

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Evaluación de riesgo Sísmico: Peligro y vulnerabilidad en viviendas
en laderas de C.P. Las Colinas, Lurigancho-Chosica (2025)**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor(es):

Bach. Luis Fernando Tichahuanca Tacora
Bach. Bryan Nicolas Bautista Quispe

Asesor:

Mg. Fiorella Maira Zapata Antesana

Lima, Abril del 2026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Fiorella Maira Zapata Antesana, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Evaluación de riesgo sísmico: peligro y vulnerabilidad en viviendas en laderas de C.P. Las Colinas, Lurigancho-Chosica (2025)”** los autores **Luis Fernando Ticahuanca Tacora** y **Bryan Nicolás Bautista Quispe** tiene un índice de similitud de 13 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 14 días del mes de abril del año 2026



Mg. Fiorella Maira Zapata Antesana

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 20 día(s) del mes de marzo del año 2026 siendo las 09:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mg. Juana Beatriz Aquise Pari el (la) secretario(a): Mg. Armin Quintana
Sánchez y los demás miembros: Dr. Leopoldo Choque

Fbros y el (la) asesor(a) Mtra. Fiorella Maira

Zapata Antesana con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:
Evaluación de riesgo sísmico: peligro y vulnerabilidad en viviendas en laderas de C.P. Las Colinas, Lurigancho-Chosica (2025)"

del(los) bachiller/es: a) Ticahuanca Tacora Luis Fernando
b) Bautista Quispe Bryan Nicolas
c).....

.....conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Ticahuanca Tacora Luis Fernando

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Bautista Quispe Bryan Nicolas

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

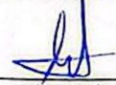
Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	


(*) Ver parte posterior
Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente/a



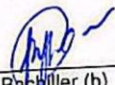
Asesor/a



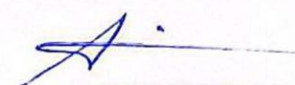
Bachiller (a)



Miembro



Bachiller (b)



Secretario/a

Miembro

Bachiller (c)

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios por brindarnos la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar esta importante meta en nuestra formación profesional. Asimismo, expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres y amigos cercanos, quienes con sus palabras de ánimo, apoyo constante y motivación nos impulsaron a no rendirnos y a seguir adelante durante todo este proceso.

Dedicatoria




Dedicamos este trabajo con mucho amor a nuestros padres, quienes con su esfuerzo, apoyo incondicional y constantes consejos nos acompañaron durante todo el camino de nuestra formación profesional.

A ellos, por inculcarnos valores y motivarnos siempre a seguir adelante y ser mejores cada día.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. METODOLOGIA	4
2.1. Zona Analizada	4
2.2. Proceso Análisis Jerárquico	4
2.3. Peligrosidad	9
2.3.1. Factores condicionantes	10
2.3.2. parámetro de Evaluación.....	13
2.3.3. Factor Desencadenante	14
2.3.4. Cálculo de Peligrosidad.....	15
2.4. Vulnerabilidad	17
2.4.1. Dimensión Social.....	17
2.4.2. Dimensión Económica	18
2.4.3. Dimensión Ambiental	19
2.4.4. Cálculo de Vulnerabilidad	20
2.5. Riesgo Sísmico	26
2.5.1. Cálculo de Riesgo Sísmico.....	26
3. DISCUSION Y RESULTADOS.....	27
3.2. Peligrosidad sísmica.....	27
3.2. Vulnerabilidad sísmica.....	28
3.2.1. Dimensión social.....	28
3.2.2. Dimensión económica.....	28
3.2.3. Dimensión ambiental	28
3.3. Riesgo sísmico	30
4. CONCLUSIONES	31
5. REFERENCIAS.....	35

Evaluación de Riesgo Sísmico: Peligro y Vulnerabilidad en viviendas en laderas de C.P. Las Colinas, Lurigancho-Chosica (2025)

L.F. Ticahuanca^{1*} , B.N. Bautista² , F.M. Zapata³ 

*Autor de Contacto: luis.ticahuanca.t@gmail.com.pe

RESUMEN

Esta investigación evaluó el peligro sísmico, la vulnerabilidad y el riesgo de viviendas ubicadas en laderas del centro poblado de Las Colinas, distrito de Lurigancho-Chosica. Se aplicó la metodología propuesta por CENEPRED (2014) mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) de Saaty (1980), considerando la ponderación de factores geomorfológicos, constructivos y socioeconómicos. Los resultados evidencian niveles predominantemente altos de peligro, vulnerabilidad y riesgo en la mayor parte del área de estudio, con valores que en algunos sectores se aproximan al umbral de la categoría muy alta, sin llegar a alcanzarla. Las principales limitaciones fueron el tamaño de la muestra y el alcance espacial del estudio. Este trabajo constituye una aplicación contextual del método AHP para la evaluación del riesgo sísmico en viviendas en laderas, posicionándolo como una herramienta útil para la planificación urbana y la gestión preventiva del riesgo.

Palabras clave: Riesgo sísmico; Peligrosidad; Vulnerabilidad; Viviendas en laderas; CENEPRED.

Seismic Risk Assessment: Hazard and Vulnerability in homes on hillsides in Las Colinas, Lurigancho-Chosica (2025)

ABSTRACT

This research evaluated the seismic hazard, vulnerability, and risk of dwellings located on hillsides in the rural center of Las Colinas, Lurigancho-Chosica district. The methodology proposed by CENEPRED (2014) was applied using the Analytic Hierarchy Process (AHP) developed by Saaty (1980), considering the weighting of geomorphological, construction-related, and socioeconomic factors. The results indicate predominantly high levels of hazard, vulnerability, and risk across most of the study area, with values in some sectors approaching the threshold of the very high category, without reaching it. The main limitations were the sample size and the spatial scope of the study. This work constitutes a contextual application of the AHP method for assessing seismic risk in hillside dwellings, positioning it as a useful tool for urban planning and preventive risk management.

Keywords:

Seismic risk; Hazard; Exposure; Housing on hillsides; CENEPRED.

1. INTRODUCCIÓN

El Perú se ubica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, área de alta sismicidad que incluye a países como Argentina, Bolivia y Canadá (Tavera & Buforn, 1998). Esta situación lo convierte en un país con alta incidencia de sismos y expuesto a sus efectos destructivos.

En las últimas décadas, el país ha registrado terremotos devastadores con importantes impactos humanos y materiales, como los ocurridos en Moquegua (2001), Arequipa (2001), Loreto (2005, 2019 y 2021) e Ica (2007). Entre ellos, el sismo de Pisco del 15 de agosto de 2007 (Mw 8,0) ocasionó 514 fallecidos, más de mil heridos y aproximadamente 39.700 viviendas destruidas (Izquierdo-Horna et al., 2022), evidenciando la magnitud de la amenaza sísmica en el país.

A este contexto se suma el crecimiento demográfico que, junto con los procesos de migración campo-ciudad, ha favorecido la expansión de asentamientos informales. La falta de planificación urbana y la autoconstrucción en zonas no aptas incrementan significativamente la vulnerabilidad ante desastres naturales (Moya et al., 2024).

Estudios recientes advierten que en Lima más del 30 % del territorio urbano está edificado en laderas con cimentaciones deficientes, empleando técnicas como los empircados, las cuales reducen la resistencia estructural (Montes Neyra, 2017). Asimismo, investigaciones en otras ciudades del Perú han identificado patrones similares: en Abancay, más de la mitad de las edificaciones ubicadas en taludes presentan vulnerabilidad sísmica de nivel medio-alto o alto, lo que incrementa la probabilidad de colapso ante eventos extremos (Micaela Revista de Investigación-UNAMBA, 2023). De igual manera, López Ramírez (2020) determinó en Chachapoyas que las edificaciones informales presentan deficiencias en su geometría, cimentación y entorno, lo que intensifica el riesgo sísmico.

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) constituye el principal marco técnico que regula la seguridad estructural en el país. La Norma E.030 Diseño Sismorresistente establece que toda edificación debe resistir las sollicitaciones sísmicas según la zonificación nacional, mientras que la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones dispone que los diseños consideren la capacidad portante y la estabilidad del terreno (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2023a, 2023b). Sin embargo, en zonas de ladera, la aplicación de estos criterios es limitada debido a la informalidad constructiva y a la ausencia de estudios geotécnicos.

Más allá de los aspectos estructurales, la falta de preparación comunitaria constituye otro factor que agrava el riesgo. Como señalan Salgado et al. (2015), la escasa implementación de planes de emergencia y la limitada capacidad de respuesta de la población han incrementado los daños en eventos sísmicos anteriores.

En este contexto, la investigación se desarrolla en el centro poblado Las Colinas de San Francisco, ubicado en el distrito de Lurigancho-Chosica, donde predominan viviendas asentadas en laderas de distintas pendientes y con alta densidad poblacional.

Desde el punto de vista territorial y registral, el área donde se ubica el centro poblado Las Colinas forma parte de terrenos de mayor extensión históricamente vinculados a la Comunidad

Campesina de Jicamarca. Diversos antecedentes registrales indican que estos predios fueron reconocidos como terrenos rústicos de propiedad comunal y posteriormente estuvieron sujetos a procesos de cesión de uso y disputas legales relacionadas con su inscripción. En consecuencia, el proceso de ocupación urbana se desarrolló de manera progresiva mediante la subdivisión informal del suelo y la ocupación de viviendas en sectores de ladera. Como resultado, las viviendas actualmente asentadas en el área de estudio no cuentan con independización registral individual ni con título de propiedad formal, lo que evidencia un proceso de crecimiento urbano no planificado que incrementa la vulnerabilidad y limita el acceso a servicios, financiamiento y asistencia técnica.

Desde un enfoque integral que considere tanto la peligrosidad del fenómeno como las condiciones de vulnerabilidad de la población, resulta necesario abordar el riesgo sísmico. De acuerdo con CENEPRED (2014), la estimación del riesgo se basa en la interacción entre la peligrosidad y la vulnerabilidad, siendo esta última un concepto que integra la exposición, la fragilidad y la resiliencia de los elementos en riesgo.

Sim et al. (2022) definen la peligrosidad como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido capaz de generar pérdidas humanas, daños a la infraestructura, interrupción de servicios y deterioro ambiental. En el caso de viviendas ubicadas en laderas, es necesario considerar factores condicionantes como la pendiente, que influye en la estabilidad del terreno; la geomorfología, relacionada con las formas del relieve; y el tipo de suelo, que comprende sus propiedades físicas y mecánicas, tales como textura, cohesión y capacidad de drenaje (Chen et al., 2025; Carreño & Cardozo, 2021).

Asimismo, intervienen factores desencadenantes como la magnitud del sismo, entendida como la energía liberada durante un evento sísmico (Kanamori & Brodsky, 2004), y la intensidad sísmica, que representa los efectos del movimiento del suelo en un lugar determinado y su impacto en las edificaciones (Zhao et al., 2023). La interacción de estos factores permite caracterizar la peligrosidad sísmica en el área de estudio.

Por su parte, la vulnerabilidad, según el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (CENEPRED, 2014), se refiere a las condiciones que hacen que la población, sus medios de vida y sus bienes sean susceptibles de sufrir daños ante la ocurrencia de un peligro. Esta se analiza en tres dimensiones: social, económica y ambiental.

En consecuencia, el riesgo sísmico resulta de la interacción entre la peligrosidad y la vulnerabilidad en un contexto territorial determinado. No puede explicarse únicamente por factores naturales, sino por la interacción entre las condiciones físicas del terreno y los aspectos sociales y constructivos. En este sentido, se propone la evaluación integral de la peligrosidad y la vulnerabilidad sísmica mediante el proceso de análisis jerárquico (AHP), metodología empleada por CENEPRED (2014) para ponderar y jerarquizar los factores que inciden en el riesgo.

Finalmente, a partir de la información recolectada en campo y del análisis jerárquico aplicado, la presente investigación tiene como objetivo determinar el nivel de riesgo sísmico, considerando el grado de peligrosidad y vulnerabilidad de las viviendas ubicadas en las laderas del centro poblado Las Colinas de San Francisco, con la finalidad de generar evidencia técnica que contribuya al fortalecimiento de la gestión del riesgo en contextos urbanos informales.

2. METODOLOGIA

Para determinar el riesgo sísmico se aplicó la metodología del CENEPRED (2014), la cual adapta el método Analítico Jerárquico (AHP) de Saaty (1980). Este enfoque permite ponderar factores condicionantes, desencadenantes y de evaluación para evaluar los niveles de peligrosidad; mientras que, para vulnerabilidad sísmica están las dimensiones sociales, económicas y ambientales. Siendo estos parámetros enriquecidos por diferentes autores.

Mediante este procedimiento, se evaluaron de manera independiente los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad, los cuales posteriormente fueron integrados para determinar el riesgo sísmico en el área de estudio. Este enfoque permitió identificar zonas críticas y establecer criterios para la gestión del riesgo en viviendas ubicadas en laderas.

2.1. Zona Analizada

El área de estudio es el C.P. Las Colinas, localizado en el centro poblado Ñaña, distrito de Lurigancho-Chosica, provincia de Lima, Perú con coordenadas de -11.9772 de latitud y -76.8320 de longitud. Según el plano visado proporcionado por uno de los vecinos de la comunidad se registra 469 viviendas; sin embargo, in situ se pudo contabilizar 410.

Se destaca que, para obtener un muestreo más específico de la población se tuvo que aplicar la fórmula de cálculo de tamaño de muestra para estudios variable principal de tipo cuantitativo finito (Salazar Barrios, 2022).

$$n = \frac{N * Z^2 S^2}{d^2(N - 1) + Z^2 S^2}$$

Donde:

n = tamaño de la muestra

N = tamaño de la población

Z = valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal. Llamado también nivel de confianza.

S² = varianza de la población en estudio (o desviación estándar al cuadrado y puede obtenerse de estudios similares o pruebas piloto)

d = nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio.

Obteniendo un resultado del tamaño de muestra de **161**; con una N de 410, Z siendo al 90% de 1.645, una S² de 0.25 y una precisión (d) de 5%

2.2. Proceso Análisis Jerárquico

El Método Analítico Jerárquico (AHP), desarrollado por Thomas Saaty (1980), es una herramienta matemática para la toma de decisiones multicriterio en problemas complejos con criterios tanto cuantitativos como cualitativos. Según Vergara et al. (2018), el AHP es capaz de estructurar el problema de manera lógica y racional, a través de escalas de razón y comparaciones por pares, apoyándose en la experiencia o juicio técnico de expertos, para establecer la importancia relativa de cada parámetro en un modelo de evaluación.

Según Steele et al. (2009), este método se basa en la teoría de medición de juicios humanos, por lo que se pueden convertir juicios subjetivos en datos cuantificables y fiables. Por su parte, Vargas

(1990) señala que el AHP integra el juicio técnico y analítico de los evaluadores, jerarquizando los problemas en niveles y permitiendo obtener ponderaciones numéricas objetivas.

En este estudio se aplicó el método de Saaty, siguiendo la metodología de CENEPRED (2014, 2019) para determinar los pesos relativos de los factores condicionantes, desencadenantes y de parámetros de evaluación en la estimación del peligro sísmico; así como, la vulnerabilidad en el caso de la exposición en viviendas localizadas en laderas para obtener los niveles de riesgo de la zona. A través de la Matriz de Comparación por Pares (MCP), se jerarquizaron los criterios utilizando la escala de Saaty, de 1 a 9 en función de su importancia. A continuación, se validó la consistencia de los juicios a través de la razón de consistencia ($RC \leq 0.1$), garantizando la coherencia de los resultados.

De este modo, el AHP proporcionó una ponderación objetiva y verificable de los factores de peligrosidad, exposición y riesgo sísmico, para una evaluación integral y justificada de las condiciones de las viviendas en laderas del sector C.P Las Colinas, Lurigancho-Chosica.

Tabla 1. Escala numérica de Saaty (Cenepred,2014)

Escala numérica	Escala Verbal	Explicación
9	Absolutamente o muchísimo más importante que....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que....	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con el otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que el segundo.
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Con el propósito de ilustrar la aplicación del método, se desarrolló una Matriz de Comparación de Pares (MCP) de 5×5 correspondiente al criterio Tipo de Suelo. El número de filas y columnas se determinó en función de los cinco parámetros considerados en el análisis. En dicha matriz, cuando dos parámetros presentan la misma relevancia, se les asigna el valor de uno. Asimismo, para simplificar el proceso de cálculo y obtener una mayor precisión en los resultados, los valores se expresaron en formato decimal. Finalmente, se sumaron las columnas de la matriz y se calcularon sus valores inversos.

Tabla 2. MCP para la Pendiente.

Pendiente	45% < P	25% < P ≤ 45%	15% < P ≤ 25%	5% < P ≤ 15%	P ≤ 5%
45% < P	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
25% < P ≤ 45%	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
15% < P ≤ 25%	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
5% < P ≤ 15%	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
P ≤ 5%	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,787	4,676	9,533	16,333	25,000
1/SUMA	0,560	0,214	0,105	0,061	0,040

En la tabla 3 se visualiza la Tabla de Matriz de Normalización (MN), obtenida al multiplicar la inversa de las sumas totales por cada elemento de su columna correspondiente.

Tabla 3. MN para la Pendiente

Pendiente	45% < P	25% < P ≤ 45%	15% < P ≤ 25%	5% < P ≤ 15%	P ≤ 5%
45% < P	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360
25% < P ≤ 45%	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280
15% < P ≤ 25%	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200
5% < P ≤ 15%	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120
P ≤ 5%	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040
SUMA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Una vez elaborada la Matriz de Normalización (MN), se realiza la ponderación por filas, con el fin de normalizar los valores correspondientes a cada criterio. Este procedimiento permite obtener el Vector de Priorización (VP) y el porcentaje indica la importancia relativa de cada parámetro, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Vector de Priorización.

Vector de Priorización	Porcentaje
0,503	50,28%
0,260	26,02%
0,134	13,44%
0,068	6,78%
0,035	3,48%

Para calcular la Relación de Consistencia (RC), se considera que su valor debe ser menor al 10% ($RC < 0.1$), lo que indica que las comparaciones por pares presentan un nivel de coherencia adecuado. Para determinar la RC, primero se obtiene el Vector Suma Ponderada (VSP), mostrado en la Tabla 5, el cual se calcula multiplicando la Matriz de Comparación de Pares (MCP) por el Vector de Priorización (VP).

Tabla 5. Vector Suma Ponderada.

Vector Suma Ponderada
2,743
1,414
0,699
0,341
0,177

Posteriormente, se determina el valor de λ_{\max} dividiendo los valores del Vector Suma Ponderada (VSP) entre los correspondientes del Vector de Priorización (VP), como se muestra en la Tabla 6. Finalmente, se obtiene un valor único de $\lambda_{\max} = 5.243$, a partir de la ponderación de todos los resultados individuales.

Tabla 6. λ_{\max}

λ_{\max}
5,455
5,432
5,204
5,030
5,093

Finalmente, se calcula el Índice de Consistencia (IC), aplicando la expresión:

$$IC = (\lambda_{\max} - n) / (n-1)$$

donde “n” representa el número de orden de la matriz en este caso es 5. Posteriormente, se determina la Relación de Consistencia (RC) mediante la fórmula:

$$RC = IC / IA$$

donde IA corresponde al Índice Aleatorio, cuyo valor se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores del índice aleatorio según orden de la matriz (Cenepred,2014)

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535

n	14	15	16
IA	1.570	1.583	1.595

El valor del Índice Aleatorio (IA), determinado según la Tabla 7, es de 1.115. A partir de este valor, se obtuvo un Índice de Consistencia (IC) de 0.017 y una Relación de Consistencia (RC) de 0.015. Dado que $RC < 0.10$, se concluye que las comparaciones por pares presentan un nivel de coherencia adecuado dentro del proceso de evaluación.

2.3. Peligrosidad

La peligrosidad sísmica del área de estudio se evaluó en función de los criterios establecidos por CENEPRED (2014). Para ello, se consideraron los factores condicionantes, que incluyen la pendiente, el tipo de suelo y la geología local; los factores desencadenantes, relacionados con la ocurrencia de sismos de magnitud (Figura 5); y la intensidad sísmica esperada, parámetro fundamental para caracterizar la amenaza (Figura 4). Finalmente, la Tabla 8 presenta la matriz de Saaty, mediante la cual se asignaron los pesos relativos de cada factor dentro del análisis de peligrosidad.

2.3.b1. Factores condicionantes

1. Pendiente

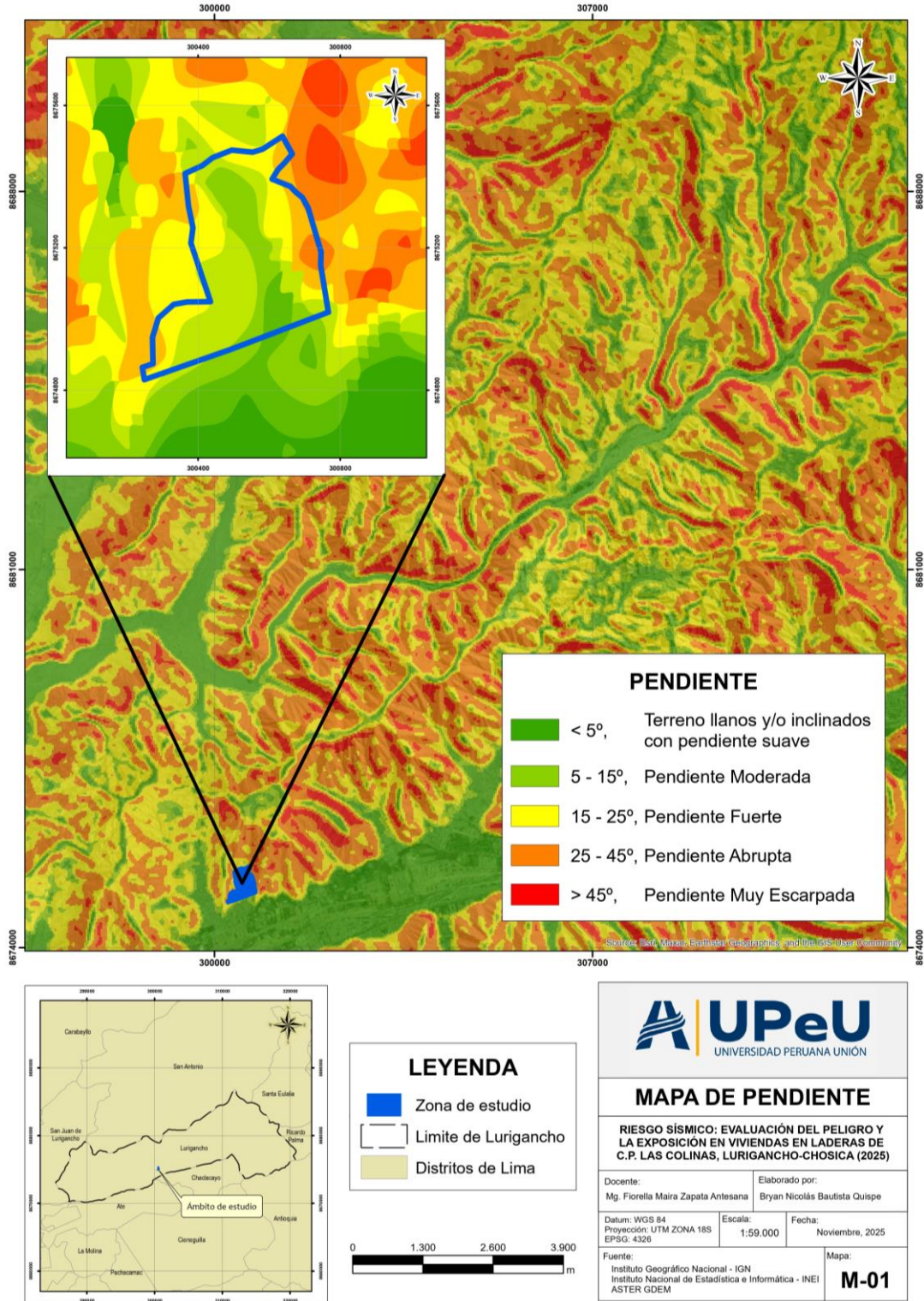


Figura 1. Mapa de Pendiente. Fuente propia.

2. Tipo de Suelo

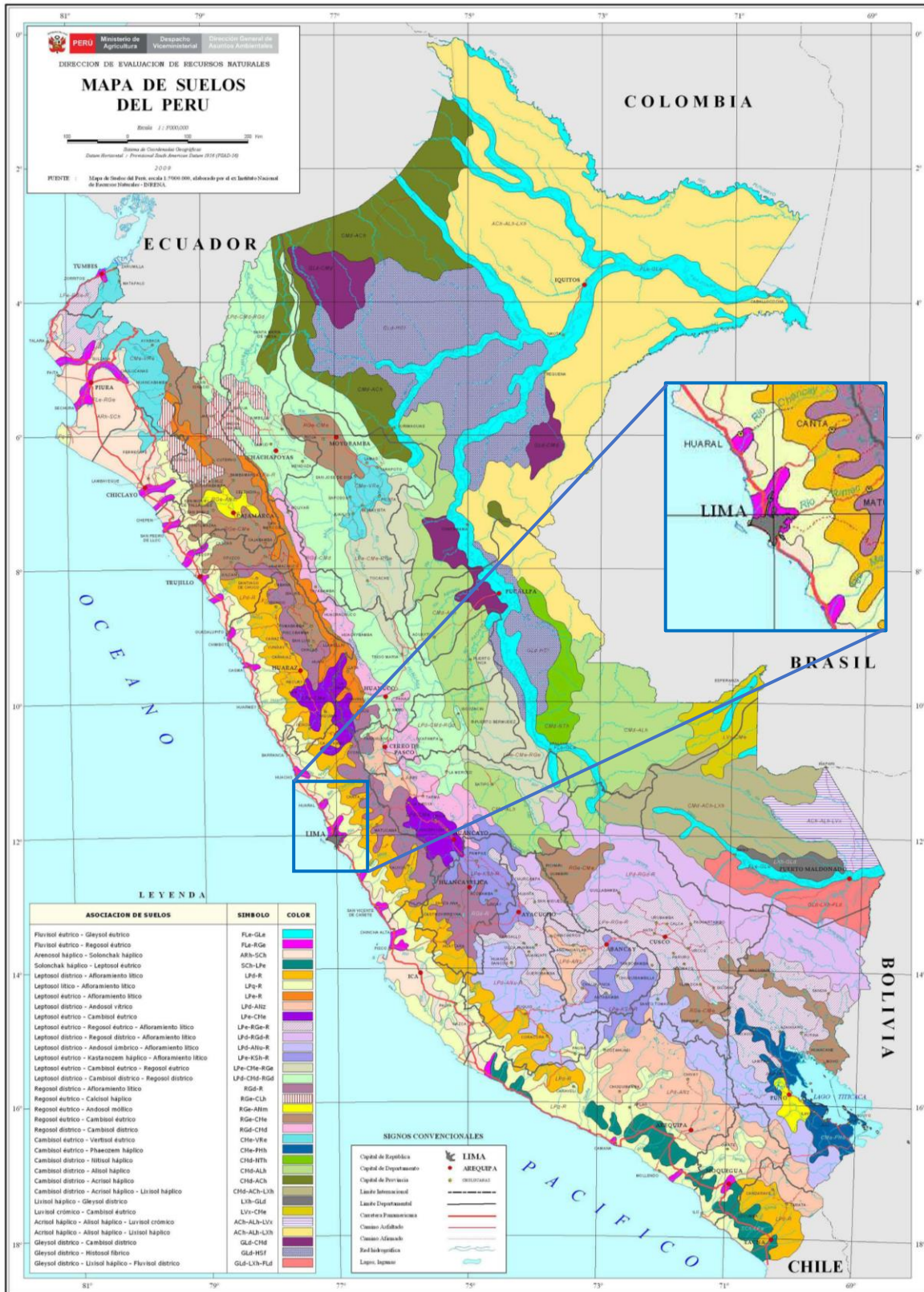


Figura 2. Mapa de Suelo (IRENA,2009).

Según la cartografía de IRENA (2009), el área de estudio se asienta sobre suelos clasificados como Fluvisol eutricto – Regosol eutricto, desarrollados sobre depósitos aluviales recientes, de textura arenoso-limosa y poco desarrollados pedogenéticamente. Esta descripción se apoya en el estudio geotécnico de la Municipalidad del Centro Poblado Santa María de Huachipa (2019), que revela estratos compuestos por grava, arena y limo en proporciones variables, características de suelos sueltos, no cohesivos y poco húmedos. Según CENEPRED, este tipo de suelo se clasifica como "Arena eólica y/o limo sin agua", lo que implica alta permeabilidad, poca cohesión y susceptibilidad a fenómenos como amplificación sísmica y movimientos en masa superficiales.

3. Geomorfología

Según el Mapa Geomorfológico Nacional del Perú, en el visor Web App Builder for ArcGIS de Portuguesez (s.f.), el área de estudio es una zona de acumulación aluvio-torrencial, conformada por gravas, arenas y limos de vertiente, susceptibles a flujos, remoción en masa e inundaciones en eventos extremos. Esta clasificación coincide con lo que se obtuvo en la tabla de unidades geomorfológicas, donde se determinó como predominante la planicie o llanura aluvial de piedemonte aluvio-torrencial, propia de un ambiente deposicional activo susceptible a procesos geodinámicos.

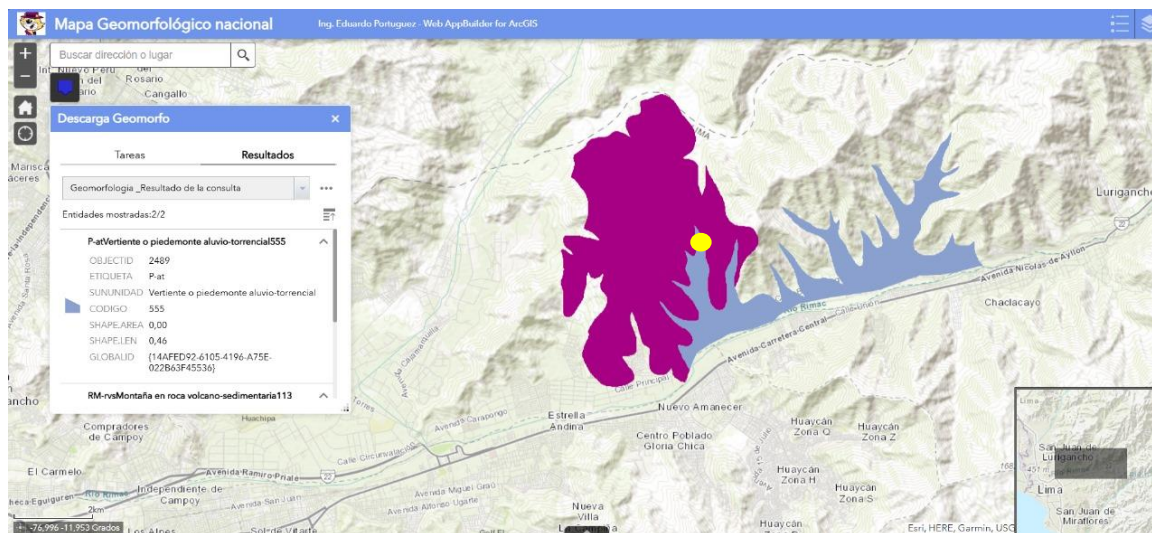


Figura 3. . Geomorfología. Fuente ArcGIS Online

2.3.2 Parámetro de Evaluación

1. Intensidad

De acuerdo con el mapa oficial de intensidades sísmicas del territorio peruano, publicado por el CENEPRED, el área de estudio se localiza dentro de una zona clasificada con una intensidad sísmica de grado IX en la escala de Mercalli (CENEPRED, 2003).

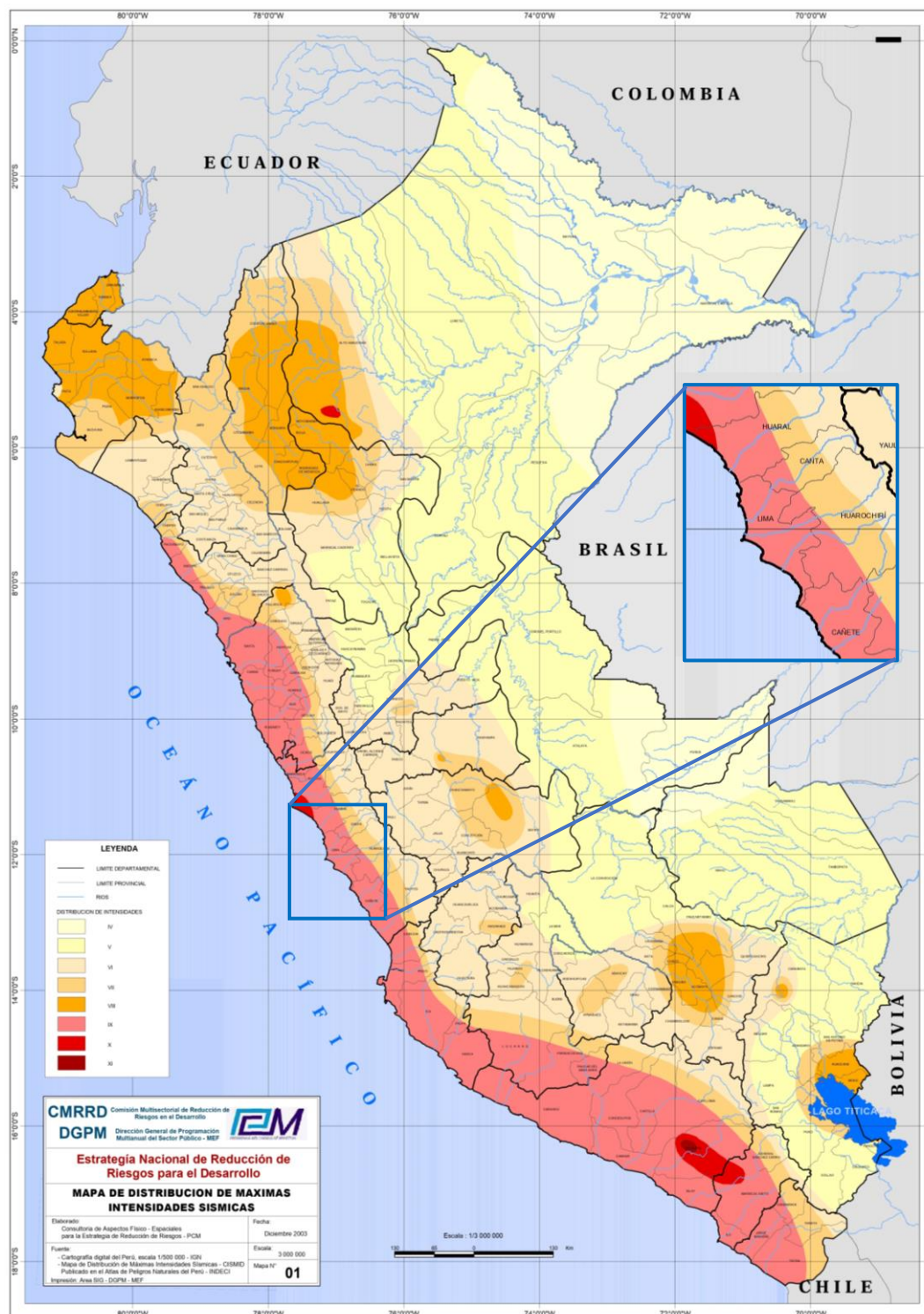


Figura 4. Mapa de Intensidad (CENEPRED,2003).

2.3.3. Factor Desencadenante

1. Magnitud

Según la información cartográfica del Instituto Geofísico del Perú (IGP), la zona de estudio se ubica en un sector donde se registran sismos con magnitudes iguales o superiores a 7 Mw, asociados a una sismicidad de profundidad intermedia comprendida de 61 - 300 km.

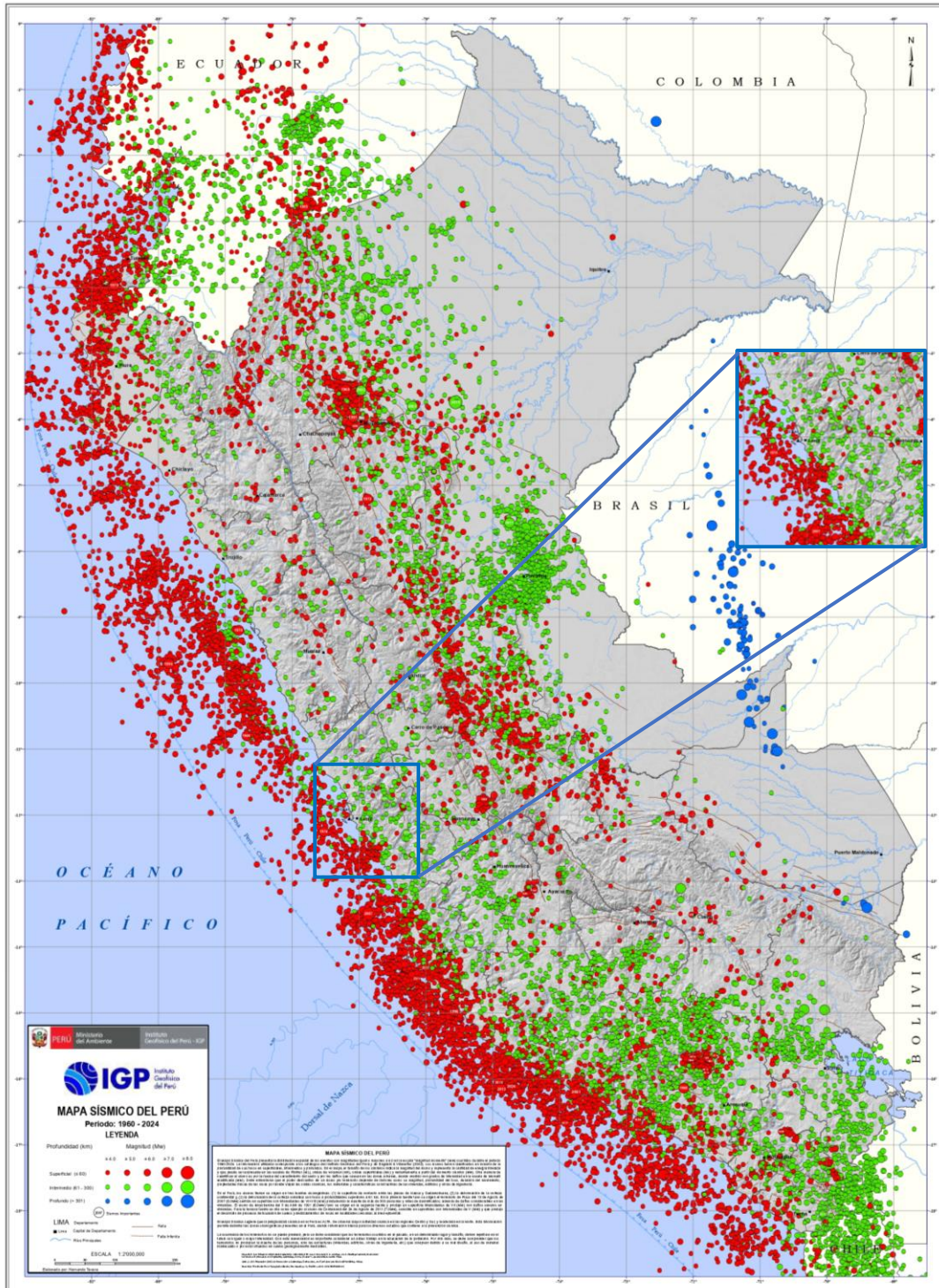


Figura 5. Mapa de Magnitud. Fuente IGP.

2.3.4 Cálculo de Peligrosidad

El procedimiento de estimación se basó en una fórmula derivada y adaptada del método desarrollado por Santuyo y Granda (2022), a fin de adecuarlo a la evaluación del presente análisis.

La formulación general puede expresarse como:

$$\text{Peligrosidad} = 0.6 (\text{Peso del Parámetro de Evaluación}) + 0.4 (0.4 (\text{Peso} * \text{Peso de Factores Condicionantes})) + 0.6 (0.6 (\text{Peso del Factor Desencadenante}))$$

Donde:

Peso del Parámetro de Evaluación: Refleja el porcentaje del vector de priorización de la intensidad del sismo correspondiente al nivel evaluado.

Peso: Corresponden al porcentaje de incidencia obtenido del vector de priorización para los elementos geomorfológicos, tipo de suelo y pendiente del terreno de manera global.

Peso del Factor Condicionante: Corresponden al porcentaje de incidencia obtenido del vector de priorización para los elementos geomorfológicos, tipo de suelo y pendiente del terreno independiente para cada una de ellas.

Peso de Factores Desencadenantes: Representan el porcentaje de incidencia del vector de priorización asociado a la magnitud.

Tabla 8. Clasificación de los factores condicionantes, desencadenantes y parámetro empleado para la evaluación del peligro sísmico.

0.6	0.4			
PARAMETRO DE EVALUACION	SUSCEPTIBILIDAD			
	0.4			0.6
	FACTORES CONDICIONANTES			FACTORES DESENCADENANTES
INTENSIDAD DEL SISMO	0.539	0.297	0.164	MAGNITUD DE SISMO
	GEOMORFOLOGIA	TIPO DE SUELO	PENDIENTE	
0.467	0.467	0.467	0.503	0.503
0.256	0.256	0.256	0.260	0.260
0.148	0.148	0.148	0.134	0.134
0.084	0.084	0.084	0.068	0.068
0.044	0.044	0.044	0.035	0.035

Antes de aplicar la fórmula se tuvo que procesar a través del análisis jerárquico tanto el parámetro y factores según como se ejemplifica en el apartado 2.2, teniendo en cuenta los siguientes rangos de evaluación.

El parámetro de evaluación corresponde a la intensidad sísmica, expresada en la Escala de Mercalli Modificada (MM) y evaluada en cinco rangos, desde intensidades <III hasta >IX. Este parámetro representa el nivel de energía liberada y la percepción de los efectos del sismo sobre la superficie, constituyendo el 60 % del peso total en la ecuación de peligrosidad.

Los factores de susceptibilidad se dividieron en dos grupos principales: factores condicionantes y factores desencadenantes. Los primeros representan las condiciones físicas del terreno que pueden influir en la propagación y amplificación de las ondas sísmicas, mientras que los segundos están asociados a los elementos que detonan o agravan los efectos del evento.

Entre los factores condicionantes (ponderados con un 40 % dentro del componente de susceptibilidad) se consideraron tres variables:

- Geomorfología: Clasificada en cinco unidades morfoestructurales, a saber: Ladera coluvial activa, Depósitos eólicos en ladera, Llanura o planicie aluvial, Montaña en roca sedimentaria y Montañas con laderas estructurales.
- Tipo de suelo: Definido en función de su composición y grado de consolidación, en las siguientes categorías: Relleno; Arena eólica y/o limo con agua; Arena eólica y/o limo sin agua; Suelos granulares finos; y Afloramiento rocoso.
- Pendiente: Evaluada en cinco rangos de inclinación: $\leq 5\%$, $5-15\%$, $15-25\%$, $25-45\%$ y $>45\%$.

Por su parte, el factor desencadenante corresponde a la magnitud del sismo, evaluada en cinco intervalos de magnitud ($M_w < 3.4$, $3.5-4.9$, $5.0-6.4$, $6.5-8.0$ y >8.0). Este factor describe la energía liberada durante el evento sísmico y representa el 60 % del peso dentro de la susceptibilidad.

Por último, al procesar lo que se ve reflejado en la tabla es el VP, y estos pesos por cada fila serán insertados en la fórmula para hallar los valores y niveles de peligro. Para saber en entre que valores y nivel se encuentra la zona de investigación, se tuvo en cuenta que el lugar de estudio la intensidad de sismo se encuentra VI-IX dando un $VP=0.256$, la geomorfología es clasificada de Llanura o Planicie Aluvial un $VP=0.148$ y de la misma manera el tipo de suelo clasificado de Arena Eólica y/o limo sin agua, la pendiente se encuentra en lo intervalos $25\% < P \leq 45\%$, $15\% < P \leq 25\%$ y $5\% < P \leq 15\%$ y magnitud del sismo es $6 M_w - 7.9 M_w$. Esto es insertado en la fórmula para poder hallar resultado final dándonos un nivel de peligro $P=0.225$, 0.251 y 0.234 . Llegando a concluir que se encuentra en el intervalo de Alto, ver la tablas 9 y 10.

Tabla 9. Valores del peligro sísmico.






Valores del Peligro		
0.483		VP1
0.258		VP2
0.142		VP3
0.077		VP4
0.040		VP5

Tabla 10. Niveles de peligro.

Rangos			Nivel de Peligro
0.258	$< P \leq$	0.483	MUY ALTO
0.142	$< P \leq$	0.258	ALTO
0.077	$< P \leq$	0.142	MEDIO
0.040	$< P \leq$	0.077	BAJO

2.4 Vulnerabilidad

Se desarrolló conforme a los lineamientos metodológicos del CENEPRED (2014), considerando que este componente resulta esencial para estimar el riesgo al integrar tres dimensiones principales: la social, que abarca las condiciones de la población y el acceso a servicios básicos; la económica, relacionada con las actividades productivas, infraestructuras y bienes materiales expuestos; y la ambiental, que incluye los recursos naturales situados en zonas susceptibles a afectación sísmica.

Para la recolección de información se aplicó una encuesta validada por expertos, complementada con el formulario CARTIS (Zuccaro et al., 2015), metodología implementada por ReLUIIS y el Departamento de Protección Civil italiano para la caracterización tipológica y estructural de edificaciones, lo que permitió mejorar la fiabilidad y homogeneidad de los datos obtenidos en asentamientos urbanos (Dolce et al., 2021) considerando la de CENEPRED

El procesamiento de datos se efectuó mediante el método Analítico Jerárquico (AHP) propuesto por Saaty (1980), que permitió ponderar los parámetros establecidos por CENEPRED y obtener los pesos relativos de cada factor. Esto facilitó identificar las zonas más frágiles y establecer el nivel general de vulnerabilidad sísmica en el área de estudio como se puede ver en el apartado de metodología.

2.4.1 Dimensión Social

1. Exposición

- Grupo etario: Se obtuvo una mayor obtención de datos en el apartado de 5 a 12 años y de 60 a 65 años, que representa un peso de 0.256. Sin embargo, también se encontró una considerable proporción de datos de 12 a 15 años y de 50 a 60 años que corresponde al peso de 0.148

2. Fragilidad

- Accesibilidad a servicios básicos: viviendas con acceso a agua, luz o desagüe presentan un peso de 0.040. Sin embargo, había zonas donde no contaban con ningún servicio básico; 0.483, y otros donde solo había luz y agua; 0.074.
- Densidad por vivienda: las viviendas con un intervalo de 3 a 4 personas; 0.256, y en algunos pocos casos de 5 a 6; 0.148.
- Condición de discapacidad: no presenta ningún tipo de discapacidad; 0.053.

3. Resiliencia

- Actitud frente al riesgo: actitud parcialmente previsor, asumiendo el riesgo; 0.134.
- Conocimiento sobre rutas de evacuación: se tiene una idea vaga o parcial sobre la ruta de evacuación; 0.153. Aunque, también se encontró en zonas más pronunciadas que no se cuenta con ninguna ruta de evacuación definida; 0.443.
- Capacitación en gestión del riesgo: No ha recibido ninguna capacitación; 0.467.

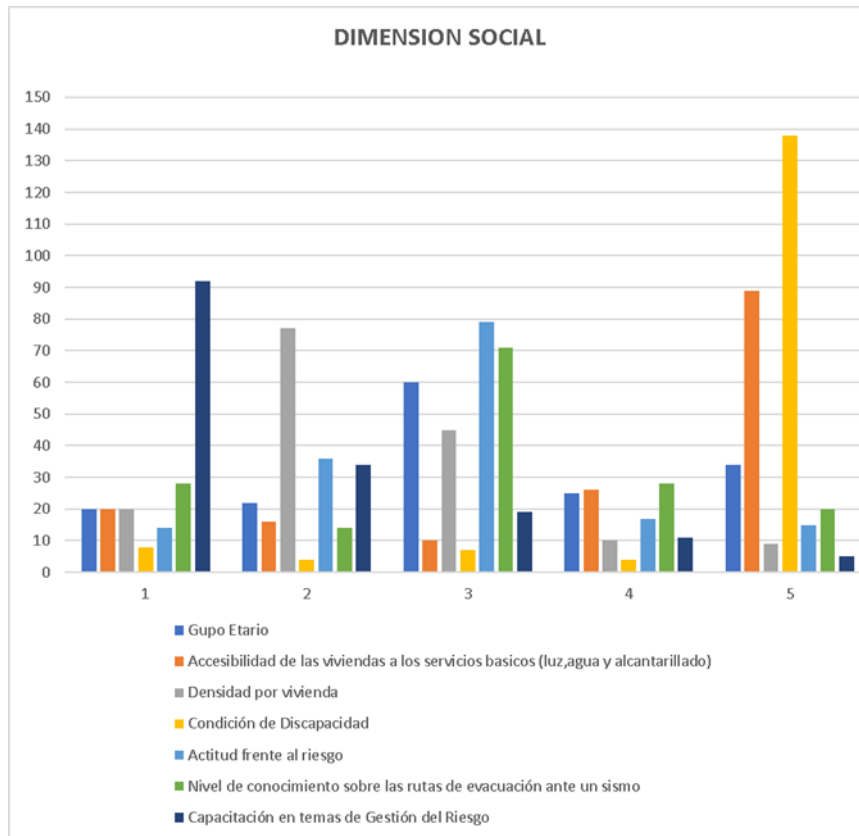


Figura 6. Factores encuestados de la Dimensión Social. Fuente propia.

2.4.2 Dimensión Económica

1. Exposición
 - Uso funcional del inmueble: las edificaciones de uso residencial fueron las más vistas; 0.444.
2. Fragilidad
 - La antigüedad de la edificación se clasificó de 10 a 20 años; 0.074 y en la categoría subsiguiente de 5 a 10 años; 0.039.
 - El material predominante en muros y columnas fue de madera; 0.260 y algunas otras de ladrillo o bloque de cemento; 0.035.
 - Los techos se clasificaron en su gran mayoría calamina o un material similar a esta; 0.262 y el otro gran apartado de losa aligerada; 0.444.
 - El estado de conservación reveló que la mayoría estuvo en el apartado de malo; 0.260, mientras que otra proporción de viviendas estaba en un grado de regular; 0.134
 - La configuración en elevación se analizó según el número de pisos (1 a 5), siendo la gran mayoría 1 piso; 0.035.

3. Resiliencia

- Ingreso familiar de promedio mensual: Se obtuvo una mayor obtención destacando que la mayoría de los pobladores marcaron esta opción de que ganan $> 1500 \leq 1800$, que representa un peso de 0.148.
- Población económicamente activa desocupada: Se obtuvo una mayor obtención destacando que la mayoría de los pobladores marcaron esta opción de que trabajo de forma continua y estable todo el año, que representa un peso de 0.044.
- Condición ocupacional del jefe del hogar: Se obtuvo una mayor obtención destacando que la mayoría de los pobladores marcaron esta opción de que **otros**, que representa un peso de 0.503. Sin embargo, también se encontró una considerable proporción de albañil u obrero que corresponde al peso de 0.035.

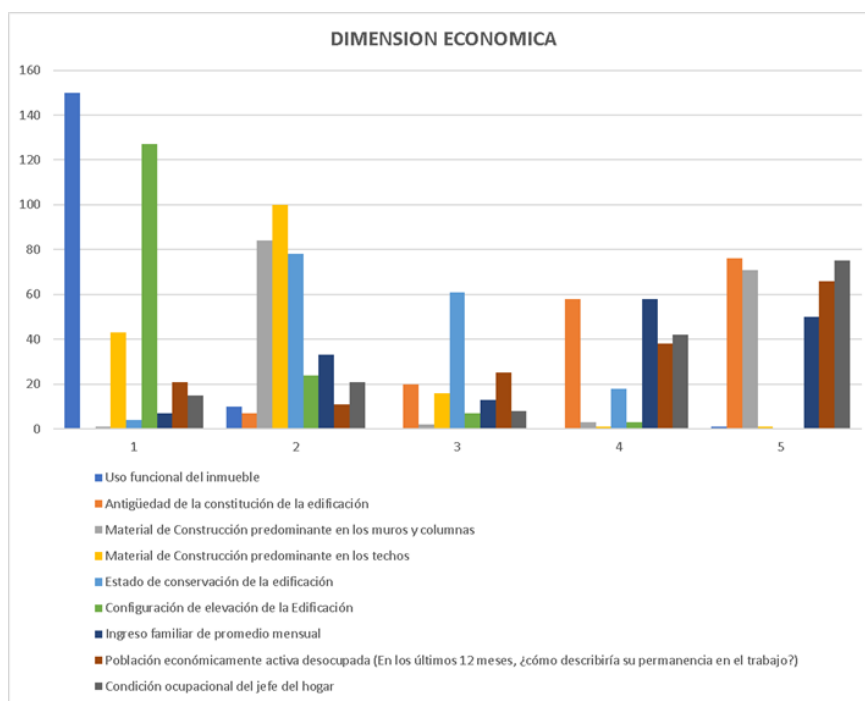


Figura 7. Factores encuestados de la Dimensión Económica. Fuente propia.

2.4.3 Dimensión Ambiental

1. Exposición

- Disposición final de residuos sólidos: Se obtuvo una mayor obtención destacando que la mayoría de los pobladores marcaron esta opción de que Los elimina individualmente en zonas permitidas, que representa un peso de 0.084. Sin embargo, también se encontró una considerable proporción de datos de Deposita desechos en el dren o fuera de su casa que corresponde al peso de 0.256

2. Fragilidad

- Grado de afectación de las viviendas durante el sismo del 15 de junio del 2025: Se obtuvo una mayor obtención destacando que la mayoría de los pobladores marcaron esta opción de que La vivienda no se vio afectada, que representa un peso de 0.035.

3. Resiliencia

- Capacitación en temas de conservación ambiental en los últimos 5 años: Se obtuvo una mayor obtención destacando que la mayoría de los pobladores marcaron esta opción de que Ningún miembro de la comunidad ha participado en actividades de capacitación ambiental, que representa un peso de 0.444.

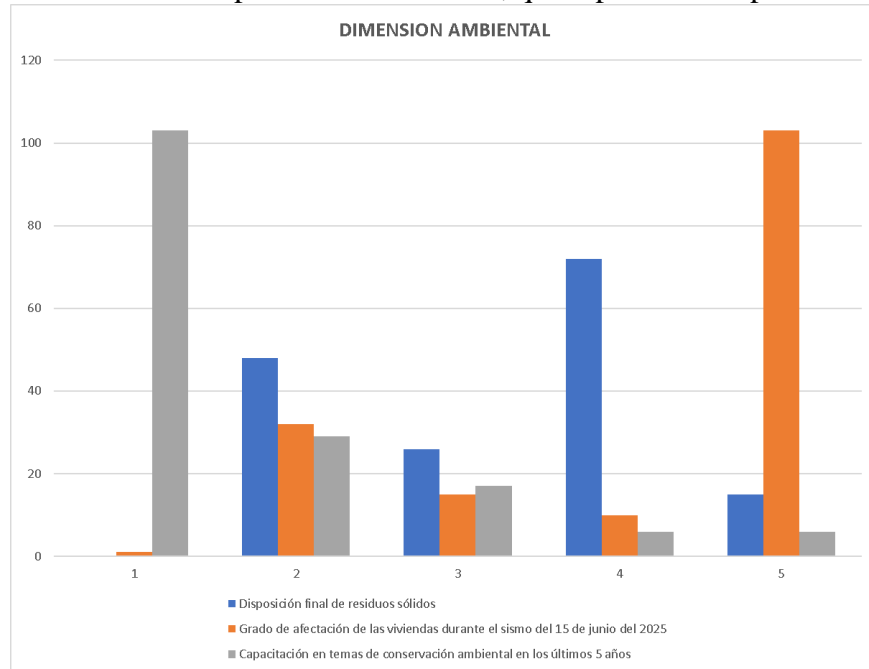


Figura 8. Factores encuestados de la Dimensión Ambiental.

2.4.4 Cálculo de Vulnerabilidad

Para poder hallar el cálculo de la vulnerabilidad se procesaron con el AHP cada dimensión con sus respectivos descriptores, para el ultimo utilizar la siguiente formula.

$$V_Vul = Val_DimSocial * Peso_DimSocial + Val_DimEcon * Peso_Dim_Econ + Val_Dim_Amb * Peso_DimAmb$$

1. Dimensión Económica

Tabla 11. Cálculo del valor y peso del factor de la exposición respecto a la dimensión económica.

Exposición		Valor Exposición Económica	Peso Exposición Económica
Uso funcional del inmueble			
PESO PAR	PESO DESCRIP		
1	0.444	0.444	0.665
1	0.262	0.262	0.665
1	0.153	0.153	0.665
1	0.089	0.089	0.665
1	0.053	0.053	0.665

Tabla 12. Cálculo del valor y peso del factor de la fragilidad respecto a la dimensión económica.

Fragilidad					
Antigüedad de la constitución de la edificación		Material de Construcción predominante en los muros y columnas		Material de Construcción predominante en los techos	
PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP
0.467	0.515	0.256	0.503	0.148	0.444
0.467	0.239	0.256	0.260	0.148	0.262
0.467	0.133	0.256	0.134	0.148	0.153
0.467	0.074	0.256	0.068	0.148	0.089
0.467	0.039	0.256	0.035	0.148	0.053

Fragilidad				Valor Exposición Económica	Peso Exposición Económica
Estado de conservación de la Edificación		Configuración de elevación de la Edificación			
PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP		
0.084	0.503	0.044	0.503	0.493	0.231
0.084	0.260	0.044	0.260	0.256	0.231
0.084	0.134	0.044	0.134	0.138	0.231
0.084	0.068	0.044	0.068	0.073	0.231
0.084	0.035	0.044	0.035	0.039	0.231

Tabla 13. Cálculo del valor y peso del factor de la resiliencia respecto a la dimensión económica.

Resiliencia						Valor Exposición Económica	Peso Exposición Económica
Ingreso familiar de promedio mensual		Población económicamente activa desocupada		Condición ocupacional del jefe del hogar			
PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP		
0.697	0.467	0.232	0.492	0.072	0.503	0.487	0.104
0.697	0.256	0.232	0.246	0.072	0.260	0.254	0.104
0.697	0.148	0.232	0.138	0.072	0.134	0.140	0.104
0.697	0.084	0.232	0.079	0.072	0.068	0.077	0.104
0.697	0.044	0.232	0.044	0.072	0.035	0.041	0.104

Tabla 14. Cálculo del valor y peso de la dimensión económica.

VALOR DIMENSION ECONOMICA	PESO DIMENSION ECONOMICA
0.475	0.216
0.257	0.216
0.144	0.216
0.080	0.216
0.044	0.216

2. Dimensión Social

Tabla 15. Cálculo del valor y peso del factor de la exposición respecto a la dimensión social.

Exposición		Valor Exposición Social	Peso Exposición Social
Grupo Etario en la Familia			
PESO PAR	PESO DESCRIP		
1	0.467	0.467	0.633
1	0.256	0.256	0.633
1	0.148	0.148	0.633
1	0.084	0.084	0.633
1	0.044	0.044	0.633

Tabla 16. Cálculo del valor y peso del factor de la fragilidad respecto a la dimensión social.

Fragilidad						Valor Exposición Social	Peso Exposición Social
Accesibilidad de las viviendas a los servicios básicos		Densidad por vivienda		Condición de Discapacidad			
PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP		
0.633	0.483	0.260	0.467	0.106	0.444	0.465	0.260
0.633	0.261	0.260	0.256	0.106	0.262	0.260	0.260
0.633	0.141	0.260	0.148	0.106	0.153	0.147	0.260
0.633	0.074	0.260	0.084	0.106	0.089	0.082	0.260
0.633	0.040	0.260	0.044	0.106	0.053	0.046	0.260

Tabla 17. Cálculo del valor y peso del factor de la resiliencia respecto a la dimensión social.

Resiliencia						Valor Exposición Social	Peso Exposición Social
Actitud frente al riesgo		Nivel de conocimiento sobre las rutas de evacuación ante un sismo		Capacitación en temas de Gestión del Riesgo			
PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP	PESO PAR	PESO DESCRIP		
0.633	0.503	0.260	0.444	0.106	0.467	0.471	0.106
0.633	0.260	0.260	0.262	0.106	0.256	0.259	0.106
0.633	0.134	0.260	0.153	0.106	0.148	0.145	0.106
0.633	0.068	0.260	0.089	0.106	0.084	0.080	0.106
0.633	0.035	0.260	0.053	0.106	0.044	0.044	0.106

Tabla 18. Cálculo del valor y peso de la dimensión social.

VALOR DIMENSION SOCIAL	PESO DIMENSION SOCIAL
0.468	0.723
0.259	0.723
0.147	0.723
0.082	0.723
0.044	0.723

3. Dimensión Ambiental

Tabla 19. Cálculo del valor y peso del factor de la exposición y fragilidad respecto a la dimensión ambiental.

Exposición		Valor Exposición Ambiental	Peso Exposición Ambiental	Fragilidad		Valor Exposición Ambiental	Peso Exposición Ambiental
Disposición final de residuos sólidos				Accesibilidad de las viviendas a los servicios básicos			
PESO PAR	PESO DESCRIP			PESO PAR	PESO DESCRIP		
1	0.467	0.467	0.608	1	0.503	0.503	0.272
1	0.257	0.256	0.608	1	0.260	0.260	0.272
1	0.148	0.148	0.608	1	0.134	0.134	0.272
1	0.084	0.084	0.608	1	0.068	0.068	0.272
1	0.044	0.044	0.608	1	0.035	0.035	0.272

Tabla 20. Cálculo del valor y peso del factor de la dimensión ambiental

Resiliencia		Valor Exposición Ambiental	Peso Exposición Ambiental	VALOR DIMENSION AMBIENTAL	PESO DIMENSION AMBIENTAL
Actitud frente al riesgo					
PESO PAR	PESO DESCRIP				
1	0.444	0.444	0.120	0.471	0.061
1	0.262	0.262	0.120	0.259	0.061
1	0.153	0.153	0.120	0.145	0.061
1	0.089	0.089	0.120	0.080	0.061
1	0.053	0.053	0.120	0.044	0.061

Por último, al procesar la información reflejada en cada tabla de dimensión, se tomaron las columnas finales correspondientes al valor y al peso. Estos datos se insertaron en la fórmula establecida para calcular los valores de la vulnerabilidad, según se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Valor de Vulnerabilidad.

VALOR DE LA VULNERABILIDAD
0.471
0.258
0.145
0.081
0.044

Para determinar el nivel en el que se encuentra la zona de investigación, se consideraron los resultados obtenidos a partir de las encuestas recopiladas y analizadas en las matrices de cada dimensión. Como resultado, se obtuvo un valor de vulnerabilidad de 0.214, el cual, de acuerdo con la Tabla 22, se ubica dentro del rango alto y 0.260, ubicado en rango muy alto.

Tabla 22. Valores de la Vulnerabilidad.

Valores			Nivel de Peligro
0.258	$< V \leq$	0.471	MUY ALTO
0.145	$< V \leq$	0.258	ALTO
0.081	$< V \leq$	0.145	MEDIO
0.044	$< V \leq$	0.081	BAJO

2.5 Riesgo Sísmico

2.5.1 Cálculo de Riesgo Sísmico

El valor de riesgo se obtiene al multiplicar el valor del peso de peligrosidad con el de vulnerabilidad.

Siendo de la siguiente manera:

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Peso de Peligrosidad} * \text{Peso de Vulnerabilidad}$$

Donde:

Peso del Peligrosidad: El valor del vector priorización obtenido de la zona alta

Peso del Vulnerabilidad: El valor del vector priorización obtenido de las zonas del nivel alto y muy alto

Al efectuar dicha fórmula se obtuvo que presenta un peso de 0.051 siendo el nivel de alto y en menor escala, zonas aledañas, de 0.062 muy alto como se ve en la tabla 24

Tabla 23. Valores del riesgo sísmico.

Valores del Riesgo		
0,227		VR1
0,067		VR2
0,021		VR3
0,006		VR4
0,002		VR5

Tabla 24. Niveles de riesgo.

Rangos			Nivel de Riesgo
0,067	$< R \leq$	0,227	MUY ALTO
0,021	$< R \leq$	0,067	ALTO
0,006	$< R \leq$	0,021	MEDIO
0,002	$< R \leq$	0,006	BAJO

3 DISCUSION Y RESULTADOS

La presente sección integra los hallazgos obtenidos a partir del análisis de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo sísmico en las viviendas ubicadas en el C.P. Las Colinas, contrastándolos con estudios previos, lineamientos de CENEPRED y la normativa vigente. Los resultados se discuten según los tres componentes evaluados:

3.2 Peligrosidad sísmica

El análisis AHP aplicado a los factores condicionantes (pendiente, tipo de suelo y geomorfología) y desencadenantes (magnitud e intensidad) evidenció que la peligrosidad sísmica en Las Colinas es alta, según la Figura 9 se observa que se alcanzó un valor máximo de $P = 0.251$ y mínimo de $P=0.221$, dentro del rango de Alto

Este nivel se explica principalmente por:

- Pendientes entre 15–25%, consideradas críticas por CENEPRED (2014) debido a su influencia directa en la amplificación de ondas sísmicas.
- Suelos arenosos-limosos no cohesivos (arena eólica/limo sin agua), los cuales poseen baja capacidad de amortiguación y mayor riesgo de deslizamientos superficiales.
- Geomorfología de piedemonte aluvio-torrencial, caracterizada por depósitos sueltos y alta susceptibilidad a remoción en masa.
- Intensidad esperada de IX MM, según el mapa oficial de intensidades (CENEPRED, 2003).
- Magnitudes entre 6.0 y 7.9 Mw, propias de la sismicidad intermedia de Lima-Este, según IGP.

Estos resultados coinciden plenamente con lo reportado por Montes Neyra (2017) y Discó (2018), quienes observaron que los asentamientos informales en laderas presentan condiciones topográficas y geotécnicas similares, lo que incrementa su amenaza sísmica.

En síntesis, la peligrosidad elevada en Las Colinas se debe a la sobreposición de pendientes pronunciadas y suelos sueltos, una combinación que potencia la amplificación sísmica y la inestabilidad superficial del terreno

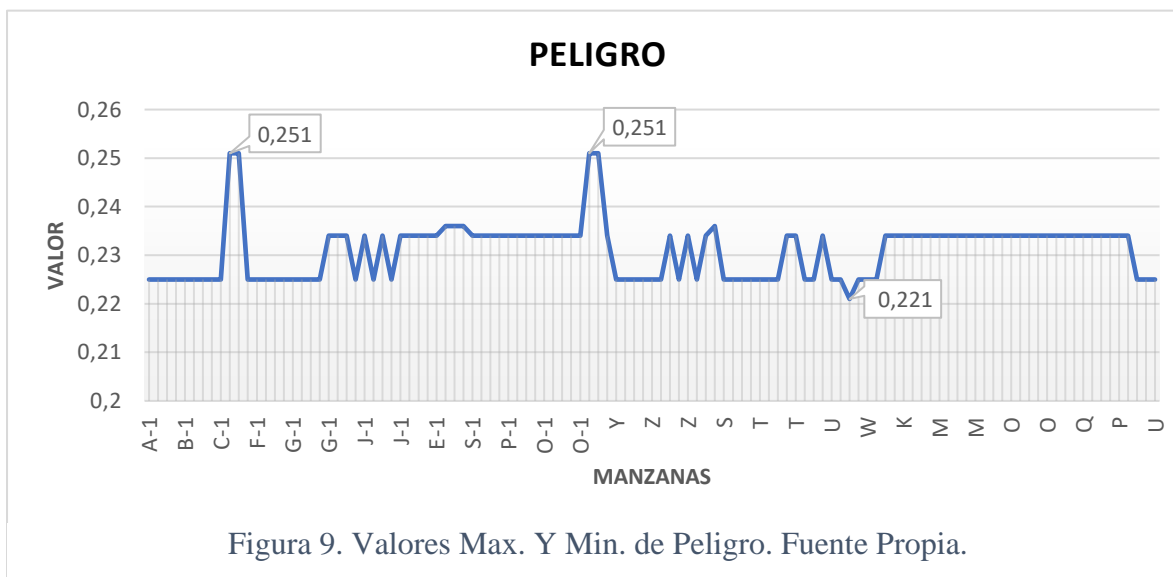


Figura 9. Valores Max. Y Min. de Peligro. Fuente Propia.

3.2 Vulnerabilidad sísmica

El valor agregado de vulnerabilidad obtenido mediante el AHP fue de $0.145 < V \leq 0.258$ (nivel alto), como se observa en la Figura 13. Algunos sectores que alcanzan valores cercanos a muy altos (mayores a 0.258). Este nivel se encuentra determinado por los factores presentes en las tres dimensiones.:

3.2.1. Dimensión social

- Alta presencia de adultos mayores y menores de edad, grupos de atención prioritaria con VP = 0.256 y 0.148.
- Déficits en servicios básicos: La mayoría de sectores cuentan con agua, desagüe o luz, lo que el VP = 0.040.
- En el apartado de densidad por viviendas se tienen de 3 a 4 personas; 0.256.
- Falta total de capacitación en gestión del riesgo (VP = 0.467).
- Ausencia de rutas de evacuación definidas en zonas altas (VP = 0.153).

Estos resultados coinciden con Salgado et al. (2015), quienes señalan que la falta de organización comunitaria y preparación incrementa sustancialmente la vulnerabilidad durante sismos.

3.2.2. Dimensión económica

- Material estructural deficiente: predominio de madera, quincha o muros no confinados (VP = 0.260).
- Techos de calamina (VP = 0.262), inadecuados para cargas dinámicas.
- Estado de conservación malo o regular (VP = 0.260 y 0.134).
- Antigüedad significativa (10–20 años) sin mantenimiento (VP = 0.074).
- Mayoría de viviendas de un piso, lo que indica baja rigidez estructural. (VP=0.035)

Estos resultados sustentan lo descrito por López Ramírez (2020), quien determinó que las edificaciones informales poseen geometrías irregulares, baja calidad de materiales y fallas generalizadas de confinamiento, características presentes también en Las Colinas.

3.2.3. Dimensión ambiental

- Manejo inadecuado de residuos, en especial depósitos en drenes o cauces (VP = 0.256).
- Ausencia de programas de conservación ambiental (VP = 0.444).
- Historial de afectación durante sismos previos limitado, pero con riesgo latente por la topografía del sector.

Estos factores incrementan la probabilidad de afectación secundaria (derrumbes, interrupción de vías, contaminación).

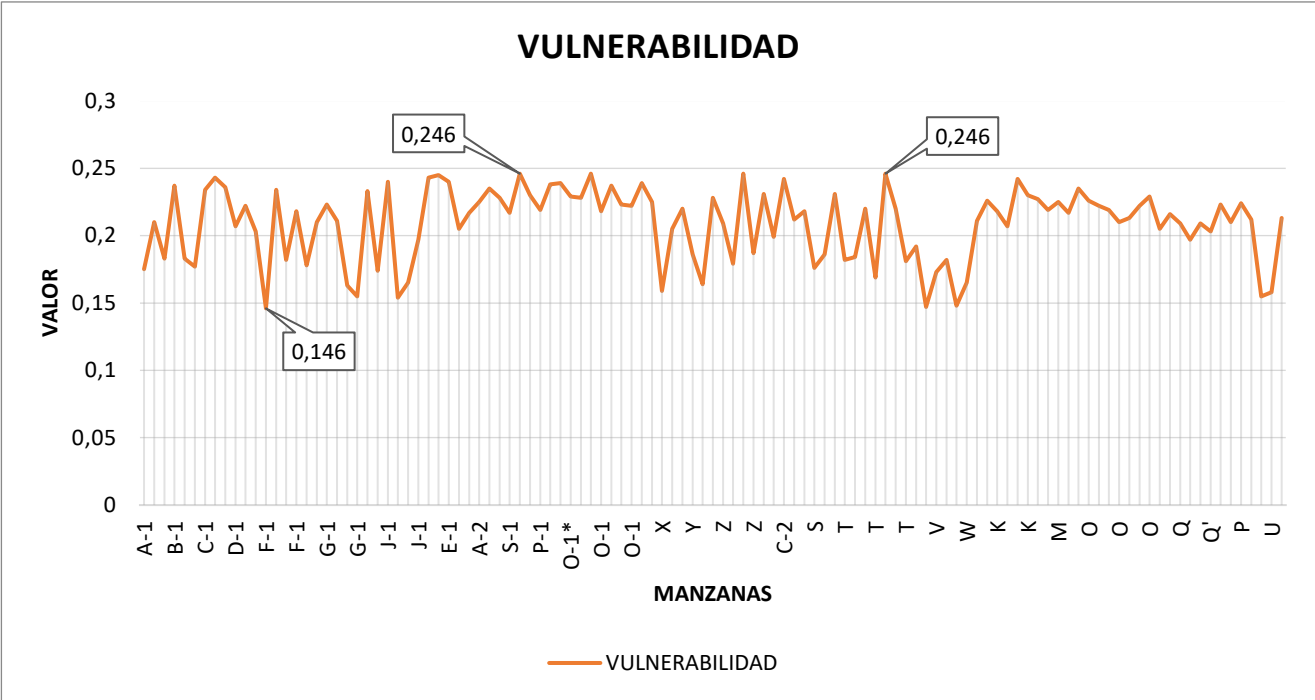


Figura 10. Valores Max. Y Min. de Vulnerabilidad. Fuente Propia.

3.3. Riesgo sísmico

El riesgo sísmico (R) se determinó mediante el producto de la peligrosidad (P) y la vulnerabilidad (V). Los resultados obtenidos arrojan un riesgo global situado en el rango $0.021 < R \leq 0.067$, lo cual se categoriza como nivel alto (véase la Figura 14).

Las zonas clasificadas cercanas a muy alto coinciden con:

- Sectores de mayor pendiente.
- Superficies sin tratamientos de contención.
- Accesos deficientes o inexistentes.

Este patrón concuerda con Evaristo Álvarez (2021), quien señala que la sobreposición de pendiente, materiales precarios y ausencia de planificación urbana es el principal detonante del riesgo extremo en zonas de ladera del Perú. Además, esto confirma la tesis de CENEPRED (2014) y las conclusiones de Moya et al. (2024): el riesgo en zonas de ladera del Perú es principalmente antrópico, no solo físico.

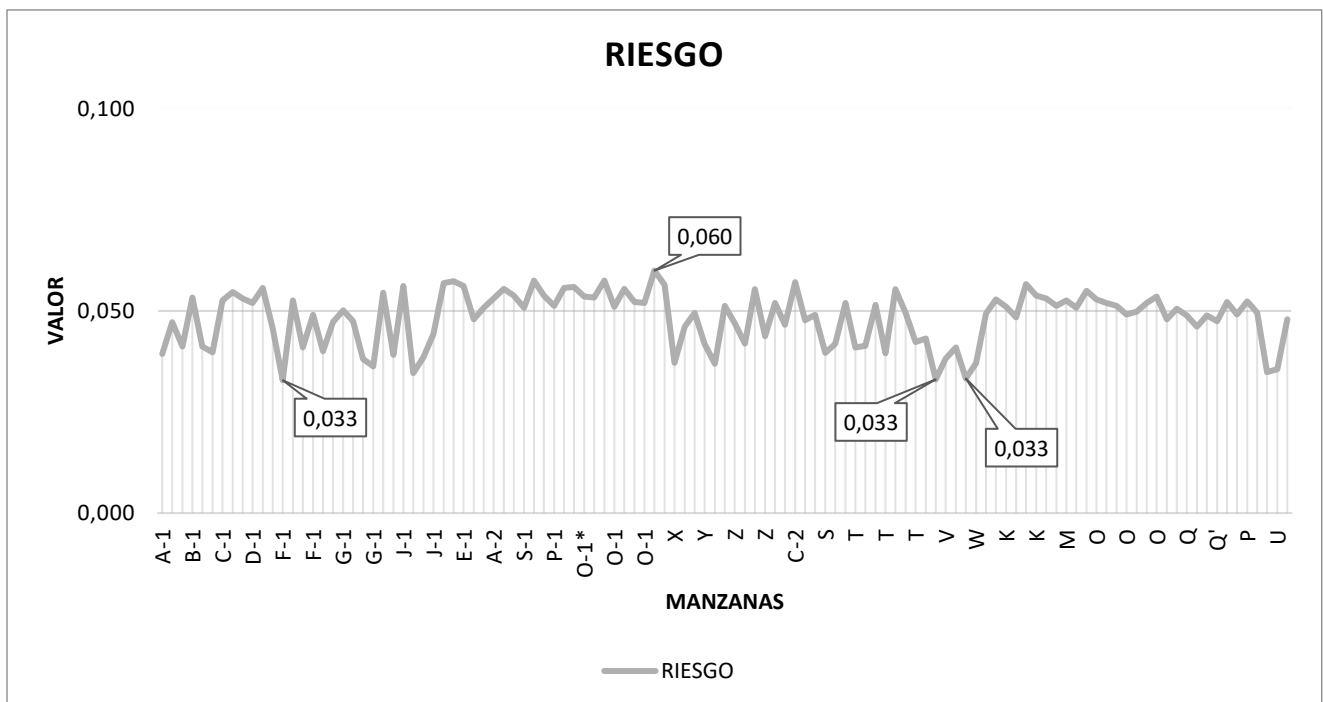
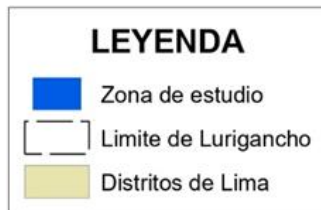
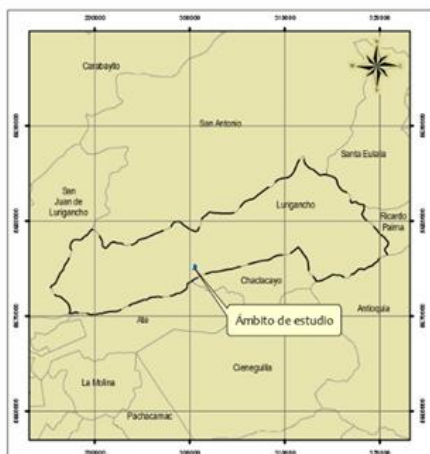
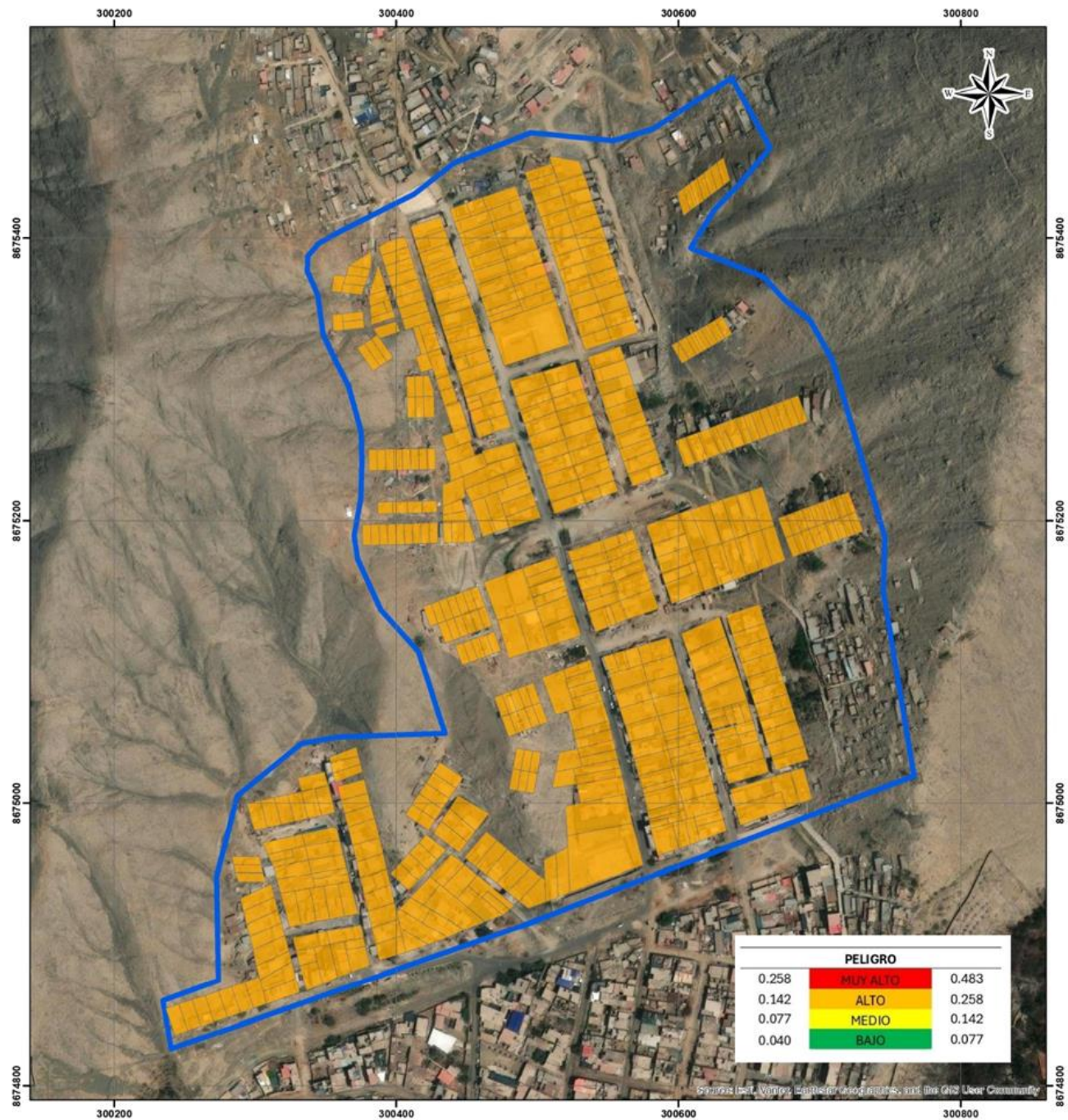


Figura 11. Valores Max. Y Min. de Riesgo. Fuente propia.

4. CONCLUSIONES

- El análisis de la peligrosidad sísmica se desarrolló considerando parámetros representativos del área de estudio, donde la intensidad y la magnitud presentan un comportamiento homogéneo, acorde con la zonificación sísmica. Asimismo, la geomorfología y el tipo de suelo mantienen características predominantes, siendo la pendiente el factor con mayor variabilidad espacial. La evaluación se sustentó en información técnica oficial de entidades como el IGP, IRENE, CENEPRED, entre otros, garantizando la confiabilidad de los resultados; no obstante, futuros estudios geotécnicos permitirían complementar y afinar la precisión del análisis.
- La vulnerabilidad se incrementa como resultado de la interacción de las tres dimensiones evaluadas. En la dimensión social, destacan factores como la densidad por vivienda, predominando entre 3 y 4 personas, así como la limitada gestión del riesgo, evidenciada en la falta de rutas de evacuación; en la dimensión económica, influyen el uso del inmueble, la configuración en elevación, el material de construcción y el estado de conservación de las edificaciones; mientras que, en la dimensión ambiental, el aumento de la vulnerabilidad está asociado a la escasa conservación ambiental en la zona.
- El riesgo sísmico en el área de estudio se configura por la convergencia de una peligrosidad con comportamiento homogéneo —definida por la zonificación sísmica y con la pendiente como principal variable espacial— y una vulnerabilidad multidimensional asociada a factores sociales, económicos y ambientales. La densidad de personas por vivienda, las deficiencias constructivas y la limitada gestión del riesgo, junto con condiciones ambientales desfavorables, consolidan un escenario crítico que incrementa significativamente la exposición y el potencial de daño ante eventos sísmicos.





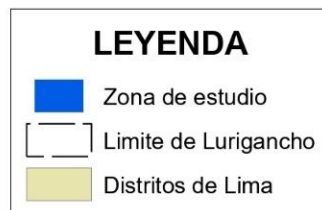
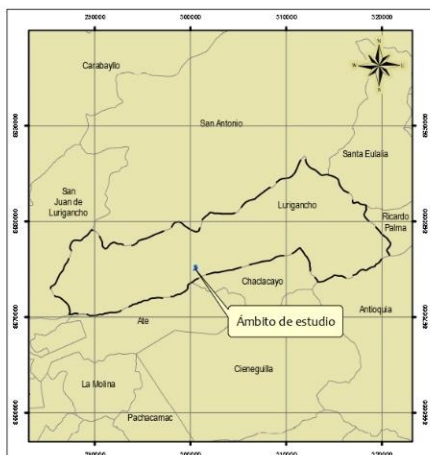
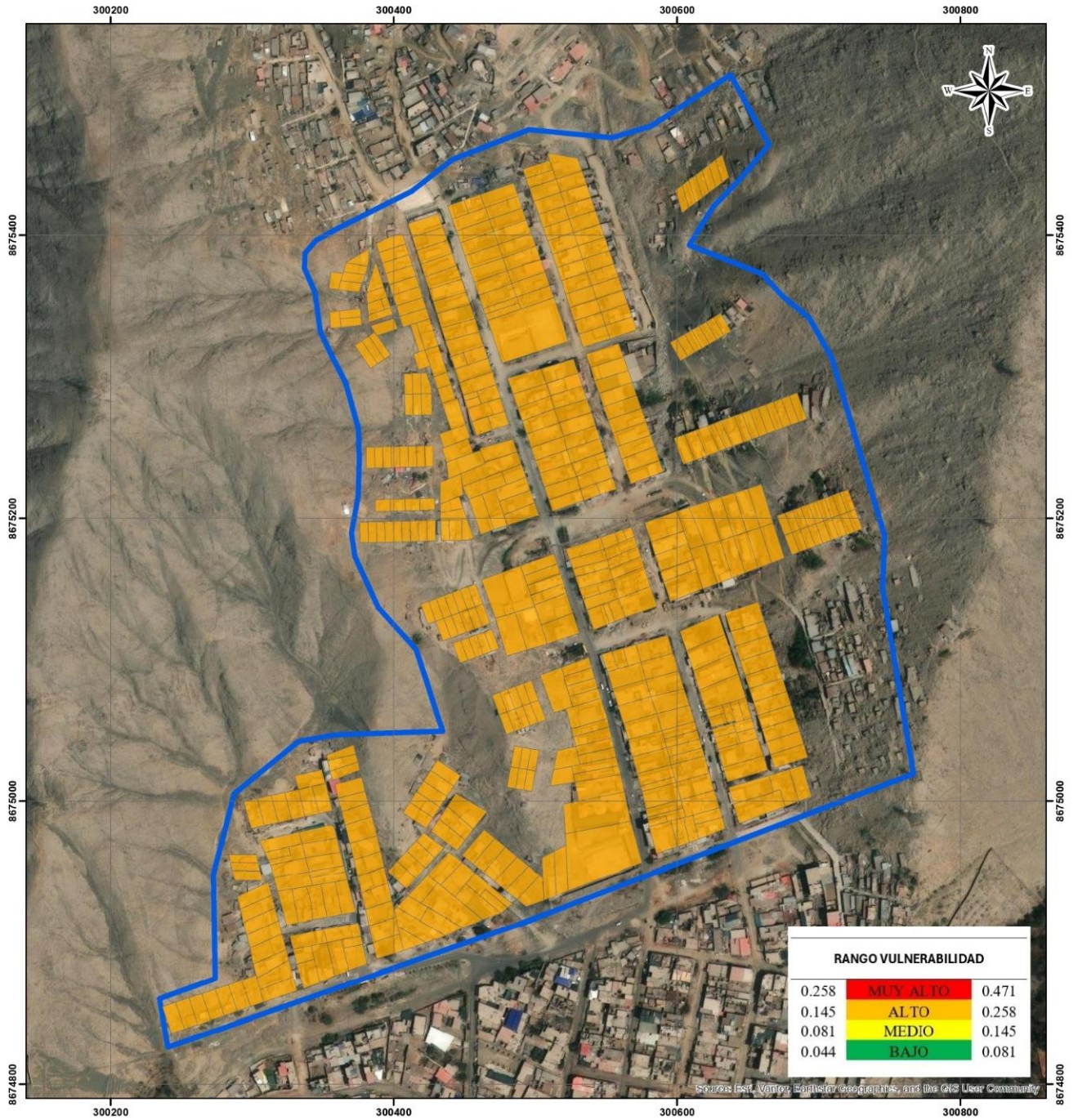
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

MAPA DE PELIGRO

**EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO:
PELIGRO Y VULNERABILIDAD EN VIVIENDAS EN
LADERAS DE C.P. LAS COLINAS,
LURIGANCHO-CHOSICA (2025).**

Docente: Mg. Fiorella Maira Zapata Antesana	Elaborado por: Bach. Bryan Bautista Quspe Bach. Luis Tichahuanca Tacora	
Datum: WGS 84 Proyección: UTM ZONA 18S EPSG: 4326	Escala: 1:2.600	Fecha: Diciembre, 2025
Fuente: Instituto Geográfico Nacional - IGN Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI ASTER GDEM	Mapa: M-03	

Figura 12. Mapa de Peligro. Fuente Propia.





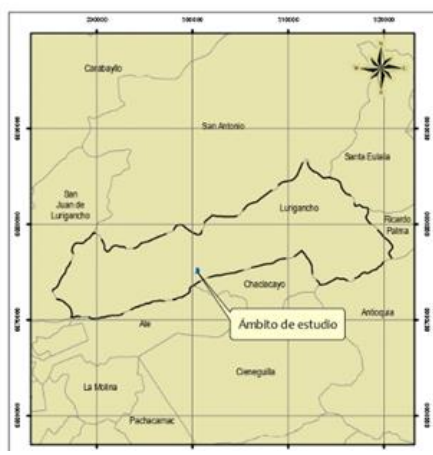
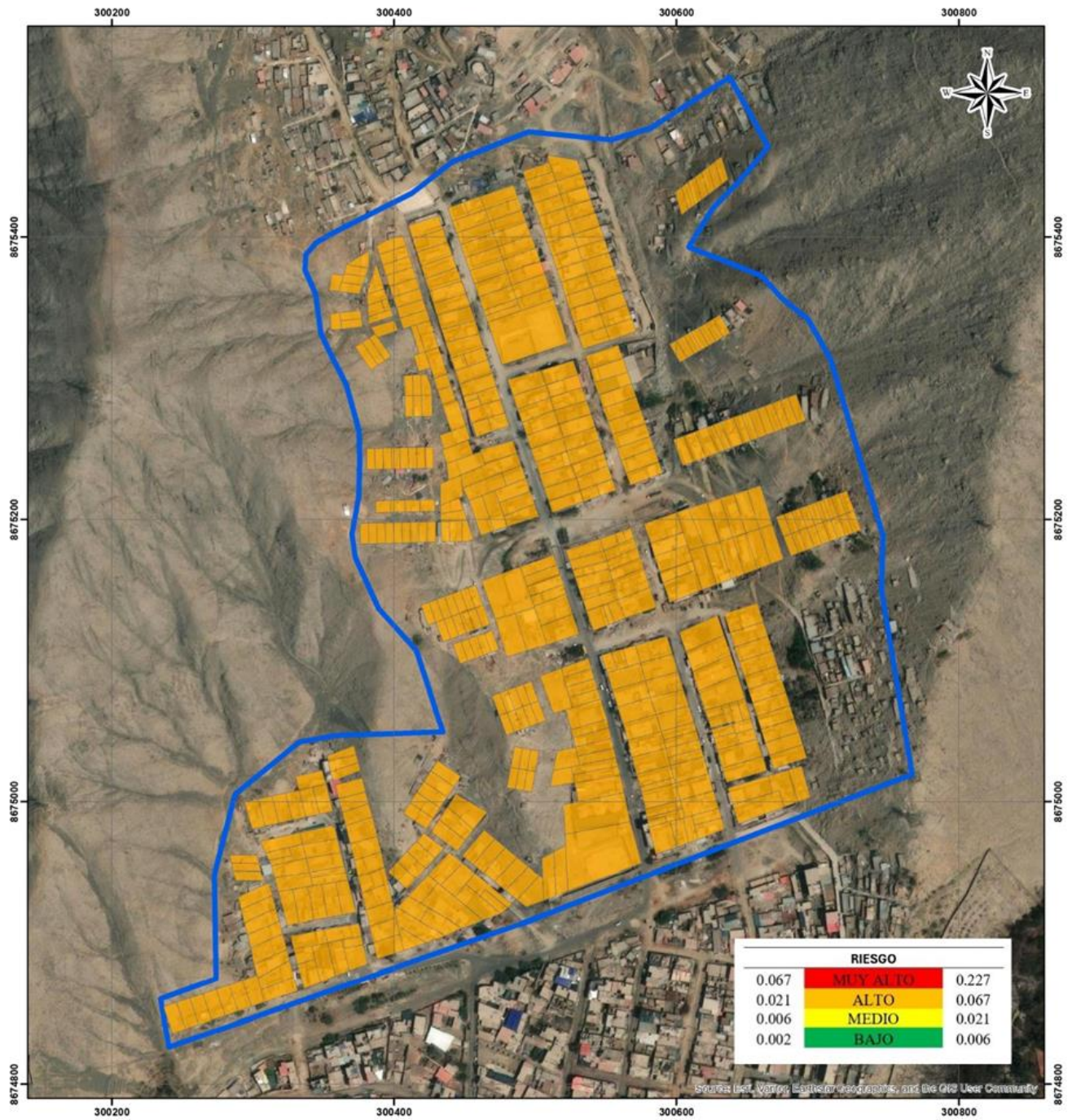
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

MAPA DE VULNERABILIDAD

**EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO:
PELIGRO Y VULNERABILIDAD EN VIVIENDAS EN
LADERAS DE C.P. LAS COLINAS,
LURIGANCHO-CHOSICA (2025).**

Docente: Mg. Fiorella Maira Zapata Antesana	Elaborado por: Bach. Bryan Bautista Quispe Bach. Luis Tichahuanca Tacora
Datum: WGS 84 Proyección: UTM ZONA 18S EPSG: 4326	Escala: 1:2.600
Fecha: Diciembre, 2025	
Fuente: Instituto Geográfico Nacional - IGN Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI ASTER GDEM	
Mapa: M-02	

Figura 13. Mapa de Vulnerabilidad.



UPeU
UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

MAPA DE RIESGO

**EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO:
PELIGRO Y VULNERABILIDAD EN VIVIENDAS EN
LADERAS DE C.P. LAS COLINAS,
LURIGANCHO-CHOSICA (2025).**

Docente: Mg. Fiorella Maira Zapata Antosana	Elaborado por: Bach. Bryan Bautista Quispe Bach. Luis Ticahuanza Tacora	
Datum: WGS 84 Proyección: UTM ZONA 18S EPSG: 4326	Escala: 1:2.600	Fecha: Diciembre, 2025
Fuente: Instituto Geográfico Nacional - IGN Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI ASTER GDEM	Mapa: M-04	

Figura 14. Mapa de Riesgo. Fuente Propia.

5. REFERENCIAS

Carreño, C. A., & Cardozo, J. F. (2021). Caracterización geotécnica y su relación con la amenaza sísmica en zonas urbanas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 20(38), 71–88. <https://doi.org/10.22395/rium.v20n38a4>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2003). *Mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas - Perú*. Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID). <https://sigrid.cenepred.gob.pe>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales (Versión 2)*. https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf

Chen, G., et al. (2025). Geomorphological and geological characteristics slope unit. *Land*, 14(2), 355. <https://doi.org/10.3390/land14020355>

Discó, E. (2018). *Evaluación del riesgo sísmico en viviendas de asentamientos humanos ubicados en laderas del distrito de San Juan de Lurigancho*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Evaristo Álvarez, C. (2021). *Evaluación del nivel de riesgo sísmico en viviendas asentadas en laderas del distrito de San Antonio de Chaclla – Huarochirí*. Universidad Nacional Federico Villarreal.

Instituto Geofísico del Perú (IGP). (s. f.). Mapas sísmicos. <https://ultimosismo.igp.gob.pe/mapas-sismicos>

Instituto Nacional de Recursos Naturales (IRENA). (2009). Mapa de suelos del Perú. Ministerio de Agricultura del Perú. <https://www.gob.pe/midagri>

Izquierdo-Horna, L., Zevallos, J., & Yopez, Y. (2022). An integrated approach to seismic risk assessment using random forest and hierarchical analysis: Pisco, Peru. *Heliyon*, 8(9), e10926. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10926>

Kanamori, H., & Brodsky, E. E. (2004). The physics of earthquakes. *Reports on Progress in Physics*, 67(8), 1429–1496. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/67/8/R03>

López Ramírez, R. E. (2020). Estudio de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en el asentamiento humano San Carlos de Murcia, Chachapoyas, 2017. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(1), 22–29. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.588>

Micaela Revista de Investigación-UNAMBA. (2023). Valoración del factor estructural y la vulnerabilidad sísmica de viviendas en taludes en Abancay. *Micaela*, 4(1), 13–18. <https://doi.org/10.57166/micaela.v4.n1.2023.91>

Montes Neyra, J. (2017). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en laderas urbanizadas de Lima. *Revista de Investigación Territorios*, 3(1), 45–59. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/23758>

Moya, L., Vilela, M., Jaimes, J., Espinoza, B., Pajuelo, J., Tarque, N., Santa-Cruz, S., Vega-Centeno, P., & Yamazaki, F. (2024). Vulnerabilities and exposure of recent informal urban areas in Lima, Peru. *Progress in Disaster Science*, 23, 100345. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100345>

Municipalidad Distrital de Lurigancho-Chosica. (2019). *Mejoramiento y ampliación del servicio de transitabilidad en la Asociación Provienda Villa Santa Rosa, en el centro poblado Santa María Huachipa, distrito de Lurigancho – Chosica*. <https://www.perulicitaciones.com/entidad/municipalidad-distrital-de-lurigancho-chosica.html>

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. McGraw-Hill.

Salgado-Gálvez, M. A., Carreño, M. L., Barbat, A. H., & Cardona, O. D. (2015). Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenarios. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 32(2), 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2014.12.001>

Sim, K. B., Bobrowsky, P., & Couture, R. (2022). A review of landslide acceptable risk and tolerable risk. *Geoenvironmental Disasters*, 9, Article 5. <https://doi.org/10.1186/s40677-022-00205-6>

Steele, K., Carmel, Y., Cross, J., & Wilcox, C. (2009). Uses and misuses of multicriteria decision analysis (MCDA) in environmental decision making. *Risk Analysis*, 29(1), 26–33. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01130.x>

Tavera, H., & Buforn, E. (1998). Sismicidad y sismotectónica del Perú. *Física de la Tierra*, 10, 187–219.

Vargas, L. G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, 48(2), 2–8. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H)

Vergara Rodríguez, C., Ríos González, R., & Martínez Méndez, M. L. (2018). *Implementación del proceso analítico jerárquico (AHP) para la toma de decisiones en la gestión de abastecimiento: Aplicación a una empresa productora de queso costeño*. Corporación Universitaria del Caribe–CECAR. <https://libros.cecar.edu.co/index.php/CECAR/catalog/download/12/27/354?inline=1>

Zhao, B., Chen, X., Zhang, H., & Kang, L. (2023). Rapid estimation of earthquake intensity distribution for emergency response. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 23(11), 3031–3048. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-3031-2023>

ANEXOS

	INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS
Encuesta para la tesis titulada: "Evaluación de Riesgo Sísmico: Peligro y Vulnerabilidad en viviendas en laderas de C.P. Las Colinas, Lurigancho-Chosica (2025)"	

Vivienda: _____ Fecha: _____ N°Ficha: _____

Dirección de la vivienda: _____ Manzana: _____ Lote: _____	FOTO
--	------

EXPOSICION SOCIAL

1 Grupo Etario

De 0 a 5 años y mayor a 65 años	<input type="checkbox"/>	De 5 a 12 años y de 60 a 65 años	<input type="checkbox"/>	De 12 a 15 años y de 50 a 60 años	<input type="checkbox"/>	De 15 a 30 años	<input type="checkbox"/>	De 30 a 50 años	<input type="checkbox"/>
---------------------------------	--------------------------	----------------------------------	--------------------------	-----------------------------------	--------------------------	-----------------	--------------------------	-----------------	--------------------------

FRAGILIDAD SOCIAL

2 Accesibilidad de las viviendas a los servicios básicos (luz, agua y alcantarillado)

No cuenta con ningún servicio básico	<input type="checkbox"/>	Cuenta con servicio de Luz	<input type="checkbox"/>	Cuenta con servicio de Agua	<input type="checkbox"/>	Cuenta con servicio de Luz y Agua	<input type="checkbox"/>	Cuenta con servicios de Agua, Luz y Desague	<input type="checkbox"/>
--------------------------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------------	--------------------------	-----------------------------------	--------------------------	---	--------------------------

3 Densidad por vivienda

1 a 2 personas	<input type="checkbox"/>	3 a 4 personas	<input type="checkbox"/>	5 a 6 personas	<input type="checkbox"/>	7 a 8 personas	<input type="checkbox"/>	Más de 8 personas	<input type="checkbox"/>
----------------	--------------------------	----------------	--------------------------	----------------	--------------------------	----------------	--------------------------	-------------------	--------------------------

4 Condición de Discapacidad

Discapacidad visual y/o limitación motriz total o parcial en extremidades	<input type="checkbox"/>	Discapacidad cognitiva, mental o del desarrollo intelectual	<input type="checkbox"/>	Discapacidad auditiva	<input type="checkbox"/>	Discapacidad en el habla	<input type="checkbox"/>	No presenta ningún tipo de discapacidad	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	---	--------------------------	-----------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---	--------------------------

RESILIENCIA SOCIAL

5 Actitud frente al riesgo

Actitud fatalista, conformista	<input type="checkbox"/>	Actitud escasamente previsor	<input type="checkbox"/>	Actitud parcialmente previsor, asumiendo el riesgo	<input type="checkbox"/>	Actitud asumiendo el riesgo y conocimiento de medidas de riesgo	<input type="checkbox"/>	Actitud previsor implementando las medidas de riesgo	<input type="checkbox"/>
--------------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	--	--------------------------	---	--------------------------	--	--------------------------

6 Nivel de conocimiento sobre las rutas de evacuación ante un sismo

No se cuenta con ninguna ruta de evacuación definida	<input type="checkbox"/>	Se desconoce completamente la existencia de rutas de evacuación	<input type="checkbox"/>	Se tiene una idea vaga o parcial sobre la ruta de evacuación	<input type="checkbox"/>	Se asume cuál podría ser la ruta, pero no está confirmada oficialmente	<input type="checkbox"/>	Existe una ruta clara, conocida y comunicada adecuadamente	<input type="checkbox"/>
--	--------------------------	---	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------

7 Capacitación en temas de Gestión del Riesgo

No ha recibido ninguna capacitación	<input type="checkbox"/>	Ha recibido 1 capacitaciones informativas durante el año	<input type="checkbox"/>	Ha recibido 2 capacitaciones informativas durante el año	<input type="checkbox"/>	Ha recibido 3 capacitaciones informativas durante el año	<input type="checkbox"/>	Ha recibido 4 a más capacitaciones informativas durante el año	<input type="checkbox"/>
-------------------------------------	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------

EXPOSICION ECONOMICA

8 Uso funcional del inmueble

Residencial	<input type="checkbox"/>	Comercial	<input type="checkbox"/>	Institucional	<input type="checkbox"/>	Industrial	<input type="checkbox"/>	Recreacional	<input type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	-----------	--------------------------	---------------	--------------------------	------------	--------------------------	--------------	--------------------------

FRAGILIDAD ECONOMICA

9 Antigüedad de la constitución de la edificación

De 40 a 50 años	<input type="checkbox"/>	De 30 a 40 años	<input type="checkbox"/>	De 20 a 30 años	<input type="checkbox"/>	De 10 a 20 años	<input type="checkbox"/>	De 5 a 10 años	<input type="checkbox"/>
-----------------	--------------------------	-----------------	--------------------------	-----------------	--------------------------	-----------------	--------------------------	----------------	--------------------------

Figura 15. Instrumento de recolección. Fuente propia.

10 Material de Construcción predominante en los muros y columnas

Estera, Cartón o Triplay	<input type="checkbox"/>	Madera	<input type="checkbox"/>	Quincha (caña con barro)	<input type="checkbox"/>	Adobe o Tapia	<input type="checkbox"/>	Ladrillo o bloque de cemento	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	---------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------

11 Material de Construcción predominante en los techos

Losa aligerada	<input type="checkbox"/>	Calamina	<input type="checkbox"/>	Madera	<input type="checkbox"/>	Tejas	<input type="checkbox"/>	Madera rustica (esteras)	<input type="checkbox"/>
----------------	--------------------------	----------	--------------------------	--------	--------------------------	-------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

12 Estado de conservación de la edificación

Muy Malo	<input type="checkbox"/>	Malo	<input type="checkbox"/>	Regular	<input type="checkbox"/>	Bueno	<input type="checkbox"/>	Muy Bueno	<input type="checkbox"/>
----------	--------------------------	------	--------------------------	---------	--------------------------	-------	--------------------------	-----------	--------------------------

13 Configuración de elevación de la Edificación

1 piso	<input type="checkbox"/>	2 pisos	<input type="checkbox"/>	3 pisos	<input type="checkbox"/>	4 pisos	<input type="checkbox"/>	5 pisos	<input type="checkbox"/>
--------	--------------------------	---------	--------------------------	---------	--------------------------	---------	--------------------------	---------	--------------------------

RESILIENCIA ECONOMICA

14 Ingreso familiar de promedio mensual

> S/2000	<input type="checkbox"/>	> S/1800- <=S/2000	<input type="checkbox"/>	> S/1500 <= S/1800	<input type="checkbox"/>	> S/1130 <= S/1500	<input type="checkbox"/>	<= S/ 1130	<input type="checkbox"/>
----------	--------------------------	--------------------	--------------------------	--------------------	--------------------------	--------------------	--------------------------	------------	--------------------------

15 Población económicamente activa desocupada (En los últimos 12 meses, ¿cómo describiría su permanencia en el trabajo?)

No he tenido trabajo en todo el año	<input type="checkbox"/>	He trabajado de forma esporádica o muy inestable.	<input type="checkbox"/>	He tenido trabajos por periodos cortos o temporales.	<input type="checkbox"/>	He mantenido un empleo durante la mayor parte del año.	<input type="checkbox"/>	Trabajo de forma continua y estable todo el año.	<input type="checkbox"/>
-------------------------------------	--------------------------	---	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------

16 Condición ocupacional del jefe del hogar

Profesional	<input type="checkbox"/>	Comerciante	<input type="checkbox"/>	Agricultor o Ganadero	<input type="checkbox"/>	Albañil / Obrero	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>
-------------	--------------------------	-------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------	------------------	--------------------------	------	--------------------------

EXPOSICION AMBIENTAL

17 Disposición final de residuos sólidos

Quema de residuos sólidos	<input type="checkbox"/>	Deposita desechos en el dren o fuera de su casa	<input type="checkbox"/>	Los elimina individualmente en zonas no permitidas	<input type="checkbox"/>	Los elimina individualmente en zonas permitidas	<input type="checkbox"/>	Relleño sanitario	<input type="checkbox"/>
---------------------------	--------------------------	---	--------------------------	--	--------------------------	---	--------------------------	-------------------	--------------------------

FRAGILIDAD AMBIENTAL

18 Grado de afectación de las viviendas durante el sismo del 15 de junio del 2025

La vivienda cotapsó	<input type="checkbox"/>	La vivienda se vio muy afectada	<input type="checkbox"/>	La vivienda se vio afectada regularmente	<input type="checkbox"/>	La vivienda se vio afectada medianamente	<input type="checkbox"/>	La vivienda no se vio afectada	<input type="checkbox"/>
---------------------	--------------------------	---------------------------------	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--------------------------------	--------------------------

RESILIENCIA AMBIENTAL

19 Capacitación en temas de conservación ambiental en los últimos 5 años

Ningún miembro de la comunidad ha participado en actividades de capacitación ambiental	<input type="checkbox"/>	Solo una parte reducida ha recibido entre 1 y 2 sesiones de formación ambiental, con baja difusión.	<input type="checkbox"/>	Se han desarrollado al menos 3 capacitaciones, con participación moderada y cobertura parcial.	<input type="checkbox"/>	Se realizan capacitaciones ambientales de manera constante, con difusión amplia y asistencia regular.	<input type="checkbox"/>	La comunidad participa activamente en 5 o más capacitaciones, con cobertura y difusión generalizada.	<input type="checkbox"/>
--	--------------------------	---	--------------------------	--	--------------------------	---	--------------------------	--	--------------------------

Observaciones:

Figura 16. Instrumento de recolección. Fuente propia.



Figura 17. Vivienda Mz B1 Lt 19.



Figura 18. Vivienda Mz B1 Lt 9.



Figura 20. Vivienda Mz G1 Lt 16.



Figura 19. Vivienda Mz G1 Lt 10.



Figura 21. Vivienda Mz F1 Lt 1.



Figura 22. Vivienda Mz F1 Lt 15.



Figura 23.Vivienda Mz J1 Lt 9.



Figura 24.Vivienda Mz J1 Lt 11.



Figura 25. Vivienda Mz J1 Lt 14.



Figura 26. Vivienda Mz J1' Lt 3 yLt 4.