



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

Análisis del riesgo sísmico de las viviendas de la APV Cachimayo-San Sebastián- Cusco.

Presentado por:

Bach. Mozo Barrantes, Keyla Danitza

Bach. Salinas Villena, Claudia Marcela

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Simone Karim Sovero Ancheyta

CUSCO – PERU

2020



DEDICATORIA

A Dios y a mi Madre del Carmen por darme salud e iluminar mi camino.

A mi madre Ilda, por sus consejos, valores y todo su amor incondicional, por ser mi guía y mi fortaleza para seguir adelante y por ser gracias a ella todo lo que ahora soy.

A mi padre Vidal por su trabajo incansable para sacarnos adelante y por su apoyo en todo momento.

A mis hermanos Pamela y Wilder, por ser mi ejemplo a seguir.

A toda mi familia por brindarme siempre el apoyo que necesito.

Keyla Danitza Mozo Barrantes



A Dios y a la Virgen de Guadalupe por guiar mi camino.

A mi abuelito Gustavo, porque sé que estaría orgulloso de mí y sé que está conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fuerza para continuar.

A mi abuelita Adelina, por ser un ejemplo de fortaleza y por siempre velar por mi bienestar, siendo mi apoyo en todo momento.

A mi mamá Liliana, por su invaluable sacrificio, por guiarme con sus consejos y enseñarme valores, principios y sobre todo perseverancia para conseguir mis objetivos; todo es gracias a ella, porque gracias a ella, soy todo lo que soy.

A mi hermana, por siempre estar presente, por darme su apoyo, ser mi guía y respaldo.

A toda mi familia y amigos que de alguna manera contribuyeron en el desarrollo de mi tesis y me brindaron su apoyo incondicional.

Claudia Marcela Salinas Villena



AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Dios y nuestras familias, por el sacrificio que hacen por nosotras y por darnos fuerza; sin ellos, no hubiera sido posible realizar nuestra tesis.

Nuestro agradecimiento a la ingeniera Simone Karim Sovero Ancheyta, por habernos asesorado y ser nuestra maestra, mentora y guía.

Especial gratitud a los ingenieros Eliot Pezo Zegarra y Elvis Yury Mamani, por habernos dado su apoyo y compartir su conocimiento en el campo de la ingeniería estructural.

Nuestro profundo agradecimiento a la ingeniera Mitsy Elena Gudiel Cárdenas por sus enseñanzas y por abrir nuestro interés en el campo de la ingeniería sísmica.

Nuestro especial agradecimiento y consideración al ingeniero José Humberto Cabezas Mancilla, por habernos brindado su apoyo, sugerencias y ser nuestro guía en el campo de la investigación y en todo momento.

Finalmente, nuestro agradecimiento a la Universidad Andina del Cusco y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por el apoyo brindado en la etapa de nuestra titulación.

Keyla Danitza Mozo Barrantes

Claudia Marcela Salinas Villena



RESUMEN

Por la región de Cusco atraviesan aproximadamente 53 fallas geológicas (INGEMMET, 2013) que han sido la causa de los principales sismos ocurridos en dicha región. Estos eventos sísmicos han mostrado la vulnerabilidad en la que se encuentran las viviendas de la ciudad, debido a varios factores: mala calidad de los materiales, construcción sin ninguna dirección técnica o el incumplimiento de las normas básicas de edificaciones.

La APV Cachimayo, es una zona que se encuentra ubicada cerca de las fallas geológicas de Chincheros, Qoricocha, Pachatusan, Tambomachay, Urcos y Zurite, las cuales han estado sin actividad por un largo tiempo pero que en cualquier momento podrían volver a reactivarse. Debido a las características de las viviendas de esta APV, un evento sísmico podría causar severos daños. Es por ello, que en esta investigación se ha propuesto determinar el nivel de riesgo sísmico al que está expuesta la APV. Cachimayo, para que las autoridades pertinentes puedan establecer las medidas adecuadas de gestión de dicho riesgo.

Para el desarrollo de la investigación, se usaron diferentes herramientas de análisis para poder calcular tanto el riesgo, la vulnerabilidad y el peligro sísmico. Para el análisis de la vulnerabilidad sísmica, se hizo uso de las fichas de verificación adaptadas del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), que considera cuatro niveles de vulnerabilidad: baja, media, alta y muy alta. Para el análisis del peligro sísmico se hizo uso del algoritmo R-CRISIS, el cual fue creado por Mario Ordaz y los resultados obtenidos son las aceleraciones máximas del suelo para diferentes periodos de retorno, que pueden ser relacionadas con los niveles de peligro, que son: peligro bajo, medio, alto y muy alto.

Finalmente, el análisis del riesgo sísmico, se evaluó con la matriz de riesgo sísmico elaborada también por INDECI, en la cual se relacionan, el peligro y la vulnerabilidad sísmica. Este riesgo determina la probabilidad de pérdidas de vidas y la posibilidad de que se presenten efectos económicos, sociales y ambientales, como consecuencia de la materialización del peligro y del contexto, que facilitan la ocurrencia de desastres,

Los resultados muestran un nivel de peligro medio para la zona de estudio y un nivel de vulnerabilidad sísmica muy alta. Al aplicar la matriz de riesgo sísmico, se determina que el nivel de riesgo existente en la APV. Cachimayo es alto, lo que hace pensar que, al producirse un sismo, estas viviendas tendrán una mayor probabilidad de colapsar.

Palabras clave: Falla geológica, riesgo sísmico, vulnerabilidad sísmica, peligro sísmico



ABSTRACT

Approximately 53 geological faults cross the Cusco region (INGEMMET, 2013) that have been the cause of the main earthquakes that occurred on this region. These seismic events have shown the vulnerability in which the city houses are found, due to several factors: poor materials quality, construction without any technical direction, or non-compliance with basic building regulations.

The APV Cachimayo, is an area that is located near the geological faults of Chincheros, Qoricocha, Pachatusan, Tambomachay, Urcos and Zurite, which have been inactive for a long time but could be reactivated at any time. Due to the characteristics of the homes of this APV, a seismic event could cause severe damage. That is why, in this investigation, it has been proposed to determine the level of seismic risk to which the APV is exposed. Cachimayo, so that the pertinent authorities can establish the appropriate management measures for said risk.

For the development of the research, different analysis tools were used to calculate both risk, vulnerability and seismic hazard. For the analysis of seismic vulnerability, the verification sheets adapted from the National Institute of Civil Defense (INDECI) were used, which considers four levels of vulnerability: low, medium, high and very high. For the analysis of seismic hazard, the R-CRISIS algorithm was used, which was created by Mario Ordaz and the results obtained are the maximum ground accelerations for different return periods, which can be related to the hazard levels, which are : low, medium, high and very high danger.

Finally, the seismic risk analysis was evaluated with the seismic risk matrix also prepared by INDECI, in which the seismic hazard and vulnerability are related. This risk determines the probability of loss of life and the possibility of economic, social and environmental effects, as a consequence of the materialization of the hazard and the context, which facilitate the occurrence of disasters.

The results show a medium level of danger for the study area and a very high level of seismic vulnerability. When applying the seismic risk matrix, it is determined that the existing risk level in the APV. Cachimayo is high, which suggests that, when an earthquake occurs, these homes will have a greater probability of collapse.

Key words: Geological fault, seismic risk, seismic vulnerability, seismic danger.



INTRODUCCIÓN

De acuerdo a Santana, R. (2012), la mayor actividad sísmica en el Perú, es de origen tectónico y se desarrolla en el Cinturón Circumpacífico, donde ocurren el 80% de los sismos en el mundo. Esta zona comprende las costas del Océano Pacífico de las tres Américas, las islas Curiles, Japón, las islas Aleutianas Nueva Zelandia y Filipinas. Frente a la costa peruana se da la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana generando terremotos de gran magnitud. Santana también indica que, en la sierra sur y centro de Perú, un 10% de la actividad sísmica se origina por fallas geológicas activas. Las principales fallas son: Tambomachay en Cusco, la Cordillera Blanca (Ancash), Huaytapallana (Junín), Quiches (Ancash), Rioja-Moyobamba (San Martín).

En la región Cusco, además de la falla de Tambomachay, existen otras cinco fallas estudiadas en la presente investigación, que fueron la causa de los sismos de mayor magnitud e intensidad. En 1650, el sismo de intensidad VIII en la escala de Mercalli Modificada del que no se sabe cuál fue la falla geológica que lo generó; en 1950 generado por la falla de Tambomachay de intensidad VIII y en 1986 ocasionado por la falla de Qoricocha, de intensidad VI (Espinoza, J. 2019).

Los diferentes distritos de la ciudad de Cusco se encuentran afectados por dicho sistema de fallas, la zona de estudio está rodeada por las fallas ubicadas en Chincheros, Qoricocha, Pachatusan, Tambomachay, Urcos y Zurite. Cabe recalcar que las viviendas construidas en esta zona no están correctamente diseñadas para soportar la activación de alguna de estas fallas. Por esto, es necesario evaluar las viviendas de la APV Cachimayo y determinar el nivel de riesgo sísmico, para lo cual, se hace una matriz de peligro y vulnerabilidad. El nivel de vulnerabilidad sísmica, se determina según el método de INDECI y el nivel de peligro sísmico, por el método probabilístico, con ayuda del algoritmo R- CRISIS.



ÍNDICE GENERAL

Capítulo I: Planteamiento del problema.....	13
1.1. Identificación del problema	13
1.1.1.Descripción del problema	13
1.1.2.Formulación interrogativa del problema.....	14
1.1.2.1.Formulación interrogativa del problema general	14
1.1.2.2.Formulación interrogativa de los problemas específicos	14
1.3.Justificación e importancia de la investigación.....	15
1.3.1. Justificación técnica.....	15
1.3.2. Justificación social.....	15
1.3.3. Justificación por viabilidad.....	15
1.3.4. Justificación por relevancia	15
1.4.Limitaciones de la investigación	16
1.5.Objetivo de la investigación.....	18
1.5.1. Objetivo general.....	18
1.5.2. Objetivos específicos	18
Capítulo II: Marco teórico.....	18
2.1.Antecedentes de la tesis.....	18
2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional.....	18
2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional	20
2.2.Aspectos teóricos pertinentes	24
2.2.1. Sismo	24
2.2.1.1.Escalas de Intensidad y Magnitud	24
2.2.2. Sismicidad en el Perú.....	26
2.2.3. Sismicidad en el Cusco.....	29
2.2.4. Sistemas de fallas cuaternarias y activas en la región Cusco	29
2.2.5. Riesgo sísmico	32
2.2.6. Peligro sísmico.....	34
2.2.7. Vulnerabilidad sísmica	47
2.3.Hipótesis.....	52
2.3.1. Hipótesis general	52
2.3.1. Sub hipótesis	52
2.4.Definición de variables.....	53



2.4.1. Variables independientes 53

2.4.2. Variables dependientes 53

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables 54

Capítulo III: Metodología..... 56

3.1. Metodología de la investigación 56

3.1.1. Enfoque de la investigación 56

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación..... 56

3.2. Diseño de la investigación..... 56

3.2.1. Diseño metodológico 56

3.3. Población y muestra 58

3.3.1. Población 58

3.3.1.1. Descripción de la población 58

3.3.1.2. Cuantificación de la población..... 58

3.3.2. Muestra 58

3.3.2.1. Descripción de la muestra 58

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra 59

3.3.2.3. Método de muestreo 60

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra 60

3.4. Instrumentos 62

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos 62

3.4.1.1. Entrevista..... 62

3.4.1.3. Uso de Drone..... 63

3.4.2. Instrumentos de ingeniería..... 64

3.5. Procedimientos de recolección de datos..... 65

3.5.1. Ficha de verificación- Determinación de la vulnerabilidad de las viviendas para caso de sismo..... 65

3.5.2. Algoritmo R-Crisis 87

Capítulo IV: Resultados 93

4.1. Diagramas y tablas para determinar el nivel de riesgo sísmico 93

4.1.1. Nivel de vulnerabilidad sísmica..... 93

4.1.1.1. Ficha de verificación – Determinación de la vulnerabilidad de las viviendas para caso de sismo..... 93

4.1.1.2. Análisis de la prueba 103

4.1.2. Nivel de peligro sísmico 107

4.1.2.1. Algoritmo R-CRISIS..... 107



4.1.2.2. Análisis de la prueba	109
4.1.3 Riesgo sísmico	110
4.1.3.1 Matriz de peligro sísmico y vulnerabilidad sísmica	110
4.1.3.2 Análisis de la prueba	110
Capítulo V: Discusión	111
Glosario	113
Conclusiones	114
Recomendaciones.....	115
Referencias.....	116
Anexos.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica.....	17
Tabla 2: Resumen de la vulnerabilidad sísmica	20
Tabla 3: Escala equivalente a la energía liberada	26
Tabla 4: Sismos de mayor magnitud ocurridos en Perú.....	27
Tabla 5: Tipos de fallas geológicas	29
Tabla 6: Sistema de fallas Cusco.....	30
Tabla 7: Matriz de peligro y vulnerabilidad.....	34
Tabla 8: Nivel de peligro según aceleraciones del suelo.	35
Tabla 9: Relación entre la escala de Mercalli Modificada y la aceleración del suelo.....	36
Tabla 10: CRISIS History	37
Tabla 11: Datos de eventos sísmicos de la fuente registrados en 46 años.	39
Tabla 12: Parámetros sismológicos de la fuente sismogénica.	42
Tabla 13: Coeficientes para ley de atenuación (roca).	44
Tabla 14: Coeficientes para ley de atenuación (suelo).....	45
Tabla 15: Periodos de vibración.....	46
Tabla 16: Sismos recomendados por el Comité VISION 2000	46
Tabla 17: Métodos para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica.....	48
Tabla 18: Irregularidades en altura y planta.....	51
Tabla 19: Cuadro de operacionalización de variables.....	54
Tabla 20: Número de población de acuerdo a la clasificación.....	58
Tabla 21: Valores de la constante k.	59



Tabla 22: Clasificación de la población.	60
Tabla 23: Tamaño porcentual y muestra proporcional al tamaño de los estratos.	61
Tabla 24: Indicadores e instrumentos para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica.....	67
Tabla 25: Análisis de irregularidades.....	74
Tabla 26: Resumen de irregularidades correspondientes a toda la muestra.....	75
Tabla 27: Análisis de las juntas sísmicas	76
Tabla 28: Fallas cuaternarias de Cusco	88
Tabla 29: Coordenadas y profundidades de las Fuentes Corticales F16, F17, F18 y F19	88
Tabla 30: Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas F16, F17, F18 y F19.....	89
Tabla 31: Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad.	96
Tabla 32: Topografía del terreno de la vivienda.	98
Tabla 33: Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia.	98
Tabla 34: Configuración geométrica en elevación.....	99
Tabla 35: Estado de los elementos estructurales.	101
Tabla 36: Estado de los elementos no estructurales.	102
Tabla 37: Estado del dintel.....	102
Tabla 38: Factores que inciden en el nivel de vulnerabilidad muy alta o alta.	103
Tabla 39: Factores que inciden en el nivel de vulnerabilidad media o baja.....	103
Tabla 40: Nivel de vulnerabilidad, según la sumatoria de valores de la ficha de verificación.....	103
Tabla 41: Nivel de vulnerabilidad, según la muestra seleccionada.....	105
Tabla 42: Nivel de peligro según las aceleraciones máximas del suelo.....	109
Tabla 43: Matriz de peligro y vulnerabilidad para las 62 viviendas	110
Tabla 44: Matriz de peligro y vulnerabilidad para viviendas de concreto armado	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la APV Cachimayo	14
Figura 2: Sección transversal del proceso tectónico en la zona de subducción	27
Figura 3: Principales rasgos tectónicos en el Perú	28
Figura 4: Sistema de fallas geológicas de la ciudad de Cusco.	32
Figura 5: Fuentes sismogénicas de interface, corticales y de intraplaca	38
Figura 6: Curva de recurrencia sísmica (Log(N))	40
Figura 7: Curva de recurrencia sísmica (N)	41
Figura 8: Efectos de licuación de suelos después del sismo de Niigata - Japón 1964.....	50

Figura 9: Diseño de ingeniería.....	57
Figura 10: Trabajo en campo con Drone.....	64
Figura 11: Fotogrametría de la APV. Cachimayo.....	64
Figura 12: (a) Estado del tarrajeo de una vivienda y (b) Muro de una vivienda vulnerable....	65
Figura 13: Entrevistas realizadas en la APV. Cachimayo.....	66
Figura 14: Estado del techo de una vivienda.....	66
Figura 15: Estado de los muros portantes.....	66
Figura 16: Estado del sobrecimiento.....	66
Figura 17: Estado del dintel de una vivienda.....	66
Figura 18: Medición de discontinuidades, juntas de dilatación y alturas de entepiso.....	67
Figura 19: (a) Si compromete el área colindante, (b) No compromete el área colindante y (c) No muestra precariedad.....	70
Figura 20: Mapa de fenómenos climáticos de la A.P.V Cachimayo.....	71
Figura 21: (a) Adobe, (b) Adobe y concreto y (c) Concreto armado.....	72
Figura 22: Mapa de tipo de suelo de la A.P.V Cachimayo.....	73
Figura 23: (a) No existe junta sísmica, (b) Son precarias y (c) Si existe junta sísmica.....	76
Figura 24: (a) Sobrecimientos con deterioro y (b) Sobrecimientos que presentan humedad... 77	
Figura 25: (a) Columnas precarias, (b) Columna con fisuras y (c) Columnas en buen estado 77	
Figura 26: (a) Muros portantes precarios y (b) Muro que presenta humedad.....	78
Figura 27: (a) Vigas que presentan humedad.....	78
Figura 28: (a) Techo precario y (b) Techo que presenta deterioro y humedad.....	79
Figura 29: (a) Vivienda sin tarrajeo, (b) Tarrajeo con humedad y (c) Tarrajeo en buen estado.....	79
Figura 30: (a) Dintel precario, (b) Dintel que presenta fisuras y (c) Dintel en buen estado	79
Figura 31: (a) Vivienda que presenta humedad y (b) Debilitamiento por modificaciones.....	80
Figura 32: (a) Vanos mayores al 30%, (b) Tabiques sin arriostres y (c) Diferentes materiales en la construcción.....	80
Figura 33: Fachada de la vivienda número 20.....	81
Figura 34: Puerta de calle de la vivienda número 20.....	82
Figura 35: Configuración geométrica en planta de la vivienda número 20.....	84
Figura 36: Configuración geométrica en elevación de la vivienda número 20.....	84
Figura 37: Estado de los elementos estructurales de la vivienda número 20.....	85
Figura 38: Estado de los elementos no estructurales de la vivienda número 20.....	86
Figura 39: Factores que inciden en la vulnerabilidad de la vivienda número 20.....	87
Figura 40: Mapa del Perú en formato aci.....	90



Figura 41: Coordenadas y profundidad de la fuente 16. 91

Figura 42: Parametros sismológicos para la fuente 16..... 91

Figura 43: Leyes de atenuación..... 92

Figura 44: Ordenadas espectrales, niveles de intensidad y periodos de vibración 92

Figura 45: Parámetros globales 93

Figura 46: Colapso de las viviendas..... 94

Figura 47: Puerta independiente..... 95

Figura 48: Material predominante de la edificación. 96

Figura 49: Participación de un ingeniero civil. 97

Figura 50: Antigüedad de la edificación. 97

Figura 51: Tipo de suelo..... 98

Figura 52: Configuración geométrica en planta..... 99

Figura 53: Juntas de dilatación sísmica..... 100

Figura 54: Concentración de masas en nivel..... 100

Figura 55: Resumen del estado de los principales elementos estructurales. 101

Figura 56: Resumen del nivel de vulnerabilidad..... 106

Figura 57: Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 43 años 106

Figura 58: Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 43 años. 107

Figura 59: (a) Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 72 años y
(b) Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 72 años. 107

Figura 60: (a) Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años y
(b) Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 475 años. 108

Figura 61: (a) Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 970 años y
(b) Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 970 años. 108

Figura 1: (a) Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 970 años y
(b) Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 970 años.....109



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La ciudad de Cusco muestra varios sistemas de fallas cuaternarias localizadas en el límite entre las altas mesetas y la Cordillera Oriental. Estas fallas se encuentran distribuidas en forma discontinua, distinguiendo seis sectores de oeste a este que son: Falla de Tambomachay, Falla Zurite, Falla Tamboray, Falla Qoricocha, Falla Pachatusan y Falla Urcos (INGEMMET 2009).

La información sobre estas fallas es escasa, pero algunos eventos registrados por la estación Tambomachay indican actividad moderada, aunque en el sector oeste la actividad sea más continua. Sin embargo, los estudios de geológica superficial establecen rupturas superficiales que estarían ligadas a sismos superiores a 6 grados de magnitud (Taípe, E. 2017).

Debido a la presencia del sistema de fallas en Cusco se generan sismos que ponen en peligro los diferentes distritos, siendo de esta manera afectada la zona de estudio APV Cachimayo del distrito de San Sebastián, que se considera como un sector representativo y altamente vulnerable.

Las construcciones son los elementos vulnerables más importantes ya que los daños sufridos por ellas afectan directamente en las personas que viven en ellas (Feriche, M. 2014). Para que las condiciones sean óptimas, las construcciones deben estar alejadas de las fallas, evitar rellenos, lugares con posibles asentamientos o deslizamientos. Por lo tanto, para reducir el riesgo sísmico, se debe disminuir el nivel de vulnerabilidad (Bonett, R. 2003).

La APV Cachimayo se encuentra ubicada en el distrito de San Sebastián, las construcciones que presenta esta zona tienen diversas características perjudiciales ante la ocurrencia de un sismo como son: antigüedad de las viviendas, construcciones de adobe, elementos estructurales en mal estado, distintos materiales en la construcción, entre otros. Dichas características indican un alto nivel de riesgo sísmico ante la reactivación de cualquiera de las fallas que afectan a esta zona y se encuentran sin actividad por un largo tiempo.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál es el nivel de riesgo sísmico según la matriz de peligro y vulnerabilidad elaborada por INDECI para las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

P.E.1. ¿Cuáles son las características de la construcción de las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco según los parámetros de la ficha de verificación adaptada de INDECI?

P.E.2. ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad sísmica cualitativa de las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco según los parámetros de la ficha de verificación adaptada de INDECI?

P.E.3. ¿Cuál es el nivel de peligro sísmico probabilístico para las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco?

1.2. Ubicación geográfica

La APV. Cachimayo, se encuentra ubicada en el Distrito de San Sebastián en la provincia de Cusco. Las coordenadas de dicha APV, son: $71^{\circ}54'36.0''$ W (-71.91) $13^{\circ}32'02.0''$ S (-13.53), como se muestra en la Figura 2 :

Figura 2

Ubicación de la APV Cachimayo.



Nota: Esta figura nos muestra la foto satelital y las coordenadas de la zona de estudio. Tomado de Google Earth (2020).



1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1. Justificación técnica

El departamento del Cusco, según la zonificación dada por la norma técnica E.030 de “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, se encuentra en la zona 2, lo que significa que se producen aceleraciones máximas del suelo de 0.25 g, siendo g la aceleración de la gravedad.

En la presente investigación, se analizó el nivel de peligro sísmico de acuerdo al sistema de fallas presente en la región Cusco, que llevan un largo tiempo sin activarse y podrían causar serios daños en las estructuras ocasionando de esta manera pérdidas humanas y económicas.

1.3.2. Justificación social

El desarrollo de investigación de este tema de tesis da a conocer el nivel de riesgo sísmico de las viviendas ubicadas en la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco, así como dota de la información necesaria a las Instituciones encargadas, para tomar las medidas de intervención adecuadas para salvaguardar la vida de las personas en caso de sismo.

1.3.3. Justificación por viabilidad

La investigación es hacedera gracias a que se tuvo acceso a la verificación de las viviendas y se contó con toda la información necesaria para poder realizarla como es el uso de la Norma de Diseño Sismorresistente E.030 del 2018, algoritmo R-CRISIS y la ficha de verificación elaborada por el Instituto Nacional de Defensa Civil (Determinación de la vulnerabilidad de las viviendas para caso de sismo) .Además, se contó con especialistas que evaluaron los instrumentos y se pudo adaptar a la zona de estudio.

1.3.4. Justificación por relevancia

Según la Norma de Diseño Sismorresistente, la zona 2 se caracteriza por presentar sismos principalmente superficiales y destructivos como los ocurridos en 1950 y 1986. Al realizar la investigación se logró conocer cuál es el nivel de riesgo sísmico de la zona, tomando en cuenta el nivel de vulnerabilidad sísmica y el sistema de fallas activas de la región Cusco.



La metodología aplicada para conocer el nivel de riesgo sísmico puede ser usada posteriormente para el análisis de otras zonas que presenten características similares.

1.4. Limitaciones de la investigación

- Esta investigación se limita a la especialidad de estructuras por el análisis de riesgo sísmico, en las viviendas ubicadas en la APV Cachimayo (Ver Figura 2), así como al uso de la Norma de Diseño Sismorresistente del 2018, algoritmo R-CRISIS y fichas adaptadas de INDECI.
- No fue posible ingresar a todos los niveles de cada vivienda para poder observar el estado de los elementos estructurales, por lo que, en algunos casos, solo se evaluó solo el primer nivel. Según la muestra seleccionada y enumerada (Anexo 2) las viviendas que se evaluaron solo el primer nivel según la numeración mostrada son: 7-10-11-12-22-23-32-33-34-40-41-46-50-53-59.
- Se hizo una inspección visual de cada una de las viviendas proporcionadas por la muestra por lo que la investigación es de preponderancia cualitativa.
- Se hizo la adaptación de la ficha verificada por INDECI a la zona de estudio, la cual tiene la validación de profesionales en el área de estudio, que son dos docentes de la “Universidad Andina del Cusco”; Ing. Heiner Soto Florez y Mgt. Ing. Camilo Mendoza Escalante. (Anexo 15).
- Se realizó un levantamiento topográfico con Drone para el análisis de irregularidades, así como para obtener pendientes del terreno, el cual fue asistido por un especialista en el área con el que se estuvo en constante coordinación para realizar correctamente el trabajo.
- Ya que el análisis de la investigación es de preponderancia cualitativa, solo se hizo estudio de las viviendas por observación directa, así como un análisis visual de estas, para lo cual solo se realizó una investigación respecto a la Norma de Diseño Sismorresistente E.030 del 2018; más no se hizo investigación por cada una de las normas referente a los materiales de construcción como son la norma de concreto armado E.060, de albañilería E.080, entre otros.
- El análisis de concentración de masas en nivel, para la evaluación del nivel de vulnerabilidad sísmica es las viviendas se realizo por inspección visual y en los casos de las viviendas a las que no se tuvo acceso a todos los niveles, se limitó a preguntas realizadas a los propietarios, sobre los usos que se da a los diferentes niveles de la vivienda.
- Para el llenado de la ficha de verificación para el análisis de vulnerabilidad sísmica, se tienen algunos parámetros que son considerados en la ficha más no tienen un valor a considerar para

su evaluación debido a que estos factores no influyen en la existencia de vulnerabilidad sísmica, como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1

Parámetros para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica

PARÁMETRO	PUNTAJE	OBSERVACIÓN
A. Ubicación geográfica de la vivienda		
Ubicación geográfica	No	Estos datos, no tienen un puntaje para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica, ya que son datos generales y personales de los propietarios.
Ubicación censal		
Fecha		
Apellidos y nombres del entrevistado		
B. Información del inmueble por observación directa		
Desde el exterior se puede observar que:	Si	Se evalúa si las viviendas colapsarán o no, dado un sismo, o si puede o no afectar al área colindante.
La vivienda se encuentra:	No	Este dato, es necesario para poder realizar la encuesta.
C. Características del tipo de vivienda		
Cuenta con puerta Independiente	Si	Si la vivienda cuenta o no con fácil acceso a zonas seguras en caso de sismo.
Total de ocupantes	No	No afecta en la existencia de vulnerabilidad de la construcción de la vivienda.
Cantidad de pisos	No	Este dato se usó, para el muestreo correspondiente
Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad.	Si	Se considera si el suelo es apto o no para la construcción de la vivienda.
D. Características de la construcción de la vivienda.		
Material predominante de la edificación	Si	Todos estos parámetros, tienen un puntaje, porque son características que influyen en el estado de construcción de la vivienda, lo cual lo hace más o menos vulnerable
Participación de un ingeniero civil		
Antigüedad de la edificación		
Tipo de suelo		
Topografía del terreno de la vivienda		
Configuración geométrica		
Separación entre edificios		
Existe concentración de masas en nivel		
Principales elementos estructurales		
En los elementos no estructurales		
Otros factores que inciden en la vulnerabilidad		

- Se consideró la falla Cusco como un área de fuente sísmica históricamente activa que se compone de seis fallas Zurite, Tamboray, Qoricocha, Tambomachay, Pachatusan y Urcos.



1.5. Objetivo de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Determinar el nivel de riesgo sísmico de las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.

1.5.2. Objetivos específicos

O.E.1. Determinar las características de la construcción de las viviendas según los parámetros de la ficha adaptada de INDECI.

O.E.2. Determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica cualitativa de las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco según la ficha adaptada de INDECI.

O.E.3. Determinar el nivel de peligro sísmico probabilístico para las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.

Capítulo II: Marco teórico

2.1. Antecedentes de la tesis

2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

Roncal (2017) en su tesis “Determinación del peligro sísmico en el territorio nacional y elaboración de aplicativo web” en Lima – Perú, evaluó el peligro sísmico probabilístico en Perú, para ello, definió fuentes sismogénicas, las cuales fueron determinadas en base al mapa de distribución de hipocentros, así como a las características tectónicas del área de influencia, luego, empleando las Ecuaciones de Predicción de Movimiento (GMPE) y el programa CRISIS 2015, obtuvo curvas de peligro sísmico, espectros de peligro uniforme y mapas de isoaceleraciones espectrales. Finalmente, con esta información desarrolló el aplicativo web “Determinación de Peligro Sísmico en el País” el cual permite al usuario realizar la evaluación del peligro sísmico probabilístico sobre el territorio nacional en un punto de interés cada 0.1 grado geográfico. Estas gráficas pueden ser obtenidas para periodos estructurales t desde 0.0 segundos hasta 3.0 segundos y un intervalo de amortiguamiento de 2.0 % hasta 10.0 %.



Vargas (2016) en su tesis: “Propuesta de gestión del riesgo sísmico en un sector del Centro histórico de la ciudad del Cusco, con un enfoque de distrito resiliente” tuvo como objetivo, darle una solución al problema del riesgo sísmico del centro histórico de la ciudad del Cusco, dándole un enfoque de distrito resiliente, buscó implementar rutas de evacuación, señalización, y la determinación de lugares que sean lo suficientemente seguros luego de un evento sísmico. Para esto, realizó fichas de observación, que contiene información sobre el material de la edificación, estado de conservación, uso de la edificación, estado de techo, tipo de tijeral, material de techo, si cuenta con volado de techo, si cuenta con servicio de agua, desagüe, servicio eléctrico y estado de la vía. Luego le asignó valores a cada ítem evaluado, para después sumar los valores obtenidos por cada edificación y le asignó una escala cromática según puntaje obtenido de cada predio.

Palomino y Tamayo (2016) en su tesis: “Evaluación probabilista del riesgo sísmico de hospitales en Lima con plataforma CAPRA” tuvieron por objetivo estimar el riesgo sísmico de hospitales de Lima en términos de pérdidas económicas probables, a partir de sus componentes: peligro, exposición y vulnerabilidad. Para peligro sísmico, recogieron información de amenaza sísmica y microzonificación; la vulnerabilidad sísmica, la definieron a partir de información de estudios previos y visitas a campo, luego los pabellones fueron clasificados de acuerdo a su desempeño esperado ante sismos. Para la evaluación de riesgo sísmico, la información anterior fue ingresada como capas de información en el programa CAPRA-GIS y estimaron valores de pérdida anual esperada (PAE) y pérdida máxima probable (PML). Los resultados confirmaron el alto riesgo en los hospitales en Lima luego de un sismo de magnitud 8.21 y el valor de pérdida sería de aproximadamente 26% del valor de reposición total de hospitales.

Abanto y Cárdenas (2015) en su tesis: “Determinación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti - Petrini en las Instituciones Educativas del Centro histórico de Trujillo, Provincia de Trujillo, Región La Libertad” tuvieron como objetivo determinar la vulnerabilidad sísmica de las Instituciones Educativas Públicas del Centro Histórico de Trujillo, con la finalidad de promover la mitigación ante un probable sismo. De esta manera utilizaron la metodología de Benedetti y Petrini, que estima un índice de vulnerabilidad calculado en función de las características de la estructura que más influyen en su comportamiento sísmico, y lo relaciona con un índice de daño. El resultado fue, que son estructuras con vulnerabilidad media baja.

Herrera (2014) en su tesis: “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del Casco Urbano de Namballe -San Ignacio – Cajamarca” tuvo como objetivo evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica, aplicando la ficha de verificación empleada por INDECI, para lo cual identifico el material predominante de las construcciones, antigüedad, estado de conservación, si conto con la participación de un ingeniero civil en las diferentes etapas de construcción, tipo de suelo, topografía del terreno, juntas de dilatación sísmica acorde a la estructura y configuración geométrica en planta y elevación. El análisis estadístico lo realizó en gabinete utilizando Microsoft Excel con el cual procesó y manejo los datos obtenidos de la ficha de verificación, con la finalidad de obtener los grados de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de la zona.

Tabla 2

Resumen de la vulnerabilidad sísmica.

Resumen de la vulnerabilidad					
Nivel Vulnerabilidad	Muy alto	Alto	Moderado	Bajo	Total
Total	8	13	5	5	31
Total (%)	25,81	43,93	16,13	16,13	100

Nota: Tomado de Herrera (2014)

Del análisis de datos obtuvo que el 25,81% tiene grado de vulnerabilidad sísmica muy alto, 41,93% alto, 16,13% moderado y 16,13 % bajo.

2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

De Risi, Penna y Simonelli (2019) en su investigación: “Riesgo sísmico a escala urbana: El papel del análisis de respuesta de sitio” en Benevento- Italia, determinaron cómo diferentes procedimientos para la evaluación de la respuesta del sitio afectan la evaluación del riesgo sísmico a escala urbana. Seleccionaron el área urbana de la ciudad de Benevento y propusieron un escenario basado para la evaluación de la pérdida esperada a escala urbana por un terremoto de Mw 6.9, hicieron un modelo genérico de vulnerabilidad (consiste en un grupo de curvas de fragilidad que representan la probabilidad de exceder un conjunto dado de estados de daño para un nivel dado de intensidad asociada con el fuerte movimiento esperado), tomaron en cuenta



antecedentes disponibles para realizar un nuevo análisis de microzonificación y utilizaron la base de datos GIS (sistema de información geográfica) que contiene información relevante como la geometría, la tipología estructural, el número de pisos, la altura y otra información relevante necesaria para la evaluación de riesgo sísmico y finalmente, concluyeron que las estructuras de mampostería son más vulnerables con respecto a las estructuras de hormigón armado, a partir de ello, propusieron una microzonificación basada en el riesgo sísmico.

Cueva (2017) en su tesis: “Vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015)” evaluó la vulnerabilidad sísmica del edificio de Filosofía, Comercio y Administración de la Facultad de Filosofía en base a tres metodologías: FEMA 154, FEMA 310 y Benedetti-Petrini. Para ello, realizó un levantamiento estructural e inspección visual de la edificación y elaboró modelos matemáticos utilizando el programa SAP 2000. En la modelación consideró el periodo ambiental de la estructura, medida a partir de un acelerómetro-velocímetro que permitió recrear lo mejor posible el comportamiento en la edificación. Adicionalmente, presentó recomendaciones generales que permitan mejorar el desempeño de la estructura y así disminuir la vulnerabilidad sísmica.

Tapia, Reddy y Oros (2017) en su investigación: “Retos e incertidumbres en la predicción y prevención del riesgo sísmico” en Ciudad de México – México, discutieron el estado de los posibles sismos futuros, con sustento científico basado en precursores físicos, métodos estadísticos y requisitos mínimos que deben considerarse para identificar métodos razonables. La gran mayoría de los reportes se basan en estudios de caso o ensayos, que identifican un sismo como un evento que podría haber sido anunciado con antelación. La aplicación de los resultados debe ser un esfuerzo de científicos sociales, ingenieros, economistas, entre otros.

Medina y Placencia (2017) en su investigación: “Reducción de la vulnerabilidad en estructuras esenciales de hormigón armado: Hospitales, situadas en zonas de alto peligro sísmico en el Ecuador” analizaron la influencia de la mampostería de relleno en el comportamiento inelástico de hospitales de concreto armado, tomaron en cuenta la respuesta sísmica y la interacción pórtico-mampostería, para ello diseñaron estructuras con sistema de pórticos de manera que cumplan con los requerimientos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). Posteriormente incorporaron la mampostería y analizaron su influencia, para lo cual utilizaron



el método del puntal diagonal equivalente y FEMA 365. Finalmente, demostraron que el sistema estructural dual minimiza la mayoría de los efectos negativos producidos por la interacción pórtico-mampostería, y mejora notablemente el desempeño de las estructuras.

Herrera, Saba, Mendoza y Ugel (2016) en su investigación: “Vulnerabilidad sísmica de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles, con irregularidad en planta y variaciones en el diafragma de piso” en Barquisimeto- Venezuela, evaluaron la vulnerabilidad sísmica y el comportamiento resistente de una estructura aporticada de concreto armado irregular en planta (tipo H) y de uso residencial. Para ello, realizaron dos modelos matemáticos en 3D del edificio para hacer una simulación con diafragma rígido y flexible, aplicaron análisis inelásticos mediante el método pushover adaptativo (APA) y análisis dinámico incremental (IDA). De ambos análisis, obtuvieron curvas que muestran el comportamiento estructural, la capacidad de disipación de energía, desplazamientos y esfuerzos torsionales en función de la aceleración. Concluyeron que ambos modelos presentaron una probabilidad de daño moderado, y que el modelo con diafragma rígido presentó una respuesta sismorresistente uniforme con respecto al modelo de diafragma flexible, en ambos modelos confirmaron la amplificación de efectos torsionales en las áreas entrantes.

Barrantes y Salcedo (2016) en su estudio: “Consideración de la amenaza sísmica en el ordenamiento territorial del cantón de Poás, Costa Rica” ejemplificaron la aplicación del método determinístico en la evaluación de la amenaza sísmica del Cantón de Poás, usando la base de datos GIS (Sistemas de Información Geográfica) para lo cual, identificaron las fuentes sísmicas, sus magnitudes máximas posibles, la atenuación sísmica, los valores de aceleración esperados, y con esta base eligieron el peor escenario posible, para después realizar mapas de peligro. Los resultados mostraron que la parte norte del cantón representa el mayor peligro, y que la ciudad principal, San Pedro, podría verse afectada por una intensidad máxima de IX en el peor escenario.

Quinde y Reinoso (2016) en su trabajo: “Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca” utilizaron el programa CRISIS 2015 y recurrieron a la teoría de probabilidades para estimar la ocurrencia de sismos e ilustraron curvas de peligro, espectros de peligro uniforme y mapas de amenaza sísmica, que muestran las aceleraciones máximas probables para diferentes periodos de retorno. Los valores de respuestas



espectrales que se podrían alcanzar superaron a los establecidos en la norma ecuatoriana y demuestran que en Ecuador existe una deficiencia en su norma de construcción, en especial en la parte correspondiente al peligro sísmico y diseño sismorresistente.

Albayraka, Canbaz y Albayrak (2015) en su estudio: “Método de evaluación rápida de riesgo sísmico para el stock de construcción existente en zonas urbanas” en Eskisehir- Turquía, tuvieron el objetivo de crear una base de datos y clasificar los edificios de Eskisehir con respecto a un terremoto de Mw 6.5- 7. Primero hicieron una inspección para detectar, inventariar y clasificar los edificios más vulnerables, luego por el método Puntuación de Riesgo Sísmico Determinado, que se basa en las observaciones y en dar puntuación para los edificios seleccionados, determinaron el nivel de riesgo (riesgo alto, moderado, bajo y sin riesgo), que consideraba criterios como la edad de construcción, columna corta, voladizos pesados, topografía, calidad visual de la construcción y zona sísmica donde se ubica el edificio. Se evaluaron un total de 1643 edificios de concreto y los resultados revelaron que 218 edificios fueron calificados en riesgo alto, mientras que 492 edificios son de bajo riesgo.

Barbat, Vargas, Pujades y Hurtado (2015) en su investigación: “Evaluación probabilista del riesgo sísmico de estructuras con base en la degradación de rigidez” en Barcelona- España, evaluaron el riesgo sísmico de un edificio de concreto armado teniendo en cuenta la resistencia a compresión, módulo de elasticidad del acero y la acción sísmica. Utilizaron 2 enfoques para evaluar las curvas de daño en las estructuras, el primero en base al análisis dinámico incremental que es una herramienta que permite calcular el daño causado en las estructuras para diferentes aceleraciones del terreno y el segundo, el análisis estático no lineal incremental (pushover). Concluyeron que, si la amenaza sísmica cambia, el método de análisis dinámico requiere llevar a cabo nuevos análisis dinámicos no lineales, paso que no es necesario en el caso en que se aplique el método pushover.

Salgado, Carreño, Barbat y Cardona (2015) en su investigación: “Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenarios” en Barcelona- España, realizaron una evaluación probabilista del riesgo sísmico para las edificaciones de Lorca, consideraron la respuesta dinámica del suelo y utilizaron una base de datos que permitió el análisis de los resultados en diferentes categorías. Obtuvieron mapas de peligro sísmico y curvas de excedencia de pérdidas; estos resultados, los usaron para desarrollar planes de



refuerzo de edificaciones existentes y otros instrumentos alternativos para la mitigación de riesgo.

Serrano y Temes (2015) en su investigación: “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de los edificios residenciales estudiados dentro del plan especial de evaluación del riesgo sísmico en la Comunidad Valenciana” identificaron las características constructivas de la región, antigüedad de sus edificios, asignaron clases de vulnerabilidad sísmica, estimaron daños potenciales ocasionados por un probable sismo y realizaron un mapa de riesgo sísmico. Para cuantificar el daño utilizaron matrices de probabilidad de daño, según el nivel de intensidad macro sísmica del movimiento del suelo y la clase de vulnerabilidad del edificio. Obtuvieron que el daño sería grave en un 13% de edificios en Alicante, 8% en Valencia y 0,2% en Castellón.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1. Sismo

Un terremoto, sismo o temblor es un movimiento vibratorio del suelo que modifica el estado de reposo relativo de los cuerpos que se apoyan directamente sobre él.

La ingeniería sísmica, nació como consecuencia de los sismos ocurridos en los últimos 40 años, y es una rama de la ingeniería dedicada al estudio del riesgo, amenaza, y vulnerabilidad sísmica (Trujillo, Ospina y Parra, 2010).

2.2.1.1. Escalas de Intensidad y Magnitud

La intensidad de un sismo, se asigna en función a los efectos causados en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno del sitio. Esta medición resulta un tanto subjetiva, debido a que la manera de cuantificación depende de la sensibilidad de cada persona y de la apreciación que se haga de los efectos.

En 1932, Charles Richter desarrolló una escala estrictamente cuantitativa, aplicable a sismos ocurridos en regiones tanto habitadas como no pobladas, utilizando las amplitudes de las ondas registradas por un sismógrafo. Precisó la escala de magnitud (M), basada en evaluación de numerosos sismos en la costa de California.



En ocasiones, para referirse a un temblor cuya magnitud supera los 7 grados se habla de un macrosismo. Una diferencia de un grado de magnitud entre dos sismos cualesquiera implica, en términos de energía liberada, una diferencia de 32 veces. Es decir, un sismo de magnitud 8 equivale, de manera aproximada, en términos de energía liberada (CENAPRED, 2005), a:

- 32 sismos de magnitud 7
- 1000 sismos de magnitud 6
- 32,000 sismos de magnitud 5

La magnitud caracteriza la energía total de los terremotos, calculada a partir de registros sísmicos. Por este motivo, Richter considera que la amplitud de las ondas sísmicas es prácticamente una medida de la energía total y establece para la magnitud local M_L la siguiente relación:

$$M_L = \log A - \log A_o \dots \dots \dots (1)$$

La magnitud momento M_w se determina a partir del momento sísmico (M_o), que es una cantidad proporcional al área de ruptura (al tamaño de la falla geológica que rompió) y al deslizamiento que ocurra en la falla, se obtiene a partir de la siguiente relación: (Aki, 1979):

$$M_o = \mu \cdot S \cdot D \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

μ = Módulo de rigidez

S = Área de la falla

D = Desplazamiento medio sobre el plano de falla.

A partir del M_o , Kanamori (1977) propone una nueva escala de magnitud conocida como magnitud momento, la que se expresa de la siguiente forma:

$$M_w = (2/3) \text{Log } M_o - 6.0 \dots \dots \dots (3)$$

M_o = Momento sísmico que viene expresado en Nm (Nanómetro).

La escala M_w no se satura, por lo que hoy en día es la más confiable y la más usada por científicos para comparar los tamaños sísmicos.

La ventaja de la Escala sismológica de magnitud de momento es que esta escala coincide y continúa con los parámetros de la escala sismológica de Richter pero corrige los errores debido a intensidades muy altas, resumiendo en un único número el momento sísmico (que relaciona parámetros físicos como la dimensión de ruptura sísmica y la energía total liberada).

Tabla 3

Escala equivalente a la energía liberada.

Magnitud Richter	Magnitud de momento (Mw)	Equivalencia de la energía TNT (aproximado)
-1.5		1 kg
1.0		10 Ton
1.5		50 Ton
2.0		300 Ton
2.5		1 KTon
3.0		10 KTon
3.5		50 KTon
4.0		300 KTon
4.5		1.7 MTon
5.0		9.5 MTon
5.5		53.5 MTon
6.0		300.0 MTon
6.5		1.7 GTon
	7.0	9 GTon
	7.5	53 GTon
	8.0	300 GTon
	8.5	1,700 GTon
	9.0	9,500 GTon
	9.5	53,000 GTON
	10.0	300,00 GTon
	12.0	300 x10 ⁶ GTon

Nota: Tomado de Zuñiga (2011).

2.2.2. Sismicidad en el Perú

Los sismos ocurridos en el Perú son originados en su mayoría, por el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el mismo que se produce con una velocidad promedio de 7-8 cm/año, estos sismos, se producen mayormente en la costa, a profundidades menores a 60 km, todos asociados al contacto interplaca y son muy frecuentes, en un año es posible registrar la ocurrencia de hasta 60 sismos con magnitudes M_L mayor o igual a 4.5 (Tavera, Bernal y Salas, 2007).

Los sismos de magnitud mayor a 7, produjeron importantes daños, como los que se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4

Sismos de mayor magnitud ocurridos en Perú

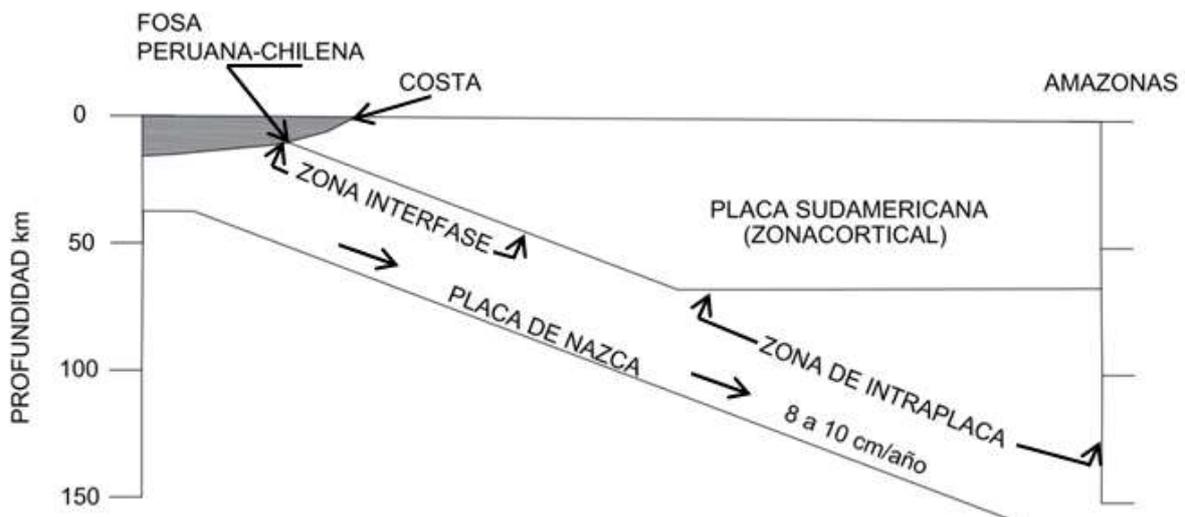
Fecha	Epicentro	Magnitud (M_w)	Intensidad
31 de Marzo de 1650	Cusco	7.6	VIII
13 de Mayo de 1784	Arequipa	8.4	VII
10 de Julio de 1821	Arequipa	7.9	VII
28 de Julio de 1913	Arequipa	7.0	
11 de Octubre de 1922	Arequipa	7.4	VI
24 de Mayo de 1940	Callao	8.2	
24 de Agosto de 1942	Ica y Arequipa	8.4	IX
11 de Mayo de 1948	Tacna	7.1	VII
20 de Julio de 1948	Arequipa	7.1	VII
26 de Febrero de 1952	Puno	7.5	
31 de Mayo de 1970	Áncash	7.8	
9 de Diciembre de 1970	Tumbes	7.2	
3 de Octubre de 1974	Lima	8.0	
3 de Octubre de 1974	Lima	8.1	
23 de Junio 2001	Arequipa	8.4	
25 de Setiembre de 2005	San Martín	7.0	V
15 de Agosto 2007	Pisco, Ica	7.9	
24 de Agosto del 2011	Loreto	7.0	
26 de Mayo del 2019	Loreto	8.0	

Nota: Tomado de Garrido (2020)

El proceso de subducción de la placa de Nazca, presenta tres zonas, cada una con características distintas. Ver Figura 3.

Figura 3

Sección transversal del proceso tectónico en la zona de subducción



Nota: Tomado de Bariola (2001)

- Zona de subducción de interfase poca profunda.
- Zona de subducción de intraplaca profunda.
- Zona de corteza continental de la placa Sudamericana.

Figura 4

Principales rasgos tectónicos en el Perú



Nota: Tomado de Bolaños y Monroy (2004).

La corteza continental de la placa Sudamericana está sujeta a esfuerzos tectónicos compresionales debido a su convergencia con la placa de Nazca. Esto, ha dado como resultado el arrugamiento y levantamiento de la placa de Nazca, cuyo resultado final fue la formación de la cordillera de los Andes y otros distintos rasgos tectónicos (Ver Figura 4), tales como: La Dorsal de Nazca, la fractura de Mendaña, la fosa Peruano-Chilena, la Cordillera Andina, la cadena volcánica y las diferentes fallas en el continente (Bolaños y Monroy, 2004). Durante este proceso, se generó una constante deformación y levantamiento de la cadena andina que dio como resultado una constante acumulación de energía que se libera en forma de sismos (Centeno, 2017).

2.2.3. Sismicidad en el Cusco

Cusco, se encuentra en la zona sísmica 2, según la norma de diseño sismorresistente, que es considerada una zona de mediana sismicidad y ha registrado 2 terremotos muy destructivos, uno de ellos, en el año de 1650 que fue de intensidad VIII en la escala de Mercalli Modificada y el otro en 1950, que destruyó casi la totalidad de viviendas intensidad VIII. (Benavente, Fernández y Gómez, 2004). Esta región, se caracteriza por una importante actividad sísmica cortical y presenta muchos sectores de fallas normales activas, las cuales son fallas que ha experimentado una o varias reactivaciones en los últimos 10 000 años (Ortiz de Orue y Contreras, 2011).

2.2.4. Sistemas de fallas cuaternarias y activas en la región Cusco

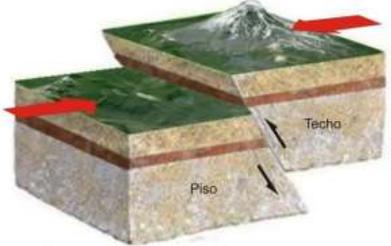
Una falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual, ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura. Al no tener elasticidad, las rocas se rompen a lo largo de la falla liberando una gran cantidad de energía, la cual, al liberarse, produce vibraciones en las paredes de la falla y a eso se le llama terremoto. (INGEMMET, 2013).

Existen varios tipos de fallas, en la tabla 5, se detallan los tres tipos de fallas principales:

Tabla 5

Tipos de fallas geológicas

Tipo de falla	Imagen
<p>a) Falla normal</p> <p>Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla. El plano de falla tiene típicamente un ángulo de 60° respecto a la horizontal.</p>	

Tipo de falla	Imagen
<p>b) Falla inversa</p> <p>Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30° respecto a la horizontal.</p>	
<p>c) Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo</p> <p>Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: laterales derechas (el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha) y laterales izquierdas (el movimiento es opuesto a las anteriores).</p>	

Nota: Tomado de INPRES (1993).

En la presente investigación se estudió el sistema de fallas Cusco, que se compone de las fallas ubicadas en Zurite, Qoricocha, Tambomachay, Pachatusan, Tamboray y Urcos, las cuales son de tipo normal.

La Tabla 6 detalla cada una de estas fallas y la Figura 5 muestra la ubicación de las mismas.

Tabla 6

Sistema de fallas Cusco.

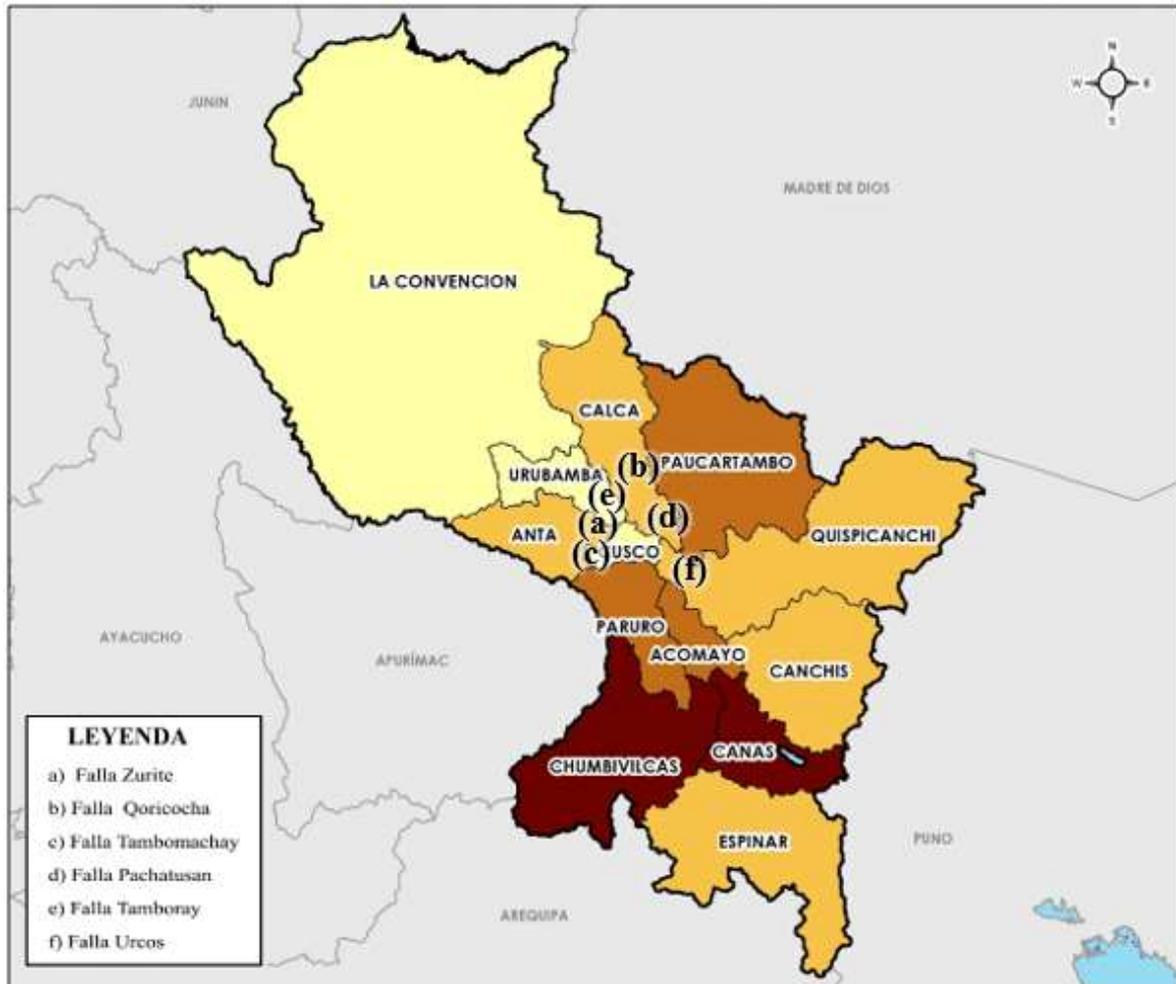
Falla	Características y ubicación	Foto
<p>a) Falla Zurite</p>	<p>Se encuentra a 40 km de la ciudad del Cusco, se extiende con dirección nor-este hasta la provincia de Abancay-Apurímac. Es parte de la deflexión de la cadena andina y constituye el límite entre la cordillera del Vilcabamba y la cuenca cuaternaria de Anta</p>	

Falla	Características y ubicación	Foto
<p>b) Falla Qoricocha</p>	<p>Se ubica a 6 km en dirección norte de la falla Tambomachay y es la prolongación sur de la falla Chincheros. Tiene una longitud de 8 km y se emplaza sobre una planicie ubicada entre 4000 y 4300 m. s. n. m. En 1986 parte de esta estructura se reactivó provocando un sismo.</p>	
<p>c) Falla Tambomachay</p>	<p>Se encuentra ubicada en el borde norte de la ciudad del Cusco. Se extiende con dirección N 120° E a lo largo de 20 kilómetros, su ubicación adyacente a la ciudad del Cusco (4 kilómetros) la convierte en un peligro latente</p>	
<p>d) Falla Pachatusan</p>	<p>Se emplaza en un área de 21 km de largo por 3.5 km de ancho con dirección promedio N 130° E, y en altitudes que varían entre 4100 y 4300 m. s. n. m. Se ubica al sureste de la ciudad del Cusco, aproximadamente a 5 kilómetros de distancia. Es una prolongación de las fallas Chincheros y Qoricocha</p>	
<p>e) Falla Tamboray</p>	<p>Se ubica con dirección norte-sur entre los extremos occidentales de las fallas Tambomachay y Chincheros, emplazándose a lo largo de 3.5 kilómetros. Tiene 2 metros de escarpe, afecta con movimiento de tipo normal</p>	
<p>f) Falla Urcos</p>	<p>Se ubica al sureste de la ciudad del Cusco, con dirección noroestesureste y buzamiento hacia el suroeste, se emplaza a lo largo de 22 kilómetros</p>	

Nota: Tomado de INGEMMET (2009).

Figura 5

Sistema de fallas geológicas de la ciudad de Cusco.



2.2.5. Riesgo sísmico

El riesgo sísmico, es la probabilidad esperada de pérdidas de vidas y la posibilidad de que se presenten efectos económicos, sociales y ambientales, como consecuencia de las amenazas y del contexto social y estructural de las viviendas, lo que facilita la ocurrencia de los desastres (Llanos y Vidal, 2003).

El riesgo sísmico combina el peligro, y el nivel de vulnerabilidad sísmica, que influye en el grado de pérdidas esperadas después de ocurrido un evento sísmico. El riesgo sísmico se incrementa dependiendo del tipo de asentamiento humano, es decir, depende directamente de factores antrópicos como la densidad poblacional, el tipo de sistemas estructurales presentes en



las ciudades, la injerencia en modificar el terreno, así como el nivel de peligrosidad del sitio (Cueva, 2017).

A. Importancia de la estimación del riesgo

- a) A partir de la identificación de peligros y del análisis de la vulnerabilidad, es posible conocer el nivel de riesgo sísmico y mitigar y reducir los desastres, que son parámetros fundamentales en la gestión de desastres.
- b) Es importante para el diseño y adopción de medidas de prevención específica, como la preparación, educación de la población.
- c) Después de ocurrido un desastre, se puede observar y analizar el nivel de vulnerabilidad sísmica y su relación con el riesgo sísmico. (INDECI, 2006).

B. Estimación del riesgo

Es el conjunto de acciones y procedimientos que se ejecutan con el fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad, para determinar o calcular el riesgo esperado. Dicho proceso, tiene como objetivo, dar medidas de prevención de carácter estructural y no estructural.

Sólo se puede hablar de riesgo (R) cuando se ha evaluado el peligro (P) y la vulnerabilidad (V) y se expresa en forma probabilística, a través de la siguiente fórmula (INDECI, 2006):

$$R = (P \times V) \dots\dots\dots (4)$$

C. Procesamiento o cálculos de la prueba

Para determinar el nivel de riesgo sísmico es necesario conocer los niveles de peligro y vulnerabilidad sísmica, ambas variables se interrelacionan de acuerdo a lo expresado en la Tabla 7, el sentido vertical representa el valor y nivel estimado del peligro y el sentido horizontal representa el nivel de vulnerabilidad, la intersección de ambos valores estimará el nivel de riesgo existente.

Tabla 7*Matriz de peligro y vulnerabilidad.*

	Vulnerabilidad baja	Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad alta	Vulnerabilidad muy alta
Peligro muy alto	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto
Peligro alto	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto
Peligro medio	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto
Peligro bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto

Nota: Tomado de INDECI (2006).

2.2.6. Peligro sísmico

El peligro sísmico se define como la probabilidad de que ocurra un sismo y está vinculada a un área geográfica y un intervalo de tiempo definido, mide también la probabilidad de que se produzcan aceleraciones del suelo debido a la actividad sísmica. Es la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente dañino con una cierta intensidad, en un periodo de tiempo y en un sitio determinado (Peralta, 2002).

A. Métodos para la determinación del peligro

a. Peligro sísmico, método determinístico

Consiste en proponer un escenario sísmico específico para el área del proyecto, el cual debe ser una representación de la generación de un evento sísmico característico para la zona proveniente de la fuente que se encuentra a la menor distancia del lugar de análisis. Este concepto permite determinar el movimiento del suelo directamente asociado a las dimensiones de las fallas geológicas o sismo de mayor magnitud ocurrido en un tiempo conocido. Asimismo, no brinda información sobre el movimiento probable en un periodo de tiempo determinado, ni de los efectos de estos (Tavera, 2011).

b. Peligro sísmico, método probabilístico

Se desarrolla mediante la representación de la actividad sísmica de la zona en estudio y la relación entre la amplitud del movimiento del suelo (aceleración máxima del suelo) o de la respuesta estructural, alguna medida del sismo (magnitud o intensidad), distancia entre el foco

y la distancia de interés. Este método considera el efecto que pudieran causar todos los sismos contenidos en las fuentes sismogénicas (son aquellas zonas geográficas que tienen similitudes geológicas, geofísicas y sísmicas, es decir, en las que el proceso de generación y recurrencia de sismos es homogéneo) definidas por sus valores de magnitud y frecuencia de ocurrencia.

El resultado final permite disponer de los valores de aceleración sísmica máxima, estas aceleraciones no representan a un sismo en especial, sino al efecto combinado de todos los sismos que integran cada fuente sismogénica. Para el desarrollo del estudio, primero se revisa la actividad sísmica ocurrida en el pasado para así definir las fuentes sismogénicas, tomando en cuenta las características tectónicas y considerando que la probabilidad de ocurrencia de sismos de diversas magnitudes es homogénea en toda la fuente. Seguidamente, se debe caracterizar cada fuente por el sismo de magnitud máxima y la tasa media anual de actividad sísmica dentro del periodo de datos considerado. Finalmente, las aceleraciones máximas en el sitio de interés se calculan mediante el uso de una ecuación de atenuación (Tavera, 2011), la atenuación se entiende como la disminución de la intensidad a medida que la distancia se incrementa referente al punto donde ocurre un sismo.

B. Nivel de peligro

Se determina el nivel de peligro según las aceleraciones máximas del suelo, dadas por Alfaro (2011).

Tabla 8

Nivel de peligro según aceleraciones del suelo.

Nivel de peligro	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
PGA (g)	0.0 - 0.10	0.11 - 0.25	0.26 - 0.40	> 0.41

Nota: Tomado de Alfaro (2011).

Según CISMID (2013) para que los acelerogramas sean escalados de tal manera que su espectro de respuesta sea compatible con el espectro de la Norma E.030, el valor de espectro de respuesta en aceleración, debe ser tomado para un periodo de 0 segundos, que corresponde teóricamente al PGA (peak ground acceleration – aceleración pico del suelo).

Teniendo en cuenta estas aceleraciones del suelo, se puede relacionar con la escala Mercalli Modificada y saber cuál será la percepción del temblor.

Tabla 9

Relación entre la escala de Mercalli Modificada y la aceleración del suelo

Escala Mercalli Modificada	Aceleración sísmica (g)	Percepción del temblor
I	< 0.0017	No apreciable
II – III	0.0018 – 0.014	Muy leve
IV	0.015 – 0.039	Leve
V	0.040 – 0.092	Moderado
VI	0.093 – 0.18	Fuerte
VII	0.19 – 0.34	Muy fuerte
VIII	0.35 – 0.65	Severo
IX	0.66 – 1.24	Violento
> X	> 1.25	Extremo

Nota: Tomado de Agudelo y Boixader (2015).

C. Algoritmo R-CRISIS

La evaluación del peligro sísmico se realizó utilizando el algoritmo R-CRISIS, dicho algoritmo, fue presentado en 1986 por Mario Ordaz Schroeder, autor principal de todas las versiones de CRISIS. Las versiones 1999, 2007 y 2015 se desarrollaron con el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México. En 2017, el profesor Ordaz decidió continuar el desarrollo de CRISIS a través de su empresa “Evaluación de Riesgos Naturales” (ERN), renombrándolo como R-CRISIS; La Tabla 10 resume los principales lanzamientos:

Tabla 10*CRISIS History*

Versión	Año	Autores
CRISIS	1991	Ordaz. M
CRISIS99	1999	Ordaz M., Aguilar A., Arboleda J.
CRISIS2007	2007	Ordaz M., Aguilar A., Arboleda J.
CRISIS2015	2015	Ordaz M., Martinelli F., Aguilar A., Arboleda J., Meletti C., D'Amico V.
R-CRISIS	2017	Ordaz M., Martinelli F., Aguilar A., Arboleda J., Meletti C., D'Amico V.

Nota: Tomado de Ordaz, Martinelli, Aguilar, Arboleda, Meletti y D'Amico (2017).

R- CRISIS, calcula el peligro sísmico, considerando la suma de los efectos de las fuentes sismogénicas, la distancia entre cada fuente y los puntos de interés a evaluar. Las características del algoritmo e información a utilizarse son:

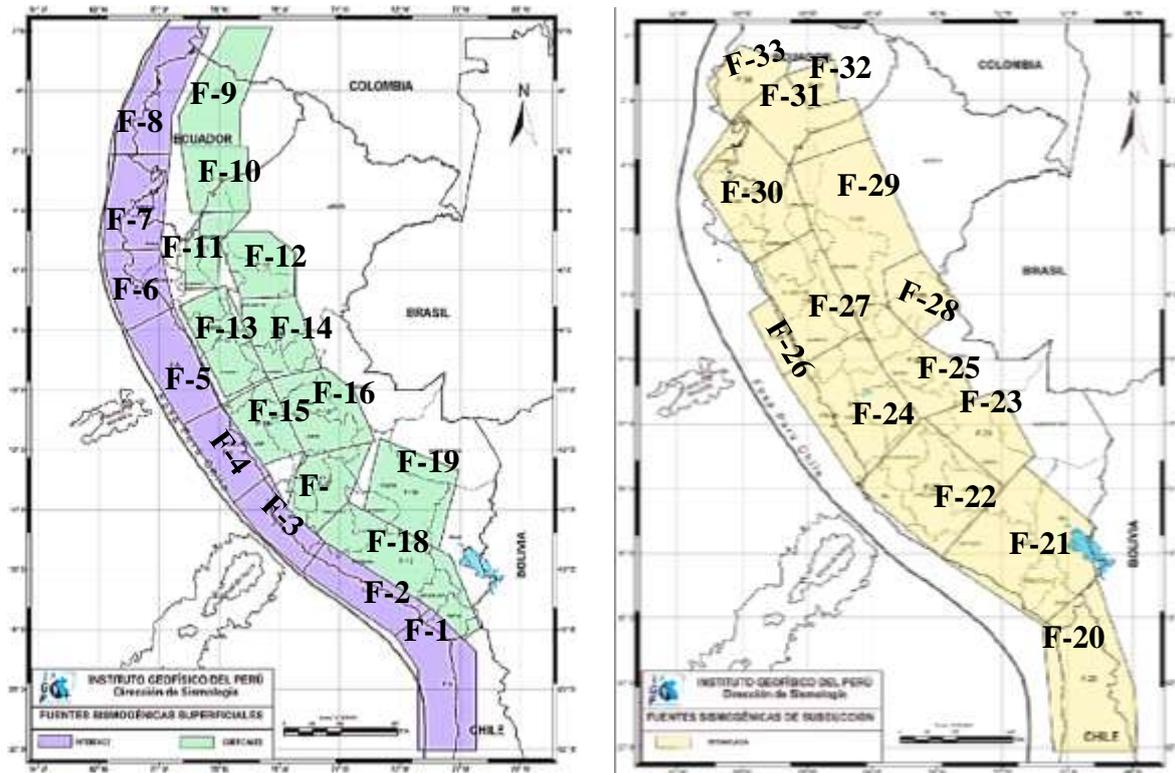
a) Fuentes Sismogénicas

Son aquellas zonas geográficas que tienen similitudes geológicas, geofísicas y sísmicas, que se pueda considerar que posee un potencial sísmico homogéneo en toda la fuente, es decir, en las que el proceso de generación y recurrencia de sismos es homogéneo (Enríquez, 2009).

Tavera, Bernal, Condori, Ordaz, Zevallos e Ishizawa (2014) propusieron 33 fuentes sismogénicas en base a la distribución espacial de la sismicidad asociada al proceso de subducción (interface), a los principales sistemas de fallas (corticales) y a la geometría de la placa de Nazca por debajo del continente (intraplaca) que se muestra en la Figura 5. Finalmente, las fuentes sismogénicas las distribuyeron de la siguiente manera: F-1 a F-8 para la sismicidad interface, F-9 a F-19 para la sismicidad cortical y F-20 a F-33 para la sismicidad intraplaca.

Figura 6

Fuentes sismogénicas de interface, corticales y de intraplaca



Nota: Tomado de Tavera, Bernal, Condori, Ordaz, Zevallos e Ishizawa (2014).

b) Características geométricas de las fuentes sismogénicas

Las características sismogénicas necesarias utilizadas por el programa, son las coordenadas geográficas y la profundidad de cada fuente. Las fuentes F16, F17, F18 y F19, son las fuentes corticales presentes en la región Cusco, se muestra en la Tabla 29.

c) Parámetros Sísmicos

Se consideran valores físicos que caracterizan a una fuente sismogénica, de acuerdo a la distribución de Poisson, que es un modelo de probabilidad discreta que expresa, a partir de una frecuencia de ocurrencia media, la probabilidad de que ocurra un determinado número de eventos durante cierto período de tiempo (Mora, 2017).

La forma de cálculo de los valores físicos de las fuentes sismogénicas es el siguiente:

Tabla 11

Datos de eventos sísmicos de la fuente registrados en 46 años.

Mw	n	N	Log (N)	Mw	n	N	Log (N)
3.2	84	1009	3.0039	5.8	10	47	1.6721
3.4	135	925	2.9661	5.9	2	37	1.5682
3.6	50	790	2.8976	6	9	35	1.5441
3.7	65	740	2.8692	6.1	3	26	1.4150
3.8	61	675	2.8293	6.2	1	23	1.3617
4.1	38	614	2.7882	6.4	6	22	1.3424
4.2	62	576	2.7604	6.5	1	16	1.2041
4.3	49	514	2.7110	6.7	1	15	1.1761
4.4	36	465	2.6675	6.8	2	14	1.1461
4.5	91	429	2.6325	7	1	12	1.0792
4.6	64	338	2.5289	7.1	2	11	1.0414
4.8	96	274	2.4378	7.2	2	9	0.9542
5	36	178	2.2504	7.5	1	7	0.8451
5.1	28	142	2.1523	7.8	1	6	0.7782
5.2	15	114	2.0569	7.9	1	5	0.6990
5.3	12	99	1.9956	8	1	4	0.6021
5.4	14	87	1.9395	8.1	2	3	0.4771
5.5	8	73	1.8633	8.4	1	1	0.0000
5.6	16	65	1.8129				
5.7	2	49	1.6902				

Dónde:

Mw = Magnitudes registradas

n = Cantidad de sismos registrados de esa magnitud

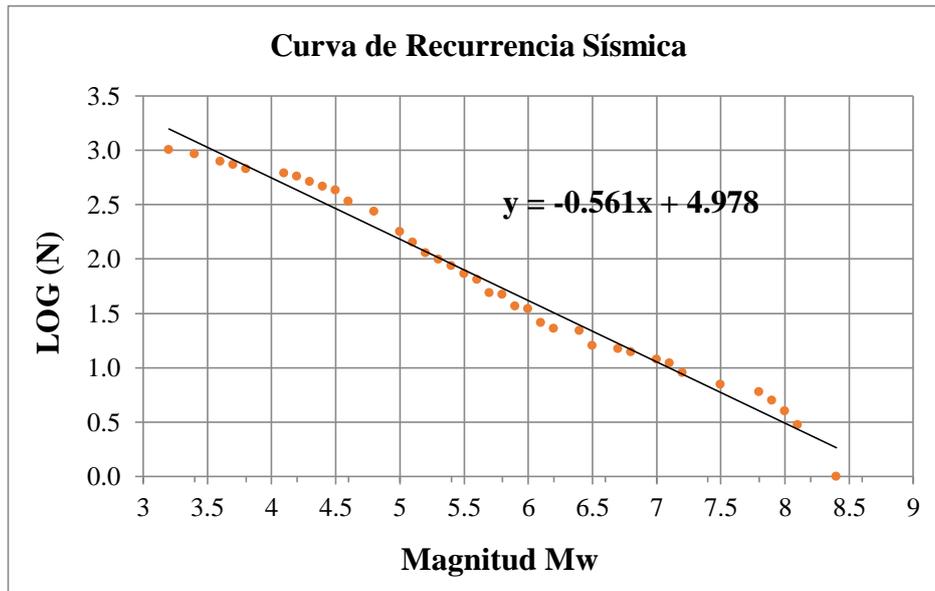
N = Cantidad total de sismos registrados

Log (N) = Logaritmo de N

Se halla la ecuación de la recta para los valores de la Tabla 11, el cual será:

Figura 7

Curva de recurrencia sísmica ($\text{Log}(N)$)



De la Figura 7 se obtiene los siguientes valores:

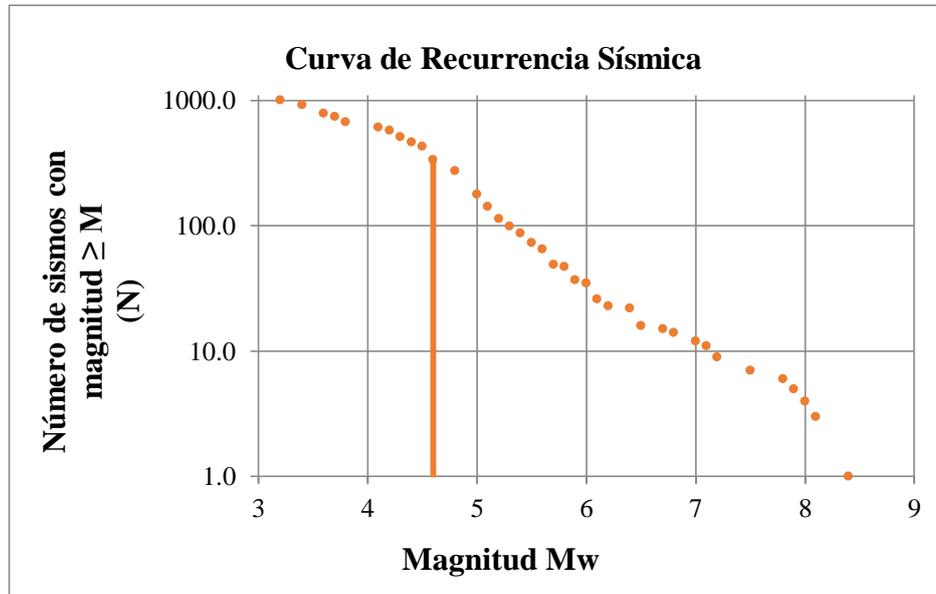
$$b = 0.561 \quad \beta = 1.292$$

Donde β representa al número de eventos de mayor a menor magnitud dentro de la fuente y se expresa como:

$$\beta = b \times \ln 10 \dots \dots \dots (5)$$

La magnitud máxima se define como el evento más grande que pueda ocurrir en la fuente sísmica, el criterio para determinar esta magnitud se basa en que si en una zona sísmica ocurrió un evento extremo, este evento puede ocurrir nuevamente en el futuro y la magnitud mínima se define en función de la completitud del catálogo sísmico y corresponde al punto de inflexión de la curva de recurrencia sísmica, siendo obtenido como el punto máximo de curvatura (Bolaños y Monroy, 2004).

Con esta definición y con la Figura 8 se obtienen los valores de $M_{\text{máx}}$ y M_0 .

Figura 8*Curva de recurrencia sísmica (N)*

$$M_{\text{máx}} = 8.4$$

$$M_o = 4.6$$

Tasa = Tasa media anual de actividad sísmica.

M_o = Magnitud mínima.

$M_{\text{máx}}$ = Magnitud máxima

A partir de la curva de Gutenberg y Richter (Barreto, 2019), se evaluó la recurrencia sísmica de cada fuente, definida por las magnitudes de los eventos sísmicos que cada fuente pueda generar.

De la Figura 8 se observa que para la magnitud mínima $M_o = 4.6$, el valor de N es de 338. El valor de la tasa anual se halla dividiendo N entre la cantidad de años en los que ocurrieron estos sismos, que es de 46 años, de esta división resulta el valor de la tasa que será de 7.34 para esta fuente.

Por último, se obtiene los valores de los parámetros sismológicos para esta fuente:

Tabla 12

Parámetros sismológicos de la fuente sismogénica.

Mmin	Mmáx	β	Tasa anual
4.6	8.4	1.292	7.34

d) Ley de Atenuación

Es utilizada para calcular las aceleraciones probabilísticas para diversos periodos de retorno y permite relacionar la aceleración, velocidad, desplazamientos horizontales y verticales e intensidad en función de la distancia hipocentral o epicentral y magnitud (Alfaro, 2011).

Las relaciones de atenuación están basadas en las siguientes observaciones:

1. Los valores máximos de algún parámetro del movimiento del suelo (aceleración, velocidad, desplazamiento, representados en adelante por la variable A) tienen una función de distribución de probabilidades aproximadamente logarítmica normal.
2. La magnitud sísmica esta típicamente definida como el logaritmo del valor máximo del movimiento del suelo. Por lo tanto, el logaritmo del movimiento del suelo ($\ln A$) debe ser aproximadamente proporcional a la magnitud M.
3. La dispersión de las ondas sísmicas, a medida que se alejan desde el origen del sismo, causa que las amplitudes de las ondas, disminuyan con una relación inversamente proporcional a la distancia ($1/R$).
4. El área sobre la cual la falla ocurre se incrementa con el incremento de la magnitud, como resultado algunas ondas que producen el movimiento del suelo llegan desde una distancia R, y otras llegan de distancias mayores.
5. Una parte de la energía llevada por las ondas sísmicas es absorbida por el material que atraviesa (amortiguamiento del material). Este amortiguamiento del material causa que la amplitud del movimiento disminuya exponencialmente con R.

6. El movimiento del suelo puede ser influenciado por las características del origen del sismo (fallas buzamiento deslizante, normales o inversas) o características del sitio (roca dura, suelo).

Combinando estas observaciones la fórmula de atenuación típica (donde los números indican las observaciones relacionadas con cada término) es la siguiente (Bolaños y Monroy, 2004):

$$\underbrace{\ln A}_{1} = \underbrace{C_1}_{2} + \underbrace{C_2 \cdot M}_{2} + \underbrace{C_3 \cdot M^{C_4}}_{3} + \underbrace{C_5 \cdot \ln [R]}_{3} + \underbrace{C_6 \cdot \exp(C_7 \cdot M)}_{4} + \underbrace{C_8 \cdot R}_{5} + \underbrace{f(\text{origen}) + f(\text{sitio})}_{6} \dots (6)$$

Sadigh, Chang, Egan, Makdisi y Youngs (1997) desarrollaron relaciones de atenuación para sismos corticales, sismos de magnitud momento mayor o igual a 4.0. y distancias de hasta 100 km. El movimiento del suelo, sin embargo, presenta variaciones en su amplitud en varios eventos con características iguales (tamaño, distancia, profundidad) es por esto, que realizaron fórmulas diferentes para tipo de suelo roca y suelos:

- Ley de atenuación para roca:

$$\ln(y) = C_1 + C_2 M_w + C_3 (8.5 M_w)^{2.5} + C_4 \ln(r_{rup} + \exp(C_5 + C_6 M_w)) + C_7 \ln(r_{rup} + 2) \dots (7)$$

Dónde:

y = Aceleración espectral en g

M_w = Magnitud momento

r_{rup} = distancia más cercana al área de rotura (Km)

Los valores de los coeficientes dados en la fórmula, se observan en la tabla 13:

Tabla 13

Coefficientes para ley de atenuación (roca).

Periodo (s)	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Para $M_w \leq 6.5$							
PGA	-0.624	1.0	0.000	-2.100	1.29649	0.250	0.0
0.07	0.110	1.0	0.006	-2.128	1.29649	0.250	-0.082
0.10	0.275	1.0	0.006	-2.148	1.29649	0.250	-0.041
0.20	0.153	1.0	-0.004	-2.080	1.29649	0.250	0.0
0.30	-0.057	1.0	-0.017	-2.028	1.29649	0.250	0.0
0.40	-0.298	1.0	-0.028	-1.990	1.29649	0.250	0.0
0.50	-0.588	1.0	-0.040	-1.945	1.29649	0.250	0.0
0.75	-1.208	1.0	-0.050	-1.865	1.29649	0.250	0.0
1.00	-1.705	1.0	-0.055	-1.800	1.29649	0.250	0.0
1.50	-2.407	1.0	-0.065	-1.725	1.29649	0.250	0.0
2.00	-2.945	1.0	-0.070	-1.670	1.29649	0.250	0.0
3.00	-3.700	1.0	-0.080	-1.610	1.29649	0.250	0.0
4.00	-4.230	1.0	-0.100	-1.570	1.29649	0.250	0.0
Para $M_w > 6.5$							
PGA	-1.274	1.1	0.000	-2.100	-0.48451	0.524	0.0
0.07	-0.540	1.1	0.006	-2.128	-0.48451	0.524	-0.082
0.10	-0.375	1.1	0.006	-2.148	-0.48451	0.524	-0.041
0.20	-0.497	1.1	-0.004	-2.080	-0.48451	0.524	0.0
0.30	-0.707	1.1	-0.017	-2.028	-0.48451	0.524	0.0
0.40	-0.948	1.1	-0.028	-1.990	-0.48451	0.524	0.0
0.50	-1.238	1.1	-0.040	-1.945	-0.48451	0.524	0.0
0.75	-1.858	1.1	-0.050	-1.865	-0.48451	0.524	0.0
1.00	-2.355	1.1	-0.055	-1.800	-0.48451	0.524	0.0
1.50	-3.057	1.1	-0.065	-1.725	-0.48451	0.524	0.0
2.00	-3.595	1.1	-0.070	-1.670	-0.48451	0.524	0.0
3.00	-4.350	1.1	-0.080	-1.610	-0.48451	0.524	0.0
4.00	-4.880	1.1	-0.100	-1.570	-0.48451	0.524	0.0

Nota: Tomado de Sadigh, Chang, Egan, Youngs y Makdisi (1997).

- Ley de atenuación para suelo:

$$\ln(y) = C_1 + C_2 M_w C_3 \ln(r_{rup} + C_4 e^{C_5 M_w}) + C_6 + C_7 (8.5 - M_w)^{2.5} \dots \dots (8)$$

Los coeficientes de la fórmula, dependen de los siguientes parámetros:

C1 y C6: El movimiento del suelo puede ser influenciado por las características del origen del sismo (fallas buzamiento deslizante, normales o inversas)

C2 y C7: El movimiento del suelo puede ser influenciado por las características del sitio (roca, suelo).

C3: La dispersión de las ondas sísmicas, a medida que se alejan desde el origen del sismo, causa que las amplitudes de las ondas varíen.

C4 Y C5: El área sobre la cual la falla ocurre se incrementa con el incremento de la magnitud ($M_w \leq 6.5$, $M_w > 6.5$)

Los valores de los coeficientes dados en la fórmula, son los siguientes:

Tabla 14

Coefficientes para ley de atenuación (suelo).

Periodo (s)	C ₁		C ₂	C ₃	C ₄		C ₅		C ₆		C ₇
	Falla norma	Falla inversa			$M_w \leq 6.5$	$M_w > 6.5$	$M_w \leq 6.5$	$M_w > 6.5$	Falla norma	Falla inversa	
PGA	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.0	0.0	0.0
0.07	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.457	0.457	0.005
0.10	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.639	0.639	0.005
0.20	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.919	0.919	-0.004
0.30	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.955	0.955	-0.014
0.40	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.925	0.901	-0.024
0.50	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.849	0.828	-0.033
0.75	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.701	0.680	-0.051
1.00	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.566	0.508	-0.065
1.50	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.324	0.222	-0.090
2.00	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	0.100	-0.053	-0.108
3.00	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	-0.280	-0.490	-0.139
4.00	-2.17	-1.92	1.0	1.7	2.1863	0.3825	0.32	0.5882	-0.627	-0.891	-0.160

Nota: Tomado de Sadigh, Chang, Egan, Youngs y Makdisi (1997).

Para la APV. Cachimayo, se usa:

- Ley de atenuación para suelo, ya que se tiene suelo tipo grava y finos (ver Figura 23).
- Se usan los coeficientes para falla tipo normal, ya que en el sistema de fallas Cusco, todas las fallas son del tipo normal.
- Se usan los coeficientes para magnitud momento ≤ 6.5 , ya que la máxima magnitud de las fuentes presentes en la Región Cusco, es $M_w = 6$.

e) Ordenadas espectrales

Se definen 9 ordenadas espectrales, para las cuales se determinan los diferentes periodos de vibración:

Tabla 15

Periodos de vibración.

Ordenadas espectrales	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Periodo de vibración (s)	0.00	0.05	0.10	0.15	0.30	0.50	1.00	2.00	3.00

Nota: Tomado de Castañeda (2014).

f) Parámetros globales

La norma E.030 de diseño sismorresistente del 2018 establece el espectro de diseño para un sismo raro que tiene 10% de probabilidad de excedencia en 50 años; es por esto, que los periodos medios de retorno se escogen según el desempeño de las estructuras ante los cuatro eventos sísmicos indicados en la Tabla 16:

Tabla 16

Sismos recomendados por el Comité VISION 2000

Sismo	Vida útil T	Probabilidad de excedencia p*	Periodo medio de retorno tr
Frecuente	30 años	50%	43 años
Ocasional	50 años	50%	72 años
Raro	50 años	10%	475 años
Muy raro	100 años	10%	970 años

Nota: Tomado de SEAOC (1995).

La ventaja de utilizar el programa R- CRISIS radica en la sencilla aplicación de parámetros sísmicos a través de una interfaz gráfica que permite generar un modelo probabilístico de Poisson, considerando distintas fuentes de tipo linear o como puntos. Además, es posible aplicar modelos de atenuación particulares junto con los parámetros sismogénicos de cada fuente, obteniendo mapas y las aceleraciones máximas del suelo.



2.2.7. Vulnerabilidad sísmica

Se denomina vulnerabilidad sísmica al nivel de daño que sufre una estructura debido a la ocurrencia de algún evento sísmico, estos daños, pueden ser de bienes materiales y también de vidas humanas, y a su vez pueden ocasionar la pérdida de la funcionalidad por la ocurrencia de movimientos sísmicos de grandes magnitudes e intensidades, en un periodo de tiempo y en un sitio determinado. Según el tipo de construcción, los materiales de la misma, antigüedad de la vivienda, tipo de suelo y otros factores, se pueden clasificar de más a menos vulnerables (Herrera, 2014).

A. Niveles de vulnerabilidad sísmica

a. Vulnerabilidad Muy Alta (VMA)

Son edificaciones que presentan daños considerables en la estructura, se caracterizan por presentar muros con agrietamientos y rajaduras, generalmente presentan problemas de pandeo humedad, derrumbes parciales, muros inestables e instalaciones básicas deterioradas. Debido al estado precario de estas edificaciones, es necesaria su destrucción y reconstrucción (INDECI, 2011).

b. Vulnerabilidad Alta (VA)

Son edificaciones que presentan daños en paredes y techos, que comprometen parcialmente la estabilidad de la edificación, humedad e instalaciones deterioradas. En este caso si se puede refaccionar la edificación contando con la asistencia de un ingeniero civil o personal técnico calificado (INDECI, 2011).

c. Vulnerabilidad Media (VM)

Son edificaciones que presentan daños mínimos que no afectan la estabilidad de la estructura, generalmente presentan problemas de humedad y fisuras por lo que solo requiere de trabajos de mantenimiento y reparación (INDECI, 2011).

d. Vulnerabilidad Baja (VB)

Son edificaciones que no presentan rajaduras, pandeo, derrumbes, humedad o fisuras, por lo cual no compromete la estabilidad de la estructura (INDECI, 2011).

B. Métodos para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica

En la Tabla 17, se muestra una comparación de los métodos cuantitativo y cualitativo para determinar la vulnerabilidad sísmica.

Tabla 17

Métodos para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica.

a. Método cualitativo	b. Método cuantitativo
<p>Son concebidos para evaluar rápidamente la vulnerabilidad de una edificación, se caracterizan por la facilidad y sencillez al aplicar la metodología.</p> <p>Cuando se requiere determinar la vulnerabilidad de una cantidad considerable de edificaciones, estos métodos permiten realizar una evaluación masiva y rápida. Algunos métodos que utilizan este procedimiento son:</p> <ul style="list-style-type: none">• FEMA 154 (ATC 21).• INDECI• Benedetti y Petrini.	<p>Estos métodos son más complejos, se basan en relacionar parámetros que producen o determinan el comportamiento de la edificación durante un sismo, por ejemplo, las características del sismo, nivel de daño, configuración sísmica, características del suelo y cimentación, materiales, etc.</p> <p>Determinan la vulnerabilidad sísmica con más detalle y objetividad, se realizan cálculos que analizan el comportamiento sismorresistente y evalúan su funcionamiento al producirse el evento sísmico utilizando normas, manuales o distintos reglamentos del país donde fueron desarrollados. Algunos métodos que utilizan este procedimiento son:</p> <ul style="list-style-type: none">• FEMA 310 (ATC 22)• Método Hirosawa

Para la investigación se usa el método cualitativo elaborado por INDECI, debido a que el caso de estudio así lo amerita, ya que se quiere hallar los niveles de vulnerabilidad de una zona representativa de un distrito, la cual no debe ser demasiado extensa ni demasiado pequeña, y que incluya todos los tipos de sistemas de construcción (aporticado, mixto, albañilería de ladrillos cocidos confinado, albañilería de ladrillos cocidos sin confinar, albañilería de ladrillos sin cocer, albañilería de adobes, etc).



C. Método elaborado por INDECI

Este método determina el nivel de vulnerabilidad sísmica de viviendas de abobe, quincha, mampostería, madera, albañilería, concreto armado, acero y otros. Para ellos, utiliza como instrumento de recolección de datos una ficha censal que determina la vulnerabilidad de las viviendas en caso de sismo (INDECI, 2011), de acuerdo a los siguientes factores a evaluar:

1. Material predominante de la edificación.

En la zona se tiene: Adobe, concreto armado y adobe y concreto.

2. Estado de conservación de los elementos estructurales y no estructurales.

Se determina en cuatro niveles: No existe/son precarios, deterioro y/o humedad, regular estado y buen estado.

3. Antigüedad de la edificación.

De años a 50 más, de 20 a 49 años, de 3 a 19 años, de 0 a 2 años.

4. Si la edificación contó con la participación de un ingeniero civil en el diseño y/o construcción

Esto influye en la disposición y medidas de los elementos estructurales, su capacidad de resistencia ante un evento sísmico.

5. Tipo de suelo

En la ficha existen 4 tipos de suelo: orgánico, fino, grava y roca; en la APV. Cachimayo, se tienen suelos finos y grava (Figura 23).

6. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad

La vivienda se encuentra en un terreno inapropiado para edificar cuando está construida sobre los limos y arenas sueltas saturadas, que se contraen bajo los procesos de carga impuestos por la excitación sísmica. Factores como la magnitud y la duración del sismo pueden afectar la capacidad de drenaje a corto plazo del suelo granular saturado, provocando cambios en las tensiones normales, resultando una notable reducción de las tensiones en el terreno, y con ello su resistencia, rigidez y un aumento de las presiones de poro. (González, Moreano, Herranz y

Silvestre, 2015). Se suele asumir que para que el fenómeno de la licuefacción pueda producirse, debe cumplirse lo siguiente:

- El terreno debe ser granular muy poco cohesivo, saturado o muy cercano a la saturación completa, relacionado con terrenos variables desde limos de baja plasticidad hasta gravas, siendo las arenas limpias y los limos de baja o nula plasticidad los terrenos más susceptibles de sufrir licuefacción.
- La excitación sísmica debe tener la magnitud y la duración suficiente como para afectar al drenaje del terreno granular saturado y provocar un aumento de la presión de poro cercano a las tensiones totales naturales del terreno, lo que conllevaría por tanto una drástica disminución de la resistencia del mismo.

Figura 9

Efectos de licuación de suelos después del sismo de Niigata - Japón 1964



Nota: Tomado de González, Moreano, Herranz y Silvestre (2015).

En la APV. Cachimayo, el tipo de suelo existente son finos y gravas (Figura 23), además la zona presenta peligro por inundaciones y zonas con saturación en épocas de lluvias (Figura 21) y al realizar las encuestas, los propietarios señalaron que antes de construir sus viviendas, existía agua en el terreno, y que en algunas de ellas pasaban ríos y había manantes, por lo que se considera que, dado un sismo, podría existir licuefacción de suelos.

g) Topografía del terreno de la vivienda y del área colindante

La pendiente puede ser mayor a 45%, entre 45% a 20%, entre 20% a 10% y hasta 10%.

h) Configuración geométrica en planta y elevación.

La Norma de Diseño Sismorresistente E.030 del 2018 explica el estudio y análisis de distintas irregularidades, tanto en planta como altura. En la presente investigación se estudió las viviendas ubicadas en la APV. Cachimayo, por lo tanto, solo se tiene uso exclusivo de vivienda, por lo cual, no abarca estudios de derivas de entrepiso, rigidez, desplazamientos relativos y/o laterales.

Por lo explicado anteriormente, las irregularidades a tomar en cuenta serán, irregularidad de geometría vertical (irregularidad en altura), irregularidades de esquinas entrantes, discontinuidad de diafragma y sistemas no paralelos (irregularidades en planta). El análisis de dichas irregularidades es necesario para determinar el nivel de vulnerabilidad existente en la zona. En la Tabla 18 se muestran las irregularidades tomadas en cuenta para el nivel de vulnerabilidad:

Tabla 18

Irregularidades en altura y planta.

Irregularidades estructurales en altura o elevación	a) Irregularidad Geométrica Vertical Una estructura es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura es mayor que 1,3 veces la dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.
Irregularidades estructurales en planta	a) Esquinas Entrantes Cuando en ambas direcciones de análisis, las esquinas entrantes son mayores que 20 % de la dimensión total en planta.
	b) Discontinuidad del Diafragma Cuando los diafragmas tienen variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores al 50 % del área total bruta del diafragma.
	c) Sistemas no Paralelos Cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos de resistencia a fuerzas laterales no son paralelos.

Nota: Tomado de RNE (2018)

i) Existencia de concentración de masas en nivel.



Este problema se ocasiona por las altas concentraciones de masa en alguno de los niveles de una edificación, tal como puede ser la existencia de diferentes elementos pesados en dichos niveles como tanques, almacenes, bodegas, entre otros.

Esto no aplica a sótanos ni azoteas debido a que éstas estarían diseñadas para soportar estos pesos.

j) Juntas de dilatación sísmica acorde a la estructura

Toda estructura debe estar separada de las estructuras adyacentes, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima s para evitar el contacto durante un movimiento sísmico, esta distancia no debe ser menor que los $2/3$ de la suma de los desplazamientos máximos de los edificios adyacentes ni menor que:

$$s = 0,006 h \geq 0,03 \text{ m} \dots \dots \dots (9)$$

Donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar s . El edificio debe estar separado de los adyacentes, una distancia no menor que $s/2$ si la edificación existente cuenta con una junta sísmica reglamentaria, en caso de que no exista, el edificio deberá separarse el valor de $s/2$ que le corresponde más el valor $s/2$ de la estructura vecina.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

El nivel de riesgo sísmico, será medio en las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.

2.3.1. Sub hipótesis

H.1. El material predominante de las viviendas es adobe, las cuales, en su mayoría no contaron con la participación técnica de un ingeniero civil y la antigüedad promedio es de 15 años.



H.2. La vulnerabilidad sísmica cualitativa promedio, según la “ficha de verificación para viviendas elaborada por INDECI”, será media en las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.

H.3. El nivel de peligro sísmico probabilístico, será alto en las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables independientes

A. Características de la construcción de las viviendas

Se considera factores como: Material predominante de la edificación, participación de un ingeniero civil, antigüedad de la edificación y cantidad de pisos de la vivienda; los cuales influyen directamente en el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas.

B. Vulnerabilidad sísmica

Que una estructura sea más o menos vulnerable ante un terremoto, es una propiedad intrínseca de la estructura, es decir, es independiente del peligro sísmico del sitio en que se localiza, por lo tanto, una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre localizada en un lugar con cierto nivel de peligro sísmico (Herrera, 2014).

C. Peligro sísmico

Se considera como una magnitud donde la probabilidad de que ocurra un sismo, está vinculada a un área geográfica y un intervalo de tiempo definido, es decir, el peligro sísmico mide la probabilidad de que se produzcan aceleraciones en el suelo debido a la actividad sísmica (Cueva, 2017).

2.4.2. Variables dependientes

A. Riesgo sísmico

El riesgo sísmico relaciona el peligro y vulnerabilidad sísmica, que influye en el grado de perdidas esperadas después de ocurrido un evento sísmico. Se define como la probabilidad de pérdidas de vidas y la posibilidad de que se presenten efectos económicos, sociales y ambientales, como consecuencia de la materialización de la amenaza y del contexto, que facilitan la ocurrencia de desastres (Cueva, 2017).

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 19

Cuadro de operacionalización de variables

	DEFINICIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO
DEPENDIENTE			
Riesgo sísmico	El riesgo sísmico relaciona el peligro, nivel de exposición y vulnerabilidad sísmica. Se define como la probabilidad de pérdidas de vidas y la posibilidad de que se presenten efectos económicos, sociales y ambientales, como consecuencia de la materialización de la amenaza y del contexto, que facilitan la ocurrencia de desastres.	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de vulnerabilidad sísmica. • Nivel de peligro sísmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Norma E.030 de Diseño Sismo resistente • Matriz de peligro y vulnerabilidad.
INDEPENDIENTE			
Características de la construcción de las viviendas	Presencia de características o factores constructivos, que podrían tener un efecto perjudicial en el comportamiento sísmico de las viviendas.	<ul style="list-style-type: none"> • Material predominante de la Edificación. • La Edificación contó con la participación de un ingeniero civil en el diseño y/o construcción. • Antigüedad de la Edificación • Cantidad de Pisos de la Vivienda • Deterioro y/o humedad 	Fichas de verificación de elaboración propia de INDECI



	DEFINICIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE			
Vulnerabilidad sísmica	Capacidad que tienen los elementos de una edificación, para resistir un sismo, el nivel de vulnerabilidad depende de cada estructura, es decir, es independiente del peligro sísmico del sitio en el que se localiza, por lo tanto, una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en un lugar de peligro.	Nivel de vulnerabilidad: <ul style="list-style-type: none"> • Vulnerabilidad Muy Alta. • Vulnerabilidad Alta • Vulnerabilidad Media • Vulnerabilidad Baja 	Fichas de verificación de elaboración propia adaptada de INDECI, que evalúan: <ul style="list-style-type: none"> • Características de construcción de las viviendas. • Existencia de irregularidades geométricas en planta y elevación. • Si cuentan con una junta sísmica reglamentaria. • Estado de los principales elementos estructurales. <p>Norma E.030 de Diseño Sismorresistente del 2018</p> <p>Fotogrametría y levantamiento topográfico con dron.</p> <p>Software Agisoft PhotoScan</p>
Peligro sísmico	Se considera como una magnitud donde la probabilidad de que un sismo tenga cabida queda vinculada a un área geográfica y un intervalo de tiempo definido. En términos “condensados” mide la probabilidad de que se produzcan aceleraciones del suelo debidos a la actividad sísmica.	Nivel de peligro: <ul style="list-style-type: none"> • Peligro Muy Alto • Peligro Alta • Peligro Medio • Peligro Bajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo R- CRISIS • Mapa del Perú en formato asc • Fuentes sismogénicas • Parámetros Sísmicos • Leyes de atenuación sísmica



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es mixto.

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

El nivel de una investigación está dado por el grado de alcance y profundidad que se pretende con la misma. Esta investigación, es explicativa porque responde las causas por las cuales existe riesgo sísmico.

3.1.3. Método de investigación

- a) Método de investigación: hipotética deductiva
- b) Según el tipo de diseño de investigación: No experimental.
- c) Según su prolongación en el tiempo: Transversal o sincrónica.
- d) Según el énfasis en la naturaleza de los datos manejados: Mixta.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño metodológico

El diseño metodológico es no experimental porque se realizó sin manipular las variables y se observaron los fenómenos en su ambiente natural para luego analizarlos (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

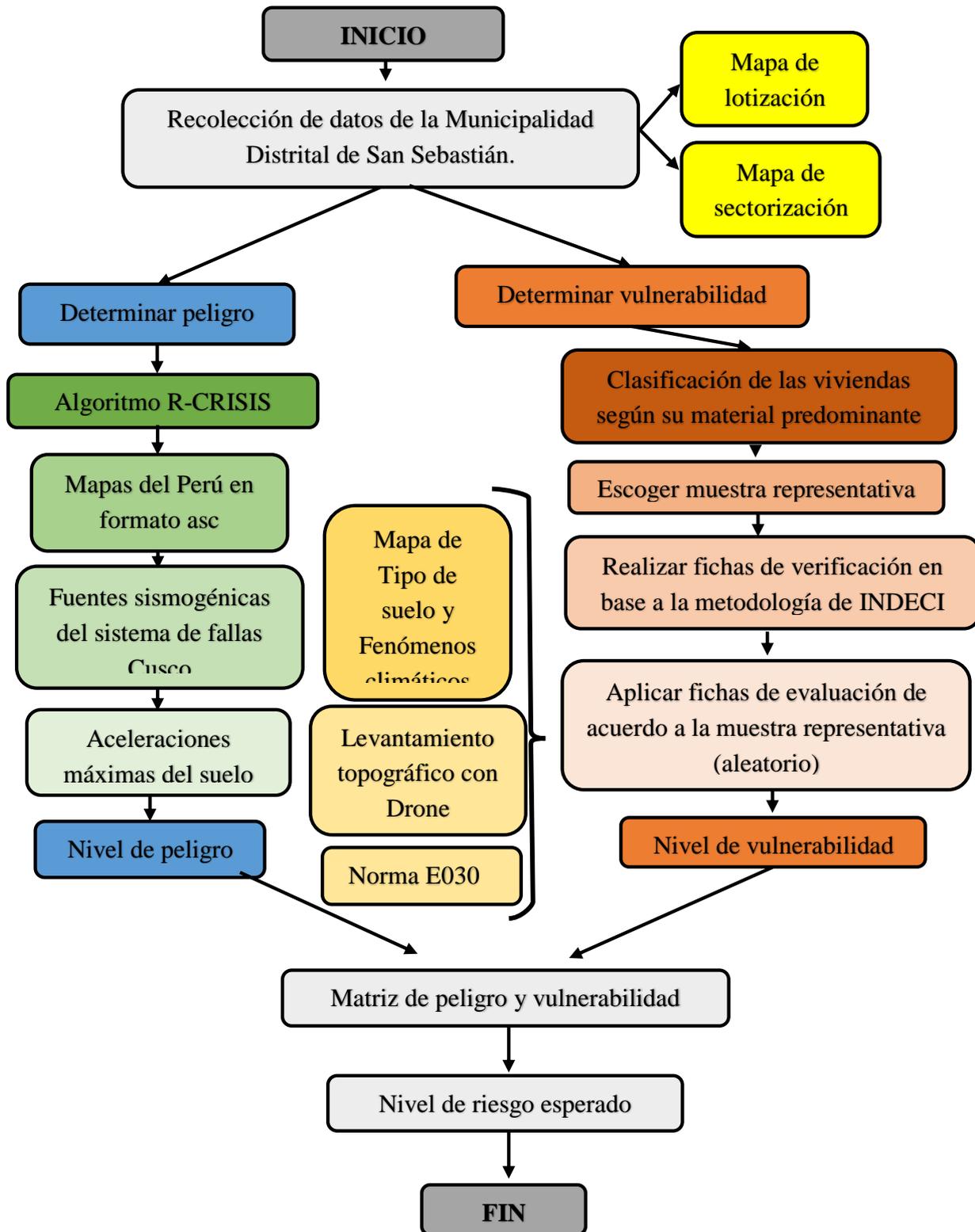
El diseño metodológico en esta investigación no se manipulan experimentalmente las variables dependientes, ya que todos los valores obtenidos en las encuestas sirven para realizar un análisis y poder llegar a resultados de la vulnerabilidad sísmica de muestra estudiada.

El diseño de la investigación es transaccional/transversal porque se recolectaron datos en un solo momento y en un tiempo único, el propósito de este tipo de diseño, es describir variables y analizar su ocurrencia e interacción en un momento dado (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

3.2.2. Diseño de ingeniería.

Figura 10

Diseño de ingeniería.



3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población en la cual se realizó la investigación, fue la APV. Cachimayo ubicada en el Distrito de San Sebastián, Provincia de Cusco, Departamento del Cusco.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

La población es finita y medible, lo que indica que es posible alcanzar a contar toda la población o hasta sobrepasarse, y que incluye un número limitado de medidas y observaciones.

La población total se resume en la Tabla 20, fue clasificada por número de niveles y tipo de material de la construcción (Anexo 1).

Tabla 20

Número de población de acuerdo a la clasificación.

Número total de edificaciones (Población):		204			
Si son viviendas:		170			
No son viviendas:		34			
Número de niveles	Concreto armado	Adobe	Adobe y bloqueta	Metal	Madera
1-3	43	65	2	1	-----
4-6	54	-----	1	-----	-----
7-10	4	-----	-----	-----	-----
Total:	101	65	3	1	0

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

Se calculará la cantidad de viviendas a encuestar según el tamaño de muestra obtenido con la fórmula (Feedback Networks, 2013):

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q} \dots\dots\dots (10)$$

Dónde:

N: Tamaño de la población.

k: Constante que depende del nivel de confianza.

e: Error muestral deseado. Este coeficiente es la diferencia existente entre el resultado que se obtiene preguntando a la muestra y el que se tendría si se pregunta a la población.

n: tamaño de la muestra

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir: 1-p.

p: es la proporción de la población que posee las características de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que p=q=0.5.

El nivel de confianza da a conocer la probabilidad de que los resultados de esta investigación sean verídicos.

Tabla 21

Valores de la constante *k*.

K	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2	2.58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95.5%	99%

Nota: Tomado de Feedback Networks (2013).

Para poder determinar el nivel de confianza se tiene en cuenta que este valor como su propio nombre lo dice, indica el grado de confianza que se tendrá para que el verdadero valor del parámetro se sitúe en el intervalo obtenido, este valor es fijado de acuerdo al investigador. Para determinar el margen de error, se tiene claro que este valor señala un margen de error que se esté dispuesto a tolerar, este valor varía entre:

$$1\% \leq e \leq 10\% (0,01 \leq e \leq 0.1)$$

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

Los valores que se consideraron para la presente investigación fueron:

- Nivel de confianza: 95%
- Margen de error: 10%

Se determina el tamaño de la muestra reemplazando estos valores en la fórmula (10), resultó:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 170}{(0.1^2 * (170 - 1)) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 62$$

3.3.2.3. Método de muestreo

Se considera un tipo de muestreo estratificado, es un método de muestreo probabilístico que consiste en dividir la población en diferentes estratos o subgrupos generalmente, estos estratos se conforman por individuos que comparten características similares. Una vez estratificada la población, se debe seleccionar al azar los sujetos o individuos finales de cada uno de los estratos de forma proporcional, conformando de esta manera la muestra estadística (Contraloría General de la República de Chile, 2012).

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

Se consideró como muestra una cantidad de la población, según el método de muestreo estratificado, se deberá seguir los siguientes pasos:

- a) Identificar las variables para clasificar la población.

Tabla 22

Clasificación de la población.

Número de niveles	Concreto armado	Adobe	Adobe y concreto	Metal
1-3	43	65	2	1
4-6	54	-----	1	-----
7-10	4	-----	-----	-----
Total	101	65	3	1



Población: $N = 170$

Variables: Número de niveles y material.

b) Una vez clasificada la información en función de una variable, se determina el tamaño de la muestra (Anexo 2).

$$n = 62$$

c) El tamaño de cada variable, al ser ponderado respecto al total, establece el tamaño porcentual de los estratos. Cada estrato presenta valores enteros como factores de 100, respecto del tamaño de muestra (n) conformando las unidades que representan una muestra proporcional al tamaño del estrato. Por lo tanto, el tamaño porcentual de los estratos será:

Tabla 23

Tamaño porcentual y muestra proporcional al tamaño de los estratos.

Número de niveles	Concreto armado	Adobe	Adobe y concreto	Metal
1-3	(25%) 15	(38%) 24	(1%) 1	(0.58%) 0
4-6	(32%) 19	-----	(1%) 1	-----
7-10	(2%) 2	-----	-----	-----
Total	(59%) 36	38% (24)	(2%) 2	(0.58%) 0

d) Se deberá extraer al azar los elementos, con una selección aleatoria con la ayuda de Microsoft Excel con la siguiente fórmula: (=ALEATORIO.ENTRE (valores de la población de acuerdo a la clasificación)).

Para poder realizar dicha selección, se enumeró la población existente por cada variable y con esta numeración se elige la muestra aleatoria.

- Para las viviendas de concreto armado de 1 a 3 niveles se tiene una población total de 43 viviendas (las cuales fueron enumeradas del 1 al 43) la muestra son 15 viviendas y son elegidas aleatoriamente, esto se muestra en el Anexo 3.



- Para las viviendas de concreto armado de 4 a 6 niveles se tiene una población total de 54 viviendas (las cuales fueron enumeradas del 1 al 54), la muestra son 19 viviendas y son elegidas aleatoriamente, esto se muestra en el Anexo 4.
- Para las viviendas de concreto armado de 7 a 10 niveles se tiene una población total de 4 viviendas (las cuales fueron enumeradas del 1 al 4), la muestra son 2 viviendas y son elegidas aleatoriamente, esto se muestra en el Anexo 5.
- Para las viviendas de adobe de 1 a 3 niveles se tiene una población total de 65 viviendas (las cuales fueron enumeradas del 1 al 65), la muestra son 24 viviendas y son elegidas aleatoriamente, esto se muestra en el Anexo 6.
- Para las viviendas de concreto-adobe de 1 a 3 niveles se tiene una población total de 2 viviendas (las cuales fueron enumeradas del 1 al 2), la muestra es 1 vivienda y es elegida aleatoriamente, esto se muestra en el Anexo 7.
- Para las viviendas de concreto-adobe de 4 a 6 niveles se tiene una población total de 1 vivienda (la cual fue enumerada), la muestra es 1 vivienda y es elegida aleatoriamente, esto se muestra en el Anexo 8.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

3.4.1.1. Entrevista

Se procedió a visitar las viviendas y en cada una de ellas, se explicó el propósito de estudio, se esperó la aceptación del dueño de la vivienda para poder realizar las encuestas y tomar las fotografías necesarias. Las entrevistas permitieron obtener comentarios y opiniones sobre la construcción y el comportamiento de su vivienda ante un posible evento sísmico.

3.4.1.2. Ficha de encuesta



Se adaptó la ficha elaborada por INDECI denominada “Guía de observación para la determinación de la vulnerabilidad de las viviendas para caso de sismo” (Anexo 9), según la zona de estudio.

Con la ficha adaptada (Anexo 10) se realizaron las encuestas a los propietarios de los inmuebles para obtener datos como nombre del propietario, antigüedad de la edificación, si la vivienda conto con la participación de un ingeniero civil en el diseño y/o construcción, etc.

Para dar validez a la información obtenida, las preguntas fueron fáciles de entender y las fotografías fueron tomadas en alta definición para poder identificar todas las fallas y errores estructurales. Estas fichas dieron como resultado, información detallada de las estructuras, así como errores constructivos de la vivienda, para poder definir si la vivienda es o no, vulnerable.

3.4.1.3. Uso de Drone

Para la ficha de encuesta se necesitaron datos de regularidad en planta, así como topografía de la zona, para lo cual, se realizó un levantamiento topográfico con Drone, este equipo de la marca y modelo DJI Phantom 4 Pro, con las siguientes especificaciones:

- Aeronave con velocidad de vuelo hasta 74 km/h.
- Funcionalidad con GPS y GLONASS.
- Sensores anticolidión infrarrojos y de cámaras por contraste.
- Duración de batería en vuelo de 30 minutos.
- Cámara con resolución efectiva de 20 MP.
- Estabilizador de cámara basada en un cardan de 3 ejes mecánicos.
- Captura de imágenes y video en Formatos JPEG y MP4 de alto Bitrate.
- Control remoto de gran alcance hasta 8km por radiofrecuencia estándar.
- Aplicativos de Software por teléfonos inteligentes para trabajo de planeamientos de vuelo y funciones avanzadas como Drone Deploy y Pix4D Mapper.

Con el cual se pudo obtener el plano con curvas de nivel (Anexo 11) teniendo de esta manera las coordenadas y así poder determinar las pendientes del terreno, de lo que obtuvo que las pendientes existentes no superan al 10% esto se muestra en el Anexo 12, así como fotogrametría

(Figura 11). El levantamiento topográfico permitió obtener modelos digitales del terreno mucho más detallados y precisos y de mejor calidad que las técnicas topográficas tradicionales, ya que la probabilidad de cometer errores en este tipo de levantamiento, son mínimas. La fotogrametría, permitió ver la geometría en planta de cada vivienda, mediante el procesamiento de imágenes fotográficas.

Figura 11

Trabajo en campo con Drone



Figura 12

Fotogrametría de la APV. Cachimayo



3.4.2. Instrumentos de ingeniería

- Guías normativas de INDECI.
- Reglamento nacional de edificaciones, diseño sismorresistente E.030 del 2018.

- Software de ingeniería:
 - ✓ Software Microsoft Excel.
 - ✓ AutoCAD.
 - ✓ AutoCAD Civil 3D.
 - ✓ Software Google Earth.
 - ✓ Algoritmo R-Crisis.
 - ✓ Software Agisoft PhotoScan.

3.5. Procedimientos de recolección de datos

3.5.1. Ficha de verificación- Determinación de la vulnerabilidad de las viviendas para caso de sismo

a) Procedimiento

Se visitaron las 62 viviendas determinadas por la muestra (Anexo 2), se observó cada una de ellas desde el exterior, para determinar si existía deterioro y si este, comprometía el área colindante, así como el material predominante y cantidad de pisos de la edificación.

Figura 13

(a) Estado del tarrajeo de una vivienda y (b) Muro de una vivienda vulnerable.



(a)



(b)

Se explicó el propósito de estudio, esperando la aceptación del dueño de la vivienda para poder realizar las encuestas y tomar las fotografías.

Figura 14

Entrevistas realizadas en la APV. Cachimayo.



Se realizaron las preguntas necesarias como nombres y apellidos del entrevistado, total de ocupantes, si la edificación conto con la participación de un ingeniero civil en la construcción y/o diseño, la antigüedad de la vivienda y se observó el estado en el que se encontraban los elementos estructurales y no estructurales, y también otros factores que podrían afectar a la vulnerabilidad de la vivienda.

Figura 15

Estado del techo de una vivienda.



Figura 16

Estado de los muros portantes



Figura 17

Estado del sobrecimiento



Figura 18

Estado del dintel de una vivienda.



Las discontinuidades de las estructuras, las juntas de dilatación y la altura de entrepiso fueron medidas previas a una autorización de los propietarios, todo ellos para más tarde poder calcular si existían irregularidades en elevación y si las juntas de dilatación sísmica, eran acorde a la estructura.

Figura 19

Medición de discontinuidades, juntas de dilatación y alturas de entrepiso.



b) Recolección de datos

La recolección de datos permitirá obtener los niveles de vulnerabilidad existentes de acuerdo a los indicadores establecidos en la ficha de verificación adaptada de INDECI (Anexo 10), para cada uno de ellos se consideraron distintos instrumentos los cuales se detallan en la Tabla 24:

Tabla 24

Indicadores e instrumentos para determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica.

Parámetro	Indicador	Nivel de vulnerabilidad sísmica	Instrumento
Información del inmueble por observacion directa			
1. Desde el exterior se puede observar	Compromete el área colindante	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Fotogrametría (Figura 12). • Fachada con grietas o rajaduras, los elementos estructurales presentan pandeo y/o humedad, existen derrumbes parciales y muros inestables.
	No compromete el area colindante	Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Fotogrametría (Figura 12). • Existe humedad y *fisuras.
	No muestra precariedad	Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Fotogrametría (Figura 12). • No presentan grietas o rajaduras, pandeo, derrumbes, humedad o fisuras.



Parámetro	Indicador	Nivel de vulnerabilidad sísmica	Instrumento
Características del tipo de vivienda			
1. Cuenta con puerta independiente	Si, cuenta con puerta de calle	Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa
	No, es parte de un complejo multifamiliar	Muy alta	
2. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad	La vivienda se encuentra en un terreno inapropiado para edificar	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando la vivienda se encuentra en suelo tipo grava o fino (Figura 23) y el suelo presenta saturación (Figura 21), esto producirá licuefacción del suelo.
	No aplica	Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando la vivienda se encuentra en suelo tipo orgánico o roca (Anexo 14) y no se presente un suelo saturado (Figura 21).
Características de la construcción de la vivienda			
1. Material predominante de la edificación	Adobe	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa
	Adobe y concreto	Muy alta	
	Concreto armado	Baja	
2. La edificación contó con la participación de un ingeniero civil	No participó	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Pregunta realizada al propietario de la vivienda.
	Si, en el diseño	Alta	
	Solo en la construcción	Alta	
	Si, totalmente	Baja	
3. Antigüedad de la edificación	De 50 años a más	Muy alta	
	De 20 a 49 años	Alta	
	De 3 a 19 años	Media	
	De 0 a 2 años	Baja	
4. Tipo de suelo	Orgánico	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación de acuerdo al mapa de tipo de suelos de la ciudad del cusco (Anexo 14) y tipos de suelo de la zona de estudio (Figura 23).
	Fino	Alta	
	Grava	Media	
	Roca	Baja	
5. Topografía del terreno de la vivienda	Mayor a 45%	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Pendientes obtenidas de acuerdo al levantamiento topográfico con Drone (Anexo 12).
	Entre 45% y 20%	Alta	
	Entre 20% a 10%	Media	
	Hasta 10%	Baja	
6. Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia	Mayor a 45%	Muy alta	
	Entre 45% y 20%	Alta	
	Entre 20% a 10%	Media	
	Hasta 10%	Baja	
7. Configuración geométrica en planta	Irregular	Muy alta	.Fotogrametría (Figura 12). <ul style="list-style-type: none"> • No cumple con el/los parámetros establecidos en la Norma E030 de diseño sismorresistente (Tabla 25).
	Regular	Baja	Fotogrametría (Figura 12). <ul style="list-style-type: none"> • Cumple con los parámetros establecidos en la Norma E030 de diseño sismorresistente (Tabla 25).



Parámetro	Indicador	Nivel de vulnerabilidad sísmica	Instrumento
8. Configuración geométrica en elevación	Irregular	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Fotogrametría (Figura 12). • No cumple con el/los parámetros establecidos en la Norma E030 de diseño sismorresistente (Tabla 25).
	Regular	Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Fotogrametría (Figura 12). • Cumple con los parámetros establecidos en la Norma E030 de diseño sismorresistente (Tabla 25).
9. Separación entre edificios	No existe/ son precarios	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Medición in situ. • No cumple con lo establecido en la Norma E030 de diseño sismorresistente (Fórmula 9).
	Si existe	Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Medición in situ. • Cumple con lo establecido en la Norma E030 de diseño sismorresistente (Fórmula 9).
10. Existe concentración de masas en nivel	Existe	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa del uso de los diferentes niveles de la vivienda, así como la continuidad de elementos estructurales.
	No existe	Baja	
11. En los principales elementos estructurales se observa	No existe/ son precarios	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Presenta muros con grietas o rajaduras, los elementos estructurales presentan pandeo y/o humedad, existen derrumbes parciales y muros inestables.
	Deterioro y/o humedad	Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Existe humedad y fisuras.
12. En los elementos no estructurales se observa	Regular estado	Media	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Presenta fisuras por lo que solo requiere de trabajos de mantenimiento y reparación.
	Buen estado	Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • No presentan grietas o rajaduras, pandeo, derrumbes, humedad o fisuras.

Parámetro	Indicador	Nivel de vulnerabilidad sísmica	Instrumento
13. Otros factores que inciden en la vulnerabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Debilitamiento por modificaciones • Debilitamiento por sobrecarga • Cargas laterales • Colapso en elementos del entorno 	Muy alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • Presencia de humedad. • Mal uso de los diferentes niveles de la vivienda. • Mala distribución y/o continuidad de los elementos estructurales. • Cargas a externas que afecten la estabilidad de la estructura. • Viviendas que tengan elementos verticales u horizontales en colapso, las cuales puedan afectar a viviendas del entorno.
	Vanos mayores al 30%	Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa. • No exista presencia de columnas en una longitud que supere al 30% de la longitud total.
	Tabiques sin arriostre	Media	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • No existen arriostres horizontales y/o verticales en los tabiques.
	Diferentes materiales en la construcción	Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Las viviendas presenten dos o más tipos de materiales en su construcción..

B. Información del inmueble por observación directa

1. Desde el exterior se puede observar que:

A simple vista la mayoría de las viviendas, no muestran precariedad, pero existe también un gran porcentaje de viviendas que en caso de la ocurrencia de un sismo podrían colapsar por el predominante deterioro producido por la calidad de los materiales, antigüedad de las mismas y/o falta de algunos elementos estructurales, entre otros.

Figura 20

(a) Si compromete el área colindante, (b) No compromete el área colindante y (c) No muestra precariedad.



(a)



(b)



(c)

C. Características del tipo de vivienda

1. Cuenta con puerta independiente

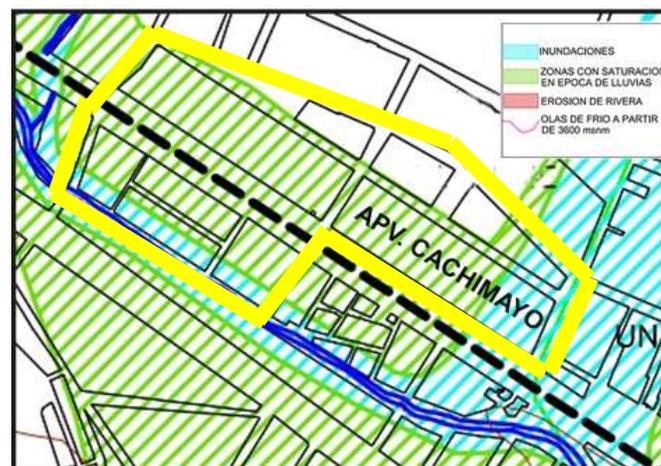
Este análisis permitió determinar cuál es el porcentaje de población que cuenta con la facilidad para acceder a una ruta de evacuación y colocarse en zonas seguras debido a que estas tienen puertas independientes que facilitarían dicha evacuación.

2. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad

Según el plano de peligros por fenómenos climáticos elaborado por Fernández, C. 2004 (Anexo 13), la zona de estudio presenta peligro por inundaciones y zonas con saturación en épocas de lluvias, como se muestra en la Figura 21:

Figura 21

Mapa de fenómenos climáticos de la A.P.V Cachimayo



Nota: Tomado de Fernández (2004).

Así mismo se presenta el mapa de tipo de suelos de la ciudad del Cusco (Anexo 14) elaborada por Fernández, C. 2004, en el cual nuestra zona está señalada con tipo de suelos fino y gravas.

Debido a la existencia de peligro por estos fenómenos climáticos se considera que, dado un sismo, podría existir licuefacción de suelos, ya que las viviendas de la A.P.V. Cachimayo están asentadas sobre suelo fino y grava (Ver Figura 23).

D. Características de la construcción de la vivienda

1. Material predominante de la edificación

La Figura 22 muestra los tipos de materiales con los que se encuentran construidas las viviendas de la A.P.V. Cachimayo, lo cual permitió posteriormente medir el nivel de vulnerabilidad sísmica.

Figura 22

(a) Adobe, (b) Adobe y concreto y (c) Concreto armado



(a)



(b)



(c)

2. La edificación contó con la participación de un ingeniero civil

Las viviendas que han sido construidas con planos, junto a la supervisión de un ingeniero civil tienen la garantía de haberse ejecutado de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), lo que permitirá un mejor comportamiento frente a un sismo.

3. Antigüedad de la edificación

El tiempo de vida útil de las viviendas es de 50 años, es decir que para viviendas con mayor antigüedad la vulnerabilidad será muy alta.

4. Tipo de suelo

Para poder determinar dicho parámetro se hizo uso de estudios de microzonificación sísmica de la Región Cusco. La Figura 23, muestra la zona de estudio, que cuenta en una mayor parte con suelo fino y en un menor porcentaje con suelo tipo grava:

Figura 23

Mapa de tipo de suelo de la A.P.V Cachimayo.



Nota: Tomado de Fernández (2004).

5. Topografía del terreno de la vivienda

Para este ítem, se realizó un levantamiento topográfico con dron y con el procesamiento en el programa Agisoft PhotoScan, las pendientes obtenidas fueron menores al 10% (Anexo 12).

6. Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia

La construcción de una vivienda de acuerdo al terreno de edificación también afectará en las construcciones de los terrenos colindantes, afectando directamente en su vulnerabilidad.

7. Configuración geométrica en planta

Las viviendas que son regulares en planta, tendrán un mejor comportamiento estructural debido a que tienen su centro de gravedad en el punto de equilibrio, que hace que la estructura sea más estable (Tabla 25), fué posible de evaluar gracias al trabajo realizado en campo y con la ayuda del dron.

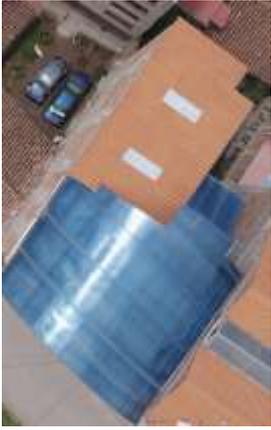
8. Configuración geométrica en elevación

Las viviendas que son regulares en elevación, tendrán un mejor comportamiento estructural y mayor rigidez (Tabla 25).

Tabla 25

Análisis de irregularidades

IRREGULARIDAD	VISTA EN PLANTA	CALCULOS
Geometría vertical		$b2 > 1.3 \cdot b1$ $\frac{b2}{b1} > 1.3$ $\frac{8.78}{8.08} > 1.3 \quad \rightarrow \quad 1.09 > 1.3$ <p>No existe irregularidad en altura</p>
Discontinuidad de diafragma		$A' > 50\% A_{total}$ $\frac{A'}{A_{total}} > 0.05$ $\frac{10.81}{199.36} > 0.05 \quad \rightarrow \quad 0.0542 > 0.05$ <p>No existe irregularidad en planta</p>

IRREGULARIDAD	VISTA EN PLANTA	CALCULOS
Esquinas entrantes		$a > 0.2 A$ $b > 0.2 B$ $\frac{a}{A} > 0.2$ $\frac{b}{B} > 0.2$ $0.427 > 0.2$ $0.714 > 0.2$ <p>Si hay irregularidad en planta</p>

Después del trabajo realizado en campo se pudo ver que ninguna de las viviendas presentaba irregularidad de sistemas no paralelos y que algunas viviendas presentaban a primera vista irregularidad de geometría vertical para lo cual fue necesario realizar los cálculos de acuerdo a lo señalado en la Norma de Diseñosismorresistente E.030, una vez realizado los cálculos se pudo comprobar que ninguna de las viviendas presenta irregularidad de geometría vertical:

Tabla 26

Resumen de irregularidades correspondientes a toda la muestra.

Irregularidad	Si presentan irregularidad
Discontinuidad de diafragma	1
Esquinas entrantes	3

9. Separación entre edificios

Uno de los indicadores de la ficha de verificación, es determinar si la separación entre edificios existen o no existen/son precarias.

La separación entre edificios tiene como finalidad absorber la energía que se produce por efecto de dilatación o contracción en las estructuras de acuerdo con la longitud de éstas, y para evitar rajaduras o grietas producidas por cambios de temperatura (Fórmula 9).

Tabla 27

Análisis de las juntas sísmicas

<p>Ejemplo 1 Datos: Altura de entrepiso = 2.8 m Número de niveles = 3 Figura 24 (c)</p>	<p>Desarrollo: $h = 2.8 * 3 = 8.4 \text{ m}$ $s = 0.006 * 8.4 = 0.05$ $0.05 \text{ m} \geq 0.03 \text{ m}$ CUMPLE La junta existente en la vivienda es de 8 cm $0.08 \geq 0.05$ LA JUNTA EXISTENTE ES CORRECTA</p>			
<p>Ejemplo 2 Datos: Altura de entrepiso = 3.0 m Número de niveles = 7 Figura 24 (b)</p>	<p>Desarrollo: $h = 3.0 * 7 = 21.00 \text{ m}$ $s = 0.006 * 21.00 = 0.13$ $0.13 \text{ m} \geq 0.03 \text{ m}$ CUMPLE La junta existente en la vivienda es de 8 cm $0.08 \geq 0.13$ LA JUNTA EXISTENTE NO ES CORRECTA</p>			
<p style="text-align: center;">Junta sísmica</p>	<p style="text-align: center;">Correcta</p>	<p style="text-align: center;">Incorrecta</p>	<p style="text-align: center;">No existe</p>	<p style="text-align: center;">Total</p>
	<p style="text-align: center;">5</p>	<p style="text-align: center;">4</p>	<p style="text-align: center;">53</p>	<p style="text-align: center;">62</p>

Durante el trabajo de observación en campo se pudo observar que solo 9 viviendas presentan junta sísmica, para lo cual se tuvo que verificar si esta junta cumplía con lo descrito en la norma de Diseño Sismorresistente E.030. Se calcula usando la ecuación (3), de la siguiente manera:

Figura 24

(a) No existe junta sísmica, (b) Son precarias y (c) Si existe junta sísmica.



(a)



(b)



(c)

10. Existe concentración de masas en nivel

La concentración de masas en nivel, ocasiona que los efectos de las ondas sísmicas incrementen su intensidad, originando de esta manera un mayor nivel de vulnerabilidad.

11. Elementos estructurales

Se evaluaron el sobrecimiento, columnas, muros portantes y vigas, en los 4 niveles explicados anteriormente.

a) Sobrecimiento

Figura 25

(a) Sobrecimientos deteriorado y (b) Sobrecimientos que presentan humedad



(a)



(b)

b) Columnas

Figura 26

(a) Columnas precarias, (b) Columna con fisuras y (c) Columnas en buen estado



(a)



(b)



(c)

c) Muros portantes

Figura 27

(a) Muros portantes precarios y (b) Muro que presenta humedad



(a)



(b)

d) Vigas

Figura 28

Vigas que presentan humedad.



12. Elementos no estructurales

En este indicador, se evaluaron techos, tarrajeo y los dinteles, en los 4 niveles explicados.

12.1.Techos

Figura 29

(a) Techo precario y (b) Techo que presenta deterioro y humedad



(a)



(b)

12.2.Tarrajeo

Figura 30

(a) Vivienda sin tarrajeo, (b) Tarrajeo con humedad y (c) Tarrajeo en buen estado



(a)



(b)



(c)

12.3.Dintel

Figura 31

(a) Dintel precario, (b) Dintel que presenta fisuras y (c) Dintel en buen estado



(a)



(b)



(c)

13. Otros factores que inciden en la vulnerabilidad

Se identificó otros factores que inciden directamente en la existencia de un mayor nivel de vulnerabilidad de las viviendas, algunos de ellos son:

Figura 32

(a) Vivienda que presenta humedad y (b) Debilitamiento por modificaciones



(a)



(b)

Figura 33

(a) Vanos mayores al 30%, (b) Tabiques sin arriostres y (c) Diferentes materiales en la construcción.



(a)



(b)



(c)

Con los datos de cada uno de los parámetros evaluados, de acuerdo a los indicadores e instrumentos se llenó la ficha adaptada de INDECI para cada una de las viviendas de la muestra representativa. Se presenta el ejemplo del caso de una de las viviendas:

A. UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA VIVIENDA

Se completa los datos de la vivienda.

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	2. UBICACIÓN CENSAL	3. FECHA		
1. Departamento CUSCO	1. Manzana C	Día 06	Mes 10	Año 19
2. Provincia CUSCO	2. Lote 0037			
3. Distrito SAN SEBASTIÁN	3. Número en el plano 0020			

B. INFORMACIÓN DEL INMUEBLE POR OBSERVACIÓN DIRECTA

1. Desde el exterior se puede observar que: No muestra precariedad.

Figura 34

Fachada de la vivienda número 20



2. La vivienda se encuentra: Habitada

Después de analizar estos parámetros, se llena la ficha de la siguiente manera:

1. DESDE EL EXTERIOR SE PUEDE OBSERVAR QUE:			2. LA VIVIENDA SE ENCUENTRA:	
	Características	Valor		
1.	<input type="radio"/> Ante colapso, por el predominante deterioro, SI compromete el área colindante	4	1.	<input checked="" type="radio"/> Habitada
2.	<input type="radio"/> Ante colapso, por el predominante deterioro, NO compromete el área colindante	3	2.	<input type="radio"/> No habitada
3.	<input checked="" type="radio"/> No muestra precariedad	1	3.	<input type="radio"/> Habitada, pero sin ocupantes
			4.	<input type="radio"/> Rechaza verificación

C. CARACTERÍSTICAS DEL TIPO DE VIVIENDA

1. Cuenta con puerta independiente: Si cuenta con puerta a la calle.

Figura 35

Puerta de calle de la vivienda número 20



2. Total de ocupantes: 7

3. Cantidad de pisos: 2

4. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad: La vivienda se encuentra en un terreno inapropiado para edificar.

Después de analizar estos parámetros, se llena la ficha de la siguiente manera:

1. CUENTA CON PUERTA INDEPENDIENTE			2. TOTAL DE OCUPANTES			3. CANTIDAD DE PISOS							
Características		Valor	1. De la vivienda:			1. Superiores							
1.	<input checked="" type="radio"/> SI, cuenta con puerta de calle	1	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td>7</td> </tr> </table>					7	<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </table>			0	2
		7											
0	2												
2.	<input type="radio"/> NO, es parte de un complejo multifamiliar	4				<table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>			0	0			
0	0												
4. FACTORES CRÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD													
Características							Valor						
1.	<input checked="" type="radio"/>	La vivienda se encuentra en un terreno inapropiado para edificar*					4						
2.	<input type="radio"/>	No aplica					1						
* Suelo donde se pueda producir licuefacción													

D. CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA

1. Material predominante de la edificación: Adobe

2. La edificación contó con la participación de un ingeniero civil: Solo diseño

1. MATERIAL PREDOMINANTE DE LA EDIFICACIÓN		2. LA EDIFICACION CONTO CON LA PARTICIPACIÓN DE UN INGENIERO CIVIL	
Característica	Valor	Característica	Valor
1. <input checked="" type="radio"/> Adobe	4	1. <input type="radio"/> No	4
2. <input type="radio"/> Adobe y concreto	4	2. <input type="radio"/> Solo construcción	3
3. <input type="radio"/> Concreto armado	1	3. <input checked="" type="radio"/> Solo diseño	3
		4. <input type="radio"/> Si, totalmente	1

3. Antigüedad de la edificación: De 20 a 49 años

3. ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN							
Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor
1. <input type="radio"/> De 50 años a más	4	2. <input checked="" type="radio"/> De 20 a 49 años	3	3. <input type="radio"/> De 3 a 19 años	2	4. <input type="radio"/> De 0 a 2 años	1

4. Tipo de suelo: Fino



4. TIPO DE SUELO							
Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor
1. <input type="radio"/> Orgánico	4	2. <input checked="" type="radio"/> Fino	3	3. <input type="radio"/> Grava	2	4. <input type="radio"/> Roca	1

5. Topografía del terreno de la vivienda: Hasta 10% (Anexo 12)

5. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO DE LA VIVIENDA							
Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor
1. <input type="radio"/> Mayor a 45%	4	2. <input type="radio"/> Entre 45% a 20%	3	3. <input type="radio"/> Entre 20% a 10%	2	4. <input checked="" type="radio"/> Hasta 10%	1

6. Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia: Hasta 10% (Anexo 12).

6. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO COLINDANTE A LA VIVIENDA Y/O ÁREA DE INFLUENCIA							
Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor
1. <input type="radio"/> Mayor a 45%	4	2. <input type="radio"/> Entre 45% a 20%	3	3. <input type="radio"/> Entre 20% a 10%	2	4. <input checked="" type="radio"/> Hasta 10%	1

7. Configuración geométrica en planta: Regular

Figura 36

Configuración geométrica en planta de la vivienda número 20



7. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN PLANTA			
Característica	Valor	Característica	Valor
1. ○ Irregular	4	2. ● Regular	1

8. Configuración geométrica en elevación: Regular

Figura 37

Configuración geométrica en elevación de la vivienda número 20



8. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN ELEVACIÓN			
Característica	Valor	Característica	Valor
1. ○ Irregular	4	2. ● Regular	1

9. Separación entre edificios: No existe/ son precarias

9. SEPARACIÓN ENTRE EDIFICIOS					
Característica		Valor	Característica		Valor
1.	<input checked="" type="radio"/> No existe/son precarios	4	2.	<input type="radio"/> Si existe	1

10. Existe concentración de masas en nivel: No existe

10. EXISTE CONCENTRACIÓN DE MASAS EN NIVEL					
Característica		Valor	Característica		Valor
3.	<input type="radio"/> Existe	4	4.	<input checked="" type="radio"/> No existe	1

11. En los principales elementos estructurales se observa:

El estado de los elementos estructurales de la vivienda número 20 se muestra en la Figura 38:

Figura 38

Estado de los elementos estructurales de la vivienda número 20



Sobrecimiento:
Deterioro y/o
humedad



Columnas:
No existen



Muros portantes:
Deterioro y/o humedad



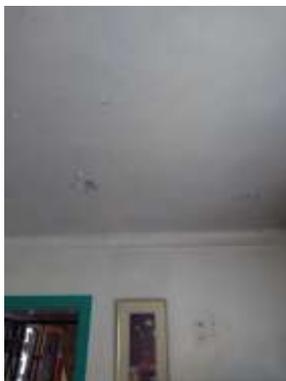
Vigas:
Son precarias

11. EN LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE OBSERVA							
No existe/son precarios		Deterioro y/o humedad		Regular estado		Buen estado	
1.	<input type="radio"/> Sobrecimiento	1.	<input checked="" type="radio"/> Sobrecimiento	1.	<input type="radio"/> Sobrecimiento	1.	<input type="radio"/> Sobrecimiento
2.	<input checked="" type="radio"/> Columnas	2.	<input type="radio"/> Columnas	2.	<input type="radio"/> Columnas	2.	<input type="radio"/> Columnas
3.	<input type="radio"/> Muros portantes	3.	<input checked="" type="radio"/> Muros portantes	3.	<input type="radio"/> Muros portantes	3.	<input type="radio"/> Muros portantes
4.	<input checked="" type="radio"/> Vigas	4.	<input type="radio"/> Vigas	4.	<input type="radio"/> Vigas	4.	<input type="radio"/> Vigas
4		3		2		1	

12. En los elementos no estructurales se observa: El estado de los elementos no estructurales de la vivienda número 20 es:

Figura 39

Estado de los elementos no estructurales de la vivienda número 20



Techo:

Deterioro y/o humedad



Tarrajeo:

deterioro y/o humedad



Dintel:

regular estado

12. EN LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES SE OBSERVA							
No existe/son precarios		Deterioro y/o humedad		Regular estado		Buen estado	
1. <input type="radio"/> Techos	4	1. <input checked="" type="radio"/> Techos	3	1. <input type="radio"/> Techos	2	1. <input type="radio"/> Techos	1
2. <input type="radio"/> Tarrajeo		2. <input checked="" type="radio"/> Tarrajeo		2. <input type="radio"/> Tarrajeo		2. <input type="radio"/> Tarrajeo	
3. <input type="radio"/> Dintel*		3. <input type="radio"/> Dintel*		3. <input checked="" type="radio"/> Dintel*		3. <input type="radio"/> Dintel*	

* Para viviendas de adobe

13. Otros factores que inciden en la vulnerabilidad:

La humedad, modificaciones en la construcción y los diferentes materiales, son los que inciden en el nivel de vulnerabilidad de la vivienda número 20:

13. OTROS FACTORES QUE INCIDEN EN LA VULNERABILIDAD							
Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor	Característica	Valor
1. <input checked="" type="radio"/> Humedad	4	1. <input type="radio"/> Cargas laterales	4	1. <input type="radio"/> Vanos mayores al 30%	3	1. <input type="radio"/> Tabiques sin arriostres	2
2. <input checked="" type="radio"/> Debilitamiento por modificaciones		2. <input type="radio"/> Colapso en elementos del entorno				2. <input checked="" type="radio"/> Diferentes materiales en la construcción	1
3. <input type="radio"/> Debilitamiento por sobrecarga							

Figura 40

Factores que inciden en la vulnerabilidad de la vivienda número 20



Humedad



Debilitamiento por modificaciones



Diferentes materiales en la construcción

E. NIVEL DE VULNERABILIDAD

Nivel de vulnerabilidad	Rango del valor	E. NIVEL DE VULNERABILIDAD	
MUY ALTA	Mayor a 37	1. SUMATORIA DE VALORES	38
ALTA	Entre 28 y 36	2. NIVEL DE VULNERABILIDAD	Muy alta
MEDIA	Entre 24 y 27		
BAJA	Hasta 23		

3.5.2. Algoritmo R-Crisis

1. Fuentes Sismogénicas

Para la investigación, se utilizan las fuentes sismogénicas correspondientes a deformación cortical, considerando la distribución espacial de los diversos sistemas de fallas geológicas propuestas por Macharé, Fenton, Machette, Lavenu, Costa, Richard y Dart (2003).

Macharé et al. (2003) en su estudio, consideraron la falla Cusco como un área de fuente sísmica históricamente activa, que mide 97,4 km y se compone de seis fallas (Zurite, Tamboray, Qoricocha, Tambomachay, Pachatusan y Urcos) que parecen tener historias de ruptura algo independientes. La falla Qoricocha fue reactivada en 1986 con 1-10 cm de deslizamiento, mientras que la falla Urcos tuvo una cantidad desconocida de ruptura de la superficie en 1965.

Tabla 28*Fallas cuaternarias de Cusco.*

Nombre de la falla	Sentido de movimiento	Falla más reciente	Tasa de deslizamiento en mm/año
Zona de falla Cusco	Normal	1965 y 1986	0.2 – 1

Nota: Adaptado de *Macharé, J. et al (2003)*

2. Características geométricas de las fuentes sismogénicas

De las 11 fuentes sismogénicas corticales existentes, se utilizaron la F-16, F-17, F-18 y F-19, ya que estas son las que comprometen la región Cusco (Tabla 29).

Tabla 29*Coordenadas y profundidades de las Fuentes Corticales F16, F17, F18 y F19*

Fuente	Coordenadas geográficas		Profundidad (Km)
	Longitud	Latitud	
F16	-75.205	-12.049	30
	-75.126	-12.226	30
	-72.954	-11.734	30
	-72.841	-11.707	30
	-73.562	-10.009	30
	-74.482	-9.247	30
	-74.627	-9.275	30
	-76.346	-9.655	30
F17	-75.779	-13.943	30
	-74.812	-14.802	30
	-73.733	-13.741	30
	-72.954	-11.734	30
	-75.126	-12.226	30
	-75.205	-12.049	30

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (Km)
	Longitud	Latitud	
F18	-74.502	-15.081	30
	-70.983	-17.299	30
	-69.904	-18.347	30
	-69.497	-18.036	30
	-69.354	-17.937	30
	-70.352	-15.541	30
	-70.575	-15.422	30
	-73.194	-14.027	30
	-73.733	-13.741	30
	-74.812	-14.802	30
F19	-70.575	-15.422	30
	-69.801	-12.399	30
	-72.582	-11.26	30
	-73.194	-14.027	30

Nota: Tomado de Tavera, Bernal, Condori, Ordaz, Ishizawa y Zevallos (2014).

3. Parámetros Sísmicos

Las fuentes sismogénicas y los parámetros sismológicos que se muestran en la Tabla 30, fueron escogidos, ya que afectan directamente a la región Cusco.

Tabla 30

Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas F16, F17, F18 y F19

Fuente	Mw			
	Mmin	Mmáx	β	Tasa anual
F16	5.2	5.5	2.74	1.60
F17	5.2	5.5	4.01	0.44
F18	4.8	5.5	2.83	1.48
F19	5.0	6.0	2.29	0.30

Nota: Tomado de Tavera, Bernal, Condori, Ordaz, Ishizawa y Zevallos (2014).

4. Ley de Atenuación

Se utilizó la fórmula 8 de las leyes de atenuación para suelo de Sadigh et al. (1997).

5. Ordenadas espectrales

Para el cálculo, se consideran 9 ordenadas espectrales, tal como se muestra en la Tabla 15.

6. Parámetros globales

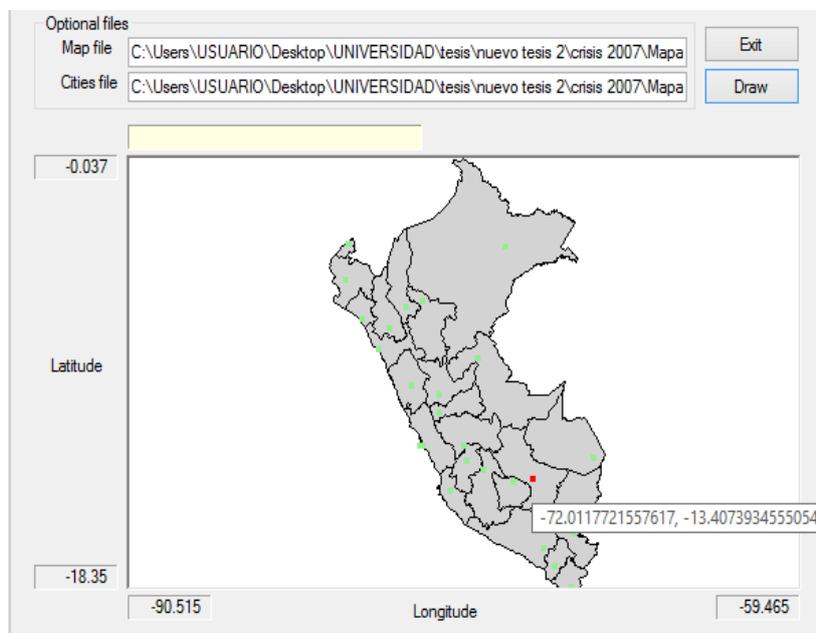
Los periodos medios de retorno escogidos son: 43 años, 72 años, 475 años y 970 años (Ver Tabla 16).

A continuación, se explica el proceso de ingreso de datos en el programa R-CRISIS:

1. Se abre el programa R- CRISIS y se ingresa los mapas del Perú y de todas sus regiones

Figura 41

Mapa del Perú en formato aci.



2. Se ingresan las fuentes sismogénicas de la región Cusco (F-16, F-17, F-18 y F-19) con sus respectivas coordenadas y profundidad.

Figura 42

Coordenadas y profundidad de la fuente 16.

Source operations

Area Add new source

Rename Delete Set Alive

Vertex Source is alive

Area Line SSG Grid Area Planes EQ Ruptures RectFault Slab

Behavior

Vertex in counter-clockwise order

Longitude	Latitude	Depth
-75.205	-12.049	30
-75.126	-12.226	30
-72.954	-11.734	30
-72.841	-11.707	30
-73.562	-10.009	30
-74.482	-9.247	30
-74.627	-9.275	30
-76.346	-9.655	30

3. Se ingresan también los parámetros sismológicos de cada fuente

Figura 43

Parametros sismológicos para la fuente 16

Ley de Gutenberg y Richter

EQ Seismicity

G-R Characteristic Non-Poisson Gridded Generalized Poisson

Threshold magnitude (M_0) M_{\min}

Lambda(M_0) Tasa

Expected value of Beta β

Coefficient of variation of Beta

Number of magnitudes M_{\max} (de todas las fuentes)

Parameters defining μ :

Expected value M_{\max}

4. Se elige la ley de atenuación “Sadigh et al. (1997)” ya que es para fuentes sismogénicas corticales.

Figura 44

Leyes de atenuación

<input checked="" type="radio"/> Sadigh et al. (1997)	Fault type		Soil type	
<input type="radio"/> Spudich et al. (1999) SEA99	<input checked="" type="radio"/> Strike-slip/Normal	<input type="radio"/> Rock		
<input type="radio"/> Attenuation Table	<input type="radio"/> Reverse/Thrust	<input checked="" type="radio"/> Deep Soil		

Tipo de falla: Normal

Tipo de suelo: Suelo

5. El programa supone 9 ordenadas espectrales para las cuales, los periodos de vibración son: 0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.3, 0.5, 1, 2 y 3. Los niveles de intensidad de aceleración considerados fueron: 1 a 2000 cm/s^2 .

Figura 45

Ordenadas espectrales, niveles de intensidad y periodos de vibración

Spectral ordinates	
Total number of spectral ordinates	9
Actual spectral ordinate	1
Structural period of actual spectral ordinate	0
Lower limit of intensity level	1
Upper limit of intensity level	2000

6. Se ingresan los parámetros globales según la norma E.030 de diseño sismorresistente, que establece el espectro de diseño para un sismo raro que tiene 10% de probabilidad de excedencia en 50 años y los periodos medios de retorno fueron escogidos según VISION 2000

Figura 46*Parámetros globales*

Time frame	Map return period (years)	PE in 50 years
50	43	6.87E-01
	72	5.01E-01
	475	9.99E-02
	970	5.02E-02

Probabilidad de excedencia en 50 años

La probabilidad de excedencia es una representación estadística de que la posibilidad que las consecuencias de un sismo excedan un nivel de efectos determinados en un tiempo específico de exposición, en años. El periodo medio de retorno y la probabilidad de excedencia pueden relacionarse directamente como:

$$T = -\frac{t}{\ln(1-p)} \dots \dots \dots (11)$$

T= Periodo medio de retorno en años.

p= Probabilidad de excedencia.

t= Tiempo de exposición en años (SEAOC, 1995).

Capítulo IV: Resultados

4.1. Diagramas y tablas para determinar el nivel de riesgo sísmico

4.1.1. Nivel de vulnerabilidad sísmica

La siguiente información fue elaborada de acuerdo a la ficha adaptada de INDECI, por lo que solo se considera los parámetros que tienen puntaje en dicha ficha, ya que estos son los que afectan directamente al nivel de vulnerabilidad sísmica.

4.1.1.1 Ficha de verificación – Determinación de la vulnerabilidad de las viviendas para caso de sismo

A) Ubicación geográfica de la vivienda

El primer ítem en la ficha para la determinación de la vulnerabilidad de las viviendas en caso de sismo, son los datos acerca de la ubicación de la vivienda y datos personales del propietario de la misma, estos no tienen un puntaje a considerar para el nivel de vulnerabilidad.

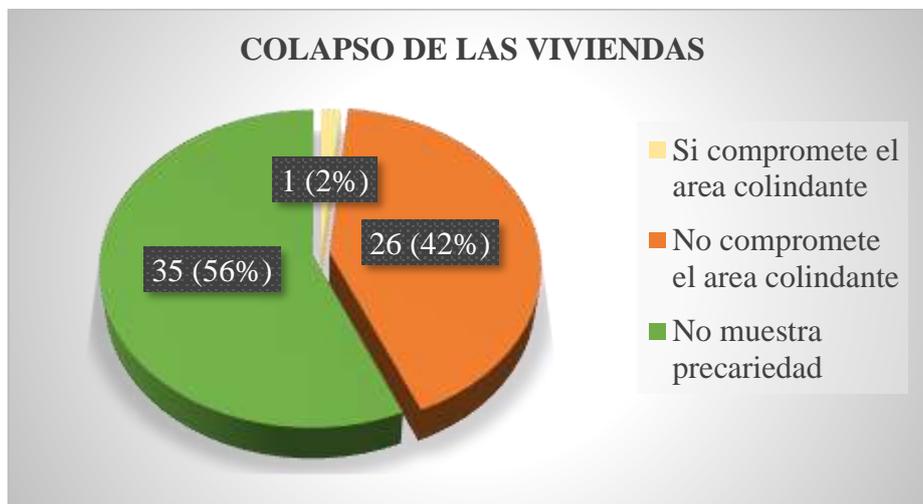
B) Información del inmueble por observación directa

1. Desde el exterior se puede observar que:

Los resultados señalan que ante la ocurrencia de un sismo la probabilidad de que las rutas de evacuación se encuentren bloqueadas por el colapso de las viviendas es baja, ya que la mayoría de las viviendas, a simple vista, no muestran precariedad o ante el colapso de las mismas, no comprometen el área colindante:

Figura 47

Colapso de las viviendas.



2. La vivienda se encuentra:

Se completa según a la observación si la vivienda se encuentra: habitada, no habitada, habitada, pero sin ocupantes o si rechaza verificación. Este dato no tiene un puntaje a considerar para el nivel de vulnerabilidad.

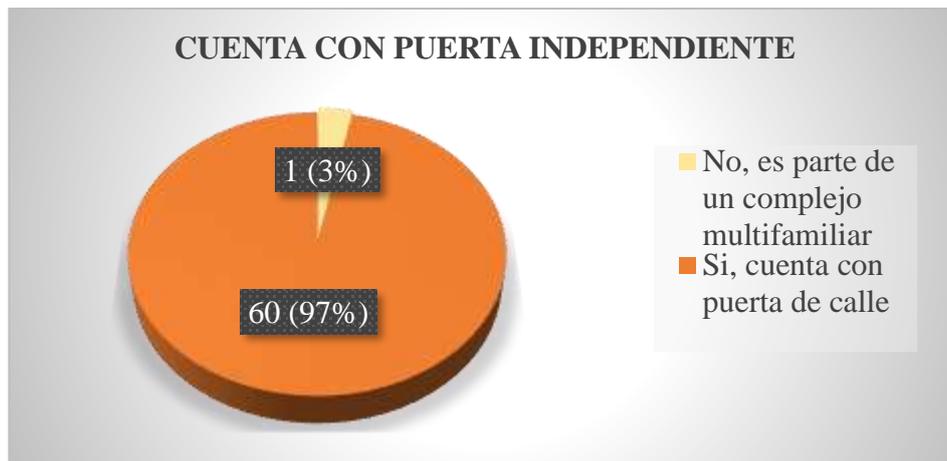
C) Características del tipo de vivienda

1. Cuenta con puerta independiente.

Este análisis señala que, el 96.8% de las viviendas cuentan con puerta independiente, por lo que sus ocupantes tienen una mayor posibilidad de acceder rápidamente a las rutas de evacuación y llegar a las zonas seguras, a comparación de aquellas que no cuentan con una puerta de acceso independiente.

Figura 48

Puerta independiente.



2. Total de ocupantes

Se completan los datos acerca de la cantidad total de ocupantes de cada una de las viviendas, este dato no tiene un puntaje a considerar para el nivel de vulnerabilidad.

3. Cantidad de pisos

Se completan los datos acerca de la cantidad de pisos existentes de cada una de las viviendas, tanto superiores como inferiores, este dato no tiene un puntaje a considerar para el nivel de vulnerabilidad.

4. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad

La Tabla 31 indica que el 100% de las viviendas que han sido verificadas presentan muy alta vulnerabilidad debido a estar asentadas en suelos finos y gravas, lo que hace que sean más

propensos a que ocurra el fenómeno de licuefacción y tengan una mayor probabilidad de colapso.

Tabla 31

Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad.

FACTORES CRÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD		
Cantidad de viviendas	No aplica	La vivienda se encuentra en un terreno inapropiado para edificar
Total	0	62
Total (%)	0	100

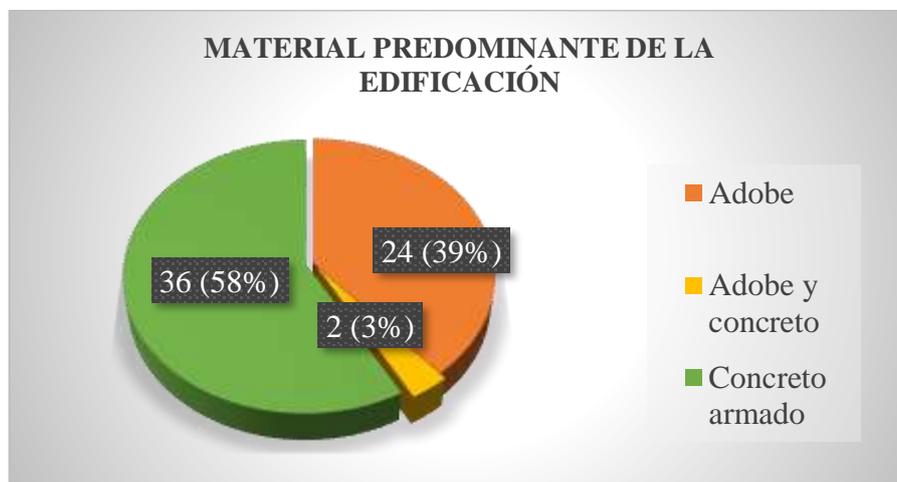
D) Características de la construcción de la vivienda

1. Material predominante de la edificación

La Figura 49 muestra que el 58% de viviendas que han sido verificadas presentan como materiales de construcción concreto armado, 39% son viviendas de adobe y 3% viviendas de adobe y concreto, lo cual señala que, ante la ocurrencia de un sismo éstas son altamente vulnerables.

Figura 49

Material predominante de la edificación.

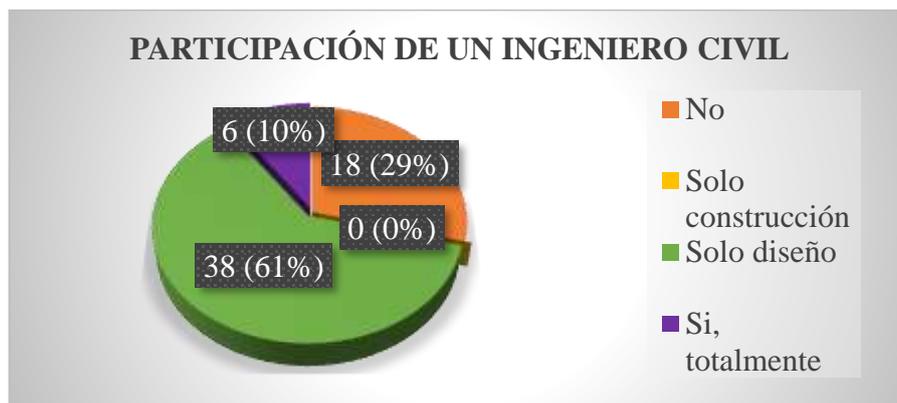


2. La edificación contó con la participación de un ingeniero civil

Los resultados muestran que 90% de las viviendas fueron construidas informalmente solo con el apoyo de obreros, sin el asesoramiento técnico de un ingeniero civil, por lo que presentan una vulnerabilidad alta a muy alta.

Figura 50

Participación de un ingeniero civil.

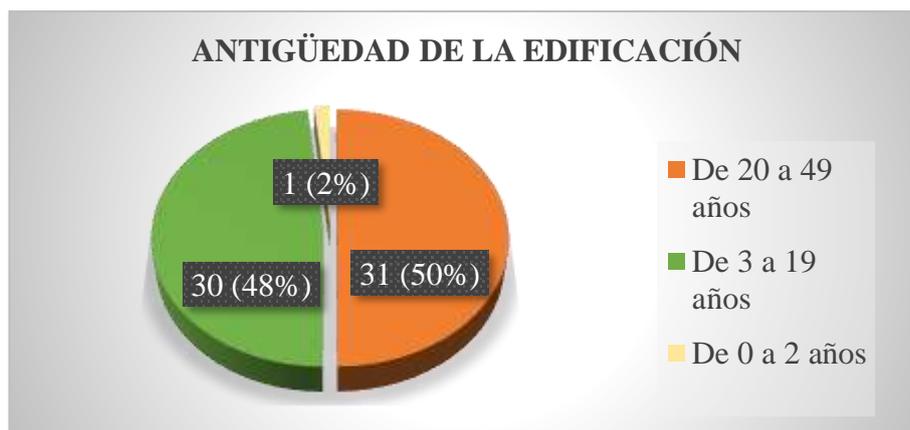


3. Antigüedad de la edificación

El 50% de las viviendas que han sido verificadas en la A.P.V. Cachimayo, presentan una antigüedad de 20 a 49 años, lo que genera que éstas tengan una alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de un sismo.

Figura 51

Antigüedad de la edificación.

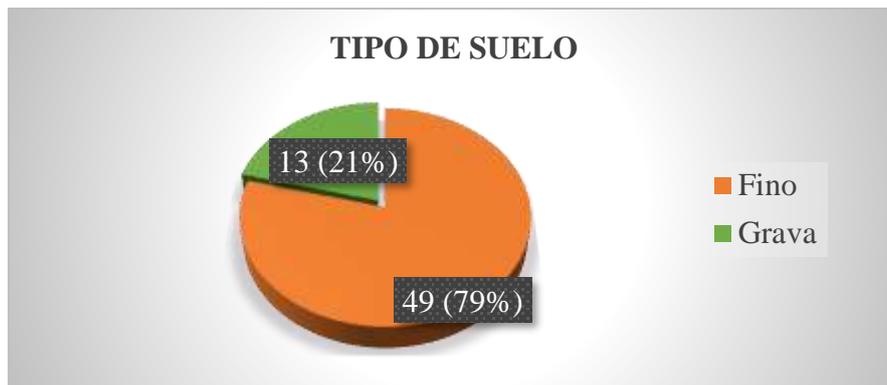


4. Tipo de suelo

Un 79 % de las viviendas que han sido verificadas, están asentadas sobre suelo fino y un 21% sobre grava, esto indica que la vulnerabilidad de las viviendas es de media a alta.

Figura 52

Tipo de suelo.



5. Topografía del terreno de la vivienda

La topografía de las viviendas de la zona de estudio es plana, el empuje lateral es nulo o casi nulo, dándole mejor estabilidad.

Tabla 32

Topografía del terreno de la vivienda.

TOPOGRAFÍA DEL TERRENO DE LA VIVIENDA				
Cantidad de viviendas	Mayor a 45%	Entre 45% a 20%	Entre 20% a 10%	Hasta 10%
Total	0	0	0	62
Total (%)	0%	0%	0%	100%

6. Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia

El 100% de las viviendas, se encuentran en terrenos con pendiente plana o ligera, por lo cual la vulnerabilidad sísmica por este indicador es baja.

Tabla 33

Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia.

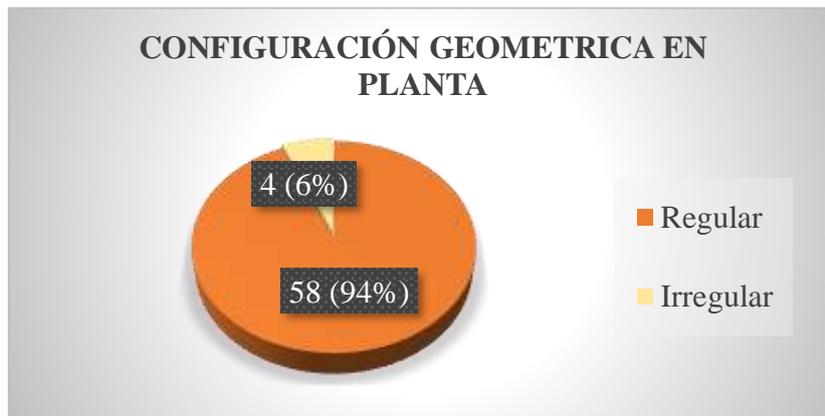
TOPOGRAFÍA DEL TERRENO COLINDANTE A LA VIVIENDA				
Cantidad de viviendas	Mayor a 45%	Entre 45% a 20%	Entre 20% a 10%	Hasta 10%
Total	0	0	0	62
Total (%)	0%	0%	0%	100%

7. Configuración geométrica en planta

El 94% de viviendas verificadas, tienen una configuración geométrica regular, obteniendo con ello estructuras más estables ante un sismo.

Figura 53

Configuración geométrica en planta.



8. Configuración geométrica en elevación

Según la verificación de irregularidades existentes y lo presenciado en campo, todas las viviendas presentan una configuración uniforme en elevación, por lo cual, tendrán un mejor comportamiento estructural y mayor rigidez.

Tabla 34

Configuración geométrica en elevación.

Configuración geométrica en elevación		
Cantidad de viviendas	Irregular	Regular
Total	0	62
Total (%)	0	100%

9. Juntas de dilatación sísmica

Como se muestra en la Figura 54, del total de viviendas verificadas, un 92% no tienen junta sísmica o no es acorde a la estructura, lo que hace que las viviendas sean muy vulnerables.

Figura 54

Juntas de dilatación sísmica.

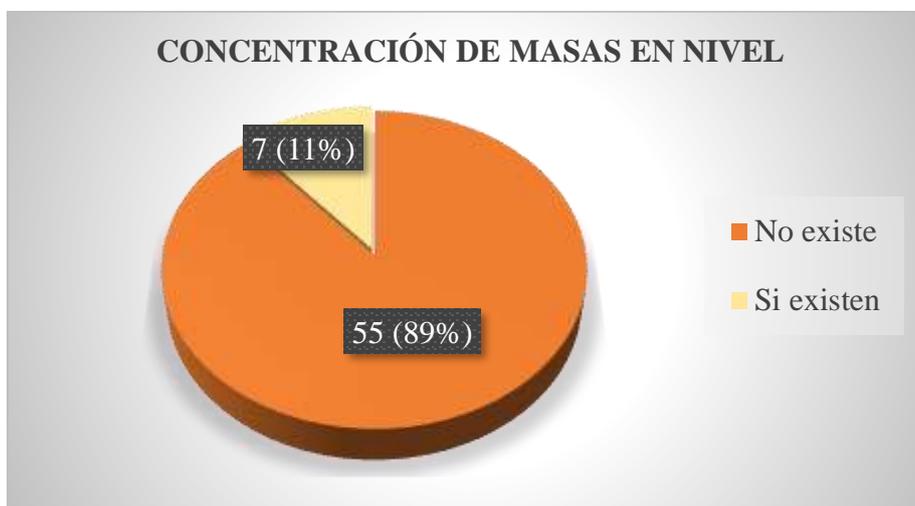


10. Existe concentración de masas en nivel

Del total de viviendas verificadas se observa que el 89% de las viviendas presentan concentración de masas en nivel esto provoca que la relación masa-rigidez varíe bruscamente de un piso a otro y se producen concentraciones de esfuerzos lo cual hace más vulnerable a la edificación frente a un sismo.

Figura 55

Concentración de masas en nivel.



11. Elementos estructurales

Este indicador permitió registrar la información que corresponda a los principales elementos que cumplen funciones estructurales en las viviendas. Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 35

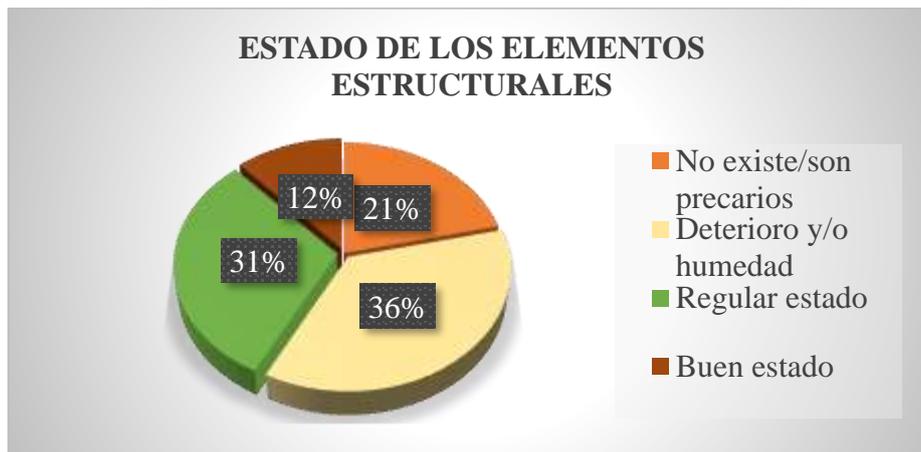
Estado de los elementos estructurales.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES				
Elementos estructurales	No existe/son precarios	Deterioro y/o humedad	Regular estado	Buen estado
Sobrecimiento	20 (32%)	20 (32%)	12 (20%)	10 (16%)
Columnas	26 (42%)	10 (16%)	20 (32%)	6 (10%)
Muros portantes	1 (2%)	36 (58%)	18 (29%)	7 (11%)
Vigas	6 (9.5%)	24 (39%)	26 (42%)	6 (9.5%)
Total	53 (21%)	90 (36%)	76 (31%)	29 (12%)

- Existe un 21% de viviendas verificadas donde no existen o son precarios los elementos estructurales.
- Existe un 36% de viviendas verificadas donde los elementos estructurales se encuentran con deterioro y/o humedad.
- Existen un 31% de viviendas verificadas donde los elementos estructurales presentan regular estado.
- Existe un 12% de viviendas donde los elementos estructurales presentan buen estado.

Figura 56

Resumen del estado de los principales elementos estructurales.



Como se observa en la Figura 56, el 57% de las viviendas no tienen o presentan humedad en sus principales elementos estructurales, lo que las hace muy vulnerables.

12. Elementos no estructurales

Este indicador dio a conocer la información que corresponda a los elementos no estructurales. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 36

Estado de los elementos no estructurales.

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES				
Elementos no estructurales	No existe/son precarios	Deterioro y/o humedad	Regular estado	Buen estado
Techo	2 (3%)	25 (40%)	23 (37%)	12 (20%)
Tarrajeo	8 (13%)	26 (42%)	16 (20%)	12 (19%)

- El 8% de las viviendas verificadas los techos y tarrajeos, no existen o son precarios.
- El 41% de viviendas verificadas los techos y tarrajeo, presentan deterioro y/o humedad.
- Existen 32% de viviendas donde los techos y tarrajeo, presentan regular estado.
- Existen 19% de viviendas donde los elementos no estructurales presentan buen estado.

✓ Dintel

Ya que este elemento, solo existe en construcciones de adobe, se considera la muestra 24 viviendas.

Tabla 37

Estado del dintel.

DINTEL				
Cantidad de viviendas	No existe/son precarios	Deterioro y/o humedad	Regular estado	Buen estado
Total	8	8	7	1
Total (%)	33%	33%	30%	4%

13. Otros factores que inciden en la vulnerabilidad

De acuerdo con la ficha de verificación se han tomado en cuenta varios factores, los cuales son:

Tabla 38

Factores que inciden en el nivel de vulnerabilidad muy alta o alta.

NIVEL DE VULNERABILIDAD MUY ALTO O ALTO					
Cantidad de viviendas	Humedad	Debilitamiento por modificaciones	Debilitamiento por sobrecarga	Cargas laterales	Colapso en elementos del entorno
Total	47	16	2	0	2

Tabla 39

Factores que inciden en el nivel de vulnerabilidad media o baja.

NIVEL DE VULNERABILIDAD MEDIO O BAJO			
Cantidad de viviendas	Vanos mayores al 30%	Tabiques sin arriostres	Diferentes materiales en la construcción
Total	3	10	10

Como se puede observar, se tiene un gran porcentaje de viviendas que presentan humedad y debilitamiento por modificaciones, lo que las hace altamente vulnerables.

4.1.1.2 Análisis de la prueba

Se hizo la sumatoria de valores y se determinó el nivel de vulnerabilidad de las 62 viviendas (Anexo 2), de acuerdo a la Tabla 40:

Tabla 40: Nivel de vulnerabilidad, según la sumatoria de valores de la ficha de verificación.

Vivienda	Tipo de material	Sumatoria de valores de la ficha de verificación	Nivel de vulnerabilidad
1	Concreto armado	36	Alto
2	Adobe	44	Muy alto
3	Adobe	42	Muy alto
4	Adobe	42	Muy alto
5	Concreto armado	36	Alto
6	Adobe	40	Muy alto
7	Concreto armado	32	Alto
8	Concreto armado	32	Alto



9	Concreto armado	21	Bajo
10	Adobe	38	Muy alto
11	Concreto armado	30	Alto
12	Concreto armado	28	Alto
13	Concreto armado	33	Alto
14	Adobe	43	Muy alto
15	Adobe	42	Muy alto
16	Adobe	38	Muy alto
17	Concreto armado	33	Alto
18	Concreto armado	34	Alto
19	Adobe	43	Muy alto
20	Adobe	38	Muy alto
21	Adobe	45	Muy alto
22	Adobe y concreto	40	Muy alto
23	Concreto armado	40	Muy alto
24	Adobe	37	Muy alto
25	Adobe	44	Muy alto
26	Concreto armado	37	Muy alto
27	Concreto armado	26	Medio
28	Concreto armado	34	Alto
29	Adobe	42	Muy alto
30	Concreto armado	27	Medio
31	Concreto armado	35	Alto
32	Concreto armado	37	Muy alto
33	Concreto armado	37	Muy alto
34	Concreto armado	33	Alto
35	Adobe	43	Muy alto
36	Adobe	42	Muy alto
37	Concreto armado	28	Alto
38	Concreto armado	39	Muy alto
39	Adobe	41	Muy alto
40	Adobe	44	Muy alto



41	Concreto armado	23	Bajo
42	Concreto armado	34	Alto
43	Adobe	40	Muy alto
44	Adobe	38	Muy alto
45	Concreto armado	38	Muy alto
46	Concreto armado	32	Alto
47	Concreto armado	26	Medio
48	Adobe	42	Muy alto
49	Concreto armado	24	Medio
50	Concreto armado	30	Alto
51	Concreto armado	40	Muy alto
52	Concreto armado	40	Muy alto
53	Concreto armado	39	Muy alto
54	Adobe	41	Muy alto
55	Concreto armado	39	Muy alto
56	Adobe	40	Muy alto
57	Adobe y concreto	46	Muy alto
58	Concreto armado	37	Muy alto
59	Concreto armado	37	Muy alto
60	Adobe	39	Muy alto
61	Concreto armado	28	Alto
62	Concreto armado	33	Alto

Tabla 41

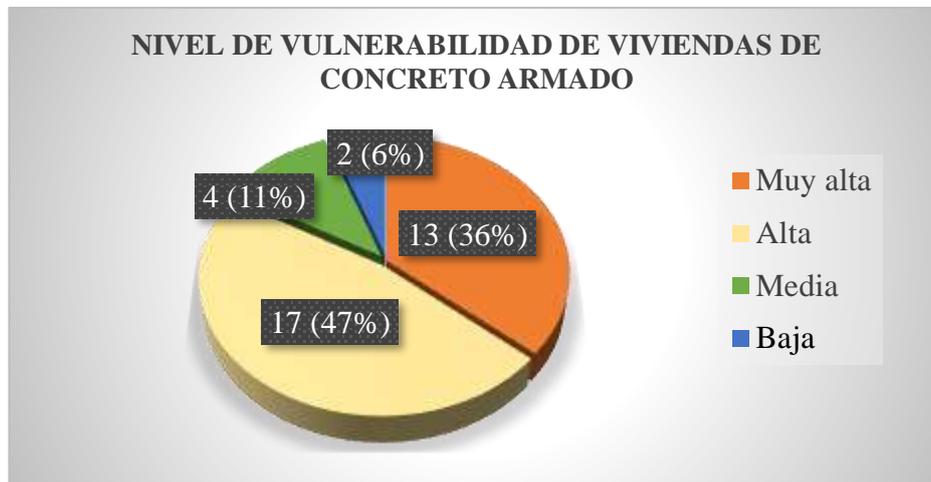
Nivel de vulnerabilidad, según la muestra seleccionada.

Nivel de vulnerabilidad	Viviendas
Muy alta	2-3-4-6-10-14-15-16-19-20-21-22-23-24-25-26-28-29-32-33-35-36-38-39-40-43-44-45-48-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60
Alta	1-5-7-8-11-12-13-17-18-31-34-37-42-46-50-61-62
Media	27-30-47-49
Baja	9-41

Teniendo la sumatoria de valores, se pudo obtener que todas las viviendas de adobe y las que son de adobe y concreto, tienen un nivel de vulnerabilidad sísmica MUY ALTO, y para las viviendas de concreto armado, se muestran los siguientes resultados:

Figura 57

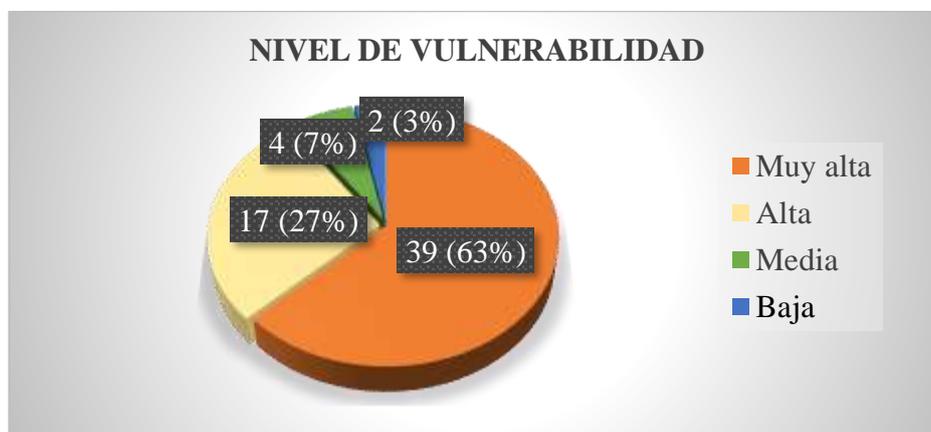
Nivel de vulnerabilidad sísmica de viviendas de concreto armado



En resumen, el nivel de vulnerabilidad sísmica de todas las viviendas de la A.P.V. Cachimayo, luego de haber realizado el llenado de las fichas de verificación, es:

Figura 58

Resumen del nivel de vulnerabilidad.



Se obtiene que el 63% de las viviendas de la A.P.V. Cachimayo, presentan un nivel de vulnerabilidad **muy alta**, indicando la gravedad del estado de las construcciones y su capacidad de respuesta ante un sismo.

4.1.2 Nivel de peligro sísmico

4.1.2.1 Algoritmo R-CRISIS

a) Mapas de peligro:

Los resultados finales dados por este algoritmo, son los mapas de peligro y la aceleración máxima del suelo (PGA), de acuerdo a los periodos de retorno ingresados.

- Para un periodo de retorno de 43 años:

Figura 59

Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 43 años

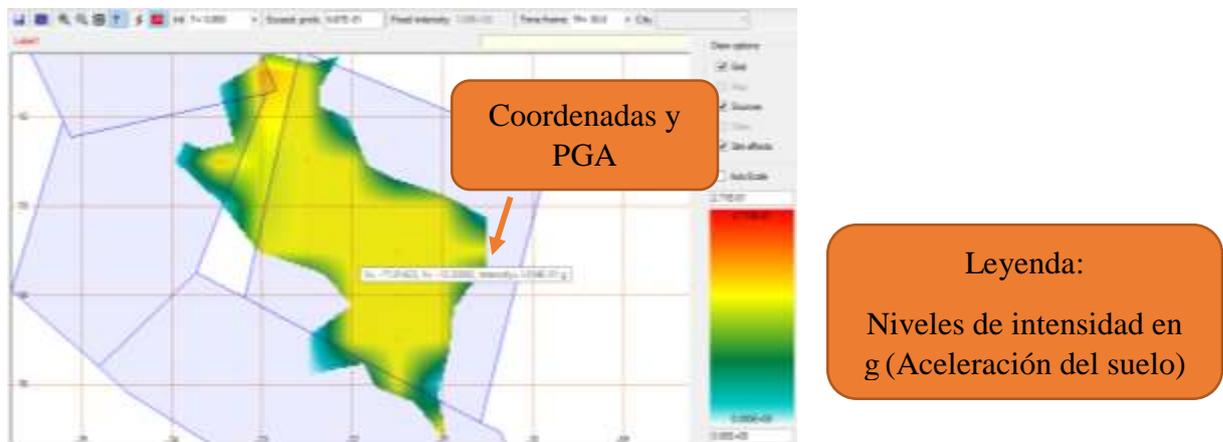
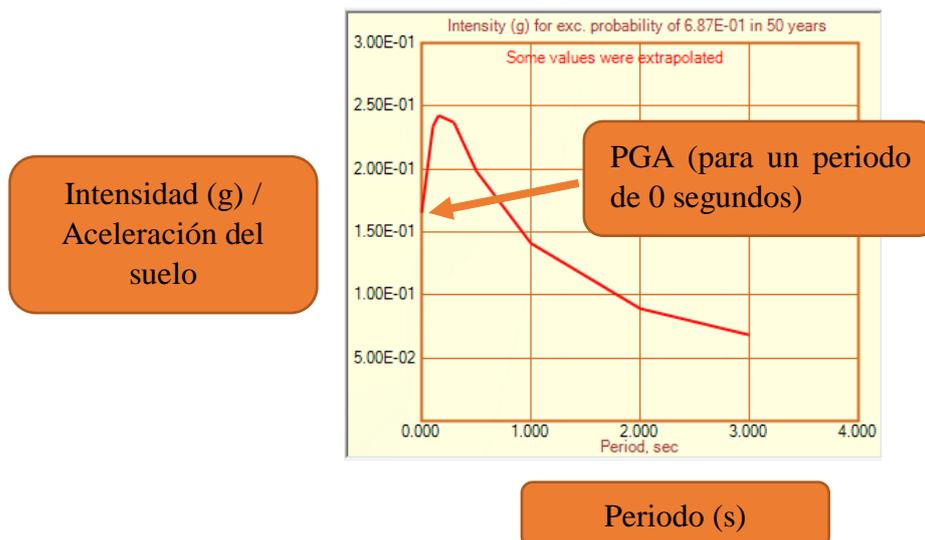


Figura 60

Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 43 años.

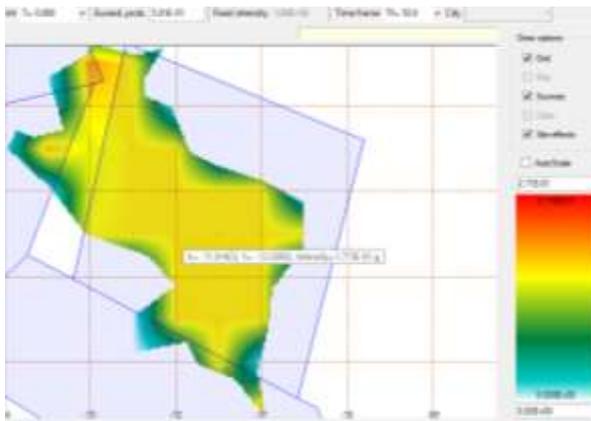


Como se ve en la Figura 59 y Figura 60, para un periodo de retorno de 43 años, la aceleración máxima del suelo será $1.654E-01 \text{ g} = 0.165 \text{ g}$.

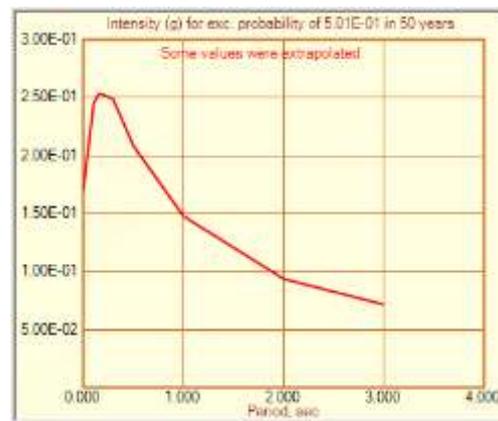
- Para un periodo de retorno de 72 años:

Figura 61

(a) Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 72 años y (b) Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 72 años.



(a)



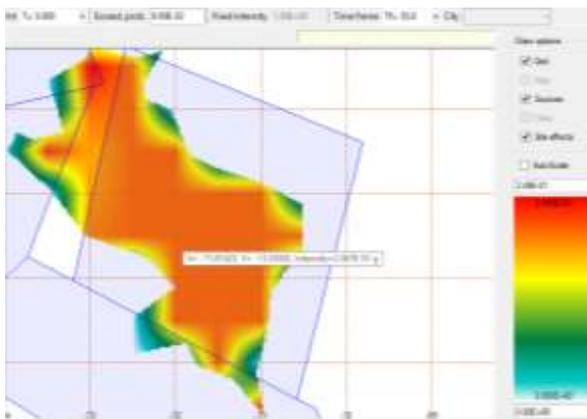
(b)

Para un periodo de retorno de 72 años, la aceleración máxima del suelo será $1.715E-01 \text{ g} = 0.172 \text{ g}$.

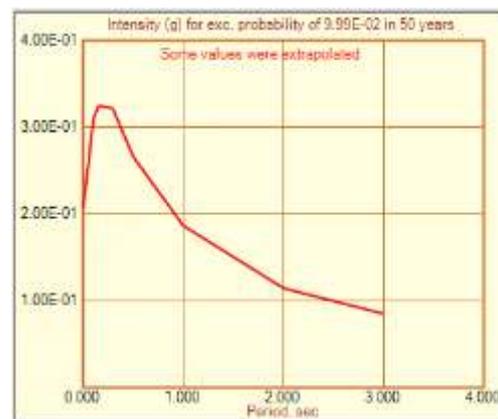
- Para un periodo de retorno de 475 años:

Figura 62

(a) Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años y (b) Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 475 años.



(a)



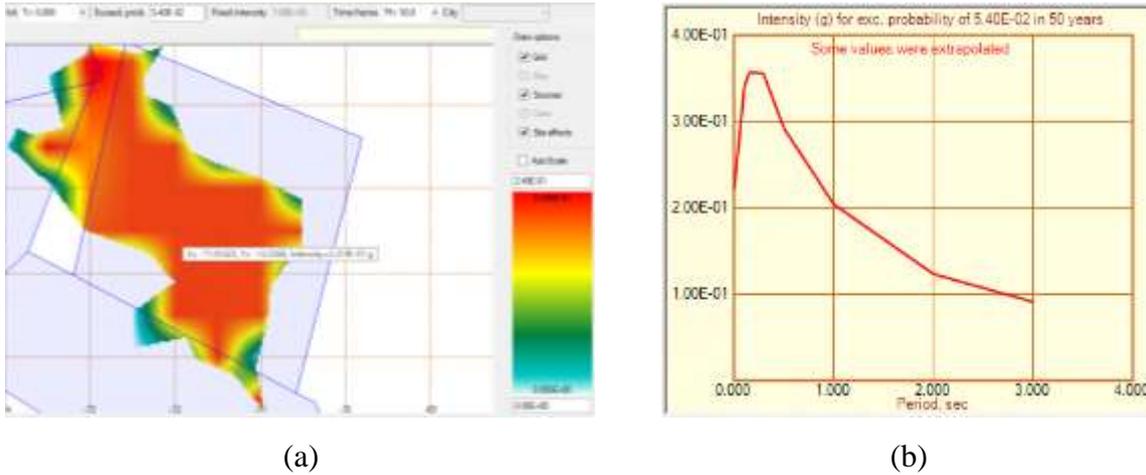
(b)

Según la Figura 62, para un periodo de retorno de 475 años, la aceleración máxima del suelo será $2.067E01 \text{ g} = 0.207 \text{ g}$.

- Para un periodo de retorno de 970 años:

Figura 63

(a) Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 970 años y (b) Aceleración máxima del suelo para un periodo de retorno de 970 años.



Para un periodo de retorno de 970 años, la aceleración máxima del suelo será $2.219E-01 \text{ g} = 0.222 \text{ g}$.

4.1.2.2 Análisis de la prueba

La Tabla 42, muestra el nivel de peligro, según Alfaro, A. 2011 y según la escala de Mercalli, para las diferentes aceleraciones máximas del suelo, dadas por los siguientes periodos de retorno:

Tabla 42

Nivel de peligro según las aceleraciones máximas del suelo

Periodo de retorno (años)	Aceleración máxima del suelo (g)	Nivel de peligro (Alfaro, A. 2011)	Percepción del temblor (Escala Mercalli Modificada)
43	0.165	Medio	Fuerte
72	0.172	Medio	Fuerte
475	0.207	Medio	Muy fuerte
970	0.222	Medio	Muy fuerte

4.1.3 Riesgo sísmico

4.1.3.1 Matriz de peligro sísmico y vulnerabilidad sísmica

Dado que el nivel de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de la A.P.V. Cachimayo es muy alto y el nivel de peligro sísmico para los cuatro periodos de retorno determinados anteriormente, es medio; de la matriz de peligro y vulnerabilidad sísmica (Tabla 7) resulta un nivel de riesgo sísmico alto.

Tabla 43

Matriz de peligro y vulnerabilidad para las 62 viviendas

	Vulnerabilidad baja	Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad alta	Vulnerabilidad muy alta
Peligro muy alto	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto
Peligro alto	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto
Peligro medio	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto
Peligro bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto

Para el caso de las viviendas de adobe y las viviendas de adobe y concreto, se obtuvo un nivel de vulnerabilidad sísmica muy alto, por lo tanto, el nivel de riesgo sísmico, para estas viviendas es también alto. En el caso de las viviendas de concreto armado, el nivel de vulnerabilidad sísmica, es alto (Figura 56) por lo tanto el nivel de riesgo sísmico para estas viviendas, es medio, como se muestra a continuación:

Tabla 44

Matriz de peligro y vulnerabilidad para viviendas de concreto armado

	Vulnerabilidad baja	Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad alta	Vulnerabilidad muy alta
Peligro muy alto	Riesgo alto	Riesgo alto	Riesgo muy alto	Riesgo muy alto
Peligro alto	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto	Riesgo muy alto
Peligro medio	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo medio	Riesgo alto
Peligro bajo	Riesgo bajo	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto

4.1.3.2 Análisis de la prueba

La evaluación del riesgo sísmico se llevó a cabo teniendo como base las fichas de verificación para viviendas de elaboración propia, adaptadas de INDECI para determinar el nivel de vulnerabilidad y el programa R-Crisis para determinar el nivel de peligro sísmico probabilístico



y se utiliza la matriz de riesgo sísmico, para relacionar estos factores y así se obtuvo que el nivel de riesgo sísmico en la A.P.V. Cachimayo, es alto.

Considerando el análisis planteado, se observa que este nivel de riesgo sísmico se produce por la falta de planeamiento y control urbano, por lo que las conclusiones y recomendaciones son dirigidas en este sentido.

Capítulo V: Discusión

- Respecto al antecedente de Quinde y Reinoso (2016) sobre “Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca” en el cual hicieron uso del programa CRISIS 2015, sus resultados superaron a los establecidos en la norma ecuatoriana y demuestran que en Ecuador existe una deficiencia en su norma de construcción, en especial en la parte correspondiente al peligro sísmico y diseño sismorresistente. En la presente investigación, se logró demostrar que la norma de Diseño Sismorresistente E.030 del 2018 es suficiente, ya que el factor Z de microzonificación sísmica dado para la región Cusco es 0.25 g y la aceleración máxima del suelo para la APV. Cachimayo, dada por el programa R- Crisis, es 0.22 g (para un periodo de retorno de 970 años)
- En el antecedente de Salgado, Carreño, Barbat y Cardona (2015) sobre “Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenarios”, realizaron una evaluación probabilista del riesgo sísmico para las edificaciones de Lorca, utilizaron una base de datos que permitió el análisis de los resultados en diferentes categorías, estos resultados los usaron para desarrollar planes de refuerzo de edificaciones existentes y otros instrumentos alternativos para la mitigación de riesgo. La presente investigación, se limita a determinar el nivel de riesgo sísmico existente en la APV Cachimayo; con esta base, se podrían realizar investigaciones posteriores, para la mitigación de riesgo sísmico.
- En el antecedente de Herrera (2014) en su tesis: “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del Casco Urbano de Namballe -San Ignacio – Cajamarca” evaluó el nivel de vulnerabilidad sísmica, aplicando la ficha de verificación empleada por INDECI, y el resultado fue que 25,81% de las viviendas, tienen un grado de vulnerabilidad sísmica muy alta. En la presente investigación, se pudo determinar que el 63% de las viviendas de la APV. Cachimayo,



son muy vulnerables, aplicando el mismo método (ficha de verificación para viviendas elaborada por INDECI).

- La presente investigación sirvió para dar a conocer el nivel de riesgo sísmico, que resultó ser alto, en las viviendas de la APV Cachimayo.
- Se obtuvo que el 39% de las viviendas verificadas son de material adobe, 90% de las viviendas fueron construidas informalmente y 50% de las viviendas presentan una antigüedad mayor de 20 años.
- Se usó la ficha elaborada por INDECI (Anexo 9), la cual se adaptó a la zona de estudio (Anexo 10), ya que, al hacer una prueba piloto con esta ficha, se verificó que se podía incluir otros factores que también influyen en la vulnerabilidad sísmica. Después de llenar las fichas para las 62 viviendas, se obtuvo que el nivel de vulnerabilidad sísmica es muy alto.
- Se obtuvieron mapas de peligro y aceleraciones máximas del suelo para diferentes periodos de retorno, al utilizar el programa R- CRISIS y se pudo determinar que el nivel de peligro sísmico, es medio para las viviendas de la APV. Cachimayo.
- Se consideró la A.P.V. Cachimayo, como una zona representativa, debido a que es una zona que se encuentra en crecimiento y que presenta viviendas con diferentes características en su construcción por lo que se asemeja a viviendas existentes en los diferentes distritos de la ciudad del Cusco.
- El estudio contó con una adecuada caracterización de la sismicidad del área de estudio, es decir, el sitio donde se calculó el peligro sísmico (coordenadas), el número de fuentes sismogénicas que afectan el área, características geométricas y sísmicas de cada una ellas.
- Se realizó un levantamiento topográfico con drone para determinar la topografía (pendiente) de las viviendas de la zona en estudio y del área colindante.
- Se realizó fotogrametría con drone para poder verificar la configuración geométrica en planta de cada estructura de la A.P.V. Cachimayo.



Glosario

Algoritmo: En términos de programación, un algoritmo es una secuencia de pasos lógicos que permiten hacer un cálculo y hallar la solución a un tipo de problema.

Arriostre: Elemento estructural que sirve para rigidizar o estabilizar la estructura impidiendo o limitando parcialmente los desplazamientos/deformaciones de la misma

Atenuación: Es el proceso por el cual las ondas sísmicas a lo largo de su trayectoria, se propagan y se convierte en energía.

Configuración geométrica: Propiedades geométricas y de la relación espacial de las figuras, teniendo en cuenta su dimensión y su forma.

Dintel: Madero u otro elemento horizontal que cubre el vano de una puerta o ventana, y sirve de sostén del muro superior.

Discontinuidad: Desalineamiento de un elemento por un cambio de orientación o desplazamiento de magnitud mayor que la dimensión del elemento.

Entrepiso: Es el elemento que separa horizontalmente los diferentes niveles de una edificación.

Escala: Asignación de un número para cuantificar la energía que libera un terremoto o la intensidad del mismo.

Falla: Fractura en el terreno que se producen por esfuerzos tectónicos.

Fisura: Una abertura pequeña, que solo es superficial y afecta el tarrajeo.

Grieta o rajadura: Una abertura más profunda de mayor dimensión que generalmente afecta todo el espesor del material (ladrillo, cielorraso, losa, etc.).



Intensidad: Descripción cualitativa de los efectos de los sismos, en ella interviene la percepción de las personas, así como los daños materiales y económicos sufridos a causa de un sismo.

In Situ: Expresión que significa 'en el sitio' o 'en el lugar', suele utilizarse para designar un fenómeno observado en el lugar, o una manipulación realizada en el lugar.

Irregularidad: Discontinuidades físicas considerables en la configuración geométrica de las estructuras.

Juntas: Espacio existente entre dos construcciones, que permite la total independencia de movimientos de uno con respecto al otro.

Licuefacción: Fenómeno en el cual los terrenos, a causa de saturación de agua, pierden su firmeza y fluyen como resultado de los esfuerzos provocados en ellos debido a los temblores.

Magnitud: Número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada.

Sobrecimiento: Se encuentra sobre el cimiento, es la parte en donde se apoyará el muro, por lo tanto, debe tener el mismo ancho de éste.

Tabique: Muro no estructural que permite separar y sub-dividir ambientes, siendo generalmente un elemento fijo.

Tarrajeo: Morteros o pastas, en una o más capas sobre la superficie de muros y tabiques, columnas, vigas o estructuras en bruto, con el fin de vestir y formar una superficie de protección, impermeabilizar u obtener un mejor aspecto en los mismos.

Vano: Distancia entre apoyos de un elemento estructural.

Conclusiones

- No se logró demostrar la hipótesis general “El nivel de riesgo sísmico, será medio en las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.” ya que el nivel de riesgo sísmico de



acuerdo a los datos recolectados en campo sobre el nivel de vulnerabilidad sísmica y datos procesados en el programa R-CRISIS para el nivel de peligro sísmico, da como resultado el nivel de riesgo sísmico ALTO.

- Se logró demostrar parcialmente la sub hipótesis H.1 “El material predominante de las viviendas es adobe, las cuales, en su mayoría no contaron con la participación técnica de un ingeniero civil y la antigüedad promedio es de 15 años.” Ya que, el 39% de las viviendas verificadas son de material adobe, 90% de las viviendas fueron construidas informalmente, con apoyo de obreros y sin asesoramiento de un Ingeniero Civil y el 50% de las viviendas presentan una antigüedad mayor de 20 años.
- No se logró demostrar la sub hipótesis H.2 “La vulnerabilidad sísmica promedio, según la “ficha de verificación para viviendas elaborada por INDECI”, será media en las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.” Ya que, después de recolectar todos los datos de trabajo en campo, se obtuvo que el nivel de vulnerabilidad sísmica es MUY ALTO.
- No se logró demostrar la sub hipótesis H.3 “El nivel de peligro sísmico probabilístico, será alto en las viviendas de la APV Cachimayo, San Sebastián, Cusco.”. Después de obtener los resultados en el programa R-CRISIS, se obtuvo que el nivel de peligro sísmico es MEDIO.

Recomendaciones

- Dada esta metodología, y viendo su efectividad, se recomienda que se hagan estudios e investigaciones usándola para toda la región Cusco
- Tomando en cuenta esta investigación, la Municipalidad Distrital de San Sebastián y la población, pueden tomar acciones inmediatas a través de organizaciones comunales y con apoyo de instituciones privadas, para disminuir este nivel de riesgo sísmico.
- La autoridad local debería exigir a la población, ceñirse estrictamente a las disposiciones establecidas en el RNE en cuanto a las especificaciones técnicas, condiciones urbanísticas, adecuado planeamiento y diseño estructural de acuerdo al tipo de suelo en donde se encuentra asentado.



- Recomendamos a la Municipalidad Distrital de San Sebastián, que para evitar la pérdida de vidas humanas en caso de sismo; identificar las zonas seguras dentro de la A.P.V. Cachimayo, y de todo el distrito, así como, elaborar un plan de evacuación para caso de sismo.
- La construcción de viviendas que se realicen en el futuro, tienen que contar con la orientación y diseño de un ingeniero civil, de tal manera que éstas sean más seguras y menos vulnerables.
- Se recomienda el uso del Algoritmo R-CRISIS para la determinación del nivel de peligro sísmico de una zona de estudio, para lo cual la Universidad Andina, puede considerar el uso de dicho software en un curso.

Referencias

- Abanto, S. y Cárdenas, D. (2015). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti - Petrini en las Instituciones Educativas del Centro histórico de Trujillo, Provincia de Trujillo, Región La Libertad* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo- Perú.
- Agudelo, J. y Boixader, D. (2015). *¿Qué relación existe entre la aceleración de cálculo del sismo y la escala sismológica de Richter y la de Mercalli?*. Noviembre 23, 2019, de Estructurando Sitio web: <http://estructurando.net/2015/09/14/que-relacion-existen-entre-la-aceleracion-de-calculo-del-sismo-y-la-escala-sismologica-de-richter-y-la-de-mercalli/>
- Aki, K. (1979). *Quantitative Seismology, Theory and Methods, Volume 1*. Massachusetts Institute of technology.
- Albayraka, U., Canbaz, M. y Albayrak, G. (2015). *Método de evaluación rápida de riesgo sísmico para el stock de construcción existente en zonas urbanas*. Septiembre 20, 2019, de ScienceDirect Sitio web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581502130X>.
- Alfaro, A. (2011). *Peligro sísmico en el segmento norte de la región del Maule, Chile* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Barbat, A., Vargas, Y., Pujades, L. y Hurtado, J. (2015). *Evaluación probabilista del riesgo sísmico de estructuras con base en la degradación de rigidez*. Septiembre 18, 2019, de



ScienceDirect

Sitio

web:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131513000175>.

- Bariola, J. (2001). "Clases Ingeniería Sismorresistente" Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Barrantes, G. y Salcedo, E. (2016). *Consideración de la amenaza sísmica en el ordenamiento territorial del cantón de Poás, Costa Rica*. Septiembre 15, 2019, de Scielo Sitio web:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-02832016000300007
- Barreto, D. (2019). *Análisis probabilístico de peligro sísmico para el diseño de una presa de enrocado en Huancavelica*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
- Benavente, R., Fernandez, C. y Gomez, A. (2004). Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco .*INDECI*, p. 10.7
- Bolaños, A. y Monroy, O. (2004). *Espectros de peligro sísmico* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Bonett, R. (2003) *El conocimiento adecuado de la amenaza sísmica existente, permite definir tanto la acción que debe considerarse en el diseño de nuevas estructuras como el sitio donde pueden ser construidas* (Tesis doctoral). Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Castañeda, D. (2014). *Evaluación de peligro sísmico mediante crisis*. Octubre 24, 2019, de Pontificia Universidad Católica del Perú.
- CENAPRED. (2005). *Sismos*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Centeno, E. (2017). *Geometría y distribución de esfuerzos en el borde oriental de la región central del Perú- Nido de Pucallpa*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- CISMID. (2013). *Generación de acelerogramas sintéticos para la costa del Perú*. Lima: CISMID.
- Contraloría General de la República de Chile. (2012). *Guía práctica para la construcción de muestras*. Chile: Contraloría General de la República de Chile.
- Cueva, C. (2017). *Vulnerabilidad sísmica del edificio de la Facultad de Filosofía, Comercio y Administración de la UCE con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC SE-RE 2015* (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito- Ecuador.



- De Risi, R., Penna, A. y Simonelli, A. (2019). *Riesgo sísmico a escala urbana: El papel del análisis de respuesta de sitio*. Septiembre 19, 2019, de ScienceDirect Sitio web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026772611831159X>
- Enriquez, E. (2009). *Peligro sísmico para la ciudad de Lima*. Ingenieros- Ingeniería sismorresistente, pp. 2-3.
- Espinoza, J. (2019). *Estudio de patologías líticas: Caso fachada retablo del Paraninfo Universitario Cusco- 2013* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.
- Feriche, M. (2014). *Vulnerabilidad de las edificaciones y los daños que en ellas producen los terremotos: Terremoto de 25/12/1884*. Andaluz, España: Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos.
- Feedback Networks. (2013). *Calcular muestra correcta.*, de Feedback Networks Technologies Sitio web: <https://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntar-calculador.html>.
- Fernández, C. (2004). *Mapa de peligros de la ciudad del Cusco- Tipo de suelo*. Cusco: INDECI.
- Garrido, J. (2020). Los sismos más devastadores que ocurrieron en el Perú en los últimos años. *El Comercio*, pp. 1-12.
- Google Earth. (2020). Google Earth. 2020, de Google Earth Sitio web: https://earth.google.com/web/search/13.5339S+71.91W/@-13.53469533,-71.90884091,3247.43047479a,688.32171699d,35y,55.29888042h,44.99786807t,0r/data=CIMaKRIjGTarPldbESvAIQrXo3A9IHAKg8xMy41MzM5UyA3MS45MVcYAiABliYKJAKTKpPWXPuqwBEfhUSF3hkrwBmWUvqDcfZRwCEg29r-_PpRwA.
- González, A., Moreano, A., Herranz, C. y Silvestre, A. (2015). Capítulo 10. *En licuefacción en suelos granulares saturados provocada por efectos sísmicos*. Aplicación al sr99 tunnel project: INTECSA-INARSA, S.A.
- Hernández, R., Fernandez C. y Baptista L. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW - HILL INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A. de C.V.
- Herrera, I., Saba, M., Mendoza, E. y Ugel, R. (2016). *Vulnerabilidad sísmica de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles, con irregularidad en planta y variaciones en el diafragma de piso*. Septiembre 12, 2019, de Scielo Sitio web: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000200013



- Herrera, D. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas del casco urbano de Namballe -San Ignacio – Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Jaén, Cajamarca, Perú.
- INDECI. (2011). *Estudio para determinar el nivel de vulnerabilidad física ante la probable ocurrencia de un gran sismo de gran magnitud: distrito de Breña*. Estudio técnico n° 3. Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INDECI. (2006). *Manual básico para la estimación de riesgo*. Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INGEMMET. (2009). *Síntesis descriptiva del Mapa Neotectónico 2008*. Lima: INGEMMET.
- INGEMMET (2013). *Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco*. INGEMMET, Boletín N° 55 Serie C, pp.47-48.
- INPRES. (1993). *Fallas Geológicas*. Argentina: INPRES.
- Kanamori, H. (1977). *The energy release in great earthquakes J. Geophys. Res., Vol 82*, pp. 1981-1987.
- Llanos, F. y Vidal, L. (2003). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las escuelas públicas de Cali: Una propuesta metodológica* (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Macharé, J., Fenton, C., Machette, M., Lavenue, A., Costa, C., Richard, L. y Dart, R. (2003). *Database and Map of Quaternary Faults and Folds in Perú and its Offshore Region*. U.S. Geological Survey Open-File Report 03-451, 74 p.
- Medina, C. y Placencia, P. (2017). *Reducción de la vulnerabilidad en estructuras esenciales de hormigón armado: Hospitales, situadas en zonas de alto peligro sísmico en el Ecuador*. Septiembre 23, 2019, de Scielo Sitio web: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000300035
- Mora, R. (2017). *Regresión de Poisson*. Departamento de Economía: Universidad Carlos III de Madrid.
- Ortiz de Orue, E., y Contreras, M. (2011) *Diagnostico hidrogeológico geodinámico de la microcuenca Cachimayo- Anta* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Ordaz, M., Martinelli, F., Aguilar, A., Arboleda, J., Meletti, C. y D'Amico V. (2017). *CRISIS History*. Octubre 19, 2019, de R-CRISIS Sitio web: <http://www.r-crisis.com/>



- Palomino, J. y Tamayo, R. (2016). *Evaluación probabilista del riesgo sísmico de hospitales en Lima con plataforma CAPRA* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima- Perú.
- Peralta, H. (2002). *Escenarios de vulnerabilidad y de daño sísmico en las edificaciones de mampostería de uno y dos pisos en el barrio San Antonio, Cali, Colombia*. (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Quinde, P. y Reinoso, E. (2016). *Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la ciudad de Cuenca*. Revista de Ingeniería Sísmica, No. 94, pp.1-26.
- RNE. (2018). *Norma técnica e.030 diseño sismorresistente*. Perú
- Roncal, M. (2017). *Determinación del peligro sísmico en el territorio nacional y elaboración de aplicativo web* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú
- Sadigh, K., Chang, C., Egan, J., Makdisi, F. y Youngs, R. (1997) *Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data*. Seismological Research Letters, Vol. 68, No. 1, pp. 180-189
- Santana, R. (2012). *Diseño sísmico por desempeño de estructuras de albañilería confinada* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Salgado, M., Carreño, M., Barbat, A. y Cardona, O. (2015). *Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenarios*. Septiembre 10, 2019, de ScienceDirect Sitio web:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131515000024>
- SEAOC, 1995. *Vision 2000: Performance Based Seismic Engineering of Buildings*. California: OES.
- Serrano, B. y Temes, R. (2015). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de los edificios residenciales estudiados dentro del plan especial de evaluación del riesgo sísmico en la Comunidad Valenciana*. Informes de la Construcción, Vol. 67, pp.1-11.
- Taipe, E. (2017). *Monitoreo geodésico de fallas activas en la región Cusco- periodo 2017*. agosto 20, 2019, de Instituto Geológico Minero y Metalúrgico Sitio web:
<https://www.ingemmet.gob.pe/documents/73138/909726/E.TaipeMonitoreo%2Bde%2BFallas%2BCusco2017.pdf>