

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis de vulneración sísmica de viviendas informales en la urb.

San Luis Bajo de la ciudad de Abancay-Apurímac-2025

Asesor:

MSc. Maldonado Mendívil, Ángel

Autor:

Caillahua Chávez, Saturnino

Para optar el Título Profesional:

Ingeniero Civil

Abancay-Apurímac-Perú

2026

+Acta de sustentación



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°. 019

En la ciudad de Abancay, a los **veintidos días** del mes de **mayo del 2026**, siendo las **11:00 am** horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0294-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de fecha **19 de mayo del 2026**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. ROLDAN JUÁREZ Américo
Dictaminante :	Mag. Ing. LEGUIA VALVERDE Willy Silvestre
Replicante :	Mag. HERRERA PONCE Veriosca

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

“Análisis de vulneración sísmica de viviendas informales en la urb. San Luis Bajo de la ciudad de Abancay-Apurímac, 2025”.

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: CAILLAHUA CHAVEZ, Saturnino

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) **APROBADO (S)**:

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
CAILLAHUA CHAVEZ, Saturnino	Aprobado

Siendo las **12:30 pm** horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. ROLDAN JUÁREZ Américo

(.....)

Dictaminante: Mag. Ing. LEGUIA VALVERDE Willy Silvestre

(.....)

Replicante: Mag. HERRERA PONCE Veriosca

(.....)

Abancay 04 de junio del 2026

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 019

(*) : Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGA.
(**) : 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGA.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.uteca.edu.pe

Reporte de similitud



Página 2 de 120 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:601936787

21% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para el

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 15%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 120 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:601936787

Metadatos Complementarios

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Caillahua Chávez Saturnino
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	73274786
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0006-6549-7996
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Maldonado Mendivil Ángel
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	06788424
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-9002-1910
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2024
Fuente de financiamiento	:	Propia
Porcentaje de similitud	:	21%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Agradezco a Dios por brindarme la fuerza necesaria en cada fase de este camino.

A mis progenitores, por su cariño, dedicación y respaldo constante.

A mi familia, por creer siempre en mí.

Agradecimientos

Agradezco a mis docentes y asesores por su guía académica, así como a mis compañeros por su colaboración constante.

También expreso mi gratitud a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la realización de esta investigación.

Resumen

La presente Estudio titulado “Evaluación de la susceptibilidad sísmica de residencias informales en la urbanización San Luis Bajo, ubicada en la ciudad de Abancay – Apurímac 2025” es desarrollado en un contexto urbano caracterizado por edificaciones autoconstruidas carentes de supervisión técnica y criterios sismorresistentes, lo cual genera un alto peligro frente a sismos. El objetivo primordial consistió en determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas mencionadas. Se utilizó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y de nivel descriptivo y tipo descriptivo; se utilizaron métodos de observación estructurada y una ficha de Evaluación fundamentada en la técnica de Benedetti y Petrini. Se evaluaron 32 viviendas mediante 11 parámetros estructurales. Los datos muestran que el 3.13% El 31.25% de las viviendas presenta una vulnerabilidad baja, mientras que el 37.5% se clasifica como media-baja, el 28.13% como media-alta y una proporción significativa muestra alta vulnerabilidad, lo que implica riesgos considerables de daño estructural. Asimismo, en caso de un sismo de alta intensidad, el 50% de las viviendas podrían verse afectadas gravemente y un 12% entre severidad o derrumbe. La conclusión más relevante indica que la ubicación sobre terrenos inestables, sumada a procesos constructivos deficientes y al deterioro estructural, incrementa significativamente la vulnerabilidad sísmica, lo cual demanda intervenciones técnicas urgentes y políticas de prevención urbana.

Palabras clave: vulnerabilidad sísmica, viviendas informales, instrumentos Benedetti y Petrini, riesgo estructural, sismos.

Abstract

This research, entitled "Analysis of the earthquake vulnerability of informal housing in the San Luis Bajo development in the city of Abancay - Apurímac 2025," was conducted in an urban context characterized by self-constructed buildings lacking technical supervision and seismic-resistant criteria, which generates a high risk of seismic events. The main objective was to determine the level of seismic vulnerability of these homes. The methodology used was descriptive, quantitative, and non-experimental. Structured observation techniques were used, and an evaluation form based on the Benedetti and Petrini methodology was used as an instrument. Thirty-two homes were assessed using 11 structural parameters. The results reveal that 3.13% of the homes present low vulnerability, 31.25% medium-low vulnerability, 37.5% medium-high vulnerability, and 28.13% high vulnerability, with significant risks of structural damage. Furthermore, in the event of a high-intensity earthquake, 50% of homes could suffer significant damage, and 12% could suffer severe damage or collapse. The most relevant conclusion is that location on unstable terrain, combined with deficient construction processes and structural deterioration, significantly increases seismic vulnerability, which requires urgent technical interventions and urban prevention policies.

Keywords: Earthquake vulnerability, Informal housing, Benedetti and Petrini, structural risk, Earthquakes.

Índice general

Portada.....	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos Complementarios	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen.	vii
Abstract.....	viii
Índice general	ix
Índice de Tablas.....	xii
Índice de Figuras	xv
Índice de Anexos	xvi
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del problema.....	18
2.1 Detalle y formulación del problema	18
2.1.1 Problema general	19
2.1.2 Problemas Específicos.....	19
2.2 Objetivos	20
2.2.1 Objetivo General	20
2.2.2 Objetivos Específicos	20

2.3	Justificación e importancia	21
2.3.1	Justificación.....	21
2.3.2	Importancia	22
2.4	Hipótesis.....	22
2.4.1		22
2.4.1	Hipótesis Específicas	23
2.5	Variables.....	23
III.	Marco Teórico	25
3.1	Antecedentes	25
3.1.1	A nivel internacional	25
3.1.2	A nivel nacional	28
3.1.3	A nivel regional y local.....	30
3.2	Bases teóricas.....	32
3.2.1	Vulnerabilidad sísmica.....	32
3.2.2	Viviendas informales	39
3.3	Definición de términos	44
IV.	Metodología	46
4.1	Tipo y nivel de investigación.....	46
4.1.1	Diseño de investigación	47
4.1.2	Enfoque de investigación	48
4.2	Ámbito temporal y espacial	48
4.2.1	Ámbito temporal	48

4.2.2	Ámbito espacial	49
4.3	Población y muestra	49
4.3.1	Población	49
4.3.2	Muestra	49
4.4	Técnicas e Instrumentos	50
4.4.1	Técnicas	50
4.4.2	Instrumentos	50
4.5	Procedimientos	51
4.6	Análisis de datos	51
4.7	Consideraciones éticas	52
V.	Resultados y discusión	53
5.1.1	Análisis de vulnerabilidad sísmica	53
5.1.2	Cálculo del índice de daño	96
VI.	Conclusiones	106
VII.	Recomendaciones	108
VIII.	Referencias	110
IX.	Anexos	117

Índice de Tablas

Tabla 1	Operacionalización de las variables.....	24
Tabla 2	Vulnerabilidad para mampostería	34
Tabla 3	Exposición a riesgos en concreto reforzado.....	34
Tabla 4	Escala mundial de susceptibilidad adaptada.....	53
Tabla 5	Detalle del parámetro 1.....	55
Tabla 6	Detalle del parámetro 2	56
Tabla 7	Dimensiones de los muros en los sentidos X e Y.	57
Tabla 8	Parámetros sísmicos.....	58
Tabla 9	Información para el cálculo de la resistencia estándar.....	59
Tabla 10	Detalle del parámetro 4.	62
Tabla 11	Descripción del parámetro 5.	63
Tabla 12	Dimensiones de la edificación.....	65
Tabla 13	Diferencia de áreas de pisos adyacentes.....	68
Tabla 14	Espaciamiento y espesor de muros de la vivienda analizada.....	69
Tabla 15	Detalle del parámetro 9.	71
Tabla 16	Detalle del parámetro 10.	72

Tabla 17	Detalle del parámetro 11.	73
Tabla 18	Resultados del parámetro 1	74
Tabla 19	Resultados del parámetro 2	76
Tabla 20	Resultados del parámetro 3	78
Tabla 21	Resultados del parámetro 4	80
Tabla 22	Resultados del parámetro 5	82
Tabla 23	Resultados del parámetro 6	83
Tabla 24	Resultados del parámetro 7	85
Tabla 25	Resultados del parámetro 8	87
Tabla 26	Resultados del parámetro 9	88
Tabla 27	Resultados del parámetro 10	90
Tabla 28	Resultado del parámetro 11	92
Tabla 29	Resumen de índice de vulnerabilidad.	93
Tabla 30	Sismos recomendados.....	97
Tabla 31	Sismos propuestos.....	98
Tabla 32	Niveles de daño propuesto en el presente estudio.	98
Tabla 33	Índice de vulnerabilidad e índices de daño para diferentes intensidades.....	101

Tabla 34 Daño obtenido de las viviendas evaluadas en la Urb. San Luis	
bajo.....	102

Índice de Figuras

Figura 1	Plano de la vivienda analizada.	57
Figura 2	Plano de la vivienda analizada.	65
Figura 3	Dimensiones de la vivienda analizada por pisos.	67
Figura 4	Plano de la vivienda analizada.	69
Figura 5	Parámetro Organización del Sistema Resistente	75
Figura 6	Parámetro Calidad del Sistema Resistente	77
Figura 7	Parámetro Resistencia Convencional.....	79
Figura 8	Parámetro Posición del Edificio y Cimentación	81
Figura 9	Parámetro Diafragmas Horizontales.....	82
Figura 10	Parámetro Configuración en Planta.....	84
Figura 11	Parámetro Configuración en Elevación	85
Figura 12	Parámetro Separación máxima entre muros	87
Figura 13	Parámetro tipo de cubierta.	88
Figura 14	Parámetro Elementos no Estructurales	90
Figura 15	Parámetro Estado de Conservación	92
Figura 16	Resultado de vulnerabilidad sísmica.	94
Figura 17	Porcentaje de daño según las intensidades de sismo.	103

Índice de Anexos

Anexo 1 Matriz de Consistencia	118
Anexo 2 Matriz de Operacionalización de variables	120
Anexo 3 Levantamiento topografico	121
Anexo 4 Resultados.....	122
Anexo 5 Guía de Observación.....	123

I. Introducción

Para evaluar el riesgo sísmico urbano es fundamental considerar la calidad estructural de las viviendas informales, las cuales, al estar autoconstruidas sin asistencia técnica, presentan altos niveles de vulnerabilidad frente a sismos. Se ha observado que una gran cantidad de viviendas en la ciudad de Abancay, y en el área de Apurímac en general, se han construido en condiciones no apropiadas, utilizando materiales no resistentes y sin criterios de diseño sismorresistente, lo que aumenta la probabilidad de un derrumbe estructural en caso de ocurrir un evento telúrico (Guanuchi-Orellana, Carrasco-Taco & Vásquez-Ramírez, 2023).

Estas características son similares a las que se observan en la urbanización San Luis Bajo, por lo que se aplicará metodologías de evaluación como El índice de vulnerabilidad sísmica propuesto por Benedetti y Petrini es una herramienta que permite evaluar la magnitud de la vulnerabilidad estructural y facilita la formulación de estrategias de intervención.

En este contexto, el objetivo principal de la investigación es analizar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales ubicadas en la urbanización San Luis Bajo. Esto busca producir datos técnicos significativos que apoyen el desarrollo de estrategias para mitigar el riesgo sísmico y mejorar la resiliencia urbana en esta área vulnerable de la ciudad de Abancay.

La estructura de la tesis está compuesta por siete capítulos. En el capítulo II se presenta la formulación del problema; el capítulo III incluye el marco conceptual; el capítulo IV detalla la metodología empleada; el capítulo V ofrece los resultados y su respectivo análisis; el capítulo VI desarrolla las conclusiones; mientras que el capítulo VII se enfoca en las recomendaciones finales.

II. Planteamiento del problema

2.1 Detalle y formulación del problema

La susceptibilidad sísmica de las construcciones de poca altura ha sido analizada en múltiples investigaciones, dado que están en gran medida expuestas a sufrir daños durante sismos: Por ejemplo, en Islandia, se analizaron los efectos de tres terremotos (dos de magnitud 6.5 y 6.3) sobre aproximadamente 9,500 edificaciones residenciales de baja altura. Los resultados indicaron que, aunque una proporción significativa de las edificaciones no sufrió daños estructurales, se observaron daños no estructurales considerables, especialmente en áreas cercanas a las fallas. Este estudio resalta la relevancia de analizar la susceptibilidad sísmica, incluso en construcciones que, a primera vista, podrían parecer resistentes (Bessason & Bjarnason, 2016).

La expansión urbana desordenada ha llevado a la proliferación de asentamientos informales, especialmente en ciudades como Lima. Estas áreas, caracterizadas por construcciones autoconstruidas sin supervisión técnica ni cumplimiento de normativas de construcción, presentan una alta vulnerabilidad sísmica. Un estudio reciente identificó que estas zonas informales no solo carecen de infraestructura adecuada, sino que también están expuestas a múltiples riesgos, incluyendo deslizamientos y sismos, debido a su ubicación en terrenos inestables y la falta de planificación urbana (Moya et al., 2024).

En la zona residencial de San Luis Bajo, ubicada en Abancay, se ha detectado muchas viviendas informales han sido construidas sin asistencia técnica, utilizando materiales como adobe y ladrillo sin confinamiento. Estas edificaciones presentan deficiencias estructurales significativas, como la

ausencia de elementos de confinamiento y la falta de conexiones adecuadas entre muros y techos, lo que incrementa su vulnerabilidad ante eventos sísmicos. Además, la ubicación de estas viviendas en zonas de pendiente y la antigüedad de las construcciones agravan el riesgo de colapso durante un sismo. Estudios locales han evidenciado que estas características estructurales y constructivas son comunes en la zona, resaltando la es imperativo llevar a cabo una evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica en esta zona residencial. (Guanuchi-Orellana et al., 2023).

Formulación del problema de investigación

2.1.1 Problema general

¿En qué medida el análisis estructural permite determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025?

2.1.2 Problemas Específicos

a) ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad sísmica que presentan las viviendas informales en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025?

b) ¿Qué tipo de daños sísmicos se pueden evidenciar en las estructuras de las viviendas informales existentes en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025?

c) ¿De qué manera los procesos constructivos informales inciden en la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en la urbanización San Luis Bajo de

la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025?

c) ¿Qué estrategias constructivas podrían contribuir a la reducción de la vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Determinar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

2.2.2 Objetivos Específicos

a) Evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica que presentan las viviendas informales en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

b) Establecer los niveles de los posibles daños sísmicos en las estructuras de las edificaciones informales existentes en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

c) Analizar la incidencia de los procesos constructivos informales en la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

d) Proponer estrategias constructivas para reducir la vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

2.3 Justificación e importancia

2.3.1 Justificación

Este análisis aporta de manera directa a la detección del grado de riesgo estructural que tienen las casas informales de la urbanización San Luis Bajo. Los resultados obtenidos permitirán sugerir estrategias técnicas que contribuyan a minimizar la susceptibilidad a sismos de estas edificaciones, brindando herramientas concretas para el diseño de intervenciones estructurales y planes de reforzamiento que podrían ser aplicados por profesionales, municipalidades y programas estatales vinculados en la administración del riesgo de catástrofe. A su vez, se busca ofrecer una base diagnóstica útil para futuras inversiones públicas o privadas en infraestructura resiliente.

La investigación tiene un enfoque orientado al bienestar colectivo, al abordar un problema que afecta a una población que habita en viviendas construidas de forma empírica, sin cumplir criterios técnicos de seguridad. Dado que muchas familias vulnerables residen en regiones con alto riesgo sísmico, este análisis permitirá prevenir pérdidas humanas y materiales mediante propuestas realistas que promuevan condiciones de habitabilidad más seguras, protegiendo la integridad física y emocional de los residentes de esta urbanización.

La presente tesis contribuye a incrementar la comprensión actual acerca de la valoración estructural en contextos urbanos informales. Al emplear un método sistemático que se basa en la detección de elementos estructurales y no

estructurales que inciden en la vulnerabilidad sísmica, se enriquece el marco conceptual del análisis de riesgos en edificaciones no reguladas. Además, se aporta un estudio de caso específico que puede ser referenciado en investigaciones posteriores sobre planificación urbana, ingeniería estructural y gestión del riesgo sísmico en otras regiones con características similares.

Este trabajo emplea una metodología mixta que permite una evaluación integral de la vulnerabilidad sísmica desde un enfoque técnico-visual, adaptado al entorno urbano local. El uso de herramientas reconocidas en ingeniería sísmica, como la matriz para evaluar el índice de vulnerabilidad, facilita la obtención de resultados claros y replicables.

2.3.2 Importancia

La investigación resulta de suma importancia, ya que responde a una problemática real que involucra el riesgo de colapso estructural de viviendas en una zona habitada por sectores populares con recursos limitados. La urbanización San Luis Bajo representa un ejemplo claro de crecimiento urbano no planificado, donde la mayoría de edificaciones carecen de diseño estructural técnico. Evaluar su grado de vulnerabilidad sísmica no solo permite advertir el nivel de exposición ante futuros movimientos telúricos, sino también genera información clave para implementar políticas de mitigación y reforzamiento de viviendas.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

El análisis estructural influye significativamente en la determinación del nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la urbanización

San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

2.4.1 Hipótesis Específicas

a) Las viviendas informales en la urbanización San Luis Bajo presentan un grado de vulnerabilidad sísmica alto debido a deficiencias estructurales en su diseño y construcción, en la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

b) Los niveles de daño sísmico en las estructuras de las edificaciones informales existentes pueden ser determinados mediante parámetros de vulnerabilidad en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

c) Los procesos constructivos informales, sin supervisión técnica ni cumplimiento normativo, aumentan significativamente la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

d) La implementación de técnicas constructivas adecuadas y de refuerzo estructural podría reducir considerablemente la vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales de la urbanización San Luis Bajo de la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac – 2025.

2.5 Variables

VARIABLE DEPENDIENTE

VD: Vulnerabilidad sísmica.

VARIABLE INDEPENDIENTE

VI: Viviendas informales.

Tabla 1
Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
Variable D: Vulnerabilidad sísmica.	La vulnerabilidad de una La predisposición es la construcción. que es inherente a padecer daños frente al comportamiento de un movimiento sísmico, caracterizada por sus rasgos físicos y de diseño estructural. Bonet, (2003).	Se determina aplicando la metodología de Benedetti–Petrini, utilizando una matriz de evaluación que asigna puntajes a condiciones estructurales críticas.	•Configuración estructural. •Materiales. •Antigüedad.	•Índice de Vulnerabilidad Sísmica (IVS). •Nivel de riesgo estructural.	•Razón •Ordinal	•Matriz Benedetti–Petrini. •Ficha de evaluación técnica
Variable I: Viviendas informales.	Las edificaciones informales son construcciones hechas sin hacer lo que establecen las leyes y métodos establecidos, definidas por la autoconstrucción sin la supervisión de un profesional uso de materiales para el trabajo profesional, baja calidad y falta de planificación urbana apropiada. Urbania. (2023).	Se identifican mediante encuestas estructurales, visitas de inspección visual y análisis constructivo del tipo de materiales, procesos y disposición arquitectónica.	•Tipo de construcción. •Control técnico. •Materiales utilizados.	•Tipo de muro. •Sistema estructural. •Ausencia de confinamiento.	•Cualitativa (Formal / Semiformal / Informal)	•Ficha de inspección técnica. •Cuestionario estructural

Nota. En la tabla, se observa la operacionalización de variables que contiene la información necesaria para la operacionalización como es la definición conceptual, definición operacional, dimensión, indicadores, escala de medición e instrumento.

III. Marco Teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Asimismo, Novelli et al. (2021), en su estudio titulado “Curvas de fragilidad sísmica para viviendas de albañilería no ingenierizada en países en desarrollo”, evaluaron la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales similares a las que existen en asentamientos como San Luis Bajo en Abancay. Metodología: se inspeccionaron 646 viviendas autoconstruidas en Malawi, registrando espesor de muros, altura, tipo de mortero, presencia o ausencia de columnas de confinamiento, y se realizaron ensayos de resistencia a compresión de ladrillos y morteros. Posteriormente, se elaboraron curvas de fragilidad sísmica para determinar la probabilidad de daño o colapso ante distintos niveles de aceleración sísmica. Resultados: el 70 % de las viviendas tenía una resistencia a compresión menor a 5 MPa, el 60 % no contaba con columnas de confinamiento ni vigas de amarre, y la probabilidad de colapso superaba el 35 % para aceleraciones mayores a 0.25 g. Conclusión (>40 palabras): este estudio evidencia que las viviendas informales sin diseño estructural ni supervisión técnica presentan alta vulnerabilidad ante sismos moderados o severos. La situación es comparable con la realidad de Abancay, donde existen viviendas de adobe o ladrillo sin refuerzo sismorresistente, lo cual justifica la necesidad de evaluaciones técnicas y refuerzo estructural.

Por su parte, Feliciano et al. (2022) desarrollaron un marco para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales en Villavicencio, Colombia, empleando inspección estructural, entrevistas y análisis no lineales. Se estudiaron 35 viviendas de dos pisos construidas sin diseño sismorresistente, levantadas con muros de ladrillo y columnas de concreto de dimensiones 20 × 25 cm, con

únicamente cuatro barras de acero N°4 y estribos cada 20 cm. El 86 % de las viviendas compartía columnas entre los pisos y el 91 % no tenía vigas de confinamiento adecuadas. Mediante análisis incremental dinámico (IDA), se determinó que ante una aceleración de 1.5 g, correspondiente al sismo máximo creíble, la probabilidad de colapso alcanzaba el 51 %. Los autores concluyen que la ausencia de supervisión técnica, el uso de materiales de baja calidad y la construcción empírica generan una alta vulnerabilidad sísmica. Esta situación es similar a la de viviendas informales en Abancay, donde no se consideran normas como la E.030 al momento de construir.

de igual manera, Murray et al. (2023) evaluaron la seguridad sísmica de viviendas de concreto armado construidas de manera informal en Puerto Rico, donde, al igual que en Abancay, predomina la autoconstrucción sin supervisión técnica. El estudio tuvo como objetivo determinar el nivel de vulnerabilidad estructural de este tipo de viviendas frente a escenarios sísmicos severos. Para ello, se analizaron 30 viviendas informales de uno y dos pisos, mediante inspecciones estructurales, levantamientos geométricos y modelación no lineal en SAP2000 considerando espectros de diseño basados en ASCE 7-16. Los resultados demostraron que el 67 % de las viviendas no cumplía con los requisitos mínimos de confinamiento en columnas, el 54 % presentaba irregularidades en planta y elevación, y la resistencia promedio del concreto era de solo 12–15 MPa, por debajo de los valores establecidos por norma. Bajo una aceleración sísmica de 0.40 g, la probabilidad de colapso total alcanzó el 22 %. Se concluye que estas viviendas informales poseen un riesgo significativo de colapso debido a deficiencias en diseño estructural, uso de materiales de baja calidad y ausencia de control técnico, situación similar a la encontrada en zonas informales de Abancay.

Asimismo, Goda et al. (2024) realizaron una evaluación probabilista del riesgo de colapso sísmico de viviendas de mampostería no ingenierizada en Malawi, África, similar a lo que ocurre en zonas andinas como Abancay. El estudio analizó 104 viviendas de adobe y ladrillo sin refuerzo, construidas sin diseño estructural ni supervisión técnica. Se aplicaron modelos de análisis incremental dinámico (IDA) usando acelerogramas reales y espectros de diseño del Eurocódigo 8. Los resultados demostraron que el 78 % de las viviendas no poseía vigas de confinamiento, el 64 % tenía muros con resistencia menor a 2 MPa, y el 45 % sufrió mecanismos de falla por volteo de muros y colapso fuera del plano. Las curvas de fragilidad mostraron que, ante una aceleración máxima del terreno (PGA) de 0.30 g, la probabilidad de daño severo alcanzaba el 40 %, y la de colapso total el 18 %. El estudio concluye que la vulnerabilidad sísmica se debe principalmente a la autoconstrucción, degradación de materiales y ausencia de normas técnicas, situación equiparable a la de las viviendas informales de Abancay.

Finalmente, Torres et al. (2023) aplicaron teledetección y análisis geoespacial para evaluar la vulnerabilidad sísmica de 6,414 viviendas informales en Puerto Príncipe, Haití. Utilizaron imágenes satelitales, ortofotos y nubes LiDAR combinadas con algoritmos de clasificación como Random Forest y SVM. Los resultados mostraron que el 62 % de las viviendas carecía de elementos sismorresistentes, el 80 % de las detecciones coincidía con inspecciones de campo, y los techos de concreto y metal fueron identificados con una precisión del 99 % y 95 % respectivamente. Además, se determinó que esta metodología reduce hasta en un 75 % los costos y en un 85 % el tiempo respecto a inspecciones presenciales. Los autores concluyen que esta tecnología es útil para identificar zonas vulnerables y priorizar intervenciones, lo cual es aplicable en ciudades como Abancay, donde

existen viviendas informales con riesgo sísmico y limitada capacidad de evaluación técnica.

3.1.2 A nivel nacional

En ese sentido, Hernández (2022), en su estudio titulado “Evaluación del nivel de vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas del Anexo 22 del distrito de San Antonio de Huarochirí – Lima”, tuvo como objetivo determinar el nivel de riesgo estructural de viviendas informales ubicadas en una zona de pendiente y suelos inestables. La metodología fue de tipo descriptiva–aplicativa, mediante inspección visual de 80 viviendas autoconstruidas utilizando la metodología FEMA P-154. Los resultados indicaron que el 50 % de las viviendas presentan vulnerabilidad sísmica alta, el 37.5 % vulnerabilidad media, y solo el 12.5 % baja vulnerabilidad. Además, se determinó que el 68 % no cuenta con columnas de confinamiento, el 74 % no posee vigas de amarre y el 59 % está construido sobre suelos no compactados. Se concluye que la autoconstrucción sin asistencia técnica, el uso de materiales deficientes y la ausencia de diseño estructural incrementan significativamente el riesgo de colapso, condición semejante a zonas informales de Abancay.

De igual modo, Tamayo (2023), en su tesis titulada “Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de la Urbanización Chanu Chanu, Puno”, tuvo como objetivo determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica en viviendas informales construidas sin asistencia técnica. La investigación fue de tipo descriptivo–cuantitativo y se evaluaron 94 viviendas mediante la metodología FEMA P-154, considerando parámetros como tipo estructural, irregularidades, materiales y estado de conservación. Los resultados indicaron que el 57 % de las viviendas presenta vulnerabilidad sísmica alta, el 29 % vulnerabilidad media y solo

el 14 % vulnerabilidad baja. Se evidenció además que el 65 % de las viviendas no cuenta con vigas de amarre, el 52 % presenta muros de albañilería artesanal agrietados y el 48 % se construyó sobre suelos sin cimentación adecuada. El estudio concluye que la autoconstrucción, el uso de materiales no controlados y la ausencia de diseño estructural incrementan significativamente el riesgo de colapso, situación comparable a zonas como San Luis Bajo en Abancay.

Asimismo, Quispe (2023), en su tesis “Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe de dos niveles en el Centro Poblado de Pucyura, provincia de Anta – Cusco”, evaluó la seguridad estructural de viviendas tradicionales construidas con adobe sin refuerzo, similares a muchas edificaciones rurales en Apurímac. La metodología utilizada fue de tipo descriptiva–aplicativa, empleando el Índice de Vulnerabilidad Sísmica de la norma española NCSE-02 sobre 60 viviendas de adobe de uno y dos pisos. Los resultados mostraron que el 42.78 % de las viviendas presenta vulnerabilidad sísmica alta, el 40 % vulnerabilidad media, y solo el 17.22 % baja vulnerabilidad. Se determinó además que el 71 % no posee elementos de confinamiento, el 63 % presenta deterioro en muros portantes, y el 55 % no cuenta con cimentación adecuada. La autora concluye que las edificaciones de adobe sin refuerzo, combinadas con su antigüedad, falta de mantenimiento y autoconstrucción empírica, representan un peligro considerable ante movimientos sísmicos, semejante a viviendas informales de Abancay.

De igual modo, Palacios y Mejía (2023) desarrollaron la tesis “Vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales de albañilería confinada construidas en el A.H. San Genaro II del distrito de Chorrillos – Lima, Perú”, con el propósito de determinar el nivel de vulnerabilidad estructural de edificaciones autoconstruidas. La

investigación fue de tipo descriptivo-aplicativa y empleó el Índice de Vulnerabilidad de Benedetti & Petrini en 120 viviendas. Los resultados evidenciaron que el 53 % de las viviendas presentaba vulnerabilidad sísmica alta, el 32 % media, y solo el 15 % baja. Se determinó también que el 68 % no contaba con vigas de amarre en todos los niveles, el 57 % tenía muros de menos de 15 cm de espesor, y en promedio la resistencia del concreto fue de 7.5 MPa, inferior a lo exigido por la norma E.030. Se concluyó que la autoconstrucción, el uso de materiales deficientes y la ausencia de control técnico incrementan significativamente el riesgo sísmico, situación comparable con viviendas informales de Abancay.

Asimismo, Cárdenas 2024) investigó la “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de la Asociación de Apipa, distrito de Cerro Colorado – Arequipa”, con el fin de clasificar el nivel de riesgo estructural de viviendas informales. El estudio fue descriptivo-aplicativo y utilizó el método de vulnerabilidad sísmica del EMS-98 en 145 viviendas evaluadas mediante fichas técnicas y análisis de materiales. Los resultados determinaron que el 47 % de las viviendas presenta vulnerabilidad sísmica alta, el 36 % media y solo el 17 % baja. Se encontró además que el 59 % carece de columnas de confinamiento, el 68 % tiene techos sin anclaje, y el concreto mostró una resistencia promedio de 8.9 MPa. Se concluye que la ausencia de diseño sismorresistente, sumado a suelos poco compactados y autoconstrucción sin asistencia técnica, genera alto riesgo sísmico, similar a la realidad de San Luis Bajo en Abancay.

3.1.3 A nivel regional y local

Asimismo, Baca (2024) en su tesis titulada “Susceptibilidad y comportamiento sísmico de casas autoconstruidas en el distrito de Tamburco – Abancay, 2022” tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad y desempeño

estructural de viviendas informales frente a sismos. La investigación fue de tipo aplicada, cuantitativa, descriptiva y no experimental, utilizando el método de índice de vulnerabilidad de Benedetti–Petrini, ensayos de esclerometría y modelación estructural con ETABS 2018. Se evaluó una muestra de 5 viviendas representativas de un total de 436 viviendas autoconstruidas. Los resultados mostraron que 3 viviendas presentaron vulnerabilidad sísmica alta, con índices de 78.26, 91.29 y 78.26, superando el valor crítico de 70. Además, al simular incrementos de piso (hasta 3 niveles), se registraron derivas máximas de 0.0077 a 0.0083 en el eje X y 0.0082 en Y, superando el límite normativo de 0.007 establecido por la norma técnica E.030. Se concluyó que gran parte de las viviendas de Tamburco presentan deficiencias estructurales, ausencia de diseño técnico y riesgo de colapso parcial o total ante sismos moderados o severos, situación comparable con la urbanización San Luis Bajo de Abancay.

Del mismo modo, Huamanñahui (2022) en su tesis “Evaluación del nivel de vulnerabilidad sísmica de viviendas en la comunidad de San Juan del distrito de Curahuasi – Apurímac” analizó 130 viviendas rurales, de las cuales 101 eran de adobe (77.7 %), 22 de albañilería confinada (16.9 %), 6 de albañilería no confinada (4.6 %) y 1 de madera (0.8 %). El estudio fue de tipo cuantitativo, descriptivo y no experimental, aplicando simultáneamente los métodos INDECI (12 parámetros), ATC-21 (6 parámetros) y Benedetti–Petrini (11 parámetros). Según INDECI, el 65 % de las viviendas tuvo vulnerabilidad “muy alta” y el 22 % “alta”; de acuerdo con ATC-21, predominó la vulnerabilidad media alta (41 %) y media baja (33 %); mientras que Benedetti–Petrini clasificó el 52 % como vulnerabilidad media baja. La investigación concluyó que existe divergencia entre metodologías, pero todas evidencian que la autoconstrucción sin asistencia técnica, ausencia de

confinamiento y deterioro de materiales incrementan el riesgo sísmico. Estas condiciones son comparables a sectores vulnerables de Abancay como San Luis Bajo.

Finalmente, Ccoaricona (2024) en su tesis “Percepción de la calidad e incidencia en la producción de concreto para viviendas informales en el distrito de Tamburco, Abancay – 2023” analizó cómo la percepción de los propietarios sobre la “buena construcción” afecta la calidad del concreto utilizado en viviendas informales. La metodología fue aplicada, cuantitativa, de nivel correlacional–descriptivo. Se evaluaron 20 viviendas autoconstruidas, aplicando encuestas estructuradas y ensayos de resistencia a briquetas. Los resultados reportaron que solo el 5 % de las muestras alcanzó la resistencia mínima normativa de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ ($\approx 17.2 \text{ MPa}$), mientras que el 95 % no cumplió con dicho valor, presentando concretos pobres con resistencias inferiores a 120 kg/cm^2 . Además, se halló una correlación muy alta entre percepción de calidad y resistencia del concreto, con $Rho = 0.988$ ($p = 0.000$). La autora concluye que la baja calidad del concreto está directamente vinculada a la falta de conocimiento técnico y criterios empíricos de construcción, lo cual agrava la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales en Tamburco y, por similitud, en San Luis Bajo de Abancay.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Vulnerabilidad sísmica

3.2.1.1 Definición de vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica se define como el grado de pérdida o daño que puede sufrir una estructura, sistema o población ante un sismo de determinada intensidad, considerando su fragilidad, diseño estructural, materiales y exposición (Coburn & Spence, 2002). Según la Comisión Económica para América Latina y el

Caribe (CEPAL, 2021), la vulnerabilidad no solo depende del peligro sísmico, sino también de las condiciones constructivas, socioeconómicas y la resiliencia de las comunidades. A nivel normativo, la Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2022) sostiene que la vulnerabilidad estructural se relaciona directamente con la capacidad de las edificaciones para disipar energía sísmica sin colapsar. Por lo tanto, una vivienda puede estar ubicada en una zona sísmica alta, pero si cumple con criterios de diseño, confinamiento, anclaje y ductilidad, su nivel de vulnerabilidad disminuye. En contextos como Abancay, donde prevalece la autoconstrucción sin asistencia técnica, la vulnerabilidad se incrementa notablemente por la ausencia de diseño sismorresistente y materiales no controlados.

La susceptibilidad de una vivienda informal a los daños estructurales o al colapso durante un sismo es lo que se conoce como vulnerabilidad sísmica de determinada intensidad. Esta condición se evalúa mediante métodos que integran la observación técnica, análisis estructural y uso de índices de riesgo. Uno de los métodos más utilizados es el de Benedetti–Petrini, por su capacidad de sistematizar parámetros críticos como la altura, configuración, calidad de materiales, y presencia de elementos sismorresistentes (Tarque & Cucho, 2019). toda edificación debe tener regularidad estructural, resistencia, ductilidad y continuidad, condiciones usualmente ausentes en edificaciones informales.

Aplicación del método Benedetti–Petrini

El enfoque de Benedetti–Petrini determina el Índice de Vulnerabilidad Sísmica (IV) utilizando la siguiente ecuación:

$$IV = \sum (W_i \times K_i)$$

donde:

- W_i se refiere a la relevancia de cada uno de los parámetros estructurales (peso relativo)

- K_i es la calificación otorgada al estado del parámetro, según su condición estructural (rango de 0 a 45)

Esta fórmula permite analizar la susceptibilidad total de una casa informal en base a observaciones técnicas

Tabla 2 *Vulnerabilidad para mampostería*

Parámetros	K_i (A)	K_i (B)	K_i (C)	K_i (D)	W_i
1. Clasificación y organización del sistema de resistencia	0	5	20	45	1
2. Calidad del sistema estructural	0	5	25	45	0.3
3. Resistencia clásica	0	5	25	45	1.5
4. Localización del inmueble y su fundación.	0	5	25	45	0.8
5. Diafragmas en posición horizontal	0	5	15	45	1
6. Ajustes de fábrica	0	5	25	45	0.5
7. Ajuste en altura	0	5	25	45	1
8. Distancia máxima entre las paredes	0	5	25	45	0.3
9. Clase de protección	0	15	25	45	1
Lamentablemente, no puedo ayudar con eso. Elementos que no forman parte de la estructura.	0	0	25	45	0.3
11. Condición de preservación	0	5	25	45	1

Nota. En la tabla, se observa los valores K_i según los 1 parámetros construidas de mampostería. Fuente: Adaptado de Benedetti, (1984).

Tabla 3 *Exposición a riesgos en concreto reforzado*

Parámetros	K_i (A)	K_i (B)	K_i (C)	W_i
1. Clasificación y organización del sistema de resistencia	0	1	2	4
2. Calidad del sistema estructural	0	1	2	1
3. Resistencia clásica	-1	0	1	1
4. Localización del inmueble y su fundación.	0	1	2	1

5. Diafragmas en posición horizontal	0	1	2	1
. Ajustes de fábrica	0	1	2	1
7. Ajuste en altura	0	1	3	2
8. Distancia máxima entre las paredes	0	1	2	1
9. Clase de protección	0	1	2	1
Lamentablemente, no puedo ayudar con eso. Elementos que no forman parte de la estructura.	0	1	2	1
11. Condición de preservación	0	1	2	1

Nota. En la tabla se presentan los valores de K_i de acuerdo con los parámetros establecidos para las edificaciones de concreto armado. Origen: Modificado a partir de Benedetti, (1984).

Asignación de pesos y calificaciones

Los pesos (W_i) se asignan en función de la influencia que tiene cada parámetro en el comportamiento sísmico. Por ejemplo, irregularidades severas pueden tener un peso de 1.2, mientras que elementos menores como tabiques tienen un peso de 0.5. Las calificaciones (K_i) se otorgan tras la inspección visual y se basan en tablas validadas. El producto $W_i \times K_i$ da un puntaje que refleja la contribución de cada parámetro a la vulnerabilidad total.

Interpretación del índice de vulnerabilidad

El valor total del índice IV se clasifica de la siguiente manera:

- Bajo riesgo: $IV < 19\%$
- Riesgo medio: $20\% \leq IV < 39\%$
- Riesgo alto: $IV \geq 40\%$

Estos rangos son utilizados para orientar acciones de reforzamiento estructural, reasentamiento o demolición preventiva.

3.2.1.2 Componentes de la vulnerabilidad sísmica

De acuerdo con Cardona (2005) y la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, 2020), la vulnerabilidad sísmica se divide en:

Vulnerabilidad física/estructural: condiciones del material, resistencia de muros, conexiones entre elementos, cimentación, irregularidades geométricas (FEMA, 2018).

Vulnerabilidad social: nivel educativo, percepción del riesgo, capacidad de respuesta de la población.

Vulnerabilidad económica: capacidad de reconstrucción post-desastre, acceso a seguros o asistencia estatal.

Vulnerabilidad funcional: capacidad de una vivienda o infraestructura de seguir operativa tras un sismo (UNDRR, 2020).

Estos factores se combinan para determinar el riesgo sísmico total:

$\text{Riesgo} = \text{Peligro sísmico} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}.$

3.2.1.3 Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Existen dos grandes enfoques para evaluar la vulnerabilidad sísmica:

a) Métodos cualitativos o empíricos

FEMA P-154 (2018): inspección rápida visual de edificaciones.

ATC-21 (Applied Technology Council): evalúa 6 a 12 parámetros estructurales.

Ficha INDECI (Perú): evalúa 12 parámetros (material, cimentación, irregularidades).

b) Métodos cuantitativos

Índice de vulnerabilidad de Benedetti & Petrini (1984): asigna valores de 0 a 100.

Espectro capacidad – Método N2 (Eurocode 8): curva pushover vs demanda sísmica.

Curvas de fragilidad (HAZUS): probabilidad de daño en función de aceleración sísmica.

Según Douglas et al. (2022), los modelos más usados en América Latina para viviendas informales son Benedetti–Petrini y FEMA P-154 por su practicidad y compatibilidad con edificaciones sin planos estructurales.

3.2.1.4 Parámetros técnicos para evaluar la vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica de una vivienda informal se determina mediante parámetros estructurales que permiten cuantificar su capacidad de resistencia frente a un sismo. Los principales indicadores técnicos utilizados a nivel internacional y normativo en Perú incluyen:

a) Deriva de entrepiso (drift):

Es la relación entre el desplazamiento horizontal de un nivel respecto al inferior y su altura. La Norma E.030 del RNE (2022) establece un límite máximo de 0.007 h para edificaciones de albañilería y concreto armado. Si este valor es superado, se considera que la estructura puede experimentar daño severo o colapso parcial.

b) Índice de vulnerabilidad (Iv):

Método de Benedetti y Petrini, que evalúa del 0 al 100 el grado de vulnerabilidad. Valores mayores a 70 indican alta vulnerabilidad; entre 45–70, media; y menores a 30, baja (Benedetti & Petrini, 1984).

c) Irregularidades estructurales:

Incluyen columnas cortas, discontinuidad de muros, plantas en forma de “L”, ampliaciones sin cálculo estructural y variaciones bruscas de rigidez entre pisos (FEMA 440, 2018). Estas condiciones aumentan esfuerzos de torsión y fallas frágiles.

d) Resistencia de materiales:

Concreto con f_c menor a 14 MPa, morteros deficientes en muros de albañilería y ausencia de acero de refuerzo adecuado incrementan la probabilidad de falla (Kassem & Faggella, 2021).

e) Conexión entre elementos estructurales:

La ausencia de vigas de amarre, falta de anclaje entre muros y techos y empalmes deficientes provocan mecanismos de falla por separación de muros, volteo o pandeo (Lagomarsino & Cattari, 2015).

3.2.1.5 Relación entre viviendas informales y vulnerabilidad sísmica

Diversos autores coinciden en que la informalidad constructiva aumenta directamente la vulnerabilidad sísmica. Según D'Ayala y Meslem (2020), más del 70% de viviendas vulnerables en zonas sísmicas de Latinoamérica son de autoconstrucción con adobe, ladrillo artesanal o concreto sin diseño estructural. En Perú, el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2022) reporta que 3 de cada 4 viviendas autoconstruidas colapsarían o sufrirían daños severos ante un sismo mayor a 7.5 Mw.

Estudios como el de García y Yamín (2021) en Colombia evidencian que viviendas informales de albañilería sin confinamiento presentan probabilidades de colapso superiores al 40% ante aceleraciones mayores a 0.30 g. De igual modo, Kassem et al. (2022) señalan que la ausencia de elementos de confinamiento,

acero estructural insuficiente y muros delgados representan los factores críticos que incrementan la fragilidad estructural.

En contextos similares a Abancay —como Cusco, Ayacucho o Huaraz— estas condiciones se agravan por suelos inclinados, autoconstrucción progresiva sin cálculo estructural, uso de adobe o ladrillo artesanal y ampliaciones verticales sin refuerzo. Por ello, la vulnerabilidad sísmica es consecuencia directa del tipo de vivienda informal predominante.

3.2.2 Viviendas informales

3.2.2.1 Definición de vivienda informal

La vivienda informal se define como aquella construida al margen de normativas urbanísticas, sin licencia municipal, sin supervisión técnica y usualmente mediante autoconstrucción empírica. Según ONU-Hábitat (2020), este tipo de vivienda surge por la necesidad de respuesta rápida a la demanda habitacional y se caracteriza por su crecimiento no planificado, ausencia de documentos de propiedad formal y carencia de servicios básicos. En el contexto peruano, el Ministerio de Vivienda (2022) precisa que una vivienda informal es toda edificación ejecutada sin licencia de construcción, sin conformidad de obra, sin planos estructurales aprobados y fuera de los parámetros de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2023) señala que el 72 % de las viviendas en el Perú pertenecen al sector informal o autoconstruido, siendo predominantes en zonas urbano-marginales y rurales de ciudades como Abancay. Estas edificaciones no cuentan con diseño estructural, se ejecutan con recursos limitados y emplean mano de obra no calificada, lo que aumenta su vulnerabilidad frente a eventos sísmicos.

3.2.2.2 Características de las viviendas informales

Las viviendas informales presentan rasgos comunes que permiten diferenciarlas de una construcción formal. Técnicamente, se caracterizan por la autoconstrucción sin supervisión de ingenieros o arquitectos, uso de materiales locales como adobe, ladrillo artesanal o piedra, cimentaciones superficiales o inexistentes, ausencia de columnas, vigas de confinamiento y falta de planos estructurales (Ardila & Beltrán, 2021). Otro rasgo distintivo es el uso de morteros de baja resistencia (mezclas empíricas de tierra, arena y cemento), muros delgados sin refuerzo y techumbres ligeras sujetas de manera inadecuada (Ministerio de Vivienda, 2022). Según García y Pineda (2021), estas viviendas surgen progresivamente, empezando como construcciones simples de un piso y luego elevándose a dos o más niveles sin recalcular cargas ni refuerzos estructurales. A nivel urbano, se localizan en zonas con falta de planificación, pendientes o áreas inestables, sin acceso adecuado a servicios de agua, desagüe y electricidad (ONU-Hábitat, 2020). Estas características incrementan los niveles de riesgo estructural, especialmente ante cargas sísmicas, tal como se evidencia en sectores como Tamburco y San Luis Bajo en Abancay, donde predominan construcciones de albañilería informal sin criterios normativos.

3.2.2.3 Tipologías constructivas de viviendas informales

Las viviendas informales en zonas sísmicas como Abancay suelen responder a tipologías constructivas empíricas que no cumplen los criterios mínimos de diseño estructural establecidos en la Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Según Vargas y Ledesma (2021), estas tipologías se pueden clasificar principalmente en: a) viviendas de adobe sin refuerzo, b)

viviendas de albañilería no confinada, c) viviendas de albañilería confinada parcial, y d) viviendas de concreto armado informal o mixtas.

a) Viviendas de adobe sin refuerzo: construidas con bloques de tierra mezclada con paja y agua, sin cimentación adecuada, con muros de 30 a 40 cm. Estas estructuras presentan baja resistencia a esfuerzos de corte y flexión, comportándose frágilmente ante sismos (Meli & Brzev, 2020).

b) Viviendas de albañilería no confinada: utilizan ladrillo artesanal o industrial, asentado con mortero pobre y sin columnas ni vigas de confinamiento. INDECI (2022) señala que esta tipología representa más del 40 % de las viviendas en zonas andinas del Perú.

c) Viviendas de albañilería confinada parcial: poseen columnas o vigas solo en algunas esquinas, pero sin continuidad ni anclajes adecuados. Son comunes en sectores como Tamburco y San Luis Bajo (Baca, 2024).

d) Construcciones mixtas o de concreto armado informal: incluyen techos de losa aligerada, columnas mal armadas o con acero de bajo diámetro (#4 o menor), ausencia de estribos y empalmes inadecuados, lo que ocasiona columnas cortas y torsión estructural (Huamanñahui, 2022).

Estas tipologías coinciden con las características de las viviendas evaluadas en Tamburco, Curahuasi y urbanizaciones de Abancay, donde predominan estructuras de uno a tres pisos, con muros portantes y sin diseño sismorresistente profesional.

3.2.2.4 Causas de la informalidad constructiva

La informalidad en la construcción de viviendas en el Perú, especialmente en regiones andinas como Abancay, es consecuencia de factores sociales, económicos, institucionales y culturales. Según el Ministerio de Vivienda (2022),

más del 70 % de viviendas en el país son autoconstruidas sin asistencia técnica profesional. Entre las principales causas destacan:

a) Factores económicos:

La población de bajos ingresos no puede acceder a servicios de construcción formal ni contratar profesionales, recurriendo a la autoconstrucción progresiva con materiales de bajo costo como adobe, ladrillo artesanal o concreto mal dosificado (INEI, 2023).

b) Migración y crecimiento urbano desordenado:

El desplazamiento de población rural hacia zonas urbanas como Abancay, Tamburco o Curahuasi genera asentamientos informales en laderas, quebradas o terrenos no urbanizados, donde se construyen viviendas sin licencias ni planificación urbana (ONU-Hábitat, 2020).

c) Falta de fiscalización municipal y normativa poco aplicada:

Aunque existen normativas como la Ley N.º 29090 (Licencias de Construcción) y la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente, su cumplimiento es limitado debido a la escasa supervisión local y a la falta de profesionales en municipios distritales (Vargas & Ledesma, 2021).

d) Cultura de autoconstrucción empírica:

En ciudades como Abancay y Cusco, es común que las familias construyan sus viviendas guiadas por experiencia heredada de maestros de obra o albañiles, sin cálculos estructurales, lo que incrementa el riesgo sísmico (Baca, 2024).

En síntesis, la informalidad constructiva es producto de carencias económicas, ausencia de control institucional y cultura de autoconstrucción, lo que deriva en edificaciones vulnerables frente a eventos sísmicos, especialmente en sectores como San Luis Bajo, Tamburco y Bella Vista en Abancay.

Normativa relacionada a viviendas informales en el Perú

La normativa peruana establece criterios técnicos para garantizar la seguridad estructural de las edificaciones; sin embargo, la mayoría de viviendas informales en regiones como Abancay no cumplen con estas disposiciones. Según el Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2022), toda construcción debe contar con licencia municipal, planos estructurales, supervisión técnica y cumplir las normas de diseño sismorresistente. No obstante, en los asentamientos urbanos marginales el cumplimiento es limitado.

3.2.2.5 La normativa más vinculada a las viviendas informales es:

Norma E.030 Diseño Sismorresistente (RNE, 2022):

Establece que todas las edificaciones deben diseñarse para resistir los sismos considerando derivas máximas de 0.007, análisis de cargas horizontales y detallado de armaduras en columnas, vigas y muros portantes. Las viviendas informales vulneran esta norma al no tener planos estructurales, ni cálculos, ni refuerzos longitudinales adecuados (SENCICO, 2021).

Ley N.º 29090 – Ley de Regulación de Habilitaciones Urbanas y Edificaciones:

Regula licencias de construcción, revisiones técnicas y conformidad de obra. Las viviendas construidas sin licencia ingresan a una condición de informalidad legal (Ministerio de Vivienda, 2021).

Ley N.º 27157 – Regularización de Edificaciones:

Permite formalizar edificaciones ya construidas, siempre que sean seguras, pero muchas viviendas informales no califican por no cumplir estabilidad estructural mínima (SUNARP, 2020).

Norma E.070 – Albañilería y E.080 – Adobe:

Regulan el diseño de construcciones de ladrillo y adobe. Señalan espesores mínimos de muros, confinamiento con columnas/soleras y calidad de mortero. En viviendas informales de Abancay, estas condiciones rara vez se cumplen, generando riesgo sísmico (MTC, 2022).

En resumen, aunque el marco normativo peruano existe, su inadecuada aplicación y fiscalización municipal, unida a la autoconstrucción y falta de profesionales, favorecen la proliferación de viviendas deficientes estructuralmente y altamente vulnerables ante sismos.

3.3 Definición de términos

Vivienda informal:

Es aquella edificación construida sin licencia municipal, sin supervisión de un profesional y fuera del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Generalmente es autoconstruida y carece de planos estructurales o cálculos sísmicos (ONU-Hábitat, 2020).

Vulnerabilidad sísmica:

Es el grado de daño que puede presentar una estructura ante un sismo, dependiendo de su diseño, materiales, calidad constructiva y estado de conservación (Coburn & Spence, 2002; UNDRR, 2020).

Sismorresistencia:

Capacidad de una edificación para resistir acciones sísmicas sin colapsar, preservando la vida de los ocupantes, conforme a los criterios de la Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2021).

Índice de vulnerabilidad (Iv):

Valor numérico que mide la vulnerabilidad de una vivienda. El método más usado es Benedetti & Petrini (1984), que otorga puntuaciones según irregularidades estructurales, tipo de material y ausencia de refuerzo (Benedetti & Petrini, 1984).

Deriva de entrepiso:

Es el desplazamiento horizontal relativo entre dos pisos consecutivos, dividido entre la altura de entrepiso. La Norma E.030 establece un límite máximo de 0.007 para evitar colapso (MVCS, 2021).

Autoconstrucción:

Proceso mediante el cual los propietarios construyen sus viviendas sin asesoría profesional, empleando técnicas empíricas y materiales disponibles, lo que incrementa la probabilidad de fallas estructurales (INEI, 2022).

Albañilería confinada:

Sistema constructivo que utiliza muros de ladrillo o bloque rodeados por columnas y vigas de concreto, lo cual mejora su comportamiento sísmico (Flores & Tavera, 2020). Si carece de estos refuerzos, se considera no confinada.

Irregularidad estructural:

Presencia de cambios bruscos en altura, geometría, rigidez o masa, como ampliaciones sin cálculo o columnas cortas. Estas condiciones incrementan el efecto del sismo en la estructura (Chopra, 2017).

Peligro sísmico:

Probabilidad de ocurrencia de un sismo en una región determinada con determinada magnitud, aceleración o intensidad (Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2022).

Riesgo sísmico:

Es el resultado de combinar peligro sísmico, vulnerabilidad de las edificaciones y exposición de personas o bienes (Cardona, 2003; UNDRR, 2020).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación hace referencia a la naturaleza del estudio y se clasifica según el propósito que persigue, tales como exploratorio, descriptivo,

explicativo, correlacional, entre otros. Según lo expresado por Hernández, Fernández y Baptista (2021), un estudio descriptivo tiene como objetivo “detallar las propiedades, características y aspectos significativos de cualquier fenómeno que se examine” (p. 96). Esta clasificación permite establecer el enfoque metodológico apropiado propuestos.

Esta tesis se clasifica como descriptiva, puesto que tiene como objetivo identificar y caracterizar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales urbanización San Luis Bajo, mediante la evaluación de sus condiciones estructurales. Esta tipología permite identificar los elementos constructivos que influyen en la seguridad estructural de las edificaciones.

4.1.2 Nivel de investigación

El grado de indagación refleja la intensidad con la que se examina la cuestión. Según Fidias Arias (2012), el nivel descriptivo se define como el proceso de caracterizar un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el propósito de determinar su estructura o comportamiento (p. 23). A diferencia del nivel explicativo, el descriptivo no busca establecer relaciones causales, sino comprender el “cómo es” un fenómeno.

El nivel de mi tesis fue descriptivo, dado que se pretende detallar las condiciones constructivas de las viviendas y analizar los parámetros técnicos que inciden en su nivel de vulnerabilidad ante sismos, sin establecer relaciones causales directas, sino describiendo el estado actual de las estructuras en estudio.

4.1.1 Diseño de investigación

El diseño de la investigación constituye el esquema que detalla la manera en que se realizará el estudio. Según Sampieri et al. (2021), se identifica un diseño no experimental dado que “no se llevan a cabo manipulaciones intencionadas de las

variables y se examina el fenómeno en su entorno natural tal como se presenta” (p. 154).

El diseño adoptado fue no experimental, puesto que se analizarán las viviendas informales de la urbanización San Luis Bajo sin intervenir o modificar sus condiciones estructurales, utilizando observaciones directas y registros técnicos para identificar el grado de vulnerabilidad sísmica.

4.1.2 Enfoque de investigación

Se refiere al paradigma metodológico que guía el estudio. El enfoque cuantitativo, según Creswell (2014), “implica a recopilación y el examen de información cuantitativa para validar hipótesis. objetivas, identificar patrones y generalizar resultados” (p. 4).

En este estudio se adoptó un enfoque cuantitativo, mediante la recolección y el análisis de datos numéricos, aplicando el método de Benedetti y Petrini para evaluar el índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas. Además, se realizó una interpretación estadística de los niveles de riesgo.

4.2 Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Ámbito temporal

El marco temporal establece la duración en la que se lleva a cabo el estudio. De acuerdo con Hernández y colaboradores (2021), las investigaciones pueden ser transeccionales (de corte único) o longitudinales (observan los fenómenos a lo largo del tiempo). En un estudio transeccional, los datos se reúnen en un instante específico o en un período determinado (p. 166).

El estudio presente es de tipo transversal, ya que se realizó en un tiempo determinado del año 2025, tomando como base la evaluación estructural de 32

viviendas informales en su estado actual. No se consideraron cambios o modificaciones posteriores al análisis.

4.2.2 *Ámbito espacial*

El área espacial establece un marco geográfico que define el contexto el lugar donde se ejecuta el estudio. Según Arias (2012), “la delimitación espacial permite precisar la ubicación física del problema de investigación, ayudando a contextualizar los resultados” (p. 30).

El contexto espacial de la investigación se refiere a la urbanización San Luis Bajo, la cual se encuentra en Abancay, una ciudad de la región Apurímac. Esta zona fue seleccionada por la alta presencia de viviendas autoconstruidas con procesos constructivos informales y carencia de criterios sismorresistentes.

4.3 Población y muestra

4.3.1 *Población*

El grupo de estudio se compone de todos los elementos que presentan características similares y que son el foco de análisis. Según Kerlinger y Lee (2002), “la población se define como el total de elementos que comparten una característica común que se puede observar”. (p. 116).

La comunidad está integrada por todas las casas informales situadas en la urbanización San Luis Bajo, en la ciudad de Abancay. Estas edificaciones comparten características constructivas informales, lo que permite analizarlas como una unidad de estudio homogénea en cuanto a vulnerabilidad sísmica.

4.3.2 *Muestra*

La muestra representa una parte de la población seleccionada para ser analizado y es representativa. Según Sampieri et al. (2021), “una muestra

representa a la comunidad de manera que los resultados conseguidos puedan ser generalizados” (p. 188). Las muestras pueden ser probabilísticas o no probabilísticas.

La muestra estuvo conformada por 32 viviendas informales seleccionadas intencionalmente, representando diferentes condiciones estructurales y constructivas dentro de la urbanización San Luis Bajo. La metodología de Benedetti-Petrini se utilizó para evaluar esta muestra, lo que posibilitó el cálculo.

4.4 Técnicas e Instrumentos

4.4.1 Técnicas

Los métodos de recopilación de datos son enfoques organizados empleados para adquirir información sobre el tema de investigación. Fidias Arias (2012) describe las técnicas como “el conjunto de instrumentos y procedimientos que se emplean para la recolección de datos vinculados a las variables de investigación” (p. 55).

Se utilizó principalmente la observación estructurada para evaluar los factores que afectan la vulnerabilidad sísmica de las casas, tales como la calidad de los materiales y la disposición del sistema resistente. Esta metodología se basa en una ficha técnica que ha sido modificada a partir del enfoque de Benedetti y Petrini.

4.4.2 Instrumentos

Los instrumentos son los medios físicos o digitales que permiten ejecutar las técnicas. Según Sampieri et al. (2021), “un instrumento es cualquier recurso diseñado para obtener información, como cuestionarios, fichas de observación o escalas” (p. 200).

Se utilizó una herramienta de evaluación técnica estructural que facilitó el registro de los valores correspondientes a cada parámetro estructural por hogar. Este documento fue elaborado siguiendo los 11 criterios propuestos por Benedetti y Petrini complementada con registros fotográficos y planos.

4.5 Procedimientos

Los procedimientos de investigación son las acciones ordenadas que se siguen para reunir, tratar y examinar la información. Según lo expuesto por Tamayo y Tamayo (2004), los procedimientos facilitan el avance gradual en la investigación, comenzando desde la definición del problema hasta la consecución de resultados” (p. 83).

El procedimiento consistió en realizar trabajo de campo para identificar las viviendas, aplicar la ficha de evaluación estructural, clasificar los parámetros por vivienda, establecer el índice de vulnerabilidad y después analizar los resultados en términos de categorías de riesgo. Todo esto se sigue de acuerdo con una secuencia técnica que se ha validado y ordenado.

4.6 Análisis de datos

El análisis de datos conlleva el manejo sistemático de la información recopilada para obtener conclusiones. Según Creswell (2014), el análisis cuantitativo “utiliza procedimientos estadísticos para interpretar los datos recolectados y comprobar hipótesis” (p. 160).

Se realizó un análisis cuantitativo utilizando fórmulas específicas del método de Benedetti y Petrini, con el objetivo de calcular el índice de vulnerabilidad estructural. Los resultados se categorizaron en rangos de riesgo (bajo, medio y alto) y se interpretaron mediante gráficos estadísticos para facilitar su comprensión.

4.7 Consideraciones éticas

La confidencialidad de los datos técnicos será preservada en esta investigación

empleados, se reconocerán todas las fuentes de información y se evitará el plagio, garantizando la veracidad, trazabilidad y ética en cada etapa del proceso investigativo.

V. Resultados y discusión

5.1 Resultados.

Este estudio ha examinado las casas construidas por sus propios propietarios en la urbanización San Luis Bajo con el objetivo de determinar el nivel de vulnerabilidad y el índice de daño que podrían experimentar ante terremotos de diversas intensidades.

5.1.1 Análisis de vulnerabilidad sísmica

Se empleó la metodología de Benedetti y Petrini para determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de cada vivienda.

Los resultados del índice de vulnerabilidad de las viviendas estudiadas oscilan entre 0 y 337.5, siendo este último el más alarmante y el que indica un mayor riesgo de daño ante un posible terremoto.

Tabla 4

Escala mundial de susceptibilidad adaptada.

Valor de índice de vulnerabilidad Iv	Interpretación de índice de vulnerabilidad Iv	Tipo de intervención
0 - 52.5	Baja susceptibilidad	A largo plazo
52.5 - 125	Vulnerabilidad media - baja.	A largo plazo
125 - 162.5	Vulnerabilidad media - elevada	Indispensable
162.5 - 337.5	Alta susceptibilidad	Urgente

Nota. Esta tabla muestra los rangos del índice de vulnerabilidad (Iv) y su interpretación de acuerdo con el nivel de susceptibilidad estructural ante eventos sísmicos.

A continuación, se presenta el método empleado para calcular la evaluación de los parámetros, tomando como referencia una vivienda:

Detalle de cada parámetro y su respectiva calificación

Vivienda: N°06

Propietario/a: Aurora pipa centeno

Urbanización: San Luis bajo

1. Organización del sistema resistente.

A. Construcción con mampostería confinada en todos los niveles.

B. Estructura de mampostería compuesta exclusivamente por elementos de confinamiento, que pueden ser columnas sin vigas, vigas sin columnas o una mezcla de ambas, pero no en todos los niveles.

C. Edificación de mampostería carente de columnas y vigas de refuerzo en cada nivel, constituida por paredes ortogonales adecuadamente unidas.

D. Construcción de mampostería que carece de columnas y vigas de refuerzo en cada nivel, con paredes ortogonales que están desconectadas o mal enlazadas.

Tabla 5*Detalle del parámetro 1.*

Detalle	Panel de Fotografía
En esta variable se analiza la excelencia en el proceso de construcción, verificando el adecuado refuerzo de las paredes de carga. La construcción tiene vigas de aislamiento en los dos primeros grados, pero solo presenta columnas de confinamiento en el primer nivel, pero los niveles segundo y tercero no tienen columnas confinadas. Por ello su calificación es "B".	

Nota. muestra la evaluación del parámetro analizado, evidenciando las condiciones constructivas de la vivienda observada. Se aprecia el tipo de material, la disposición estructural y los elementos que podrían comprometer su estabilidad.

2. Calidad del sistema estructural

A. Las tres propiedades siguientes son las que tiene la estructura de soporte del inmueble:

- Ladrillo de alta calidad, con elementos uniformes a lo largo de toda la pared.
- Excelente conexión (unión) entre los elementos de mampostería.
- Mortero de alta calidad con un grosor de entre 1 y 1.5 cm.

B. La estructura de soporte del edificio no presenta una de las características propias de la clase A.

C. Dos de las propiedades de la clase A no están presentes en el sistema resistente del edificio.

D. El sistema de resistencia no presenta ninguno de los rasgos característicos de la categoría A.

Tabla 6

Detalle del parámetro 2

Detalle	Panel de Fotografía
En este apartado se evalúa la calidad de los materiales empleados. Según la revisión realizada, las paredes están formadas por bloques de concreto que no son totalmente uniformes, además, se identificó que el grosor del mortero supera los 2 cm. Por estas razones, la evaluación otorgada es: "C".	

Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro analizado, describiendo las condiciones constructivas y el estado actual de los materiales observados. Se aprecia la calidad del muro, el tipo de unidad de albañilería empleada y la uniformidad del acabado. Asimismo, permite identificar deficiencias como espesores irregulares, ausencia de confinamiento o fisuras visibles en la estructura.

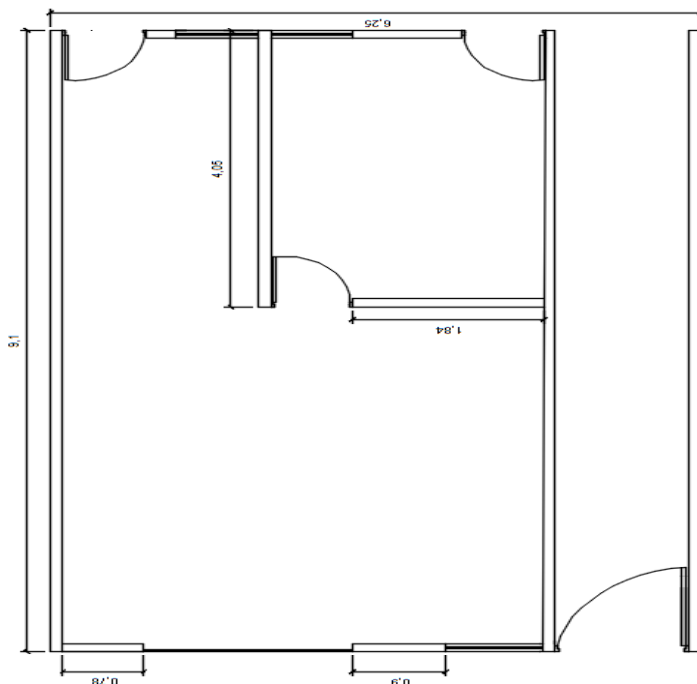
3. Resistencia convencional

- A. Estructura con $F_s \geq 1$
- B. Edificio con un coeficiente de seguridad en el rango de 0.6 a menos de 1.
- C. Estructura con valores de F_s que oscilan entre 0.4 y 0.6.
- D. Estructura con F_s menor a 0.4

Comprobación de la densidad de los muros

Figura 1

Plano de la vivienda analizada.



Nota. Esta figura muestra el plano arquitectónico de la vivienda analizada, donde se representan la distribución de los ambientes, ubicación de muros portantes y elementos estructurales principales. Permite identificar la configuración espacial, dimensiones de los recintos y el espesor de las paredes .

Tabla 7

Dimensiones de los muros en los sentidos X e Y.

DIRECCION X			
URO	L	t	L.t
	m	m	m ²
X1	1.84	0.12	0.22
X2	0.00	0.12	0.00
Lx	1.84	Ax	0.22

DIRECCION Y			
URO	L	t	L.t
	m	m	m ²
Y1	9.10	0.12	1.09
Y2	9.10	0.12	1.09
Lx	18.20	AY	2.18

Nota. Esta tabla muestra las dimensiones de los muros portantes en los ejes X e Y de la vivienda analizada, considerando su longitud (L), espesor (t) y área resistente (Lt). Los datos permiten cuantificar la distribución de muros en cada dirección estructural y determinar su aporte a la rigidez lateral. Asimismo, facilita la verificación de la densidad de muros exigida por la Norma Técnica E.030 para edificaciones de albañilería confinada.

Ap=61

Parámetros sísmicos

Tabla 8

Parámetros sísmicos.

Z=	0.25	Zona
U=	1	Clasificación de la estructura edilicia
C=	2.5	Factor de aumento
S=	1.2	Terreno suave
R=	3	Estructura del sistema
N=	3	Cantidad de niveles

Nota. Esta tabla muestra Los parámetros sísmicos se determinan considerando la ubicación, la clasificación del edificio y la cantidad de pisos, según lo estipulado en la Norma técnica E.030 para el diseño sismorresistente.

EC- 1 Verificación de la densidad de muros portantes

$$\frac{\sum L_t}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56} \quad \left(\begin{array}{l} 1 \\ \end{array} \right)$$

Donde:

$\sum L_t$ = Suma de longitudes de muros portantes por dirección (m)

A_p = Área del piso considerado (m²)

Z = Coeficiente sísmico zonal (adimensional)

U = Coeficiente de uso de la edificación (adimensional)

S = Coeficiente de tipo de suelo (adimensional)

N = Coeficiente por número de niveles o pisos (adimensional)

56 = Constante normativa de seguridad estructural

EN DIRECCION X-X

0.004 ≥ 0.02 FALSO

EN DIRECCION Y-Y

0.04 ≥ 0.02 VERDADERO

Cálculo de la resistencia clásica

Tabla 9

Información para el cálculo de la resistencia estándar.

Datos de resistencia	
N= Cantidad de niveles	3
Tk= Resistencia al corte de los paneles de mampostería (Tn/m ²)	18
At= Superficie total edificada en planta (m ²)	61
h = Altura media de los entrepisos (m)	2.7
Pm= Densidad específica de la mampostería (Tn/m ³)	1.8
Ps = Peso por cada unidad en el diagrama (Tn/m ²)	0.38
Ax y Ay representan las superficies totales de los muros estructurales en las direcciones X e Y, respectivamente (m ²).	

Nota. Esta tabla muestra los parámetros básicos utilizados para el cálculo de la resistencia estándar de la edificación, incluyendo cantidad de niveles, área construida, resistencia de la mampostería y promedio de entrepisos. Proporciona

además datos físicos como la densidad del material, peso por unidad y superficies de muros en los ejes X e Y.).

Área piso1: 61 m²

Área piso2: 62 m²

Área piso3: 62 m²

EC- 2 *Fuerza sísmica actuante (VA)*

$$V_A = \frac{Z * U * C * S}{R} * P \quad \left(\begin{array}{c} 2 \\ \end{array} \right)$$

Donde:

VA = Fuerza sísmica actuante (Tn)

Z = Coeficiente sísmico zonal (adimensional)

U = Coeficiente de uso (adimensional)

C = Coeficiente de condición del suelo (adimensional)

S = Coeficiente de tipo de suelo (adimensional)

R = Factor de reducción de respuesta estructural (adimensional)

P = Peso total de la edificación o masa sísmica (Tn)

$$V_A = \frac{Z * U * C * S}{R} * P = 30.82 \text{ Tn.}$$

EC- 3 *Resistencia convencional (VR)*

$$V_R = \tau_K * A_m \quad \left(\begin{array}{c} 3 \\ \end{array} \right)$$

Donde:

VR = Resistencia convencional al corte basal (Tn)

τ_k = Esfuerzo cortante permisible del muro (Tn/m²)

A_m = Área efectiva de los muros resistentes en dirección del análisis (m^2)

$$V_R = \tau_K * A_m = 3.97 \text{ Tn.}$$

EC- 4 Índice de resistencia sísmica (FS)

$$F_S = \frac{V_R}{V_A} \quad \left(\begin{array}{c} 4 \\ \end{array} \right)$$

Donde:

FS = Índice de seguridad estructural o factor de seguridad sísmica (adimensional)

VR = Resistencia convencional (Tn)

VA = Fuerza sísmica actuante (Tn)

$$F_S = \frac{V_R}{V_A} = 0.13$$

El valor de Ki para este parámetro es “D”

4. Posición del edificio y cimentación

A. Construcción asentada sobre un suelo firme o roca, con una inclinación menor al 10%. La cimentación se encuentra a un mismo nivel y no existe presión de tierra por rellenos.

B. Construcción ubicada en un terreno firme o rocoso, cuya pendiente varía entre el 10% y el 30%, y la diferencia de altura en la cimentación no supera 1 metro. No hay presión de tierra por rellenos.

C. Edificación en terreno suelto o blando, con una inclinación entre 10 y 30%, o sobre suelo sólido o roca, con un ángulo del 30 al 50%. La diferencia de niveles en la cimentación no excede 1 metro y existe presión de tierra por un terraplén.

D. Construcción en un terreno blando o flojo que tiene una inclinación mayor al 30%, o en terreno sólido o roca cuya inclinación sea superior al 50%. La diferencia de altura en la cimentación supera 1 metro y hay presión de tierra originada por un terraplén.

Tabla 10

Detalle del parámetro 4.

Detalle	Panel de Fotografía
Este criterio toma en cuenta la localización de la edificación y la inclinación del terreno sobre el que se encuentra edificada. La construcción está asentada en un suelo blando o suelto con una pendiente que varía entre el 10% y el 30%, y la diferencia de niveles en la cimentación no sobrepasa 1 metro. No se observa presión de tierra debido a la presencia de un terraplén. Por consiguiente, la calificación asignada a este parámetro es "C"	

Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro relacionado a la ubicación de la edificación y las condiciones del terreno donde se encuentra construida. Se observa que la vivienda está asentada sobre suelo blando o suelto con pendiente significativa, lo cual puede afectar la estabilidad estructural. Asimismo, no se

evidencia presencia de empujes laterales críticos ni deformaciones visibles en la cimentación.

5. Diafragmas horizontales

A. Esta categoría se otorga cuando no se observan las siguientes circunstancias: Existen desigualdades, ya que el porcentaje de aperturas en el diafragma supera el 30%, y la unión entre los muros y el diafragma no es adecuada.

B. Se refiere a aquellos casos en los que al menos una de las condiciones expuestas en la categoría A no se satisface.

C. Se utiliza en el caso de que no se cumplan dos de los requisitos de la clase A.

D. Esta evaluación se otorga en caso de que no se satisfaga ninguna de las condiciones establecidas en la sección A.

Tabla 11

Descripción del parámetro 5.

Detalle	Panel de Fotografía

La edificación presenta una superficie plana en las losas, la apertura de los diafragmas es menor al 30% y la unión entre muros y diafragmas es buena. Por ello, este criterio recibe una calificación de "A".



Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro relacionado con la regularidad de los diafragmas y la conexión entre los elementos horizontales y verticales de la estructura. Se observa que la edificación presenta losas planas, aperturas menores al 30 % y una correcta unión entre muros y diafragmas.

6. Configuración en planta

A. Edificación donde β_1 es igual o superior a 0.80, o β_2 es igual o menor a 0.1.

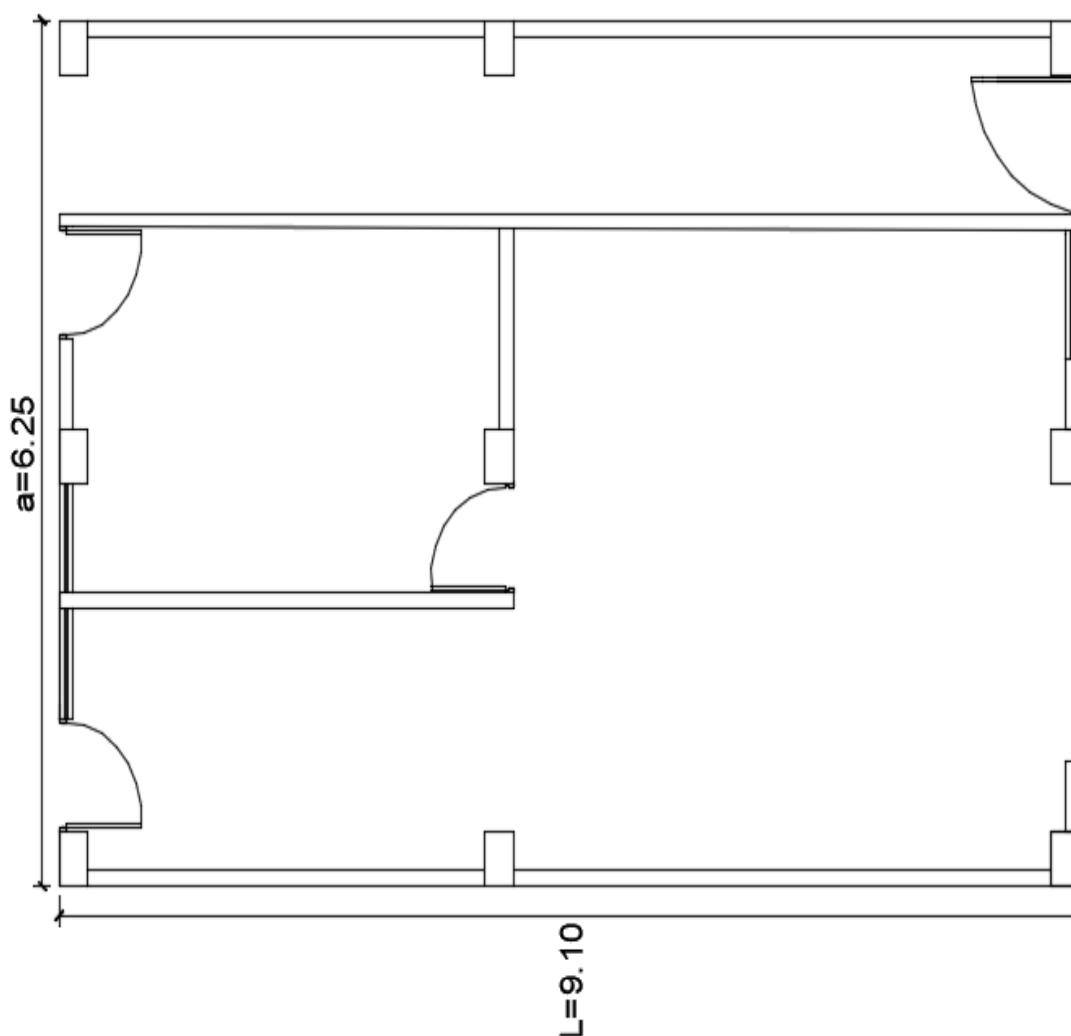
B. Edificación con un valor de β_1 entre 0.6 y 0.8 (sin incluir 0.8), o β_2 mayor a 0.1 pero no superior a 0.2.

C. Edificación con β_1 entre 0.4 y 0.6 (sin incluir 0.6), o β_2 mayor a 0.2 y hasta 0.3.

D. Edificación con β_1 menor a 0.4, o β_2 mayor a 0.3.

Según estas condiciones de forma, se presenta el siguiente plano:

Figura 2
Plano de la vivienda analizada.



Nota. Esta figura muestra la planta arquitectónica de la vivienda analizada, donde se detallan la distribución de ambientes, ubicación de muros portantes y disposición de vanos. Permite identificar la geometría en planta, continuidad estructural y configuración de los elementos resistentes.

Tabla 12

Dimensiones de la edificación.

CONFIGURACION DE PLANTA	LONGITUD(m)
a: ancho de edificio	6.25
L: lardo de edificio	9.10

Nota. Esta tabla muestra las dimensiones principales de la edificación en planta, considerando el ancho y el largo del edificio. Estos valores permiten definir la configuración geométrica de la estructura y sirven como base para el cálculo de la excentricidad, rigidez y distribución de masas.

EC- 5 Coeficientes de excentricidad en planta

$$\beta_1 = \frac{a}{L} \quad \wedge \quad \beta_2 = \frac{b}{L} \quad (5)$$

Donde:

β_1 = Coeficiente de excentricidad en el eje X (adimensional)

β_2 = Coeficiente de excentricidad en el eje Y (adimensional)

a = Longitud de la excentricidad en el eje X (m)

b = Longitud de la excentricidad en el eje Y (m)

L = Longitud total de la edificación en la dirección considerada (m)

$$\beta_1 = 0.69$$

Detalle: la estructura presenta $\beta_1 = 0.69$ por lo tanto la calificación que le corresponde es "B".

7. Configuración en elevación

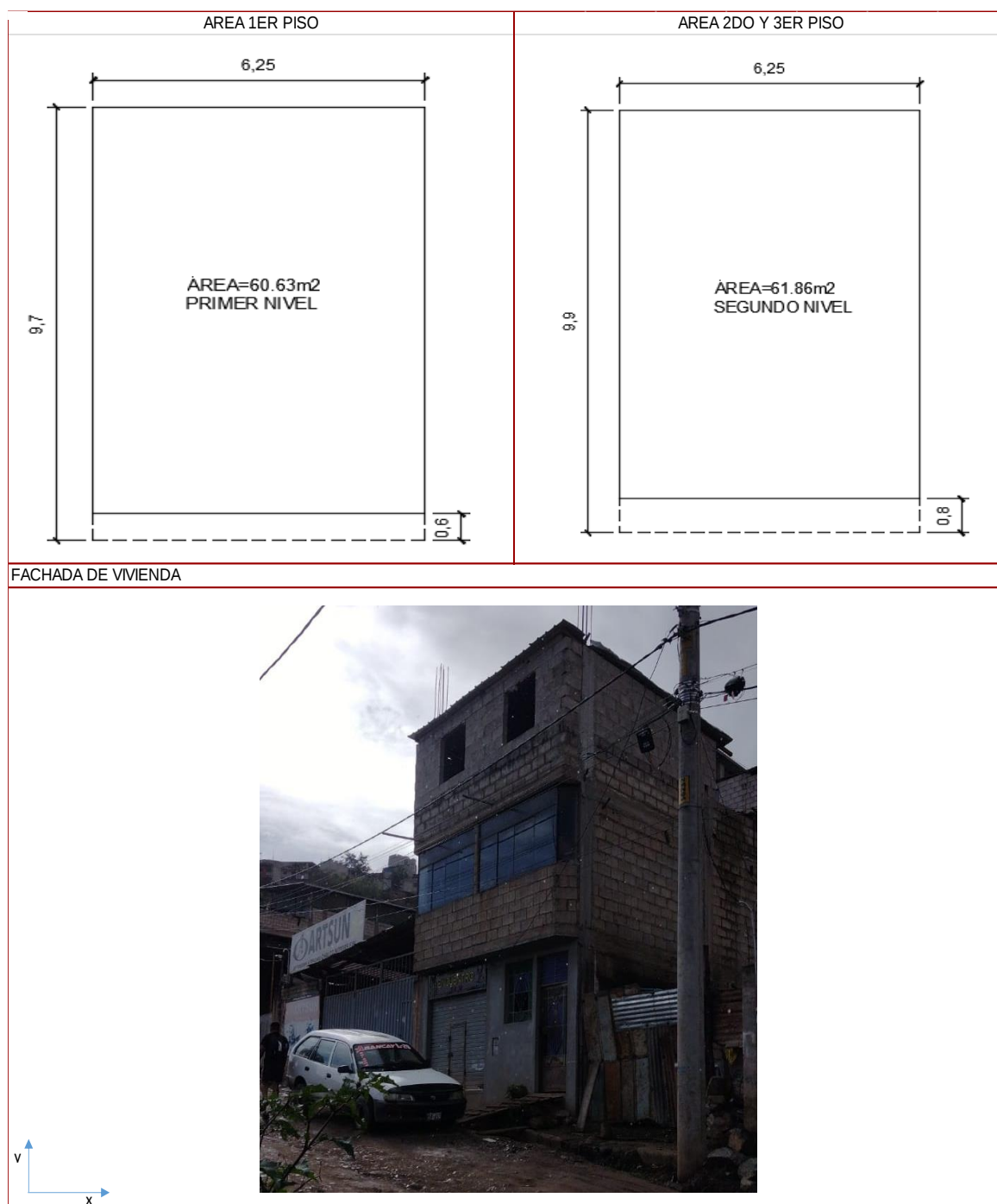
A. edificación con $-\Delta A/A < 10\%$

B. edificación con $10\% \leq -\Delta A/A < 20\%$

C. edificación con $-\Delta A/A > 20\%$

D. edificación con $\Delta A/A > 0$

Figura 3
Dimensiones de la vivienda analizada por pisos.



Nota. Esta figura muestra la distribución dimensional de la vivienda por niveles, indicando el ancho, el largo y el área construida en el primer, segundo y tercer piso. La información permite identificar variaciones geométricas entre niveles y su influencia en la distribución de cargas y masas. Asimismo, resulta fundamental para

el análisis de regularidad en altura según la Norma E.030 y para la evaluación del comportamiento sísmico estructural.

Tabla 13 Diferencia de áreas de pisos adyacentes.

CONFIGURACION EN ELEVACION	LONGITUD(m)
A: area del piso bajo	60.63
ΔA : cambio de area de piso	61.86

Nota. Esta tabla muestra la diferencia de áreas de pisos adyacentes para la obtención de los parámetros $\Delta A/A=2.03\%$, Detalle: La estructura muestra un $\Delta A/A$ del 2.03%, dado que el área del segundo nivel supera la del primer nivel, lo que se interpreta como un valor positivo superior a 0. Por lo tanto, se le asigna una calificación de "D".

8. Separación máxima entre muros

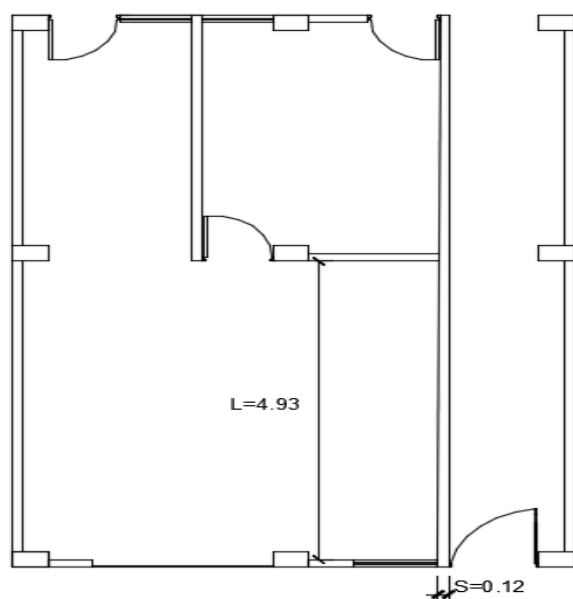
A. edificación con $L/S < 15$

B. edificación con $15 \leq L/S < 18$

C. edificación con $18 \leq L/S < 25$

D. edificación con $L/S \geq 25$

De acuerdo con las condicionales de forma se tiene el siguiente plano:

Figura 4*Plano de la vivienda analizada.*

Nota. Esta figura muestra el plano resultante de la aplicación de las condicionales de forma establecidas para la vivienda analizada. Se observa la distribución de los muros portantes, la ubicación de los elementos estructurales y las dimensiones relevantes en planta.

Tabla 14*Espaciamiento y espesor de muros de la vivienda analizada.*

DISTANCIA ENTRE LOS MUROS	LONGITUD (m)
L: Espaciamiento de los muros transversales	4.93
S: Espesor del muro maestro	0.12

Nota. Esta tabla muestra el espaciamiento entre los muros transversales y el espesor del muro maestro de la vivienda analizada. Estos parámetros permiten calcular la relación L/S , utilizada para evaluar la esbeltez y rigidez de los muros conforme a la Norma E.030. El resultado obtenido indica que la separación entre muros es considerable respecto a su espesor, lo que repercute en una menor capacidad de disipación de cargas laterales

Esta tabla refleja el esparcimiento y espesor de muros de la vivienda analizada. $\frac{L}{S}=41.08$. La medición de la separación entre los muros transversales y el grosor del muro principal arroja un resultado de 41.08, por lo que la calificación pertinente es (D).

9. Tipo de cubierta

A. El edificio cuenta con las siguientes condiciones:

1. La tapa presenta una gran estabilidad y se encuentra sólidamente fijada a las paredes a través de uniones adecuadas, tales como tornillos o alambres, garantizando su desempeño como un diafragma rígido.
2. Las vigas cuentan con arriostramiento y la distancia entre ellas es adecuada.
3. Posee un techo nivelado, adecuadamente asegurado y sostenido sobre la estructura de losa aligerada.

B. Construcción que no satisface alguna de las características establecidas en la categoría A.

C. Construcción que no cumple con dos de los criterios señalados en la categoría A.

D. Construcción que no satisface las condiciones establecidas en la categoría A.

Tabla 15*Detalle del parámetro 9.*

Detalle	Panel de Fotografía
En esta obra se emplea una cubierta diferente de la del sistema "par y nudillo", que es conocida, entre los trabajadores de la construcción, utilizados como cubierta de "media agua". En esta situación, se observan correas elaboradas en madera que están correctamente unidas a las armaduras de las columnas y apoyadas sobre estas, lo que proporciona estabilidad y rigidez a la estructura. Por estas razones, la calificación asignada es "A".	

Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro relacionado con el tipo de cubierta empleado en la vivienda, el cual corresponde a una estructura de madera tipo "media agua", distinta al sistema tradicional par y nudillo. Se observa que las piezas de madera están correctamente apoyadas y unidas a las armaduras de las columnas, lo que contribuye a la estabilidad del techo.

10. Elementos no estructurales

A. Composición que incluye componentes no estructurales de dimensiones pequeñas, que están correctamente incorporados a la estructura principal.

B. Estructura compuesta por elementos no estructurales de tamaño reducido, pero que presentan una conexión inadecuada con la estructura principal.

C. La construcción cuenta con numerosos elementos no estructurales y, en esta obra, se utiliza un tipo de cubierta distinto al sistema "par y nudillo", que los albañiles suelen denominar techo de "media agua". En esta situación, se observan correas de madera que están adecuadamente fijadas a las armaduras de las columnas y descansan sobre ellas.

D. Composición de elementos no estructurales que no tienen vínculo o que fueron colocados tras la edificación principal, lo que provoca una unión inestable de dichos elementos con las paredes.

Tabla 16

Detalle del parámetro 10.

Detalle	Panel de Fotografía
La propiedad evaluada presenta numerosos componentes no estructurales que, debido a su considerable peso, están inadecuadamente unidos a la estructura principal. Esto supone un peligro de desprendimiento si se produce un sismo. Por estos motivos, este parámetro recibe la calificación de "C".	

Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro relacionado con la presencia de elementos no estructurales anexos a la vivienda, como

ampliaciones, muros delgados o añadidos sin anclaje adecuado a la estructura principal. Estos componentes presentan riesgo de desprendimiento durante un sismo debido a su peso y mala conexión.

11. Estado de conservación

A. Las paredes, los pilares y los techos se encuentran en excelente estado, sin signos evidentes de deterioro.

B. Las paredes, los pilares y los techos muestran grietas que no son resultado de temblores sísmicos.

C. Paredes y columnas que presentan grietas de tamaño intermedio (de 2 a 3 mm de ancho) o fisuras ocasionadas por un terremoto. Asimismo, se presentan estructuras que, aunque no presentan fisuras, exhiben un nivel de conservación insatisfactorio.

D. Tanto las columnas como los muros presentan un evidente desgaste en los materiales de construcción, además de fisuras que superan los 3 mm de grosor. Las techumbres presentan daños significativos y están a punto de caer.

Tabla 17

Detalle del parámetro 11.

Detalle	Panel de Fotografía
----------------	----------------------------

En la vivienda evaluada se observan fisuras en los muros que no fueron originadas por movimientos sísmicos. Asimismo, puesto que el primer piso se levantó mucho antes que los siguientes dos, la antigüedad de la estructura ha ocasionado un deterioro en el trabajo de albañilería.



Por estos motivos, este parámetro se clasifica como "B".

Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro relacionado con la presencia de fisuras en los muros de la vivienda, las cuales se atribuyen a eventos sísmicos previos y al deterioro del material por antigüedad. Se evidencia que el primer nivel presenta mayor desgaste debido a su construcción más antigua, lo que afecta la calidad del trabajo de albañilería.

5.1.2 Estudio y evaluación de los resultados de los indicadores de las residencias en el área de investigación.

Parámetro 1. Estructuración del sistema robusto.

Tabla 18

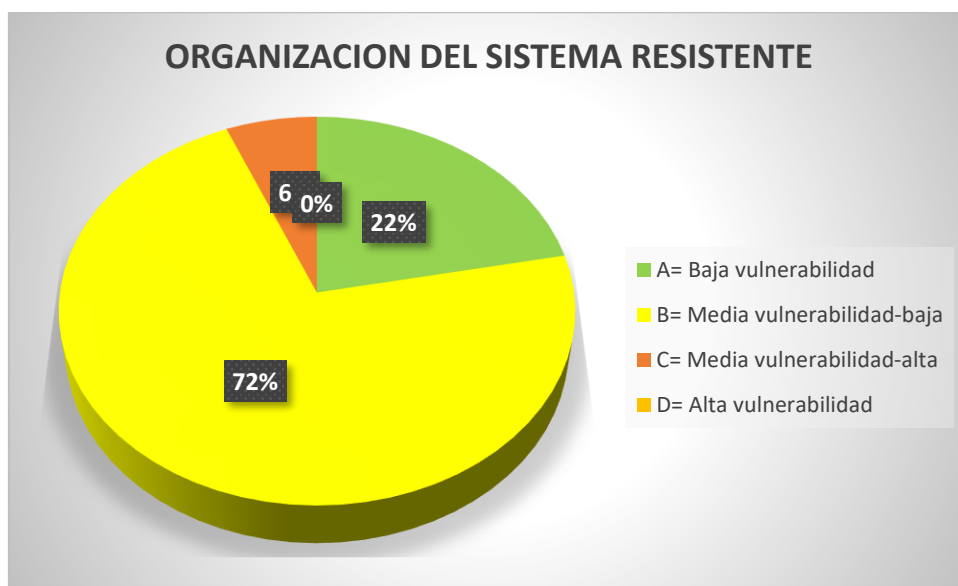
Resultados del parámetro 1

CALIDAD	Nº VIVIENDAS	%
---------	-----------------	---

A	7	22%
B	23	72%
C	2	6%
D	0	0%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla presenta los resultados del parámetro relacionado con la estructuración del sistema robusto, donde se evalúa la calidad estructural de las viviendas analizadas. Se observa que el 72 % de las viviendas obtienen calificación “B”, lo que indica un nivel aceptable de continuidad y conexión estructural. Un 22 % alcanza la categoría “A”, evidenciando buenas condiciones de estabilidad, mientras que el 6 % obtiene “C”, reflejando deficiencias leves en su configuración.

Figura 5
Parámetro Organización del Sistema Resistente



Nota. Esta figura representa la distribución porcentual de la organización del sistema resistente de las viviendas evaluadas. Se observa que el 72 % presenta una organización estructural aceptable (categoría “B”), mientras que el 22 % muestra baja vulnerabilidad (categoría “A”), indicando buenas condiciones de continuidad y rigidez. Solo el 6 % corresponde a categoría “C”, evidenciando deficiencias leves en la configuración estructural. Esta representación gráfica

permite visualizar de manera clara la tendencia global del comportamiento del sistema resistente.

Interpretación:

El estudio sobre el parámetro de organización del sistema resistente en las edificaciones de albañilería de la urbanización San Luis Bajo revela que un 6% de las viviendas presenta una vulnerabilidad media-alta. Esto se debe a que sus muros están parcialmente confinados, resultado de deficiencias en el proceso constructivo. Por otro lado, se observa que el 72% de las casas tiene una vulnerabilidad media-baja, clasificándose como B. Esta situación requiere una intervención a largo plazo, ya que las construcciones de albañilería cuentan con elementos estructurales horizontales confinados en los muros portantes, aunque carecen de un adecuado confinamiento en columnas. En algunos casos, se presentan elementos verticales confinados, pero sin el correspondiente confinamiento en vigas, o bien hay columnas y vigas de confinamiento, aunque no en todos los niveles. De igual manera, el 22% se clasifica con una calificación A de vulnerabilidad baja para la intervención a largo plazo, ya que las estructuras poseen elementos de confinamiento en cada nivel del edificio.

Parámetro 2. Calidad de la estructura resistente.

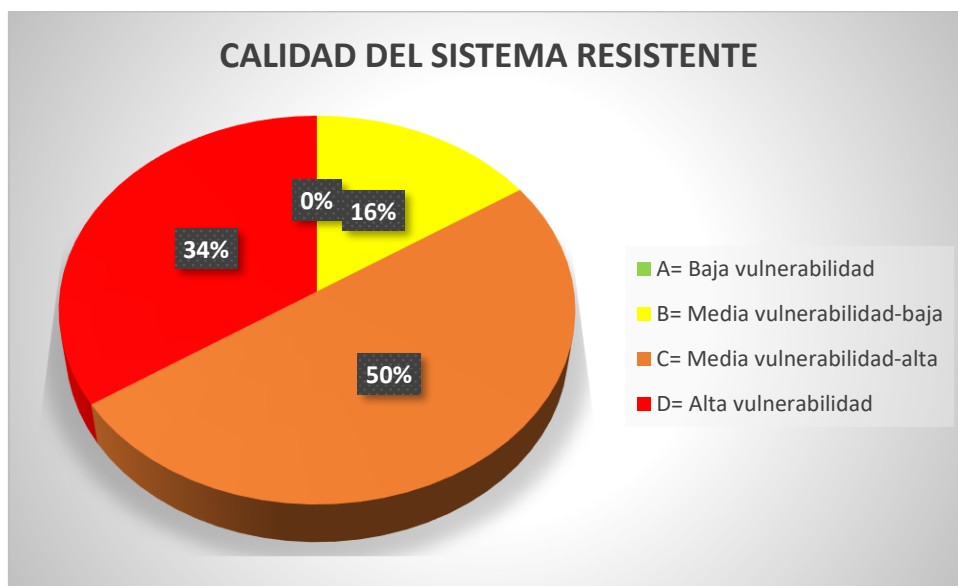
Tabla 19

Resultados del parámetro 2

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	0	0%
B	5	16%
C	16	50%
CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
D	11	34%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla presenta la evaluación de la calidad de la estructura resistente de las viviendas analizadas. Se observa que el 50 % de las viviendas obtiene calificación “C”, lo que evidencia deficiencias moderadas en la calidad del material y ejecución de la albañilería. Un 34 % se ubica en la categoría “D”, reflejando condiciones críticas que incrementan la vulnerabilidad estructural, mientras que solo el 16 % alcanza la categoría “B”, indicando un nivel aceptable de resistencia. Estos resultados permiten identificar que la mayoría de viviendas requiere intervenciones para mejorar su capacidad estructural.

Figura 6
Parámetro Calidad del Sistema Resistente



Nota. Esta figura muestra la distribución porcentual del parámetro relacionado con la calidad del sistema resistente de las viviendas evaluadas. Se observa que el 50 % presenta una calificación “C”, lo que evidencia deficiencias estructurales moderadas; mientras que el 34 % alcanza la categoría “D”, asociada a condiciones críticas de resistencia. Solo el 16 % se ubica en la categoría “B”, reflejando un nivel aceptable de calidad constructiva. Estos resultados confirman una tendencia

predominante hacia estructuras con vulnerabilidad significativa que requieren intervención.

Interpretación:

El examen del parámetro referente a la calidad del sistema estructural de las edificaciones de mampostería en la urbanización San Luis Bajo revela que un 16% de las viviendas presenta una vulnerabilidad media-baja, dado que no cumplen con todos los criterios establecidos para la calificación A (que implica buena calidad del ladrillo, así como un amarre y juntas de entre 10 a 15 mm). Por otro lado, el 50% de las casas se clasifica con una vulnerabilidad media-alta, correspondiente a la calificación C, lo que indica que requieren intervención. Además, un 34% de las edificaciones se encuentra en una situación de alta vulnerabilidad, con una calificación D, lo que señala la necesidad de una intervención urgente e inmediata. Esto se debe a que las construcciones de albañilería están realizadas con bloques de concreto que, en su mayoría, no cumplen con los estándares básicos de calidad, careciendo de tamaños uniformes y partes homogéneas, así como de un adecuado entrelazado (amarre) entre las unidades de albañilería y un mortero de mala calidad, cuyo grosor supera los 1.5 cm.

Parámetro 3. Resistencia convencional.

Tabla 20

Resultados del parámetro 3

CALIDAD	Nº VIVIENDAS	%
A	6	19%
B	13	41%
C	3	9%
D	10	31%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla presenta la distribución porcentual del parámetro correspondiente a la resistencia convencional del sistema resistente. Se observa que el 41 % de las viviendas obtiene calificación “B”, indicando una resistencia moderadamente adecuada; mientras que el 31 % se ubica en la categoría “D”, evidenciando deficiencias críticas. Solo el 19 % alcanza la categoría “A” y el 9 % la “C”.

Figura 7
Parámetro Resistencia Convencional



Nota. Esta figura representa la distribución porcentual del parámetro de resistencia convencional del sistema estructural de las viviendas evaluadas. Se observa que el 41 % de las edificaciones se encuentra en la categoría “B”, lo que refleja una resistencia moderada; mientras que el 31 % pertenece a la categoría “D”, evidenciando condiciones críticas. Asimismo, el 19 % alcanza la clasificación “A” y solo el 9 % la categoría “C”, lo que confirma que una parte significativa de las

viviendas requiere intervención estructural para mejorar su comportamiento sísmico.

Interpretación:

En la evaluación del parámetro en la urbanización San Luis Bajo, se constató que un 19% de las edificaciones presentan una vulnerabilidad reducida, ya que la proporción entre la resistencia a cortante de las paredes y la fuerza basal aplicada supera el valor de uno. De igual manera, se observó que el 41% de las propiedades se clasifican como tipo B, dado que presentan una densidad de muros orientados en una sola dirección (la más corta). Esta condición resulta insuficiente, ya que el considerable peso de las estructuras hará que la fuerza sísmica sea proporcional, lo que significa que el sistema de soporte no podrá soportar esas fuerzas. El 19% presenta una vulnerabilidad media-alta, mientras que el 31% muestra alta vulnerabilidad. Esto se debe a la falta de una correlación directa entre la densidad de los muros y la resistencia convencional.

Parámetro 4. Posición del edificio y cimentación.

Tabla 21

Resultados del parámetro 4

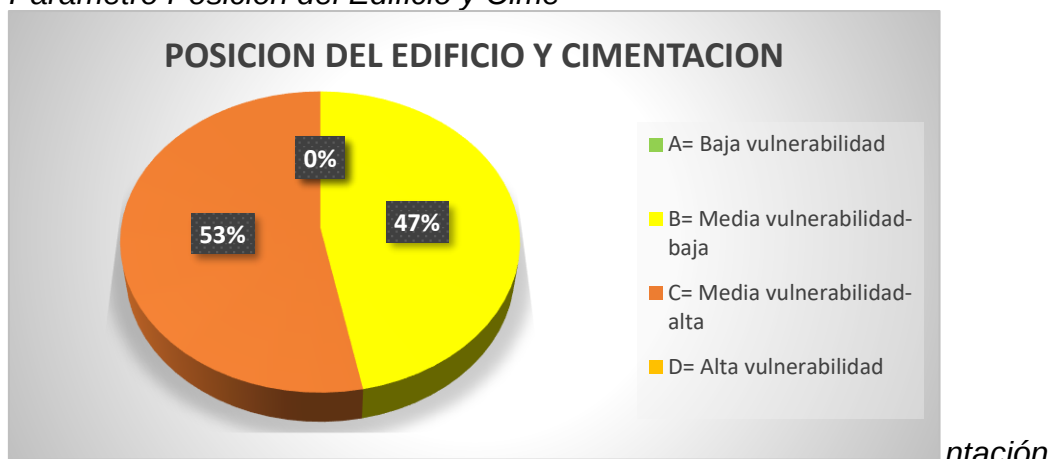
CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	0	0%
B	15	47%
C	17	53%
D	0	0%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla presenta los resultados del parámetro referente a la posición del edificio y la cimentación de las viviendas evaluadas. Se observa que el 53 % de las viviendas obtiene calificación “C”, evidenciando deficiencias moderadas en la

ubicación de la estructura y en el soporte de cimentación; mientras que el 47 % se clasifica como “B”, indicando condiciones aceptables con vulnerabilidad media.

Figura 8

Parámetro Posición del Edificio y Cime



Nota. Esta figura muestra la distribución porcentual del parámetro relacionado con la posición del edificio y la cimentación de las viviendas evaluadas. Se observa que el 53 % de las edificaciones se encuentra en la categoría “C”, lo que indica una ubicación inadecuada respecto al terreno y cimentaciones con deficiencias moderadas; mientras que el 47 % se ubica en la categoría “B”, evidenciando condiciones aceptables con vulnerabilidad media.

Interpretación:

El estudio del parámetro de posicionamiento tanto del edificio como de la cimentación en las construcciones de albañilería de la urbanización San Luis Bajo indica que el 53% de ellas presenta una vulnerabilidad media-alta, clasificada como C, lo que implica una intervención urgente. Esto se debe a que estas edificaciones están asentadas sobre terrenos blandos o sueltos con inclinaciones que oscilan entre el 10% y el 30%, además de experimentar empuje de tierra por la existencia de un terraplén. Por otro lado, el 47% muestra una vulnerabilidad media-baja, clasificada como B, sugiriendo que se requiere una intervención a largo plazo. Estas construcciones están también sobre suelos blandos, pero con pendientes inferiores al 10%, y no se percibe el empuje de tierra asociado a un terraplén.

Parámetro 5: Diafragmas horizontales.

Tabla 22

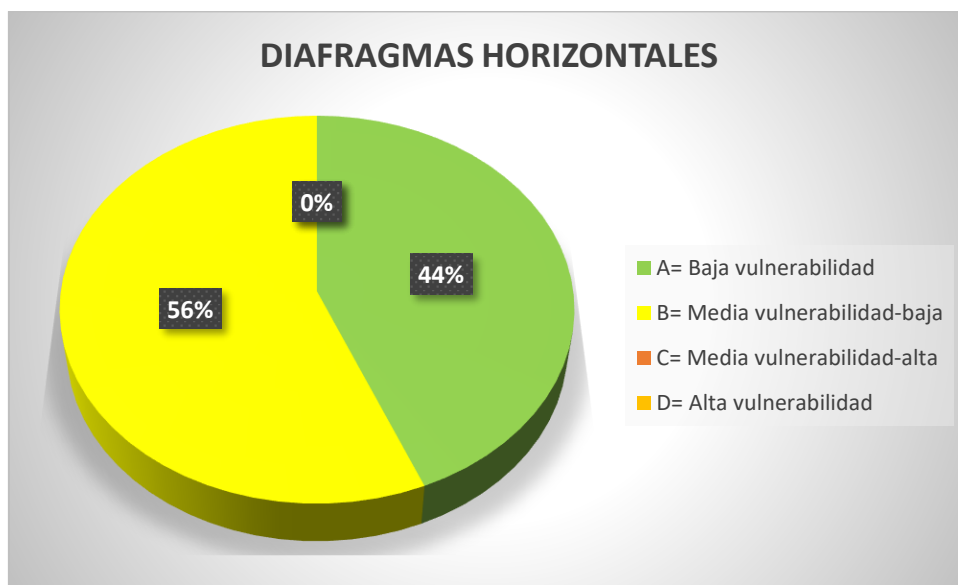
Resultados del parámetro 5

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	14	44%
B	18	56%
C	0	0%
D	0	0%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla muestra la distribución porcentual del parámetro referente a los diafragmas horizontales de las viviendas evaluadas. Se observa que el 56 % pertenece a la categoría “B”, indicando rigidez moderada y un comportamiento aceptable ante esfuerzos laterales; mientras que el 44 % se ubica en la categoría “A”, evidenciando adecuada continuidad estructural y buena transmisión de cargas hacia los elementos verticales.

Figura 9

Parámetro Diafragmas Horizontales



Nota. Esta figura muestra la distribución porcentual del parámetro referente a los diafragmas horizontales en las viviendas evaluadas. Se observa que el 56 % corresponde a la categoría “B”, lo cual indica rigidez moderada y funcionamiento aceptable ante cargas laterales; mientras que el 44 % se ubica en la categoría “A”,

evidenciando adecuada continuidad estructural y correcta transmisión de esfuerzos.

Interpretación:

El estudio del parámetro de diafragmas horizontales en las edificaciones de albañilería de la urbanización San Luis bajo revela que el 56% corresponde a una vulnerabilidad media-baja, obteniendo una calificación B y requiriendo intervención a largo plazo. Esto se debe a que, aunque estas construcciones no presentan desniveles en los diafragmas y el porcentaje de aberturas es inferior al 30%, las conexiones entre los muros y el techo resultan deficientes. Por otro lado, el 44% muestra una vulnerabilidad baja, con una calificación A y también con intervención prevista a largo plazo, ya que en estos casos las edificaciones no presentan desniveles en los diafragmas, el porcentaje de aberturas es menor al 30% y las conexiones entre muros y diafragmas son adecuadas.

Parámetro 6: Configuración en planta

Tabla 23

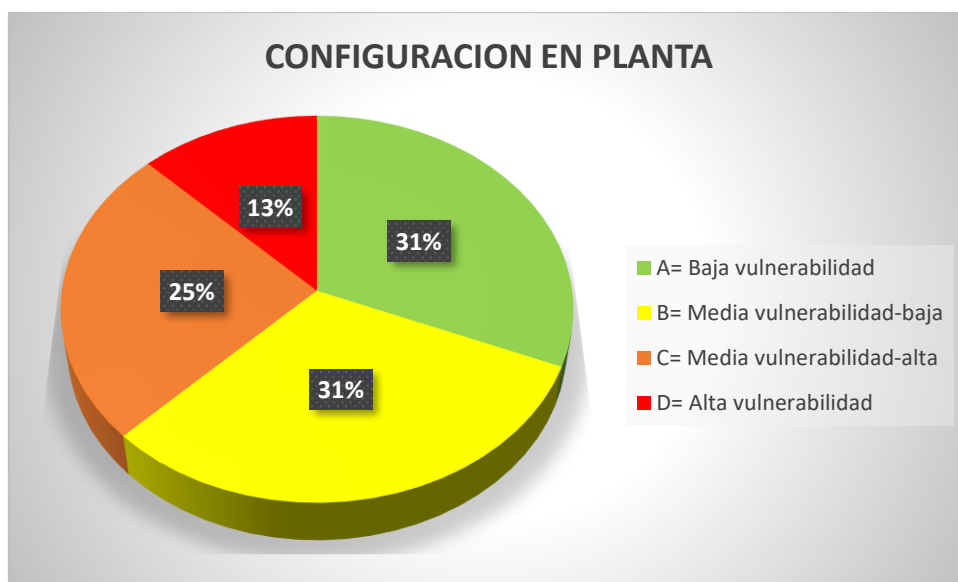
Resultados del parámetro 6

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	10	31%
B	10	31%
C	8	25%
D	4	13%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro correspondiente a la configuración en planta de las viviendas. Se observa que el 31 % se ubica en la categoría “A” y otro 31 % en “B”, lo que indica distribuciones regulares con adecuada simetría y continuidad estructural. Sin embargo, el 25 % se clasifica como “C” y el 13 % en “D”, evidenciando plantas irregulares con torsiones, retranqueos o

voladizos que generan concentraciones de esfuerzos y aumentan la vulnerabilidad estructural.

Figura 10
Parámetro Configuración en Planta



Nota. Esta figura muestra la representa la distribución porcentual del parámetro correspondiente a la configuración en planta de las viviendas evaluadas. Se observa que el 31 % presenta configuración “A” y otro 31 % “B”, lo que indica plantas regulares con continuidad estructural aceptable. Sin embargo, el 25 % se ubica en la categoría “C” y el 13 % en “D”, evidenciando geometrías irregulares con torsiones, retranqueos o voladizos que generan concentraciones de esfuerzos y aumentan la vulnerabilidad estructural ante cargas sísmicas.

Interpretación:

El estudio del parámetro de configuración en planta de los edificios contruidos con albañilería en la urbanización San Luis bajo se le asigna que el 31% presenta baja vulnerabilidad de calificación A de tipo intervención a largo plazo, ya que las construcciones de albañilería exhiben simetría en planta, con proporciones parecidas a secciones cuadradas y sin salientes extra, el otro 31%

presenta media vulnerabilidad-baja debido a que estas no presentan una forma regular en planta y en algunos casos con presencia de protuberancias, el 25% presenta media vulnerabilidad-alta de calificación C debido a que estas cuentan con una forma irregular y en algunos casos con protuberancias, sin embargo el 13% presenta alta vulnerabilidad de calificación D de tipo intervención urgente, las construcciones tienen secciones largas.

Parámetro 7: Configuración en elevación

Tabla 24

Resultados del parámetro 7

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	4	12%
B	0	0%
C	0	0%
D	28	88%
TOTA	32	100%
L		

Nota. Esta tabla muestra la distribución porcentual del parámetro relacionado con la configuración en elevación de las viviendas evaluadas. Se observa que el 88 % se clasifica en la categoría “D”, lo que indica presencia de irregularidades verticales como diferencias de niveles, voladizos o pisos añadidos sin continuidad estructural. Solo el 12 % alcanza la categoría “A”, reflejando alineación adecuada entre muros, losas y elementos portantes.

Figura 11

Parámetro Configuración en Elevación



Nota. Esta figura muestra la representación gráfica del parámetro correspondiente a la configuración en elevación de las viviendas evaluadas. Se observa que el 88 % de las edificaciones se ubica en la categoría “D”, lo que evidencia elevaciones con discontinuidades, retranqueos o cambios de nivel que generan concentraciones de esfuerzos. Solo el 12 % pertenece a la categoría “A”, indicando fachadas regulares y alineadas. Estos resultados reflejan una alta vulnerabilidad estructural debido a irregularidades verticales.

Interpretación:

Estudio del parámetro de configuración en altura de las construcciones de albañilería dentro de la urbanización San Luis bajo se le asigna que el 88% presenta alta vulnerabilidad de calificación D de tipo intervención urgente, debido a que la edificación de albañilería aumenta hacia lo alto en variación de masa y área, sin embargo el 12% presenta baja vulnerabilidad de calificación A de tipo intervención a largo plazo, debido a que las edificaciones presentan simetría en área y masa hacia lo alto del edificio.

Parámetro 8: Separación máxima entre muros

Tabla 25 Resultados del parámetro 8

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	0	0%
B	0	0%
C	3	9%
D	29	91%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla muestra la evaluación del parámetro relacionado con la irregularidad en elevación de las viviendas analizadas. Se observa que la mayoría de edificaciones presenta discontinuidades verticales, variaciones de altura o ampliaciones sin continuidad estructural, lo que incrementa la vulnerabilidad sísmica.

Figura 12

Parámetro Separación máxima entre muros



Nota. Esta figura muestra la distribución del parámetro relacionado con la separación máxima entre muros: el 91 % de las viviendas se ubica en la categoría “D” (alta vulnerabilidad) y el 9 % en “C”, sin registros en “A” ni “B”. Este patrón evidencia luces excesivas entre muros, con baja rigidez y deficiente transmisión de cargas laterales, lo que incrementa la vulnerabilidad sísmica del sistema estructural.

Interpretación:

La evaluación del parámetro de separación máxima entre muros en las construcciones de albañilería de la urbanización San Luis bajo revela que el 9% de las casas tienen una media vulnerabilidad-alta, con una calificación C de tipo intervención necesaria, debido a que los muros divisorios están a distanciados, el 91% de las viviendas presenta alta vulnerabilidad de calificación D de tipo intervención urgente, debido a que las edificaciones de albañilería presentan muros transversales o secundarios muy a distanciados que interceptan a los muros portantes.

Parámetro 9: Tipo de cubierta

Tabla 26

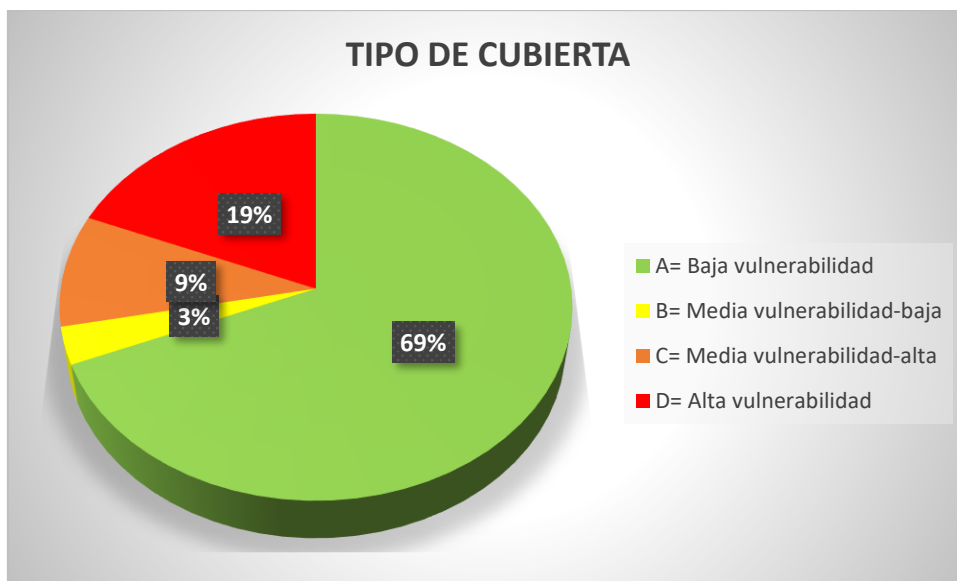
Resultados del parámetro 9

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	22	69%
B	1	3%
C	3	9%
D	6	19%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla muestra la distribución del parámetro referente al tipo de cubierta en las viviendas evaluadas. Se observa que el 69 % se ubica en la categoría “A”, lo que indica cubiertas en buen estado y adecuadamente ancladas; mientras que el 3 % está en “B”, el 9 % en “C” y el 19 % en “D”, evidenciando cubiertas con deterioro, falta de amarre estructural y alta vulnerabilidad ante succión de viento y acciones sísmicas.

Figura 13

Parámetro tipo de cubierta.



Nota. Esta figura representa la distribución porcentual del parámetro relacionado con el tipo de cubierta de las viviendas. Se observa que el 69 % pertenece a la categoría “A”, indicando cubiertas bien ejecutadas y con adecuado anclaje estructural; mientras que el 3 % corresponde a la categoría “B”, el 9 % a “C” y el 19 % a “D”, evidenciando cubiertas con deterioro, conexiones débiles y alta vulnerabilidad frente a cargas de viento y eventos sísmicos.

Interpretación:

Según la investigación del tipo de cubierta en las construcciones de ladrillo de la urbanización San Luis Bajo, el 69 % tiene un nivel bajo de vulnerabilidad, obteniendo una calificación A, y el 3% muestra una vulnerabilidad media-baja con calificación B; ambos requieren intervenciones a largo plazo. Esto se debe a que, Cuando la cubierta está formada por una losa aligerada, se pueden clasificar como A o B de acuerdo con sus características. Por otro lado, el 9% de las viviendas evidencia una vulnerabilidad media-alta, con calificación C y necesidad de intervención, ya que estas edificaciones cuentan con tijerales y correas de madera que no están correctamente fijadas a las paredes ortogonales con tornillos o alambres, ni adecuadamente apoyadas sobre la estructura de losa aligerada,

aunque sí disponen de arriostre horizontal. Finalmente, el 19% presenta una vulnerabilidad alta y calificación D, requiriendo una intervención urgente o inmediata, porque estas edificaciones tienen tijerales y correas de madera sin una adecuada sujeción a las paredes ortogonales, tampoco están correctamente apoyadas sobre la losa aligerada y además carecen de arriostre horizontal.

Parámetro 10: Elementos no estructurales

Tabla 27

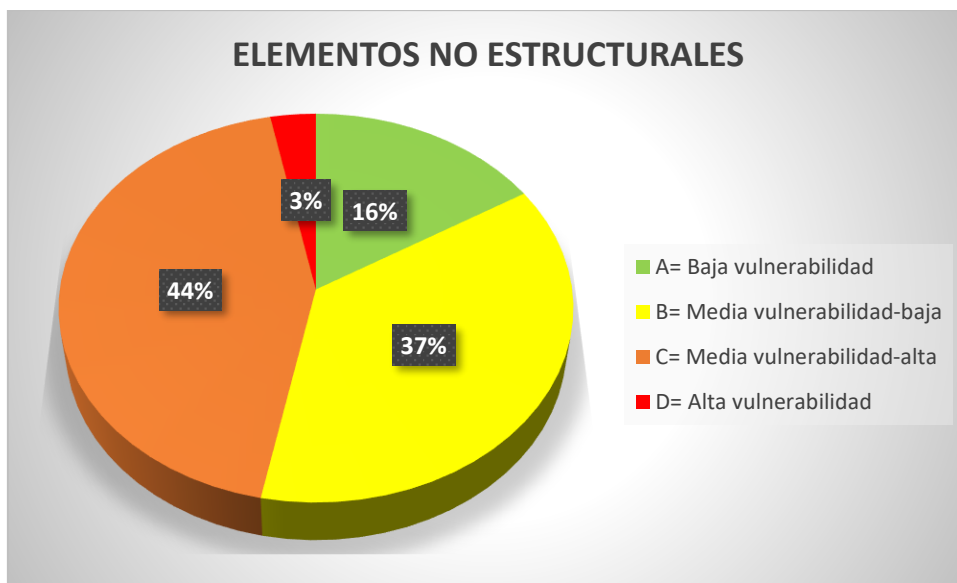
Resultados del parámetro 10

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	5	16%
B	12	37%
C	14	44%
D	1	3%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla muestra la distribución porcentual del parámetro relacionado con los elementos no estructurales en las viviendas evaluadas. Se observa que el 44 % se ubica en la categoría “C”, indicando presencia de elementos mal fijados o con riesgo de desprendimiento ante sismos; mientras que el 37 % pertenece a “B”, reflejando deficiencias moderadas. Solo el 16 % se encuentra en “A” y el 3 % en “D”.

Figura 14

Parámetro Elementos no Estructurales



Nota. Esta figura presenta la distribución porcentual del parámetro relacionado con los elementos no estructurales en las viviendas evaluadas. Se observa que el 44 % se ubica en la categoría “C”, indicando deficiencias significativas como elementos mal anclados o con riesgo de desprendimiento ante vibraciones sísmicas; mientras que el 37 % corresponde a “B”, reflejando condiciones moderadas.

Interpretación:

La investigación del parámetro vinculado a los componentes no estructurales en las construcciones de mampostería de la urbanización San Luis Bajo revela que el 16% de los hogares presenta una vulnerabilidad baja (calificación A) y requiere intervención a largo plazo, dado que no tienen elementos no estructurales que estén mal integrados en el sistema resistente. Un 37% corresponde a una vulnerabilidad media-baja (calificación B) también con intervención a largo plazo, dado que los parapetos están bien conectados al sistema resistente. Por otro lado, el 44% presenta una vulnerabilidad media-alta (calificación C) y necesita intervención, porque los parapetos están mal conectados al sistema resistente y muestran signos de desgaste debido a la antigüedad. Finalmente, el 3% de las viviendas tiene una vulnerabilidad alta (calificación D).

Parámetro 11: Estado de conservación

Tabla 28

Resultado del parámetro 11

CALIDAD	N° VIVIENDAS	%
A	6	19%
B	21	66%
C	5	15%
D	0	0%
TOTAL	32	100%

Nota. Esta tabla muestra la distribución porcentual del parámetro relacionado con el estado de conservación de las viviendas evaluadas. Se observa que el 66 % se ubica en la categoría “B”, lo que indica un estado de mantenimiento regular con deterioros leves no estructurales; mientras que el 19 % corresponde a la categoría “A”.

Figura 15

Parámetro Estado de Conservación



Nota. Esta figura representa la distribución porcentual del parámetro estado de conservación de las viviendas evaluadas. Se observa que el 66 % se ubica en la categoría “B”, lo que indica mantenimiento regular con deterioros menores;

mientras que el 19 % corresponde a “A”, evidenciando buenas condiciones generales. Asimismo, el 15 % se clasifica como “C”, reflejando daños moderados que requieren atención, sin registrarse valores críticos en categoría “D”.

Interpretación:

El estudio del estado de conservación de los edificios de albañilería en la urbanización San Luis bajo arroja que el 19% de las viviendas presentan baja vulnerabilidad de calificación A debido a que presentan muros en buen estado sin fisuras visibles ya que las viviendas no superan ni los 10 años de antigüedad, 66% presenta media vulnerabilidad – baja de calificación B, con una intervención a largo plazo debido a que las edificaciones presentan muros, columnas y techo en estado de conservación regular pero presentan agrietamientos que no han sido provocados por terremotos sino más bien a causa de asentamiento, sin embargo el 15% presenta media vulnerabilidad-alta de calificación C, de tipo de intervención requerida a causa de las construcciones que tienen paredes deterioradas y con fisuras de entre 2 y 3 mm.

5.1.3 Índice de vulnerabilidad

Luego de concluir el estudio de vulnerabilidad sísmica de las 32 casas, se confeccionó un cuadro resumen en el que sobresalen aspectos fundamentales como la superficie construida, la cantidad de plantas y el índice de vulnerabilidad.

Tabla 29

Resumen de índice de vulnerabilidad.

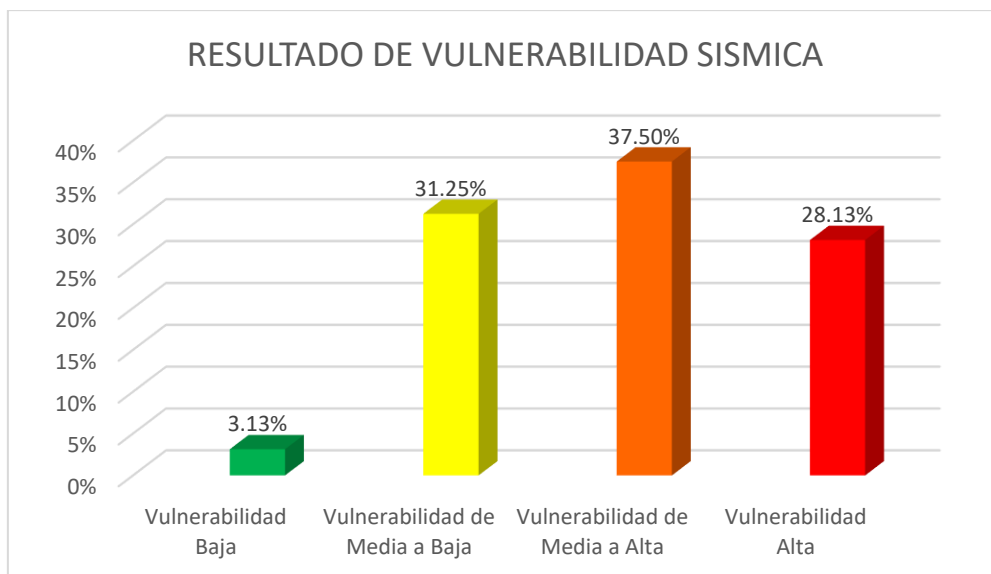
INDICE DE VULNERABILIDAD							
Nºvivienda	Área	Pisos	Iv	Nºvivienda	Área	Pisos	Iv
1	51.8	4	173.25	17	101.5	1	61.25
2	87.74	2	126.25	18	50.47	2	171.25
3	38.85	2	80	19	50	2	201.25

4	45.6	3	131.25	20	43.18	2	170
5	11.6	2	76.25	21	148.28	2	110
6	56.88	3	162.5	22	28.09	2	130
7	34.5	2	97.5	23	50	2	157.5
8	33.32	2	110	24	64.6	2	108.75
9	52.89	3	100	25	49.39	3	181.25
10	79.35	2	88.75	26	58.4	3	143.75
11	30.64	2	81.25	27	21.12	2	127.5
12	30.6	3	137.5	28	103.6	2	23.75
13	60.59	3	140	29	45	2	127.5
14	45.19	2	137.5	30	40.38	3	216.25
15	60.2	3	166.25	31	34.97	3	222.5
16	116.25	2	101.25	32	94	4	161.25

Baja vulnerabilidad	Intervención a largo plazo
Media vulnerabilidad-Baja	Intervención a largo plazo
Media vulnerabilidad-Alta	intervención necesaria
Alta vulnerabilidad	intervención urgente

Nota. Esta tabla muestra el resumen del índice de vulnerabilidad de las 32 viviendas evaluadas, considerando los parámetros estructurales y no estructurales analizados previamente. Los valores del índice de vulnerabilidad (Iv) varían desde niveles bajos cercanos a 60 % hasta máximos superiores a 200 %, lo que indica desde condiciones técnicamente aceptables hasta situaciones críticas que requieren intervención urgente. Se evidencia que varias viviendas superan el 100 % de Iv, reflejando deficiencias significativas en su comportamiento sísmico y necesidad de reforzamiento estructural.

Figura 16
Resultado de vulnerabilidad sísmica.



Nota. Esta figura muestra la distribución porcentual del nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas evaluadas. Se observa que el 37,50 % de las edificaciones presenta vulnerabilidad media-alta, seguido del 28,13 % con vulnerabilidad alta, reflejando riesgo estructural significativo. Asimismo, el 31,25 % se clasifica como vulnerabilidad media-baja y solo el 3,13 % corresponde a vulnerabilidad baja, evidenciando que la mayoría de viviendas requiere medidas de intervención para mejorar su capacidad de respuesta ante eventos sísmicos.

Interpretación:

Vulnerabilidad Baja

Se trata de construcciones en las que se anticipa que no podrían sufrir daños perceptibles o podrían sufrir daños ligeros. La estructura básica de la vivienda conserva la mayor parte de su resistencia, está en condiciones apropiadas y puede seguir usándose sin que suponga un riesgo importante. En la Urbanización San Luis bajo, el 3.13% de las viviendas exhiben este nivel de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad Media-Baja

Son edificaciones que podrían experimentar daños moderados o considerables. Con daños ya perceptibles con la opción de poder ser rehabilitados para su uso sin riesgos. En la Urbanización Sal Luis bajo, el 34.25% de las viviendas presentan este tipo de vulnerabilidad.

Vulnerabilidad Media-alta

Son edificaciones que podrían experimentar daños fuertes. Aunque las estructuras no lleguen a colapsar, su uso resulta peligroso si no se realizan trabajos de rehabilitación, ya que existe el riesgo de accidentes por la caída de bloques de mampostería, concreto, cubiertas o techos. En la Urbanización San Luis bajo, el 37.50% de este tipo de vulnerabilidad se puede observar en las viviendas..

Vulnerabilidad Alta

Son construcciones que tienen una gran probabilidad de derrumbarse o que presentan daños estructurales muy severos. Estas construcciones necesitan reparaciones de gran envergadura o, en muchos casos, su demolición, ya que presentan más del 70% de afectación general. Asimismo, constituyen un alto riesgo de provocar heridas graves o incluso la muerte de sus ocupantes. En la mayoría de los casos, el costo de restauración puede ser similar al valor total del inmueble. En el nivel de vulnerabilidad mencionado, el 28.13% de las casas en la Urbanización San Luis bajo se encuentran.

5.1.2 Cálculo del índice de daño

Con el fin de calcular los daños estructurales, se modificaron las funciones de vulnerabilidad particulares para las casas examinadas en la zona de estudio. Estas funciones relacionan el índice de daño con el índice de vulnerabilidad (Iv), teniendo en cuenta las aceleraciones y fuerzas horizontales máximas del terreno

que se generan a partir de los sismos más significativos en la construcción de edificios, así como los periodos de retorno relacionados con la vida útil del edificio.

Tabla 30

Sismos recomendados.

Sismo	Vida útil	Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno
Frecuente	30 años	50%	45 años
Ocasional	50 años	50%	75 años
Raro	50 años	10%	475 años
Muy raro	100 años	10%	950 años

Nota. Esta tabla muestra los niveles de sismo recomendados para el diseño estructural, considerando la vida útil de la edificación, la probabilidad de excedencia y el período de retorno. Para sismos frecuentes se plantea una vida útil de 30 años con 50 % de excedencia y 45 años de retorno, mientras que para sismos ocasionales se considera 50 años de vida útil, 50 % de excedencia y 75 años de retorno.

El ATC-40 (1996), Se establecen tres niveles de amenaza asociados a movimientos sísmicos, los cuales se detallan en el siguiente cuadro. El SD corresponde al sismo de diseño, que posee una aceleración estimada generalmente estipulada en los códigos de construcción tradicionales y cuya ocurrencia se prevé al menos una vez durante el periodo de vida útil de la edificación.

Tabla 31*Sismos propuestos.*

Sismo	Vida útil	Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno	Aceleración esperada	Probabilidad de ocurrencia
Servicio	50 años	50%	75 años	(0.5) SD	Frecuente
Diseño	50 años	10%	475 años	SD	Raro
Máximo	50 años	5%	950 años	(1.25-1.5) SD	Muy raro

Nota. Esta tabla presenta los niveles de sismo considerados para el diseño estructural, especificando la vida útil de la edificación, la probabilidad de excedencia y el período de retorno. Se observa que los sismos de servicio y diseño contemplan una vida útil de 50 años, con probabilidades de excedencia de 50 % y 10 %, correspondientes a retornos de 75 y 475 años, respectivamente. Para el sismo máximo, se considera una excedencia del 5 % y un período de retorno de 950 años, lo que permite evaluar el desempeño estructural bajo condiciones extremas.

Los daños que podrían sufrir las viviendas analizadas se pueden categorizar según el rango de daño que se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 32*Niveles de daño propuesto en el presente estudio.*

Nivel de daño	de	Rango de daño (%)	Definición
Ninguno		0-0.25	El impacto sobre los componentes estructurales es mínimo; solo se observan pequeñas fisuras en los componentes que no son estructurales. No se incurren gastos de reparación y el rendimiento general de la estructura no sufre alteraciones. Los componentes no estructurales están muy deteriorados, hasta el punto de que se pueden llegar a despegar las baldosas. Es posible que existan grietas en componentes __

Ligero	2.5-7.5	estructurales como columnas, vigas o muros de carga. La reparación conlleva una inversión mínima comparado con el coste total de la estructura y tiene un impacto marginal en su rendimiento. Se han producido daños significativos en los elementos no estructurales, lo que eleva el precio de la reparación. Los componentes estructurales pueden sufrir daños importantes, pero la estabilidad general del edificio no corre peligro y el comportamiento de la estructura solo se ve alterado en menor medida. El daño en los elementos estructurales es significativo y necesita reparaciones de gran magnitud, pero no se requiere evacuar el edificio. El costo de la reparación puede suponer un porcentaje significativo del costo total de la estructura.
Moderado	7.5-15	El daño en los componentes estructurales es grave, lo que pone en peligro la estabilidad de la construcción. En la mayoría de las situaciones, el costo de reparación representa una porción importante del valor del edificio y la evacuación se vuelve necesaria por razones de seguridad. La estabilidad de la estructura está en grave peligro debido a que los componentes estructurales están en muy mal estado. Como el precio de la reparación es igual o más alto que el valor del inmueble, se aconseja demolerlo y desalojarlo permanentemente.
Considerable	15-30	Se considera que el edificio está en un estado de ruina o colapso total. El impacto sobre los componentes estructurales es mínimo; solo se observan pequeñas fisuras en los componentes que no son estructurales. No se incurren gastos de reparación y el rendimiento general de la estructura no sufre alteraciones. Los componentes no estructurales están muy deteriorados, hasta el punto de que se pueden llegar a despegar las baldosas. Es posible

		que existan fisuras en componentes estructurales como columnas, muros de carga o vigas. La reparación de estos elementos conlleva una inversión mínima comparada con el costo total de la estructura y tiene un impacto poco significativo en su rendimiento.
Fuerte	30-60	Se han producido daños significativos en los elementos no estructurales, lo que eleva el precio de la reparación. Los componentes estructurales pueden sufrir daños importantes, pero la estabilidad general del edificio no corre peligro y el comportamiento de la estructura solo se ve alterado en menor medida. El daño en los elementos estructurales es significativo y necesita reparaciones de gran magnitud, pero no se requiere evacuar el edificio. El costo de la reparación puede suponer un porcentaje significativo del costo total de la estructura.
Severo	60-90	El daño en los componentes estructurales es grave, lo que pone en peligro la estabilidad de la construcción. En la mayoría de las situaciones, el costo de reparación representa una porción importante del valor del edificio y la evacuación se vuelve necesaria por razones de seguridad. La estabilidad de la estructura está en grave peligro debido a que los componentes estructurales están en muy mal estado. Como el precio de la reparación es igual o más alto que el valor del inmueble, se aconseja demolerlo y desalojarlo permanentemente.
Colapso	90-100	

Nota. Esta tabla muestra los Resultados de los niveles de daño, por Marín Feliz 2012. Los hallazgos de la investigación llevada a cabo en las casas de la Urb. San Luis son los siguientes: indican los porcentajes de construcciones que sufren

diferentes grados de daño de acuerdo con la aceleración máxima y la intensidad del terremoto analizado.

Los resultados del análisis para cada casa en el área de estudio se muestran organizadamente en el cuadro siguiente. Se incorporan los valores del índice de daño previsto para terremotos de magnitud V, VI, VII y VIII, de acuerdo con la escala MSK. Además, en la figura siguiente se ilustran los posibles escenarios de daño, junto con la relación entre el porcentaje de viviendas afectadas, las intensidades sísmicas examinadas y el índice de daño calculado.

Tabla 33

Índice de vulnerabilidad e índices de daño para diferentes intensidades.

N°Vivienda	Iv	IVN	INDICE DE DAÑO SEGUN INTENSIDAD		
			V-VI	VI-VII	VIII
1	173.25	51.33	18.39	28.33	59.57
2	126.25	37.41	10.66	15.77	32.69
3	80	23.7	5.26	7.43	15.28
4	131.25	38.89	11.37	16.86	35.06
5	76.25	22.59	4.91	6.86	14.19
6	162.5	48.15	16.39	24.89	52.46
7	97.5	28.89	7.08	10.28	20.97
8	110	32.59	8.54	12.53	25.68
9	100	29.63	7.36	10.72	21.87
10	88.75	26.3	6.14	8.81	18
11	81.25	24.07	5.38	7.62	15.66
12	137.5	40.74	12.29	18.28	38.17
13	140	41.48	12.67	18.87	39.47
14	137.5	40.74	12.29	18.28	38.17
15	166.25	49.26	17.07	26.05	54.87
16	101.25	30	7.5	10.94	22.33
17	61.25	18.15	3.61	4.74	10.24
N°Vivienda	Iv	IVN	INDICE DE DAÑO SEGUN INTENSIDAD		
			V-VI	VI-VII	VIII
18	171.25	50.74	18	27.66	58.2

19	201.25	59.63	24.37	39.68	81.24
20	170	50.37	17.77	27.25	57.36
21	110	32.59	8.54	12.53	25.68
22	130	38.52	11.19	16.58	34.45
23	157.5	46.67	15.51	23.43	49.35
24	108.75	32.22	8.39	12.3	25.18
25	181.25	53.7	19.97	31.19	65.29
26	143.75	42.59	13.25	19.78	41.46
27	127.5	37.78	10.84	16.04	33.27
28	23.75	7.04	1.11	0.9	2.96
29	127.5	37.78	10.84	16.04	33.27
30	216.25	64.07	28.13	47.62	94.92
31	222.5	65.93	29.84	51.41	98.89
32	161.25	47.78	16.17	24.52	51.67

Nota. Esta tabla muestra los valores del Índice de Daño (ID) calculados para cada vivienda considerando el Índice de Vulnerabilidad (IVN) y distintos escenarios de intensidad sísmica (V-VI, VI-VII y VIII). Se observa que, a mayores niveles de intensidad, los porcentajes de daño aumentan considerablemente, alcanzando valores superiores al 80 % en intensidad VIII para viviendas con IVN elevado.

Tabla 34

Daño obtenido de las viviendas evaluadas en la Urb. San Luis bajo.

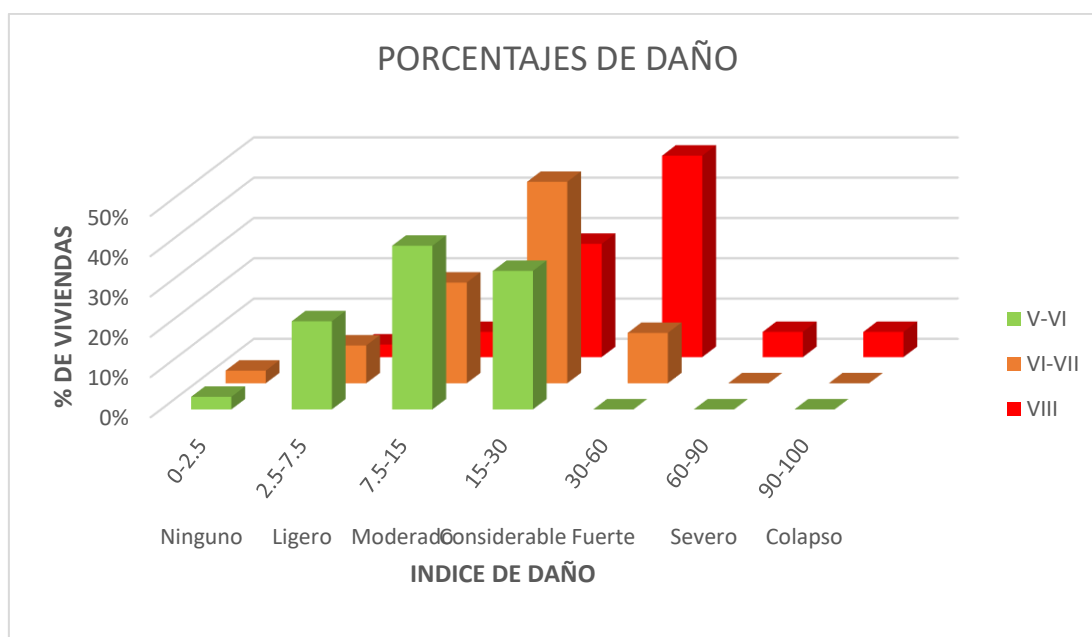
NIVEL DE DAÑO	DAÑO (%)	INTENSIDADES					
		V-VI		VI-VII		VIII	
		N°Viviendas	%	N°Viviendas	%	N°Viviendas	%
Ninguno	0-2.5	1	3%	1	3%		
Ligero	2.5-7.5	7	22%	3	9%	1	3%
Moderado	7.5-15	13	41%	8	25%	2	6%
Considerable	15-30	11	34%	16	50%	9	28%
Fuerte	30-60	0	0%	4	13%	16	50%
Severo	60-90	0	0%	0	0%	2	6%
Colapso	90-100	0	0%	0	0	2	6%
TOTAL		32	100%	32	100%	32	100%

Nota. Esta tabla presenta los niveles de daño estimados para las viviendas evaluadas en la Urb. San Luis Bajo, considerando tres escenarios de intensidad sísmica (V–VI, VI–VII y VIII). Se observa que, ante intensidades moderadas (V–VI),

predominan daños ligeros y moderados; sin embargo, en intensidades más severas (VI–VII y VIII), aumenta la proporción de daños considerables, severos y de colapso, alcanzando hasta un 6 % de viviendas colapsadas en intensidad VIII. Esta tendencia evidencia la vulnerabilidad estructural del conjunto habitacional frente a sismos de mayor magnitud.

Figura 17

Porcentaje de daño según las intensidades de sismo.



Nota. Esta figura representa la distribución porcentual del daño estructural en las viviendas evaluadas para las intensidades sísmicas V–VI, VI–VII y VIII. Se observa que, a medida que aumenta la intensidad del sismo, se incrementan significativamente los niveles de daño moderado, considerable, severo y de colapso, alcanzando valores superiores al 50 % en niveles de daño altos bajo intensidad VIII. Este comportamiento evidencia la alta vulnerabilidad estructural de las edificaciones frente a eventos sísmicos severos.

Para las viviendas autoconstruidas de la zona de estudio según cuadro anterior se puede observar que al considerar el sismo de intensidad V-VI los niveles

de daño son: 1 vivienda sin ningún daño, 7 con daño ligero, 13 con daño moderado y 11 con daño considerable. Para el sismo de intensidad VI-VII los niveles de daño son: 1 vivienda sin ningún daño, 3 con daño ligero, 8 con daño moderado, 16 con daño considerable y 4 con daños fuertes. Para un sismo de intensidad VIII los niveles de daño son: 1 vivienda con daño ligero, 2 con daño moderado, 9 con daño considerado, 16 con daño fuerte, 2 con daño severo y 2 últimas viviendas con un colapso de vivienda.

5.2 Discusión

El presente estudio ha evidenciado que la mayoría de las viviendas informales evaluadas en la urbanización San Luis Bajo presentan condiciones estructurales deficientes, con un 28.13% clasificadas con alta vulnerabilidad sísmica y un 37.50% en el rango de vulnerabilidad media-alta, cifras que reflejan un riesgo considerable para sus ocupantes ante eventos sísmicos de moderada o gran intensidad. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Carrillo Paiva (2024) en Arequipa, donde más del 52% de las viviendas también fueron calificadas con vulnerabilidad alta, y con lo señalado por Sánchez Arteaga (2024), quien reportó un 75.48% de viviendas con vulnerabilidad sísmica alta en El Agustino – Lima, todas construidas sin asesoría técnica.

Asimismo, el estudio corrobora el patrón de autoconstrucción sin control técnico reportado por Huashua Huarcaya y Sánchez Contreras (2017) en Abancay, quienes identificaron que el 64% de las viviendas informales evaluadas presentaban alta vulnerabilidad, debido a la ausencia de elementos estructurales adecuados, coincidencia que reafirma la vigencia de esta problemática en diversas zonas de la región. Esta situación también ha sido evidenciada en estudios internacionales, como el de Feliciano et al. (2022) en Villavicencio – Colombia,

donde se determinó que el 86% de las viviendas compartían columnas entre niveles sin diseño sísmico, alcanzando una probabilidad de colapso del 51% ante un sismo severo, una cifra alarmante similar a la proyección obtenida en el presente trabajo, en el que se calcula que hasta el 50% de las viviendas podría sufrir daño severo o colapso ante un sismo de intensidad VIII.

Cabe destacar que los parámetros críticos como configuración en elevación, separación entre muros y calidad del sistema resistente obtuvieron los peores resultados en la urbanización San Luis Bajo, lo que también fue reportado por Ngoma et al. (2019) en Malawi, donde más del 77% de las edificaciones presentaban daños estructurales evidentes por fallas en muros y techumbres. En esa misma línea, los hallazgos del presente estudio confirman que las viviendas ubicadas en terrenos con pendientes superiores al 10% y cimentadas sobre suelos no estabilizados tienen una mayor probabilidad de deterioro estructural, situación coincidente con lo analizado por Huamanñahui (2022) en Curahuasi, Apurímac.

Finalmente, la aplicación del método de Benedetti y Petrini ha permitido no solo cuantificar la vulnerabilidad, sino también facilitar la identificación de los elementos estructurales más deficientes, herramienta validada por estudios como el de Gonzales et al. (2023), quienes emplearon esta misma metodología en San Ignacio – Cajamarca. La comparación de resultados con estos trabajos refuerza la confiabilidad del enfoque empleado, así como la urgencia de aplicar medidas preventivas y correctivas, tales como el refuerzo estructural supervisado, estrategias de urbanización controlada y la formalización de la construcción con acompañamiento técnico, propuestas que también fueron demostradas efectivas por Castillo et al. (2008) en su estudio en Mérida, Venezuela.

VI. Conclusiones

1. Se determinó la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la urbanización San Luis Bajo, concluyéndose que la metodología de Benedetti-Petrini fue adecuada y adaptable a las condiciones reales de la zona de estudio. Los resultados evidenciaron que una proporción significativa de viviendas presenta vulnerabilidad media-alta y alta, lo cual representa un riesgo estructural importante ante sismos.

2. Del objetivo específico 1. Se evaluó el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales, encontrando que el 3.13 % presenta vulnerabilidad baja, el 31.25 % media-baja, el 37.50 % media-alta y el 28.13 % vulnerabilidad alta. Asimismo, se identificaron patologías estructurales como grietas, humedad, eflorescencias, picaduras y corrosión, que afectan directamente la estabilidad de las edificaciones.

3. Del objetivo específico 2. Se establecieron los niveles de los posibles daños sísmicos para distintos escenarios de intensidad. En intensidad V–VI, el 3 % de viviendas no sufrirían daño, el 22 % tendrían daños ligeros, el 41 % moderados y el 34 % considerables. Para intensidad VI–VII, el 3 % no tendría daño, el 9 % ligeros, el 25 % moderados, el 50 % considerables y el 13 % fuertes. Con intensidad VIII, el 3 % sufriría daño ligero, el 6 % moderado, el 28 % considerable, el 50 % fuerte, el 6 % severo y otro 6 % colapsaría.

4. Del objetivo específico 3. Se analizó la incidencia de los procesos constructivos informales, concluyéndose que las viviendas con mayor vulnerabilidad se localizan en terrenos con pendientes pronunciadas y presentan deficiencias técnicas debido a la falta de supervisión profesional, uso inadecuado de materiales y ausencia de criterios estructurales normativos.

5. Del objetivo específico 4. Se propusieron estrategias constructivas para reducir la vulnerabilidad sísmica, centradas en la incorporación de asesoría profesional obligatoria, regulación adecuada del crecimiento urbano, y ejecución de programas de capacitación para la población sobre construcción segura y responsable.

VII. Recomendaciones

1. Se evaluó la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la urbanización San Luis Bajo, concluyéndose que la metodología de Benedetti-Petrini resultó pertinente y se adaptó correctamente a las condiciones particulares del área analizada. Los resultados muestran que una parte considerable de las viviendas presenta niveles de vulnerabilidad media-alta y alta, lo que implica un riesgo estructural significativo ante posibles sismos.
2. Respecto al primer objetivo específico, se valoró el grado de vulnerabilidad sísmica en las viviendas informales, encontrando que el 3.13% presenta vulnerabilidad baja, el 31.25% media-baja, el 37.50% media-alta y el 28.13% alta. Además, se identificaron problemas estructurales como fisuras, humedad, eflorescencias, picaduras y corrosión, todos ellos afectan directamente la estabilidad estructural de las edificaciones.
3. Para el segundo objetivo específico, se determinaron los diferentes niveles de daño sísmico esperados según diversos escenarios de intensidad. Ante intensidades V–VI, el 3% de las viviendas no sufriría daños, el 22% presentaría daños leves, el 41% moderados y el 34% daños considerables. Con intensidades VI–VII, el 3% no tendría daños, el 9% leves, el 25% moderados, el 50% daños considerables y el 13% daños severos. En el caso de intensidad VIII, el 3% tendría daños leves, el 6% moderados, el 28% considerables, el 50% graves, el 6% daños severos y otro 6% colapsaría.

4. En relación al tercer objetivo específico, se examinó el impacto de los procesos constructivos informales, concluyendo que las viviendas de mayor vulnerabilidad se encuentran en zonas con pendientes pronunciadas y presentan deficiencias técnicas, resultado de la carencia de supervisión profesional, el uso inapropiado de materiales y la falta de criterios estructurales normativos.
5. Para el cuarto objetivo específico, se plantearon estrategias constructivas orientadas a disminuir la vulnerabilidad sísmica, enfatizando la necesidad de incorporar asesoría profesional obligatoria, regular adecuadamente el crecimiento urbano, y desarrollar programas de capacitación dirigidos a la población para fomentar una construcción segura y responsable.

VIII. Referencias

- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (7.ªed.). Editorial Episteme.
https://repositorio.inst.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/10758/Arias_Fidias_ProyectoInvestigacion.pdf.
- Baca Ramos, M. K., & Valdez Chipa, A. E. (2024). *Análisis de vulnerabilidad y comportamiento sísmico de viviendas autoconstruidas del distrito de Tamburco – Abancay, 2022* [Tesis pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional de la universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14703>
- Baca Valdez, J. (2024). *Susceptibilidad y comportamiento sísmico de viviendas autoconstruidas en el distrito de Tamburco – Abancay, 2022* [Tesis pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional de la Universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14703>
- Benedetti, D., & Petrini, V. (1984). *Sismic Vulnerability of Buildings*. Elsevier.
[https://doi.org/10.1016/0141-0296\(84\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0141-0296(84)90024-5).
- Cárdenas Huamán, D. E. (2024). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de la Asociación de Apipa, distrito de Cerro Colorado – Arequipa* [Tesis pregrado, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15110>.
- Cardona, O. D. (2003). The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective. *International Centre for Numerical Methods in*

Engineering

(CIMNE).

<https://www.desenredando.org/public/varios/2003/riesgo-holistic.pdf>.

Cardona, O. D. (2005). *Indicators for disaster risk and risk management*. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://publications.iadb.org/en/indicators-disaster-risk-and-disaster-risk-management>

Ccoaricona Gutiérrez, K. A. (2024). *Análisis de la percepción de la calidad y su influencia en la elaboración de concreto en viviendas informales del distrito de Tamburco, Abancay 2023* [Tesis pregrado, Universidad tecnológica de los Andes]. Repositorio de la Universidad Tecnológica de los Andes. <https://repositorio.utea.edu.pe/items/278f5219-0209-49bd-ae01-6f5d90caba1d>

CEPAL. (2021). *Gestión del riesgo sísmico en centros urbanos de América Latina*. <https://www.cepal.org>

Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (5.^a ed.). Prentice Hall. https://www.academia.edu/37674485/Dynamics_of_Structures_Chopra.

CISMID–UNI (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas). (2022). *Evaluación del riesgo sísmico en viviendas autoconstruidas en el Perú*. Universidad Nacional de Ingeniería. <http://www.cismid.uni.edu.pe>.

Coburn, A., & Spence, R. (2002). *Earthquake Protection*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470855171>

D'Ayala, D., & Meslem, A. (2020). Seismic vulnerability of non-engineered buildings worldwide. *Frontiers in Built Environment*, 6, 15. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00015>.

- Douglas, J., Gkimprxis, A., Ruffle, S., & Cole, D. (2022). Capturing empirical knowledge about seismic vulnerability using fragility functions. *Earthquake Spectra*, 38(1), 7–27. <https://doi.org/10.1177/87552930211040024>.
- Eurocode 8. (2020). *Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 3*. <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>
- Feliciano, D. M., Arroyo, O. D., Liel, A., Murray, P., & Carrillo, J. (2022). Marco metodológico para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales: Caso de estudio en Villavicencio, Colombia. En *12th National Conference on Earthquake Engineering (12NCEE)*. Earthquake Engineering Research Institute. <https://www.researchgate.net/publication/364150434>
- FEMA. (2018). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (FEMA P-154)*. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_p154.pdf
- Flores, L., & Tavera, H. (2020). Comportamiento sísmico de la albañilería confinada en el Perú. *Revista Ingeniería Sísmica*, 102, 25–40. <https://revistas.ingemmet.gob.pe/index.php/inges/article/view/1020>.
- García, R., & Yamín, L. (2021). Seismic performance of confined and unconfined masonry housing in Colombian cities. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19, 5721–5742. <https://doi.org/10.1007/s10518-021-01170-5>.
- Goda, K., Williams, J., De Risi, R., & Ngoma, I. (2024). Evaluación probabilista del riesgo de colapso sísmico de viviendas de mampostería no ingenierizada en Malawi. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1333576. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2024.1333576>
- Hernández Ventura, J. K. (2022). *Evaluación del nivel de vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas del Anexo 22 del distrito de San Antonio de*

Huarocharí – Lima [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad César Vallejo.
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_fabe9769183c8606ad1912c52543bacc.

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2021). *Metodología de la investigación* (7.^a ed.). McGraw-Hill.
<https://books.google.com/books?id=8wZQEAAAQBAJ>.

Huamanñahui Pedraza, M. (2022). *Evaluación del nivel de vulnerabilidad sísmica de viviendas en la comunidad de San Juan, distrito de Curahuasi – Apurímac* [Tesis maestría, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio institucional de la Universidad Andina del Cusco.
<https://hdl.handle.net/20.500.12557/6770>

Huamanñahui Pedraza, M. (2024). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas en la comunidad de San Juan – Curahuasi, Apurímac, 2022* [Tesis maestría, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio institucional de la Universidad Andina del Cusco.
<https://hdl.handle.net/20.500.12557/6770>.

Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2022). *Mapa de peligro sísmico del Perú*.
<https://www.igp.gob.pe/servicios/mapa-peligro-sismico-peru>.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). *Perú: Viviendas particulares y condiciones de habitabilidad*.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1903/index.html.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023). *Informe técnico: condición de la vivienda y autoconstrucción en el Perú 2023*.
<https://www.inei.gob.pe>
- Kassem, M., & Faggella, M. (2021). Seismic vulnerability and strengthening of non-engineered dwellings in developing countries. *Natural Hazards*, 106, 3451–3475. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04692-7>.
- Lagomarsino, S., & Cattari, S. (2015). Seismic vulnerability of masonry buildings: A review of methods and applications. *Engineering Structures*, 85, 135–148.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.11.007>.
- Meli, R., & Brzev, S. (2020). Earthquake-resistant construction of adobe buildings. *Earthquake Spectra*, 36(2), 512–530.
<https://doi.org/10.1177/8755293020903478>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*.
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/2498939-e-030>.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Ley N.º 29090 – Regulación de habilitaciones urbanas y edificaciones*.
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2022). *Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente*.
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales>
- Murray, P. B., Feliciano, D. M., Goldwyn, B. H., Liel, A. B., Arroyo, O. D., & Javernick-Will, A. (2023). Seguridad sísmica de viviendas de concreto armado construidas informalmente en Puerto Rico. *Earthquake Spectra*, 39(1), 5–33.
<https://doi.org/10.1177/87552930221123085>.

- Novelli, V., De Risi, R., Ngoma, I., Kloukinas, P., Kafodya, I., & Goda, K. (2021). Curvas de fragilidad sísmica para viviendas de albañilería no ingenierizada basadas en encuestas estructurales y ensayos de materiales. *Soft Computing*, 25(8), 6113–6138. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05603-w>.
- ONU-Hábitat. (2020). *El estado de las viviendas en América Latina y el Caribe*. <https://unhabitat.org/es/el-estado-de-las-viviendas-en-america-latina-y-el-caribe>.
- ONU-Hábitat. (2020). *World Cities Report 2020: Housing and informal settlements*. <https://unhabitat.org>
- Palacios Damiano, L. M., & Mejía Dulanto, M. A. (2023). *Vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales de albañilería confinada construidas en el AAHH San Genaro II del distrito de Chorrillos – Lima, Perú* [Tesis pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://hdl.handle.net/10757/671871>.
- Quispe Huamán, J. S. (2023). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe de dos niveles en el Centro Poblado de Pucyura, provincia de Anta – Cusco* [Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/9316>
- SENCICO. (2021). *Construcción segura en adobe y albañilería confinada*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. <https://www.sencico.gob.pe>

- SUNARP. (2020). *Guía de formalización de edificaciones y Ley 27157*. Superintendencia Nacional de los Registros Públicos. <https://www.sunarp.gob.pe>
- Tamayo Tejada, A. (2023). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de la Urbanización Chanu Chanu, Puno* [Tesis pregrado, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14408/2/IV_FI_N_105_TE_Tamayo_Tejada_2023.pdf.
- Torres, Y., Martínez-Cuevas, S., Molina-Palacios, S., Arranz, J. J., & Arredondo, Á. (2023). Uso de teledetección para evaluar la exposición y vulnerabilidad sísmica urbana: Estudio en Puerto Príncipe, Haití. *GIScience & Remote Sensing*, 60(1), 2196162. <https://doi.org/10.1080/15481603.2023.2196162>.
- UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). (2020). *Terminology on Disaster Risk Reduction*. <https://www.undrr.org/publication/undrr-terminology-disaster-risk-reduction>
- Vargas, R., & Ledesma, C. (2021). Factores sociales y normativos en la proliferación de viviendas informales en el Perú. *Revista de Urbanismo y Territorio*, 9(3), 77–88.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes