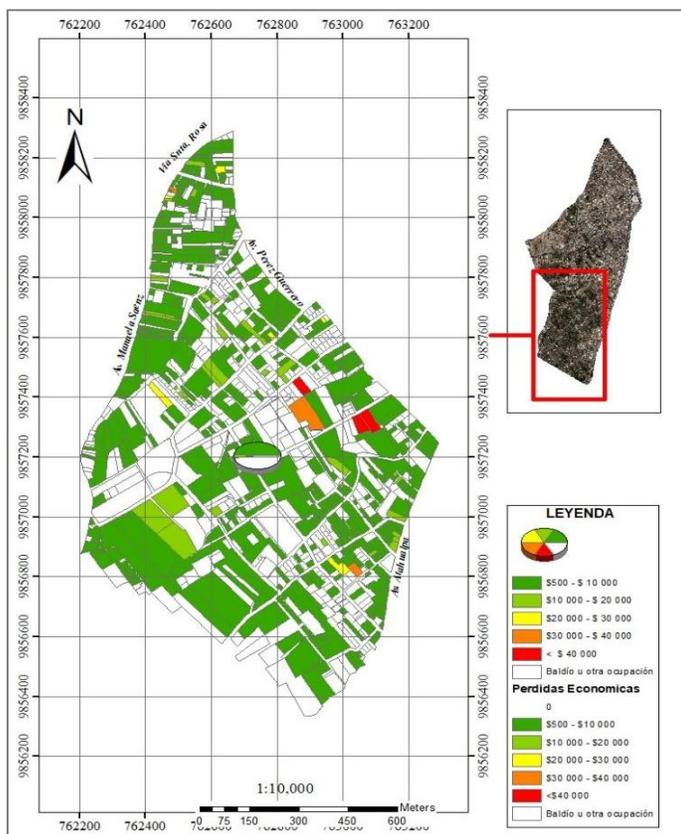
**Tabla 75**

*Pérdidas de la Zona 5 de Huachi Chico*

<b>Pérdidas de la Zona 5 de Huachi Chico</b>			
	<b>Valor de pérdida</b>	<b>Valor expuesto</b>	
<b>Tipo de pérdida</b>	<b>(USD)</b>	<b>(USD)</b>	<b>Índice de pérdida</b>
Estructural	7 433 014,01	48 154 336,53	15,44%

**Figura 63**

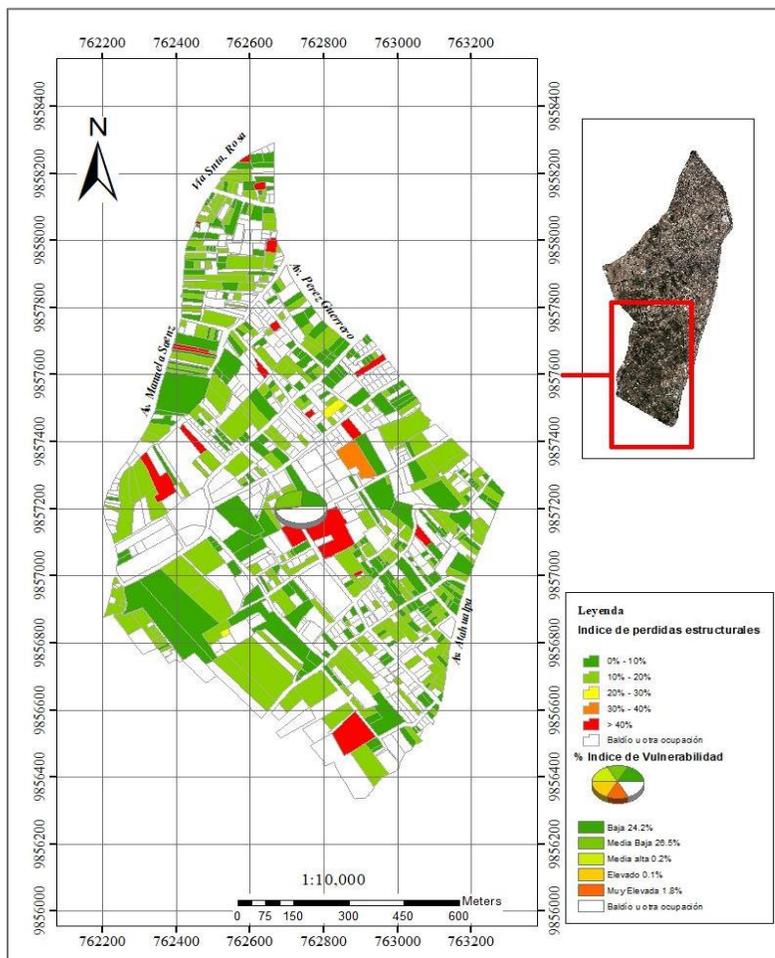
*Pérdidas estructurales en USD- Zona 5*



En la Figura 63, se puede evidenciar que las pérdidas económicas que predominan van desde valores de \$ 500 a \$ 10000 en toda la zona.

**Figura 64**

*Índice de pérdidas estructurales e índice de vulnerabilidad - Zona 5*



En la Figura 64, se puede evidenciar que el índice de pérdidas que predomina es de 10% a 20% que indica una vulnerabilidad media baja equivalente al 26,5% del total de predios.

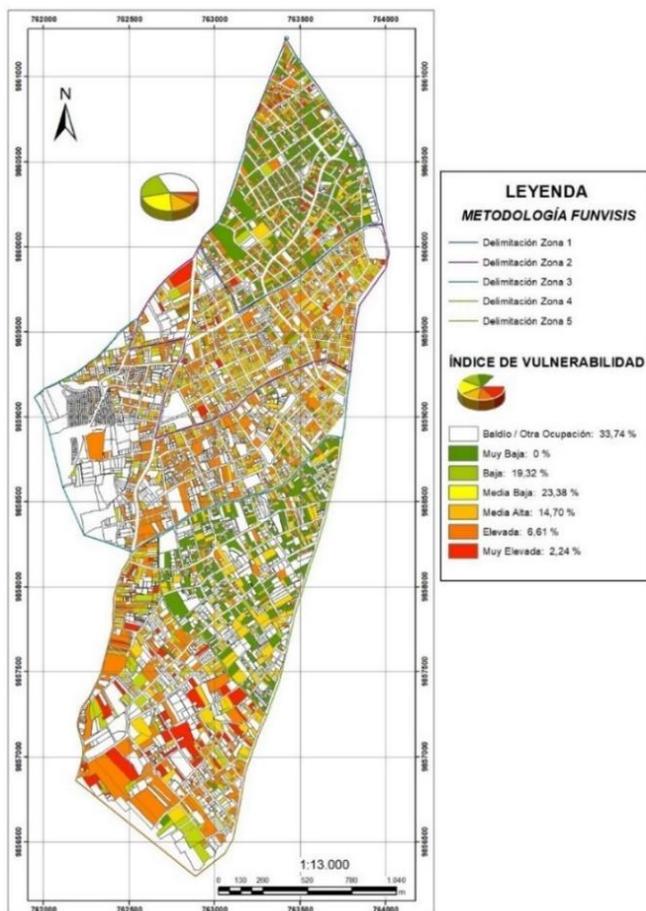
### Comprobación de la hipótesis

De acuerdo con las metodologías utilizadas en el estudio, se logró establecer distintos niveles de vulnerabilidad sísmica para la parroquia de Huachi Chico. A

continuación, se puede observar los mapas de vulnerabilidad de las distintas metodologías y sus porcentajes.

### Figura 65

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FUNVISIS – Parroquia de Huachi Chico*

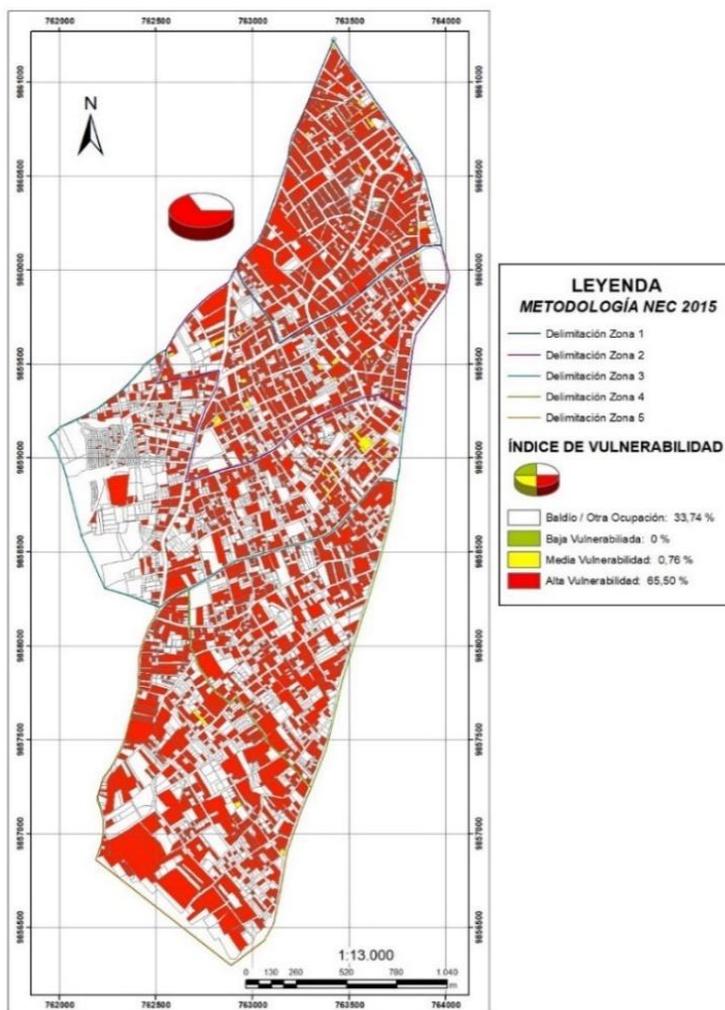


De acuerdo con la Figura 65, según la metodología FUNVISIS del total de predios encontrados en la parroquia de Huachi Chico el 19,32% presenta una vulnerabilidad baja, el 23,38% vulnerabilidad media baja, el 14,70% vulnerabilidad media alta, el 6,61% vulnerabilidad elevada, el 2,24% vulnerabilidad muy elevada y 33,74% corresponde a predios baldíos o de otra ocupación.

Se puede evidenciar que la parroquia de Huachi Chico según la metodología FUNVISIS es una zona de vulnerabilidad media baja correspondiente al 23,38% de los predios analizados.

**Figura 66**

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según NEC 2015 – Parroquia de Huachi Chico*

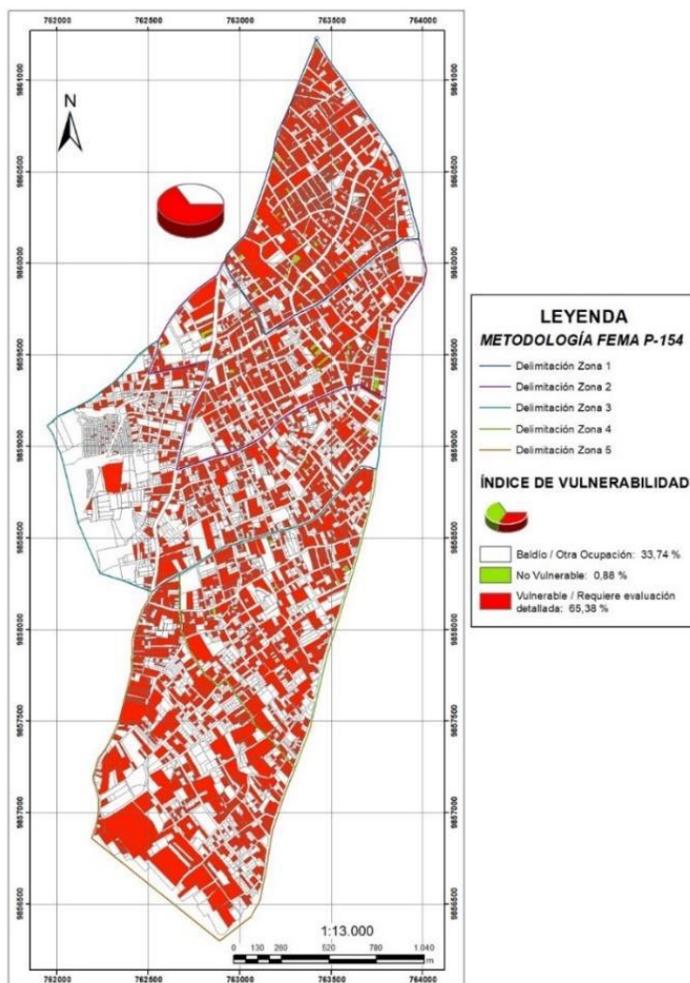


De acuerdo con la Figura 66, según la metodología NEC 2015 del total de predios encontrados en la parroquia de Huachi Chico el 0.76% media vulnerabilidad, el 65,50% alta vulnerabilidad y 33,74% corresponde a predios baldíos o de otra ocupación.

Se puede evidenciar que la parroquia de Huachi Chico según la metodología NEC 2015 es una zona de alta vulnerabilidad correspondiente al 65,50% de los predios analizados.

### Figura 67

*Distribución espacial del Índice de Vulnerabilidad según FEMA P-154 – Parroquia de Huachi Chico*



De acuerdo con la Figura 67, según la metodología FEMA P-154 del total de predios encontrados en la parroquia de Huachi Chico el 0,88% son no vulnerables, el 65,38% Vulnerable que requiere una evaluación detallada y 33,74% corresponde a predios baldíos o de otra ocupación.

Se puede evidenciar que la parroquia de Huachi Chico según la metodología FEMA P-154 es una zona vulnerable correspondiente al 65,38% de los predios analizados, por lo que sus viviendas residenciales necesitan una evaluación más detallada.

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES,

### Conclusiones

- De acuerdo al análisis realizado con las metodologías mencionadas, se logró obtener un índice de vulnerabilidad según FUNVISIS de 23,38% para vulnerabilidad media baja, FEMA P-154 de 65,38% como zona vulnerable que requieren de una evaluación más detallada y NEC 2015 de 65,50% para alta vulnerabilidad, por lo que se puede concluir que las metodologías FEMA P-154 y NEC 2015 brindan resultados alarmantes, esto se debe a que dichas metodologías tienen pocos grados de clasificación para vulnerabilidad a diferencia de la metodología FUNVISIS que cuenta con distintas clasificaciones revelando un resultado más conservador.
- Se determinaron 34 tipologías estructurales en total, a partir del levantamiento de campo se determinaron 25 tipologías que se muestran en la Tabla 59 y del levantamiento visual se obtuvieron 9 tipologías adicionales mostradas en la Tabla 64, de lo cual, las tipologías estructurales que predominan la parroquia de Huachi Chico son CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2 con el 35.72% y CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5 con el 12.31% de los predios estudiados.
- Del modelo de exposición realizado, con un evento sísmico de magnitud 6.3 Mw, en las distintas zonas de la parroquia de Huachi Chico, se logró estimar un porcentaje de pérdida económica total debido al daño de las estructuras en la parroquia de 13,27% que equivale a \$ 45 825 405,39 del valor expuesto de \$ 341 781 927,5.
- Las edificaciones más vulnerables son de tipología estructural de madera con paredes de adobe y techo de teja, ya que no cuenta con sistema de resistencia a

cargas laterales y han sido construidas artesanalmente sin un código de construcción.

### **Zona1**

- Los resultados del análisis nos presentan un 75.85% de edificaciones vulnerables según la NEC, un 81.67% según el FEMA P-154 y un 33.67% a través de la metodología FUNVISIS, esto nos plantea un escenario de vulnerabilidad general Alta para la zona 1.
- La zona 1 cuenta con un total de 13 tipologías estructurales, de las cuales sobresalen 4 que son: CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2 con el 43.95%, CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5 con el 21.20 %,CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3 con el 7.18% y CR+CIP/LFINF+DNO+RMT1:1-2 con el 5.47%, todas ellas constituyen edificaciones de tipo *Pórticos de hormigón armado rellenos con paredes de mampostería de bloque o ladrillo y que cuentan con techos de concreto, teja, planchas metálicas o láminas de asbesto* y así determinando este conjunto de características como las propiedades más representativas en las edificaciones de la zona.
- A través del modelo de exposición realizado en OpenQuake, se establece que esta zona tiene un índice de pérdidas a nivel general del 12,33%, lo que representa un valor de pérdida de \$14 557 900,00. A partir de este resultado se evidencia que la zona 1 tiene un rango más alto de perdidas estructurales con respecto a las demás zonas ya que comprende un área de mayor densidad poblacional y residencial en comparación a las otras, además se pudo evidenciar que era una de las zonas más antiguas en cuanto a construcciones.

## **Zona 2**

- La metodología FEMA P-154 y NEC 2015 demuestran de manera alarmante que la zona es vulnerable con un 73,70% y un 73,83% de los predios analizados respectivamente y se requiere más estudios de las estructuras, mientras que la metodología FUNVISIS es más conservadora, exponiendo que la zona tiene una vulnerabilidad media baja en el 31,90% de los predios analizados.
- Con la metodología FUNVISIS se logró estimar que el 60,29% de los predios analizados tienen un índice de riesgo alto.
- Las tipologías estructurales con mayor presencia son:  
CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2 con el 34.79%, CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:3-5 con el 19.35% y CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3 con el 12.51% de los predios analizados.
- En el modelo de exposición, al simular eventos sísmicos en OpenQuake, determina un índice de pérdidas del 13,24%. Se tiene pérdidas estructurales en USD y en porcentaje; debido a que la simulación es a nivel de predios y algunos cuentan con más de una edificación; al ser expuestos puede haber una misma o similar pérdida económica, pero no significa que el predio vaya a tener el mismo daño estructural que el otro.

## **Zona 3**

- Al ser una de las zonas más reciente, se generan ampliaciones o remodelaciones no registradas en el catastro. La zona de estudio, al estar alejada del centro comercial de la parroquia, presenta una calidad constructiva menor a las zonas de mayor densidad poblacional y de comercio.
- Según los resultados obtenidos en la metodología, FEMA P-154 y NEC 2015, se obtiene que la zona presenta una vulnerabilidad sísmica elevada, aunque esto

puede deberse a que se requiere de una evaluación más detallada. La metodología FUNVISIS arroja como resultado una vulnerabilidad media baja y alta, que se identifica en el 40% de las residencias.

- Mediante la simulación realizada en OpenQuake, se determina que posee un nivel de pérdidas estructurales de 12,89%, lo cual representa un nivel de pérdidas estructurales bajas, con respecto a las demás zonas con mayor densidad poblacional, también los daños en dólares se estiman en el valor de 7 292 667,0 USD. Estos resultados se deben principalmente a que en la zona no existen edificios de gran altura al momento y principalmente existen estructuras de tipo residencial, así como de alguna otra ocupación, donde no se encuentran gran cantidad de personas.

#### **Zona 4**

- El número de predios baldíos aumenta al alejarse del centro comercial de Huachi Chico, por lo que la zona 4 presenta un gran número de terrenos baldíos en comparación con otras zonas de estudio.
- Se pudo identificar que las tipologías estructurales que predominan en la zona son CR+CIP/LFINF+DUC+RMN:1-2 con 36,34% y CR+CIP/LFINF+DNO+RMT6:1-3 con 14,10 % de los predios totales analizados, esto nos muestra que las estructuras con pórticos de hormigón con mampostería de bloque o ladrillo son los más abundantes en esta zona de estudio.
- Al aplicar las metodologías FEMA P-154 y NEC 2015 en la zona 4, indican valores altos de vulnerabilidad en un 56,56% y 57,11% del total de predios analizados siendo más alarmantes en comparación de la metodología FUNVISIS que presenta baja vulnerabilidad en un 36,68% del total de predios esto se debe a que esta metodología es más conservadora.

- Mediante el uso de OpenQuake se realizó varios escenarios sísmicos que podrían ocurrir por la falla que se ubica debajo de Huachi Chico, gracias a esto se puede obtener datos de pérdidas económicas por cada predio que dependerá del número de casas con que cuenten. Al no constar de un gran número de predios con edificaciones y entre otros factores las pérdidas económicas cuentan con un índice de pérdidas de 14,12%.

### **Zona 5**

- Los resultados de los distintos métodos de evaluación presentados en este documento, se diferencia entre sí y de igual manera se relacionan, por esto se concluye que: la metodología de NEC y la FEMA P-154 son alarmantes ya que indican resultados de 99,42% y el 100% respectivamente de vulnerabilidad a nivel de predio, esto descartando los predios baldíos o que corresponden a una ocupación distinta a la del estudio, los valores se deben a factores claves de la zona como son el año y los materiales de construcción, estos al ser una zona alejada del centro de la parroquia no cuenta con un desarrollo elevado en relación a las zonas céntricas además casi la mitad de terrenos baldíos, lo contrario sucede con la metodología FUNVISIS ya que al tener un rango más amplio de clasificación que las metodologías mencionadas, da como resultado que el 42,7% se encuentra en una vulnerabilidad media baja sin tomar en cuenta los predios baldíos, existe una similitud de resultados con la metodología implantada con OpenQuake en el cálculo de vulnerabilidad el cual indica que el 50,19% de predios ingresan en una vulnerabilidad media baja, al ser metodologías diferentes y demostrar valores similares se concluye que la zona 5 tiene una vulnerabilidad media.

- La metodología de FUNVISIS indica que el 66,29% de la zona 5 de la parroquia de Huachi Chico cuenta con un alto índice de riesgo, esto sin contar los predios baldíos o que tienen ocupación distinta a la residencial.
- El escenario generado por OpenQuake, indica que las pérdidas económicas por daño estructural en la zona 5 es de 7 433 014,02 USD, esto representa el 15,44% en porcentaje de perdidas, concluyendo que la zona 5 es la más afectada por el escenario sísmico.

## **Propuesta**

### ***Datos informativos***

Las autoridades ecuatorianas ante la preocupación, en el 2010 procedieron a realizar una actualización en el código, apareciendo la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, hasta aquel momento el Ecuador tenía una deficiencia en la normativa con respecto a la calidad de las estructuras, la NEC llegó a desarrollar información e instrumentos para el cálculo de estructuras sismo resistentes en base a mapas de zonificación sísmica (Aguiar & Rivas Medina, 2018).

La presente investigación se enfoca al análisis de vulnerabilidad sísmica, obteniendo como resultado que la parroquia presenta una vulnerabilidad media, luego de caracterizar las edificaciones residenciales por medio de las metodologías mencionadas. También se estimó un 13,27% de pérdidas económicas en la parroquia de acuerdo con el evento sísmico de magnitud 6.3 realizado con la herramienta OpenQuake.

### **Diseño Propuesta**

- Planes de concientización.

Se propone generar conciencia en la comunidad a través de mecanismos informativos, como radio, televisión, redes sociales, prensa y capacitaciones acerca de los riesgos de la construcción informal, además del peligro del aumento de pisos de construcción y modificaciones a las viviendas misma sin el control adecuado de un profesional, ni los permisos correspondientes por parte de la municipalidad.

- Plan de gestión de riesgo

Creación de un plan de riesgos incorporando una base de datos actualizada, que garantice la supervivencia y seguridad de los ciudadanos de la parroquia, al presentarse una catástrofe natural, como un evento sísmico. Contando con información actualizada y en tiempo real, que permita monitorear y manejar, mitigando las consecuencias, y creando un plan inmediato de reconstrucción en caso de ser necesario. Es de vital importancia zonificar los sectores más afectados, identificando las zonas cero, ya que son zonas de acceso restringido, control o calamidad, buscando evitar la construcción en estos lugares.

- Reforzamiento estructural

Considerando que las zonas 1 y 2, son zonas de mayor densidad poblacional, se propone la aplicación de técnicas de reforzamiento estructural con el fin de cubrir las deficiencias existentes mediante la colocación de diagonales rigidizadores si fuese necesario, encamisando de elementos y técnicas para mejorar la capacidad del suelo.

- Costo de reposición acorde a las zonas y tipologías.

Debido a que las tipologías varían, en función de los materiales, se debe generar un costo de reposición unitario por m<sup>2</sup>, que permita a las autoridades de control generar un precedente y estimaciones económicas, acorde a los materiales, grado de importancia, nivel socio económico y calidad constructiva de cada una de las residencias estudiadas.

## Recomendaciones

- Considerando que los datos proporcionados por el municipio difieren de los datos observados con la herramienta de Street View de Google Maps, se recomienda realizar una validación de datos, con el fin de depurar y mejorar la información para la elaboración de los mapas. También se puede optar por generar fotografías actualizadas y un levantamiento de datos más detallado de las zonas de estudio en colaboración con otras instituciones.
- Es indispensable antes de realizar las encuestas, informar mediante un medio de comunicación a los propietarios o habitantes de las residencias a evaluar, acerca de los objetivos de la investigación, esto para evitar percances por desconfianza o desconocimiento y de esta manera agilizar el proceso con ayuda de los encuestados.
- En la simulación de eventos sísmicos de OpenQuake se toma la mayor variabilidad aplicando un nivel de truncamiento de 3 en las GMPEs con el fin de considerar todas las predicciones del movimiento del suelo, con ello se recomienda realizar un estudio detallado de la incidencia del uso de las diferentes GMPEs en los modelos de exposición.
- Para obtener un análisis de pérdidas más detallado, se recomienda un levantamiento en campo de una muestra mayor a la propuesta, además de la asignación específica del costo de metro cuadrado para cada predio.
- Las medidas de seguridad e identificación para el levantamiento presencial son de suma importancia por lo cual se recomienda que el equipo encargado cuente con: chaleco representativo de la institución, carné de identificación ubicado en algún lugar visible, protector solar, agua para hidratación y un medio de transporte para trasladarse a las zonas de estudio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R., & Rivas Medina, A. (2018). *Microzonificación Sísmica de Ambato*.  
Universidad Estatal de la Península de Santa Elena.
- Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, P. (2015).  
*Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook  
Third Edition*. [www.ATCouncil.org](http://www.ATCouncil.org)
- Baker, J. W. (2021). *SEISMIC HAZARD AND RISK ANALYSIS*. Cambridge University  
Press.
- Ballesteros, K., & Caizaguano, D. (2020). *Guía para la evaluación del grado de  
vulnerabilidad sísmica de unidades educativas localizadas en la parroquia de  
Sangolquí, basada en la guía FEMA P-1000. Estudio de caso*.
- Celi, C., Moyano, J. P., Moya, C. A., & Sosa, D. (2016). *Capacity Curves of Structural  
Typologies of Quito-Ecuador, Project GEM-SARA Seismic Assessment of the  
Heritage Structures of Quito-Ecuador, through Incremental Dynamic Analysis.  
View project Shear Walls View project*.  
<https://www.researchgate.net/publication/305654264>
- Chicaiza, M. (2017). *Modelo de exposición y mapa de vulnerabilidad del Distrito  
Metropolitano de Quito*.
- Cole, G. L., Dhakal, R. P., Carr, A. J., & Bull, D. K. (2010). *Building pounding state of the  
art: Identifying structures vulnerable to pounding damage*.
- Coronel-Delgado, G., Lopez, O. A., & Martinez, K. (2014). *Indicadores de vulnerabilidad  
y riesgo sísmico a partir de la información censal de Venezuela*.  
<https://www.researchgate.net/publication/336073630>

- Cortés, S. (2018). *ESTUDIO DEL PELIGRO SÍSMICO DETERMINISTA PARA LAS ESTRUCTURAS DEL BARRIO JARDÍN AMBATEÑO DE LA CIUDAD DE AMBATO*. Obtenido de Universidad Tecnica de Ambato.
- D'Ayala, D. (2013). Assessing the seismic vulnerability of masonry buildings. *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems*, 334–365. <https://doi.org/10.1533/9780857098986.3.334>
- De, M., & Urbano Y Vivienda, D. (2016). *GUÍA DE DISEÑO 5 Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*.
- GAD Municipalidad de Ambato. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. Ambato.
- GEM Foundation. (2021). *Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) Training Manual*. [https://doi.org/10.13117/OQ\\_HAZARD\\_TRAINING\\_MANUAL](https://doi.org/10.13117/OQ_HAZARD_TRAINING_MANUAL)
- Geofísico, I. (5 de Agosto de 2013). *igepn.edu.ec*. Obtenido de Terremoto del 5 agosto de 1949: <https://www.igepn.edu.ec/cayambe/805-terremoto-del-5-de-agosto-de-1949>
- Global Earthquake Model. (2020). *Proyecto TREQ Comunicación y Formación en la Evaluación de Riesgos por Terremotos (TREQ)*. <https://www.globalquakemodel.org/proj/treq-es>.
- Hernández, J. D., & Lockhart Castro, S. A. (2011, April). *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de hormigón armado existente*. XXXVI. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87019757004>
- Hernández-Sampieri, R. F.-C.-L. (2014). Metodología de la investigación. *Metodología de la investigación*, 170-176.

- Juan Camilo Olaya G., & Miguel G. Mora C. (2016). *Estado del arte de estudios de Evaluación Probabilista de Riesgo en Colombia*. UNGRD.
- López, O. A., Coronel, G., & Rojas, R. (2014). *ÍNDICES DE PRIORIZACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO SÍSMICO EN EDIFICACIONES EXISTENTE PRIORITIZATION INDICES FOR SEISMIC RISK MANAGEMENT IN EXISTING BUILDINGS* (Vol. 29).
- MAPS, G. E. (2018). *GLOBAL EARTHQUAKE MAPS* . Obtenido de <https://www.globalquakemodel.org/gem>
- Martinez, P. Q. (2016). ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO DE ECUADOR Y PROPUESTA DE ESPECTROS DE DISEÑO PARA LA CIUDAD DE CUENCA. *Revista Ingeniería Sísmica*, 1-26.
- Méndez Jaramillo, L. M. (2015). *EFFECTOS DE LOS TIPOS DE SUELO EN LA RESPUESTA HISTERÉTICA DE SISTEMAS DE UN GRADO DE LIBERTAD*.
- NEC-SE-DS. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente: Vol. NEC-SE-DS*. Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras*.
- Quito Informa. (2020, March 4). *Iniciativa internacional para la Evaluación del Riesgo Sísmico en Quito*.
- Scawthorn, C., Charleson, A., Allen, L., Greene, M., Jaiswal, K., & Silva, V. (2013). *GEM global earthquake model GEM Building Taxonomy Version 2.0 exposure modelling*.
- Silva, J. (2017). *GUÍA DE REFORZAMIENTO PARA ESTRUCTURAS*. Obtenido de *GUÍA DE REFORZAMIENTO PARA ESTRUCTURAS*.
- Velásquez, J., & Blondet, M. (n.d.). *Analysis of multidegree of freedom shaking tables View project 16ECEE Conference Project View project*. <https://www.researchgate.net/publication/237642191>

Zora Mejía, F. N., & Acevedo Jaramillo, A. B. (2019). Índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas del Área Metropolitana de Medellín, Colombia. *Revista EIA*, 16(32), 195–207. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1035>

**ANEXOS**