

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el
centro poblado de Cotaruse, Aymaraes-Apurímac 2023**

Asesor:

Ing. Acosta Valer, Hugo Virgilio

Autor:

García Llico, Gladys

Para optar el título profesional de: Ingeniero civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



Universidad Tecnológica de los Andes



Transformando vidas
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 047

En la ciudad de Abancay, a los 14 días del mes de febrero del 2025, siendo las 9:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0131-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 05 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	MSc. Ing. Angel, Maldonado Mendivil
Dictaminante :	Ing. Rubén, Gamarra Mota
Replicante :	Dr. Wilfredo, Soto Palomino

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes – Apurímac 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Garcia Llico, Gladys

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 (**)
Garcia Llico, Gladys	Aprobada

Siendo las 10:30am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MSc. Ing. Angel, Maldonado Mendivil

(.....)

Dictaminante: Ing. Rubén, Gamarra Mota

(.....)

Replicante: Dr. Wilfredo, Soto Palomino

(.....)

Abancay 18 de julio del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 310.

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

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, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes-Apurímac 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	3%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
8	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y Nombres	: Garcia Llico Gladys
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 73011114
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0005-9501-023X
Datos del Asesor	
Apellidos y Nombres	: Acosta Valer Hugo Virgilio
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 31036555
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0003-1492-0441
Datos de Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Civil
Línea de investigación	: Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que realizó la Investigación	: 2023
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 19 %
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.01.01

Dedicatoria

Para mi mamá, papá y hermanos, quienes han sido mi gran apoyo y motivación en esta etapa de mi vida académica. A ustedes les dedico esta investigación, como un pequeño obsequio a su constante apoyo y creencia en mí. Y gracias por ser parte de este camino.

¡Este logro es de ustedes!

Gladys Garcia Llico

Agradecimiento

Agradezco a Dios siempre por su amor infinito.

Sobre todo, a mi madre y padre por su duro trabajo y entrega hacia mi persona y hermanos.

A mí, por la determinación y perseverancia, que me hicieron superar obstáculos y lograr metas.

A mi tío y madrina por su persistente refuerzo, guía y ánimos brindados desde mi infancia.

A mis amigas y amigos por su aliento, compañía y obvio por formar parte de este paso de modo incondicional.

Por último, a mi querido gato, compañero de días y noches en la composición de este estudio.

Simplemente muchísimas gracias por estar en este proceso, todo ello forma parte para concretarse tal logro.

Resumen

Esta investigación analiza la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe del emplazamiento urbano de Cotaruse, con el objetivo de obtener el nivel de vulnerabilidad sísmica aplicando el método multicriterio de Saaty analizando las dimensiones: Estabilidad de los muros, Configuración de vivienda, Condición de los materiales empleados y Suelo de cimentación, basándose en lo establecido por la Norma Técnica E.080 del RNE. Se ha evaluado un total de 67 viviendas de adobe utilizando fichas de observación y reporte, el trabajo de campo consistió en observar, tomar medidas y dibujar la distribución de la vivienda en planta y elevación. La metodología de esta investigación es descriptiva, el diseño de investigación es no experimental – transversal, nivel de investigación Aplicada, cuantitativo. Los resultados señalan que el 9% de las viviendas tienen vulnerabilidad alta, en tanto el 91% tienen vulnerabilidad media y ninguna vivienda tiene vulnerabilidad baja. La densidad de muros es el parámetro más incidente en los resultados, respecto a ello se obtuvo que el 9% de viviendas presenta una densidad de muros menor al 8% y el 10% igual al 8% de densidad sugerido por la norma. En conclusión, la tesis, contribuye al conocimiento de la vulnerabilidad de las viviendas de adobe ubicadas en climas altoandinos, previendo mejorar el diseño de las viviendas para reducir la vulnerabilidad sísmica. Se recomienda dar mantenimiento a las viviendas, señalar o demoler las viviendas abandonadas ya que se considera un peligro para los transeúntes.

Palabras claves: Vulnerabilidad sísmica, Método multicriterio, Configuración de la vivienda de adobe.

Abstract

This research analyzes the seismic vulnerability of adobe houses in the urban area of Cotaruse, aiming to determine the level of seismic vulnerability by applying the Saaty multicriteria method. The analysis focuses on the following dimensions: Wall Stability, Housing Configuration, Condition of Materials Used, and Foundation Soil, based on the guidelines of the Peruvian Technical Standard E.080 of the National Building Regulations (RNE). A total of 67 adobe houses were evaluated using observation and reporting forms. The fieldwork involved observing, taking measurements, and drawing the floor and elevation plans of the houses. The research methodology is descriptive, with a non-experimental, cross-sectional research design, applied research level, and quantitative approach. The results indicate that 9% of the houses have high vulnerability, 91% have medium vulnerability, and none have low vulnerability. The wall density is the most influential parameter in the results. Regarding this, 9% of the houses have a wall density of less than 8%, and 10% have a wall density equal to the 8% suggested by the standard. In conclusion, this thesis contributes to the understanding of the vulnerability of adobe houses located in high Andean climates, with the aim of improving housing design to reduce seismic vulnerability. It is recommended to maintain the houses, mark or demolish abandoned houses as they pose a danger to passersby.

Key words: seismic vulnerability, multicriteria method, adobe housing configuration.

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de Similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xiv
Índice de Anexos	xvi
I. Introducción	17
II. Planteamiento del problema	18
2.1 Descripción y formulación del problema	18
2.1.1 Descripción del problema	18
2.1.2 Formulación del problema	21
2.2 Objetivos	22
2.2.1 Objetivo General.....	22
2.2.2 Objetivo Específicos	22
2.3 Justificación e importancia.....	23
2.4 Hipótesis	23
2.4.1 Hipótesis general.....	23
2.4.2 Hipótesis específicas	23
2.5 Variables	24

2.5.1	Vulnerabilidad sísmica.....	24
2.5.2	Viviendas de adobe	24
III.	Marco teórico	25
3.1	Antecedentes	25
3.1.1	A nivel internacional	25
3.1.2	A nivel nacional	27
3.1.3	A nivel regional y local	30
3.2	Bases teóricas.....	31
3.2.1	Vulnerabilidad sísmica.....	31
3.2.2	Viviendas de adobe	36
3.3	Definición de términos	42
3.3.1	Sismo	42
3.3.2	Vulnerabilidad.....	42
3.3.3	Adobe	42
3.3.4	Muro de adobe	42
3.3.5	Densidad de muros	43
3.3.6	Arriostres	43
3.3.7	Grieta y fisura	43
3.3.8	Epicentro:	43
3.3.9	Escala de magnitud	43
3.3.10	Escala de intensidad Modificada de Mercalli.....	44
3.3.11	Esbeltez.....	44
IV.	Metodología	45
4.1	Tipo y nivel de investigación.....	45

4.2	Ámbito temporal y espacial.....	46
4.2.1	Temporal	46
4.2.2	Espacial.....	46
4.3	Población y muestra	46
4.3.1	Población.....	46
4.3.2	Muestra	48
4.3.3	Muestreo	49
4.4	Instrumentos	50
4.4.1	Técnicas.....	50
4.4.2	Instrumentos.....	50
4.5	Procedimientos.....	50
4.6	Análisis de datos	51
4.7	Consideraciones éticas	51
V.	Resultados y discusión.....	52
5.1	Resultados	52
5.1.1	Ubicación de las Viviendas de adobe analizadas	52
5.1.2	Dimensiones analizadas de las viviendas de adobe	54
5.1.3	Nivel de vulnerabilidad sísmica.....	71
5.1.4	Viviendas de adobe con nivel de vulnerabilidad alta.....	74
5.1.5	Algunas Viviendas de adobe con nivel de vulnerabilidad media	79
5.2	Discusión de resultados	82
VI.	Conclusiones	85
VII.	Recomendaciones	87
VIII.	Referencias	88

IX. Anexos	91
-------------------------	-----------

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	24
Tabla 1 <i>Sismos registrados hasta 24 km del centro poblado de Cotaruse</i>	35
Tabla 2 <i>Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación</i>	38
Tabla 3 <i>Clasificación de suelos SUCS</i>	41
Tabla 5 <i>Muestreo con afijación proporcional de las viviendas de adobe</i>	49
Tabla 6 <i>Ubicación del área urbana de estudio</i>	52
Tabla 7 <i>Dimensiones y parámetros analizados en las viviendas de adobe</i>	54
Tabla 8 <i>Parámetros de la dimensión: Estabilidad de muros</i>	55
Tabla 9 <i>Parámetros de la dimensión: Configuración de la vivienda</i>	63
Tabla 10 <i>Parámetros de la dimensión: Tipo de materiales</i>	65
Tabla 11 <i>Escala de % de suelos contenidos en los adobes</i>	66
Tabla 12 <i>Descripción de los niveles de vulnerabilidad sísmica</i>	71
Tabla 13 <i>Conteo de viviendas de adobe según el rango y nivel de vulnerabilidad</i>	72
Tabla 14 <i>Resumen del cumplimiento de la Norma E.080</i>	84

Índice de figuras

Figura 1 <i>Sismos históricos e instrumentales próximos al centro poblado de Cotaruse</i>	18
Figura 2 <i>Material de construcción predominante en las paredes del distrito de Cotaruse</i>	19
Figura 3 <i>Material de construcción predominante en los techos del distrito de Cotaruse</i> ..	20
Figura 4 <i>Material de construcción predominante en los pisos del distrito de Cotaruse</i>	20
Figura 5 <i>Fotografía de vivienda con grietas en las esquinas</i>	21
Figura 6 <i>Relaciones de daños e intensidades sísmicas para construcciones con diferentes tipos de materiales</i>	32
Figura 7 <i>Zonificación sísmica del departamento de Apurímac</i>	34
Figura 8 <i>Límites geométricos de muros y vanos</i>	39
Figura 9 <i>Diagrama de momentos y cortantes</i>	40
Figura 10 <i>Población de la investigación</i>	47
Figura 11 <i>Muestra calculada y seleccionada</i>	48
Figura 12 <i>Muestra de viviendas de adobe evaluadas del centro poblado Cotaruse</i>	53
Figura 13 <i>Densidad de muros en dirección de frontis (X) y profundidad (Y)</i>	55
Figura 14 <i>Ejemplo de Croquis de las viviendas de adobe</i>	56
Figura 15 <i>Arriostres que presentan las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse</i>	56
Figura 16 <i>Grietas o fisuras que presentan las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse</i>	57
Figura 17 <i>Mapa de clasificación de tamaño de grietas</i>	58
Figura 18 <i>Vivienda con grietas verticales y diagonales</i>	59
Figura 19 <i>Dirección en la que se ubican las grietas</i>	60
Figura 20 <i>Mapa de ubicación de grietas</i>	61
Figura 21 <i>Problemas por factores externos climáticos en las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse</i>	62
Figura 22 <i>Límite de grosor o espesor de los muros</i>	63
Figura 23 <i>Límite de esbeltez vertical y horizontal de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse</i>	64
Figura 24 <i>Representación de esfuerzos en los muros y altura total de la vivienda</i>	64

Figura 25 <i>Proporción de vanos en X,Y de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse</i>	65
Figura 26 <i>Porcentaje de suelos encontrados en el adobe de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse.</i>	66
Figura 27 <i>Material de revestimiento de las fachadas.</i>	67
Figura 28 <i>Tipo de material del sobrecimiento.</i>	68
Figura 29 <i>Material de techo y sistema de drenaje de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse</i>	68
Figura 30 <i>Clasificación de suelos SUCS del suelo de cimentación de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse.</i>	69
Figura 31 <i>Mapa de tipo de suelo de cimentación del C.P. de Cotaruse</i>	70
Figura 32 <i>Nivel de Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe del centro poblado de Cotaruse</i>	72
Figura 33 <i>Mapa de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe</i>	73
Figura 34 <i>Vivienda N° 29, Lote 1 Manzana M, Nivel de vulnerabilidad: Alta</i>	74
Figura 35 <i>Vivienda N° 7, Lote 2 Manzana E, Nivel de vulnerabilidad: Alta</i>	75
Figura 36 <i>Vivienda N° 34, Lote 7 Manzana P, Nivel de vulnerabilidad: Alta</i>	76
Figura 37 <i>Vivienda N° 35, Lote 9 Manzana P, Nivel de vulnerabilidad: Alta</i>	77
Figura 38 <i>Vivienda N° 52 Lote 1 Manzana X, Nivel de vulnerabilidad: Alta</i>	78
Figura 39 <i>Vivienda N° 56 Lote 3 Manzana B1, Nivel de vulnerabilidad: Alta</i>	79
Figura 40 <i>Vivienda N° 30 Lote 2 Manzana M, Nivel de vulnerabilidad: Media</i>	80
Figura 41 <i>Vivienda N° 55 Lote 2 Manzana B1, Nivel de vulnerabilidad: Media</i>	81
Figura 42 <i>Vivienda N° 37 Lote 1 Manzana T, Nivel de vulnerabilidad: Media</i>	82

Índice de Anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	92
Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables	93
Anexo 3. Instrumento Nro. 01: Ficha de Observación	94
Anexo 4. Instrumento Nro. 02: Ficha de Reporte	99
Anexo 5. Hojas de cálculo del nivel de vulnerabilidad	106
Anexo 6. Evidencia fotográfica	133
Anexo 7. Resultados de prueba de sedimentación de adobe	167
Anexo 8. Mapas resultantes	168
Anexo 9. Planos de distribución de las 67 viviendas	174
Anexo 10. Resolución Jefatural N.º 112-2014-CENEPRED/J	191

I. Introducción

El C.P. de Cotaruse se halla en la zona sísmica 3, en el distrito han ocurrido sismos de magnitud 4.5 mayormente, además presentan un clima altoandino con lluvias intensas. Por ende, gran parte de las casas construidas son de adobe, estas viviendas tienen un curso de existencia de 50 años aproximadamente y muchas tienen signos de haber sido afectadas por los sismos. El sismo más fuerte en el distrito de Cotaruse se dio en enero de 1980 alcanzando una magnitud de 6.2 a una profundidad de 95 km.

El procedimiento para precisar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas solo de adobe se fundamenta en el cumplimiento de la norma E.080, mediante el método multicriterio de Saaty, al igual que los estudios de riesgos de sismicidad realizados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), la diferencia está en que esta investigación no toma dimensiones sociales o económicas, más toma dimensiones relacionadas a la estructura física y situación actual de las viviendas de adobe, porque estas se relacionan con su resistencia ante sismos.

II. Planteamiento del problema

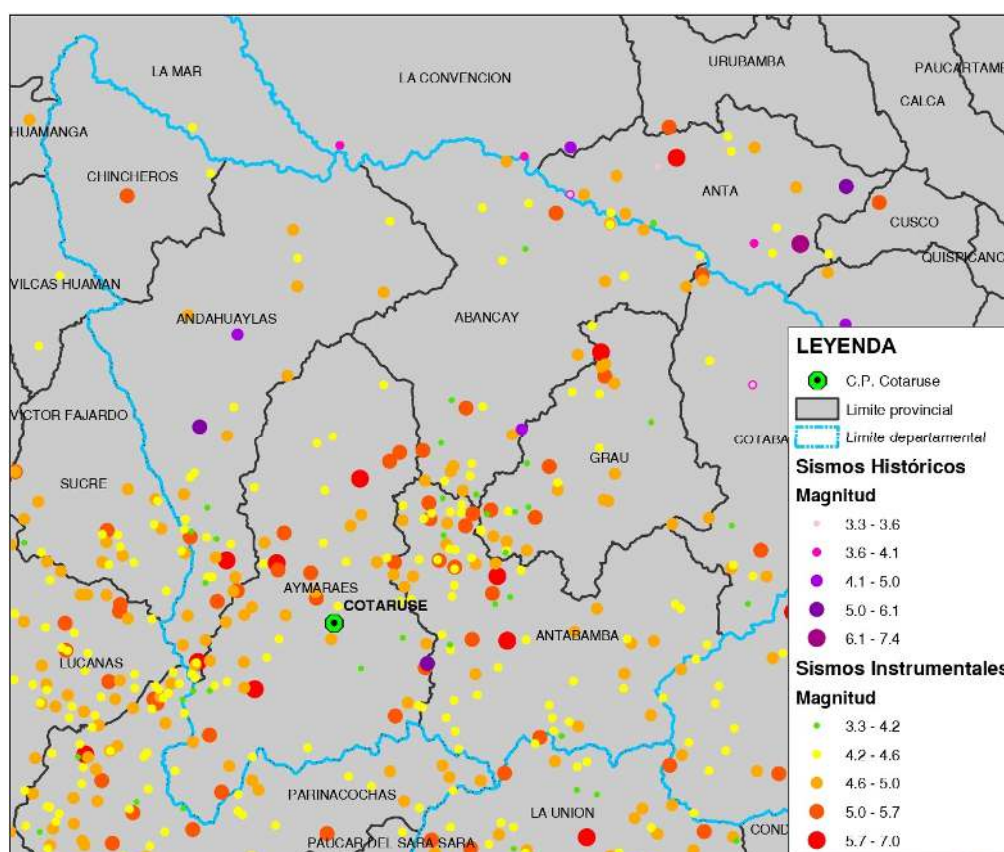
2.1 Descripción y formulación del problema

2.1.1 Descripción del problema

Según la base de datos sísmicos del Centro Sismológico Nacional (CENSIS, s.f.) del Instituto Geofísico del Perú (IGP) descargados en el mes de mayo del 2023, la cual clasifica en sismos históricos para los casos sísmicos que van desde los años 1959 hasta 1471; y sismos Instrumentales para los que acontecieron desde el año 1960 hasta la actualidad, se han registrado sismos de hasta magnitud 6 y en promedio se tienen sismos de 4.5 en el departamento de Apurímac, siendo en su mayoría en las provincias de Aymaraes y Antabamba, como se detalla según magnitudes en la figura 1:

Figura 1

Sismos históricos e instrumentales próximos al centro poblado de Cotaruse



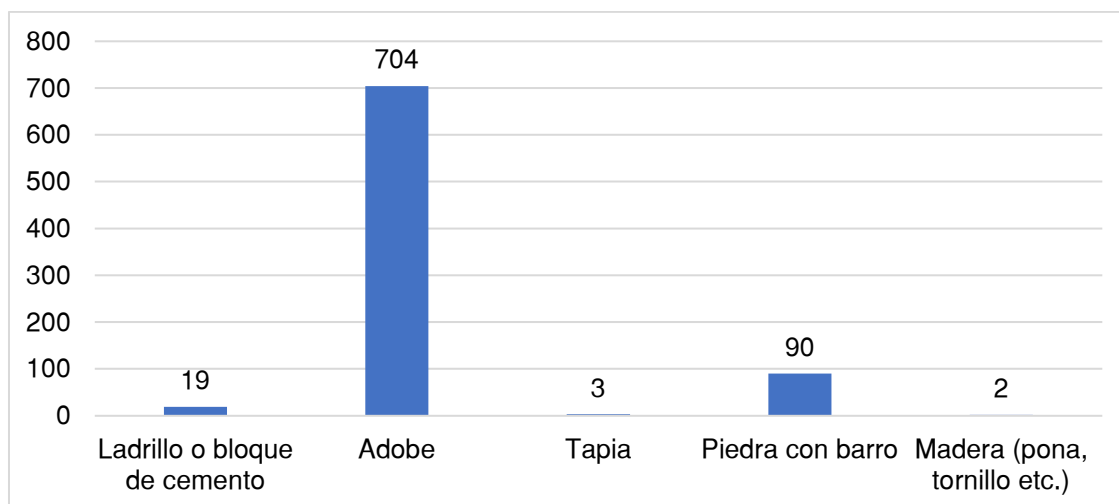
Nota. Magnitud de sismos desde 1471 hasta mayo del 2023. Adaptado según los Datos sísmicos, CENSIS - IGP, (<https://ultimosismo.igp.gob.pe/datos-sismicos>)

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018), en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones la zonificación sísmica del Perú está dividido en 4, teniendo las zonas 1, 2, 3 y 4 en una escala de menor a mayor aceleración máxima horizontal en el suelo. En el Anexo II de la misma norma se cuenta con la especificación de la zona sísmica en la que se encuentra cada distrito del Perú, estando ubicado el departamento de Apurímac en las zonas sísmicas 2 y 3, y a la vez la provincia de Aymaraes. El distrito de Cotaruse coincide en todo su territorio con la zona sísmica 3.

Antes de iniciar con la investigación se realizó una visita previa al centro poblado de Cotaruse donde se notó que está ubicado en una zona altoandina verificando la altitud en el GPS de 3257 m.s.n.m. aproximadamente, además de la sensación de un clima templado con lluvias fuertes, sobre todo entre los meses de noviembre hasta marzo comentado por los pobladores. A continuación, en las figuras 2, 3 y 4 se muestra el material de construcción que predomina de las paredes exteriores, techos y pisos en Cotaruse.

Figura 2

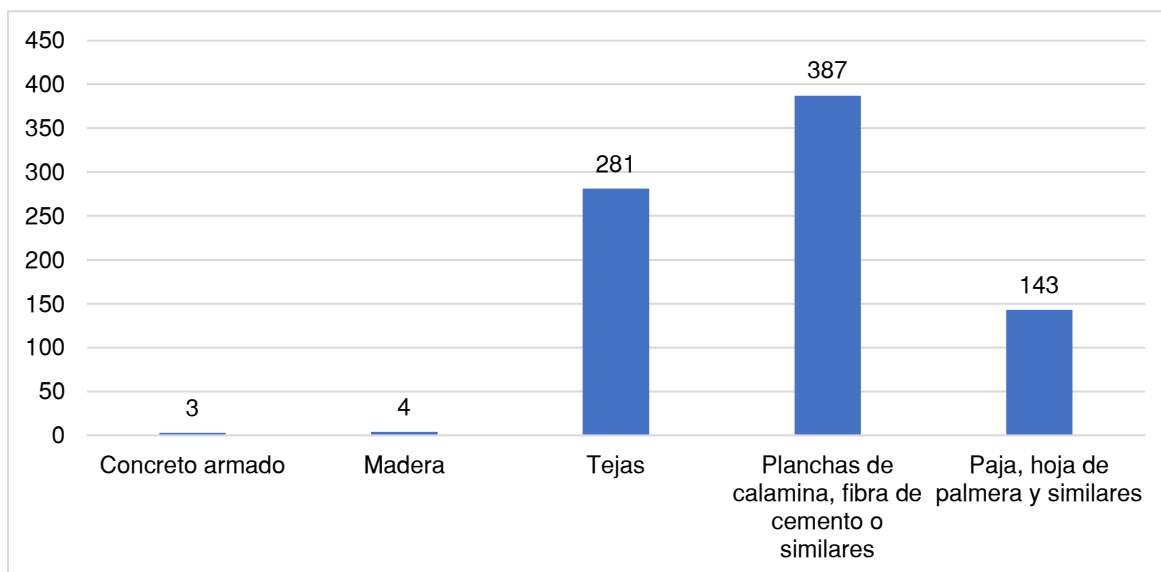
Material de construcción predominante en las paredes del distrito de Cotaruse



Nota. Adaptado de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, (<https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>)

Figura 3

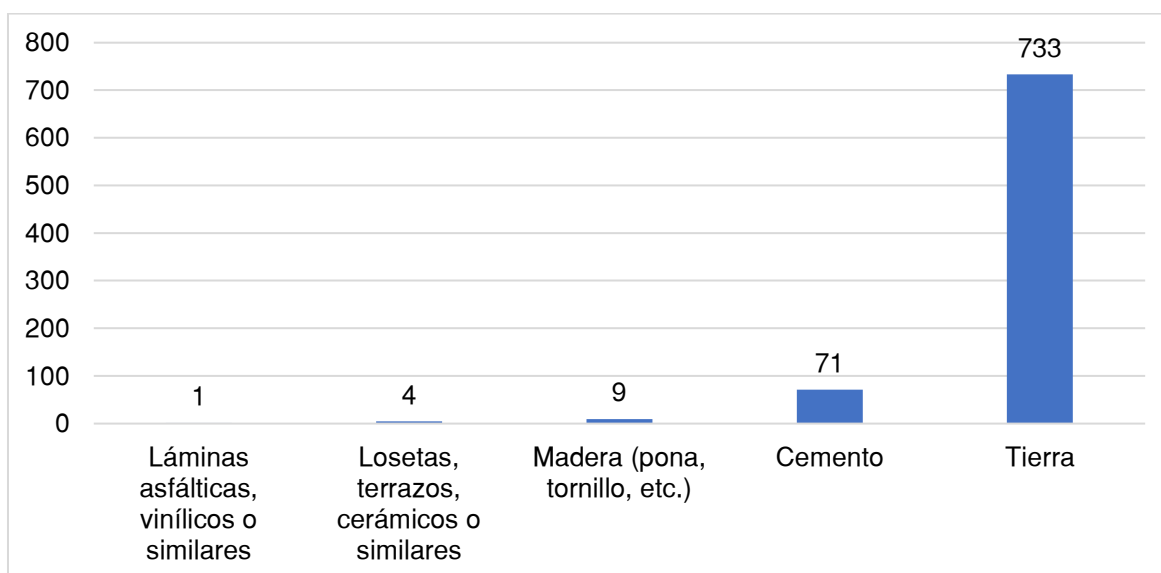
Material de construcción predominante en los techos del distrito de Cotaruse



Nota. Adaptado de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, (<https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>)

Figura 4

Material de construcción predominante en los pisos del distrito de Cotaruse



Nota. Adaptado de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, (<https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>)

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, s.f.), en los datos estadísticos de los Censos Nacionales del 2017, se observó que en el distrito de Cotaruse

el material predominante de paredes exteriores en un 86 % es el adobe, en los techos predominan en un 47 % las planchas de calamina o fibrocementos y las tejas en un 34 %; por último, los pisos que predominan en un 89% son de tierra, siendo propios de su ubicación altoandina. Además, se visualizó que muchas de las viviendas son antiguas y ya presentan algunas fallas en los muros como se verifica en la figura 5, se puede suponer que la mayoría fueron autoconstruidas por la misma antigüedad que muestran. Sin embargo, las viviendas aún son usadas por los pobladores algunos solo en tiempo de siembra mientras otros viven de manera permanente.

Figura 5

Fotografía de vivienda con grietas en las esquinas.



2.1.2 Formulación del problema

Teniendo en cuenta que la ubicación del poblado de Cotaruse está en la zona sísmica 3, además según los datos sísmicos procesados del CENSIS donde nos muestra sismos ocurridos cerca al centro poblado de Cotaruse de magnitud 5 en promedio y los datos estadísticos del INEI de los materiales predominantes usados en la construcción de

sus viviendas, estas podrían encontrarse vulnerables ante un sismo. Esto debido al material empleado que es el adobe, la antigüedad, y otros como el clima; actualmente muchas de las viviendas ya presentan rajaduras. Es por ello que es de interés saber que tan vulnerables son las viviendas de adobe del poblado de Cotaruse.

2.1.2.1 Problema General

¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023?

2.1.2.2 Problemas Específicos

P.E. 01. ¿Cuál es la Estabilidad de los muros de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica?

P.E. 02. ¿Qué configuración tienen las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica?

P.E. 03. ¿Cuál es la condición de los materiales empleados en las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica?

P.E. 04. ¿Qué tipo de suelo de cimentación tienen las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica?

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023.

2.2.2 Objetivo Específicos

O.E. 01. Diagnosticar la Estabilidad de los muros de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica.

O.E. 02. Identificar la configuración que tienen las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica.

O.E. 03. Reconocer la condición de los materiales empleados en las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica.

O.E. 04. Clasificar el tipo de suelo de cimentación de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 para determinar la Vulnerabilidad sísmica.

2.3 Justificación e importancia

Esta investigación se realiza con la finalidad de evaluar y analizar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el poblado de Cotaruse. En vista que la mayoría de viviendas evidencia características que las sitúa en una posición vulnerable, además de encontrarse en una zona medianamente sísmica.

Se justifica por el procedimiento para determinar el nivel de vulnerabilidad y también identificar las características de las viviendas vulnerables ante la ocurrencia de un sismo. El resultado de la investigación contribuye a tomar medidas preventivas y/o correctivas ya que pretende evitar pérdidas de vidas humanas.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

El nivel de la Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 se plantea que es alto.

2.4.2 Hipótesis específicas

H.E. 01. La Estabilidad de los muros de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 se estima que es vacilante.

H.E. 02. La configuración de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 podría no cumplir los límites establecidos.

H.E. 03. La condición de los materiales empleados en las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 probablemente brindan poca durabilidad.

H.E. 04. El tipo de suelo de cimentación de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 es posiblemente mayormente grava arcillosa.

2.5 Variables

2.5.1 Vulnerabilidad sísmica

Generar una escala de niveles, basado en las viviendas de adobe.

2.5.2 Viviendas de adobe

Identificar las características actuales, la distribución de muros y el suelo de cimentación, para organizarlo en una matriz.

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice	Instrumento
X1= Var. Dependiente:	Susceptibilidad a sufrir daños o colapso debido a la acción de un terremoto.	Generar una escala de niveles, basado en las viviendas de adobe.	Nivel de Vulnerabilidad Sísmica	Valor de la vulnerabilidad		Matriz de Saaty
Vulnerabilidad sísmica						
X2= Var. Independiente:	Construcción más común en el Perú, a base de tierra, vigas de madera y techos de teja o calamina, siendo las más vulnerable en caso de sismos.	Identificar las características actuales, la distribución de muros y el suelo de cimentación, para organizarlo en una matriz.	Configuración de la vivienda	Límites geométricos de los muros	m.	Fichas de recolección de datos
Viviendas de adobe			Estabilidad de los muros	Proporción de vanos	m.	
				Densidad de muros	%	Fichas de recolección de datos
				Presenta Arriostres	Ud.	
				Número de pisos	Ud.	Fichas de recolección de datos
				Problemas existentes en los muros	Can.	
				Presenta muro tímpano	Ud.	
			Condición de los materiales empleados	Sobrecimiento	cm.	Ficha de observación
				Muro de adobe	m.	
				Techo		
			Tipo de Suelo de cimentación	Clasificación de suelo	%	Fichas de reporte

Nota. Elaboración propia.

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Sánchez (2022), en su investigación doctoral llamada “ La Vulnerabilidad sísmica de la vivienda vernácula de adobe en México: Análisis constructivo y caracterización material para su conservación” compara la aplicación de cuatro métodos (MEVS) donde estudia y considera veintinueve parámetros que aportan en la vulnerabilidad sísmica, algunos de ellos son: la relación de esbeltez, separación entre elementos portantes, calidad del sistema, cimentación y características del terreno, diafragma horizontal, cubierta, relación de vanos, niveles, irregularidades en planta y altura, otros. Algunos de estos parámetros son comunes entre ellos como otros tienen una inclusión urbana. Por último, para futuras propuestas de modelos, es de mucha relevancia el estudio de los parámetros y nos recomienda hacer pequeños ajustes de los MEVS a las características existentes.

Según Vargas et al. (2018), en su artículo “Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares existentes de una Zona Urbano – Residencial en Anconcito, Ecuador” para evaluar el nivel de vulnerabilidad en Anconcito se usó el Formulario de Sismicidad Muy Alta Nivel 1 del método FEMA-P154 dando como resultado que las viviendas presentan una vulnerabilidad con valor S menor a 2 y requieren realizar un análisis de mayor amplitud, por lo que se debería estudiar en el Nivel 2. Este resultado confirma las observaciones realizadas, en las que casi todas las viviendas tuvieron daños en sus elementos estructurales y no, los autores indican que:

El Método FEMA P-154 puede clasificar los edificios inspeccionados en dos categorías: los que tienen una resistencia sísmica aceptable y los que pueden ser sísmicamente peligrosos. Para ello se califica cada uno de los parámetros del edificio a consideración de los criterios sísmicos actuales, lo que genera un índice de probabilidad de que la edificación colapse. (Vargas et al., 2018, pág. 12)

Se concluye que el estado actual de las viviendas en la zona de estudio no cumple con los índices de seguridad estructural necesarios para soportar un sismo mayor a 8 en

la Escala de Richter. Esto significa que las casas están en riesgo y deben mejorarse para garantizar la seguridad de los residentes. (Vargas et al., 2018)

Jaramillo (2022), en su tesis de postgrado “Método de evaluación objetiva de la vulnerabilidad de edificaciones expuestas a Geoamenazas en Colombia”, el investigador evalúa la vulnerabilidad de estructuras expuestas a amenazas de remoción de masas, basándose en los principios de sostenibilidad los cuales son la economía, sociedad y ambiente, para ello se usó el análisis multicriterio. Su objetivo fue establecer parámetros que brinden soluciones apropiadas. Asimismo, recomienda realizar una revisión exhaustiva de los parámetros de la vulnerabilidad ante riesgo sísmico, a pesar de contar con abundante información recopilada, debemos acercarnos lo más posible a los criterios necesarios para abordar esta metodología.

Jama (2020), en su tesis de maestría llamado “Vulnerabilidad sísmica de viviendas de construcción informal en el cantón Santa Lucía”, para analizar la vulnerabilidad de las viviendas en el cantón Santa Lucía se realizó la evaluación del comportamiento sísmico por el método de análisis no lineal de tipo estático y dinámico, dado esto se procedió a hacer la clasificación de las construcciones según los resultados obtenidos. Las principales condiciones de peligro identificadas en las viviendas analizadas en esta investigación son las siguientes:

Las secciones de columnas y vigas no cumplen con secciones geométricas mínimas o secciones según diseño, no cumplen con el refuerzo longitudinal mínimo o por diseño, falta de refuerzo transversal mínimo o por diseño, el uso de vigas banda, falta de confinamiento en los elementos especialmente en los nudos, relaciones de demanda versus capacidad excesivos en elementos sometidos a flexión, flexo compresión, cortante, columna fuerte-viga débil, poca o nula resistencia a cortante en los nudos y falta de un control técnico en la ejecución de la construcción. (Jama, 2020, pág. 78)

Loor et al. (2021), en su artículo llamado “Vulnerabilidad sísmica en viviendas de zona rural: el caso Santa Marianita – Manta – Ecuador”, tiene el objetivo de determinar el

índice de vulnerabilidad para las viviendas rurales. Esta investigación se ejecutó con el fin de calcular el Índice de vulnerabilidad de estas viviendas, para el trabajo de campo se aplicó el formulario FEMA-154 y así obtener información. En relación a la población y a la muestra respectivamente se tienen 677 y 84 viviendas, para determinar la muestra se tuvo como consideración un intervalo de confianza de 95 % y un margen de error de 10 %, teniendo en cuenta esos puntos se obtuvo una muestra dable para evaluar ya que el trabajo de campo sería complicado a mayor número de muestra.

Loor et al. (2021), concluyó que:

La vulnerabilidad sísmica que presentan las viviendas de la parroquia rural Santa Marianita es de incidencia alta, con afectaciones latentes en más de la mitad de las edificaciones. Se determinó que el 69% de estas viviendas no cumplen con las especificaciones técnicas propuestas en la Norma Ecuatoriana de Construcción. (pág. 13)

3.1.2 A nivel nacional

De las investigaciones en el marco nacional, según la revisión se encontró la tesis de Arevalo (2020), titulado “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres”, tuvo como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica. El investigador aplicó dos metodologías basándose en el enfoque cualitativo y cuantitativo, en la primera se enfoca en aspectos cualitativos y se lleva a cabo en el terreno mediante el uso de encuestas detalladas. Estas encuestas describen las características de la estructura, arquitectura y proceso constructivo de las viviendas. La segunda se centra en un enfoque cuantitativo y utiliza el software Etabs 2016 para analizar el comportamiento sísmico de las edificaciones. Se calcula la fuerza cortante basal, los desplazamientos del centro de masa y los desplazamientos relativos de entrepisos, siguiendo las pautas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Como resultado, se determinó que todas las edificaciones colapsarían en caso de un sismo severo. Esto se debe a que se estimó un alto riesgo sísmico y se observaron

valores de desplazamientos que superan los parámetros de diseño del método estático. Según la información recopilada a través de las encuestas, se puso de manifiesto que tanto la calidad de la mano de obra como la calidad de los materiales son deficientes. En general, la mano de obra y los materiales se califican como de mala a regular en la mayoría de las construcciones estudiadas. (Arevalo, 2020)

Sánchez y Alvarado (2020), en sus tesis de pregrado “Análisis de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de albañilería confinada autoconstruidas en el centro poblado de Victor Raul Haya de la Torre – Virú 2020”, evalúan viviendas confinadas de ladrillo las cuales tuvieron una construcción informal de un centro poblado ubicado en el distrito Virú, usando el conocido método de Benedetti y Petrini, que es parecidamente a la metodología que se usa en la actual tesis. Trata de, asignar pesos a los parámetros.

Sánchez y Alvarado (2020), obtienen los siguientes resultados:

Después de analizar las 57 viviendas, se determinó que el 7.02 % de las presenta un grado de vulnerabilidad baja, el 57.89 % un grado de vulnerabilidad media-baja, el 33.33% un grado de vulnerabilidad media-alta y por último un 1.75 % de viviendas presenta un grado de vulnerabilidad alta. Dichos resultados se deben principalmente a los desniveles en cotas de cimentación, la baja resistencia convencional que presentan las viviendas, las irregularidades en planta y la separación entre muros que excede el máximo permitido. (pág. 10)

Arias y Vargas (2018), en su tesis de pregrado “Análisis de vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones informales de viviendas en el distrito de Lircay – Angaraes”, la investigación ha desarrollado una metodología sencilla con el propósito de evaluar el riesgo sísmico. En este proceso, se han analizado minuciosamente las características técnicas de estas viviendas, así como las deficiencias arquitectónicas y constructivas. Todas las viviendas informales estudiadas presentan la necesidad de un diseño arquitectónico y estructural, y su construcción se realiza utilizando materiales de calidad baja.

En la fase de campo de este plan de investigación, se hizo una encuesta en 30 viviendas en el mencionado barrio, centrándose en aquellas viviendas cercanas y

construidas de manera informal; estas viviendas estudiadas son de un sistema estructural de albañilería confinada de ladrillos. La información recolectada en el terreno se registró en fichas de indagación, donde se tomaron datos respecto a la ubicación, el proceso de construcción, la estructura y la disposición de las edificaciones. Luego, en la etapa de análisis de escritorio, esta información se condensó en fichas de informe que resumían las características técnicas y se realizó un análisis sísmico preliminar en función de la densidad de muros, estimando la vulnerabilidad, la contingencia y el riesgo sísmico de las viviendas encuestadas.

Santos (2019), en su investigación de pregrado “Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en el distrito de Chilca en el 2017”, se utilizó tres enfoques distintos: el Método cualitativo ATC 21, el Método de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica y el Método de INDECI. Estas metodologías se emplearon con el propósito de evaluar la vulnerabilidad sísmica. Además, se realizó un análisis de dos aspectos fundamentales: se evaluaron los límites de distorsión de entrepisos (conocidos como deriva) en una vivienda construida con albañilería mediante un enfoque de análisis sísmico estático, y se evaluó la resistencia última de los muros en una vivienda de adobe. Estos análisis se llevaron a cabo siguiendo las directrices establecidas en la Norma E.0.30 y E0.80. En resumen, los resultados obtenidos a través de las tres metodologías aplicadas indican que las viviendas muestran una alta vulnerabilidad sísmica y llegarían al colapso en caso de un sismo de magnitud 5.5 grados. Cabe destacar que se observó una notable concordancia en los resultados alcanzados de los diferentes métodos.

Cervantes (2019), en su tesis llamada “Análisis de vulnerabilidad sísmica en viviendas aplicando los métodos FEMA 154 e italiano a fin de reducir el riesgo sísmico en la urbanización Paucarbamba, distrito de Amarilis – Huánuco”, para obtener los resultados, se emplearon dos enfoques metodológicos: uno desarrollado por Benedetti-Petrini y otro por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA 154). Según dicha metodología, se concluyó que el 70% de las viviendas poseen vulnerabilidad media, debido a la presencia de viviendas autoconstruidas. Esta metodología es más rigurosa, ya que incluye

varios componentes de evaluación cualitativa. Se consideraron varios parámetros, como las irregularidades en las estructuras de las edificaciones, el tipo de cubierta, la geometría de las viviendas, la ubicación de las cimentaciones y la distancia máxima entre muros.

3.1.3 A nivel regional y local

Tapia (2023), en su investigación de pregrado “Evaluación de la relación entre los factores estructurales y la vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en la zona norte de Las Américas-Abancay 2021”, se enfoca en determinar el vínculo entre los factores estructurales y la vulnerabilidad sísmica en las viviendas con la condición de ser autoconstruidas. La muestra reside en 58 viviendas, donde se revela una relación clara entre estas variables. Los cuales son el número de niveles de la edificación y su ubicación. Mientras que los factores como el diseño y la calidad estructural no muestran un vínculo directo.

Lamaccaya (2018), en su tesis “Evaluación de las viviendas autoconstruidas para determinar la vulnerabilidad sísmica en la urbanización Patibamba Baja – Abancay – Apurímac - 2018 “, la investigación se desarrolló de manera cualitativa como cuantitativa porque se tuvo en cuenta las características no solo visibles que presenta sino también se procesaron las medidas tomadas, siendo de naturaleza descriptiva. Se llevó a cabo un estudio que abarcó 16 viviendas de albañilería. Para evaluar y determinar la vulnerabilidad de estas viviendas, se utilizaron diversas herramientas, como una ficha de encuesta que registró las características de arquitectura, construcción y estructural. Además, se empleó una ficha de reporte para llevar a cabo el análisis sísmico, donde se verificó la densidad de muros y se evaluó la estabilidad de los tabiques, cercos y parapetos frente a movimientos sísmicos. Cada vivienda encuestada fue calificada en función de su nivel de vulnerabilidad. Los resultados dieron que el 56 % de las viviendas presentan una vulnerabilidad sísmica alta, el 25% tienen una vulnerabilidad sísmica media y el 19% es bajo. Los agentes básicos que influyeron en esta clasificación fueron la densidad de los muros, calidad de la mano de obra y materiales usados en la construcción.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Vulnerabilidad sísmica

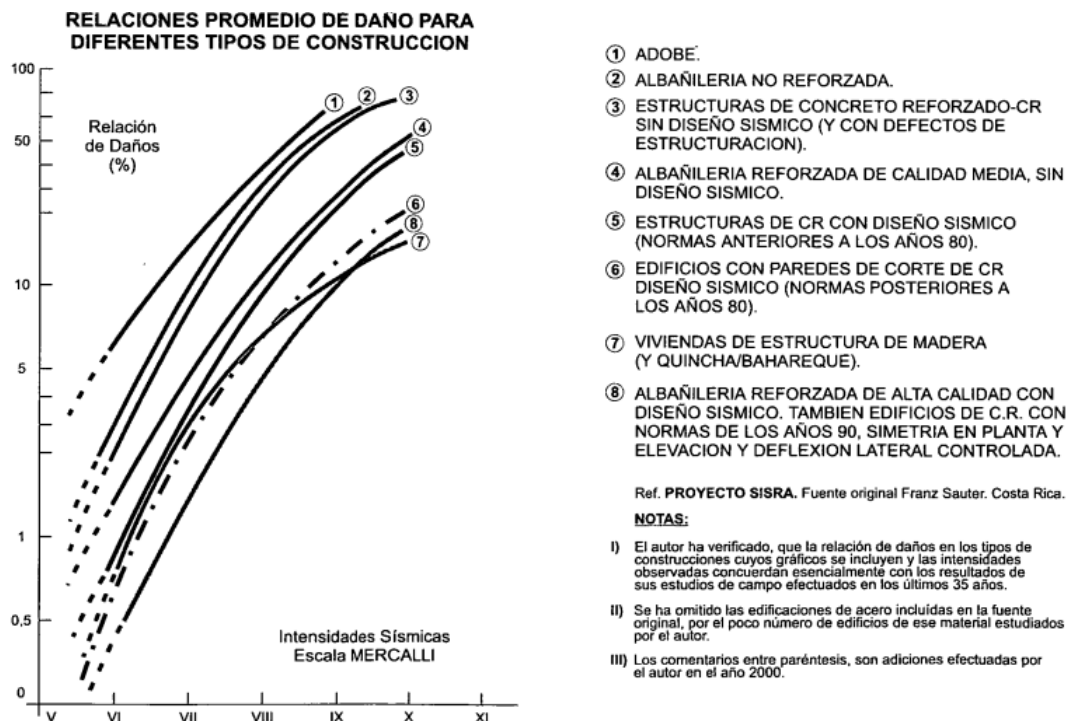
3.2.1.1 Definición de vulnerabilidad sísmica.

La vulnerabilidad sísmica de los diferentes tipos de edificaciones, es decir su resistencia sísmica en sí, de acuerdo a sus propias características, podrá ser deducida de acuerdo al grado de daños que han sufrido numerosos edificios que han sido analizados, en función del peligro sísmico, definido por los diferentes grados de intensidad en la escala MMA-01. (Kuroiwa, 2002, pág. 122)

De la figura 6 se observa que la parábola 1 correspondiente al adobe, es el primero en fallar con un sismo de intensidad casi IX, alcanzando daños del 100%. Por lo que en comparación con los otros sistemas estructurales resulta ser el más vulnerable.

Figura 6

Relaciones de daños e intensidades sísmicas para construcciones con diferentes tipos de materiales



Nota. Adaptado de “Reducción de desastres” (pág. 122), por Julio Kuroiwa, 2002.

3.2.1.2 Método para calcular la vulnerabilidad sísmica

Método Multicriterio

En el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 versión del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2014) indica respecto a la evaluación, que:

Se utiliza el método multicriterio (proceso de análisis jerárquico) para la ponderación de los parámetros de evaluación del fenómeno de origen natural y de la vulnerabilidad, mostrando la importancia (peso) de cada parámetro en el cálculo del riesgo, facilitando la estratificación de los niveles de riesgos. Este método tiene un soporte matemático, permitiendo incorporar información cuantitativa (mediciones de campo) y cualitativa (nivel de incorporación de los instrumentos de gestión del riesgo, niveles de organización social, etc.), para lo cual requiere de la participación de un equipo multidisciplinario. (pág. 15)

3.2.1.3 Algunos Sismos más importantes ocurridos en el Perú.

Terremoto de Ancash (1970): Magnitud: 7.9 (Mw)

Kuroiwa (2002) en su libro de Reducción de desastres relata que tras la ocurrencia del sismo la Facultad de ingeniería UNI, se dispusieron egresados y profesores para la evaluación de las viviendas afectadas y de los estudios realizados se tuvieron las siguientes conclusiones:

Primero, que el suelo, la geología y topografía son las que presentan mayores efectos tras la ocurrencia sísmica, esto debido a su emplazamiento geográfico. Segundo punto importante, indica que:

Las construcciones de tierra, tapial y adobe son muy vulnerables. El riesgo para sus ocupantes es muy alto si las características de sitio son desfavorables y la intensidad sísmica se aumenta sustancialmente. En el sismo de 1970, cerca de 40 000 personas perecieron bajo los escombros de sus propias viviendas de tapial o adobe. (Kuroiwa, 2002, pág. 126)

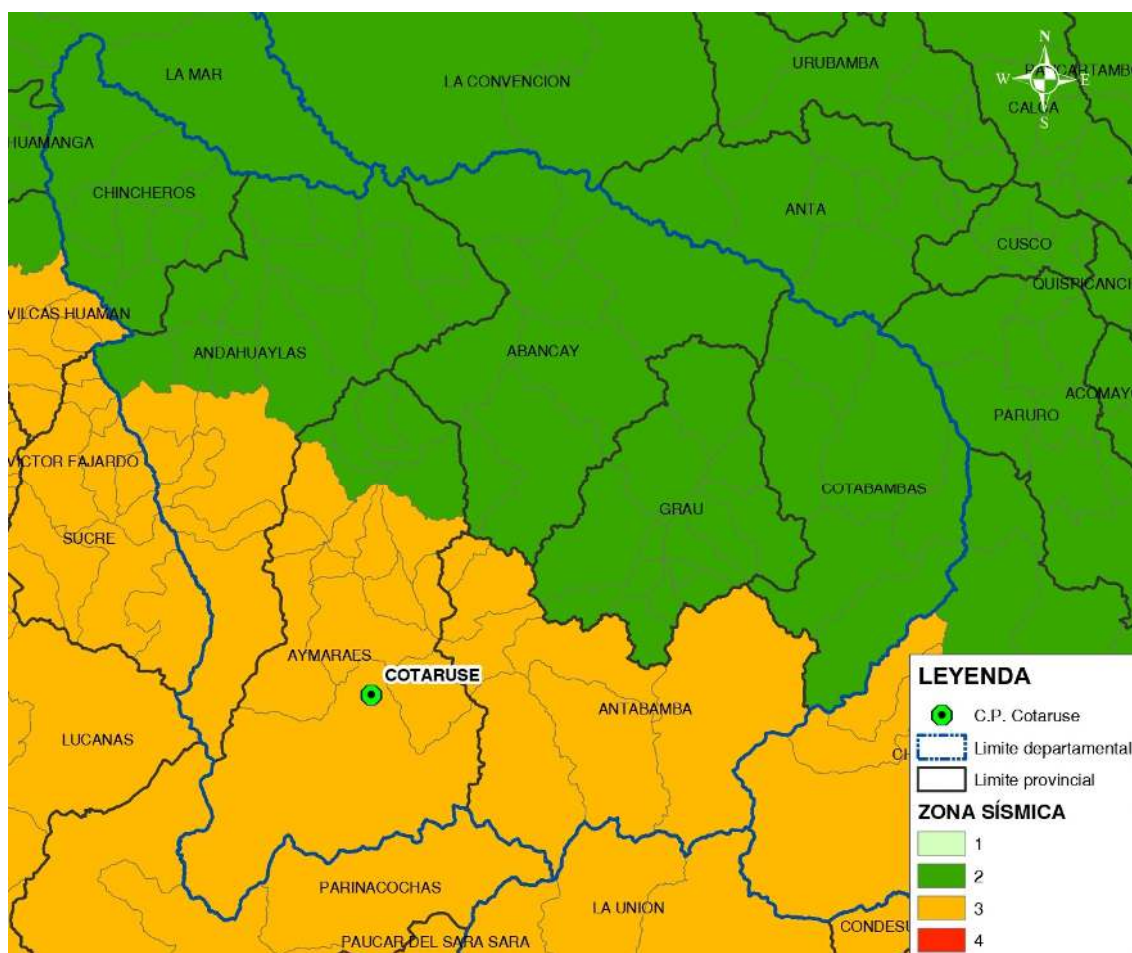
Terremoto de Pisco (2007): Magnitud: 8.0 (Mw)

El sismo de Pisco corresponde al de mayor magnitud ocurrido en la región central de Perú en los últimos 100 años (7.9Mw), y se caracterizó por presentar un proceso muy complejo de ruptura con evidente propagación unilateral en dirección SE. Los daños producidos por el sismo fueron mayores en la ciudad de Pisco y localidades aledañas afectando básicamente a viviendas de adobe y quincha, y viviendas de material noble con problemas estructurales. La intensidad máxima evaluada en la escala de Mercalli Modificada para la ciudad de Pisco fue de VII. (Tavera et al., 2007, pág. 24)

3.2.1.4 Zonificación sísmica en Apurímac y sus antecedentes sísmicos. En la figura 7 se visualiza las zonas sísmicas 2 y 3 en la región Apurímac, Cotaruse se encuentra en la siguiente zona sísmica:

Figura 7

Zonificación sísmica del departamento de Apurímac.



Nota. Adaptado del “*Mapa de zonificación sísmica, del Decreto supremo N° 003-2016-vivienda*”, (<https://www.geogpsperu.com/2016/06/mapa-de-zonificacion-sismica-peligro.html>)

En la tabla 1 se registran los sismos instrumentales cercanos al centro poblado de Cotaruse a un radio de 24 km, mayores a una magnitud de 4.5. El sismo de mayor magnitud a 24 km del centro poblado de Cotaruse fue de 6.2 grados el 16 de enero de 1980. El sismo más cercano fue a 3 km de magnitud 4.7 el 15 de febrero de 1987.

Tabla 2

Sismos registrados hasta 24 km del centro poblado de Cotaruse

Fecha UTC	Hora UTC	Profundidad (km)	Magnitud	Distrito	Distancia al C.P. Cotaruse (km)
15/02/1987	37:27.0	140	4.7	Cotaruse	3
30/09/1972	26:38.0	102	4.5	Cotaruse	4
18/10/2005	42:18.0	93	5.3	Chalhuanca	7
18/05/2003	17:17.0	42	4.7	Chalhuanca	8
15/08/2021	17:09:27	8	3.6	Cotaruse	10
01/07/1964	49:20.0	84	5.6	Chalhuanca	13
07/06/2016	28:11.0	134	4.8	Yanaca	17
14/04/1990	15:48.0	50	4.6	Cotaruse	18
14/09/2001	07:39.0	52	4.7	Chalhuanca	18
11/08/2010	36:21.0	102	5.2	Sañayca	18
29/07/1991	52:30.0	96	5.8	Sañayca	19
25/05/2008	47:17.0	149	5	Sabaino	19
15/10/2002	50:29.0	93	5.6	Pocohuanca	20
25/11/2015	26:37.0	123	4.7	Sañayca	20
22/08/1969	46:48.0	93	4.7	Sañayca	21
27/05/1997	02:37.0	96	4.9	Sabaino	22
05/04/2016	48:43.0	128	4.7	Cotaruse	22
07/04/1969	49:33.0	93	4.8	Cotaruse	23
30/04/1987	00:09.0	166	4.9	Yanaca	23
16/01/1980	49:17.0	95	6.2	Cotaruse	24
06/08/2008	03:09.0	107	5.3	Chalhuanca	24
13/04/2020	13:18:29	96	5.2	Sañayca	24
19/05/2020	00:24:51	126	5.4	Cotaruse	24

Nota. Adaptado según los Datos sísmicos, CENSIS, "Instituto Geofísico del Perú",

(<https://ultimosismo.igp.gob.pe/datos-sismicos>)

3.2.2 Viviendas de adobe

3.2.2.1 Sistema estructural de las viviendas de adobe.

Cimentación

Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2017), en la Norma E.080, nos indica la profundidad y ancho como mínimo, los cuales son de 0.60 m en ambos casos, que deben ser medidos desde el terreno natural y también nos indica de que tipos se pueden construir: “Se puede utilizar los tipos de cimentación siguientes: i. Piedra grande tipo pirca compactada, acomodada con piedras pequeñas, ii. Concreto Ciclópeo, iii. Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa” (MVCS, 2017, pág. 12).

Sobrecimiento

El MVCS (2017), en la Norma E.080, respecto al sobrecimiento también se manifiesta sobre la altura y ancho como mínimo que debería cumplir, siendo de 0.30 y 0.40 m. Además, nos indica los tipos: “Se pueden utilizar los tipos de sobrecimiento siguientes: i. Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa, ii. Concreto ciclópeo” (MVCS, 2017, pág. 12).

Muros

El MVCS (2017), en la Norma E.080, resalta que los muros son la parte que tiene mayor relevancia en la resistencia, estabilidad y por lo tanto en su comportamiento ante sismos, por otra parte, nos describe los materiales con los que se debería construir los muros tipo tímpano: “Los tímpanos deben ser del material similar al usado en los techos (madera, caña, fibra vegetal, entre otros) para que sean ligeros, más estables y fácilmente conectables con los techos” (MVCS, 2017, pág. 13).

Arriostres

El MVCS (2017), en la Norma E.080, en último lugar alude sobre los arriostres verticales y horizontales los cuales son encargados de permitir de mejor manera la transmisión de cargas. A continuación, la norma describe estos arriostres:

Arriostres horizontales: i. Son elementos o conjunto de elementos que deben poseer una rigidez suficiente en el plano horizontal para impedir el libre desplazamiento lateral de los muros, ii. Los elementos de arriostre horizontal más comunes son los pisos y entrepisos de madera con elementos diagonales, se deben diseñar como apoyos del muro arriostrado, considerándose al muro como una losa vertical sujeto a fuerzas horizontales perpendiculares a éste, iii. Se debe garantizar la adecuada transferencia de esfuerzos entre el muro y sus arriostres, los que deben conformar un sistema continuo e integrado. (MVCS, 2017, pág. 14)

Y, por último, “Arriostres verticales: Los arriostres verticales son muros transversales o contrafuertes especialmente diseñados, que deben tener una adecuada resistencia y estabilidad para transmitir fuerzas cortantes a la cimentación” (MVCS, 2017, pág. 14).

3.2.2.2 Configuración de las viviendas de adobe

El MVCS (2017), en la Norma E.080, brinda requerimientos mínimos para el diseño de los muros, como primer punto el ancho mínimo del muro es de 0.40 m, respecto a la densidad dice lo siguiente:

La densidad de muros en la dirección de los ejes principales debe tener el valor mínimo indicado en la Tabla 2 Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación. De ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados. (MVCS, 2017, pág. 7)

Tabla 3*Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación*

Tipo de edificación	Factor de uso (U)	Densidad
NT A.030 Hospedaje		
NT A.040 Educación		
NT A.050 Salud	1.4	15 %
NT A.090 Servicios comunales		
NT A.100 Recreación y deportes		
NT A.110 Transporte y Comunicaciones		
NT A.060 Industria		
NT A.070 Comercio	1.2	12 %
NT A.080 Oficinas		
Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta	1,0	8 %

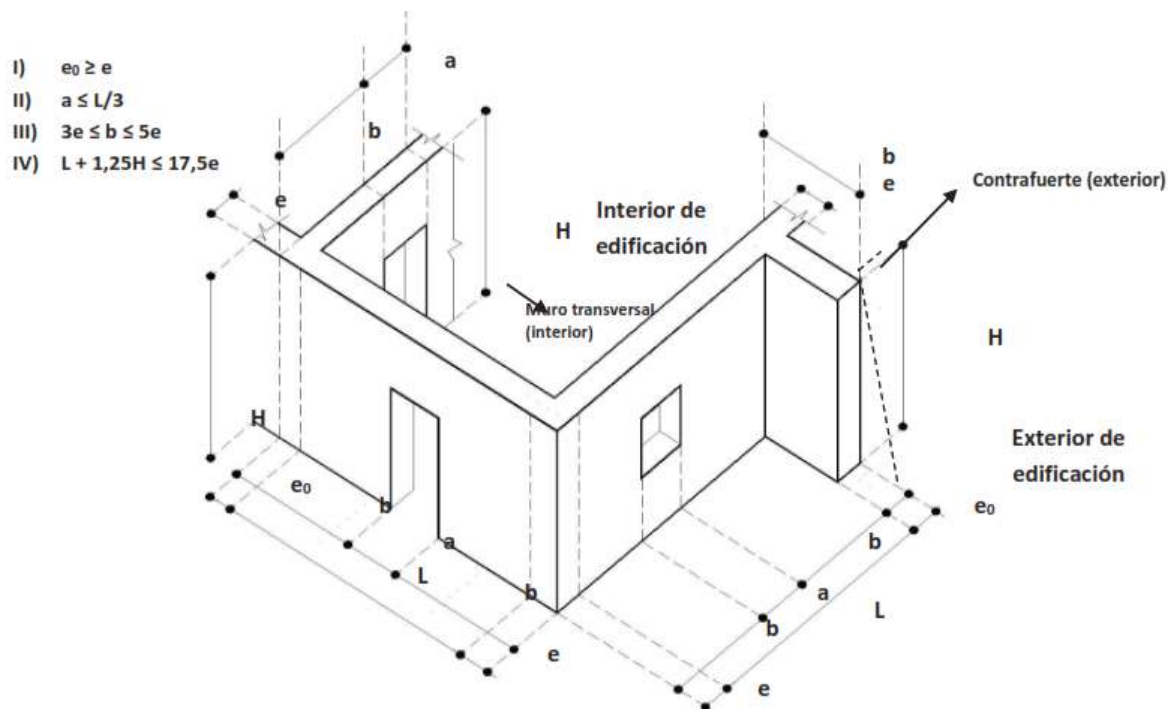
Nota. Adaptado de “Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación” (pág. 8), por Norma E.080 Diseño y Construcción con tierra reforzada, 2017.

El MVCS (2017), en la Norma E.080, también indica las longitudes mínimas en su configuración, donde se tienen los siguientes datos:

El espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la distancia entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como los materiales y la técnica constructiva para la construcción de una edificación de tierra reforzada, deben ser aplicados de manera continua y homogénea. (MVCS, 2017, pág. 7)

Figura 8

Límites geométricos de muros y vanos



Nota. Adaptado de la Norma E.080 Diseño y Construcción con tierra reforzada (pág. 7), 2017.

3.2.2.3 Comportamiento sísmico de las viviendas de adobe

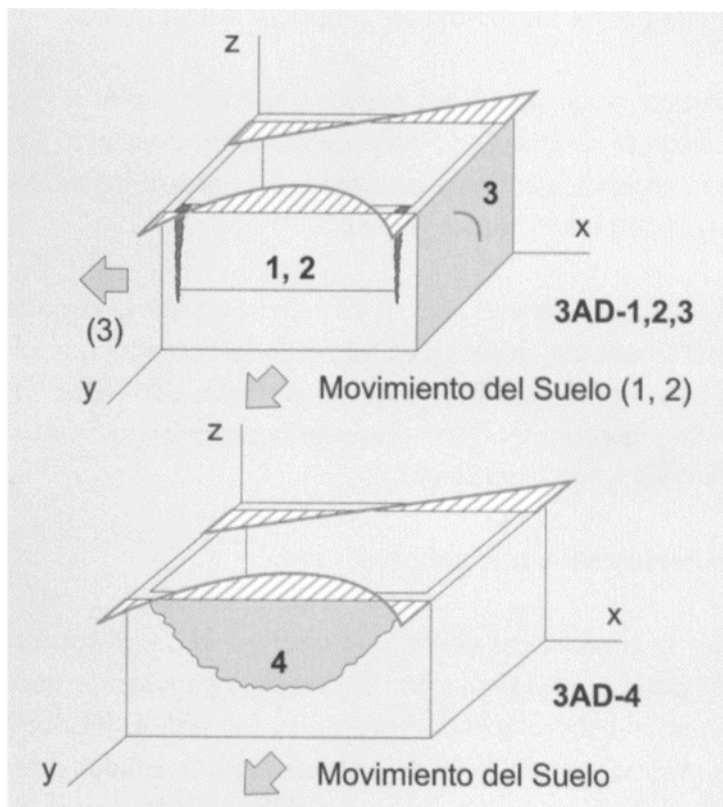
Durante las vibraciones sísmicas horizontales, si el suelo se mueve en la dirección “y”, las fuerzas de inercia que se generan en los muros actúan en sentido contrario (ver figuras). Esto provoca en ellos fallas por flexión, por momento y corte, que actúan simultáneamente en cada uno de los muros; aunque se les representa separados para una mejor comprensión. Tanto el momento negativo como el corte provocan grietas cerca de las esquinas, y el momento positivo, grietas en el centro; efecto similar a empujar los muros, que se zafan o desconectan en las esquinas. Como se observa en las F-3AD1 y F-3AD2 las grietas se presentan profundas en las esquinas y menos severas en la parte central de los muros. Estas grietas se inician en la parte superior de los muros y se propagan hacia abajo. (Kuroiwa, 2002, pág. 129)

Kuroiwa (2002), explica de la siguiente manera la figura 3: “Eventualmente, los muros quedan separados entre sí y se vuelcan al quedar en voladizo y la fuerza de inercia actúa perpendicularmente a su cara. Esto ocurre frecuentemente con las fachadas, F-3AD3” (pág. 129).

Si los muros transversales están muy separados, la parte central superior se vuelca en forma de “U” abierta, por falta de estabilidad, debido a que el momento positivo se hace muy grande, tal como se puede apreciar en la F-3AD4 y su diagrama explicativo. (Kuroiwa, 2002, pág. 129)

Figura 9

Diagrama de momentos y cortantes



Nota. Adaptado de *Reducción de desastres* (pág. 130), por Julio Kuroiwa, 2002.

3.2.2.4 Factores que influyen en la durabilidad de las viviendas

El MVCS (2017), en la Norma E.080, de igual modo brinda recomendaciones para impedir su deterioro de las construcciones de adobe causadas por los factores climáticos. Lo principal es el revestimiento en muros y sobrecimientos, la longitud que deben tener los

aleros del techo, la construcción de veredas en el perímetro, un adecuado sistema de drenaje en techos y patios. Todo ello para la protección de lluvias, vientos y humedad.

3.2.2.5 Tipos de suelo para cimentar.

Existen diversos métodos para clasificar el suelo, el más usado para edificaciones es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), en la tabla 3 se indican los tipos de suelo, sus características y abreviatura.

Tabla 4

Clasificación de suelos SUCS

Divisiones mayores		Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos el 50% o más se retuvo en el tamiz n°200 (0.075 mm)	Grava < 50% de la fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4 (4.75 mm)	grava limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	GW grava bien graduada, grava fina a gruesa
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4	grava con más de 12% de finos pasantes del n.º 200	GP grava pobremente graduada
		Arena limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	GM grava limosa
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n.º 200	GC grava arcillosa
		Arena fina a gruesa.	SW
	Arena pobremente graduada	SP	
Suelos de grano fino más del 50% de la muestra pasa el tamiz No.200 (0.075 mm)	Limos y arcillas <u>límite líquido</u> < 50	<u>inorgánico</u>	ML limo
		<u>orgánico</u>	CL arcilla
			OL Limo orgánico, <u>arcilla orgánica</u>
	Limos y arcillas límite líquido ≥ 50	inorgánico	MH limo de alta <u>plasticidad</u> , limo <u>elástico</u>
			CH Arcilla de alta plasticidad
		orgánico	OH Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos		Pt	<u>turba</u>

Nota. Adaptado de la Tabla de Clasificación SUCS,

(https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos)

3.3 Definición de términos

3.3.1 Sismo

“La palabra sismo viene del griego *Seiein* que significa mover. Se le llama temblor a un sismo pequeño, generalmente local, mientras que a un sismo grande se le da el nombre de terremoto, también llamado microsismo” (Gómez, 2006, pág. 11).

Se define al proceso de generación y liberación de energía para posteriormente propagarse en forma de ondas por el interior de la tierra. Al llegar a la superficie, estas ondas son registradas por las estaciones sísmicas y el sacudimiento del suelo por ellas producidas, es percibido por la población. (Instituto Geofísico del Perú, 2023)

3.3.2 Vulnerabilidad

En el marco de la Ley N.º 29664 del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N°048-2011-PCM) se define la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. (CENEPRED, 2014, pág.123)

3.3.3 Adobe

El MVCS (2006), en la Norma E.080, describe esta unidad de albañilería como: “un bloque macizo de tierra sin cocer, el cual puede contener paja u otro material que mejore su estabilidad frente a agentes externos” (pág. 1). Y, acerca de su composición señala que: “La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20 %, limo 15-25 % y arena 55-70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos” (pág. 1).

3.3.4 Muro de adobe

Construido con piezas modeladas de barro secadas al sol. Las dimensiones más comunes son de 0.40 m de largo, 0.25 m de ancho y 0.16 m de espesor, los que colocados en aparejo de cabeza dan muros de 0.40 m de espesor y en soga, 0.25 m. (Kuroiwa, 2002, pág. 128)

3.3.5 Densidad de muros

“Cociente entre la suma de áreas transversales de los muros paralelos a cada eje principal de la planta de la construcción y el área total techada” (MVCS, 2017, pág. 5).

3.3.6 Arriostres

“Componente que impide significativamente el libre desplazamiento del borde de muro, considerándose un apoyo. El arriostre puede ser vertical (muro transversal o contrafuerte) u horizontal” (MVCS, 2017, pág. 4).

3.3.7 Grieta y fisura

Rajadura que se presenta en los muros de tierra producidas por cargas mayores a las que puede resistir el material, por gravedad, terremotos, accidentes u otros. Atraviesan los muros de lado a lado y pueden ser de espesores variables o invisibles al ojo humano. Grieta: Abertura mayor a un milímetro. Fisura: Abertura igual o menor de un milímetro. (MVCS, 2017, pág. 5)

3.3.8 Epicentro:

“Se define como Epicentro al punto exacto en la superficie que representa la proyección del hipocentro o foco sísmico” (Instituto Geofísico del Perú, 2023).

3.3.9 Escala de magnitud

Representa a la escala que mide el total de la energía liberada en el foco sísmico y originalmente corresponde a la escala de Richter, propuesta por el autor en el año 1935. Es una escala logarítmica, lo que hace que los niveles asignados no tengan un comportamiento lineal y permiten medir sismos muy pequeños hasta los que alcanzarían valores en magnitud del orden de 6.5 ML (llamada también escala de magnitud local, de ahí sus siglas “ML”). En la actualidad la escala de magnitud más acertada y más utilizada es la escala de magnitud de momento (M_w) en razón que permite medir sin restricción sismos pequeños y grandes como el ocurrido en Japón en el año 2011. (Instituto Geofísico del Perú, 2023)

3.3.10 Escala de intensidad Modificada de Mercalli

La escala de Mercalli modificada permite evaluar el grado de daño producido por un sismo en un determinado punto. Considera el nivel de percepción de las personas, efectos en estructuras y en la morfología. La escala consta de 12 valores expresados en números romanos que va desde los sismos que no son perceptibles hasta los que producen gran destrucción en ciudades y cambios importantes en la morfología del terreno. (Instituto Geofísico del Perú, 2023)

3.3.11 Esbeltez

Relación entre las dimensiones del muro y su máximo espesor. Hay dos tipos de esbeltez de muros: La esbeltez vertical (λ_v), que es la relación entre la altura libre del muro y su máximo espesor, y la esbeltez horizontal (λ_h), que es la relación entre el largo efectivo del muro y su espesor. (MVCS, 2017, pág. 4)

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

El tipo al que corresponde esta investigación es aplicada, en el siguiente párrafo se describe:

La investigación aplicada se emprende para determinar los posibles usos de los resultados de la investigación básica, o para determinar nuevos métodos o formas de alcanzar objetivos específicos predeterminados. Este tipo de investigación implica la consideración de todo el conocimiento existente y su profundización, en un intento de solucionar problemas específicos. (Manual de Frascati, 2018, pág. 54)

El nivel de investigación es descriptivo, según Palella y Martins (2006), sostiene que:

El propósito de este nivel es el de interpretar realidades de hecho. Incluye descripción, registro, análisis e interpretación de los fenómenos. El nivel descriptivo hace énfasis sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente. (pág. 102)

El procedimiento es deductivo, según Palella y Martins (2006), “método es el conjunto de procedimientos que se sigue en las ciencias para hallar la verdad” (pág. 88).

Deductivos. Están basados en la descomposición del todo en sus partes. Van de lo general a lo particular y se caracterizan porque tienen un análisis. Parten de generalizaciones ya establecidas, de reglas, leyes o principios destinados a resolver problemas particulares o a efectuar demostraciones con algunos ejemplos. (Palella y Martins, 2006, pág. 89)

Esta investigación parte de premisas establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, el cual brinda conceptos generales y específicos para la construcción de viviendas de adobe.

Con respecto al diseño de la investigación es no experimental – transversal o transeccional, se describe en el párrafo continuo:

Diseño no experimental: es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. (Palella y Martins, 2006, pág. 96)

Transversal o transeccional: este nivel de investigación se ocupa de recolectar datos en un solo momento y en un tiempo único. Su finalidad es de la describir las variables y analizar su incidencia e interacción en un momento dado, sin manipularlas. (Palella y Martins, 2006, pág. 104)

La investigación se realizó en el año 2023, evaluando todas las viviendas de adobe en su estado actual, recolectando datos en un tiempo definido y después fueron analizados en gabinete.

4.2 Ámbito temporal y espacial

4.2.1 Temporal

El lapso del análisis de las viviendas de adobe se ejecutó en el año 2023.

4.2.2 Espacial

El trabajo de investigación se estudió en el centro poblado de Cotaruse, provincia de Aymaraes, departamento de Apurímac dentro del emplazamiento urbano, precisamente dentro del perímetro del centro poblado según el plano de trazado y lotización de Organismo de Formalización de la propiedad Informal (COFOPRI, 2009).

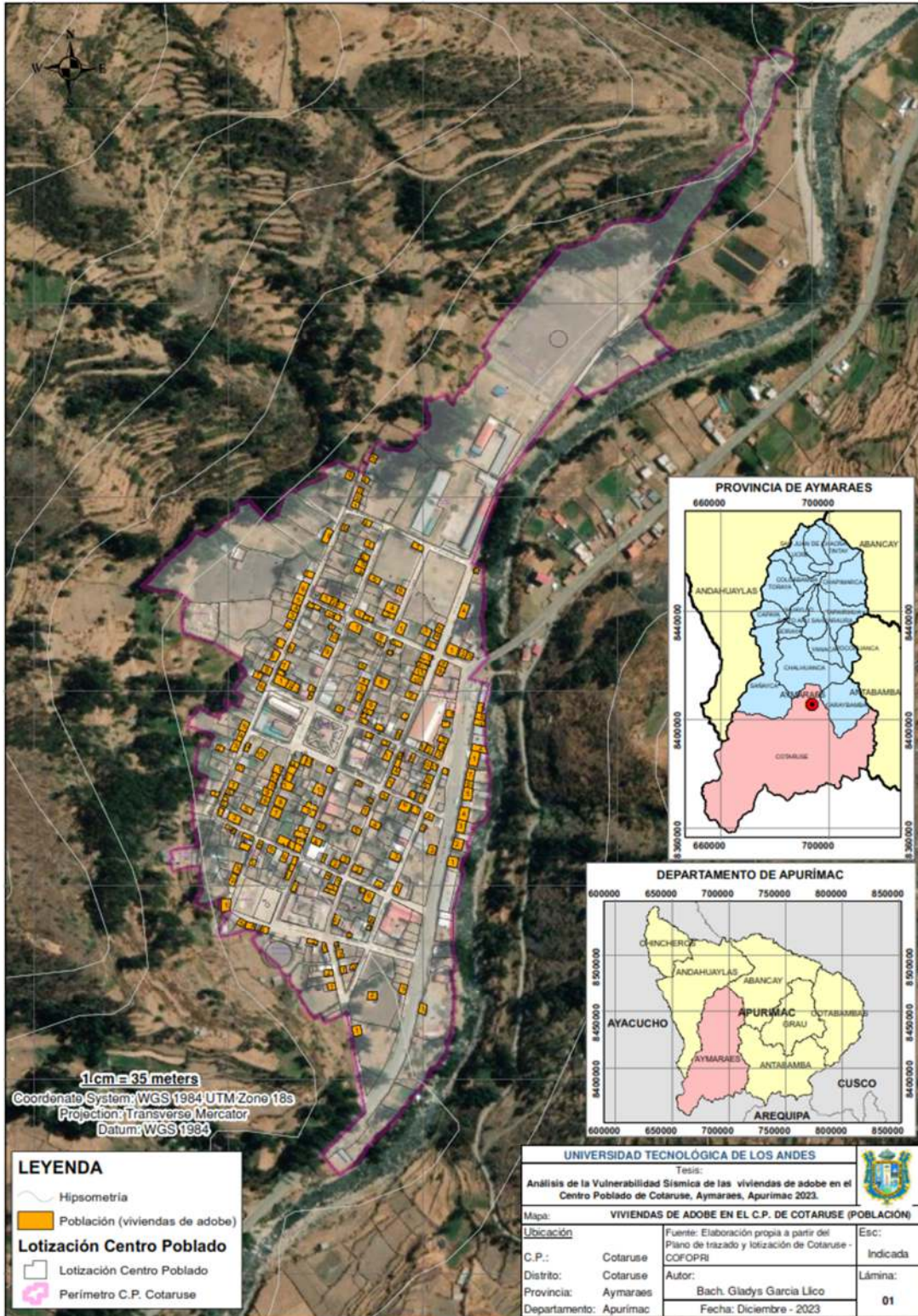
4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población son las viviendas de adobe del centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac, el cual es un total de 217 viviendas, dichas viviendas de adobe son solo las que se encuentran dentro del perímetro del Plano de lotización del centro poblado de Cotaruse según COFOPRI, están distribuidas en manzanas y lotes.

Figura 10

Población de la investigación



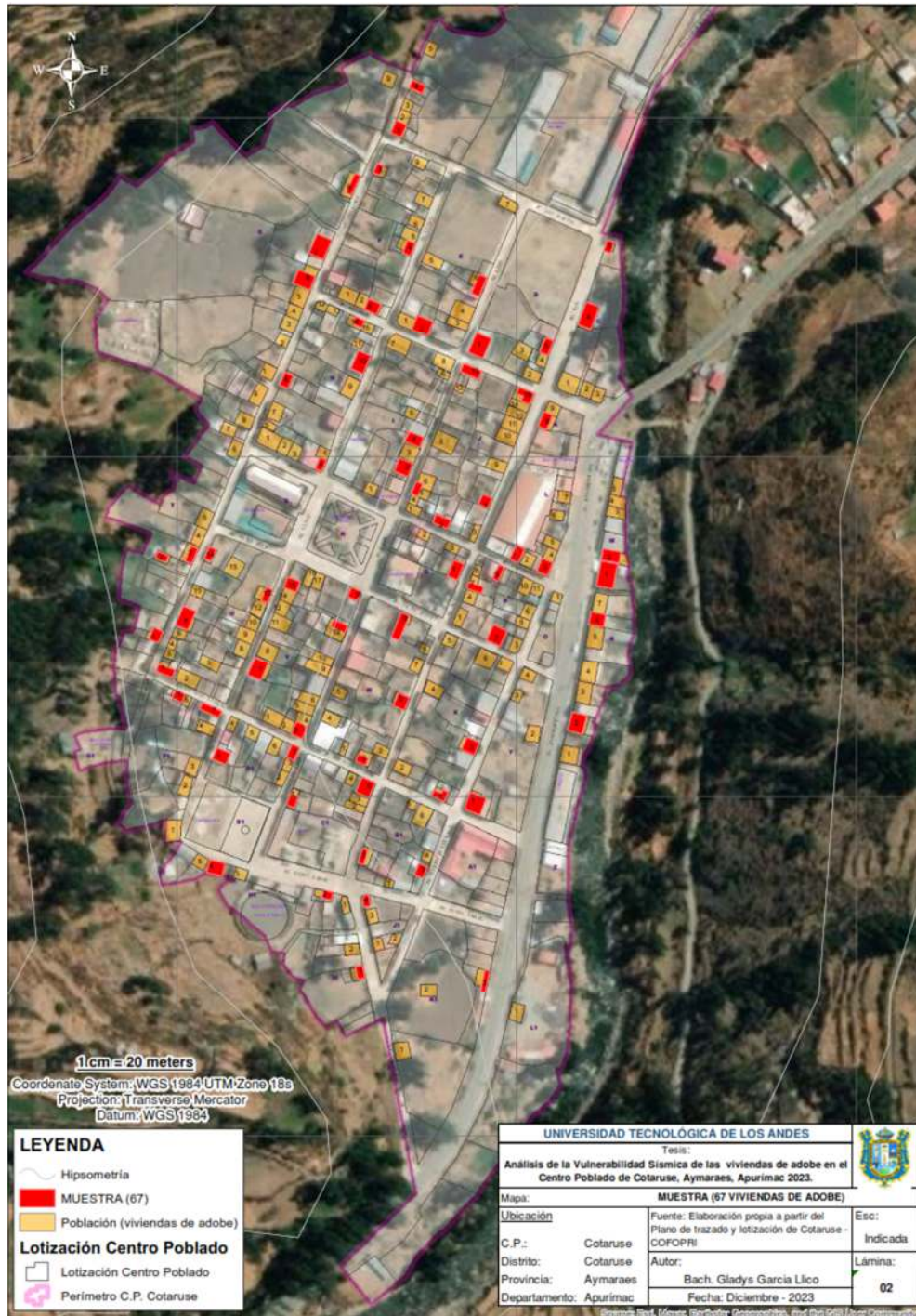
4.3.2 Muestra

El tamaño de la muestra es de 67 viviendas, calculado con un error máximo de 0.10, probabilidades de éxito y fracaso de 50% y nivel de confianza de 95%.

$$n = \frac{1.96^2(217)(0.5)(0.5)}{0.10^2(217 - 1) + 1.96^2(0.5)(0.5)} = 67$$

Figura 11

Muestra calculada y seleccionada



4.3.3 Muestreo

El tipo de muestreo es probabilístico según Palella y Pestana (2006), primero se aplicará el muestreo por estratos con afijación proporcional identificando las viviendas por manzanas, luego se realizará el muestreo por Números aleatorios en cada manzana. Para generar números aleatorios se usó STATS®, la opción de *Random Number Generator*. En la tabla 5 se detalla el proceso de selección de las viviendas de adobe.

Tabla 5

Muestreo con afijación proporcional de las viviendas de adobe

Mz	Población de Mz (cantidad)	Muestra (cantidad)	Lotes seccionados por numeros aleatorios					
A	5	2	1	4				
C	5	2	4	5				
D	5	2	1	5				
E	7	2	2	6				
F	9	3	3	4	8			
G	9	3	6	7	8			
H	15	4	4	8	10	14		
I	8	2	2	4				
J	16	5	2	5	7	15	16	
LK	9	3	1	3	8			
M	5	2	1	2				
N	7	2	2	6				
O	1	0						
P	11	3	2	7	9			
Q	3	1	1					
T	9	3	1	2	3			
U	15	4	1	7	3	14		
V	18	5	3	7	13	15	18	
W	9	3	2	6	9			
X	7	2	1	3				
Y	4	1	1					
B1	6	2	2	3				
C1	5	2	1	5				
D1	7	2	1	7				
F1	7	2	5	7				
H1	5	2	2	4				
I1	2	1	1					
J1	4	1	4					
K1	3	1	3					
L1	1	0						
total	217	67						

Nota. Elaboración propia.

4.4 Instrumentos

4.4.1 Técnicas

En el contexto de la investigación, se optó por utilizar el análisis documental, la ficha de observación y fichas de reporte para obtener la información y procesarla.

“La ficha de observación es un instrumento sencillo de fácil manejo, pero de bastante utilidad para registrar datos que se generen como resultado del contacto directo con el observador y la realidad que se observa” (Silvestre y Huamán, 2020, pág. 370). Aquí se registra todas las características del diagnóstico realizado a las viviendas.

Las fichas de reporte constituyen documentos de hojas de cálculo que presentan de forma meticulosa y organizada las particularidades arquitectónicas, estructurales y de construcción de las viviendas que han sido registradas (Flores, 2016). Mediante estas hojas de cálculo se verifica la densidad de los muros, esbelteces y proporción de vanos.

El análisis documental se revisó de la información brindada por la Municipalidad distrital de Cotaruse.

4.4.2 Instrumentos

Para la obtención de datos de campo se utilizó los siguientes instrumentos:

- Celular con cámara y GPS
- Medidor láser de 40 m
- Wincha métrica de 5 m.
- Martillo y bolsas

El proyecto de investigación es un trabajo de responsabilidad social ya que contribuye a la seguridad de sus viviendas.

4.5 Procedimientos

Antes que todo, se realizó el trabajo en campo. El primer paso fue observar las viviendas seleccionadas para completar las fichas de observación, donde se verificó lo siguiente: los arriostres, problemas existentes en los muros, número de pisos, revestimiento de los muros, tipo de sobrecimiento, material del techo y si contaba con drenaje. Seguidamente, se tomó las medidas de la vivienda en planta y elevación, para

obtener los planos de distribución y así elaborar las fichas de reporte, la cual calcula lo siguiente: la densidad y los límites geométricos de los muros, la proporción de vanos que presenta y el porcentaje de suelos contenido en los adobes. Es necesario señalar que se tomó muestras de adobe para hacer ensayos de granulometría por sedimentación para saber la composición de suelos en el adobe. Y, por último, se tomó la información del estudio de suelos en el centro poblado de Cotaruse de la Municipalidad distrital de Cotaruse, para realizar el Mapa de tipo de suelos de cimentación.

Finalmente, con todos estos datos tomados y procesados, se acomodaron a una matriz Saaty ordenando en niveles de vulnerabilidad de cada característica física de la vivienda.

4.6 Análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se aplicará la estadística descriptiva, donde se tendrá un resumen de los datos, gráficos, tablas de frecuencia, etc. Asimismo, la interpretación de los resultados.

4.7 Consideraciones éticas

Cuando se realizó el uso de las fichas de observación y fichas de reporte se tuvo en cuenta el permiso informado, del propietario.

Respecto a las fuentes de información tomadas, todas serán mencionadas adecuadamente respetando la propiedad intelectual.

V. Resultados y discusión

5.1 Resultados

5.1.1 Ubicación de las Viviendas de adobe analizadas

La pesquisa se desarrolló en el emplazamiento de la urbe del poblado de Cotaruse, en la figura 12 se visualiza los lotes en color rojo que corresponden a las viviendas evaluadas, vista en planta con longitudes reales medidas en campo que están dentro del polígono color magenta que corresponde al perímetro del poblado, siendo la cantidad de 67 viviendas elaboradas con muros de adobe y que fueron seleccionadas aleatoriamente.

Tabla 6

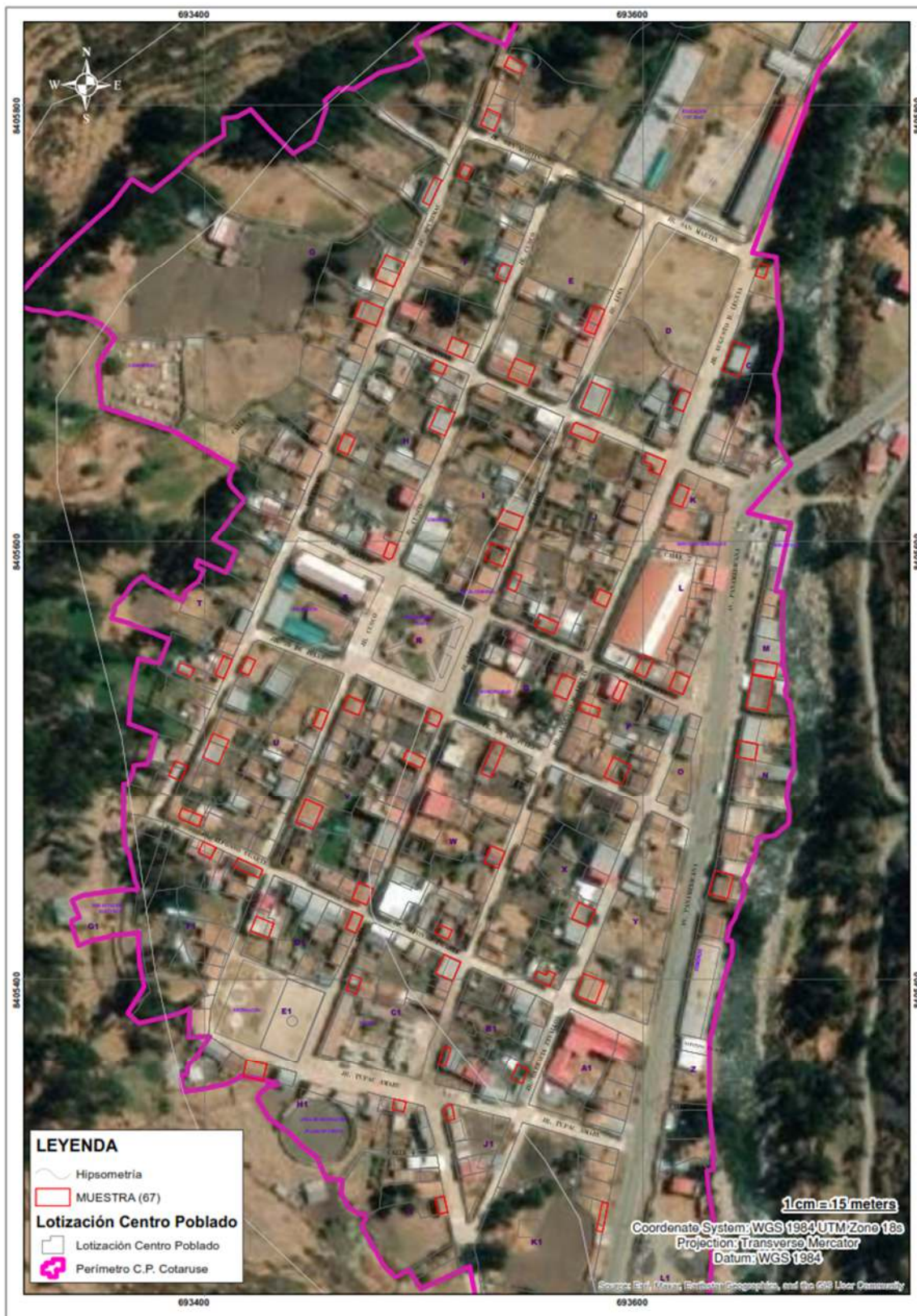
Ubicación del área urbana de estudio

Ubicación	Coordenadas UTM		Región/ Provincia/ Distrito
	Este	Oeste	
Cotaruse	693496.52 m	8405549.53 m	Apurímac / Aymaraes/ Cotaruse

Nota. Elaboración propia.

Figura 12

Muestra de viviendas de adobe evaluadas del centro poblado Cotaruse



5.1.2 Dimensiones analizadas de las viviendas de adobe

En la tabla 7 se detalla las dimensiones y parámetros analizados con sus respectivos pesos calculados por el método multicriterio Saaty. Las dimensiones analizadas son: Estabilidad de los muros, Configuración de la vivienda, Tipo de materiales y Tipo de suelo de cimentación, cada una de estas dimensiones fueron seleccionadas cuidadosa y analíticamente siendo las que tienen mayor relevancia en la vulnerabilidad material de las construcciones de adobe ante sucesos de sísmicos.

Tabla 7

Dimensiones y parámetros analizados en las viviendas de adobe

Dimensiones	Parámetros	Sub Indicadores			
Estabilidad de los muros	0.68	Densidad de muros	0.49	Densidad en dirección del frontis	0.50
				Densidad en dirección de la profundidad	0.50
		Presenta Arriostres	0.24	Arriostres verticales y horizontales	1.00
		Problemas existentes en los muros	0.15	Por Grietas o fisuras	0.70
				Por factores externos climáticos	0.30
		Presenta muro tímpano	0.08	Tipo de techo (nro. aguas)	1.00
	Pisos	0.04	Número de pisos	1.00	
Configuración de la vivienda	0.42	Límites geométricos en muros	0.60	Límite de grosor	0.385
				Límite de esbeltez vertical	0.308
				Límite de esbeltez horizontal	0.308
		Proporción de vanos	0.40	Proporción de vano respecto al muro en X	0.50
	Proporción de vano respecto al muro en Y			0.50	
Condición de los materiales empleados	0.16	Adobe	0.63	% de suelos contenido	0.70
					Material de revestimiento de muros
		Sobrecimiento	0.26	Tipo de material del sobrecimiento	0.50
				Altura del sobrecimiento	0.50
	Techo	0.11	Material del techo y drenaje	1.00	
Tipo de suelo de cimentación	0.08	Tipo de suelo	1.00	Clasificación del suelo SUCS	1.00

Nota. Elaboración propia.

5.1.2.1 Estabilidad de muros

La tabla 8 muestra los parámetros analizados en la dimensión de Estabilidad de muros y, asimismo, los sub indicadores que fueron evaluados en las viviendas de adobe.

Tabla 8

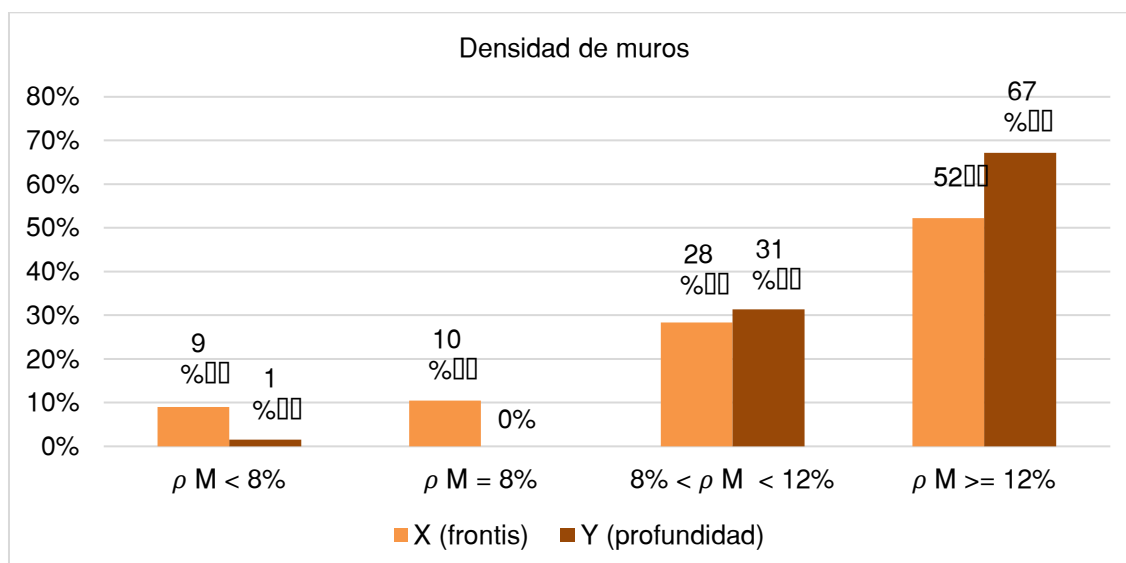
Parámetros de la dimensión: Estabilidad de muros

Densidad de muros		Arriostres	Problemas existentes en los muros		Muro del Tímpano	Nivel
Densidad en dirección del frontis (X)	Densidad en dirección de la profundidad (Y)	Arriostres verticales y horizontales	Por Grietas o fisuras	Por factores externos climáticos	Tipo de techo (nro. aguas)	Número de pisos

Densidad de muros. Mas del 50% de las viviendas tienen la densidad de muros en dirección del frontis y profundidad mayor al 12% y aproximadamente el 30% tienen una densidad del 8% al 12%. Esto significa que casi todas las viviendas poseen una buena densidad estando dentro de lo establecido. Sin embargo, las viviendas que presentan densidad menor a 8% se da en el frontis debido que al estar expuesto hacia la calle tienen más ventanas y puertas.

Figura 13

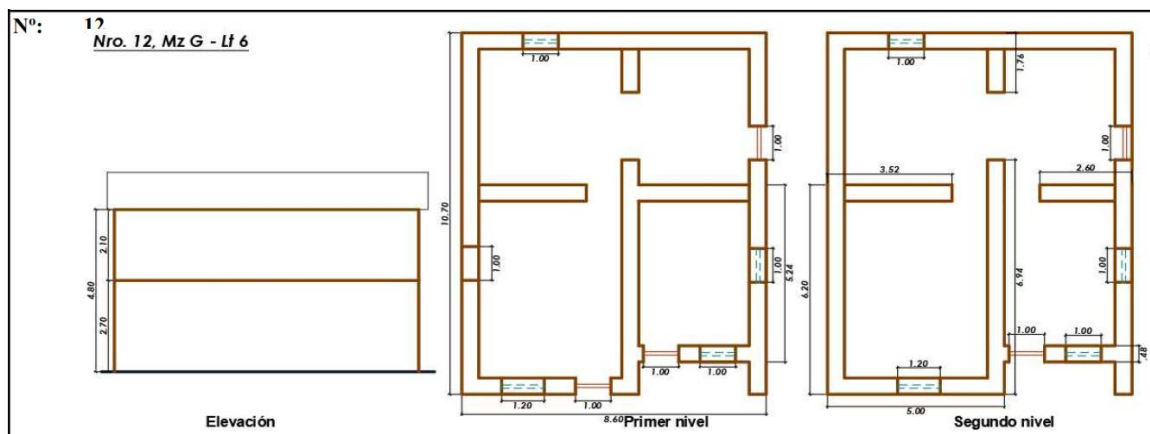
Densidad de muros en dirección de frontis (X) y profundidad (Y)



Para calcular la densidad se requiere el croquis de la vivienda para identificar las longitudes de los muros portantes, espesor de muro y área de planta, la figura 14 es un ejemplo de la distribución de muros dibujada, las longitudes se tomaron en campo con un medidor láser, estos dibujos de planta y elevación se adjunta en los anexos.

Figura 14

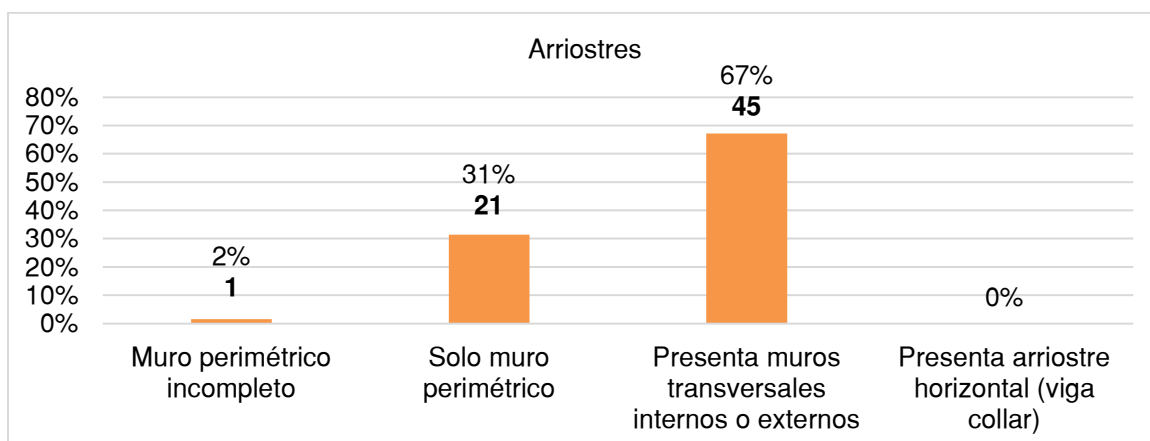
Ejemplo de Croquis de las viviendas de adobe



Arriostres. Este parámetro evalúa la presencia de arriostres verticales y horizontales, incluir la construcción de arriostres brinda una mejor rigidez a la vivienda, ya que al no contar con ellos se comportarían como muros perimétricos y generaría mayor inestabilidad. La figura 15 señala que en la distribución de muros el 67% cuenta con muros transversales, mientras que el 31% son solo el muro perimétrico. No obstante, ninguna vivienda fue construido con viga collar.

Figura 15

Arriostres que presentan las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse

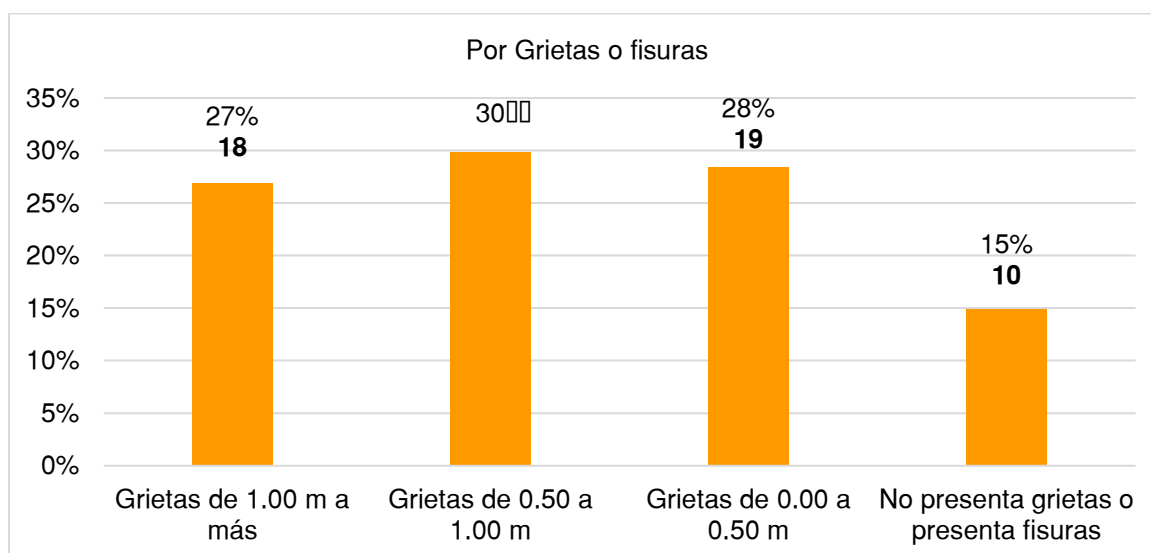


Problemas existentes en los muros:

Por grietas y fisuras. Como se visualiza en la figura 16 el 28% de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse presenta grietas de 0.00 a 0.50 m, el 30% de las viviendas presenta grietas de 0.50 a 1.00 m y el 27% presentan grietas de 1.00 m a más. Se verifica que la mayoría de las viviendas presenta este problema, esto pudo darse por la antigüedad y los pequeños sismos que fueron ocurriendo. Solo el 15% no tiene grietas o solo presenta fisuras. En la figura 16 se señala las grietas que presenta una vivienda, siendo grietas que inician desde el lado superior del muro, se dan en las esquinas y en muros muy esbeltos horizontalmente.

Figura 16

Grietas o fisuras que presentan las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse



En la figura 17 indica el tamaño de las grietas según colores y el lado donde se ubican, las grietas que son de 1.00 m a más, se encuentran entre los muros de mayor longitud.

Figura 17

Mapa de clasificación de tamaño de grietas

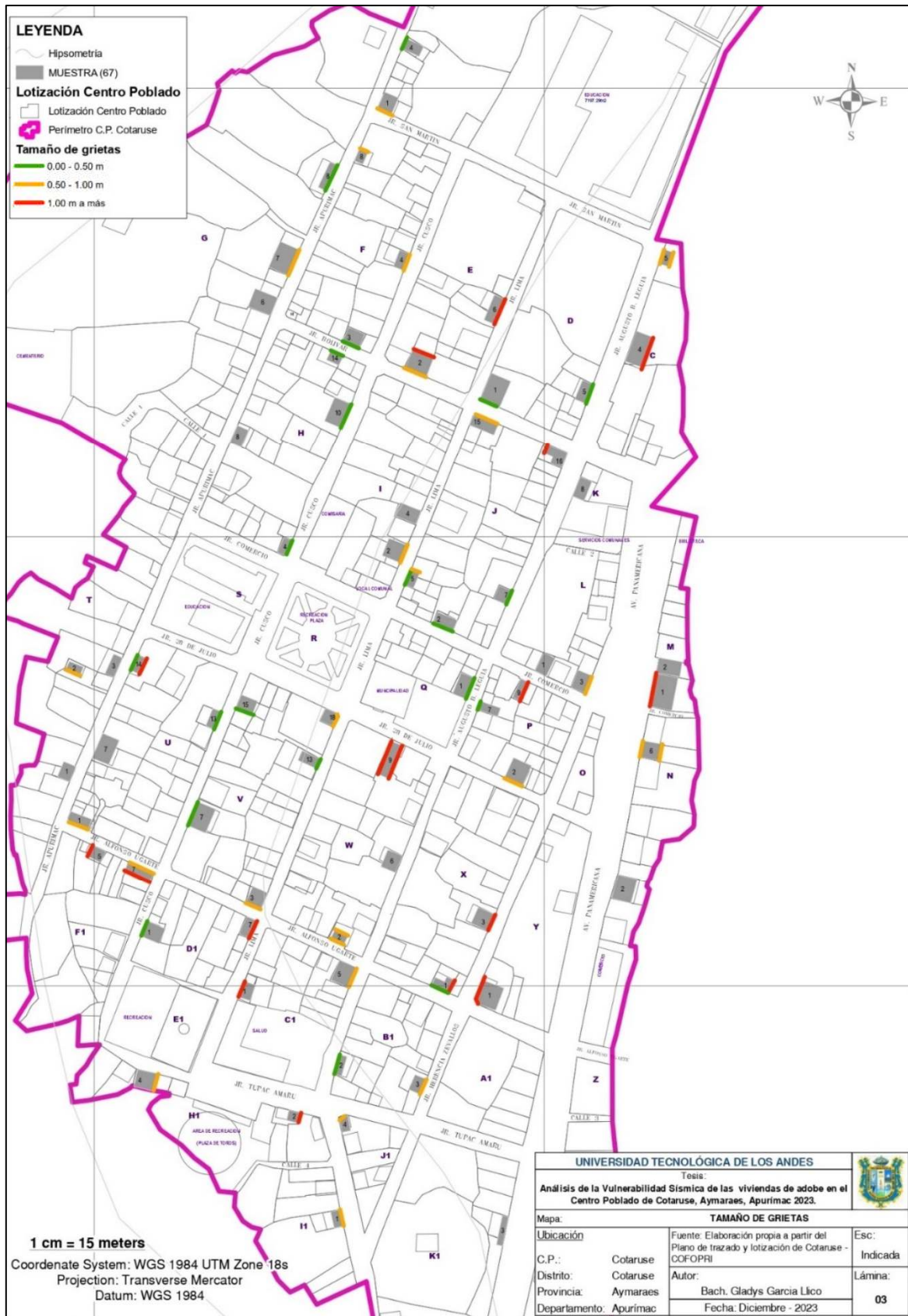


Figura 18

Vivienda con grietas verticales y diagonales

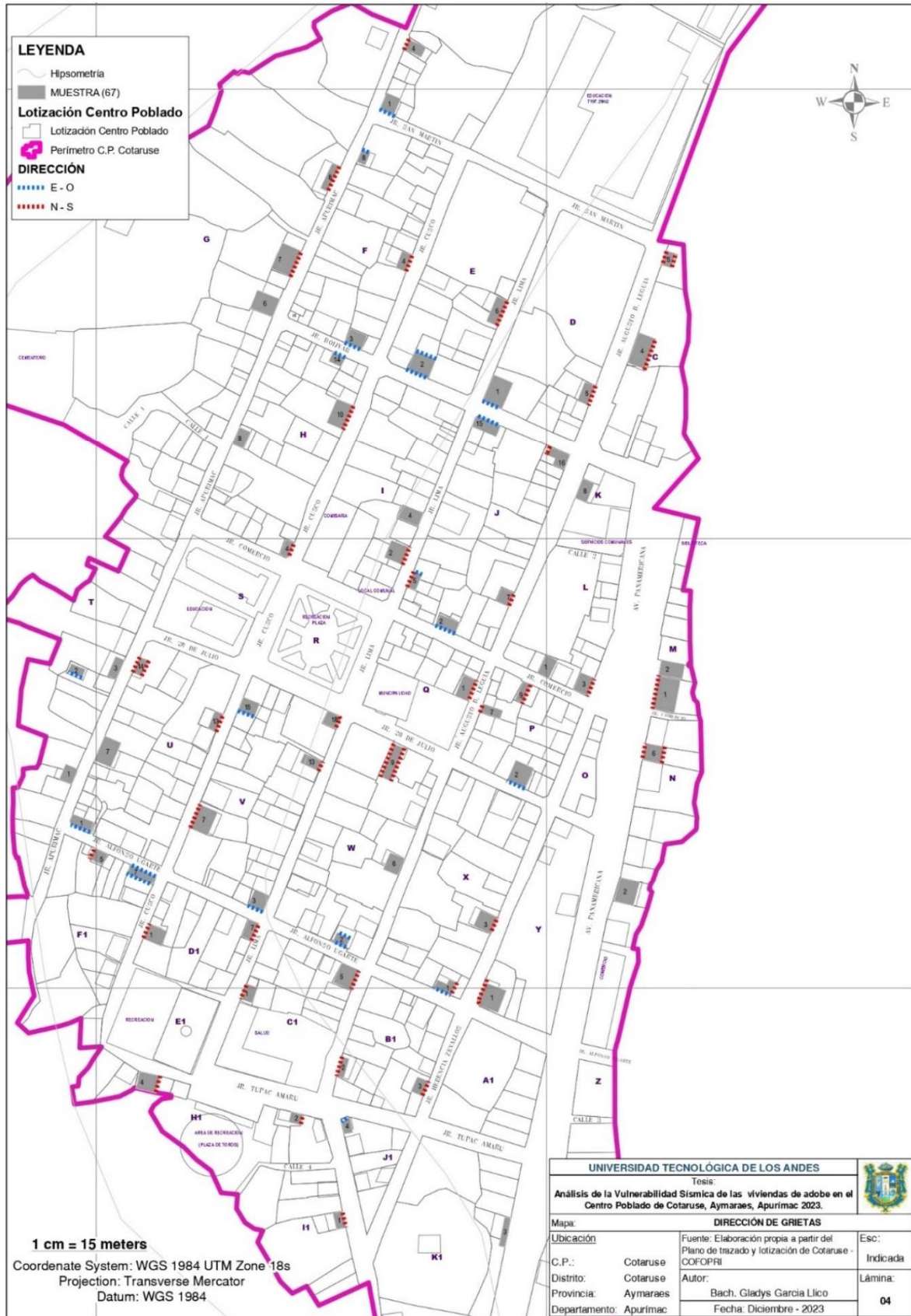


De la figura 19 se observa dos colores alineados a los muros, de azul las grietas que se ubican en la dirección de este a oeste y rojo de norte a sur, lo cual significa que si el muro presenta grietas de norte a sur entonces la dirección del sismo va de este a oeste.

El 67% de grietas se ubica en los muros de norte a sur, por lo que los sismo tendrían una dirección predominante de este a oeste, mientras el 33% de grietas se ubican en la dirección de este a oeste.

Figura 19

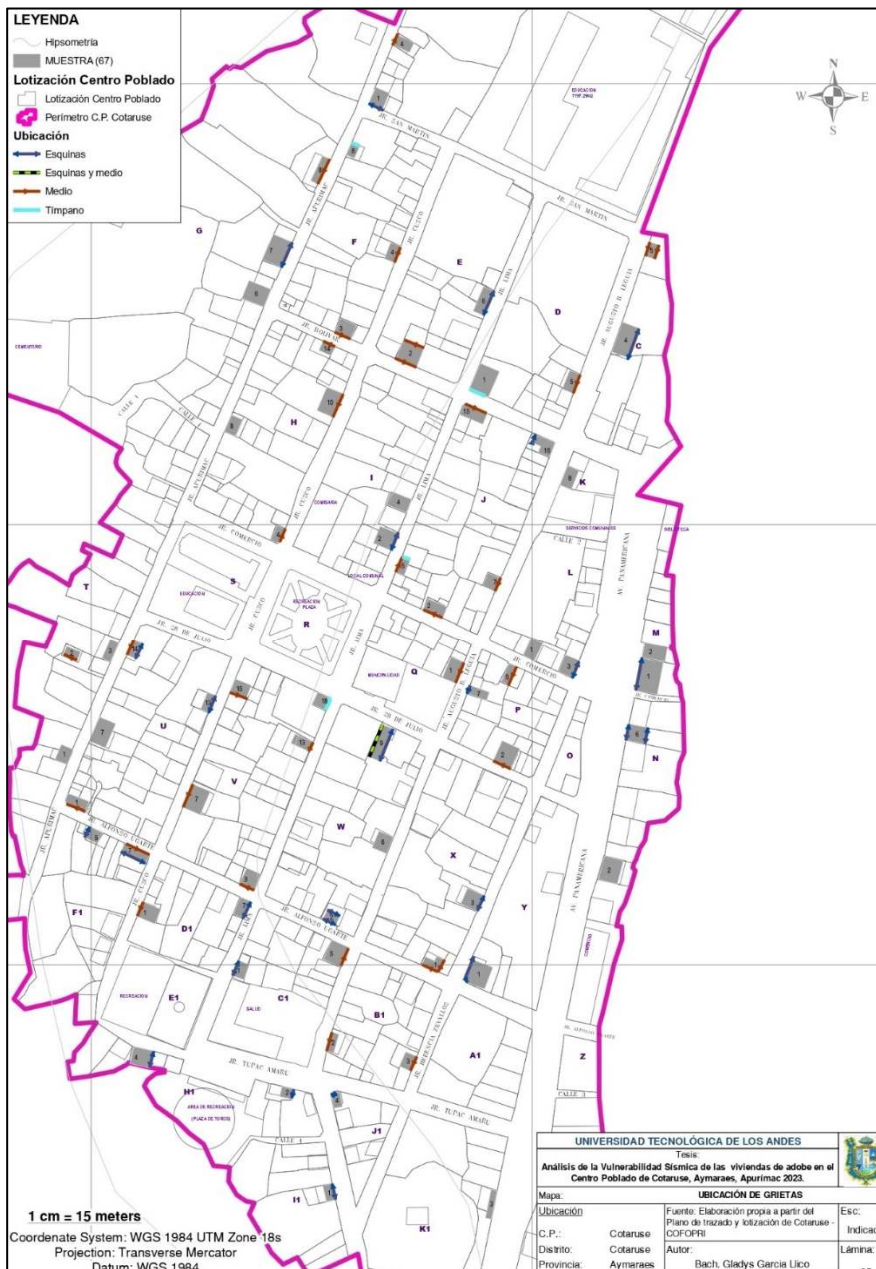
Dirección en la que se ubican las grietas



La figura 20 muestra 4 lugares donde se ubican las grietas, las líneas azules nos indica que las grietas se ubican en las esquinas las cuales son el 42% del tipo de falla que es por corte debido a los muros transversales que arriostran el perímetro, mientras el 50% presenta grietas en el medio de los muros, la cual está representada con líneas rojas, esta falla es consecuente a la esbeltez horizontal existente en la mayoría de los muros. Finalmente, tenemos grietas que se ubican en el tímpano al ser muros muy esbeltos verticalmente y una vivienda que presenta grietas en las esquinas y medio.

Figura 20

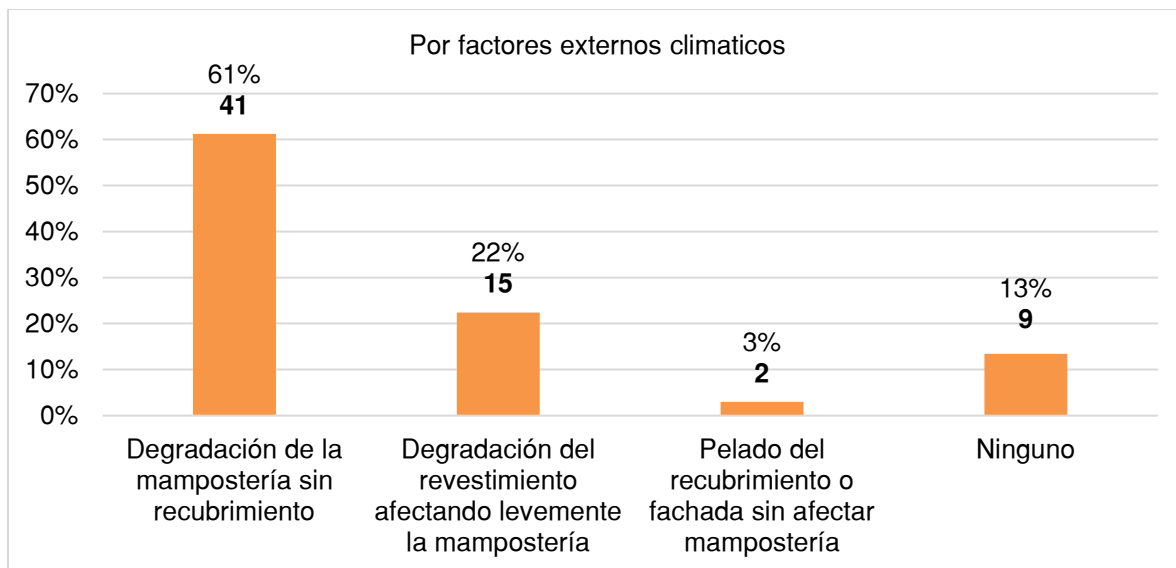
Mapa de ubicación de grietas



Por factores externos climáticos. Respecto a los problemas por factores externos climáticos en los muros, se observó que más del 50% de las fachadas presentan degradación de la mampostería sin recubrimiento y el 22% presenta una degradación leve de la mampostería. Esto debido a las fuertes lluvias y vientos propios del distrito.

Figura 21

Problemas por factores externos climáticos en las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse



Muro Tímpano. Según los resultados obtenidos el 90% de las viviendas se construyeron con un techo de dos aguas y el 10% se construyó con techo de un agua, por lo que presentan muro tímpano siendo del mismo espesor del muro perimétrico. Este muro triangular suele ser inestable ya que da mayor esbeltez vertical. Asimismo, se verifica que ninguna vivienda evita la construcción de muros tímpano.

Nivel. Respecto al número de niveles edificados, el 84% de las viviendas son de 2 pisos, el 13% son de 1.5 pisos y el 3% de un piso.

5.1.2.2 Configuración de la vivienda

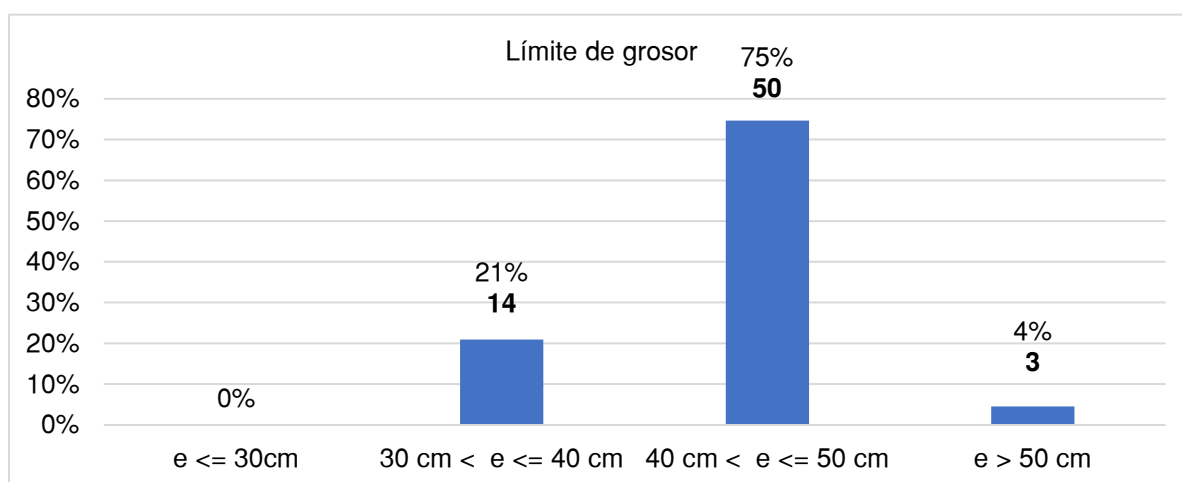
En esta dimensión se analizaron los límites geométricos de los muros y la proporción de vanos, con sus respectivos sub indicadores como se puntualiza en la tabla 9.

Tabla 9*Parámetros de la dimensión: Configuración de la vivienda*

Límites geométricos de muros			Proporción de vanos	
Límite de grosor	Límite de esbeltez vertical	Límite de esbeltez horizontal	Proporción de vano respecto al muro en X (frontis)	Proporción de vano respecto al muro en Y (profundidad)

Límites geométricos en muros. Se evalúa el límite de grosor de los muros y el límite de esbeltez vertical como horizontal.

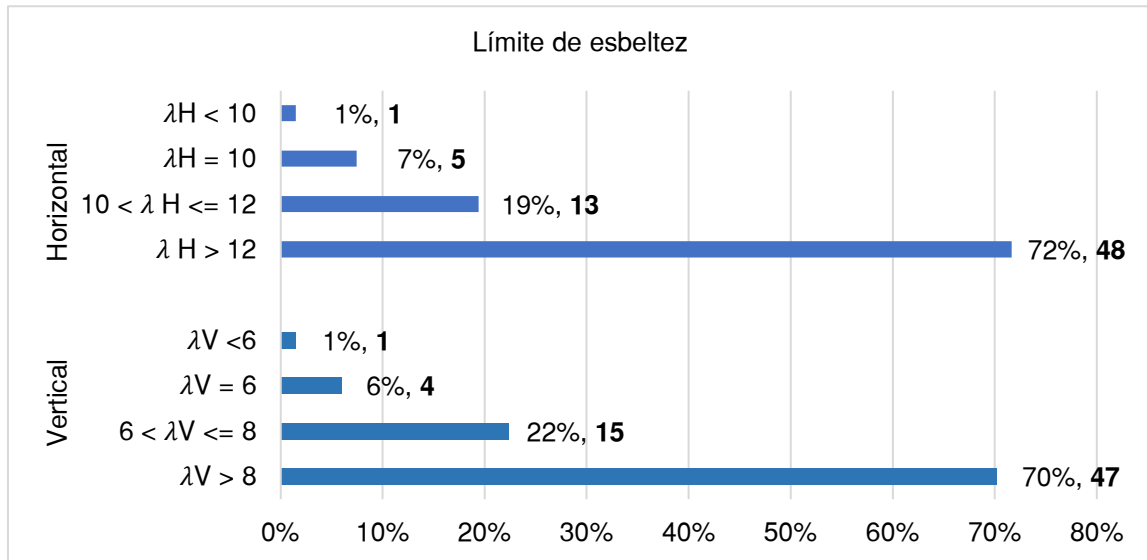
Límite de grosor. La figura 22 nos señala que el 75% de los muros en las viviendas tiene un espesor de más de 40cm hasta 50cm, la Norma E.080 indica que el límite de grosor de muros ha de ser mínimo de 40cm, por lo que se verifica que la mayoría de viviendas cumple. Sin embargo, el 21% de las viviendas tienen un espesor de 40cm.

Figura 22*Límite de grosor o espesor de los muros*

Límite de esbeltez. Se ha verificado la esbeltez horizontal y vertical, la esbeltez depende del espesor del muro, la figura 23 compara la esbeltez horizontal de los muros donde el 72% está fuera de los establecido con una relación de esbeltez mayor a 12, esto podría ocasionar la falla de muros tipo U. En tanto, respecto a la esbeltez vertical de los muros el 70% presenta una relación mayor a 8. Entonces 71% de muros en promedio tienen esbelteces críticas.

Figura 23

Límite de esbeltez vertical y horizontal de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse



Para el cálculo de esbeltez horizontal se trabajó con el muro de mayor longitud de la vivienda, que se encuentre entre muros transversales que arriostren. Y para el cálculo de esbeltez vertical se tomó la altura total “h” como se ve en la figura 24. No se usó la altura por nivel ya que no cuentan con arriostres horizontales (viga collar) por lo que el muro trabaja continuamente en ambos niveles.

Figura 24

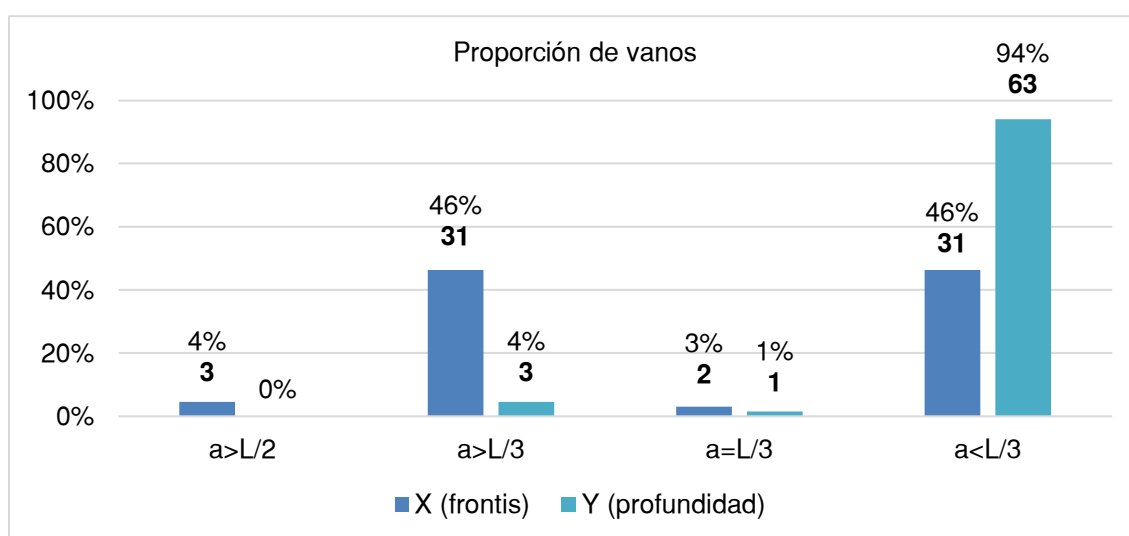
Representación de esfuerzos en los muros y altura total de la vivienda



Proporción de vanos. Se sugiere, según la norma que la abertura sea menor a la tercera parte de la longitud del muro arriostrado. Se visualiza en la figura 25 que la proporción de vanos en el sentido X (considerado el frontis) el 50% presenta una relación fuera de lo establecido y el otro 50% está dentro de los límites. Sin embargo, respecto al eje Y (considerado la profundidad) casi el 100% está dentro de los límites. Esto es evidente ya que en el eje de la profundidad de las viviendas no hay tantos vanos.

Figura 25

Proporción de vanos en X, Y de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse



5.1.2.3 Condición de los materiales empleados

Los parámetros a evaluar en esta dimensión son el sobrecimiento, adobe y techo.

Se consideraron las características visibles para su análisis.

Tabla 10

Parámetros de la dimensión: Tipo de materiales

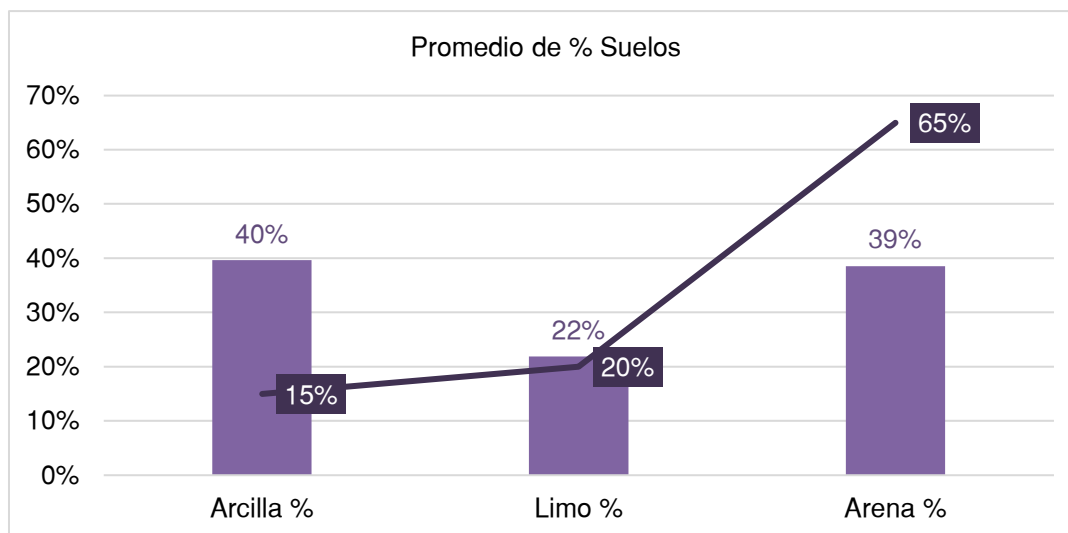
Sobrecimiento		Adobe		Techo
Material del sobrecimiento	Altura del sobrecimiento	% de suelos en la elaboración del adobe	Material de revestimiento de muros	Condición del techo

Adobe. En la figura 26 se observa una recta que indica el promedio del porcentaje del tipo de suelo que debe componer la unidad de adobe, comparado con el promedio de suelo encontrado en los adobes del C.P. Cotaruse. Se verifica que solo el porcentaje de

limo guarda relación y los porcentajes de arcilla y arena están fuera del rango sugerido por la norma. Para calcular los porcentajes de suelos de los adobes se realizó la prueba de sedimentación, tomando tres muestras por cada manzana.

Figura 26

Porcentaje de suelos encontrados en el adobe de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse.



Para evaluar el porcentaje de suelos contenido en los adobes se ha escalado dicho porcentaje según la tabla 11. Se visualiza que el 63% de los adobes usados presentan una dosificación de suelo mala, lejos de lo establecido por la norma, presentando mayor porcentaje de arcilla y menor de arena. Tal resultado afecta en la resistencia a compresión de los adobes por ser la arena quien le aporta esta capacidad.

Tabla 11

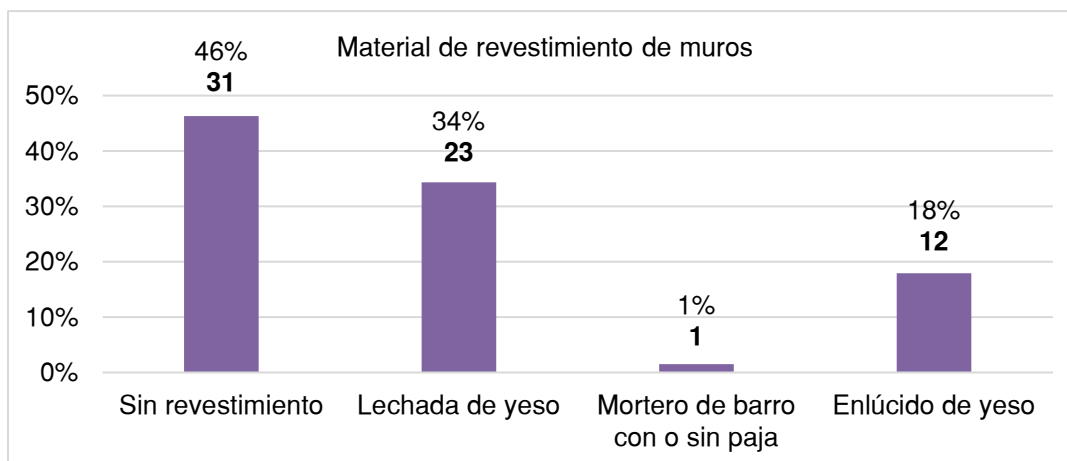
Escala de % de suelos contenidos en los adobes

% suelos contenidos	Cantidad	%
(4) Arcilla: 3-50%, limo:5-40%, arena:25-90% ≠ (3)	42	63%
(3) Arcilla: 5-40%, limo:8-35%, arena:35-80% ≠ (2)	10	15%
(2) Arcilla:8-35%, limo:10-30%, arena:40-75% ≠ (1)	15	22%
(1) Arcilla: 10-20%, limo:15-25%, arena:55-70%	0	0%
Total	67	100%

Revestimiento de muros. El 46% de las viviendas no tienen revestimiento, son las que se ven más afectadas por las lluvias, el 34% tienen revestimiento tipo lechada de yeso algunas de ellas ya se deterioraron y solo el 18% presentan fachadas con elucido de yeso el cual los protege.

Figura 27

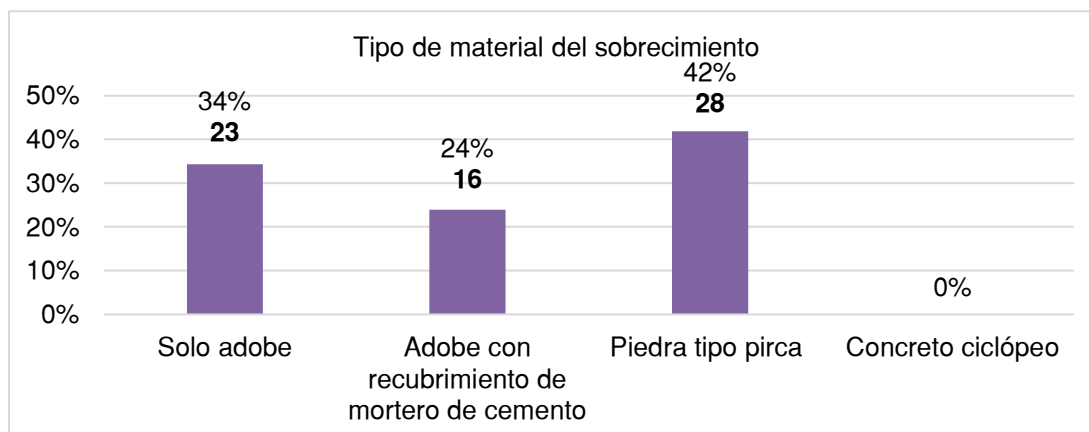
Material de revestimiento de las fachadas.



Sobrecimientos. Al observar los sobrecimientos más del 50% son de adobe de los cuales casi la mitad presentan un recubrimiento de mortero de cemento y la otra parte es solo adobe estando más expuesto a erosiones y humedad en la parte baja. El 42% de las viviendas restantes tienen un sobrecimiento tipo pirca de piedra con barro algunas tienen alturas de 20 cm hasta 1.00 m. Mas no se comprobó viviendas con sobrecimiento de concreto ciclópeo. En la figura 28 nos indica los materiales empleados en el sobrecimiento.

Figura 28

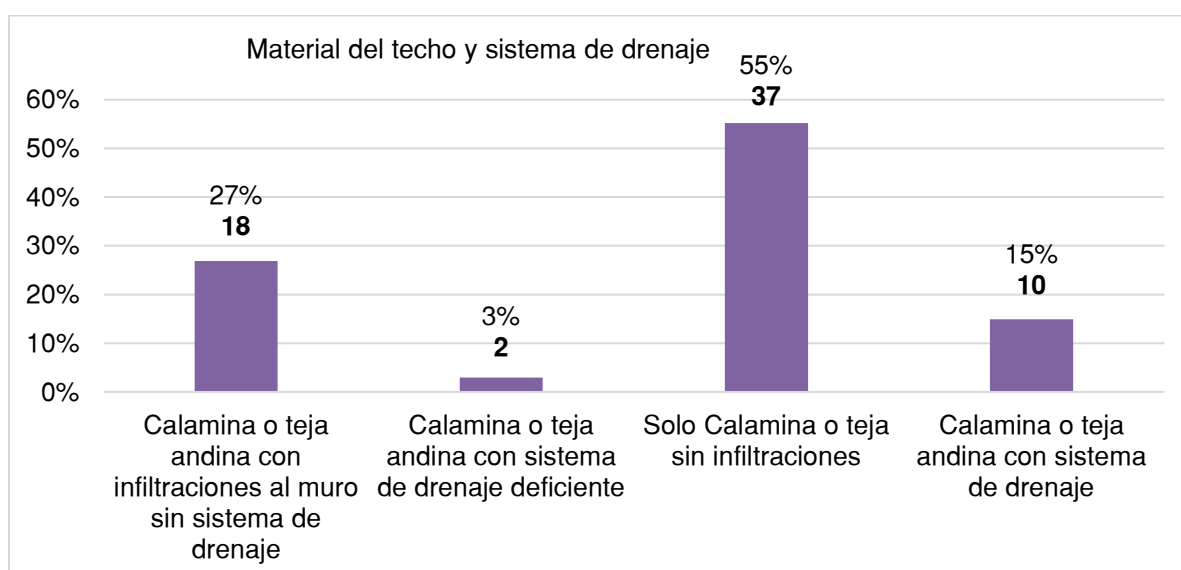
Tipo de material del sobrecimiento



Techo. Respecto a los techos se ha evaluado el material utilizado y si dispone de sistema de drenaje como se aprecia en la figura 29. En el C.P. de Cotaruse todas las viviendas de adobe usan techo de teja o calamina, sin embargo, no todas disponen de un sistema de drenaje. El 55% de las viviendas no presenta infiltraciones ni hacen uso de un sistema de drenaje, el 27% no cuenta con sistema de drenaje y además presenta infiltraciones hacia los muros, el 3% presenta canaletas en estado deficiente y solo el 15% de las viviendas presentan sistemas de drenaje en buenas condiciones.

Figura 29

Material de techo y sistema de drenaje de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse



5.1.2.4 Suelo de cimentación

En esta dimensión solo se consideró un parámetro, donde se clasifica el suelo según SUCS. Se tomo la información secundaria del Ensayo de “Análisis granulométrico por tamizado NTP- 339.128”, del proyecto: “Creación de pistas y veredas en las calles principales de la localidad de Cotaruse, distrito de Cotaruse – Aymaraes”. Se realizaron 14 calicatas dentro del emplazamiento urbano del C.P. de Cotaruse, la figura 31 es un mapa de los tipos de suelo elaborado por interpolación en ArcGIS.

En la figura 30 se ve dicha clasificación donde el 55% de las viviendas están cimentadas en grava limosa y arcillosa, el 45% presenta un suelo de cimentación de arena limosa y arcillosa. Según el proyecto: “Creación de pistas y veredas en las calles principales de la localidad de Cotaruse, distrito de Cotaruse – Aymaraes” (2015), el suelo presenta bolones de cantos rodados con una compactación buena.

Figura 30

Clasificación de suelos SUCS del suelo de cimentación de las viviendas de adobe del C.P. Cotaruse

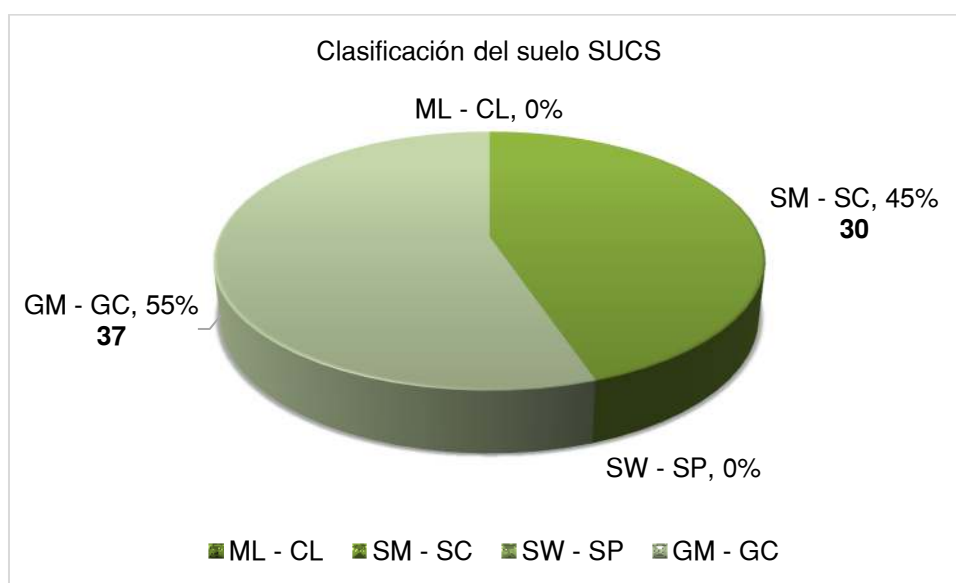
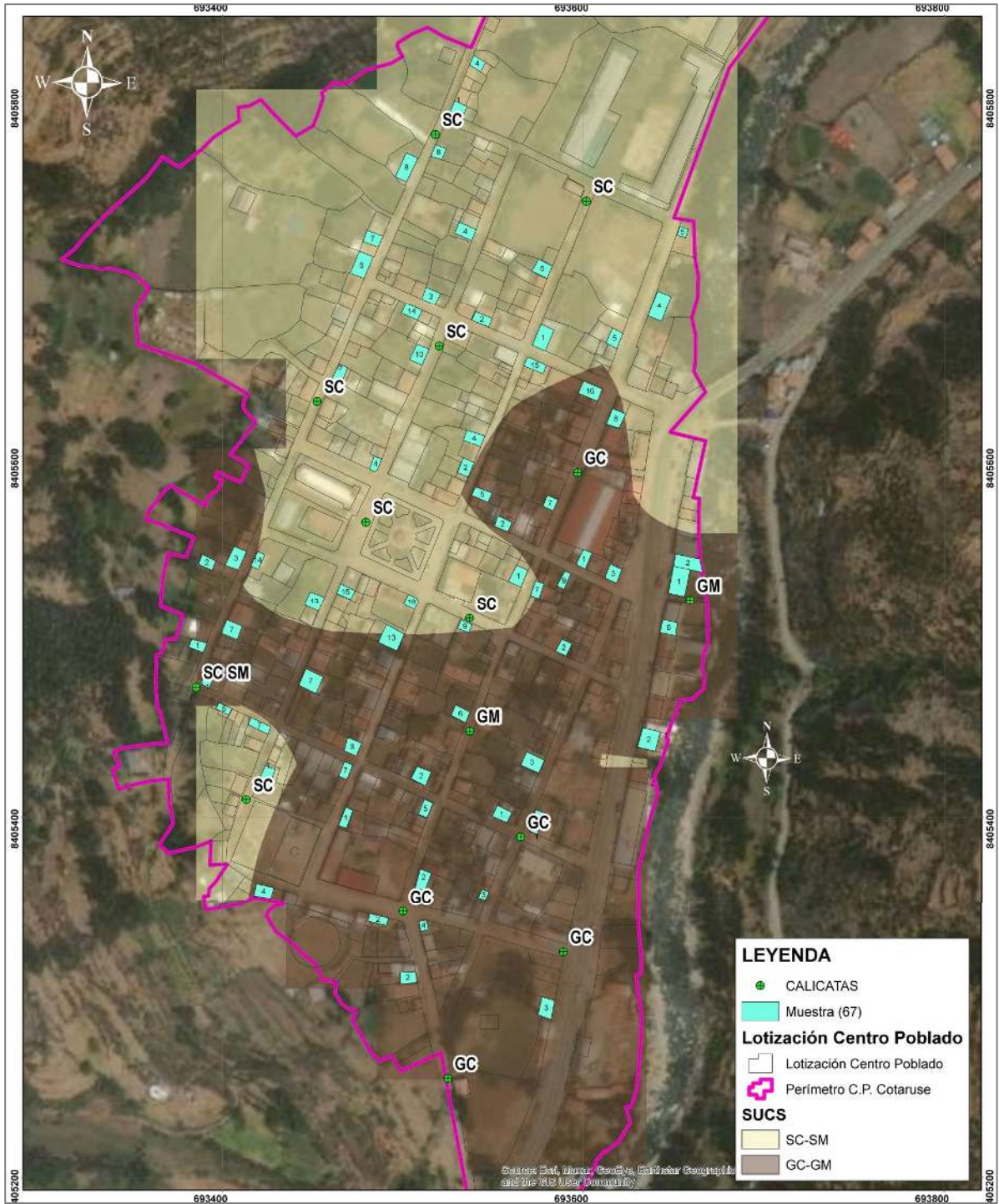


Figura 31

Mapa de tipo de suelo de cimentación del C.P. de Cotaruse



5.1.3 Nivel de vulnerabilidad sísmica

El análisis se realizó por el método multicriterio Saaty, basado en las dimensiones y parámetros mencionados anteriormente para obtener el nivel de vulnerabilidad, el cual se ordena en tres: vulnerabilidad alta, media y baja, se describe en la tabla 12 de acuerdo a los parámetros evaluados.

Tabla 12

Descripción de los niveles de vulnerabilidad sísmica

Nivel	Descripción	Rango
Vulnerabilidad alta	<p>Densidad de muros menor a 8%, solo tiene muros perimétricos y podrían estar incompletos. Los muros presentan grietas verticales y/o diagonales, degradación alta de la mampostería al no tener recubrimiento, tienen muro tímpano de dos aguas. Número de pisos de 2 o 3.</p> <p>Limites geométricos de muros: grosor menor o igual a 40 cm, relación de esbeltez vertical mayor a 8 y relación de esbeltez horizontal mayor a 12. Proporción de vanos con respecto a los muros de $a > L/2$.</p> <p>Porcentaje de suelos en la elaboración del adobe según número 4, sin revestimiento de los muros. Sobrecimiento solo de adobe. Techo de calamina o teja con infiltraciones al muro sin sistema de drenaje. Suelo de cimentación de limo o arcilla, o arena limosa o arcillosa.</p>	$0.445 \leq V \leq 1.008$
Vulnerabilidad media	<p>Densidad de muros igual a 8%, solo tiene muros perimétricos y/o transversales. Los muros presentan grietas verticales, degradación leve de la mampostería, tienen muro tímpano de uno o dos aguas. Número de pisos de 1.5 o 2.</p> <p>Limites geométricos de muros: grosor de 31 cm a 50 cm, relación de esbeltez vertical de 6 a 8 y relación de esbeltez horizontal de 10 a 12. Proporción de vanos con respecto a los muros de $a > L/3$.</p> <p>Porcentaje de suelos en la elaboración del adobe según número 3, revestimiento de lechada de yeso. Sobrecimiento de adobe cubierto con mortero. Techo de calamina o teja con sistema de drenaje deficiente. Suelo de cimentación de arena limosa o arcillosa.</p>	$0.211 \leq V < 0.445$
Vulnerabilidad baja	<p>Densidad de muros mayor a 8%, presenta muros transversales. Los muros no presentan grietas a lo sumo fisuras, degradación de recubrimiento sin afectar la mampostería, tienen muro tímpano de uno o tres aguas. Número de pisos de 1.5 o 1.</p> <p>Limites geométricos de muros: grosor de 41 cm a más, relación de esbeltez vertical igual o menor a 6 y relación de esbeltez horizontal igual o menor a 10. Proporción de vanos con respecto a los muros de $a \leq L/3$.</p> <p>Porcentaje de suelos en la elaboración del adobe según número 2, revestimiento de mortero con barro o enlucido de yeso. Sobrecimiento de piedra tipo pirca. Techo de calamina o teja sin infiltraciones. Suelo de cimentación de arena pobremente graduada, o grava limosa o arcillosa.</p>	$0.114 \leq V < 0.211$

Los resultados obtenidos de las 67 viviendas analizadas dentro del límite perimétrico del C.P. de Cotaruse son como se muestran en la figura 33. Para clasificarlo según el nivel de vulnerabilidad que presentan fue de acuerdo al valor calculado de cada vivienda y después ubicarlo en el rango correspondiente en la tabla 13. Se observa que el 91% (61) están en un nivel de vulnerabilidad media, el 9% (6) están en vulnerabilidad alta, no obstante, ninguna vivienda presenta vulnerabilidad baja.

Tabla 13

Conteo de viviendas de adobe según el rango y nivel de vulnerabilidad

Nivel de vulnerabilidad	RANGOS		CONTEO
ALTA	0.4459	$\leq V \leq 1.007$	6
MEDIA	0.2118	$\leq V < 0.446$	61
BAJA	0.1134	$\leq V < 0.212$	0

Figura 32

Nivel de Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe del centro poblado de Cotaruse

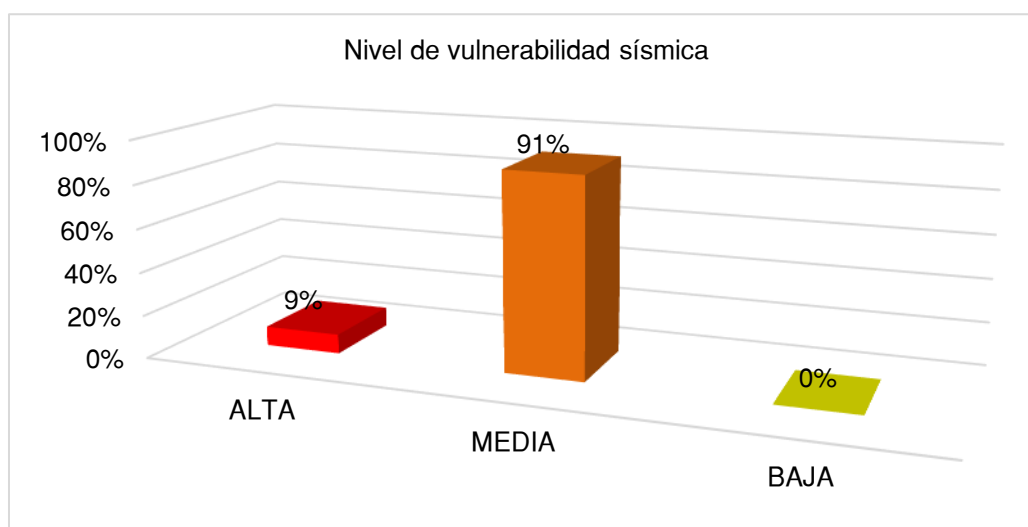


Figura 33

Mapa de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe



5.1.4 Viviendas de adobe con nivel de vulnerabilidad alta

A continuación, se presenta las viviendas con nivel de vulnerabilidad alta obtenidos por el método multicriterio Saaty.

La vivienda N.º 29 del Lote 1 Manzana M (Figura 34), es la vivienda con mayor vulnerabilidad sísmica con el valor 0.656, presenta una densidad en dirección del frontis de 3% y en profundidad de 7%, con un área de 147.51 m², no presenta muros transversales continuos hasta al segundo piso, presenta grietas verticales en las esquinas y en los muros centrales, la mampostería se encuentra levemente degradado, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 13, la abertura de vanos en el eje X del frontis es mayor a la tercera parte de la longitud del muro, el sobrecimiento es solo adobe con presencia de vegetación, respecto al techo no presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa.

Figura 34

Vivienda N° 29, Lote 1 Manzana M, Nivel de vulnerabilidad: Alta



La vivienda N.º 7 del Lote 2 Manzana E (Figura 35), es la segunda con mayor vulnerabilidad con el valor 0.609, presenta una densidad en dirección del frontis de 7% y en la profundidad de 9%, con un área de 93 m², no presenta muros transversales, presenta

grietas verticales y horizontales, la mampostería se encuentra fuertemente degradado, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 20, la abertura de vanos en el eje X del frontis es mayor a la tercera parte de la longitud del muro, respecto al techo se encuentra en mal estado ya que presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es arena limosa o arcillosa.

Figura 35

Vivienda N° 7, Lote 2 Manzana E, Nivel de vulnerabilidad: Alta



La vivienda N.º 34 del Lote 7 Manzana P (Figura 36), es la tercera con mayor vulnerabilidad con el valor de 0.569, presenta una densidad en dirección del frontis de 7% y en la profundidad de 25%, con un área de 36.27 m², presenta el muro perimétrico incompleto en la parte del fondo, presenta una grieta vertical y diagonal en la fachada, la mampostería se encuentra levemente degradado, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 11, el sobrecimiento es solo adobe con erosión en la base, respecto al techo no presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa.

Figura 36

Vivienda N° 34, Lote 7 Manzana P, Nivel de vulnerabilidad: Alta



La vivienda N.º 35 del Lote 9 Manzana P (Figura 37), es la cuarta con mayor vulnerabilidad con el valor 0.506, presenta una densidad en dirección del frontis de 5% y en la profundidad de 23%, con un área de 31.5 m², presenta muros transversales, presenta una grietas verticales en la longitud más larga de la vivienda (profundidad), la mampostería se encuentra fuertemente degradado, el espesor del muro es de 40cm, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 23, la abertura de vanos en el eje X del frontis está en el límite, el sobrecimiento es de piedra tipo pirca de una altura de 10 cm, respecto al techo no presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa.

Figura 37

Vivienda N° 35, Lote 9 Manzana P, Nivel de vulnerabilidad: Alta



La vivienda N.º 52 del Lote 1 Manzana X (Figura 38), es la quinta con mayor vulnerabilidad con el valor 0.496, presenta una densidad en dirección del frontis de 9% y en la profundidad de 14%, con un área de 39.91 m², presenta muros transversales, presenta una grieta vertical y diagonal en la longitud más larga de la vivienda, la mampostería se encuentra fuertemente degradado, el espesor del muro es de 40cm, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 16, la abertura de vanos en el eje X del frontis es mayor a la tercera parte de la longitud del muro, el sobrecimiento es solo adobe con erosión en la base, respecto al techo no presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa.

Figura 38

Vivienda N° 52 Lote 1 Manzana X, Nivel de vulnerabilidad: Alta



La vivienda N.º 56 del Lote 3 Manzana B1 (Figura 39), es la sexta o última dentro del rango con mayor vulnerabilidad con el valor 0.461, presenta una densidad en dirección del frontis de 12% y en la profundidad de 13%, con un área de 38.34 m², no presenta muros transversales, presenta una grietas verticales y diagonales en la fachada, la mampostería se encuentra fuertemente degradado, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 15, el sobrecimiento es solo adobe con erosión en la base, respecto al techo presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa

Figura 39

Vivienda N° 56 Lote 3 Manzana B1, Nivel de vulnerabilidad: Alta



5.1.5 Algunas Viviendas de adobe con nivel de vulnerabilidad media

Se describen 3 viviendas de adobe con nivel de vulnerabilidad media, la primera con el mayor valor, la segunda con el valor medio y la tercera con el mínimo valor, todas dentro del rango de nivel medio.

La vivienda N.º 30 del Lote 2 Manzana M (Figura 40), con el valor de vulnerabilidad sísmica 0.441, presenta una densidad en dirección del frontis de 6% y en la profundidad de 12%, con un área de 70.35 m², presenta muros transversales, no presenta una grietas ni fisuras, la mampostería se encuentra recubierta, el espesor de muro es de 40 cm, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 17, la abertura de vanos en el eje X del frontis es mayor a la tercera parte de la longitud del muro, el sobrecimiento es solo adobe con recubrimiento de mortero, respecto al techo no presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa

Figura 40

Vivienda N° 30 Lote 2 Manzana M, Nivel de vulnerabilidad: Media



La vivienda N.º 55 del Lote 2 Manzana B1 (Figura 41), con el valor de vulnerabilidad sísmica 0.322, presenta una densidad en dirección del frontis de 19% y en la profundidad de 17%, con un área de 29.7 m², presenta muros transversales, presenta una grieta vertical en la fachada, la mampostería se encuentra levemente degradado, los límites de esbeltez horizontal con se encuentra al límite, la abertura de vanos en el eje X del frontis es mayor a la tercera parte de la longitud del muro, el sobrecimiento es de piedra tipo pirca de altura 45 cm, respecto al techo presenta sistema de drenaje, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa.

Figura 41

Vivienda N° 55 Lote 2 Manzana B1, Nivel de vulnerabilidad: Media



La vivienda N.º 37 del Lote 1 Manzana T (Figura 42), con el valor de vulnerabilidad sísmica 0.278, presenta una densidad en dirección del frontis de 11% y en la profundidad de 21%, con un área de 43.07 m², presenta muros transversales, no presenta grietas ni fisuras, la mampostería se encuentra levemente degradado, sobrepasa los límites de esbeltez horizontal con una relación de 12, el sobrecimiento es piedra tipo pirca de altura 28 cm, respecto al techo no presenta infiltraciones en los muros, por último el suelo de cimentación es grava limosa o arcillosa

Figura 42

Vivienda N° 37 Lote 1 Manzana T, Nivel de vulnerabilidad: Media



5.2 Discusión de resultados

Respecto a los antecedentes internacionales, se han realizado evaluaciones en escala municipal de viviendas o edificaciones de diferentes sistemas estructurales, o solo sistemas de albañilería confinada, donde consideraron los parámetros como: tipo de estructura, tipo de terreno, materiales, proceso de construcción, diafragmas, configuración en planta y elevación, cubierta, altura, antigüedad. Al tratarse esta investigación solo de viviendas de adobe se realizó la búsqueda de parámetros que se relacionen con el tipo de vivienda estudiado, algunos de esos parámetros coinciden como: los materiales, configuración, cubierta y altura. El parentesco que las investigaciones revisadas guardan es el poco conocimiento y aplicación de diseños sismorresistente en las edificaciones, igualmente sucede con las viviendas de adobe estudiadas.

En relación a los antecedentes nacionales encontrados, se enfocan en un análisis cualitativo y cuantitativo. En lo cuantitativo, para el estudio de edificaciones de albañilería se realizó el cálculo de estabilidad de muros, densidad de muros y geometría de viviendas. Las viviendas de adobe pueden tener cierto parecido con las viviendas de

albañilería confinada ya que ambas trabajan con muros portantes, la diferencia es que en las viviendas de adobe no se cuenta con diafragmas rígidos, por lo que se tomó en cuenta hacer cálculos parecidos basados en el RNE. En lo cualitativo estas investigaciones consideraron la topografía y procesos de construcción, pero en la presente investigación no se tuvo en cuenta la topografía ya que el área urbana donde se ubican las viviendas tiene pendientes de 0% en su mayoría y máximo alcanzando el 12% en su minoría. El proceso de construcción tampoco se consideró ya que las viviendas son de antigüedad de más de 50 años y fueron construidas por cooperación entre los habitantes, situándolos en una misma posición y no habría diferencias al realizar el análisis.

A nivel regional y local, no se identificaron investigaciones específicas de vulnerabilidad sísmica en viviendas de adobe, pero sí en viviendas de albañilería autoconstruidas donde los resultados indican que el 54% aproximadamente tienen vulnerabilidad sísmica alta. Mientras en esta investigación se encontró que el 9% presenta vulnerabilidad alta y el 91% vulnerabilidad media.

Vulnerabilidad sísmica. Comparando con la figura 6 (Relación de daños e intensidades sísmicas), el distrito de Cotaruse ha sufrido sismos de intensidad VI máximo, lo cual ocasionan daños de 7% aproximadamente en promedio. Las viviendas actuales analizadas presentan antecedentes de daños como las grietas, el 81% de viviendas tienen grietas verticales y/o diagonales. En caso ocurriría un sismo de intensidad IX, evidentemente las viviendas sufrirían un daño del 100%, ya que en el estudio realizado la mayoría presenta una vulnerabilidad media.

La evaluación de vulnerabilidad sísmica, hecha por el CENEPRED se enfoca en vulnerabilidad social y económico de la población, la investigación presente solo evalúa la vulnerabilidad material de las viviendas de adobe, analizando su diseño estructural.

Viviendas de adobe. En relación al sistema estructural de las viviendas de adobe, fueron evaluadas según Norma E.080 del 2006 (Adobe) y del 2017.

Tabla 14*Resumen del cumplimiento de la Norma E.080*

Componente del sistema estructural	Norma E.080	Viviendas de adobe Cotaruse
Sobrecimiento	Altura de sobrecimiento 30 cm mínimo.	Tienen alturas desde 15 cm hasta 1.20 m
	Sobrecimiento de piedra mezclado con mortero de cemento o cal, o de concreto ciclópeo	El 28% de las viviendas tiene sobrecimiento de piedra tipo pirca.
Muros	Densidad de muros mínimo 8%	En el eje X (frontis) el 81%, tiene densidad mayor a 8% En el eje Y (profundidad) el 98.5% tiene densidad mayor a 8%.
	Espesor de muro mínimo 40 cm	El 79% de las viviendas tiene espesor mayor a 40 cm.
	Esbeltez vertical ≤ 6	El 7.5% tiene una relación menor a 6.
	Esbeltez horizontal ≤ 10	El 9% tiene una relación menor a 10.
	$a \leq L/3$	En el eje X (frontis) solo el 49.3 % cumple. En el eje Y (profundidad) el 96 % cumple.
Arriostres	Arriostres horizontales	Ninguna vivienda presenta arriostres horizontales
	Arriostres verticales	Solo el 67% presenta muros transversales.

Las viviendas de adobe en el C.P. de Cotaruse en su mayoría no cumplen con lo dispuesto en la norma E.080. Estas viviendas tienen una antigüedad de más de 50 años, es decir, antes de la existencia de la normativa.

El nivel de la Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en el centro poblado de Cotaruse, Aymaraes, Apurímac 2023 es medio en un 91% y alto el 9%.

VI. Conclusiones

Objetivo general. Se determinó el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe por el método multicriterio Saaty, tomando en cuenta parámetros específicos para construcciones de adobe según la norma técnica E.080. En general las viviendas de adobe del C.P. de Cotaruse tienen un nivel de vulnerabilidad sísmico medio, ya que se determinó esto en el 91% de las viviendas.

O.E. 01. Se diagnosticó la estabilidad de los muros de las viviendas de adobe, respecto al cálculo de la densidad de muros se realizó a partir de los planos de distribución elaborados en campo y gabinete, resultando que solo el 9 % de las viviendas tienen una densidad en X (frontis) menor al 8%. El 67% de las viviendas de Cotaruse solo tienen como arriostre vertical muros transversales, no cuentan con otro tipo de arriostre. El 81% de viviendas tiene grietas en las esquinas o en la parte central de los muros, dando señales de desprendimiento de muro transversal. El 61% de viviendas presenta fuerte degradación de mampostería por factores climáticos. El 100% de viviendas tienen muros tímpano aumentando la relación de esbeltez vertical. El 84 % de las viviendas son de 2 pisos.

O.E. 02. Se identificó la configuración que presentan las viviendas mediante el dibujo de distribución de los muros de adobe, se calculó que el 70% de las viviendas no están dentro de los límites de esbeltez vertical y horizontal. La proporción de vanos en X (frontis) es deficiente respecto al eje Y (profundidad), el 51% de las viviendas presenta una abertura mayor a la tercera parte de la longitud del muro ($a > L/3$) en el eje X.

O.E. 03. Se reconoció la condición de los materiales empleados en las viviendas respecto al adobe, sobrecimiento y techo. La proporción de suelos usados en la elaboración de adobe están fuera de los márgenes recomendados por la Norma, siendo la arcilla abundante y la arena la faltante. Acerca del sobrecimiento el 58% de viviendas no lo presenta y el resto está hecho piedra con barro. El techo de estas viviendas es de calamina o teja, el 27% presenta infiltraciones en los muros.

O.E. 04. Se clasificó el tipo de suelo encontrados en el área urbana de Cotaruse, enseguida se realizó el mapa de tipo de suelo de cimentación según la clasificación SUCS,

resultando que el 55% de viviendas esta sobre grava limosa o arcillosa y el 45% sobre arena limosa o arcillosa.

VII. Recomendaciones

Se sugiere realizar un análisis sísmico de las viviendas, usando las propiedades mecánicas del material, ya que es factible tomar muestras de adobe de algunas viviendas abandonadas, se tomarían las unidades de adobe del borde superior de los muros.

Se verifico que hay algunas viviendas en estado de abandono, por lo que se recomienda señalarlas o demolerlas ya que esto sería un peligro para los transeúntes en caso de un sismo de alta intensidad.

Enfocarse en las viviendas habitadas por adultos mayores, ya que algunos viven solos. Con intervenciones de refuerzos estructurales o mantenimientos.

Se recomienda la sensibilización y apoyo por parte del municipio en el mantenimiento de sus viviendas, en el cuidado de sobrecimientos, fachadas, techos, sistemas de drenaje y de ser necesario refuerzos. Las viviendas también presentan vulnerabilidad a las lluvias intensas, por lo que deben estar protegidas para evitar el derrumbe de las mismas.

Por último, se sugiere tener en cuenta un adecuado diseño sísmico en la construcción de las próximas viviendas sea el sistema estructural que elijan, porque el lugar se encuentra en la zona sísmica 3.

VIII. Referencias

- Arevalo Casas, A. S. (2020). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones en el A.H. San José, distrito de San Martín de Porres*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://doi.org/10.19083/tesis/648665>
- Arias Ticllasuca, R., & Vargas Charapaqui, J. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones informales de viviendas en el distrito de Lircay – Angaraes*. Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2470>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales - 02 versión*. Dirección de Gestión de Procesos. <https://www.gob.pe/es/i/1867442>
- Cervantes Gonzales, E. H. (2019). *Análisis de vulnerabilidad sísmica en viviendas aplicando los métodos FEMA 154 e italiano a fin de reducir el riesgo sísmico en la urbanización paucarbamba, distrito de Amarilis – Huanuco, 2019*. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6156>
- Gómez Chávez, S. I. (2006). *Análisis Sísmico Moderno - Ética aplicada*. TRILLAS.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Instituto Geofísico del Perú*. (s.f.). Datos sísmicos descargados hasta mayo 2023. <https://ultimosismo.igp.gob.pe/datos-sismicos>
- Jama Zambrano, A. J. (2020). *Vulnerabilidad sísmica de viviendas de construcción informal en el cantón Santa Lucía*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/333727?show=full>
- Jaramillo Ruiz, C. I. (2022). *Método de evaluación objetiva de la vulnerabilidad de edificaciones expuestas a geoamenazas en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81956>

- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres - Viviendo en armonía con la naturaleza*.
<https://iris.paho.org/handle/10665.2/3297>
- Lamaccaya Huamani, H. (2018). *Evaluación de las viviendas autoconstruidas para determinar la vulnerabilidad sísmica en la urbanización Patibamba Baja – Abancay – Apurímac – 2018*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34668>
- Loor Loor, E., Palma Zambrano, W., & García Vincés, L. (2021). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas de zona rural: el caso Santa Marianita - Manta - Ecuador*. Artículo de investigación. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación. ISSN: 2737-6249., 4(7), 2-16. <https://doi.org/10.46296/ig.v4i7.0018>
- Municipalidad distrital de Curahuasi. (2015). *“Creación de pistas y veredas en las calles principales de la localidad de Cotaruse, distrito de Cotaruse – Aymaraes”*.
- OECD. (2018). *Manual de Frascati 2015: Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT. <https://doi.org/10.1787/9789264310681-es>
- Organismo de Formalización de la propiedad Informal. (2009). Plano de Trazado y Lotización. RJ 015-2009-COFOPRI/OZAPUC.
- Parella Stracuzzi, S., & Martins Pestana, F. (2006). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. FEDUPEL.
- Pujades, L., Lantada, N., Drigo, G., Blázquez, A., & K, M. (2021). *Guía para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica*. <http://hdl.handle.net/2117/367757>
- Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (s.f). En *Wikipedia*.
https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma E.080 Adobe*.
<https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Norma E.080 Diseño y Construcción con tierra reforzada*. ANEXO - Resolución Ministerial N° 121-2017-Vivienda. <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Sánchez Calvillo, A. (2022). *La vulnerabilidad sísmica de la vivienda vernácula de adobe en Mexico: Análisis constructivo y caracterización material para su conservación*. Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/8362
- Sánchez Lavado, E. J., & Alvarado Rubio, L. A. (2020). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de Albañilería confinada autoconstruidas en el centro poblado de Victor Raul Haya de la Torre - Virú 2020*. Trujillo - Perú: Universidad privada del Norte.
- Santos Quispe, D. J. (2019). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en el distrito de Chilca en el 2017*. Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/6924>
- Silvestre Miraya, I., & Huamán Nahula, C. (2020). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria*. San Marcos.
- Tapia Blas, J. (2023). *Evaluación de la relación entre los factores estructurales y la Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en la zona norte de las Américas - Abancay 2021*. Universidad Tecnológica de los Andes. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/566>
- Tavera, H., Bernal, I., & Salas, H. (2007). *El sismo de Pisco del 15 de Agosto, 2007 (7.9 Mw) Departamento de Ica - Perú*. Instituto Geofísico del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/1115>
- Vargas Saltos, M., Arroyo Orozco, J., & Vizconde Campos, A. (2018). *Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares existentes de una zona urbano - Residencial en Anconcito*. Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación, 3(ICCE), 10-15. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp10-16p>

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.