

Universidad Nacional
Federico Villareal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**“APLICACIÓN DEL MODELO GEOESPACIAL DE
VULNERABILIDAD SÍSMICA EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS
EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE
CHIQUIÁN – BOLOGNESI – 2016”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
DOCTOR EN TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y
GESTIÓN DEL TERRITORIO**

AUTOR:

TINOCO MEYHUAY TITO MONER

ASESOR:

DR. SANDOVAL RICCI ALDO JUAN

JURADO:

DR. SOLIS FONSECA JUSTO PASTOR

DR. MAYHUASCA GUERRA JORGE

DR. FLORES VIDAL HIGINIO EXEQUIEL

LIMA-PERÚ

2019

TÍTULO DE LA TESIS

“APLICACIÓN DEL MODELO GEOESPACIAL DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHIQUIÁN – BOLOGNESI – 2016”

DEDICATORIA

A mi esposa Edda Rubina, a mis hijos Luis, Lucero y Gustavo, por ser la fuente de inspiración y superación profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Municipalidad Provincial de Bolognesi, en nombre de su alcalde Ing. Aníbal Bazán Alvarado.

A los Bachilleres José Carrera, Clinton Guerrero y Nelson Villacorta por su apoyo en el levantamiento de información.

RESUMEN

El Perú está ubicado en una zona altamente sísmica, con antecedentes como el sismo del año de 1970, que afectó gravemente a las diferentes provincias de la costa y sierra de la región Ancash. La mayoría de estas poblaciones, como es el caso del distrito de Chiquián, aún no se han recuperado, con viviendas que permanecen en pie y que podrían colapsar en cualquier momento.

El objetivo del presente trabajo de investigación es el modelamiento geoespacial de la vulnerabilidad sísmica en función de la calidad de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián. La metodología planteada toma en cuenta la determinación del índice de vulnerabilidad sísmica, utilizando los sistemas de información geográfica, que permitió la automatización y creación de un modelo utilizando la herramienta *model builder* del ArcGIS.

Los resultados muestran que de un total de 1417 viviendas se encontraron que el 14.7% de las viviendas se encuentran en vulnerabilidad baja, el 21.2% en vulnerabilidad media, el 48.8% en vulnerabilidad alta y el 15.2% en vulnerabilidad muy alta. Además, teniendo en cuenta el índice de vulnerabilidad y una aceleración horizontal del terreno de 0.32g, se calcularon que 1209 viviendas (85.32%) sufrían el colapso total y 208 viviendas (14.68%) seguirían en pie con algún daño estructural.

Finalmente, el modelo de vulnerabilidad sísmica creado puede ser replicado en cualquier ámbito geográfico para la obtención del mapa de índice de vulnerabilidad sísmica y el mapa del índice de daños, que permita formular los planes de prevención.

Palabras claves: sismo, modelamiento, vulnerabilidad sísmica.

ABSTRACT

Peru is located in a highly seismic area, with background like the earthquake of 1970, which seriously affected the different provinces of coast and mountain range of the region of Ancash. The majority of these towns, as is the case of the district of Chiquian, haven't been recovered yet, with houses that remain standing and could collapse in any moment.

The objective of the present work is the geospatial modeling of the seismic vulnerability in function of the quality of the buildings of the urban area of the district of Chiquian. The proposed methodology considers the determination of the seismic vulnerability index, using the systems of geographic information, which allowed the automation and creation of a model using the *model builder* tool of ArcGIS.

The results show that of a amount of 1417 houses it was found that the 14.7% of the houses are in low vulnerability, the 21.2% in medium vulnerability, the 48.8% in high vulnerability and the 15.2% in very high vulnerability. Otherwise, considering the vulnerability index and a horizontal acceleration of 0.32g of the land, it was calculated that 1209 houses (85.32%) suffered the total collapse and 208 houses (14.68%) would remain standing with some structural damage.

Finally, the model of seismic vulnerability created can be replied in any geographic area for the purchasing of the map of seismic vulnerability index and the map of damage index, which allows the formulation of prevention plans.

Keywords: earthquake, modeling, seismic vulnerability.

RESUMO

Peru está localizado em uma zona altamente sísmica, com uma história como o terremoto de 1970, que afetou seriamente as diferentes províncias do litoral e terras altas da região de Ancash. A maioria dessas populações, como o distrito de Chiquian, ainda não se recuperou, com casas que permanecem em pé e que podem entrar em colapso a qualquer momento.

O objetivo deste trabalho de pesquisa é a modelagem geoespacial da vulnerabilidade sísmica de acordo com a qualidade dos edifícios da área urbana do distrito de Chiquián. A metodologia proposta leva em conta a determinação da vulnerabilidade sísmica utilizando sistemas de informação geográfica, possibilitando a automação e criar um modelo usando a ferramenta ArcGIS Model Builder.

Os resultados mostram que um total de 1417 famílias descobriram que 14,7% das casas são em baixo vulnerabilidade, 21,2% em vulnerabilidade média, 48,8% em altamente vulnerável e 15,2% em elevada vulnerabilidade. Além disso, tendo em conta o índice de vulnerabilidade e uma aceleração do solo horizontal de 0,32 g foi estimado que 1209 casas (85,32%) tiveram um colapso completo e 208 famílias (14,68%) que se seguem com algum dano estrutural.

Finalmente, o modelo vulnerabilidade sísmica criado pode ser replicado em qualquer área geográfica obter o mapa de dano índice de vulnerabilidade e índice de mapa sísmica, a fim de formular planos de prevenção.

Palavras-chave: terremoto, modelagem, vulnerabilidade sísmica.

INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación está motivado por la urgente necesidad de la prevención frente a los altos índices de muerte y pérdidas económicas por la ocurrencia de los sismos. Este fenómeno es uno de los peligros naturales que más aqueja a nuestro país, por estar ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico y en la confluencia de la placa de Nazca y la placa Sudamérica.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Chiquián, Provincia de Bolognesi- Región Ancash y según los antecedentes históricos corresponde a una zona de alta sismicidad, tal como establece el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016), Norma E-030, Mapa de Zonificación Sísmica (Zona 3) y que en el año de 1,970 fue totalmente destruida, con más de 75,000 muertes a lo largo del callejón de Huaylas; por lo que es latente el riesgo de ocurrencia de un evento sísmico igual o superior. Por otro lado, el crecimiento descontrolado y sin planificación de la zona urbana del distrito de Chiquián, sin criterios antisísmicos, falta de control en las construcciones nuevas, mantenimiento deficiente de las construcciones existentes, presencia de viviendas de adobe con más de 30 años de antigüedad, conllevan a que la vulnerabilidad física sea elevada. Así mismo, la mayoría de las viviendas y la infraestructura de servicio social fueron construidas sin tener en cuenta las normas de diseños antisísmicos y utilizando materiales de la zona, sin la participación de personal profesional y generalmente contratando mano de obra no calificada.

En el presente trabajo se utilizó la metodología del índice de vulnerabilidad sísmica planteado por Chavarría y Gómez (2001), cuyo modelo geoespacial fue creado con la herramienta *model builder* del ArcGIS, que permitió el análisis de 1417 viviendas de la zona urbana del distrito de Chiquián. Así mismo, se generaron once mapas temáticos que

corresponden a cada parámetro evaluado y mediante la aplicación del modelo geoespacial de vulnerabilidad sísmica se obtuvo el mapa final del índice de vulnerabilidad sísmica de la zona urbana Chiquián.

Teniendo en cuenta que el área de estudio se encuentra en una zona eminentemente sísmica y que hasta la actualidad no se ha registrado eventos sísmicos de gran magnitud, el presente trabajo contribuirá a la prevención, en función del índice de vulnerabilidad sísmica, el índice de daños y las pérdidas económicas, que servirán como instrumentos de gestión al gobierno local del distrito de Chiquián y la población en general.

INDICE

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
RESUMO.....	vii
INTRODUCCION.....	viii
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes del problema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Problema Principal.....	4
1.2.2 Problemas Secundarios.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	5
1.3.1 Objetivo Principal.....	5
1.3.2 Objetivos Secundarios.....	5
1.4 Justificación.....	5
1.4.1 Teórica.....	5
1.4.2 Práctica.....	6
1.4.3 Metodológica.....	6

1.4.4	Social	6
1.5	Importancia	6
1.6	Límites de la Investigación	7
CAPITULO II.....		8
MARCO TEORICO		8
2.1	Antecedentes de la investigación	8
2.2	Planteamiento teórico.....	10
2.2.1	Análisis espacial	10
2.2.2	Modelo de datos espaciales	11
2.2.3	Información geoespacial y la gestión del riesgo.....	12
2.2.4	Generación de modelos en ArcGIS: <i>Model builder</i>	12
2.2.5	Sismo	13
2.2.6	Vulnerabilidad	14
2.2.7	Vulnerabilidad Sísmica	15
2.2.8	Edificaciones por su comportamiento Sísmico	15
2.2.9	Aspectos que afectan la vulnerabilidad sísmica	16
2.2.10	Método de Índice de Vulnerabilidad (Iv)	17
2.2.11	Adaptación del método de Índice de Vulnerabilidad	17
2.2.12	Evaluación de Parámetros	18
2.2.13	Cálculo del índice de daños (Id).....	19

2.3	Marco conceptual	20
2.3.1	Conceptos relacionados al Problema	20
2.3.2	Marco legal:	21
2.4	Hipótesis.....	21
2.4.1	Hipótesis General:	21
2.4.2	Hipótesis Específicos:	21
CAPITULO III		23
METODO		23
3.1	Tipo de investigación	23
3.2	Diseño de la investigación	23
3.3	Variables	23
3.3.1	Variable Independiente.....	23
3.3.2	Variable dependiente	24
3.4	Población.....	24
3.5	Muestra.....	24
3.6	Técnicas de investigación	24
3.6.1	Instrumentos y/o fuentes de recolección de datos	24
3.6.2	Validación de los instrumentos por juicio de expertos.....	25
3.6.3	Creación del modelo de vulnerabilidad sísmica.....	25
3.6.4	Técnicas de procesamiento de datos.....	25

3.6.5	Técnicas de análisis e interpretación de la información	28
3.6.6	Operacionalización de las variables	28
CAPITULO IV		29
PRESENTACION DE RESULTADOS		29
4.1	Diagnóstico preliminar del distrito de Chiquián	29
4.1.1	Ubicación Geográfica	29
4.1.2	Ubicación Política	29
4.1.3	Breve Reseña Histórica	30
4.1.4	Altitud.....	31
4.1.5	Extensión	31
4.1.6	Límites	31
4.1.7	Población	31
4.1.8	Vías de Comunicación.....	32
4.1.9	Servicios Básicos	32
4.1.10	Clima	33
4.1.11	Suelo	34
4.1.12	Relieve	34
4.1.13	Hidrografía.....	34
4.1.14	Pendiente	35
4.1.15	Geomorfología.....	35

4.2	Cartografía de la zona urbana del distrito de Chiquián.....	35
4.3	Muestreo de suelos e interpretación.....	36
4.4	Aplicación del formulario de vulnerabilidad	39
4.5	Evaluación de parámetros y creación de mapas temáticos	40
4.5.1	Parámetro 1: Organización de la estructura.....	40
4.5.2	Parámetro 2: Calidad de la estructura.....	43
4.5.3	Parámetro 3: Densidad de muros.....	45
4.5.4	Parámetro 4: Pendiente y cimentación	48
4.5.5	Parámetro 5: Diafragmas Horizontales.....	50
4.5.6	Parámetro 6: Simetría en Planta	53
4.5.7	Parámetro 7: Simetría en elevación	55
4.5.8	Parámetro 8: Separación entre muros	58
4.5.9	Parámetro 9: Tipo de Cubierta	60
4.5.10	Parámetro 10: Componentes no estructurales	62
4.5.11	Parámetro 11: Antigüedad y conservación.....	65
4.6	Modelo de vulnerabilidad sísmica	67
4.7	Determinación del índice de vulnerabilidad (Iv)	68
4.8	Índice de daños y pérdidas económicas	71
4.8.1	Índices de daños (Id).....	71
4.8.2	Cálculo de las pérdidas económicas	73

CAPITULO V	74
DISCUSIÓN.....	74
5.1 Parámetros de vulnerabilidad sísmica.....	74
5.2 Modelo de vulnerabilidad sísmica	77
5.3 Índice de vulnerabilidad sísmica.....	78
5.4 Índice de daños y pérdidas económicas	83
CAPITULO VI	84
CONCLUSIONES.....	84
CAPITULO VII.....	85
RECOMENDACIONES	85
CAPITULO VIII	86
REFERENCIAS	86
CAPITULO IX.....	92
ANEXOS	92
Anexo 1: Escala de vulnerabilidad de Benedetti – Petrini	92
Anexo 2: Comparación entre el RNE y el método del Iv	93
Anexo 3: Evaluación de parámetros para el cálculo del Iv	94
Anexo 4: Formulario de vulnerabilidad	103
Anexo 5: Resultados de análisis de suelos	104
Anexo 6: Ecuaciones del Id para diferentes Iv	113

Anexo 7. Mapas temáticos	114
Mapa 1. Ubicación	114
Mapa 2. Cartografía de la zona urbana del distrito de Chiquián.....	115
Mapa 3. Pendientes	116
Mapa 4. Capacidad portante de suelos zona urbana de Chiquián.....	117
Mapa 5. Parámetro 1: Organización de la estructura	118
Mapa 6. Parámetro 2: Calidad de la estructura	119
Mapa 7. Parámetro 3: Densidad de muros	120
Mapa 8. Parámetro 4: Pendiente y cimentación.....	121
Mapa 9. Parámetro 5: Diafragmas horizontales.....	122
Mapa 10. Parámetro 6: Simetría en planta.....	123
Mapa 11. Parámetro 7: Simetría en elevación	124
Mapa 12. Parámetro 8: Separación entre muros	125
Mapa 13. Parámetro 9: Tipo de cubierta.....	126
Mapa 14. Parámetro 10: Componentes no estructurales.....	127
Mapa 15. Parámetro 11: Antigüedad y conservación	128
Mapa 16. Índice de vulnerabilidad.....	129
Mapa 17. Índice de daños.....	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.Operacionalización de variables.....	28
Tabla 2. Puntos de muestreo en la zona urbana de Chiquián	37
Tabla 3. Evaluación del parámetro 1	41
Tabla 4. Evaluación del parámetro 2	43
Tabla 5. Evaluación del parámetro 3	46
Tabla 6. Evaluación del parámetro 4	48
Tabla 7. Evaluación del parámetro 5	51
Tabla 8. Evaluación del parámetro 6	53
Tabla 9. Evaluación del parámetro 7	56
Tabla 10. Evaluación del parámetro 8	58
Tabla 11. Evaluación del parámetro 9	60
Tabla 12. Evaluación del parámetro 10.....	63
Tabla 13. Evaluación del parámetro 11	65
Tabla 14. Número de viviendas por parámetro y clases.....	70
Tabla 15. Índice de Vulnerabilidad	70
Tabla 16. Índice de daños	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Generación de un modelo en model builder	13
Figura 2. Flujograma para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica.....	27
Figura 3. Ubicación del área de estudio	30
Figura 4: Zona urbana de Chiquián	36
Figura 5. Parámetro 1	41
Figura 6. Parámetro 2	44
Figura 7. Parámetro 3	46
Figura 8. Parámetro 4	49
Figura 9. Parámetro 5	51
Figura 10. Parámetro 6	54
Figura 11. Parámetro 7	56
Figura 12. Parámetro 8	59
Figura 13. Parámetro 9	61
Figura 14. Parámetro 10	63
Figura 15. Parámetro 11	66
Figura 16. Modelo de vulnerabilidad sísmica en model builder	69
Figura 17. Índice de vulnerabilidad.....	71
Figura 18. Índice de daños.....	72

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Levantamiento de información (ficha de vulnerabilidad).....	39
Fotografía 2. Medición de las viviendas en la zona urbana de Chiquián	40
Fotografía 3. Vivienda de adobe que no presenta vigas y columnas.....	42
Fotografía 4. Vivienda de material noble con vigas y columnas de amarre.....	42
Fotografía 5. Mampostería de ladrillo de buena calidad	44
Fotografía 6. Vivienda de adobe construido en forma artesanal	45
Fotografía 7. Vivienda de material noble con planos de construcción.....	47
Fotografía 8. Vivienda de adobe sin planos de construcción	47
Fotografía 9. Institución educativa construido en un terreno inclinado	49
Fotografía 10. Plaza de armas y municipalidad construida en terreno plano	50
Fotografía 11. Vivienda de material noble con diafragmas rígidos y horizontales	52
Fotografía 12. Viviendas de adobe con diafragmas deformados.....	52
Fotografía 13. Viviendas con forma regular en planta	54
Fotografía 14. Viviendas con forma irregular en planta.....	55
Fotografía 15. Iglesia católica de Chiquián	57
Fotografía 16. Coliseo multideportivo de Chiquián	57
Fotografía 17. Vivienda sin muros maestros definidos	59
Fotografía 18. Viviendas de material noble con una cubierta adecuada	61
Fotografía 19. Viviendas de adobe con cubierta inadecuada	62
Fotografía 20. Viviendas de material noble con balcones estructurales.....	64
Fotografía 21 Viviendas de adobe con balcones no estructurales	64
Fotografía 22. Vivienda de material noble en buen estado de conservación	66
Fotografía 23. Vivienda de adobe en buen estado de conservación.....	67

Fotografía 24. Vivienda de dos pisos de adobe en mal estado de conservación	80
Fotografía 25. Vivienda de adobe de un piso en mal estado de conservación	80
Fotografía 26. Vivienda de adobe en mal estado de conservación (inhabitable)	81
Fotografía 27. Vivienda de adobe, obsérvese el agrietamiento en los muros	81
Fotografía 28. Vivienda de adobe sin columnas y vigas en el primer piso	82
Fotografía 29. Vivienda de adobe soportando al segundo nivel de material noble.....	82

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del problema

El sismo es uno de los peligros naturales más destructores que afecta a varias regiones del Perú, debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico cuya longitud es de 40,000 Km, es el lugar donde se producen más del 90% de todos los sismos y más del 75% de los volcanes activos e inactivos del mundo. Así mismo, la presencia de las placas Sudamérica y Nazca, producen una intensa actividad sísmica, ocasionado por las tensiones, compresiones y rozamiento de las placas.

La carencia de instrumentos de gestión territorial y municipal ha traído consigo la ubicación de los asentamientos humanos en zonas de alto peligro, sin tener en cuenta en la mayoría de los casos el tipo de suelo, cuyas edificaciones se han construido sin dirección técnica adecuada, utilizando materiales de construcción deficientes, sin tener en cuenta las normativas correspondientes que influyen directamente en el riesgo sísmico.

En la actualidad existen diversas metodologías e investigaciones para la evaluación del riesgo ocasionado por los sismos, que permiten determinar áreas altamente vulnerables y zonas seguras. Por otro lado, la evaluación de las características estructurales y no estructurales de las edificaciones permite determinar el índice de vulnerabilidad sísmica y la elaboración de los mapas correspondientes.

El 31 de mayo de 1970, a las 15:23 horas se produjo un sismo de magnitud de 7.8° en la escala de Richter, que afectó la costa y sierra de la región Ancash, desapareciendo por completo la ciudad de Huaraz y varios pueblos del callejón de Huaylas en un área

aproximada de 50, 000 Km², con más de 67,000 muertos y cuantiosos daños materiales. Así mismo, el terremoto provocó el desprendimiento de un bloque de hielo del nevado Huascarán, que produjo un gigantesco aluvión que sepultó la ciudad de Yungay por completo. Las construcciones de tierra, tapial y adobe, que aún persisten en muchos pueblos de la región Ancash, como es el caso de la ciudad de Chiquián son muy vulnerables. El riesgo para sus ocupantes se incrementa debido a las malas características del suelo, como ocurrió en el sismo de 1970, cerca de 40,000 personas perecieron bajo los escombros de sus propias viviendas de adobe o tapial (Kuroiwa, 2002).

Fidel, Zavala, Núñez y Valenzuela (2006), en el estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N°4, toma los estudios de Alva y Castillo (1993) para elaborar el mapa de zonificación sísmica e identificar las siguientes zonas: Alta, que se localiza desde la línea de costa hasta el margen occidental de la Cordillera de los Andes, donde se ubican las siguientes ciudades y centros poblados: Callao, Chosica, Ancón, Chancay, Pativilca, Barranca, Supe, Huaura, Huacho, Sayán, Huaraz, Huarmey, Queropalca, Andamarca, Oyón, Chiquián, Ocros y Cajatambo. Finalmente se tienen las otras zonas como moderadamente alta y baja.

Según Alvarado (2009), el terremoto del año de 1970 afectó el distrito de Chiquián, destruyendo en su totalidad las viviendas de adobe que se construyeron en la zona urbana, motivo por el cual muchas familias emigraron hacia el Callejón de Huaylas, Paramonga, Barranca, Huacho y Lima.

En el año 2012, la Municipalidad Provincial de Bolognesi (2012), realizó un estudio de análisis de peligro y vulnerabilidad de un sector crítico de riesgo de desastres en la zona urbana del distrito de Chiquián, identificando el sector crítico denominado

Barrio 28 de Julio, identificando al sismo como uno de los peligros de probable ocurrencia con una magnitud y nivel Muy Alta. Por otro lado, se realiza una evaluación de las viviendas, encontrándose éstas en una vulnerabilidad Muy Alta.

Así mismo, el año 2013, la Municipalidad Provincial de Bolognesi (2013), elaboró un estudio de evaluación de riesgo de desastre de un sector crítico en la zona urbana del distrito de Chiquián, encontrándose que la mayor parte de la población se encuentra en riesgo Muy Alto. Se propone algunas medidas de intervención como: fortalecimiento de capacidades a las autoridades del distrito de Chiquián, protección del muro este del estadio Municipal de Chiquián y capacitación en construcción de viviendas de adobe antisísmicas.

1.2 Planteamiento del problema

El distrito de Chiquián se encuentra ubicado en la Provincia de Bolognesi, Región Ancash, siendo la entrada principal al hermoso nevado de Yerupajá y la Cordillera Huayhuash. Según los antecedentes históricos corresponde a una zona de alta sismicidad, tal como lo establece el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016), en la Norma E-030, del Reglamento Nacional de Edificaciones, modificada mediante Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA, donde se muestra el Mapa de Zonas Sísmicas del Perú, ubicándose el distrito de Chiquián en la Zona 3, con un valor del factor Z de 0.35, que muestra la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. Estas características y el antecedente del sismo de 1970, hacen latente el riesgo de ocurrencia de un evento similar o superior.

Por otro lado, el crecimiento descontrolado y no planificado de la zona urbana del distrito de Chiquián, que se evidencia en la carencia de criterios antisísmicos en los diseños de viviendas, falta de control en las construcciones nuevas, mantenimiento deficiente en las construcciones existentes, entre otras, hacen que la vulnerabilidad física sea elevada. Así mismo, la mayoría de las viviendas y la infraestructura de servicio social fueron construidas sin tener en cuenta las normas de diseños antisísmicos y utilizando materiales de la zona, sin la participación de personal profesional y generalmente contratando mano de obra no calificada, exponiendo a la población al peligro sísmico.

1.2.1 Problema Principal

¿En qué medida la utilización del modelo de vulnerabilidad sísmica en función de la calidad de las edificaciones de la zona urbana del Distrito de Chiquián permitirá optimizar la determinación de la vulnerabilidad sísmica?

1.2.2 Problemas Secundarios

1.2.2.1 ¿Cómo influye las características estructurales de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián en la vulnerabilidad sísmica?

1.2.2.2 ¿Cómo influye las características no estructurales de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián en la vulnerabilidad sísmica?

1.2.2.3 ¿En qué medida la herramienta model builder del ArcGIS permitirá la construcción del modelo de vulnerabilidad sísmica para la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica en la zona urbana del distrito de Chiquián?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo Principal

Aplicar el modelo geoespacial de vulnerabilidad sísmica en función de la calidad de las edificaciones para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica en la zona urbana del distrito de Chiquián-Bolognesi utilizando el sistema de información geográfica.

1.3.2 Objetivos Secundarios

1.3.2.1 Determinar las características estructurales de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián para calcular el índice de vulnerabilidad sísmica.

1.3.2.2 Determinar las características no estructurales de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián para calcular el índice de vulnerabilidad sísmica.

1.3.2.3 Construir el modelo de vulnerabilidad sísmica utilizando el model builder del ArcGIS para la zonificación del grado de vulnerabilidad sísmica en el área urbana del distrito de Chiquián.

1.4 Justificación

1.4.1 Teórica

Esta investigación se realizó con el propósito de generar un modelo para la determinación de la vulnerabilidad sísmica en función de la calidad de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián.

1.4.2 Práctica

Esta investigación permitirá determinar los índices de vulnerabilidad sísmica en la zona urbana del distrito de Chiquián para la zonificación del grado de vulnerabilidad sísmica y la estimación de las pérdidas para el planteamiento de las medidas de prevención.

1.4.3 Metodológica

El presente trabajo se realizó en la zona urbana del Distrito de Chiquián, teniendo como objeto de estudio o análisis las edificaciones existentes que permitió determinar la vulnerabilidad sísmica, empleando el método del Índice de Vulnerabilidad de Benedetti y V. Petri, los cuales fueron plasmados en mapas temáticos para la identificación geoespacial de los diferentes grados de vulnerabilidad utilizando el sistema de información geográfica.

1.4.4 Social

Debido a que el área de estudio se encuentra en una zona eminentemente sísmica y que hasta la actualidad no se ha registrado eventos sísmicos de gran magnitud, el presente trabajo permitió establecer los niveles de vulnerabilidad sísmica en la zona urbana del distrito de Chiquián, así mismo calcular el índice de daños y la cuantificación de las pérdidas económicas utilizando el sistema de información geográfica.

1.5 Importancia

La evaluación geoespacial de la vulnerabilidad sísmica en función de la calidad estructural y no estructural de las edificaciones de la zona urbana del distrito de

Chiquián – Huaraz, permitió el análisis de las viviendas frente a la ocurrencia de un evento sísmico aplicando la metodología establecida y teniendo en cuenta las normas peruanas como el E-030 Diseño Sismo resistente.

El presente trabajo contribuirá a establecer las medidas de prevención frente a la ocurrencia de un evento sísmico, teniendo en cuenta los índices de vulnerabilidad sísmica los cuales se constituirán en instrumentos de gestión del Gobierno Local de Chiquián y la población en general.

1.6 Límites de la Investigación

De acuerdo a la metodología planteada en la presente investigación se ha considerado como unidad de análisis para la aplicación del formulario de vulnerabilidad, todas las viviendas e infraestructura ubicada en la zona urbana del distrito de Chiquián, por lo que el trabajo de campo fue muy intenso y arduo.

La Municipalidad Provincial de Bolognesi carece de información cartográfica actualizada, por lo que fue necesario el levantamiento de información de campo para la actualización correspondiente. Así mismo, la oficina encargada de otorgar las licencias de construcción no está adecuadamente implementada y no cuenta con los planos de las viviendas a nivel de construcción, por lo que se hicieron mediciones en campo para la actualización correspondiente.

Durante el levantamiento de información y aplicación del formulario de vulnerabilidad en la zona urbana del distrito de Chiquián se observó cierta indiferencia de algunos pobladores en cuanto al cuestionario para el llenado del formulario de vulnerabilidad, por lo que se retrasaron los trabajos de acuerdo a la programación realizada.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Chavarría y Gómez (2001), adaptaron el Método Italiano del Índice de vulnerabilidad, desarrollado por D. Benedetti y V. Petrini, para la cuantificación del índice de vulnerabilidad, el índice de daños y las posibles pérdidas económicas directas para 3 sismos específicos en un barrio piloto de la ciudad de Cali, con 300 viviendas de 1 y 2 pisos, demostrando que el método planteado se adecua para calcular los diferentes parámetros de la vulnerabilidad sísmica.

La metodología del índice de vulnerabilidad sísmica ha sido aplicada en diferentes lugares del mundo, tal es el caso del trabajo de investigación presentado por Caballero (2007), aplicado en la ciudad de Sincelejo - Colombia, cuyos resultados muestran que un gran número de viviendas presentan problemas en el diseño arquitectónico y estructural, en el procedimiento constructivo, antigüedad de las estructuras y la carencia de normas constructivas. Por otro lado, un gran número de edificaciones con una antigüedad menor a 10 años presentan problemas tanto en el diseño como en la construcción, siendo altamente vulnerables.

Garcés (2017) en su estudio de vulnerabilidad sísmica en viviendas de uno y dos pisos de mampostería confinada en el barrio San Judas Tadeo II en la ciudad de Santiago de Cali, aplicó el método del ATC-21 para analizar la parte exterior de las viviendas, sus condiciones estructurales y no estructurales, estableciendo el nivel de vulnerabilidad sísmica como: vulnerabilidad mínima, significativa, alta y muy alta. Los resultados muestran la carencia de vigas o cintas de amarre en cubiertas, falta de continuidad en los

elementos estructurales y falencia en el confinamiento de los muros. Es necesario implementar las buenas prácticas constructivas, que repercute directa o indirectamente en el comportamiento sísmico de una vivienda.

Olarte (2002), en el estudio evaluación de la vulnerabilidad sísmica de áreas urbano marginales, en las jurisdicciones de San Juan de Lurigancho, Ate-Vitarte, Centros Educativos de Chorrillos-Barranco, Ventanilla, Rímac, Cercado de Lima-Mesa Redonda, aplicó el método italiano del Índice de vulnerabilidad sísmica; concluyendo que el mencionado método se adapta al estudio de las viviendas en grandes urbes, siendo necesario disponer de datos mínimos para determinar la característica sismo resistente.

Reque y Ríos (2003), utilizaron dos metodologías para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones: el método que permite determinar los tipos de comportamiento según el grado esperado y el método del índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, empleando en ambos casos el sistema de información geográfica. El estudio nos muestra que, la densidad poblacional y la necesidad de viviendas son directamente proporcionales, es decir, ambos se incrementan, generando prácticas constructivas inadecuadas.

Castro (2011), en el Diagnóstico de la Construcción en Ayacucho, realizó un estudio piloto de vulnerabilidad de viviendas en Ayacucho por sectores, aplicando el Método del Índice de Vulnerabilidad para la determinación de la vulnerabilidad sísmica, para lo cual tuvo que adecuar a las normas peruanas de construcción; llegando a la conclusión que la mayor parte del distrito de Ayacucho y que incluye las áreas de expansión urbanística en la Pampa Mollepata y Aeropuerto antiguo se encuentran en una Zona de Peligro Medio - Bajo y Bajo.

De la Cruz (2011) realizó un estudio de peligro sísmico probabilístico y espectro uniforme en la región Ancash, siendo la investigación de tipo histórico y descriptivo que compara resultados obtenidos en otros trabajos anteriores. Concluye que la región Ancash es una zona de alta sismicidad y riesgo alto, debido a sus construcciones muy precarias en la mayor parte de las provincias, por eso es importante la estimación de la carga sísmica para las diferentes estructuras proyectadas.

Marín (2012), realizó una investigación acerca del riesgo sísmico aplicando el método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini y el sistema de información geográfica. El estudio comprendió el análisis de 3266 edificaciones del centro histórico de la ciudad de Huánuco, siendo las variables de estudio el estado actual de la construcción, diseño estructural y el año de construcción. Los resultados muestran que, la mayoría de las construcciones presentan una exposición baja a media. Finalmente se determinó las pérdidas directas en función del índice de daños y el costo de la edificación.

2.2 Planteamiento teórico

2.2.1 Análisis espacial

Bernabé y López (2012), manifiestan que el análisis espacial de la información geográfica es la aplicación y generación de modelos, métodos y herramientas para descubrir relaciones y patrones que permitan explicar el comportamiento de los fenómenos geográficos en función a sus atributos.

El análisis espacial con sistemas de información geográfica (SIG) permite el diagnóstico de una realidad geográfica para el planteamiento de propuestas de solución para la planificación territorial (Buzai y Baxendale, 2010).

Fuenzalida y Cobs (2013) mencionan que el futuro del análisis espacial en SIG permitirá un mayor incremento de herramientas, métodos y funcionalidades de análisis espacial para una adecuada toma de decisiones que conlleven a la solución de problemas en la planificación locacional.

2.2.2 Modelo de datos espaciales

Según Bernabé y López (2012) un modelo de datos es el conjunto de información que define una representación simplificada de la realidad, describe sus relaciones, caracteriza la información, y establece sus restricciones. Así mismo, los datos espaciales pueden modelarse a través de tres tipos de representación. El vectorial, a través de puntos, líneas y polígonos. El raster, a través de pequeñas unidades, mallas o grillas. El alfanumérico, que describe atributos no geográficos de las entidades geográficas.

Portuguez (2010) menciona que en SIG existen dos estructuras de datos: el formato vector, que describe los objetos geográficos a través de vectores, líneas o puntos definidos por sus coordenadas. Por otro lado, el formato raster, que considera celdillas denominadas píxeles cuyas relaciones de vecindad permiten el análisis conjunto de una determinada área.

Los datos espaciales enlazan información alfanumérica con una localización específica. La información alfanumérica se muestra en la pantalla del ordenador acorde a la localización de los objetos. El modelo de datos es un conjunto construido para la descripción y representación del aspecto de los objetos del mundo real en el ordenador.

Los modelos de datos básicos de un SIG son el Modelo Vectorial y el Modelo Raster. La información espacial se muestra en un SIG utilizando capas que contienen esta información. Cada capa se puede basar tanto en un modelo de datos vectorial como raster.

2.2.3 Información geoespacial y la gestión del riesgo

Quaas, Gurza y Zepeda (2009), indican que la utilización de las nuevas tecnologías asociadas a la integración de información geoespacial cobra una gran importancia para evaluar y disminuir la condición de riesgo. Definitivamente no se puede pensar en una efectiva gestión del riesgo sin utilizar las herramientas y bases de información hoy a nuestro alcance.

Flores (2016), en su trabajo modelamiento geoespacial para la determinación del grado de vulnerabilidad, distrito de Leimebamba-Amazonas, manifiesta que el análisis espacial resulta útil para evaluar, calcular, predecir, interpretar y tomar decisiones de los fenómenos en estudio y específicamente para el cálculo de la vulnerabilidad.

La información y el análisis geoespacial son imprescindibles para la identificación de los peligros, la caracterización de la vulnerabilidad y la determinación del riesgo, a través de la elaboración y análisis de los diferentes mapas temáticos.

2.2.4 Generación de modelos en ArcGIS: *Model builder*

El *model builder* es una aplicación que se emplea para crear, editar y administrar modelos. Estos modelos son flujos de trabajo que están constituidos por herramientas de geoprocésamiento con entrada y salida de datos. Por otro

lado, el *model builder* puede ser considerado como un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo (Environmental Systems Research Institute [ESRI], 2016).

Así mismo, la implementación del *model builder* en ArcGIS ofrece una amplia funcionalidad a través de la caja de herramientas, donde se tiene una gran cantidad de operaciones de geoprocésamiento espacial para ser integradas en la modelación gráfica (Asociación Internacional UNIGIS [UIA], 2016).

Por tanto, el *model builder* es un lenguaje de programación visual que permite crear un programa sin la necesidad de escribir códigos. El programa se crea mediante la adición de elementos de datos y herramientas para el modelo y su conexión para formar un flujo de trabajo, tal como se muestra en la siguiente figura:

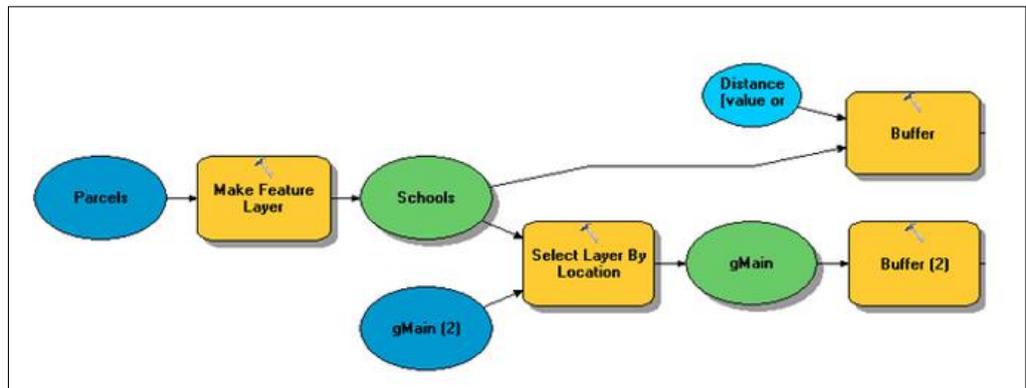


Figura 1: Generación de un modelo en model builder

Fuente: ESRI (2016)

2.2.5 Sismo

Alcahuamán (2013), conceptualiza al sismo como la emanación repentina de energía mecánica debido al desplazamiento de inmensas cantidades de rocas

en las profundidades de la tierra, es decir, entre su corteza y manto superior y, se propaga en forma de vibraciones, a través de las diferentes capas terrestres, incluyendo los núcleos externos o internos de la Tierra. Los sismos por su intensidad se clasifican en: baja intensidad (temblores que no causan daño: con intensidad entre los grados III, IV y V grados de la escala Mercalli Modificada), de Moderada y Alta intensidad (terremotos: con intensidad entre los grados VI y VII de la escala Mercalli Modificada).

Kuroiwa (2002), manifiesta que la predicción sísmica, es decir indicar cuándo, dónde y de qué magnitud se producirá un futuro evento sísmico es un problema sumamente complejo. Por tanto, el método más efectivo para mitigar los efectos destructivos de los terremotos es considerar que en las regiones sísmicas en cualquier momento ocurrirá un evento sísmico y debemos estar preparados, seleccionado lugares adecuados, construyendo edificaciones seguras, entre otros.

2.2.6 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político institucional, entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales. Se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100 (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2006).

Así mismo, la vulnerabilidad es la susceptibilidad de una unidad productora de bienes, servicios públicos y los usuarios de sufrir daños por la ocurrencia de un peligro. Está relacionado con la capacidad de resistir a un peligro específico (fragilidad) y la recuperación de la prestación de servicios (resiliencia) (Ministerio de Economía y Finanzas [MEF], 2013).

2.2.7 Vulnerabilidad Sísmica

Según, la ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS) (2001), manifiesta que la vulnerabilidad sísmica es la exposición de las edificaciones a la materialización de un peligro sísmico, cuyas consecuencias dañarían la estructura de las viviendas. Por otro lado, la vulnerabilidad sísmica está en función de la disposición de los componentes estructurales y los procedimientos de construcción.

Así mismo, Kuroiwa (2002) menciona que la vulnerabilidad sísmica de los diferentes tipos de edificaciones, es decir su resistencia sísmica en sí, de acuerdo a sus propias características, podrá ser reducida de acuerdo al grado de daños que han sufrido los numerosos edificios que han sido analizados, en función del peligro sísmico, definido por los diferentes grados de intensidad.

2.2.8 Edificaciones por su comportamiento Sísmico

Según Kuroiwa (2002), las edificaciones debido a su comportamiento sísmico se clasifican en cuatro tipos:

- Edificaciones de adobe o tapial, es el más común en los países de Latinoamérica y el más vulnerable en caso de sismos siendo el responsable de la mayoría de muertes causadas por terremotos.

- Edificaciones de madera y caña, son construcciones flexibles y de poco peso, por lo que el efecto sísmico es menor.
- Edificaciones con muros de albañilería y techos rígidos, son edificaciones con muros de ladrillo cocido o bloques de concreto, unidos con mortero de arena y cemento, con techos aligerados que actúan como diafragmas y distribuyen la fuerza sísmica de manera proporcional a los muros.
- Edificaciones de concreto reforzado, si las edificaciones han sido adecuadamente diseñadas utilizando criterios antisísmicos, estas edificaciones serían las más seguras frente a un evento sísmico.

2.2.9 Aspectos que afectan la vulnerabilidad sísmica

Según Farfán y Díaz (2009) la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones está en función a ciertas características que deben tenerse en cuenta al momento de su evaluación:

- Geometría: Anomalía en planta de la vivienda, número de muros en dos sentidos, anomalía en la altura, características constructivas, calidad de los morteros, calidad del adobe y ciertas particularidades de los materiales.
- Estructura: Muros reforzados, particularidades de columnas y vigas, detalles de aberturas, forma del entrepiso y amarre de cubiertas.
- Suelos: Blandos, intermedio y duros
- Entorno: Topografía.

2.2.10 Método de Índice de Vulnerabilidad (Iv)

Marín (2012) manifiesta que para determinar el índice de vulnerabilidad para construcciones de adobe y de albañilería se debe ponderar los valores numéricos de cada uno de los parámetros que considera el método de Benedetti – Petrini, los cuales son importantes en el comportamiento sísmico de las edificaciones. Cada parámetro está dividido en cuatro clases A, B, C, D, los cuales tienen que ser diferenciados en el momento del levantamiento de información de campo. Además, a cada clase se le asigna un valor de numérico (Ki) cuyo valor varía entre 0 y 45. Por otro lado, cada parámetro es ponderado por un coeficiente (Wi) que varía entre 0.25 y 1.5, el cual, resalta la jerarquía de cada parámetro, tal como se observa en el Anexo 1.

Matemáticamente el índice de vulnerabilidad (Iv) puede ser definido por la siguiente ecuación:

$$Iv = \sum_{i=1}^{11} Ki \cdot Wi \quad (1)$$

El rango de variación del índice de vulnerabilidad (Iv), planteado por Benedetti – Petrini, toma valores desde 0 hasta 382.5.

2.2.11 Adaptación del método de Índice de Vulnerabilidad

Marín (2012) realizó una comparación entre el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y los once parámetros del índice de vulnerabilidad, que se muestran en el Anexo 2. Del análisis se desprende que la evaluación de los parámetros cumple con las exigencias del Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.2.12 Evaluación de Parámetros

Según Navia y Barrera (2007), se debe evaluar los once parámetros (Ver Anexo 3), que permitan el cálculo del índice de vulnerabilidad sísmica de una edificación.

En el parámetro 1 se valora la organización del sistema resistente, es decir la presencia de vigas y columnas en una edificación.

En el parámetro 2 se evalúa la calidad de los ladrillos que conforman los muros, su disposición en el momento de la construcción y la calidad del mortero para la unión de las piezas de ladrillo.

El parámetro 3 permite determinar la resistencia de los muros frente a la influencia de fuerza externas como es el caso de los sismos. Para su cálculo se requiere de información técnica como los planos de construcción de las viviendas.

En el parámetro 4 se tiene en cuenta el tipo de suelo de fundación, el cual se obtiene mediante un análisis en laboratorio y la generación del mapa correspondiente, así mismo se debe tener en cuenta la pendiente del terreno donde se construye la edificación.

En el parámetro 5 se evalúa la calidad de los diafragmas y su comportamiento con las estructuras resistentes de una edificación, como columnas, vigas, muros, etc.

El parámetro 6 evalúa la distribución en planta de la edificación, para lo cual se debe tener en cuenta que las configuraciones simétricas son las que tienen mejor comportamiento frente a un evento sísmico.

En el parámetro 7 se evalúa la presencia de detalles constructivos en las edificaciones salientes, adornos, torretas etc., que contribuyen a la vulnerabilidad de las edificaciones.

En el parámetro 8 se evalúa la ubicación de muros principales y la existencia de muros perpendiculares a la anterior, de tal manera que una distancia excesiva entre éstas, la convierte en una edificación vulnerable.

El parámetro 9 evalúa el tipo y la calidad de la cobertura de la edificación para soportar los esfuerzos sísmicos.

En el parámetro 10 se evalúan la presencia de balcones, chimeneas u otro detalle constructivo que no tenga conexión estructural y que pueda causar daño durante un evento sísmico.

En el parámetro 11 se evalúa la antigüedad y el mantenimiento periódico de una edificación. Existen viviendas que nunca tuvieron mantenimiento y se encuentran deterioradas con el paso del tiempo y la influencia de factores externos como la humedad.

2.2.13 Cálculo del índice de daños (Id)

Según Marín (2012), el índice de daño o el daño esperado es una función matemática que varía de acuerdo al movimiento del suelo y el factor de vulnerabilidad. Por tanto, el índice de vulnerabilidad debe ser normalizado en un rango que varía de 0 a 100.

Finalmente, el daño (d) es expresado en un rango de 0 a 1, el cual nos muestra que, para valores muy cercanos a cero, las viviendas no sufren daños

considerables y para valores por encima de 0.8 representan el colapso total de la edificación.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Conceptos relacionados al Problema

- **Modelo:** Es la representación abstracta de la realidad geográfica y su comportamiento.
- **Información geoespacial:** Representación de objetos referenciados a una localización en la tierra (georreferenciados).
- **Model builder:** Generación de un modelo utilizando una programación gráfica.
- **Sismo:** Movimientos de la corteza terrestre debido a la interacción de las placas tectónicas.
- **Vulnerabilidad:** Exposición de zonas frente a la ocurrencia de un peligro o amenaza.
- **Vulnerabilidad sísmica:** Es cuando una edificación está expuesto a sufrir deterioros o averías a su estructura debido a la materialización de un sismo.
- **Análisis estructural:** Análisis de las edificaciones teniendo en cuenta su comportamiento estructural frente a la ocurrencia de un sismo como vigas, columnas, diafragmas, etc.
- **Análisis no estructural:** Características que no intervienen directamente en la estructura como antigüedad de construcción, conservación de la edificación, etc.

- **Índice de Vulnerabilidad Sísmica:** Es un método cualitativo para la determinación de la Vulnerabilidad Sísmica.

2.3.2 Marco legal:

- Ley N° 27972: Ley Orgánica de Municipalidades.
- Ley N° 27867: Ley Orgánica de Gobiernos Regionales.
- Ley N° 29664: Ley del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).
- Decreto Supremo N° 002-2010-EF, Procedimientos para el cumplimiento de metas y la asignación de los Recursos del Programa de Modernización Municipal.
- Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA: Modificación de la Norma técnica E.030, Diseño sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General:

Si la calidad de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián es alta, entonces la vulnerabilidad sísmica es baja aplicando el modelo de vulnerabilidad sísmica.

2.4.2 Hipótesis Específicos:

- Si las características estructurales de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián son buenas, entonces la vulnerabilidad sísmica es baja.

- Si las características no estructurales de las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián son buenas, entonces la vulnerabilidad sísmica es baja.
- La construcción del modelo de vulnerabilidad sísmica utilizando el *model builder* del ArcGIS permitirá la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica en la zona urbana del distrito de Chiquián.

CAPITULO III

METODO

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación del presente estudio es descriptivo, porque se realizaron observaciones y se describieron las características de las edificaciones en la zona urbana del Distrito de Chiquián. Así mismo, es no experimental, porque no se manipularon las variables, sólo se observaron tal y como se dan en su contexto natural. Por otro lado, es transversal, porque el estudio se realizó en un determinado momento.

3.2 Diseño de la investigación

La investigación es no experimental, por lo tanto, no se requirieron de un diseño específico. Para el levantamiento de la información se utilizaron fichas de encuestas (Formulario de Vulnerabilidad).

Para la determinación del índice de vulnerabilidad se generó un modelo de vulnerabilidad sísmica utilizando la herramienta *model builder* del ArcGIS.

3.3 Variables

3.3.1 Variable Independiente

Calidad de las edificaciones

- Estructurales:
 - ✓ Organización de la estructura
 - ✓ Calidad de la estructura
 - ✓ Densidad de muros.
 - ✓ Diafragmas horizontales.

- ✓ Tipo de cubierta.
- No estructurales
 - ✓ Pendiente y cimentación.
 - ✓ Simetría en planta.
 - ✓ Simetría en elevación.
 - ✓ Separación entre muros.
 - ✓ Componentes no estructurales.
 - ✓ Antigüedad y conservación.

3.3.2 Variable dependiente

Vulnerabilidad sísmica

Parámetro

- ✓ Índice de vulnerabilidad sísmica

3.4 Población

La población lo constituye la zona urbana del distrito de Chiquián.

3.5 Muestra

Las muestras la constituyen las edificaciones de la zona urbana del Distrito de Chiquián.

3.6 Técnicas de investigación

3.6.1 Instrumentos y/o fuentes de recolección de datos

Se utilizó la encuesta como técnica principal de recolección de datos de las características de las viviendas en la zona urbana de Chiquián, para lo cual se adecuó la ficha de encuesta que constituye el Formulario de Vulnerabilidad

(Ver Anexo 4). Este instrumento fue aplicado a todas las viviendas de la zona urbana del distrito de Chiquián.

3.6.2 Validación de los instrumentos por juicio de expertos

El Formulario de Vulnerabilidad, es originario de Italia y ha sido probado en diferentes países de América Latina como es el caso de Chavarría y Gómez (2001) y en el Perú se ha aplicado en varios trabajos de investigación, tal es el caso de Marín (2012).

3.6.3 Creación del modelo de vulnerabilidad sísmica

Para la creación del modelo de vulnerabilidad sísmica se utilizó el *model builder* del ArcGIS, teniendo en cuenta que los datos de entradas son los 11 parámetros considerados en la metodología del índice de vulnerabilidad sísmica, los cuales fueron procesados utilizando la herramienta *raster calculator* de acuerdo a la ecuación 1, que permitieron la obtención del mapa de vulnerabilidad sísmica de la zona urbana del distrito de Chiquián.

3.6.4 Técnicas de procesamiento de datos

- Los datos obtenidos a través de la aplicación del Formulario de Vulnerabilidad a cada una de las viviendas de la zona urbana del distrito de Chiquián, fueron ordenados en tablas y cuadros, que permitió facilitar el vínculo con la base gráfica utilizando el sistema de información geográfica (SIG).
- Se elaboró el mapa de clasificación de capacidad portante de los suelos en base a los resultados de laboratorio de los diferentes proyectos

ejecutados en la zona urbana del distrito de Chiquián, los cuales permitieron el análisis del parámetro 4.

- Así mismo, se elaboró el mapa de pendientes teniendo en cuenta la imagen del google earth y el modelo de elevación digital de la zona de estudio, los cuales complementaron el análisis del parámetro 4.
- Para el análisis de la información y la determinación de la vulnerabilidad sísmica se construyó un modelo de vulnerabilidad sísmica, tal como se indica en el acápite 3.6.3.
- En base a la metodología del índice de vulnerabilidad sísmica y los cálculos realizados para cada parámetro se generaron mapas temáticos, los cuales muestran las características de la calidad estructural y no estructural de las viviendas de la zona urbana del distrito de Chiquián.
- Mediante la aplicación del modelo de vulnerabilidad sísmica y el método de superposición de mapas se determinó el grado de vulnerabilidad sísmica, los cuales son mostrados en los mapas temáticos correspondientes.
- Utilizando modelos matemáticos del índice de vulnerabilidad sísmica y teniendo en cuenta el valor de la aceleración horizontal del terreno se determinaron el índice de daños, los cuales muestran los escenarios futuros frente a la ocurrencia de un sismo.
- Para la determinación de las pérdidas económicas bajo la ocurrencia de un sismo determinado, se utilizaron el índice de daños y los costos

correspondientes a las construcciones de adobe y albañilería, que son materiales que predominan en la zona urbana del distrito de Chiquián.

En la figura 2 se presenta el flujograma de la metodología aplicada en la presente investigación, el cual resume y permite entender las secuencias y conexiones de todos los procesos que serán explicados en detalle en las siguientes secciones.

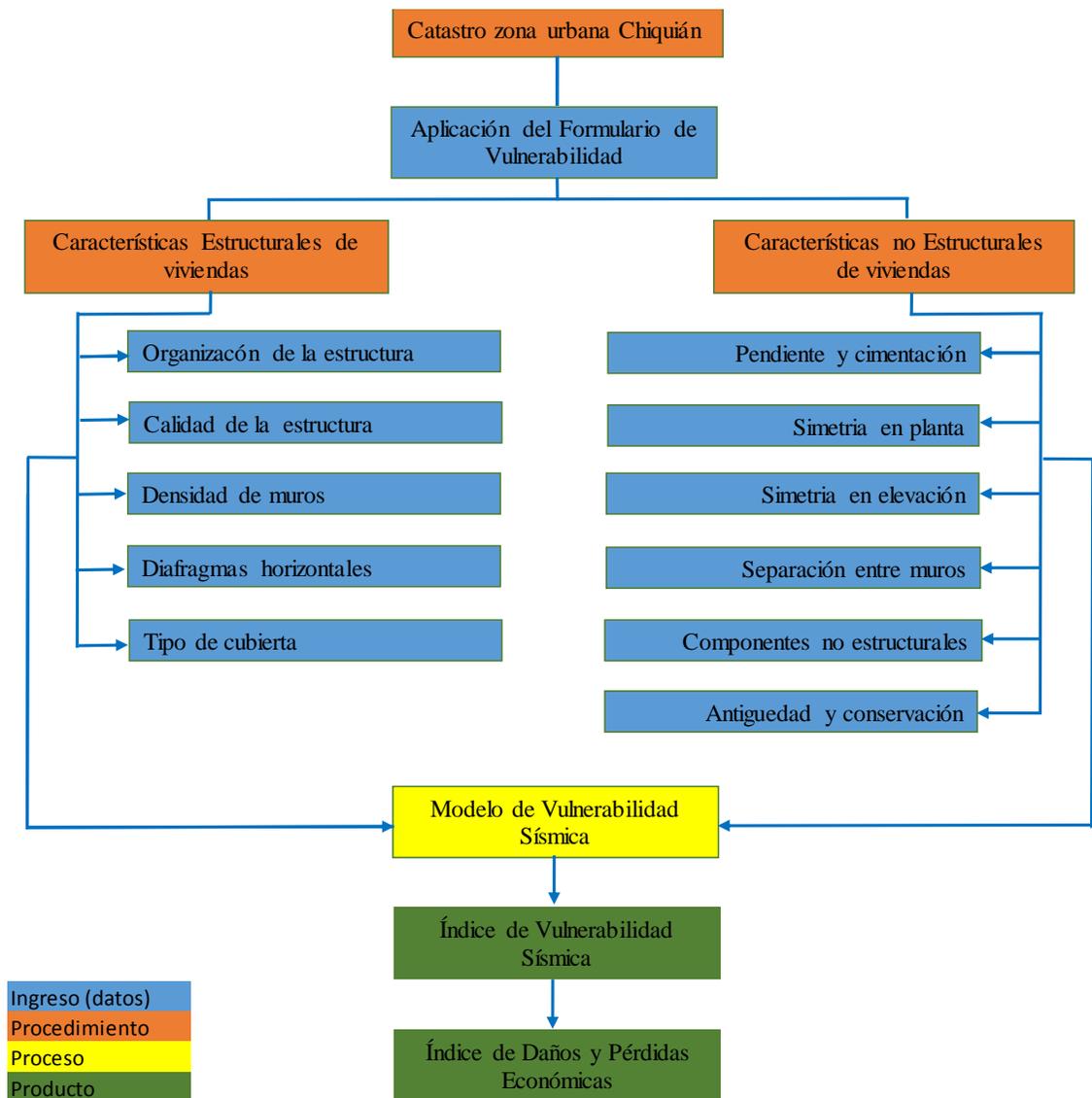


Figura 2. Flujograma para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica

Fuente: Elaboración propia

3.6.5 Técnicas de análisis e interpretación de la información

El mapa resultante del índice de vulnerabilidad sísmica permitió la zonificación e interpretación de la información, teniendo en cuenta la siguiente clasificación de la vulnerabilidad: muy alta, alta, media y baja. Así mismo, se determinó el índice de daños y las pérdidas económicas, que permitieron la cuantificación de los daños frente a la ocurrencia de un evento sísmico.

3.6.6 Operacionalización de las variables

En la tabla 1 se muestra la operacionalización de variables.

Tabla 1.

Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES		
	(PARÁMETROS)	ÍNDICES	TÉCNICAS
Variable Independiente	Organización de la estructura	índice de	Censo,
Calidad de las edificaciones	Calidad de la estructura	Benedetti	encuesta
	Densidad de muros	y Petrini	
	Pendiente y cimentación		
	Diafragmas horizontales		
	Simetría en planta		
	Simetría en elevación		
	Separación entre muros		
	Tipo de cubierta		
	Componentes no estructurales		
	Antigüedad y conservación		
Variable Independiente		Grado de	Elaboración
Vulnerabilidad sísmica	Índice de vulnerabilidad sísmica	Vulnerabilidad sísmica	de mapas temáticos

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1 Diagnóstico preliminar del distrito de Chiquián

Chiquián o como se le denomina “Espejito del Cielo” alberga a uno de sus atractivos turísticos más importantes como es la cordillera de Huayhuash, que forma parte de la Cadena Montañosa del Perú, recorriendo de Norte a Sur. Entre los nevados que destacan se encuentra el Yerupaja (6,617.00 msnm), la segunda montaña más alta del Perú después del Huascarán (6768.00 msnm), que atrae a miles de visitantes, sobre todo extranjeros que practican el andinismo.

4.1.1 Ubicación Geográfica

Tomando como referencia la Plaza de Armas de la capital del distrito de Chiquián se ha obtenido las siguientes coordenadas:

- Latitud Sur : 10°09'7.31”
- Longitud Oeste : 77°09'24.66”

Coordenadas UTM (Datum WGS-84):

- Coordenada Este : 263,677.51
- Coordenada Norte : 8'876,994.14

4.1.2 Ubicación Política

- Departamento : Ancash
- Provincia : Bolognesi
- Distrito : Chiquián

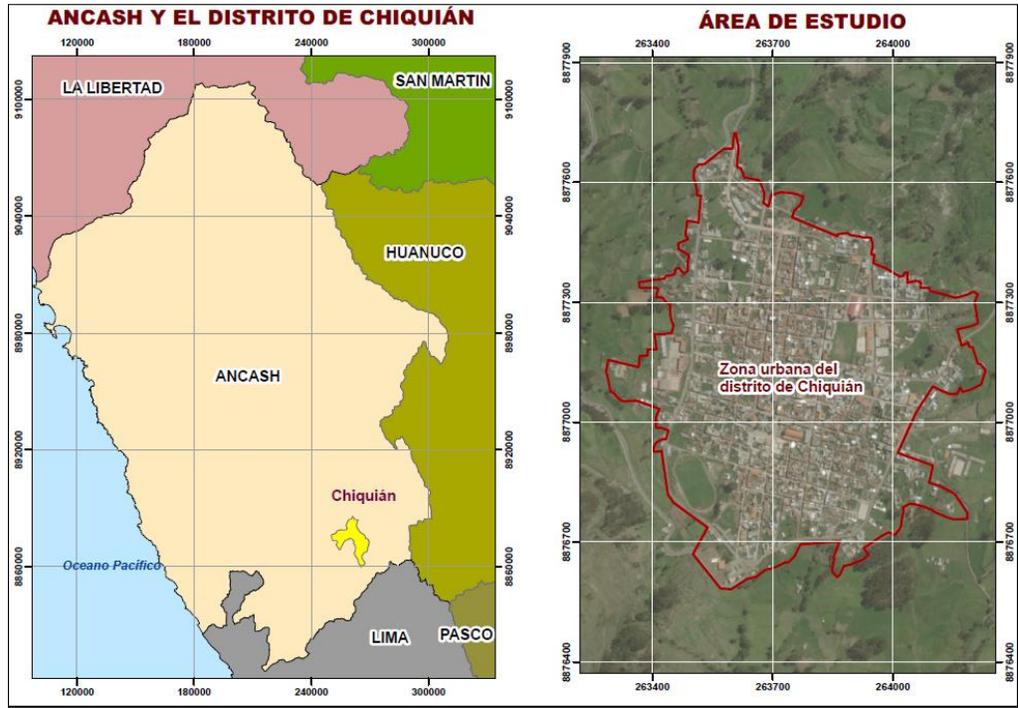


Figura 3. Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

Ver Mapa 1: Ubicación.

4.1.3 Breve Reseña Histórica

El distrito de Chiquián es la capital de la provincia de Bolognesi perteneciente al departamento de Ancash. La provincia de Bolognesi fue creada el 22 de octubre de 1903 y la ciudad data del periodo colonial.

Su festividad principal se celebra el 30 de agosto en honor a Santa Rosa de Lima, donde se muestra la costumbre natural y característica de Chiquián, junto con el capitán y las pallas, cuya duración es de 8 días continuados.

A Chiquián se le conoce como espejito del cielo, debido a que es la portada para visitar la reserva natural de la cordillera de Huayhuash. Cuenta con

un mirador de donde se puede divisar la cordillera mencionada en toda su plenitud, así como también el nevado denominado Tuco.

4.1.4 Altitud

La altitud del distrito tomando como referencia la plaza central de la ciudad capital es de 3,407 m.s.n.m.

4.1.5 Extensión

El distrito de Chiquián tiene una extensión de 184.165 Km² y la zona urbana comprende 58.21 Has.

4.1.6 Límites

El distrito de Chiquián tiene los siguientes límites:

- Por el norte, con la Provincia de Recuay y el Distrito de Aquia
- Por el sur con el Distrito de Abelardo Pardo Lezameta
- Por el este con el Distrito de Huasta y el Distrito de Pacllón
- Por el oeste con el Distrito Ticllos y el Distrito de Cajacay.

4.1.7 Población

Según el INEI, Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda, la población total del Distrito de Chiquián es de 4,087 habitantes, de los cuales 2,029 son hombres y 2,838 son mujeres y población urbana es de 3,718 habitantes.

4.1.8 Vías de Comunicación

- Vía terrestre: La vía de penetración principal hacia la ciudad de Chiquián es la terrestre que parte de la ciudad de Pativilca, por medio de un desvío de la Vía Panamericana, llegando a Conococha y desviándose hacia el este por la carretera asfaltada hacia Antamina, del cual se desvía hasta llegar a la ciudad de Chiquián.
- Vía marítima: Se ubica en la costa de la Región Ancash, no existiendo ninguna vía marítima que une la ciudad de Chiquián.
- Vía aérea: Actualmente se cuenta con el aeropuerto de Anta, en la Provincia de Carhuaz, ubicada a una altura de 2,740 msnm y a 15 km al norte de la ciudad de Huaraz, brindando servicio de vuelos en forma permanente, pero los pobladores de Chiquián por su ubicación y lejanía no la utilizan.

4.1.9 Servicios Básicos

Los servicios básicos con que cuenta el Distrito de Chiquián son los siguientes:

- Sistema de agua potable.
- Sistema de alcantarillado.
- Servicios de Educación.
- Servicios de Salud.
- Energía eléctrica.
- Servicio de telefonía fija.
- Servicio de telefonía móvil (celular).

- Servicio de internet.
- TV cable.

4.1.10 Clima

Por su ubicación geográfica el distrito de Chiquián tiene un clima Templado-Seco que es característico de la zona de Sierra del Perú, con dos estaciones climáticas muy definidas al año: La época de verano y la época de invierno. Corresponde a la primera, la época de “sequía”, caracterizada por la ausencia de lluvias, abarcando entre los meses de abril a setiembre, acentuándose entre los meses de junio – agosto (temperaturas bajas, heladas y estiaje) y la temporada de invierno, época de lluvias, entre los meses de octubre a mayo, siendo la máxima precipitación entre enero y marzo, en el que se realiza el periodo de siembras de la campaña grande.

La temperatura media anual oscila entre los 10° a 25°C, correspondiendo las más bajas temperaturas por las noches y para los meses de Julio/agosto. En la estación seca la temperatura diurna se eleva a 25°C y en la noche por lo general se mantiene por encima de 10°C. Sin embargo, durante las altas horas de la noche, ocurre un fuerte descenso de la temperatura conocido como la helada, que al amanecer los pastizales están cubiertos de una capa delgada y blanca de escarcha, debido a la congelación del rocío que se acumula sobre las hojas.

En cuanto a la precipitación del mes de enero del año 2009, es de 342.60 mm, siendo el registro del mes de junio el más bajo: 0.60 mm y en el mes de marzo se obtuvo el registro más alto: 494.00 mm.

4.1.11 Suelo

Según reportes de la oficina de Infraestructura de la Municipalidad Provincial de Bolognesi, se han realizado diversos estudios de suelos para las ejecución de diferentes obras en la zona urbana del distrito de Chiquián y se han encontrado diferentes tipos de suelos: grava arcillosa, arena limo arcillosa con grava, grava arcillosa con arena, arena arcillosa, grava mal graduada limosa, etc., cuyas capacidades portantes fluctúan entre 0.40 y 1.40 Kg/cm², clasificándolo de baja a media resistencia. Ver mapa de capacidad portante de suelos (Mapa 4).

4.1.12 Relieve

El relieve es típico de la Región Andina, encontrándose el Distrito de Chiquián en la Región Quechua, en su configuración presenta espacios accidentados con relieves planos y ondulados en las zonas bajas hasta inclinados a empinados en las zonas altas en algunos casos se dan afloramientos rocosos.

4.1.13 Hidrografía

Los ríos que discurren en su mayoría nacen en la cordillera de los andes, entre los 4,000 y 6,000 m.s.n.m. alimentando sus recursos de agua primordialmente con las precipitaciones estacionales que ocurren en las partes altas y excepcionalmente del deshielo de los nevados. El distrito de Chiquián se encuentra dentro del área de influencia de la vertiente del Pacífico, cuyo tributario es la cuenca del Río Pativilca. Muy cerca de la zona urbana, en la

parte alta se observa una quebrada que en épocas de lluvias intensas se activa afectando gravemente a la zona urbana del distrito de Chiquián.

4.1.14 Pendiente

Teniendo en cuenta la imagen satelital de google earth y el modelo de elevación digital (DEM) de la zona de estudio se ha obtenido las curvas de nivel y el mapa de pendientes, donde se observa que la mayor parte de la zona urbana de Chiquián se encuentra en una pendiente baja, cuyo rango es menor de 5°. Así mismo tenemos pendientes medias (5° - 10°), pendiente alta (10° - 20°) y pendientes mayores a 20° (pendiente muy alta. Ver el mapa de pendientes (Mapa 3).

4.1.15 Geomorfología

Según los estudios realizados por el INGEMMET, en el Mapa Geomorfológico de la región Ancash, la zona urbana del distrito de Chiquián corresponde a la formación Pariahuanca, Grupo Goyllarisquizga y presenta calizas macizas.

4.2 Cartografía de la zona urbana del distrito de Chiquián

La cartografía de la zona urbana del distrito de Chiquián fue elaborado teniendo en cuenta el Plano Catastral levantado por COFOPRI en el año 2012, el levantamiento de datos con GPS e imágenes satelitales de Google Earth en coordenadas UTM, Zona 18 Sur del esferoide internacional, los cuales fueron homogenizados al datum WGS 84.

Para la obtención de las curvas de nivel se utilizaron imágenes satelitales y modelos de elevación digital, los cuales fueron procesados en el entorno del programa ArcGIS 10.4 (Ver Mapa 2).

En la siguiente figura se observa la delimitación de la zona urbana del distrito de Chiquián, así como los lotes correspondientes.

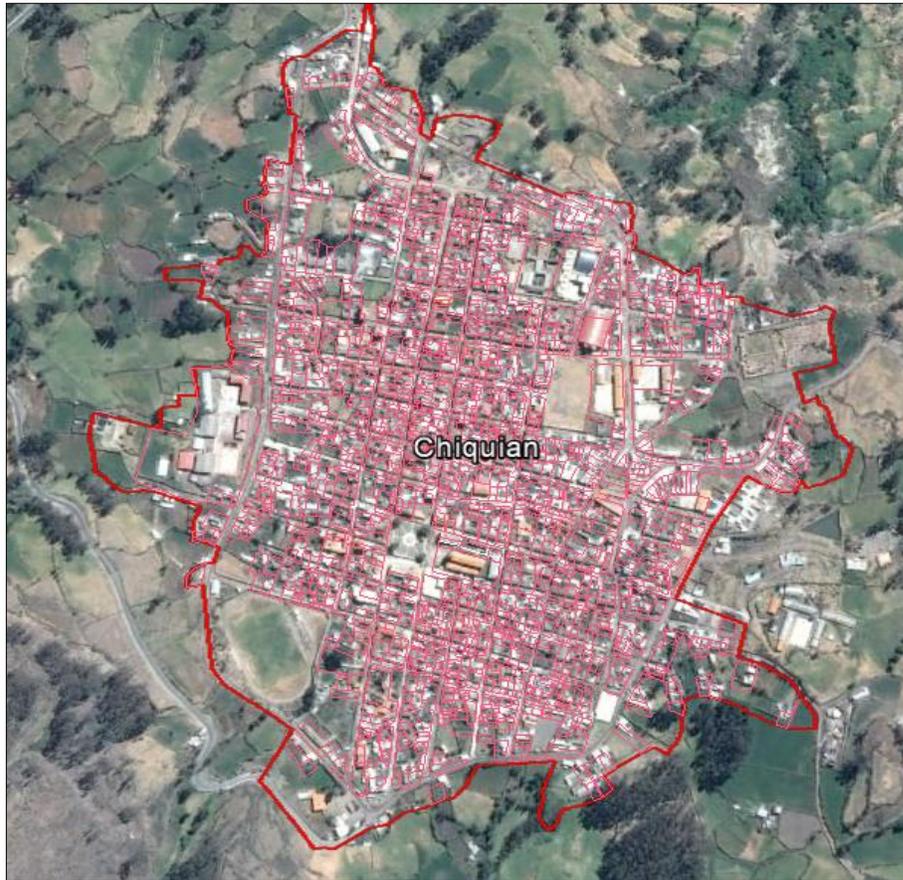


Figura 4: Zona urbana de Chiquián

Fuente: COFOPRI – Imagen Google earth

4.3 Muestreo de suelos e interpretación

Para determinar las características del suelo de fundación de la zona urbana del distrito de Chiquián se han utilizado los resultados del estudio de inversión a nivel de

expediente técnico del proyecto: Mejoramiento integral del sistema de agua potable y saneamiento de la ciudad de Chiquián – Ancash, proporcionado por la Gerencia de desarrollo urbano de la Municipalidad Provincial de Bolognesi. Así mismo, se realizaron tres calicatas adicionales para fortalecer el presente estudio (Ver Anexo 5).

En la siguiente tabla se muestran los puntos de muestreo y su ubicación en coordenadas UTM en la zona urbana del distrito de Chiquián.

Tabla 2.

Puntos de muestreo en la zona urbana de Chiquián

Punto de muestreo	X(m)	Y(m)	Capacidad portante (Kg/cm²)	Descripción
C-1	263332	8877055	1.1	SC (Arena arcillosa, mediana resistencia)
C-2	264323	8877508	1.2	GC (Grava arcillosa, mediana resistencia)
C-3	263531	8876749	1.4	GC (Grava arcillosa, mediana resistencia)
C-4	263653	8877342	0.7	SM (Arena limosa, baja resistencia)
C-5	263697	8877541	1.3	GC (Grava arcillosa, mediana resistencia)
C-6	263892	8877322	1.2	SC, SM (Arena arcilla limosa, mediana resistencia)
C-7	264213	8876758	0.4	GP,GM(Grava mal graduada limosa, baja resistencia)

Fuente: Elaboración propia

La calicata C-1 a una profundidad de 0.40m presenta material de cultivo y a una profundidad de 1.20m presenta una arena arcillosa (SC), con una capacidad portante del suelo de 1.10 Kg/cm^2 .

La calicata C-2 a una profundidad de 0.40m presenta material de cultivo y a una profundidad de 1.20m presenta una grava arcillosa (GC), con una capacidad portante del suelo de 1.20 Kg/cm^2 .

La calicata C-3 a una profundidad de 0.50m presenta material de cultivo y a una profundidad de 1.30m presenta una grava arcillosa (GC), con una capacidad portante del suelo de 1.40 Kg/cm^2 .

La calicata C-4 a una profundidad de 0.20m presenta material de losa de concreto y a una profundidad de 1.50m presenta una arena limosa (SM), con una capacidad portante del suelo de 0.70 Kg/cm^2 .

La calicata C-5 a una profundidad de 0.80m presenta material de relleno con presencia de plásticos y a una profundidad de 1.50m presenta una grava arcillosa (GC), con una capacidad portante del suelo de 1.30 Kg/cm^2 .

La calicata C-6 a una profundidad promedio de 1.00m, para este análisis se obtuvo dos muestras y se clasifican en arena, limo arcilloso (SC-SM), con una capacidad portante del suelo de 1.20 Kg/cm^2 .

La calicata C-7 a una profundidad de 0.40m presenta material de cultivo y a una profundidad de 1.60m presenta una grava mal graduada limosa (GP-GM), con una capacidad portante del suelo de 0.40 Kg/cm^2 .

Teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de muestreo y los valores de las capacidades portantes de los suelos se ha realizado la interpolación correspondiente

utilizando una herramienta del ArcGIS para obtener el mapa de capacidad portante de los suelos en la zona urbana del distrito de Chiquián. (Ver Mapa 4).

4.4 Aplicación del formulario de vulnerabilidad

Utilizando la cartografía de la zona urbana del distrito de Chiquián y la ficha de encuesta (formulario de vulnerabilidad), se procedió al levantamiento de la información de todas las viviendas identificadas en las manzanas respectivas. Así mismo, se realizaron mediciones para la determinación de ciertos parámetros y la entrevista con los propietarios de las viviendas, encuestándose 1417 viviendas.



Fotografía 1. Levantamiento de información (ficha de vulnerabilidad)



Fotografía 2. Medición de las viviendas en la zona urbana de Chiquián

4.5 Evaluación de parámetros y creación de mapas temáticos

Para la determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en la zona urbana del distrito de Chiquián se realizó la evaluación de los once parámetros por cada vivienda y la elaboración de los mapas temáticos correspondientes en el entorno del ArcGIS 10.4.

4.5.1 Parámetro 1: Organización de la estructura

Teniendo en cuenta que frente a la ocurrencia de un sismo se debe asegurar el comportamiento en cajón de una estructura, se evaluó la presencia de vigas y columnas de amarres presentes en todos los pisos, sin tener en cuenta el tipo de material de construcción.

La asignación de las categorías se realizó de acuerdo a la clasificación del Anexo 3. El resultado de la evaluación del Parámetro 1 se observa en la tabla 3 y en la figura 5.

Así mismo, en el mapa temático 5 se muestra la distribución espacial del parámetro 1.

Tabla 3.

Evaluación del parámetro 1

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	195	13.76%
B	14	0.99%
C	1002	70.71%
D	206	14.54%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

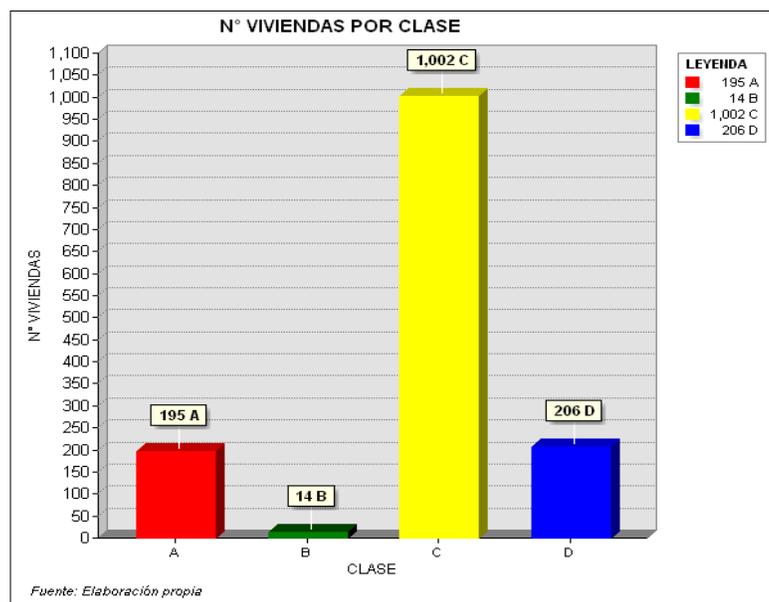


Figura 5. Parámetro 1

Fuente: Elaboración propia

En las fotografías 3 y 4 se pueden observar las características de este parámetro en las viviendas de adobe y material noble.



Fotografía 3. Vivienda de adobe que no presenta vigas y columnas



Fotografía 4. Vivienda de material noble con vigas y columnas de amarre

4.5.2 Parámetro 2: Calidad de la estructura

Este parámetro evalúa la mampostería más frecuente, piezas de buenos acabados, uniformes y de longitudes constantes en todo el muro de las viviendas.

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3. El resultado de la evaluación del Parámetro 2 se observa en la tabla 4 y en la figura 6.

Tabla 4.

Evaluación del parámetro 2

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	125	8.82%
B	87	6.14%
C	988	69.72%
D	217	15.31%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, el mapa temático 6 muestra la distribución espacial del parámetro 2. También, en las fotografías 5 y 6 se pueden observar las características de este parámetro.

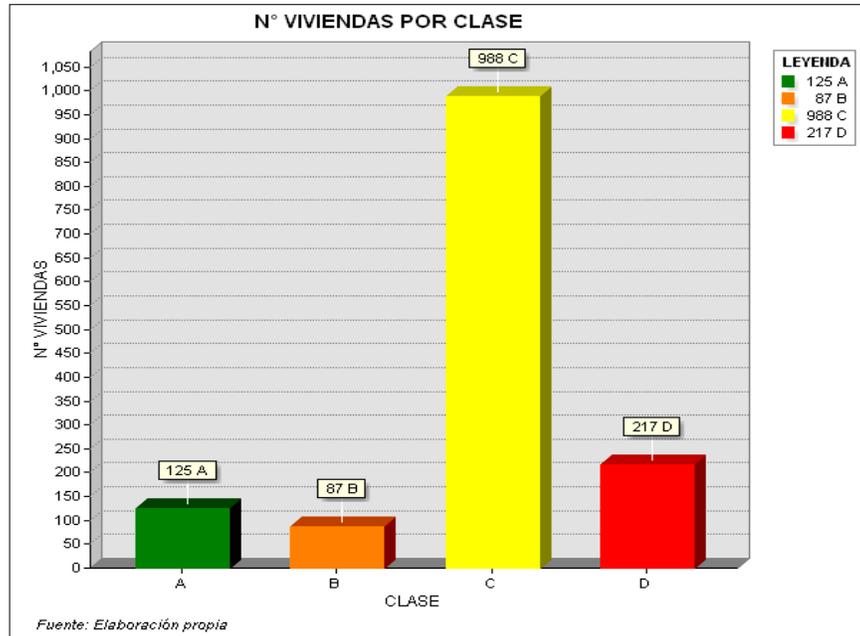


Figura 6. Parámetro 2

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 5. Mampostería de ladrillo de buena calidad



Fotografía 6. Vivienda de adobe construido en forma artesanal

4.5.3 Parámetro 3: Densidad de muros

Dentro de la zona urbana del Distrito de Chiquián se observan viviendas de material noble (ladrillo) y viviendas de adobe, por tanto, los cálculos se realizaron por separado para cada tipo de material.

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3. El resultado de la evaluación del Parámetro 3 se observa en la tabla 5 y en la figura 7.

Las fotografías 7 y 8 muestran viviendas de albañilería con planos de construcción y viviendas de adobe construidos sin dirección técnica.

Tabla 5.

Evaluación del parámetro 3

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	196	13.83%
B	15	1.06%
C	933	65.84%
D	273	19.27%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

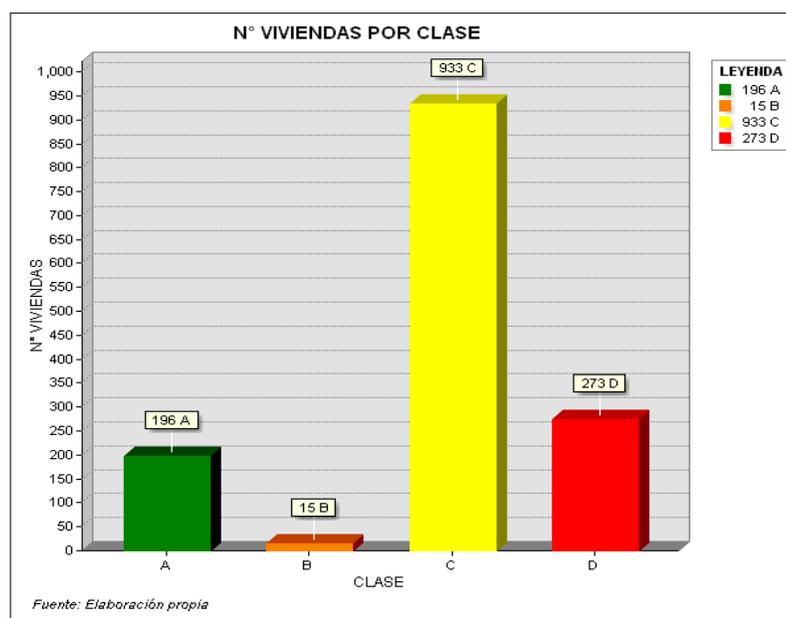


Figura 7. Parámetro 3

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, el mapa temático 7 muestra la distribución espacial del parámetro 3. En las fotografías 7 y 8 se muestran algunas características de este parámetro.



Fotografía 7. Vivienda de material noble con planos de construcción



Fotografía 8. Vivienda de adobe sin planos de construcción

4.5.4 Parámetro 4: Pendiente y cimentación

Para la evaluación de este parámetro se tuvo en cuenta el mapa de suelos (mapa 5) y el mapa de pendientes (mapa 3).

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3. El resultado de la evaluación del Parámetro 4 se muestra en la tabla 6 y en la figura 8.

Tabla 6.

Evaluación del parámetro 4

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	45	3.18%
B	1149	81.09%
C	220	15.53%
D	3	0.21%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en el mapa 8 se muestra la distribución espacial del Parámetro 4, el cual fue obtenido mediante la superposición del mapa de suelos y el mapa de pendientes.

En las fotografías 9 y 10 se muestran la posición de las viviendas en terrenos planos e inclinados.

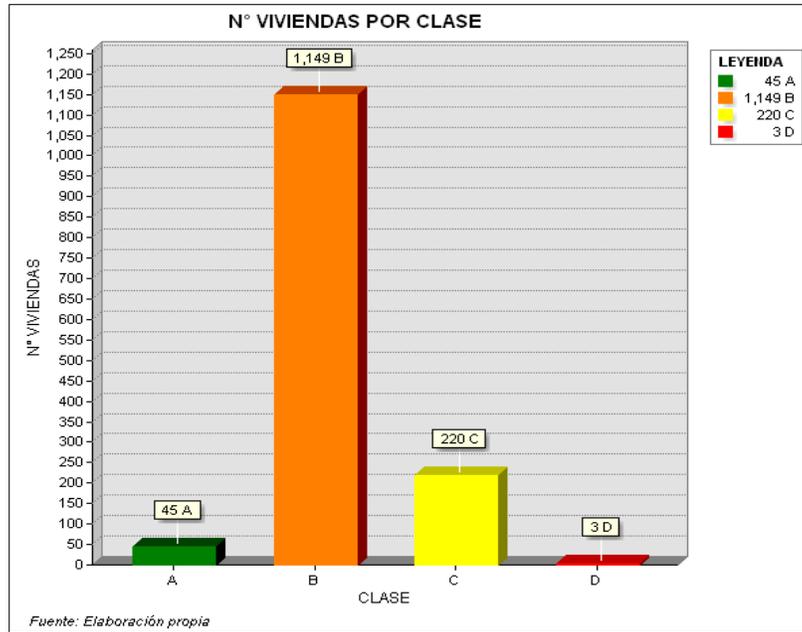


Figura 8. Parámetro 4

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 9. Institución educativa construido en un terreno inclinado



Fotografía 10. Plaza de armas y municipalidad construida en terreno plano

4.5.5 Parámetro 5: Diafragmas Horizontales

Teniendo en cuenta que las losas aligeradas influyen en el comportamiento de la estructura frente a un evento sísmico, se realizó la evaluación de cada una de las viviendas.

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3. El resultado de la evaluación del Parámetro 5 se observa en la tabla 7 y en la figura 9.

Así mismo, en el mapa 9 se muestra la distribución espacial del Parámetro 5.

En las fotografías 11 y 12 se muestran la posición de las viviendas en terrenos planos e inclinados.

Tabla 7.

Evaluación del parámetro 5

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	160	11.29%
B	50	3.53%
C	993	70.08%
D	214	15.10%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

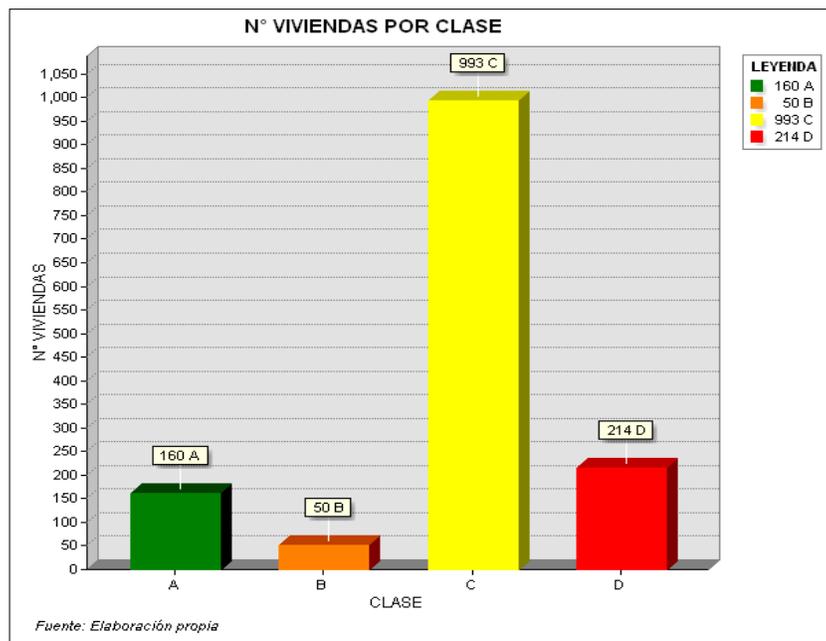
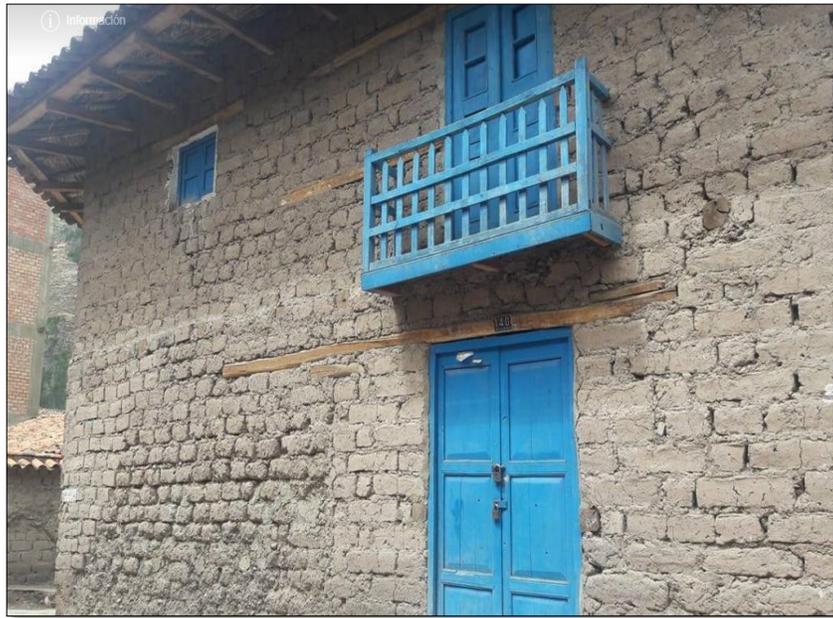


Figura 9. Parámetro 5

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 11. Vivienda de material noble con diafragmas rígidos y horizontales



Fotografía 12. Viviendas de adobe con diafragmas deformados

4.5.6 Parámetro 6: Simetría en Planta

El diseño arquitectónico de la vivienda (plano de planta) influye notablemente en la resistencia frente a un evento sísmico, y de acuerdo a la metodología empleada se calcula con la siguiente relación: $\beta_1 = a/L$.

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3.

El resultado de la evaluación del Parámetro 6 se observa en la tabla 8 y en la figura 12.

Tabla 8.

Evaluación del parámetro 6

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	172	12.14%
B	43	3.03%
C	993	70.08%
D	209	14.75%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en el mapa temático 10 se muestra la distribución espacial del parámetro 6.

Las fotografías 13 y 14 muestran la irregularidad en planta de las viviendas en la zona urbana del distrito de Chiquián.

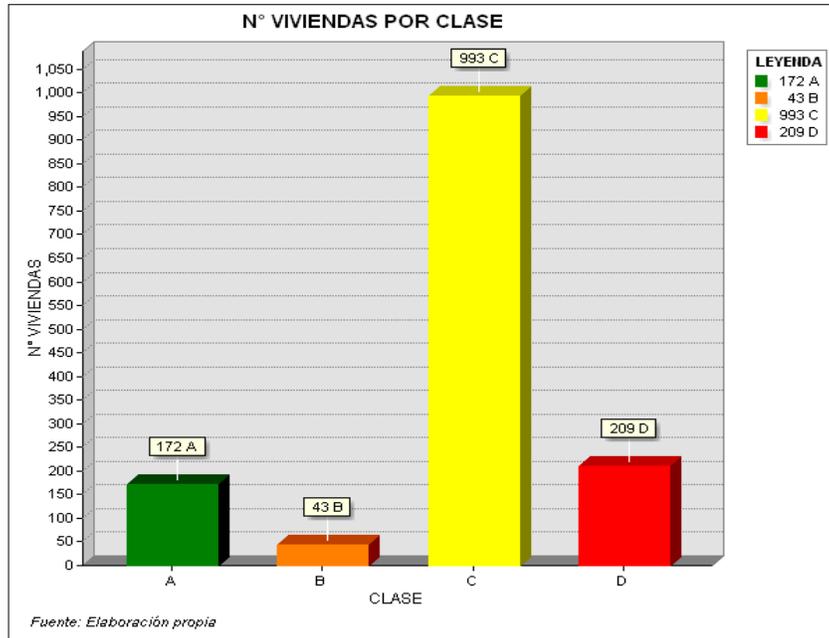


Figura 10. Parámetro 6

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 13. Viviendas con forma regular en planta



Fotografía 14. Viviendas con forma irregular en planta

4.5.7 Parámetro 7: Simetría en elevación

La asignación de las clases de este parámetro se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3.

El resultado de la evaluación del Parámetro 7 se observa en la tabla 9 y en la figura 11.

Así mismo, en el mapa temático 11 se muestra la distribución espacial del parámetro 7.

Las fotografías 15 y 16 muestran algunas edificaciones con irregularidades en elevación en la zona urbana del distrito de Chiquián.

Tabla 9.

Evaluación del parámetro 7

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	169	11.93%
B	43	3.03%
C	994	70.15%
D	211	14.89%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

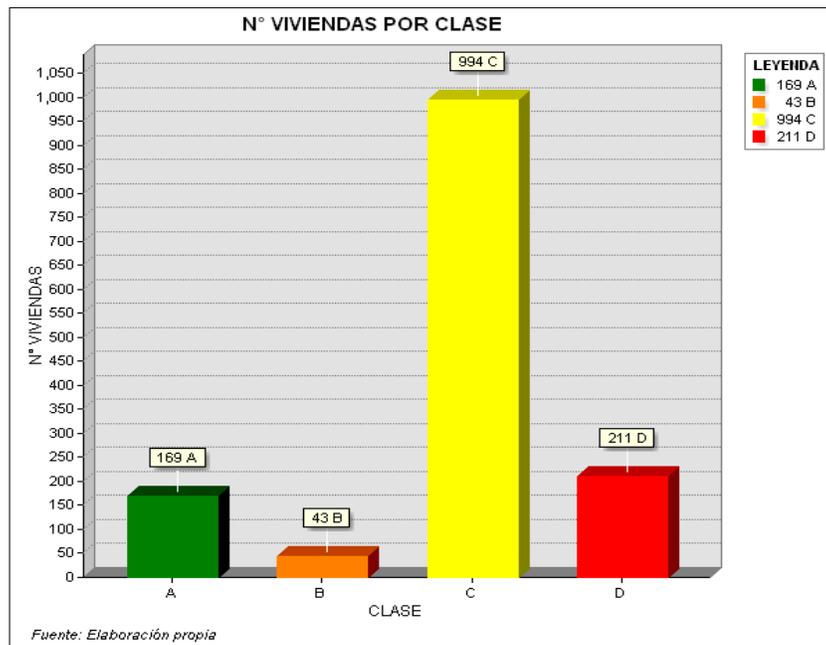


Figura 11. Parámetro 7

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 15. Iglesia católica de Chiquián



Fotografía 16. Coliseo multideportivo de Chiquián

4.5.8 Parámetro 8: Separación entre muros

Teniendo en cuenta que una buena distribución de los muros maestros en los planos en planta influirá notablemente en la resistencia ante un evento sísmico.

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3.

El resultado de la evaluación del Parámetro 8 se observa en la tabla 10 y en la figura 12.

Tabla 10.

Evaluación del parámetro 8

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	186	13.13%
B	27	1.91%
C	993	70.08%
D	211	14.89%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en el mapa temático 12 se muestra la distribución espacial del parámetro 8.

La fotografía 17 muestra una edificación con las características de este parámetro en la zona urbana del distrito de Chiquián.

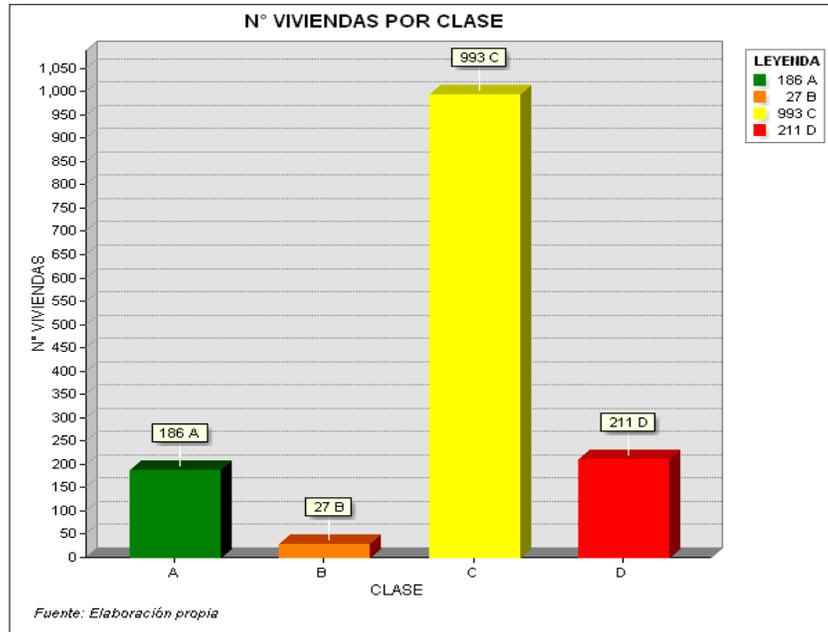


Figura 12. Parámetro 8

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 17. Vivienda sin muros maestros definidos

4.5.9 Parámetro 9: Tipo de Cubierta

En este parámetro se evalúa la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas.

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3.

El resultado de la evaluación del Parámetro 9 se observa en la tabla 11 y en la figura 13.

Tabla 11.

Evaluación del parámetro 9

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	167	11.79%
B	47	3.32%
C	989	69.80%
D	214	15.10%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el mapa temático 13 se muestra la distribución espacial del parámetro 9.

Las fotografías 18 y 19 muestran algunas edificaciones con las características de este parámetro en la zona urbana del distrito de Chiquián.

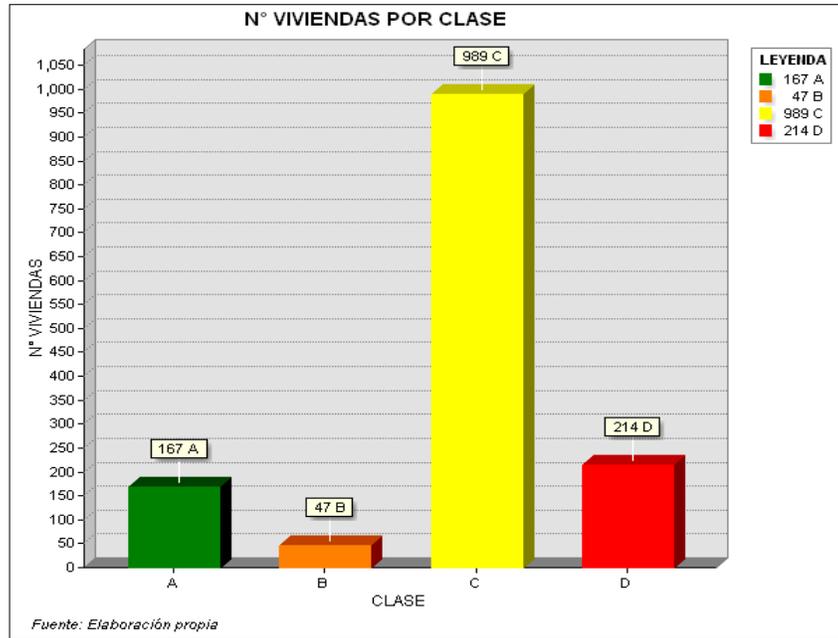


Figura 13. Parámetro 9

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 18. Viviendas de material noble con una cubierta adecuada



Fotografía 19. Viviendas de adobe con cubierta inadecuada

4.5.10 Parámetro 10: Componentes no estructurales

La asignación de las clases de este parámetro se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3.

El resultado de la evaluación del Parámetro 10 se observa en la tabla 12 y en la figura 14.

Por otro lado, en el mapa temático 14 se muestra la distribución espacial del parámetro 10.

Las fotografías 20 y 21 muestran algunas edificaciones con las características de este parámetro en la zona urbana del distrito de Chiquián.

Tabla 12.

Evaluación del parámetro 10

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	193	13.62%
B	21	1.48%
C	991	69.94%
D	212	14.96%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

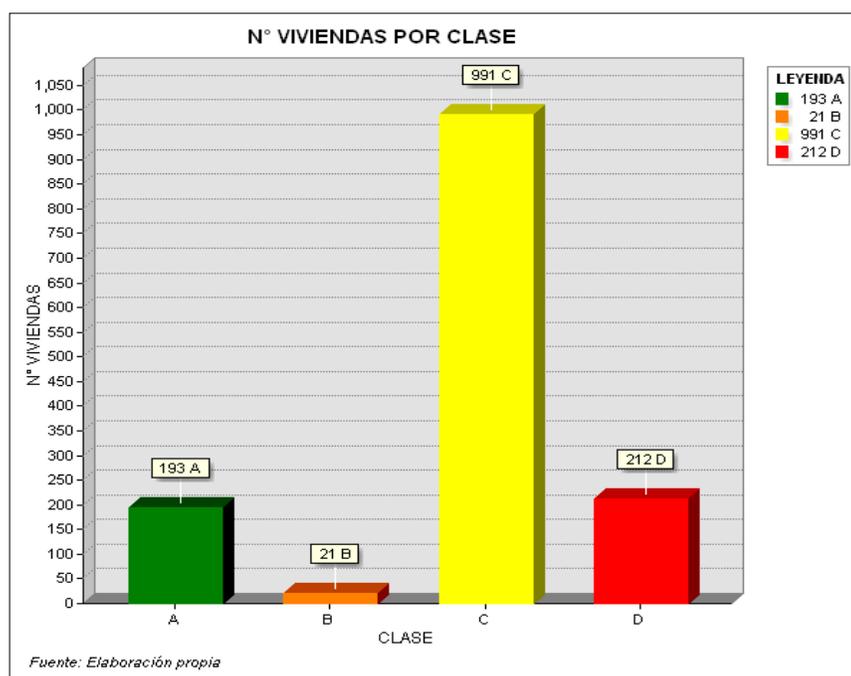


Figura 14. Parámetro 10

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 20. Viviendas de material noble con balcones estructurales



Fotografía 21 Viviendas de adobe con balcones no estructurales

4.5.11 Parámetro 11: Antigüedad y conservación

Este parámetro fue evaluado con la finalidad de verificar el estado de los muros, las lesiones visibles y muros que presentan fuerte deterioro.

La asignación de las clases se realizó de acuerdo a la clasificación del anexo 3.

El resultado de la evaluación del Parámetro 11 se observa en la tabla 13 y en la figura 15.

Tabla 13.

Evaluación del parámetro 11

Clase	N° viviendas	Porcentaje
A	442	31.19%
B	38	2.68%
C	649	45.80%
D	288	20.32%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el mapa temático 15 se muestra la distribución espacial del parámetro 11.

En fotografías 22 y 23 se puede observar que la mayoría de las viviendas de material noble se encuentran en un buen estado de conservación o son construcciones con una antigüedad de 0 a 5 años. En el caso de las viviendas de adobe la mayoría de las viviendas se encuentran en un mal estado de conservación o en su defecto son construcciones muy antiguas (mayores a 30 años). Así mismo, se observan un reducido porcentaje de viviendas de adobe que se encuentran en un buen estado de conservación.

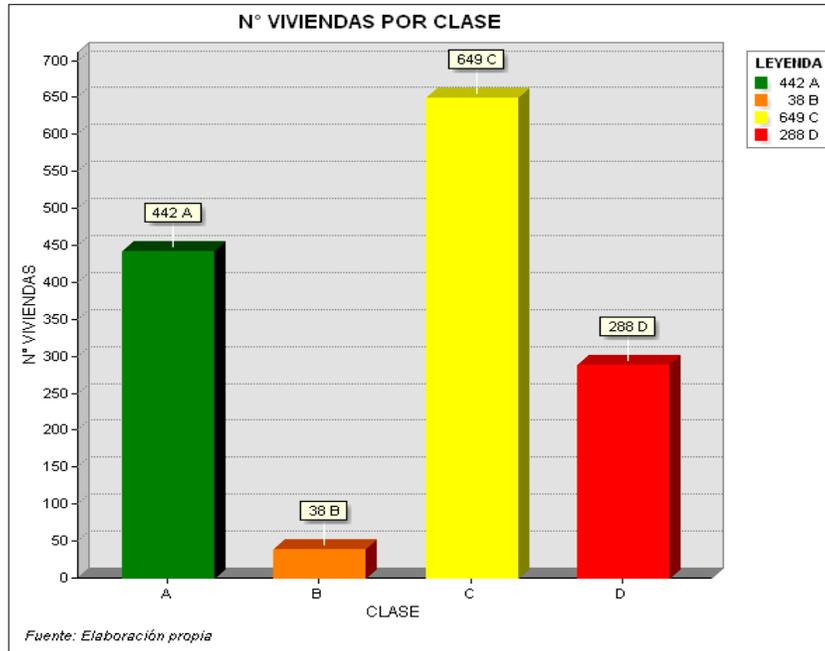


Figura 15. Parámetro 11

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 22. Vivienda de material noble en buen estado de conservación



Fotografía 23. Vivienda de adobe en buen estado de conservación

4.6 Modelo de vulnerabilidad sísmica

El modelo de vulnerabilidad sísmica fue desarrollado en el entorno ArcGIS 10.4 y utilizando la herramienta *model builder*, que permitió la automatización de los procesos y la obtención del resultado final, es decir el índice de vulnerabilidad sísmica en la zona urbana del distrito de Chiquián.

Para la obtención del modelo de vulnerabilidad sísmica se tuvo en cuenta los mapas temáticos de los once parámetros evaluados, los cuales fueron convertidos a un formato raster, utilizando la herramienta *Polygon to Raster*, posteriormente fueron agrupados utilizando la herramienta *Raster Calculator* de acuerdo a la ecuación 1 y teniendo en cuenta la escala del índice de vulnerabilidad. Finalmente, el resultado obtenido fue convertido a un formato vectorial utilizando la herramienta *Raster to Polygon*.

Durante la creación del modelo se pudo distinguir tres momentos: la entrada de datos (color azul), las distintas herramientas a utilizar (color amarillo) y la obtención de resultados (color verde).

En la figura 16 se observa el modelo de vulnerabilidad sísmica y la secuencia lógica de los diferentes procesos que comprende la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica.

4.7 Determinación del índice de vulnerabilidad (Iv)

Una vez elaborados los once mapas temáticos que corresponde a cada uno de los parámetros evaluados, se procedió al análisis final y la aplicación del modelo de vulnerabilidad sísmica, teniendo en cuenta la metodología del índice de vulnerabilidad y utilizando el programa ArcGIS 10.4, que permitió obtener el mapa final donde se muestra la zonificación de la zona urbana del distrito de Chiquián de acuerdo al índice de vulnerabilidad sísmica (Ver mapa 16).

En la tabla 14 se muestra la cantidad de viviendas en cada parámetro evaluado y su asignación en las respectivas clases, así mismo se ha calculado los porcentajes que representan con respecto al total de viviendas evaluadas.

Tabla 14.

Número de viviendas por parámetro y clases

Parám.	Descripción	Viviendas por Clase							
		A	%	B	%	C	%	D	%
1	Organización de la estructura	195	13.76	14	0.99	1002	70.71	206	14.54
2	Calidad de la estructura	125	8.82	87	6.14	988	69.72	217	15.31
3	Densidad de muros	196	13.83	15	1.06	933	65.84	273	19.27
4	Pendiente y cimentación	45	3.18	1149	81.09	220	15.53	3	0.21
5	Diafragma horizontales	160	11.29	50	3.53	993	70.08	214	15.10
6	Simetría en planta	172	12.14	43	3.03	993	70.08	209	14.75
7	Simetría en elevación	169	11.93	43	3.03	994	70.15	211	14.89
8	Separación entre muros	186	13.13	27	1.91	993	70.08	211	14.89
9	Tipo de cubierta	167	11.79	47	3.32	989	69.80	214	15.10
10	Componentes no estructurales	193	13.62	21	1.48	991	69.94	212	14.96
11	Antigüedad y conservación	442	31.19	38	2.68	649	45.80	288	20.32

Fuente: Elaboración propia

Los índices de vulnerabilidad obtenidos han sido agrupados en los siguientes rangos de clasificación, tal como se observan en la tabla 15 y en la figura 17.

Tabla 15.

Índice de Vulnerabilidad

Clase	Rango Iv	Vulnerabilidad	N° Viviendas	%
A	< 90	Baja	208	14.7%
B	91 - 180	Media	301	21.2%
C	181 - 270	Alta	692	48.8%
D	> 271	Muy Alta	216	15.2%
Total			1417	100.0%

Fuente: Elaboración propia

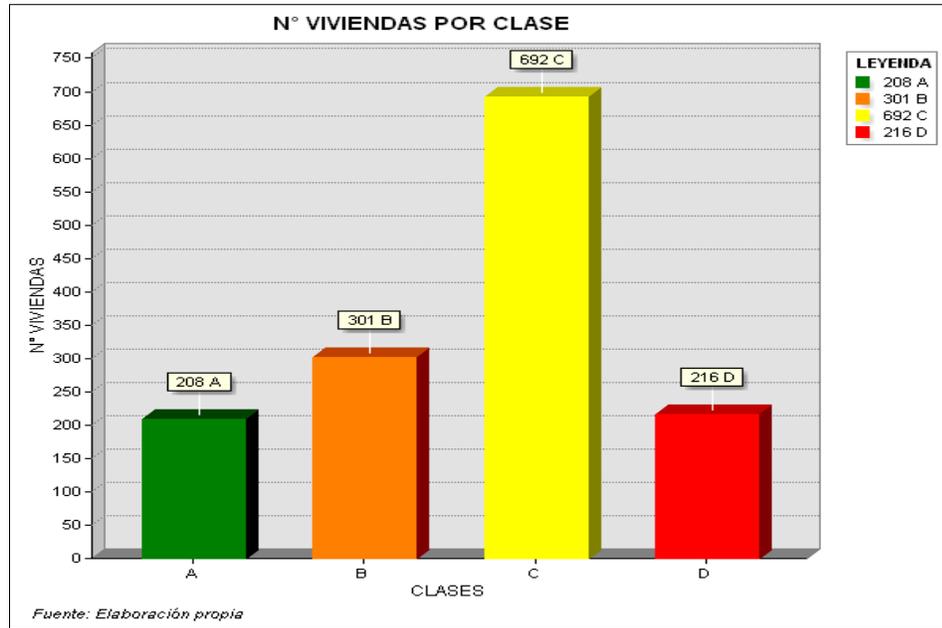


Figura 17. Índice de vulnerabilidad

Fuente: Elaboración propia

4.8 Índice de daños y pérdidas económicas

Es importante destacar que los índices de vulnerabilidad calculados en la sección anterior no aportan información suficiente para determinar el riesgo sísmico, por tanto, es necesario transformar estos índices a su equivalente en pérdidas económicas.

4.8.1 Índices de daños (Id)

De acuerdo a la metodología utilizada en el presente trabajo de investigación, se utilizaron las ecuaciones de las rectas que relacionan el índice de daños para diferentes índices de vulnerabilidad y aceleración horizontal del terreno (a/g), tal como se muestra en el Anexo 6.

Según el estudio realizado por Alva y Castillo (1993), que muestran la distribución de iso aceleraciones para el 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 500 años), para la zona de estudio se tiene el valor de la

aceleración horizontal $a=0.32g$, con este valor y tomando en cuenta otras aceleraciones como $0.10g$ y $0.45g$ se calcularon los índices de daños.

El resultado de la evaluación del índice de daños para una aceleración horizontal $a=0.32g$ se observa en la tabla 16 y la figura 18.

Así mismo, en el mapa 17 se puede observar la distribución espacial del índice de daños.

Tabla 16.

Índice de daños

Clase	N° Viviendas	Porcentaje
A	208	14.68%
B	1209	85.32%
Total	1417	100.00%

Fuente: Elaboración propia

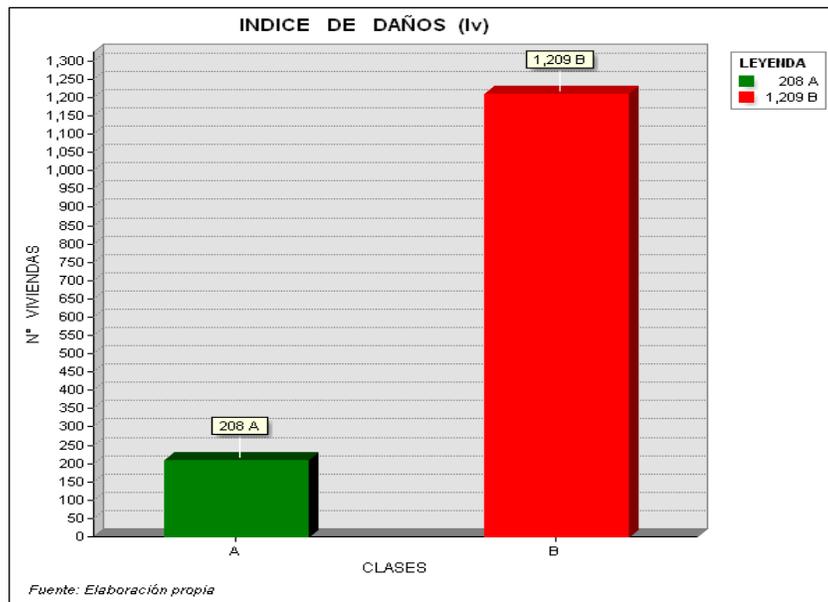


Figura 18. Índice de daños

4.8.2 Cálculo de las pérdidas económicas

Una vez definido las aceleraciones horizontales de los probables sismos y calculado los índices de daños, se procedió al cálculo de las pérdidas económicas, teniendo en cuenta que el porcentaje de la vivienda que sufre daños es equivalente al índice de daños multiplicado por su área total construida de cada vivienda.

De acuerdo al informe de la Municipalidad Provincial de Bolognesi el costo aproximado de construcción por metro cuadrado en adobe es de S/. 200.00 y de albañilería es de S/. 500.00. Tomando en cuenta estos valores se ha calculado los daños económicos para las condiciones simuladas de la aceleración horizontal de 0.32g, encontrándose que en el caso de las viviendas de adobe los daños económicos cuantificados ascenderían a la suma de S/. 45,935,397.16 y en el caso de las viviendas de material noble ascenderían a la suma de S/. 24,107,868.98, haciendo un costo total de daños económicos de S/.70,043,266.14.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

5.1 Parámetros de vulnerabilidad sísmica

Según la tabla 3: Parámetro 1, el 13.76% de viviendas se encuentran en la clase A (vulnerabilidad baja), es decir cumplen con el Reglamento Nacional de Construcciones, son construcciones de albañilería y presentan vigas y columnas de amarre en la construcción de la vivienda y la mayoría ha sido construido con dirección técnica. Entre estas tenemos construcciones de viviendas particulares y construcciones de servicio social como el local de la Municipalidad, iglesia, instituciones educativas, mercado, etc. El 0.99% de viviendas presentan una vulnerabilidad media (clase B), presentan vigas y columnas de amarre con ciertas deficiencias, son de material noble y han sido construidas sin dirección técnica. El 70.70% de viviendas presentan una vulnerabilidad Alta (clase C), son de adobe y no presentan vigas y columnas de amarre y se encuentran distribuidos a lo largo de la zona urbana de Chiquián. El 14.54% de viviendas presentan una vulnerabilidad muy alta (clase D), son de adobe y no presentan vigas y columnas de amarre, con una antigüedad de más de 30 años, están en desuso, pero aún se encuentran habitadas.

En la tabla 4: Parámetro 2, se muestra que el 8.82% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja, siendo éstas de material noble y construido con ladrillos procedentes de fábricas que cumplen con la Norma E.070. El 6.14% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media, los cuales fueron construidos con ladrillos que no cumplen con la Norma E.070, son ladrillos artesanales y de baja calidad. El 69.72% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta, son de adobe y no cumplen las

condiciones anteriores. El 15.31% de viviendas, están en mal estado, muchas de ellas inhabitables.

En la tabla 5: Parámetro 3, se observa que el 13.83% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja, siendo éstas distribuidas regularmente y cumplen con la norma E.070. El 1.06% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media, cumplen parcialmente con la Norma E.070. El 65.84% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta, son de adobe y no cumplen las condiciones anteriores. El 19.27% de viviendas, están en mal estado, muchas de ellas inhabitables.

En la tabla 6: Parámetro 4, se observa que el 3.18% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja, debido a que se encuentran en suelos de buena calidad y pendiente baja. El 81.09% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media, construidos en suelos de calidad media y pendiente media. El 15.53% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta, están ubicados en suelos de baja calidad y pendiente alta. El 0.21% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta, ubicados en suelos de baja calidad y pendiente muy alta.

En la tabla 7: Parámetro 5, se observa que el 11.29% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja, siendo estas en su mayoría viviendas de material noble y presentan diafragmas horizontales. El 3.53% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media, presentan alguna irregularidad en los diafragmas horizontales. El 70.08% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta, son viviendas de adobe, con deformaciones en sus diafragmas horizontales. El 15.10% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta y se encuentran en mal estado.

En la tabla 8: Parámetro 6, se observa que el 12.14% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja y presentan una forma adecuada en planta. El 3.03% de

viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media y presentan una forma regular en planta. El 70.08% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta y presentan formas no adecuadas en planta. El 14.175% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta y presentan diversas irregularidades en planta.

En la tabla 9: Parámetro 7, se observa que el 11.93% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja y presentan una buena configuración en elevación. El 3.03% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media y presentan una forma regular en elevación. El 70.15% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta y presentan formas no adecuadas en elevación. El 14.89% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta y presentan diversas irregularidades en elevación.

En la tabla 10: Parámetro 8, se observa que el 13.13% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja y presentan muros maestros adecuadamente distribuidos. El 1.91% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media y presentan muros maestros medianamente distribuidos. El 70.08% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta y presentan muros maestros débilmente definidos. El 14.89% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta y no presentan muros maestros.

En la tabla 11: Parámetro 9, se observa que el 11.79% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja y presentan techos adecuados para resistir fuerzas sísmicas. El 3.32% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media y presentan techos con mala conexión con los muros. El 69.80% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta y presentan techos desvinculados de los muros. El 15.10% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta y presentan techos desvinculados con los muros e inclinados.

En la tabla 12: Parámetro 10, se observa que el 13.62% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja y no presentan cornisas, parapetos y elementos estructurales que pueda causar daño. El 1.48% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media y presentan balcones que es parte integrante de los diafragmas. El 69.94% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta y presentan elementos mal vinculados a la pared. El 14.96% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta y son construcciones en desuso.

En la tabla 13: Parámetro 11, se observa que el 31.19% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad baja con muros en buenas condiciones y sin lesiones visibles. El 2.68% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad media y presentan lesiones capilares no extendidas. El 45.80% de viviendas se encuentran en una vulnerabilidad alta y son de adobe en regulares condiciones de conservación. El 20.32% de viviendas, se encuentran en una vulnerabilidad muy alta, con lesiones muy graves están en desuso.

5.2 Modelo de vulnerabilidad sísmica

Teniendo en cuenta que la cantidad de edificaciones evaluadas en la zona urbana del distrito de Chiquián suman 1417, el manejo y análisis de la información geoespacial se torna compleja, por lo que fue necesario la utilización de los sistemas de información geográfica, los cuales que permitieron ordenar, calcular, predecir e interpretar los datos, tal como manifiesta Flores (2016).

La creación del modelo de vulnerabilidad sísmica, a través de la integración gráfica de diferentes herramientas, permitió la automatización y la sistematización de la información, tal como manifiesta Environmental Systems Research Institute (ESRI) (2016).

La utilización de las nuevas herramientas y tecnologías del SIG en la creación del modelo de vulnerabilidad sísmica, permitirá una adecuada gestión del riesgo a través de su aplicación sencilla.

5.3 Índice de vulnerabilidad sísmica

En la tabla 15 se observa los rangos de índice de vulnerabilidad para la zona urbana del distrito de Chiquián. El 14.70% de las viviendas se clasifican como vulnerabilidad baja, son viviendas de material noble con vigas y columnas de amarre en toda la construcción de la vivienda y son de material noble, con ladrillos procedentes de las fábricas de la ciudad de Lima, cumplen con las normas establecidas por el Reglamento Nacional de Edificaciones, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006), Norma E070 y han sido construidas bajo dirección técnica, presentan planos de construcción, distribución regular en planta y elevación, se encuentran construidos en terrenos con pendiente baja, presentan diafragmas horizontales. En este rango de vulnerabilidad se encuentran la mayoría de las nuevas construcciones de material noble, con una antigüedad de 0 a 5 años y las infraestructuras de servicio público como el local de la municipalidad, mercado de abastos, iglesia católica, puesto de salud, instituciones educativas, entre otros.

El 21.20% de las viviendas se encuentran clasificadas en vulnerabilidad Media, cumplen con algunas características del Reglamento Nacional de Edificaciones, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006), son viviendas de material noble y en su mayoría de adobe con vigas y columnas de amarre con ciertas deficiencias, son de material noble y han sido construidas sin dirección técnica, con ladrillos artesanales que no cumplen con la resistencia técnica establecida, presentan algunas

irregularidades en planta y elevación, presentan diafragmas horizontales y son viviendas con un antigüedad mayor a 10 años.

El 48.80% de las viviendas presentan una vulnerabilidad Alta, es decir presentan algunas características mencionadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, son viviendas de barro que no presentan vigas y columnas de amarre que se encuentran distribuidos a lo largo de la zona urbana, son de adobe fabricados en forma artesanal, no son de buena calidad y su construcción se ha realizado sin la presencia de mano de obra calificada, presentan irregularidades en planta y elevación y no poseen planos de construcción.

El 15.20% de las viviendas presentan una vulnerabilidad Muy Alta, debido a que no cumplen con el Reglamento Nacional de Edificaciones, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006), es decir no presentan vigas y columnas de amarre, son viviendas de adobe con una antigüedad mayor a 30 años, que se encuentran en desuso, pero continúan siendo habitadas. Por otro lado, presentan irregularidades en planta y elevación, no presentan planos de construcción y fueron ejecutados por personas empíricas, sin dirección técnica.

Las siguientes fotografías presentan algunas características típicas de las construcciones de adobe en la zona urbana del distrito de Chiquián.



Fotografía 24. Vivienda de dos pisos de adobe en mal estado de conservación



Fotografía 25. Vivienda de adobe de un piso en mal estado de conservación



Fotografía 26. Vivienda de adobe en mal estado de conservación (inhabitable)



Fotografía 27. Vivienda de adobe, obsérvese el agrietamiento en los muros



Fotografía 28. Vivienda de adobe sin columnas y vigas en el primer piso



Fotografía 29. Vivienda de adobe soportando al segundo nivel de material noble

5.4 Índice de daños y pérdidas económicas

De acuerdo al estudio realizado por Alva y Castillo (1993), para la zona de estudio el valor de la aceleración horizontal es de 0.32g, con este valor y tomando en cuenta otras aceleraciones horizontales como 0.10g y 0.45g se calcularon los índices de daños.

Teniendo en cuenta que valores mayores a 0.80 del índice de daños y considerando la aceleración horizontal del terreno de 0.10g, se realizó una simulación y no se obtuvo colapso de las viviendas de la zona urbana del distrito de Chiquián. Se asume que los elementos que mayores daños presentarían, serían los elementos no estructurales y la antigüedad de construcción.

Para la aceleración horizontal del terreno de 0.45g, que es un sismo de muy alta magnitud y no frecuente, los resultados son muy alarmantes, la totalidad de las viviendas fallarían, generando consecuencias desastrosas.

Se ha realizado un análisis minucioso para la aceleración horizontal del terreno de 0.32g, cuyo valor es similar al evento que ocurrió el 30 de mayo de 1970, encontrándose que 1209 viviendas (85.32%) sufrirían el colapso total y 208 viviendas (14.68%) seguirían en pie con algún daño estructural, tal como se muestra en la tabla 16. Por otro lado, teniendo en cuenta los costos de construcción por metro cuadrado tanto en adobe como en material noble se ha calculado los daños económicos para las condiciones simuladas, encontrándose que en el caso de las viviendas de adobe los daños económicos cuantificados ascenderían a la suma de S/. 45,935,397.16 y en el caso de las viviendas de material noble ascenderían a la suma de S/. 24,107,868.98, haciendo un costo total de daños económicos de S/. 70,043,266.14

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- 6.1 El modelo de vulnerabilidad sísmica construido con la herramienta *model builder* del ArcGIS permitió la automatización y obtención del mapa de índice de vulnerabilidad sísmica y el mapa del índice de daños de la zona urbana del distrito de Chiquián, utilizando los sistemas de información geográfica.
- 6.2 Los materiales de construcción que componen estructuralmente las edificaciones de la zona urbana del distrito de Chiquián son de dos tipos: adobe y de ladrillo, en ambos casos han sido construidos sin la dirección técnica respectiva, a excepción de algunas viviendas y construcciones de servicio público como: la infraestructura de la Municipalidad, instituciones educativas, mercado de abastos, entre otros.
- 6.3 Las características no estructurales de las viviendas muestran que la mayoría de estas no tienen los diseños técnicos correspondientes a nivel de planos de construcción, así mismo el estado de conservación es casi nulo.
- 6.4 De acuerdo al índice de vulnerabilidad sísmica, el 14.7% de las viviendas se hallan en vulnerabilidad baja (clase A), el 21.2% en vulnerabilidad media (clase B), el 48.8% en vulnerabilidad alta (clase C) y el 15.2% se encuentran en vulnerabilidad muy alta (clase D). Además, considerando el índice de vulnerabilidad y una aceleración horizontal del terreno de 0.32g, se determinó que 1209 viviendas (85.32%) sufrirían el colapso total y 208 viviendas (14.68%) seguirían en pie con algún daño estructural. Además, de acuerdo al índice de daño calculado y teniendo en cuenta el precio por metro cuadrado de construcción, si ocurriera un sismo con las características descritas anteriormente los daños económicos ascenderían a la suma de S/.70,043,266.14.

CAPITULO VII

RECOMENDACIONES

- 7.1 El modelo de vulnerabilidad sísmica puede ser aplicado conjuntamente con los estudios de catastro de la zona urbana de una determinada jurisdicción, de tal manera que se pueda el generar el mapa de índice de vulnerabilidad y el mapa del índice de daños.
- 7.2 En estos últimos años se están incrementando las construcciones de material noble o de ladrillo en la zona urbana del distrito de Chiquián, se recomienda que la oficina de Infraestructura de la Municipalidad Provincial de Bolognesi realice las verificaciones respectivas antes de emitir las licencias de construcción y que los planos correspondientes sean firmados por un profesional colegiado.
- 7.3 En función a los resultados obtenidos en el presente estudio se recomienda a la Municipalidad Provincial de Bolognesi tomar las acciones correctivas con la finalidad de disminuir la vulnerabilidad sísmica, sobre todo en las construcciones de adobe. Se recomienda demoler algunas construcciones de adobe que tienen una antigüedad de más de 30 años, por estar prácticamente inutilizables.
- 7.4 Debido a que la mayoría de las viviendas de la zona urbana del distrito de Chiquián se encuentran en una vulnerabilidad alta y muy alta, se recomienda que, en las construcciones nuevas, tanto de material noble y de adobe se debe utilizar criterios sismoresistentes.

CAPITULO VIII

REFERENCIAS

- Alcahuamán, R. (2013). *Análisis de riesgo sísmico del centro poblado "San Isidro" usando sistemas de información geográfica (SIG) (Informe de suficiencia)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Alva, J., & Castillo, J. (1993). Peligro sísmico en el Perú. Lima. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15_a.pdf
- Alva, J., & Castillo, J. (1993). *Peligro sísmico en el Perú*. Recuperado el 10 de Octubre de 2017, de http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15_a.pdf
- Alvarado, B. (2009). *Chiquián. Migración e identidad*. Recuperado el 6 de Octubre de 2016, de <http://naloalvaradochiquian.blogspot.pe/2009/09/chiquian-migracion-e-identidad.html>
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. (2001). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería*. Colombia.
- Asociación Internacional UNIGIS. (2016). *Modelación gráfica de procesos de análisis*. Quito, Ecuador.
- Bernabé, P., & López, V. (2012). *Fundamentos de las infraestructuras de datos espaciales* (Primera ed.). Madrid, España: UPM Press.
- Buzai, G., & Baxendale, C. (2010). *Análisis espacial con sistemas de información geográfica. Aportes de la geografía para la elaboración del diagnóstico en el ordenamiento territorial*. POSTGRADOS UNAH. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de

http://faces.unah.edu.hn/decanato/images/stories/PDF/Revista_Congreso_Vol1/analisis_espacial_sig.pdf

Caballero, G. (2007). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica (Tesis de Maestría)*. Universidad del Norte: Sincelejo.

Castro P., C. (2011). Diagnóstico de la construcción en Ayacucho. *Seminario regional de estudios y normalización de la construcción*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2017, de <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2011/ayacucho/1.%20DIA%20GNOSTICO%20DE%20LA%20CONSTRUCCI%C3%93N.pdf>

Castro, P. (7 de Noviembre de 2017). *Diagnóstico de la Construcción en Ayacucho. Seminario regional de estudios y normalización de la construcción*. Obtenido de <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2011/ayacucho/1.%20DIA%20GNOSTICO%20DE%20LA%20CONSTRUCCI%C3%93N.pdf>

Chavarría, L., & Gómez, P. (2001). *Estudio de vulnerabilidad sísmica en viviendas de 1 y 2 pisos del barrio Cuarto de Legua en el cono Cañaveralejo (Tesis de pregrado)*. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia. Obtenido de (Universidad del Valle).

De la Cruz, M. (2011). *Peligro sísmico probabilístico y espectro uniforme en la región Ancash (Tesis)*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. Recuperado el 9 de Noviembre de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/85939015/Peligro-Sismico-Ancash-PERU-Tesis-2012-PSHA-UHS#>

Environmental Systems Research Institute. (2016). *ArcGIS for Desktop*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de ¿Qué es Model Builder?:

<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

ESRI. (2016). *ArcGIS for Desktop*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de ¿Qué es Model Builder?: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm>

Farfán, J., & Díaz, E. (2009). *Estudio de Vulnerabilidad sísmica estructural en un sector de la zona 12, de la ciudad de Guatemala (Tesis)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Fidel, S., Zavala, C., Núñez, J., & Valenzuela, O. (2006). *Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2017, de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/C029-Boletin-Estudio_riesgos_geologicos_del_Peru_Franja_4.pdf

Flores M., R. (2016). Modelamiento geoespacial para la determinación del grado de vulnerabilidad, distrito Leimebamba-Amazonas (Tesis). *Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú*.

Flores, M. (2016). *Modelamiento geoespacial para la determinación del grado de vulnerabilidad, distrito Leimebamba-Amazonas (Tesis)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Fuenzalida, M., & Cobs, V. (2013). *La perspectiva del análisis espacial en la herramienta SIG: una revisión desde la geografía hacia las ciencias sociales. PERSONA Y SOCIEDAD*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de http://files.especializacion-tig.webnode.com/200000521-c5d18c6cb4/Lectura_1.1.pdf

- Garcés, M. (2017). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica de uno y dos pisos de mampostería confinada en el barrio San Judas Tadeo II en la ciudad de Santiago de Cali (Tesis de grado)*. Universidad Militar Nueva Granada: Bogotá D.C.
- INDECI. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*. Lima. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc319/doc319_contenido.pdf
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza* (Primera edición ed.). Lima, Perú.
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza* (Primera edición ed.). Lima.
- Marín, G. (2012). *Evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de la ciudad de Huánuco (Tesis de grado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/marin_gf%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/marin_gf%20(1).pdf)
- MEF. (2013). *Conceptos asociados a la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático: aportes en apoyo de la inversión pública para el desarrollo sostenible* (Primera edición ed.). Lima. Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/estudios_documentos/documentos/ConceptosDesastresCambio.pdf
- Ministerio de Vivienda y Construcción. (2006). *Norma E.050: Suelos y cimentaciones* .
Obtenido de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/E.050.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma E.070: Albañilería*.
Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/E.070%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/E.070%20(1).pdf)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Decreto Supremo que modifica la Norma Técnica E.030 "Diseño sismorresistente" del Reglamento Nacional de*

Edificaciones, Aprobada por Decreto Supremo N° 011-2006-Vivienda, modificada con Decreto Supremo N° 002-2014-Vivienda. Recuperado el 2 de Noviembre de 2017, de <http://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-supremo-que-modifica-la-norma-tecnica-e030-diseno-decreto-supremo-n-003-2016-vivienda-1337531-1>

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2017). *Norma E.080: Diseño y construcción con tierra reforzada*. Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/E.080%20Construcció%3Bn%20con%20tierra.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/E.080%20Construcci%3Bn%20con%20tierra.pdf)

Municipalidad Provincial de Bolognesi. (2012). *Análisis de peligro y vulnerabilidad de un sector crítico de riesgo de desastres en la zona urbana del distrito de Chiquián*. Chiquián.

Municipalidad Provincial de Bolognesi. (2012). *Análisis de peligro y vulnerabilidad de un sector crítico de riesgo de desastres en la zona urbana del distrito de Chiquián*. Chiquián.

Municipalidad Provincial de Bolognesi. (2013). *Estudio de Evaluación de riesgo de desastre de un sector crítico en la zona urbana de Chiquián*. Chiquián.

Navia, J., & Barrera, E. (2007). *Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica en viviendas de interés social de uno y dos pisos construidas con mampostería estructural en la ciudad de Bogotá (Proyecto de grado)*. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Olarte, N. (2002). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de áreas urbano marginales (Tesis)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Portuguez, M. (2010). *ArcGIS. Nivel Avanzado*. Lima, Perú.

Quaas, W., Gurza, J., & Zepeda, R. (2009). *Uso de la información geoespacial en la prevención de riesgos*. New York, EE.UU. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de <http://studylib.es/doc/7054833/uso-de-la-informaci%C3%B3n-geoespacial-en-la-prevenci%C3%B3n-de-rie>

Reque, C., & Ríos, V. (2003). *Aplicación del sistema de información geográfica para la diagnosis de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del distrito de Ate - Vitarte*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2017, de XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cursouni/PD-06.pdf>

UNIGIS. (2016). *Modelación gráfica de procesos de análisis*. Quito, Ecuador.

CAPITULO IX

ANEXOS

Anexo 1: Escala de vulnerabilidad de Benedetti – Petrini

i	PARÁMETROS	CLASE (K_i)				PESO (W_i)
		A	B	C	D	
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.50
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragma horizontal	0	5	15	45	1.00
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
8	Distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.00
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

Fuente: Chavarría L. & Gómez P. (2001)

Anexo 2: Comparación entre el RNE y el método del Iv

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES	PARÁMETRO ANÁLOGO DEL Iv
Aspectos geométricos:	
Irregularidades en planta de edificaciones	6. Configuración en planta
Densidad de muros	8. Distancia máxima entre los muros
Distancia entre columnas	8. Distancia máxima entre los muros
Irregularidad en altura	7. Configuración en elevación
Aspectos constructivos:	
Calidad de las juntas del mortero	2. Calidad del sistema resistente
Tipo y disposición de las unidades de mampostería	2. Calidad del sistema resistente
Calidad de los materiales	2. Calidad del sistema resistente
Aspectos estructurales	
Muros confinados y reforzados	1. Organización del sistema resistente
Entrepiso	5. Diafragma horizontal
Vigas de amarre	9. Tipo de cubierta
Amarre de cubiertas	9. Tipo de cubierta
Cimentación	4. Posición del edificio y cimentación
Suelos	3. Resistencia convencional

Fuente: Marín G. (2012)

Anexo 3: Evaluación de parámetros para el cálculo del Iv

Parámetro 1: Organización del Sistema resistente

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en "cajón" de la estructura. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio o vivienda que presenta en todas las plantas o pisos vigas y columnas de amarre.
- B) Edificio o vivienda que presenta en todas las plantas conexiones mediante vigas de amarre.
- C) Edificio o vivienda que no presenta vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por muros.
- D) Edificio o vivienda con muros o paredes ortogonales no ligadas.

Parámetro 2: Calidad del Sistema resistente

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en "cajón" de la estructura. La atribución de un edificio a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. Se reporta una de las clases:

- A) El sistema resistente del edificio presenta las tres características siguientes:
 - Mampostería en ladrillo de buena calidad con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro

- Presencia de trabazón o amarre entre las unidades de mampostería.
 - Mortero de buena calidad con espesor en la mayoría de los casos de 1.0 a 1.5 cms.
- B) El sistema resistente del edificio no presenta una de las características de la clase A.
- C) El sistema resistente del edificio no presenta dos de las características de la clase A.
- D) El sistema resistente del edificio no presenta ninguna de las características de la clase A.

Parámetro 3: Resistencia convencional

Con la hipótesis de un perfecto comportamiento en "cajón" de la estructura, la evaluación de la resistencia de un edificio de mampostería puede ser calculada con razonable confiabilidad.

Se requiere de los siguientes datos: Número de pisos, plano de planta por piso.

Parámetro 4: Posición del edificio y de la cimentación

Con este parámetro se evalúa, hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio.

Para ello se tiene en cuenta algunos aspectos, tales como: la consistencia y la pendiente del terreno, la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota y la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- B) Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia

máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

- C)** Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- D)** Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

Parámetro 5: Diafragmas Horizontales

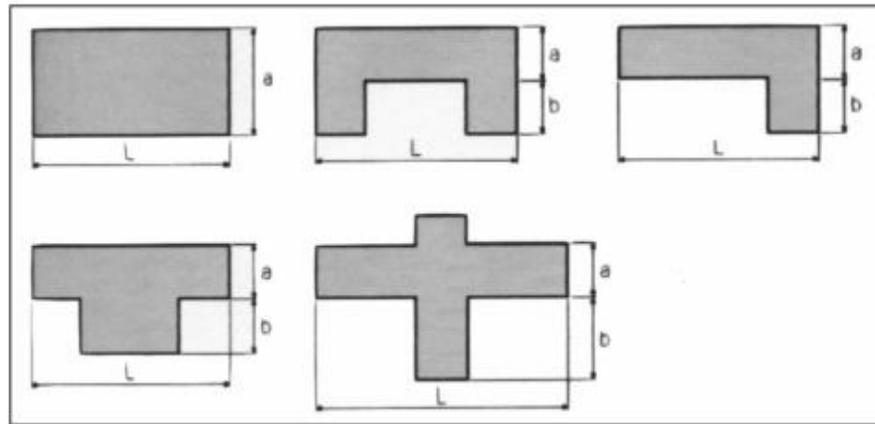
La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Se reporta una de las clases:

- A)** Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones:
- Ausencia de planos a desnivel.
 - La deformabilidad del diafragma es despreciable.
 - La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.
- B)** Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la primera condición.
- C)** Edificio con diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con la primera y segunda condición.
- D)** Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

Parámetro 6: Configuración en Planta

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a / L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b / L$. En la siguiente Figura se explica el significado de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable.

Figura 19. Configuración en Planta



Fuente: Chavarría L. & Gómez P. (2001)

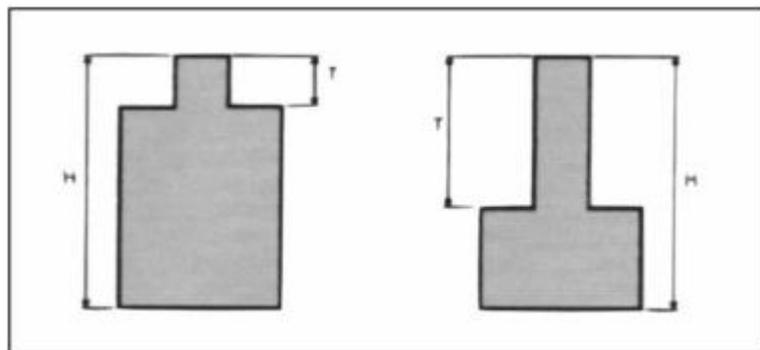
Parámetro 7: Configuración en Elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos, la principal causa de irregularidad está constituida por la presencia de porches y torretas. La presencia de porches se reporta como la relación porcentual entre el área en planta del mismo y la superficie total del piso. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H, tal como se indica en la siguiente. No se deben

tener en cuenta las torretas de modesta dimensión tales como chimeneas, escapes de ventilación, etc.

También se reporta la variación de masa en porcentaje $\pm \Delta M/M$ entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación de áreas respectivas $\pm \Delta A/A$, evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable.

Figura 20. Configuración en Elevación



Fuente: Chavarría L. & Gómez P. (2001)

Parámetro 8: Distancia Máxima entre Muros:

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros intersectados por muros transversales ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor L/S , donde L es el espaciamiento de los muros transversales y S el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable.

Parámetro 9: Tipo de Cubierta

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio con cubierta estable y provista de viga cumbreira. Edificio con cubierta plana.
- B) Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbreira.
Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.
- C) Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbreira.
- D) Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbreira.

Parámetro 10: Elementos no Estructurales:

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de cornisas, parapetos o cualquier elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. Se trata de un parámetro secundario, para fines de la evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases. Se reporta una de las clases:

- A) Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- B) Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- C) Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.
- D) Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal construidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones construidos posteriormente a las estructuras principales y conectadas a ésta de modo deficiente.

Parámetro 11: Estado de Conservación:

Se reporta una de las clases:

- A) Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
- B) Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
- C) Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
- D) Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

Cálculos requeridos por los parámetros de naturaleza cuantitativa

Resistencia Convencional:

$$\tau_k = \frac{\sum \tau_i A_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

N: Número de pisos.

At: Área total cubierta en (m²).

Ax,y: Área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m²). El área resistente de los muros inclinados un ángulo α diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe multiplicar por $(\cos \alpha)^2$.

τ_k : Resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (Ton/m²). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de τ_k se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales τ_i , utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A_i de cada uno de ellos.

h: Altura media de los pisos en (m).

P_m : Peso específico de la mampostería en (Ton/m³).

P_s : Peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m²).

El coeficiente sísmico C, se define como el factor entre la fuerza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo y está dado por la expresión:

$$C = \frac{a_0 \tau_K}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1.5 a_0 \tau_K (1 + \gamma)}} \quad (3)$$

Donde:

$$A = \min \{A_x; A_y\}$$

$$B = \max \{A_x; A_y\}$$

$$a_0 = A / A_t$$

$$\gamma = B / A$$

$$q = \frac{(A + B)h}{A_t} P_m + P_s$$

El valor de “q” representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal, asumiendo que no existen variaciones excesivas de masa entre los diferentes pisos del edificio.

Finalmente, la atribución de este parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se hace por medio del factor $\alpha = C / \bar{C}$, en donde \bar{C} es un coeficiente sísmico de referencia que se toma como 0.4.

A) Edificio con $\alpha \geq 1$.

B) Edificio con $0.6 \leq \alpha < 1$.

C) Edificio con $0.4 \leq \alpha < 0.6$.

D) Edificio con $\alpha < 0.4$.

Configuración en planta

La asignación de este parámetro dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

A) Edificio con $\beta_1 \geq 0.8$ ó $\beta_2 \leq 0.1$.

B) Edificio con $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ ó $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$.

C) Edificio con $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ ó $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$.

D) Edificio con $0.4 > \beta_1$ ó $0.3 < \beta_2$.

Configuración en elevación

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

A) Edificio con $-\Delta M/M < 10\%$.

B) Superficie porche $< 10\%$ ó $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$.

C) Superficie porche $= 10\% \cong 20\%$ ó $-\Delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$.

D) Superficie porche $> 20\%$ ó $\Delta M/M > 0$ ó $T/H > 2/3$.

Distancia máxima entre los muros

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

A) Edificio con $L/S < 15$.

B) Edificio con $15 \leq L/S < 18$.

C) Edificio con $18 \leq L/S < 25$.

D) Edificio con $L/S \geq 25$.

Anexo 4: Formulario de vulnerabilidad

PARAMETRO		CLASE	ELEMENTO DE EVALUACIÓN	DATOS ADICIONALES
1 ORGANIZACION DEL SISTEMA RESISTENTE		<input type="checkbox"/>	Edificio con vigas y columnas de amarre en todos los pisos A Edificio con vigas en todos los pisos B Edificio que no presenta vigas en todos los pisos C Edificio con muros no ligados D	<div style="text-align: right; margin-bottom: 10px;"> </div> Región: Ancash Provincia: Bolognesi Distrito: Chiquián
2 CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE		<input type="checkbox"/>	Ladrillo de buena calidad <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Presencia de trabazon <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Mortero de buena calidad (1") <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	
3 RESISTENCIA CONVENCIONAL		<input type="checkbox"/>	Numero de pisos (N) <input type="text"/> Área en planta At <input type="text"/> Área de muros "X" Ax <input type="text"/> Área de muros "Y" Ay <input type="text"/> tk (ton/m ²) <input type="text"/> Altura promedio h (m) <input type="text"/>	
4 POSICION DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACION		<input type="checkbox"/>	Pendiente <input type="text"/> Roca <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Terreno Suelto <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Diferencia de cotas de fundación <input type="text"/>	
5 DIAFRAGMAS HORIZONTALES		<input type="checkbox"/>	Ausencia de planos a desnivel <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Deformabilidad despreciable <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Conexión diafragma-muro eficaz <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	
6 CONFIGURACION EN PLANTA		<input type="checkbox"/>	Relación $\beta_1 = a/l$ <input type="text"/> Relación $\beta_2 = b/l$ <input type="text"/>	
7 CONFIGURACION EN ELEVACION		<input type="checkbox"/>	Aumento (+) o Reduccion (-) de masa <input type="text"/> % T/H <input type="text"/> Piso Blando <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Irregularidad del sistema resistente <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	
8 DISTANCIA MAXIMA ENTRE MUROS		<input type="checkbox"/>	"L" espaciamiento muros transversales <input type="text"/> "S" espesor del muro maestro <input type="text"/> Factor L/S <input type="text"/>	
9 TIPO DE CUBIERTA		<input type="checkbox"/>	Edificio con cubierta plana y estable <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Edificio con cubierta parcialmente estable <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Edificio con cubierta inestable <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no Edificio con cubierta inestable, sin viga <input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	
10 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES		<input type="checkbox"/>	Sin elementos vinculados A,B Con elementos bien vinculados A,B Leves deficiencias en la conexión C Elementos mal vinculados D	
11 ESTADO DE CONSERVACION		<input type="checkbox"/>	Muros en buenas condiciones, sin lesiones visibles A Lesiones leves en muros B Muros con fisuras C Muros con fuerte deterioro D	

Fuente: Adaptado de Chavarría L. & Gómez P. (2001)



GEOSTRUCT
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES

Estudios de Mecánica de Suelos
Control de calidad en campo
Consultoría en Ingeniería Estructural
Laboratorio en Ingeniería Geotécnica

INDECOPI REGISTRO N° 00078368
ROC N° 10316289652 RNP: C7390 SO386686

Pág. 2 de 5

HOJA RESUMEN DE ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

PROYECTO: DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHICUAN

SOLICITANTE: TITO TINOCO MEYHUAY
LUGAR: CHICUAN-BOLOGNESI-ANCASH
FECHA: 12/01/2018

CALECATA N°:	C-01	
MUESTRA N°:	MAB 01	
PROFUND.(m):	1.00	
Porcentaje de material que pasa la malla de porcion de material < 3"	3"	100.00
	1 1/2"	100.00
	3/4"	100.00
	3/8"	96.80
	N°4	92.53
	N°8	87.33
	N°16	79.20
	N°30	70.00
	N°50	66.13
	N°100	64.00
N°200	62.53	
Coef. de Uniformidad Cu	--	
Coef. de Concavidad Cc	--	
Porcentaje de Material	Grava	7.47%
	Arena	30.00%
	Finos	62.53%
Mitad de Fraccion Gruesa	18.73%	
Límites de Consistencia	LL	31.34%
	LP	13.35%
	IP	17.99%
Contenido de Humedad Natural	9.78%	
Clasificación SUCS	CL	
Descripción	Arenas inorgánicas de baja plasticidad	



JUAN FRANCISCO VARRIETO PALMA
Ingeniero Civil
Reg. C.O.P.
Militaria en Ingeniería Estructural y Geotécnica



GEOSTRUCT
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES

Estudios de Mecánica de Suelos
Control de calidad en campo
Consultoría en Ingeniería Estructural
Consultoría en Ingeniería Geotécnica

INDECOP/REGISTRO N° 00078368
RUC N° 10316289652 RNP: C7390 SO388686

Pág 3 de 8

PROYECTO: DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHIQUIAN

SOLICITANTE: TITO TINOCO MEYHUAY
LUGAR: CHIQUIAN-BOLOGNESI-ANCASH
CALCATA N°: C-01
MUESTRA N°: MAB-01
PROFUND.(m): 1.00
FECHA: 12/01/2018

CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM D 2216 NTP 338.127

Recipiente N°	4	6
Peso Húmedo + Recipiente (gr)	97.30	99.10
Peso Seco + Recipiente (gr)	92.60	93.40
Peso recipiente (gr)	39.20	40.40
Peso del agua (gr)	4.70	5.70
Peso Suelo Seco (gr)	53.40	53.00
Contenido de Humedad (%)	8.80	10.75
Humedad Promedio (%)	9.78	





GEOSTRUCT
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES

Estudios de Mecánica de Suelos
Control de calidad en campo
Consultoría en Ingeniería Estructural
Consultoría en Ingeniería Geotécnica

INDECOPI REGISTRO N° 00078368
RUC N° 10316289652 RNP: C7390 SO386686

Fig 4 de 8

PROYECTO: DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHILQUAN

SOLICITANTE: TITO TINOCO MEYHUAY
LUGAR: CHILQUAN-BOLOGNESI-ANCASH
CALCATA N°: C-01
MUESTRA N°: MMS 01
PROFUND. (m): 1.00
FECHA: 12/01/2018

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D422 NTP 330.126

PESO INICIAL SECO (gr): 750.00 % Pasa N° 200: 62.53
PESO LAVADO SECO (gr): 281.00 % Peso Retenido 3" (gr): 0.00

TAMIZ ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	24.00	3.20	3.20	96.80
Nº4	4.750	32.00	4.27	7.47	92.53
Nº8	2.360	39.00	5.20	12.67	87.33
Nº16	1.180	61.00	8.13	20.80	79.20
Nº30	0.590	69.00	9.20	30.00	70.00
Nº50	0.295	29.00	3.87	33.87	66.13
Nº100	0.148	16.00	2.13	36.00	64.00
Nº200	0.074	11.00	1.47	37.47	62.53
<Nº200	0.000	0.00	0.00	37.47	62.53
TOTAL		281.00			



Gravas (%) :	7.47	Arena (%) :	30.00	Finos (%) :	62.53
--------------	------	-------------	-------	-------------	-------

D10 (mm) :	--	D30 (mm) :	--	D60 (mm) :	--
Coef. Unif. (Cu) :	--			Coef. Conc. (Cc) :	--



ING. CARLOS ARRIETO PALMA
Ingeniero Civil
N° 47261
Matrícula en Ingeniería
Estructural y Geotécnica

ALCANTARA, J. J. J. J.

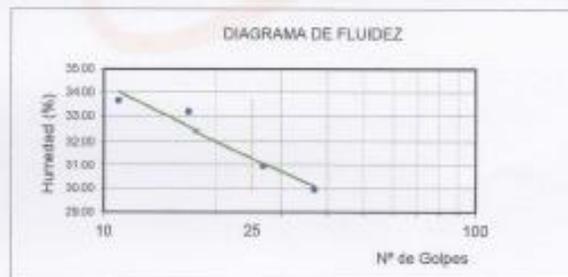


PROYECTO: DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHILQUAN

SOLICITANTE: TITO TINOCO MEYHLAY
LUGAR: CHILQUAN-BOLOGNESI-ANCASH
CALICATA N°: C-01
MUESTRA N°: MAS 01
PROFUND (m): 1.00
FECHA: 12/01/2018

LIMITES DE CONSISTENCIA
DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO ASTM D 4318 NTP 339.129

N° de golpes	11	17	27	37
Peso frasco + Peso suelo Húmedo (gr)	39.20	40.10	42.00	41.30
Peso frasco + Peso suelo seco (gr)	32.10	33.10	35.00	34.50
Peso frasco (gr)	11.00	12.00	12.40	11.80
Peso del agua (gr)	7.50	7.00	7.00	6.80
Peso Suelo Seco (gr)	21.10	21.10	22.60	22.70
Contenido de Humedad (%)	35.65	33.18	30.97	29.96



DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO ASTM D 4318 NTP 339.129

Peso frasco + Peso suelo Húmedo (gr)	24.00	25.20	26.30
Peso frasco + Peso suelo seco (gr)	22.91	23.90	24.80
Peso frasco (gr)	14.00	14.20	14.40
Peso del agua (gr)	1.09	1.30	1.50
Peso Suelo Seco (gr)	8.91	9.70	10.40
Contenido de Humedad (%)	12.23	13.40	14.42

Límite Líquido (L.L.):	31.34
Límite Plástico (L.P.):	13.35
Índice de Plasticidad (I.P.):	17.99



JOHN FRAVILLO SUAREZ PALMA
Ingeniero Civil
Magister en Ingeniería
Estructural y Geotécnica



PROYECTO: DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHIOJAN

SOLICITANTE: TITO TINOCO MEYHUAY

LUGAR: CHIOJAN-BOLGONESI-ANCASH

CALICATA N°: C-01

MUESTRA N°: MAB 01

PROFUND (m): 1.00

FECHA: 12/01/2018

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D3080-2004

Esfuerzo Normal (Kg/Cm ²)	0.50 Kg/Cm ²		1.00 Kg/Cm ²		2.00 Kg/Cm ²	
	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.	Resis.	Resid.
Elonga	0.47961	0.08483	0.82028	0.11339	01.63950	0.13950
Esfuerzo Cortante (Kg/Cm ²)	09.40000	10.17000	09.15800	10.56600	58.02200	10.01800
Fuerza Cortante (Kg)	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.07000	0.07180
Cohesión	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	25.94790	02.00270
Ángulo Fricción (°)	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000		

N°	0.50 Kg/Cm ²			1.00 Kg/Cm ²			2.00 Kg/Cm ²		
	Defor. (%)	Est. Cort. (Kg/Cm ²)	Est. Norm. (Kg/Cm ²)	Defor. (%)	Est. Cort. (Kg/Cm ²)	Est. Norm. (Kg/Cm ²)	Defor. (%)	Est. Cort. (Kg/Cm ²)	Est. Norm. (Kg/Cm ²)
01	0.05000	0.06483	0.00000	0.05000	0.11339	0.00000	0.05000	0.13950	0.00000
02	0.45000	0.26250	0.00200	0.45000	0.44850	0.00200	0.45000	0.73342	0.00000
03	0.85000	0.36744	0.00500	0.85000	0.57172	0.00400	0.85000	0.93761	0.00000
04	01.25000	0.41789	0.01000	01.25000	0.64678	0.00600	01.25000	01.08022	0.00200
05	01.65000	0.44892	0.01400	01.65000	0.69739	0.01000	01.65000	01.19133	0.00200
06	02.05000	0.46783	0.01800	02.05000	0.73233	0.01200	02.05000	01.28322	0.00400
07	02.45000	0.47594	0.02400	02.45000	0.75739	0.01600	02.45000	01.35739	0.00600
08	02.85000	0.47856	0.02800	02.85000	0.77939	0.01800	02.85000	01.42431	0.00800
09	03.25000	0.46189	0.03000	03.25000	0.79544	0.02000	03.25000	01.47844	0.00800
10	03.65000	0.45633	0.03400	03.65000	0.80722	0.02400	03.65000	01.52167	0.01000
11	04.05000	0.44828	0.03800	04.05000	0.81472	0.02600	04.05000	01.55292	0.01200
12	04.45000	0.44111	0.04000	04.45000	0.81933	0.02800	04.45000	01.58572	0.01400
13	04.85000	0.43279	0.04400	04.85000	0.81633	0.03200	04.85000	01.60322	0.01400
14	05.25000	0.43183	0.04600	05.25000	0.81611	0.03400	05.25000	01.61529	0.01600
15	05.65000	0.43133	0.04800	05.65000	0.81189	0.03600	05.65000	01.62850	0.01800
16	06.05000	0.44061	0.05200	06.05000	0.81283	0.03800	06.05000	01.63300	0.02000
17	06.45000	0.39422	0.05200	06.45000	0.81278	0.04000	06.45000	01.63831	0.02000
18	06.85000	0.39525	0.05400	06.85000	0.80678	0.04200	06.85000	01.63944	0.02000
19	07.25000	0.39183	0.05600	07.25000	0.81181	0.04400	07.25000	01.63534	0.02400





GEOSTRUCT
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES

Estudios de Mecánica de Suelos
Control de calidad en campo
Consultoría en Ingeniería Estructural
Consultoría en Ingeniería Geotécnica

INDECOPI REGISTRO N° 00078368
RUC N° 10316289652 RNP: C7390 SO386686

Pag. 7 de 8

PROYECTO: DETERMINACION DE LA VULNERABILIDAD SISMICA DE LAS EDIFICACIONES DE LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE CHICLIAN

SOLICITANTE: TITO TINOCO MEYHUAY

LUGAR: CHICLIAN BOLOGNESI-ANCASH

CALICATA N°: C-01

MUESTRA N°: MAB 01

PROFUND.(m): 1.00

FECHA: 12/01/2018

20	07.65000	0.39193	0.06600	07.25000	0.81181	0.04400	07.25000	01.63811	0.02400
21	08.05000	0.40189	0.06800	07.65000	0.79603	0.04600	07.65000	01.63583	0.02400
22	08.45000	0.39536	0.05800	08.05000	0.79306	0.04800	08.05000	01.62906	0.02600
23	08.85000	0.38806	0.06000	08.45000	0.79100	0.04900	08.45000	01.62956	0.02600
24	09.25000	0.38928	0.05000	08.85000	0.78483	0.05000	08.85000	01.63089	0.02800
25	09.65000	0.38754	0.05200	09.25000	0.77944	0.05000	09.25000	01.63483	0.02800
26	10.05000	0.38599	0.05200	09.65000	0.77933	0.05200	09.65000	01.63436	0.03000
27	10.45000	0.38997	0.05400	10.05000	0.77336	0.05200	10.05000	01.62672	0.03000
28	10.85000	0.38866	0.05400	10.45000	0.77167	0.05200	10.45000	01.62606	0.03000
29	11.25000	0.38028	0.06600	10.85000	0.76433	0.05200	10.85000	01.61950	0.03200
30	11.65000	0.38129	0.06900	11.25000	0.76261	0.05200	11.25000	01.61072	0.03200
31	12.05000	0.37800	0.06600	11.65000	0.76679	0.05200	11.65000	01.60933	0.03200
32	12.45000	0.37566	0.06800	12.05000	0.76864	0.05200	12.05000	01.60378	0.03400
33	12.85000	0.37961	0.06800	12.45000	0.76339	0.05200	12.45000	01.59106	0.03400
34	13.25000	0.37989	0.06800	12.85000	0.76361	0.05200	12.85000	01.58400	0.03400
35	13.65000	0.38147	0.06800	13.25000	0.76611	0.05200	13.25000	01.57106	0.03400
36	14.05000	0.38189	0.06800	13.65000	0.76730	0.05000	13.65000	01.55589	0.03400
37	14.45000	0.38844	0.06800	14.05000	0.77061	0.05000	14.05000	01.55981	0.03400
38	14.85000	0.38636	0.06800	14.45000	0.76972	0.05000	14.45000	01.55822	0.03400
39	15.25000	0.38196	0.07000	14.85000	0.77189	0.05000	14.85000	01.54881	0.03400
40	15.65000	0.37878	0.07000	15.25000	0.77222	0.05000	15.25000	01.53783	0.03400
41	16.05000	0.37722	0.07000	15.65000	0.77344	0.05000	15.65000	01.54250	0.03400
42	16.45000	0.38411	0.07000	16.05000	0.77206	0.05000	16.05000	01.53650	0.03200
43	16.85000	0.37683	0.07200	16.45000	0.76767	0.05000	16.45000	01.53453	0.03200
44	17.25000	0.37487	0.07200	16.85000	0.77163	0.04800	16.85000	01.52972	0.03200
45	17.65000	0.37983	0.07200	17.25000	0.77181	0.04800	17.25000	01.52828	0.03200
46	18.05000	0.37586	0.07000	17.65000	0.77328	0.04600	17.65000	01.52222	0.03200
47	18.45000	0.37481	0.07000	18.05000	0.77022	0.04600	18.05000	01.52378	0.03200
48	18.85000	0.37217	0.07000	18.45000	0.76950	0.04600	18.45000	01.50717	0.03200
49	19.25000	0.37178	0.07000	18.85000	0.77217	0.04600	18.85000	01.50600	0.03200
50	19.65000	0.37278	0.07000	19.25000	0.77311	0.04600	19.25000	01.50872	0.03200



GEOSTRUCT

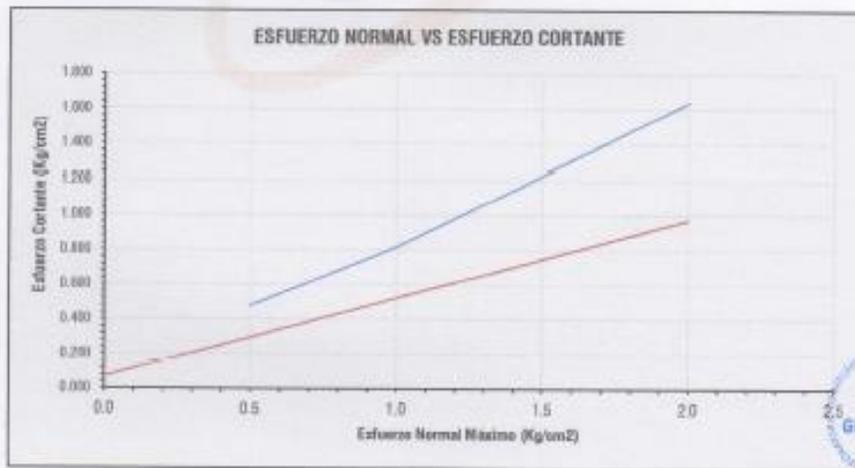
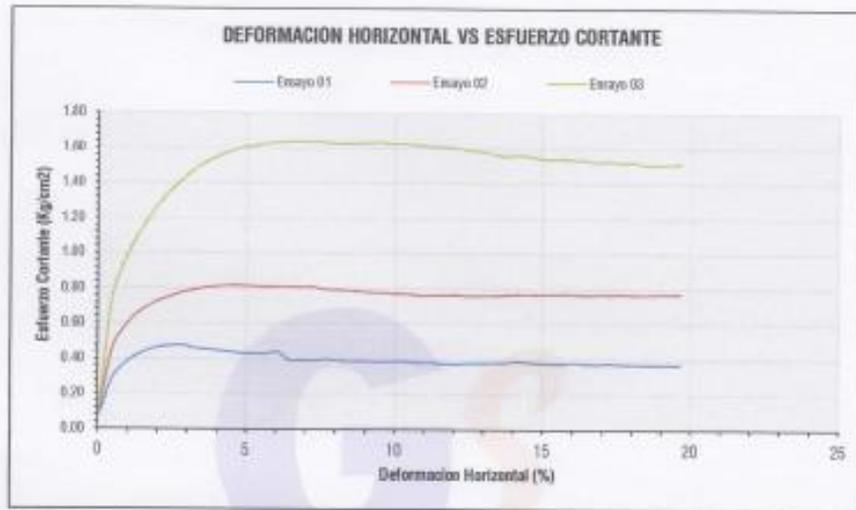


GEOSTRUCT
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES

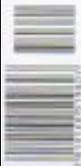
Estudios de Mecánica de Suelos
Control de calidad en campo
Consultoría en Ingeniería Estructural
Consultoría en Ingeniería Geotécnica

INDECOPI REGISTRO N° 00078368
RUC N° 10316289652 RNP: C7390 50386686

Pag 8 de 8



C:	0.07	6	25.85°
----	------	---	--------



GEOSTRUCT
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 17285
Especialista en Ingeniería Estructural y Geotécnica

01/11/2018 10:11:11

Excavación para la obtención de la muestra N°01



Obtención de la muestra N°01



Excavación para la obtención de la muestra N°02



Obtención de la muestra N°02



FOTOGRAFIA N° 05

Excavación para la obtención de la muestra N°03



FOTOGRAFIA N° 06

Obtención de la muestra N°04



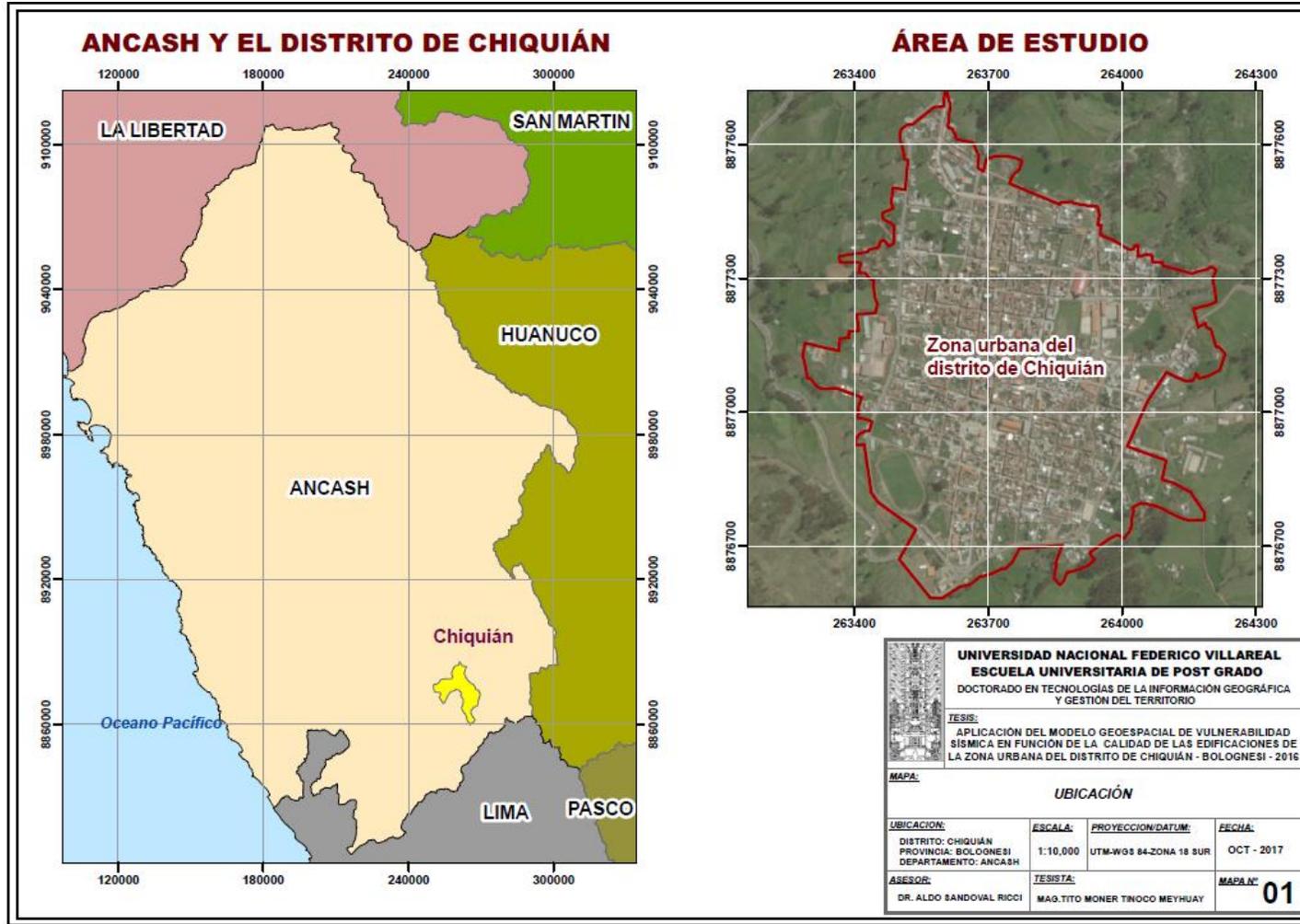
Anexo 6: Ecuaciones del Id para diferentes Iv

Id normalizado	ECUACIÓN ÍNDICE DE DAÑO
100	Id = 8.6154 *(a/g) - 0.1231
90	Id = 7.6712 *(a/g) - 0.1371
80	Id = 6.7470 *(a/g) - 0.1325
70	Id = 5.8947 *(a/g) - 0.1368
60	Id = 5.1376 *(a/g) - 0.1376
50	Id = 4.5161 *(a/g) - 0.1452
40	Id = 3.8356 *(a/g) - 0.1301
30	Id = 3.2845 *(a/g) - 0.1261
20	Id = 2.7861 *(a/g) - 0.1194
10	Id = 2.4086 *(a/g) - 0.1226
0	Id = 2.0786 *(a/g) - 0.1188

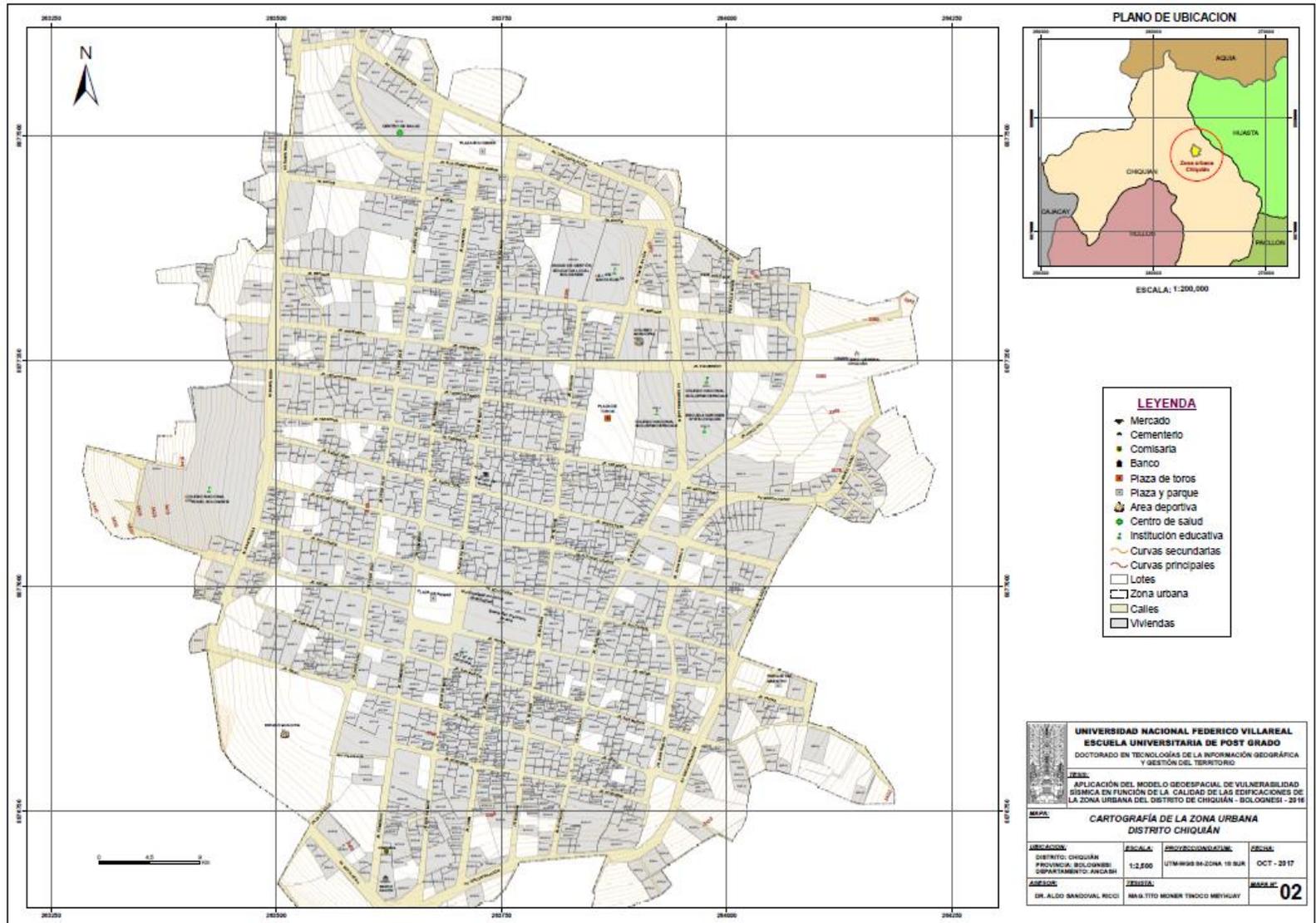
Fuente: Marín G (2012)

Anexo 7. Mapas temáticos

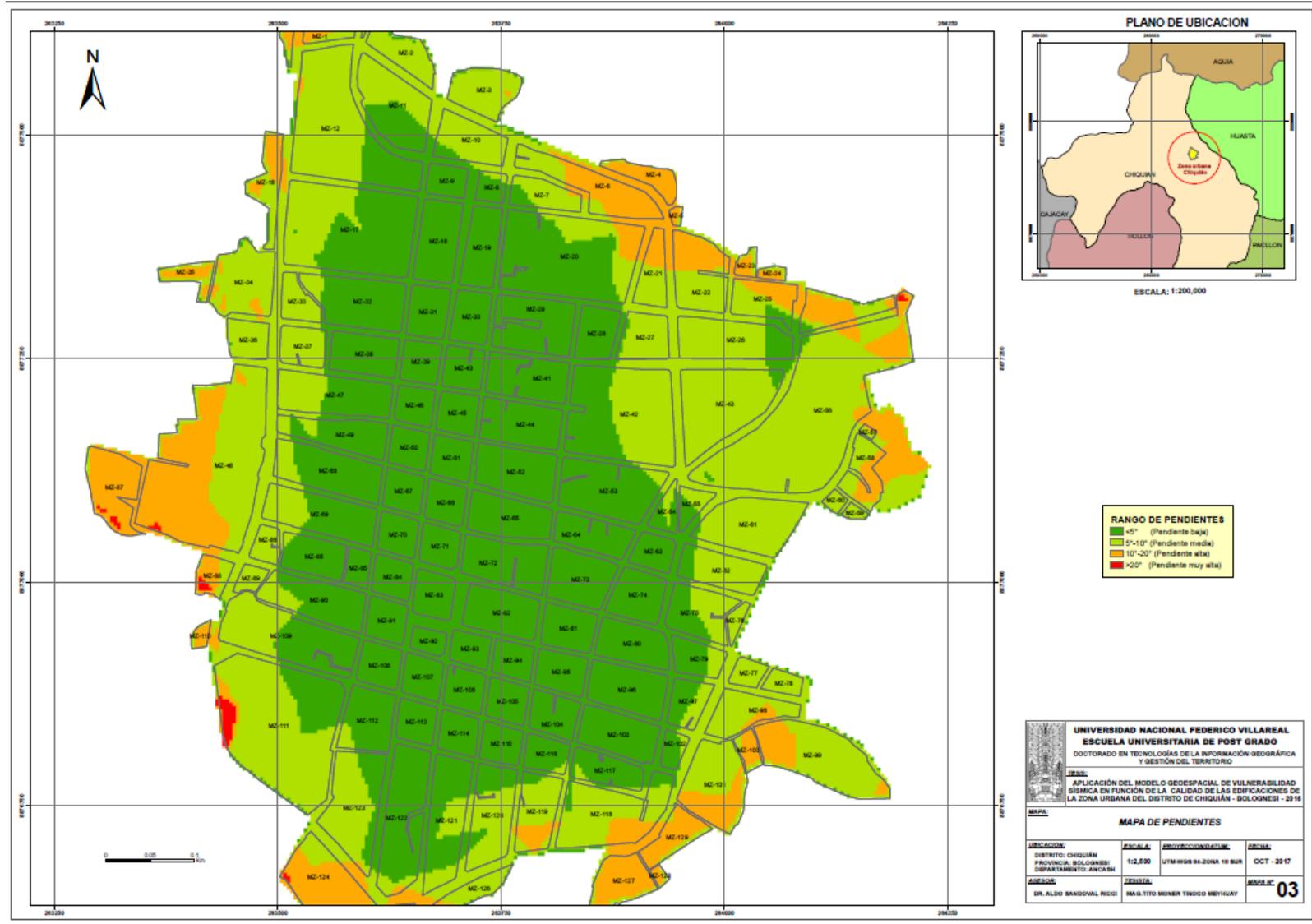
Mapa 1. Ubicación



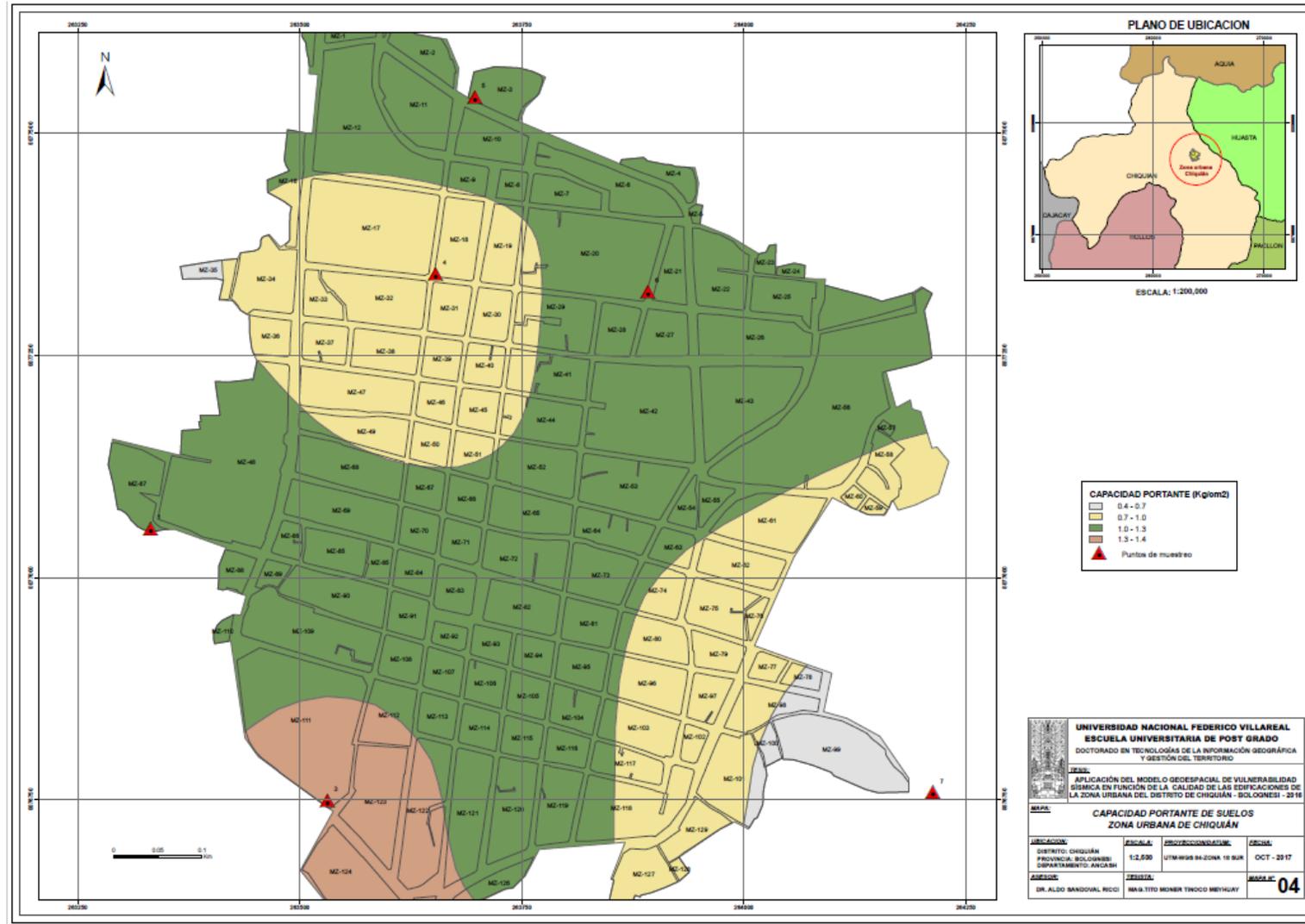
Mapa 2. Cartografía de la zona urbana del distrito de Chiquián



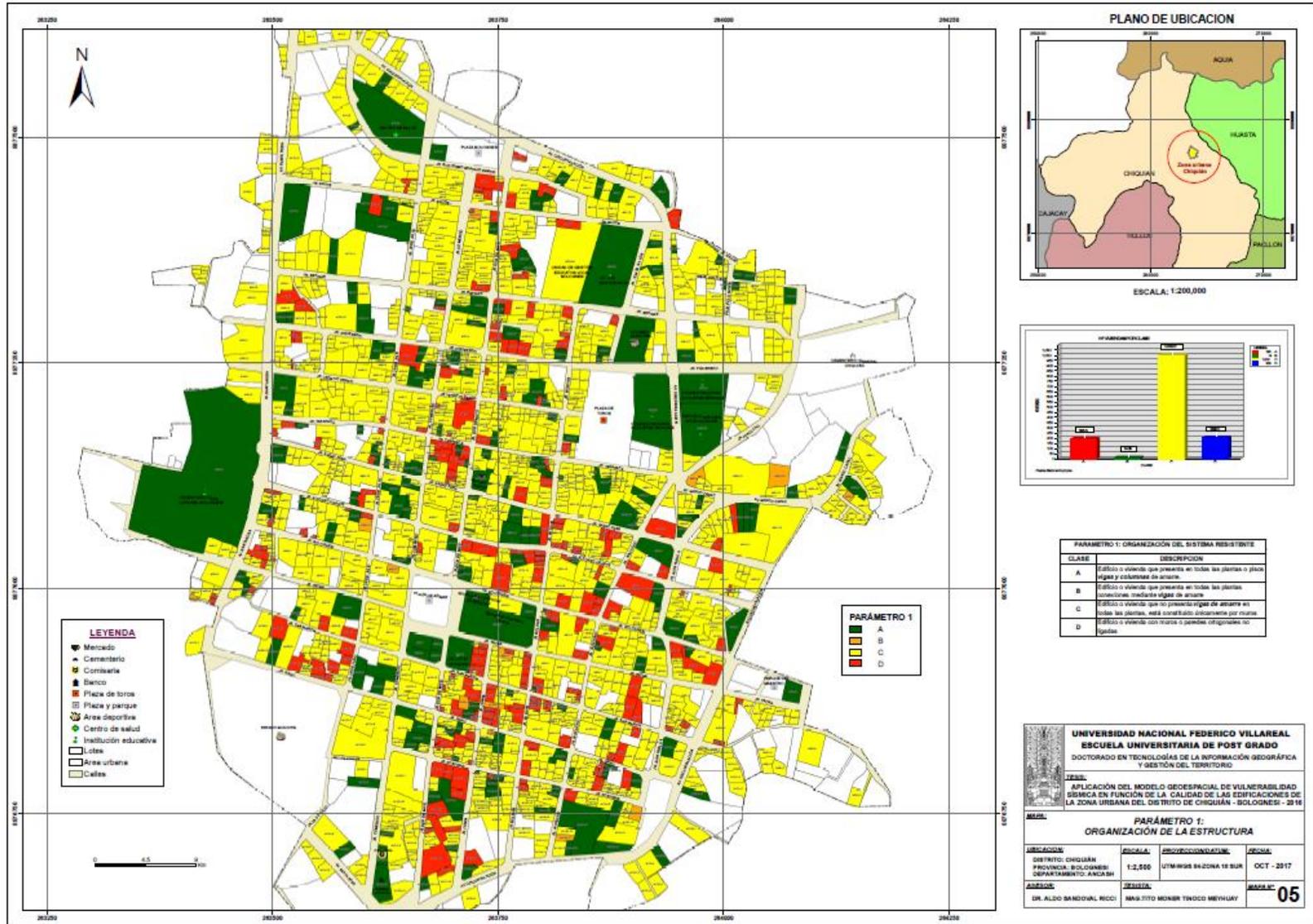
Mapa 3. Pendientes



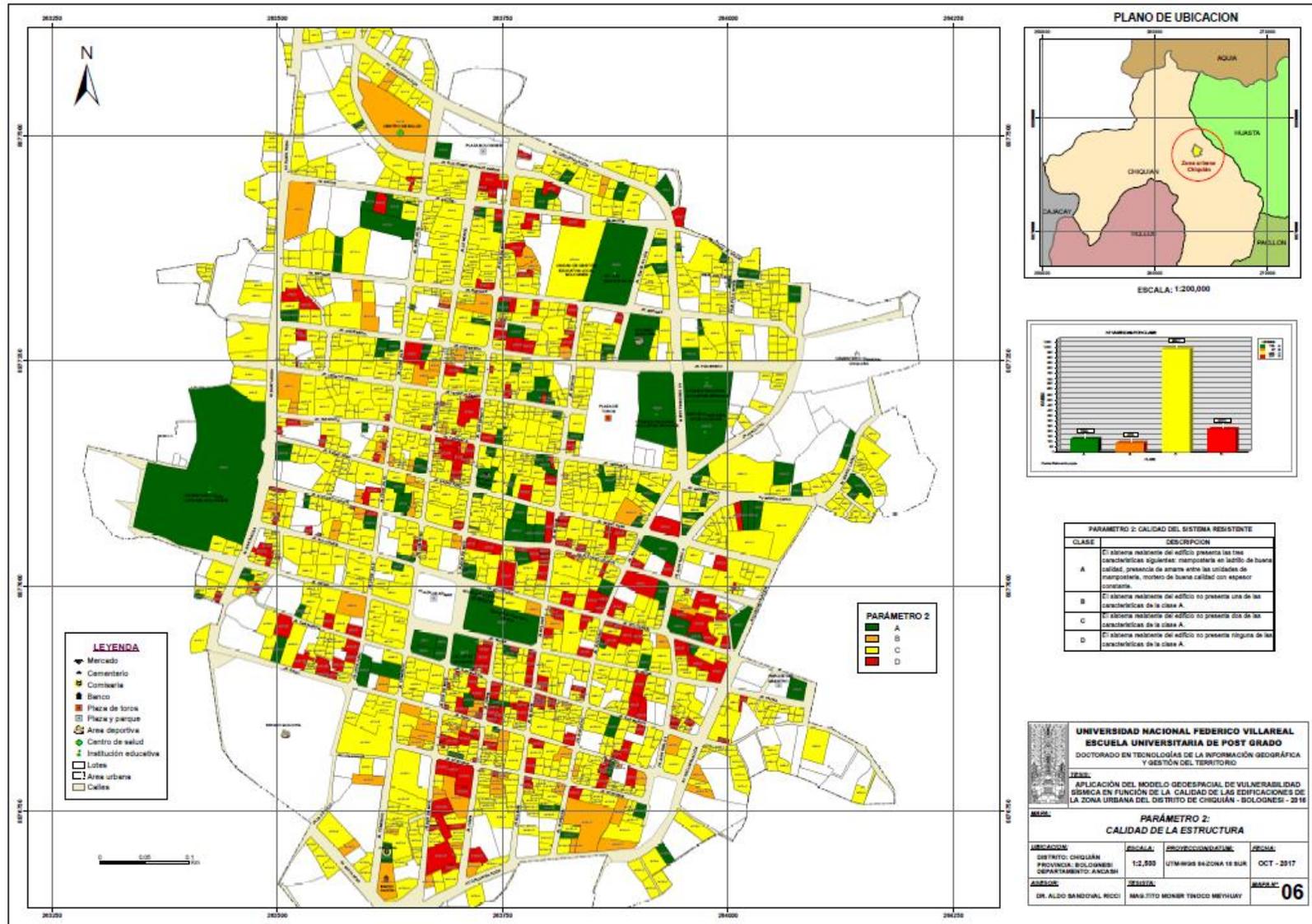
Mapa 4. Capacidad portante de suelos zona urbana de Chiquián



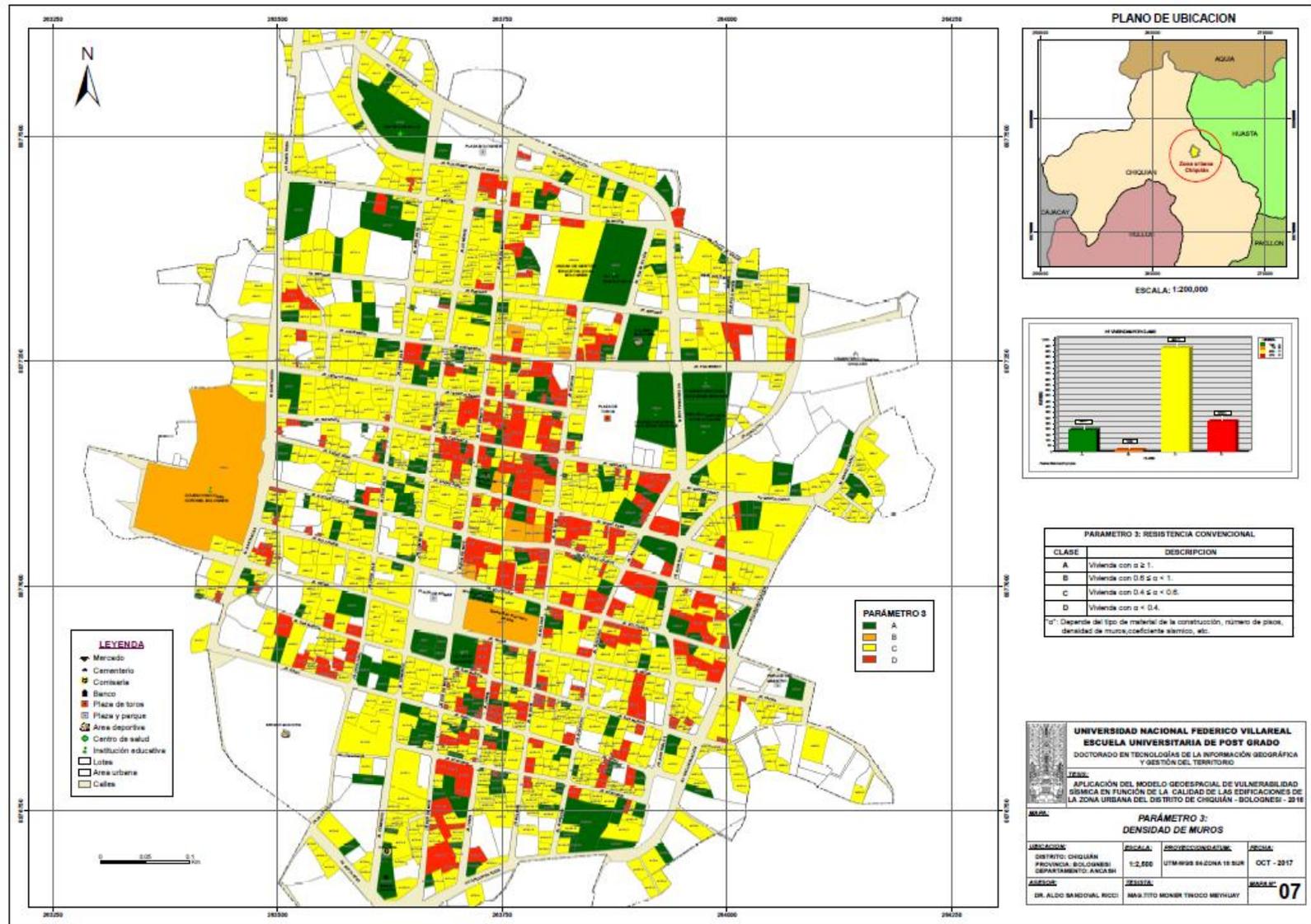
Mapa 5. Parámetro 1: Organización de la estructura



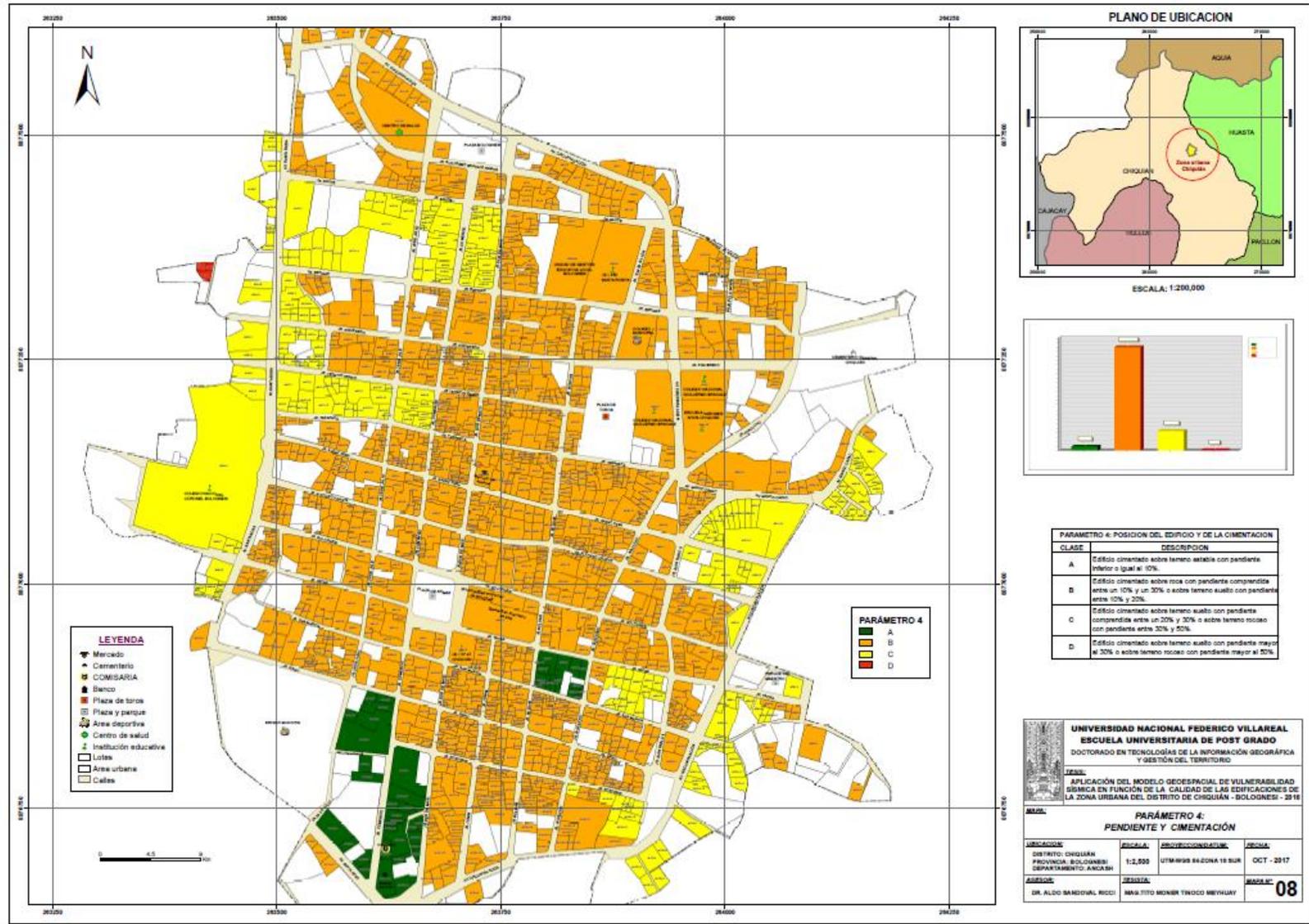
Mapa 6. Parámetro 2: Calidad de la estructura



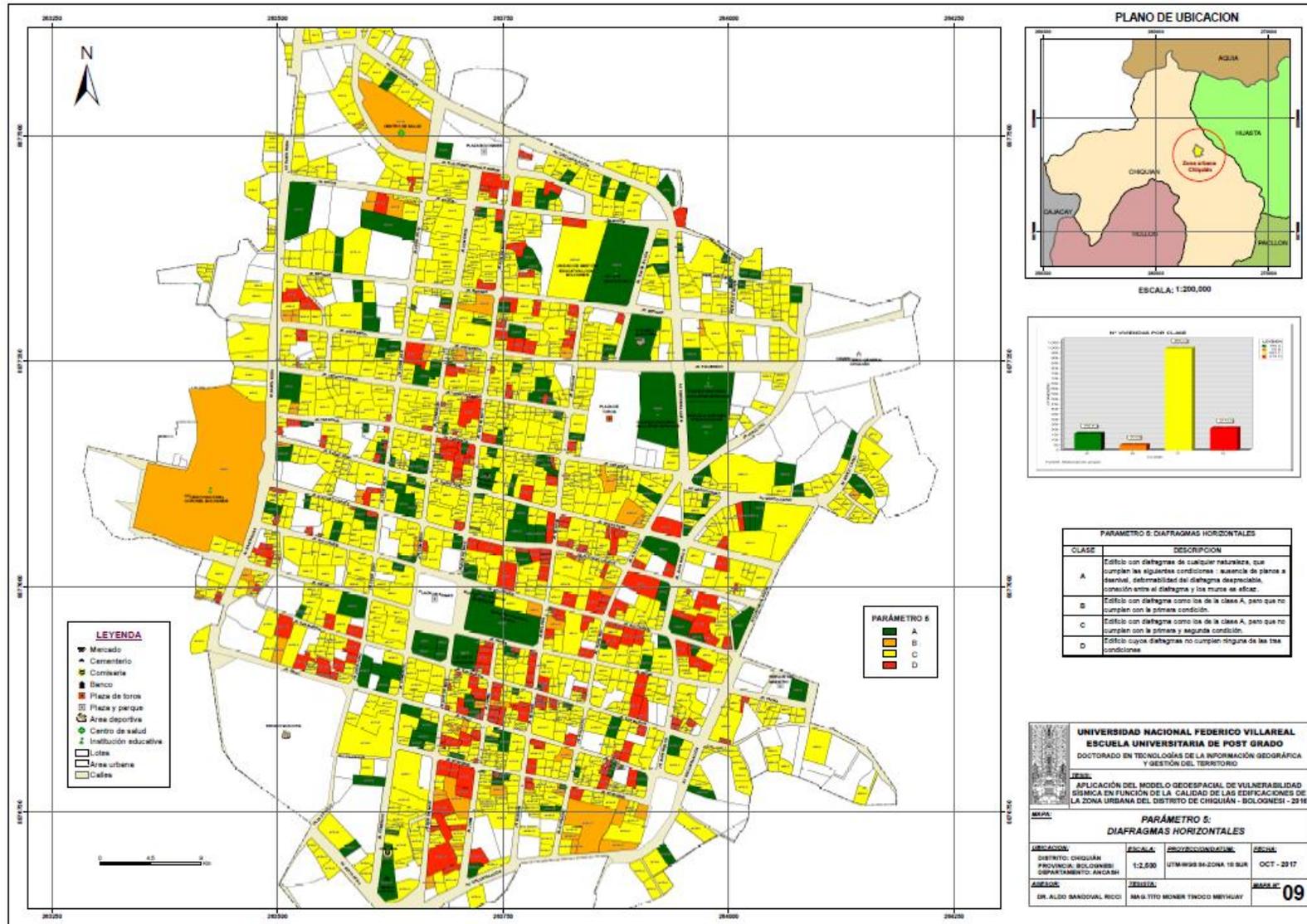
Mapa 7. Parámetro 3: Densidad de muros



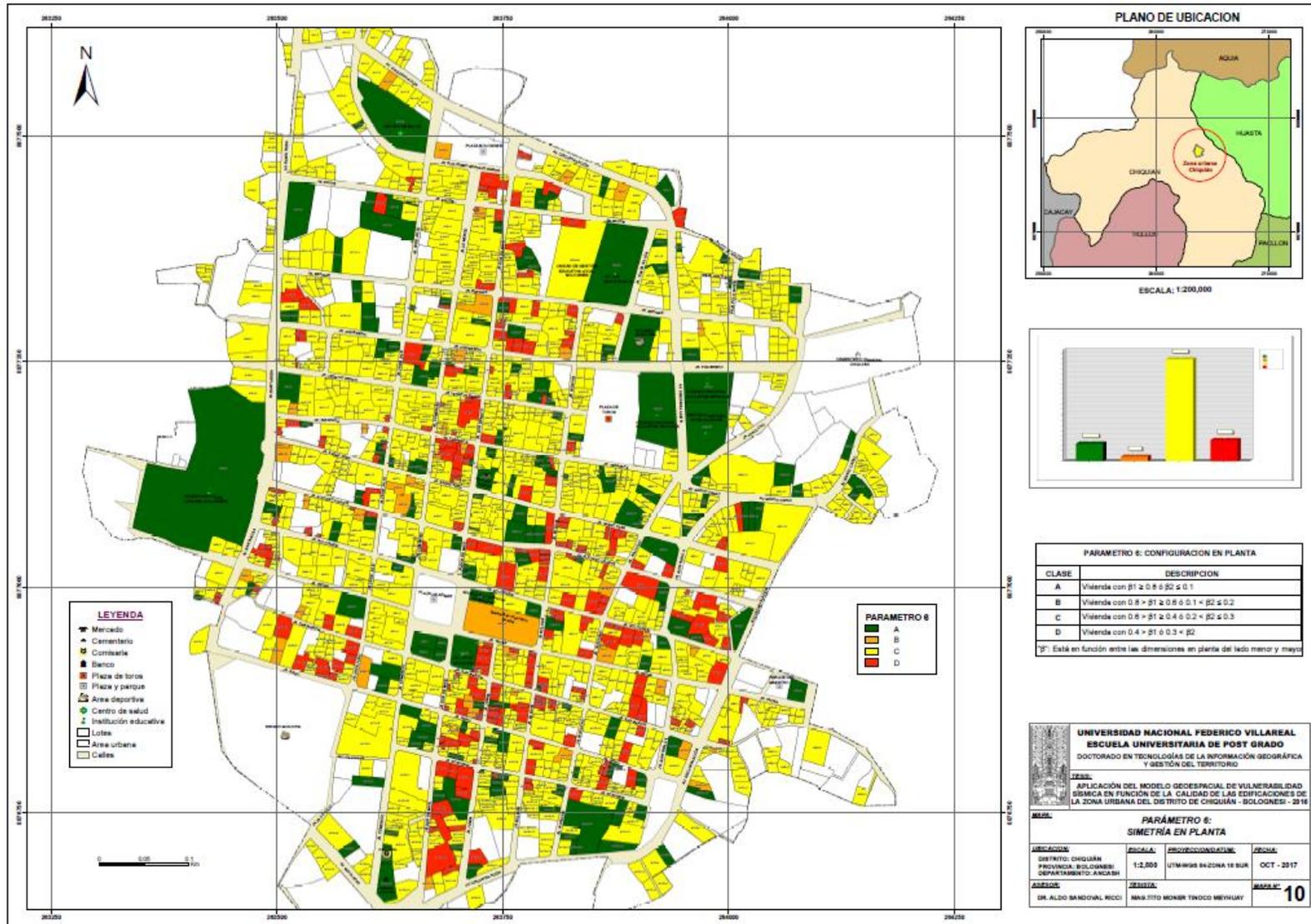
Mapa 8. Parámetro 4: Pendiente y cimentación



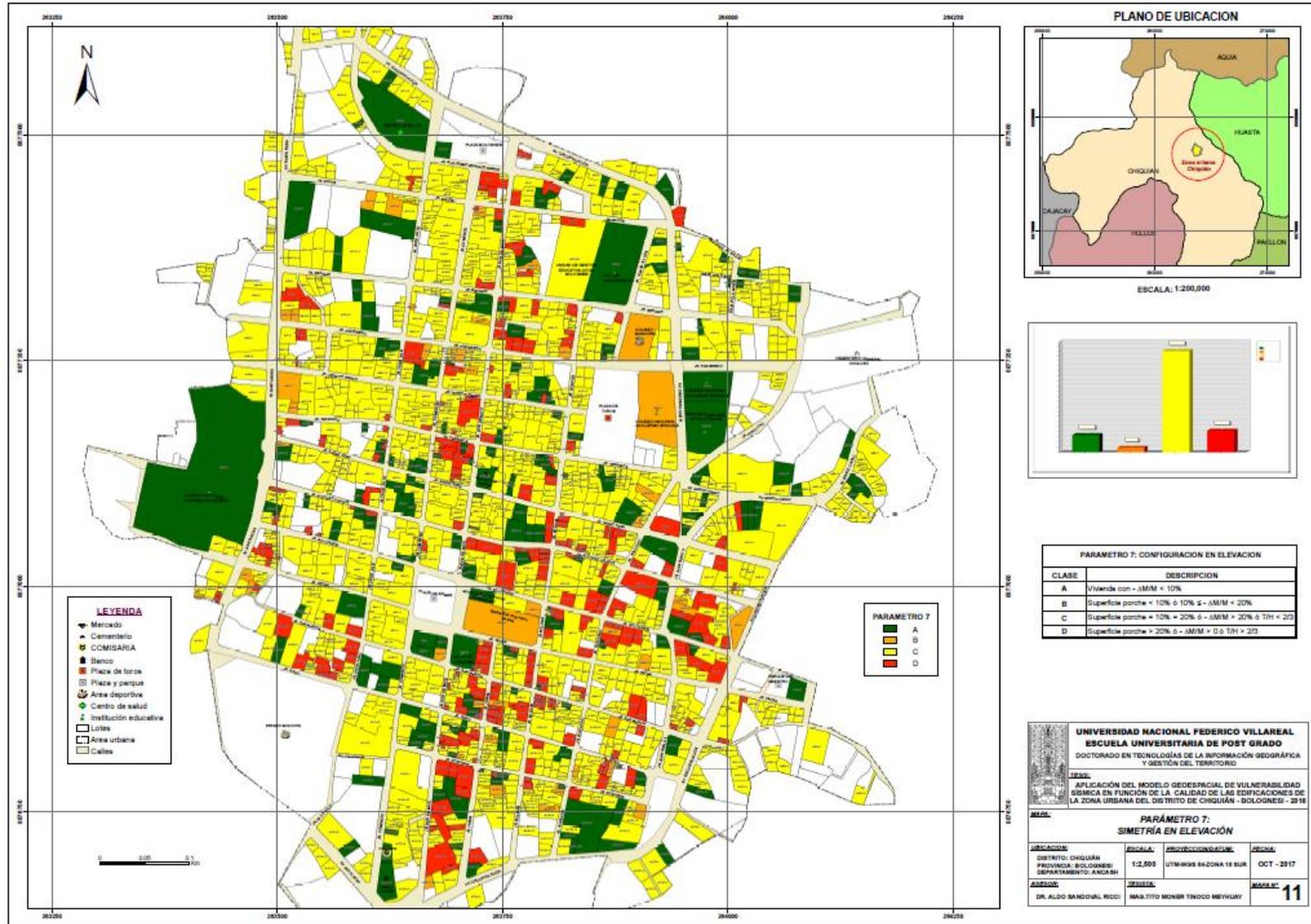
Mapa 9. Parámetro 5: Diafragmas horizontales



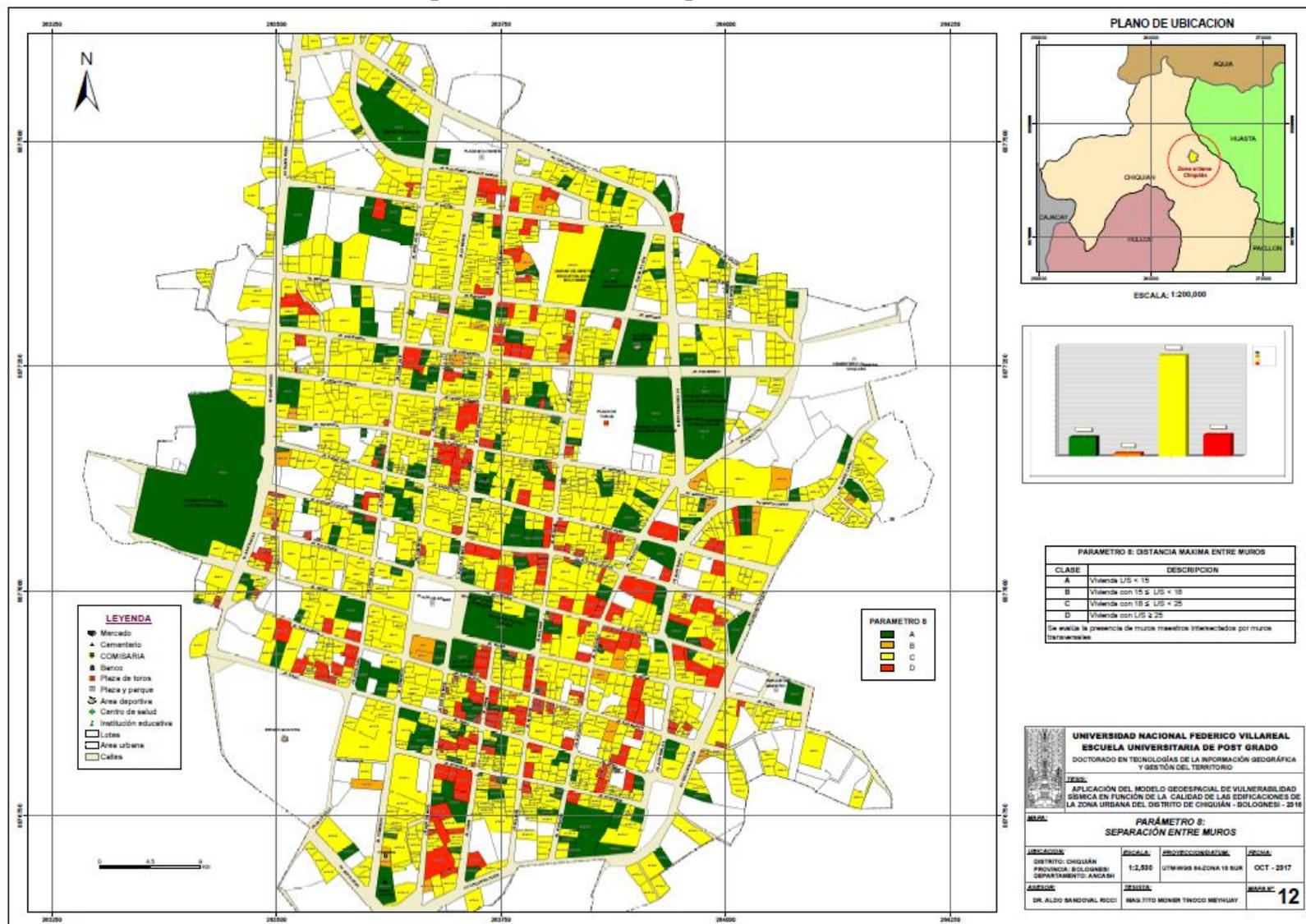
Mapa 10. Parámetro 6: Simetría en planta



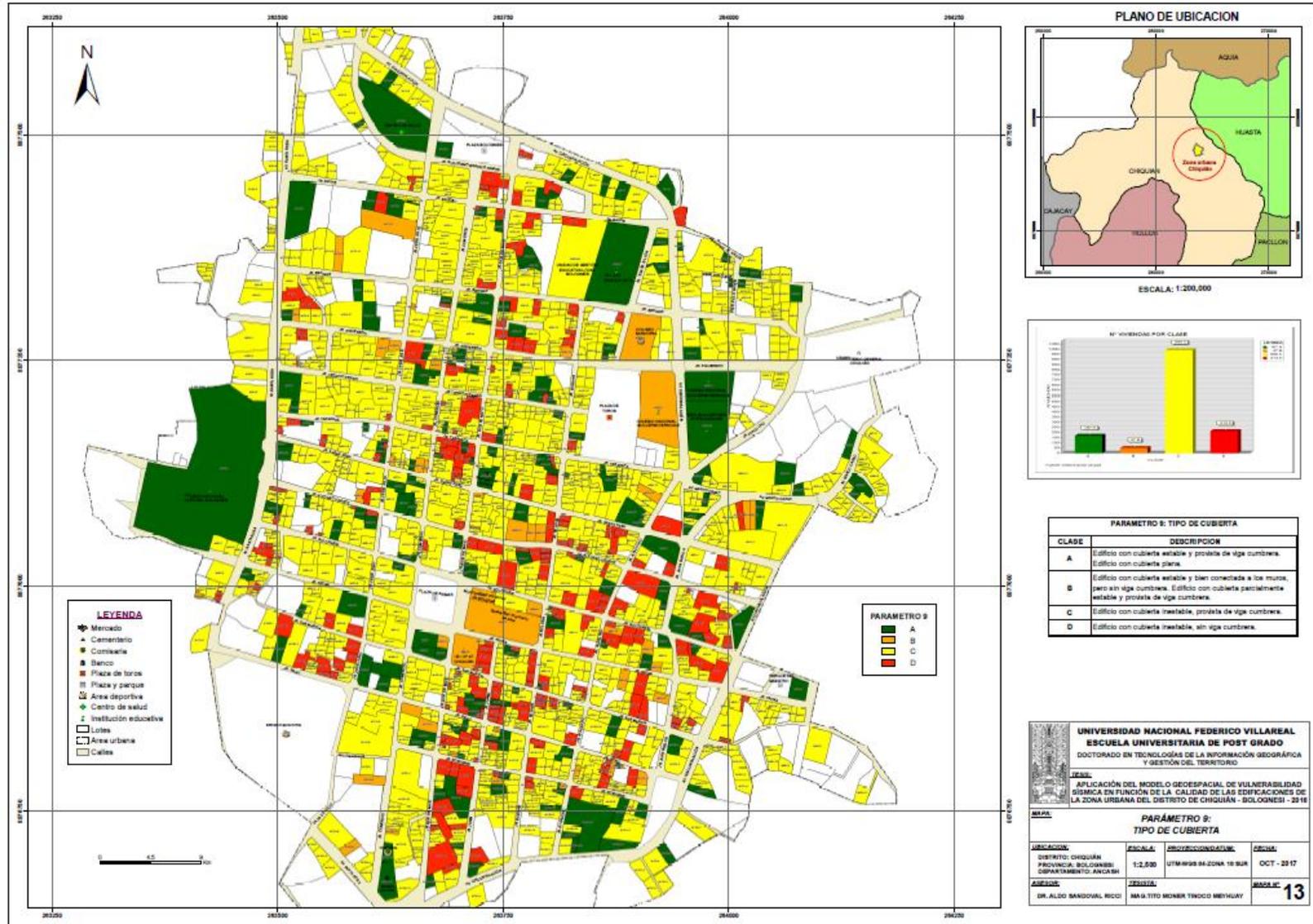
Mapa 11. Parámetro 7: Simetría en elevación



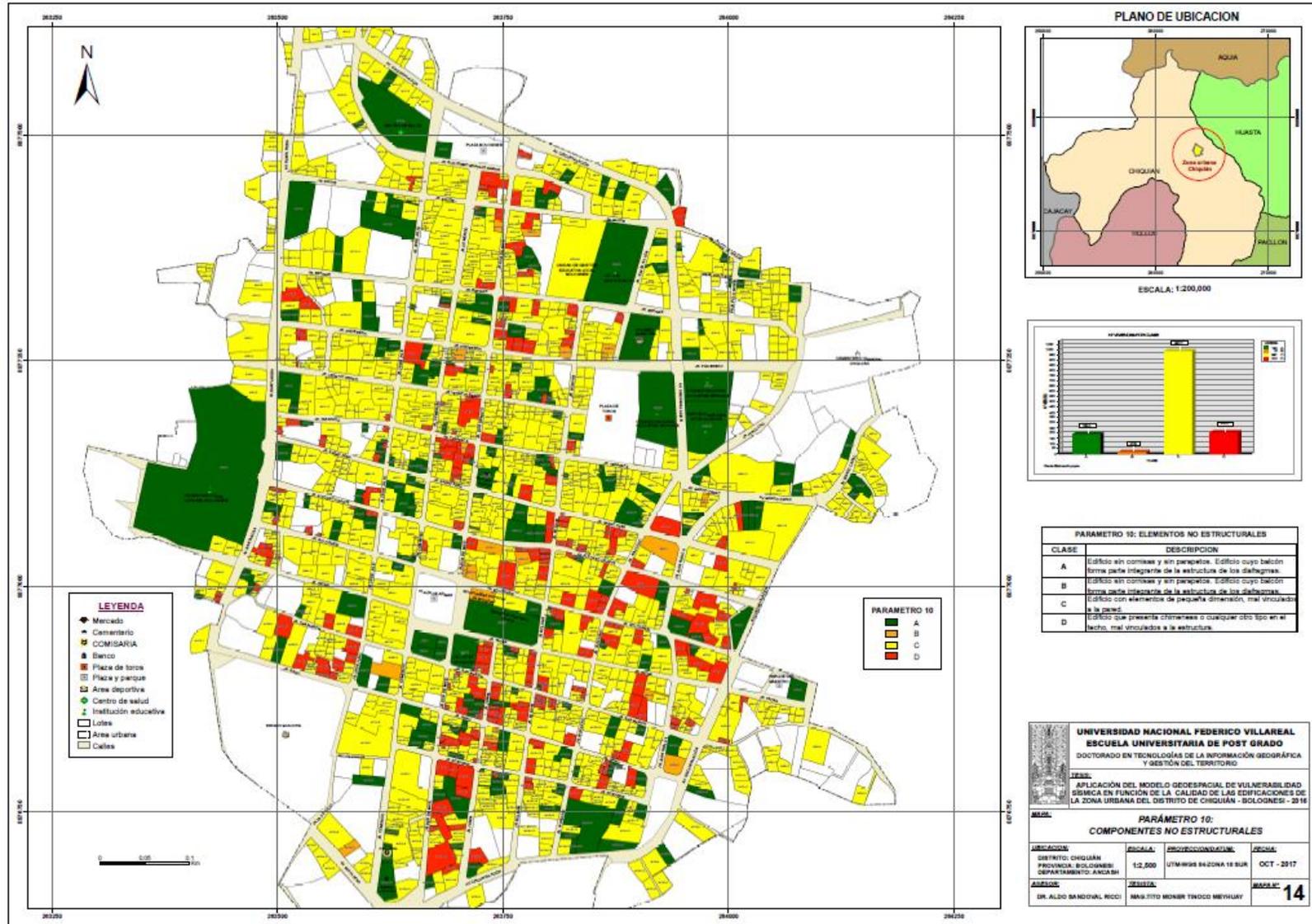
Mapa 12. Parámetro 8: Separación entre muros



Mapa 13. Parámetro 9: Tipo de cubierta



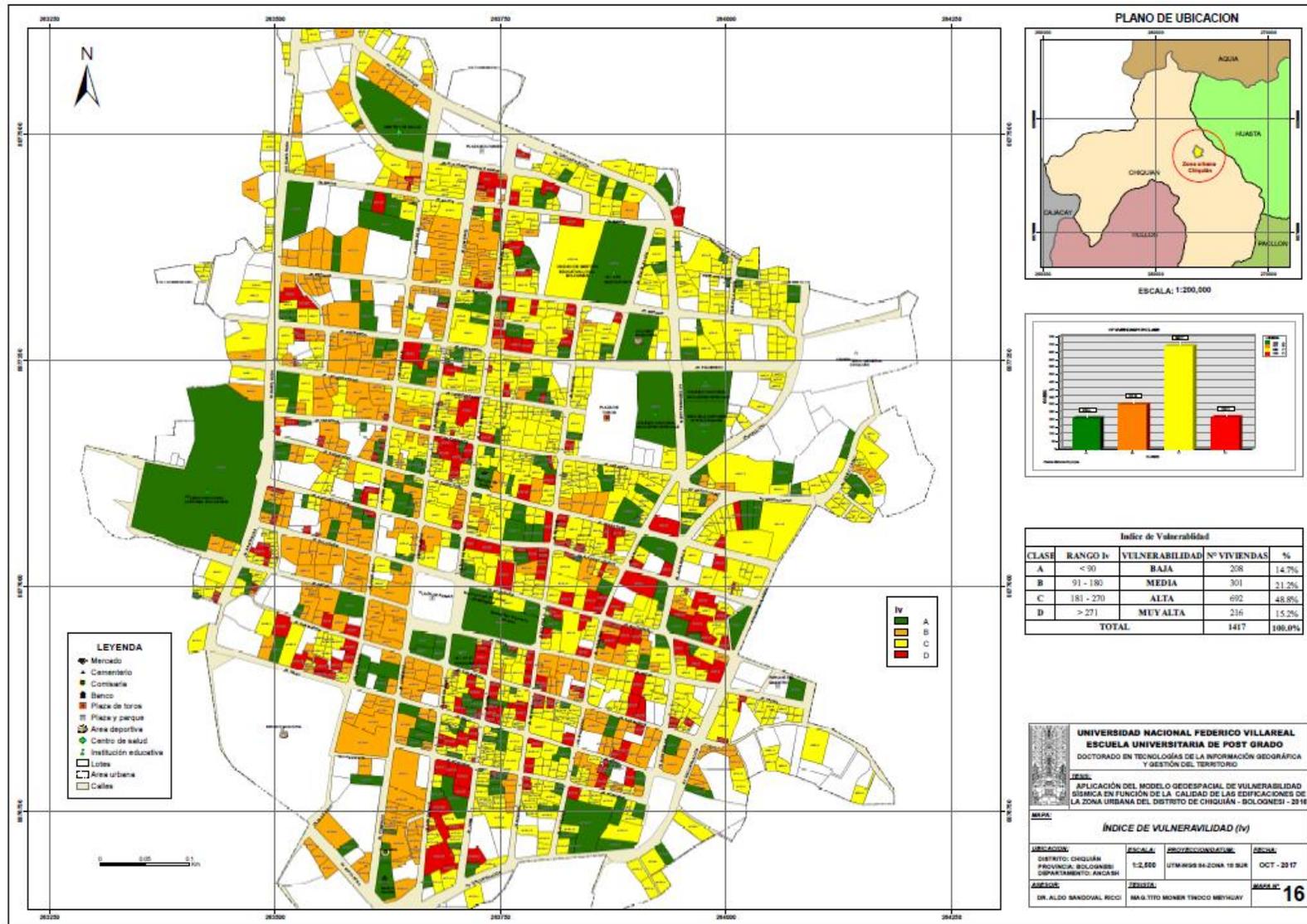
Mapa 14. Parámetro 10: Componentes no estructurales



Mapa 15. Parámetro 11: Antigüedad y conservación



Mapa 16. Índice de vulnerabilidad



Mapa 17. Índice de daños

