

Riesgo por subsidencia en la zona urbana de Lircay - Huancavelica

Subsidence risk in the urban area of Lircay - Huancavelica

Dedicación Miguel Medina-Champe

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: dedicación.medina@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6113-3056>

Favio Sergio Quevedo-Jurado

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: favio.quevedo@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4229-6121>

Demetrio Soto-Carbajal

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: demetrio.soto@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9971-203X>

Resumen

Históricamente a nivel mundial se han producido hundimientos de suelos en formas verticales con velocidades que varían desde varios metros hasta unos pocos mm al año, a ello se le denomina subsidencia de suelos que pueden ser de origen natural o antrópicas, también considerado como fenómeno geológico lo cual puede ocasionar daños materiales y víctimas mortales. El riesgo por subsidencia asociado a la karstificación (disolución de rocas carbonatadas), se refiere al hundimiento de suelos causando un peligro y vulnerabilidad en elementos expuestos en infraestructuras, edificaciones y población. El presente tiene como objetivo identificar las áreas relativamente susceptibles a deslizamientos verticales (subsidencia), y conocer la dinámica de las áreas de peligro como su vulnerabilidad para evaluar el riesgo por subsidencia de suelo en el sector Pueblo Nuevo y Santa rosa Lircay, la metodología es evidenciada por las causas que originan la subsidencia y los elementos expuestos. Los resultados revelan el 1,5% de riesgo muy alto, 4% de riesgo alto, 9% de riesgo medio y 85,5% de riesgo bajo, con viviendas que tienen probabilidades de hundimiento. Concluyendo el nivel de riesgo por subsidencia de suelos de bajo a medio por la presencia de suelos cálcico que al estar en contacto con el agua provenientes de la lluvia forma, relieve Kárstico en seguida la subsidencia.

Palabras Clave

Subsidencia, Kárstico, Riesgo, Peligro, Vulnerabilidad.



Scientific Research Journal

Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI

E-ISSN: 2789-2727 / Vol. 6, Núm. 10, 55-79, Julio 2025 / www.srjournalcidi.org

<https://doi.org/10.53942/srjcdi.v6i10.263>

Abstract

Throughout history, vertical ground subsidence has occurred in many parts of the world, with rates ranging from several meters to just a few millimeters per year. This phenomenon is known as soil subsidence, which may have natural or anthropogenic origins. It is considered a geological hazard capable of causing material damage and even fatalities, thus representing a significant risk. Subsidence associated with karstification is caused by the indirect dissolution of calcium carbonate in carbonate rocks due to the action of water, which gradually dissolves the rock and forms cavities and caves. This, in turn, can lead to ground collapse, posing danger and vulnerability to exposed elements such as infrastructure, buildings, and people. The objective of this study is to identify areas that are relatively susceptible to vertical displacements (subsidence) and to understand the dynamics of hazard and vulnerability areas in order to assess the risk of soil subsidence in the Pueblo Nuevo and Santa Rosa sectors of Lircay. The methodology focused on identifying the causes of subsidence and the exposed elements. The results reveal a very high-risk level in 1.5% of the area, high risk in 4%, medium risk in 9%, and low risk in 85.5% of dwellings, due to the potential for ground collapse. It is concluded that the overall risk level ranges from low to medium, primarily due to the presence of calcareous soils, which, when in contact with rainwater, form karstic landscapes followed by subsidence.

Keywords

Subsidence, Karst, Risk, Hazard, Vulnerability.

Resumo

Historicamente, em nível mundial, foram produzidos centenas de solos em formas verticais com velocidades que variam de vários metros até uns poucos milímetros ao ano, e ele se chama subsidência de solos que podem ser de origem natural ou antrópica, também considerado como fenômeno geológico o que pode causar danos materiais e vítimas mortais. O risco de subsidência associada à cárstica (dissolução de rochas carbonatadas), refere-se à abundância de solos, causando perigo e vulnerabilidade em elementos expostos em infraestruturas, edificações e população. O presente tem como objetivo identificar as áreas relativamente suscetíveis a deslizamentos verticais (subsidência), e conhecer a dinâmica das áreas de perigo como sua vulnerabilidade para avaliar o risco por subsidência de solo no setor Pueblo Nuevo e Santa Rosa Lircay, a metodologia é evidenciada pelas causas que originaram a subsidência e os elementos expostos. Os resultados revelam 1,5% de risco muito alto, 4% de risco alto, 9% de risco médio e 85,5% de risco baixo, com vivências que têm probabilidades de lucro. Concluindo o nível de risco por subsidência de solos de baixo a médio pela presença de solos cálcicos que ao estar em contato com a água proveniente da forma de lúvio, alivia o Kárstico em seguida à subsidência.

Palabras Clave

Subsidência, Kárstico, Riesgo, Peligro, Vulnerabilidade.



1. Introducción

El riesgo por subsidencia se define como la probabilidad de que ocurran procesos de hundimientos progresivos o colapsos repentinos en la superficie terrestre, generados por causas naturales o inducidas por la actividad humana, que puedan afectar la integridad de infraestructuras, suelos agrícolas, ecosistemas o asentamientos humanos (Galloway & Burbey, 2011; Holzer, 1984), el fenómeno se manifiesta como un descenso vertical del terreno y está relacionado con factores geológicos como la disolución de materiales solubles, el drenaje de acuíferos o la extracción subterránea de minerales e hidrocarburos (Poland, 1984; Chaussard et al 2017). El riesgo es la probabilidad de que ocurran daños o pérdidas debido a la interacción entre la amenaza de subsidencia, la vulnerabilidad del entorno y el grado de exposición de los bienes y personas (Cardona, 2001). Este tipo de riesgo se incrementa notablemente en zonas urbanas con crecimiento descontrolado, uso intensivo del aguas subterráneas y baja capacidad institucional de gestión territorial (Herrera-García et al, 2021).

El riesgo puede ser muy diverso en este caso nos concentramos en los riesgos geológicos asociados a la carstificación. La carstificación surge de la interacción entre el proceso geológico (peligro), los elementos expuestos (infraestructuras, edificaciones, personas) y su grado de vulnerabilidad. La complejidad de este fenómeno radica en su imprevisibilidad y en la dificultad de detección temprana, ya que las cavidades subterráneas pueden permanecer ocultas durante años antes de generar colapsos en superficie (Gutiérrez, et al 2008). En muchos casos, estos hundimientos ocurren de forma súbita, provocando daños severos e incluso víctimas fatales, como se ha reportado en distintas regiones de España, México, Italia y Estados Unidos (Parise & Gunn, 2007). Desde la perspectiva de la gestión del riesgo geológico por carstificación representa un desafío técnico y administrativo, a pesar de que los sistemas kársticos están bien documentados en la literatura geológica, su comportamiento espacial y temporal sigue siendo difícil de modelar con precisión, debido a su heterogeneidad litológica, la variabilidad hidrogeológica



y la influencia de las actividades humanas, como el bombeo de aguas subterráneas o la carga antrópica sobre suelos inestables (Kaufmann & Quinif, 2002).

La subsidencia del suelo es un proceso geológico que consiste en el hundimiento progresivo o repentino de la superficie terrestre, generalmente ocasionado por la pérdida de soporte en el subsuelo debido a causas naturales o antrópicas (Galloway & Burbey, 2011), el colapso del terreno puede ocurrir en pendientes o en terreno llano, con frecuencia produce hoyos circulares en la superficie, pero puede producir un patrón lineal o irregular” (Keller y Blodgett, 2007), este fenómeno puede afectar estructuras, servicios públicos, cuerpos de agua y ecosistemas, convirtiéndose en una amenaza geotécnica relevante en zonas urbanas y rurales. La subsidencia se comenzó a considerar como uno de los fenómenos geológicos preocupantes para los seres humanos durante el siglo XX, ya que el incremento de la población experimentado desde los comienzos de la era industrial (Abellaneda M. 2016).

Desde el punto de vista geológico, la subsidencia puede originarse por la compactación natural de sedimentos, la disolución de materiales solubles (como las calizas o evaporitas), el colapso de cavidades kársticas, o la actividad tectónica (Holzer, 1984). Todas estas causas se manifiestan en la superficie del terreno mediante deformaciones verticales que pueden variar desde pocos milímetros hasta varios metros durante periodos que varían desde minutos hasta años (Tomás, R. et al 2009). Sin embargo, en las últimas décadas, el crecimiento urbano acelerado y la extracción intensiva de agua subterránea han incrementado significativamente la subsidencia inducida por el ser humano (Poland & Davis, 1969; Chaussard et al., 2014). Casos emblemáticos en ciudades como Ciudad de México, Jakarta, Teherán y Bangkok muestran que la subsidencia no solo es un proceso geológico, sino también un problema socioeconómico y de gobernanza, asociado a la gestión inadecuada del agua y del uso del suelo (Herrera-García et al., 2021).

Por lo tanto el riesgo por subsidencia implica tanto la susceptibilidad del terreno como la exposición y vulnerabilidad de las estructuras y humanas, causando daños económicos, social y ambiental, Según Keller y Blodgett (2007) las consecuencias de los



riesgos por subsidencia pueden ser minimizadas al reducir las consecuencias potencialmente adversas y los efectos de los riesgos geológicos que requieren de un enfoque integrado que incluye conocimiento científico, planificación, ingeniería y preparación previa al desastre. El presente, aborda el riesgo por subsidencia de suelos, en el sector de Pueblo Nuevo y Santa Rosa del distrito de Lircay – Huancavelica. El peligro por hundimiento de suelos es, por causa de la carstificación y como condicionantes, los factores de la geología, geotecnia, también el factor desencadenante por la presencia del agua por lluvia, asimismo la vulnerabilidad por la exposición de las viviendas y población etario.

2. Estado del arte o Marco Teórico

2.1 Subsidencia de suelos Pueblo Nuevo, Santa Rosa – Lircay

En el área urbana de Lircay específicamente en el sector Pueblo Nuevo y Santa Rosa se viene dando desde muchos años hundimientos de suelos, según información de los pobladores donde mencionaron, que en los últimos 80 años varios puntos se hundieron una pequeña porción de suelo de uno a dos metros de diámetro aproximadamente, siendo uno de ellos cerca al parque Andrés Abelino Cáceres que afectó una parte de las viviendas y la desaparición de una planta de eucalipto por completo, estos hoyos fueron rellenados por los propietarios en tiempo prolongado, posteriormente se construyó la oficina del actual gobernación, también en otro punto se hundió el suelo al costado de la losa deportiva de pueblo nuevo, otros puntos que se ubicó es en la esquina del parque Rosario al costado de la Iglesia que actualmente se observa el hundimiento progresivo, las mismas que son rellenados con desmontes cada vez que se desplace verticalmente, asimismo se percibe el hundimiento al costado del cerco perimétrico de la facultad de Ingeniería de Minas Civil Ambiental (FIMCA) – UNH, que de igual manera se viene rellenando cada vez que se hunde, luego se observa el hundimiento del suelo en el barrio Miraflores recientemente hundido en enero del 2022, donde afectó una vivienda de adobe, asimismo se encuentra en constante hundimiento a pesar del relleno realizado, otro hundimiento que se observa es en el sector Pucallaqta, estos dos últimos es mencionado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Ingemmet 2022), en su informe de evaluación de peligros geológicos por



hundimiento en el barrio Miraflores de distrito Lircay, provincia Angaraes, departamento Huancavelica (2022), el informe técnico indica que la localidad de Lircay presenta antecedentes de hundimientos correspondientes a subsidencias súbitas y formación de dolinas por posibles disoluciones kársticas del substrato rocoso en profundidad, la misma menciona que existe hundimientos y dolinas desde muchos años atrás en seis sectores.

Figura 1

Hundimiento de suelos Lircay



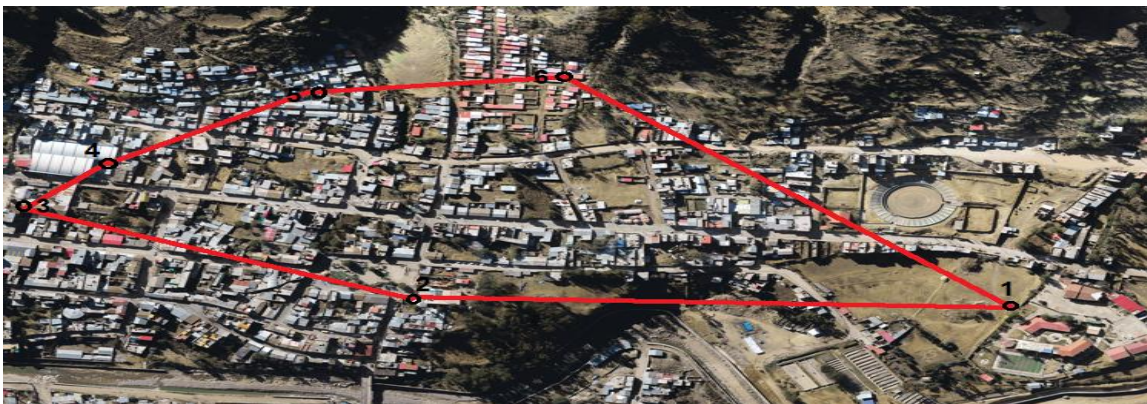
Tabla 1

Hundimientos reportados en el área de estudio.

PUNTO	SECTOR	ESTE (m)	Norte (m)
1	Cerco perimétrico FIMCA-UNH.	530182	8563286
2	Hundimiento parque Rosario	530184	8563690
3	Oficinas de la Gobernación de Lircay	530318	8563931
4	Costado losa deportiva de Pueblo Nuevo	530366	8563873
5	Hundimiento de vivienda (2022) sector	530476	8563570
6	Hundimiento sector Pucallaqta	530440	8563734

Figura 2

Ubicación de los puntos de hundimiento de suelos



2.2 Contribución geológica

Según las mapas geológicos la actualización del cuadrángulo de Huancavelica hoja 26 n-II, de la serie A: “Carta Geológica Nacional”, elaborado a escala 1:50 000 (Fernández et al 2003), donde el área de estudio se encuentra sobre rocas de origen sedimentario del Grupo Pucará, Formación Chambará, las cuales a su vez se encuentran cubiertos por depósitos cuaternarios semi-consolidados a sueltos, la formación Chambará (Ts-ch), se caracteriza por presentar en la parte inferior calizas grises, esporádicamente a veces con chert intercaladas con areniscas cuarzosas verdosas; en algunos casos en la parte inferior se intercalan secuencias compuestas por coladas volcánicas (basaltos y andesitas), los afloramientos se observan vertientes aluvio-torrenciales con fragmentos de roca de calizas y areniscas, con diámetros entre 0.5 cm a 1.5 m (figuras 7 y 8), envueltos en una matriz areno-limosa, medianamente.

Figura 3

Evaluación de características de suelo

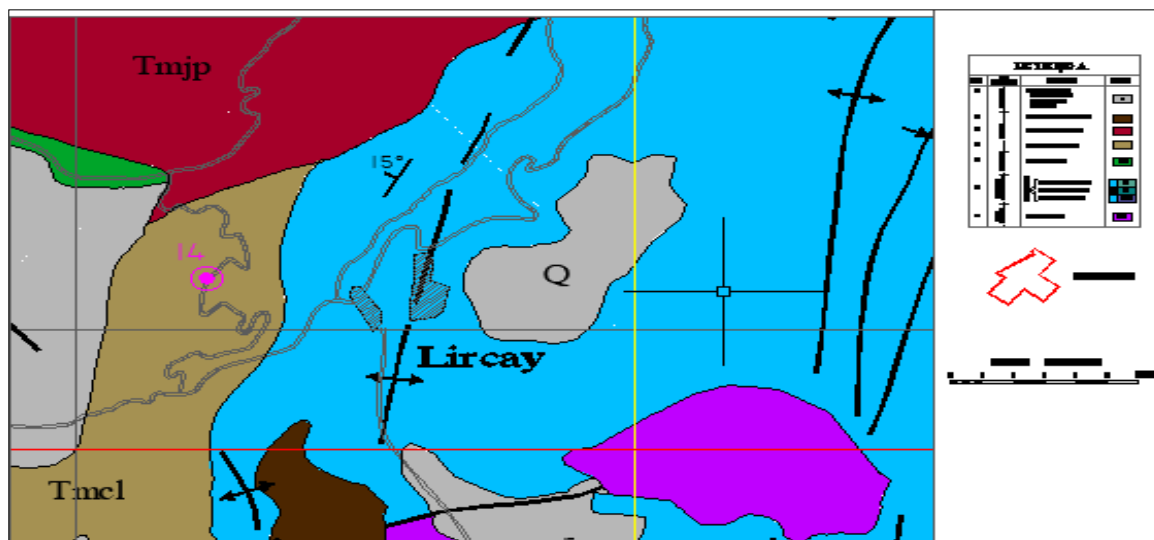


3. Materiales y métodos

3.1. Ubicación del Estudio

Figura 4

Mapa geológico de la zona de estudio



3.2. Geomorfología y procesos superficiales

Se analiza las formas del relieve terrestre y los procesos que las modelan, como la erosión, el transporte y la sedimentación, estos procesos están condicionados por factores climáticos, litológicos y tectónicos, y su estudio es fundamental para la prevención de riesgos naturales y la planificación territorial (Summerfield, 2013).

Tabla 2

Proceso de formación Geológica

DESCRIPTOR	PROCESOS FORMACIÓN	PESO PONDER. 0.512	
PFG1	Formacion Chambara (Ts - ch)	PPFG1	0.448
PFG2	Deposito coluvio-deluvial (Qh-cd)	PPFG2	0.299
PFG3	Deposito proluvial (Qh-pl)	PPFG3	0.148
PFG4	Deposito aluvial (Qh-al)	PPFG4	0.065
PFG5	Formacion Chahuarma (Nm - ch)	PPFG5	0.040

3.3. Formas de relieve

De los antecedentes de hundimiento de suelo se considera los parámetros de evaluación a la velocidad de hundimiento de suelos

Tabla 3
Velocidad de hundimiento de suelos

DESCRIPTOR	V. HUNDIMIENTO DE SUELOS	PESO PONDER. 0.275
VH1	Extremadamente rápido ($v= 5\text{m/s}$)	PVH1 0.505
VH2	Muy rápido ($v= 0.05\text{m/s}$)	PVH2 0.262
VH3	Rápido ($v= 0.0033 \text{ m/s}$)	PVH3 0.136
VH4	Moderada ($v=3.009 \times 10^{-4} \text{ m/s}$)	PVH4 0.060
VH5	Lenta a extremadamente lenta ($v = 5.144 \times 10^{-8} \text{ m/año a } 5.144 \times 10^{-10} \text{ m/año}$)	PVH5 0.037

3.4. Contribución geotécnica

Se analizó las propiedades de los suelos mediante la obtención de muestra excavadas aledañas al hundimiento del suelo, de las floraciones al contorno del área de estudio y determinando la caracterización de las propiedades físicas y químicas.

3.5. Estudios físicos del suelo superficial.

La zona de estudio presenta un perfil estratigráfico, en el suelo se muestran dos estratos más representativos, un estrato superior con espesor que varía de 6 a 15 metros de profundidad con característica arena, limo y arcilla (CL, ML, SC, SM), y el otro estrato que viene a ser una roca suelta con contenido de carbono de calcio.

Tabla 4
Textura del suelo



DESCRIPTOR	TEXTURA DEL SUELO	PESO PONDER. 0.138
TS1	Gravas	PTS1 0.411
TS2	Arenas	PTS2 0.311
TS3	Limos	PTS3 0.161
TS4	Arcillas	PTS4 0.078
TS5	Rellenos o Humos	PTS5 0.040

3.6. Estudios químicos del suelo superficial

El estudio químico se realizó usando el ácido clorhídrico (HCl) a la muestra de los suelos, el método es simple y clásico para reconocer suelos carbonatados, donde al reaccionar con los carbonatos de calcio (CaCO_3) y carbonatos de magnesio (MgCO_3), producen efervescencia (burbujas) de dióxido de carbono (CO_2): $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Tabla 5
Suelo calizo según estudio de campo

Intensidad Efervescencia	Interpretación	Efecto
Fuerte generalizado burbuja 7 mm	Caliza pura (alto CaCO_3)	10 %
Moderado visible burbuja 2 mm	Caliza (calcáreo)	5-9 %
Ligeramente visible de cercana	Moderadamente calcáreo	2-5 %
Apenas visible de cercana	Ligeramente Calcáreo	1-2 %
Ninguna	No calcáreo	0

Tabla 6
Porcentaje de carbonato cálcico

DESCRIPTOR	PORCENTAJE CARBONATO CALCIO	PESO PONDER. 0.074
PCC1	Carbonato de cálcico (muy alto pureza > 98,5)	PPCC1 0,503
PCC2	Carbonato de cálcico (alta pureza 97-98,5)	PPCC2 0,260
PCC3	Carbonato de cálcico (media pureza 93,5-97)	PPCC3 0,134
PCC4	Carbonato de cálcico (baja pureza 85-93,5)	PPCC4 0.068



PCC5	Carbonato de cálcico (impura < 85)	PPCC5	0.035
------	------------------------------------	-------	-------

Tabla 7

Ponderación de los factores condicionantes

DESCRIPTOR	Ponderación de los Factores condicionantes	PESO PONDERADO	
PFC1	Proceso de Formación Eglógico	PPFC1	0.512
PFC2	Velocidad de Hundimiento de Suelo	PPFC2	0.275
PFC3	Tipo de suelo	PPFC3	0.138
PFC4	Porcentaje de carbonato cálcico	PPFC4	0.074

3.7. Contribuciones Hidrogeológicas

Las precipitaciones tienen un impacto considerable en la distribución de la escorrentía en el área de estudio, la escorrentía superficial se iniciará prácticamente de inmediato si las precipitaciones llegan en forma de lluvia con la intensidad y duración necesarias, si la intensidad de la lluvia supera la capacidad de filtración del suelo se produce escorrentía superficial. La precipitación mensual, se ha determinado de la estación Lircay, cercana a la zona de estudio, esta es la que cuenta con mayor registro histórico (1996/2021), en total de 26 registros utilizados en el análisis estadístico.

Figura 5

Histograma Precipitación Máxima – Estación de Lircay



Nota. Fuente: Senamhi.

Tabla 8
 Intensidad de precipitaciones

DESCRIPTOR	INTENSIVAS DE PRECIPITACIÓN	PESO PONDERADO
IP1	Extremadamente lluvioso (RR > 18.5 mm)	PIP1 0.503
IP2	Muy lluvioso (12.5 mm < RR ≤ 18.5 mm)	PIP2 0.260
IP3	Lluvioso (9.7 mm < RR ≤ 12.5 mm)	PIP3 0.134
IP4	Moderadamente lluvioso (6.2 mm < RR ≤ 9.7 mm)	PIP4 0.068
IP5	Ligeramente lluvioso (RR < 6.2 mm)	PIP5 0.035

3.8. Contribuciones de exposiciones a hundimientos del suelo

Es la población expuesta dentro del área a posibles hundimientos de suelos, que se identificaron como población vulnerable, evaluado la fragilidad y la resiliencia social.

Tabla 9
 Población por grupos etarios

GRUPO ETARIO	TOTAL, POBLACIÓN	VARONES	MUJERES
0 a 1 años	3	2	1
Mayor a 1 y menor o igual a 5 años	12	5	7
Mayor a 5 y menor o igual a 18 años	32	14	18
Mayor a 18 y menor o igual a 50 años	55	22	33
Mayor a 50 y menor o igual a 60 años	18	7	11
Mayor a 60 años	7	2	5
Total	127	52	75



Tabla 10

Viviendas expuestas

N°	Área total	Área construida	Servicio básico			Número de pisos
			Agua	luz	Desagüe	
1	120	75	Si	si	Si	1
2	110	65	Si	si	Si	1
3	90	56	Si	si	Si	2
4	210	65	Si	si	Si	1
5	130	95	Si	si	Si	1
6	136	70	Si	si	Si	1
7	145	65	Si	si	Si	1
8	110	50	Si	si	Si	2
9	126	68	Si	si	Si	1
10	160	75	Si	si	Si	1
11	152	60	Si	si	Si	2
12	320	66	Si	si	Si	2
13	110	72	Si	si	Si	1
14	90	81	Si	si	Si	1
15	143	71	Si	si	Si	1
16	160	70	Si	si	Si	2
17	85	65	Si	si	Si	1
18	176	59	Si	si	Si	1
19	142	42	Si	si	Si	1
20	125	60	Si	si	Si	1

Tabla 11

Institución Educativa

N°	I.E	Área total m^2	Área construida m^2	Material predominante	Servicio básico		
					Agua	Luz	desagüe
1	UNH	5,950	1190	concreto	Si	Si	no

Tabla 12

Material de viviendas probable colapso

Material de construcción	Material convencional	Área construida m^2	Total	
			Cantidad	m^2
Material noble	7	525	7	525
Adobe	13	805	13	805



Tabla 13

Perdida de suelos

Elementos expuestos	Unidad de medida	Cantidad	Estado actual
Perdida de suelos por hundimiento	m ²	29	Rellenado con material de préstamo

4. Resultados

4.1. Nivel de peligro subsidencia

Para determinar el nivel de peligro por subsidencia de suelo, se utilizó el análisis de los factores condicionantes como velocidad de hundimiento de suelo, textura del suelo, porcentaje de contenido de carbonato cálcico y para el factor desencadenante se consideran las Precipitaciones anómalas positivas.

Tabla 14

Evaluación de peligro por subsidencia

Factores condicionantes (FC)					Factor desencadenante (FD)	Susceptibilidad (S)	Parámetros de evaluación (PE)	Peligro total (pt)
0.50					0.50	0.50	0.50	
Formación geológica	Velocidad de hundimiento	Tipo de suelo	P. Carbonato cálcico	Valor fc	precipitación pp	Susceptibilidad total	Frecuencia	Valor del peligro
0.512	0.275	0.138	0.077					
0.468	0.503	0.444	0.444	0.474	0.503	0.488	0.426	0.457
0.268	0.260	0.262	0.262	0.265	0.260	0.263	0.259	0.261
0.144	0.134	0.153	0.153	0.143	0.134	0.139	0.159	0.149
0.076	0.068	0.089	0.089	0.077	0.068	0.072	0.097	0.085
0.044	0.035	0.053	0.053	0.044	0.035	0.039	0.059	0.049

Tabla 15

Evaluación de nivel peligro por subsidencia

NIVELES DE PELIGRO	DESCRIPCION	RANGO
MUY ALTA	Clima extremadamente lluvioso, infiltración alta, suelos con contenido carbonato de cálcico alto mayor de 98,8 %, viviendas muy expuestas en zona posible hundimiento.	0.261 ≤ R ≤ 0.457



ALTA	Clima muy lluvioso, infiltración alta, suelos con contenido carbonato de cálcico alto mayor de 93,5-97%, viviendas expuestas cerca a zona posible hundimiento.	0.149 ≤ R < 0.261
MEDIA	Clima lluvioso, infiltración alta, suelos con contenido carbonato de cálcico alto mayor de 85-93,5 %, viviendas expuestas cerca a zona posible hundimiento.	0.085 ≤ R < 0.149
BAJA	Clima moderadamente lluvioso, infiltración alta, suelos con contenido carbonato de cálcico alto menor a 58 %, viviendas expuestas cerca a zona posible hundimiento.	0.049 ≤ R < 0.085

Figura 6
Mapa de peligro



La zona de estudio muestra PELIGRO BAJO a MEDIO, donde probablemente se presenta el evento de subsidencia de suelos a consecuencia de lluvias extremas y la filtración.

4.2. Nivel de vulnerabilidad

El nivel de vulnerabilidad es una medida que permite clasificar a las estructuras (viviendas) según sus características y material estructural, dentro de un rango de vulnerabilidad de medida; baja, intermedia y alta, ante la acción de una subsidencia de



suelos. La metodología de evaluación de la vulnerabilidad de las viviendas tiene que ser de alguna manera cualitativa y simplificada, evaluado al conjunto de viviendas susceptibles a sufrir daños causados por el hundimiento de suelos, para el estudio se analizó las dimensiones sociales, económico con los factores: exposición, fragilidad y resiliencia, en el análisis se consideró cuatro niveles de estratificación (bajo, medio, alto y muy alto).

Tabla 16

Evaluación de vulnerabilidad por subsidencia

VULNERABILIDAD SOCIAL	VULNERABILIDAD ECONOMICA	VULNERABILIDAD
0.50	0.50	
0.454	0.552	0.503
0.265	0.339	0.302
0.149	0.077	0.113
0.083	0.020	0.052
0.050	0.012	0.031

Tabla 11

Matriz de vulnerabilidad

NIVELES DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCION	RANGO
MUY ALTA	A nivel del lote de terreno y su entorno inmediato, no se tiene áreas con este nivel de vulnerabilidad.	$0.302 \leq R \leq 0.503$
ALTA	A nivel del lote de terreno y su entorno inmediato, no se tiene áreas con este nivel de vulnerabilidad.	$0.113 \leq R < 0.302$
MEDIA	A nivel del lote de terreno, se tiene áreas con este nivel de vulnerabilidad, tal es el caso de la presencia de población local, infraestructura hospitalaria y servicios.	$0.052 \leq R < 0.113$

BAJA	A nivel del lote de terreno, se tiene áreas con este nivel de vulnerabilidad, tal es el caso de la presencia de población local e infraestructura.	$0.031 \leq R < 0.052$
-------------	--	---

Figura 7

Mapa de vulnerabilidad



El riesgo se expresa como la probabilidad de que ocurra una subsidencia de suelo por la karstificación de suelo al estar en contacto el suelo calizo con el agua provenientes de lluvia y la infiltración, la ecuación para la evaluación de riesgo se muestra al multiplicar el peligro por la

$$R_{ie}|_t = f(P_i, V_e)|_t$$

Tabla 18

Evaluación de riesgo por subsidencia

VALOR DE PELIGRO (P)	VALOR DE LA VULNERABILIDAD (V)	RIESGO (P*V=R)
0.457	0.503	0.23
0.261	0.302	0.079
0.149	0.113	0.017
0.085	0.052	0.004
0.049	0.031	0.002

Tabla 19

Nivel de riesgo y matriz de riesgo

NIVELES DE RIESGO				MATRIZ DEL RIESGO							
NIVEL	RANGO										
MUY ALTO	0.079	< R ≤	0.230		PMA	0.457	0.024	0.052	0.138	0.230	
ALTO	0.017	< R ≤	0.079		PA	0.261	0.013	0.030	0.079	0.131	
MEDIO	0.004	< R ≤	0.017		PM	0.149	0.008	0.017	0.045	0.075	
BAJO	0.002	≤ R ≤	0.004		PB	0.085	0.004	0.010	0.026	0.043	
							0.052	0.113	0.302	0.503	
						VB	VM	VA	VMA		

Tabla 20

Matriz de riesgo

VALOR	DESCRIPTOR	DESCRIPCIÓN
4	Inadmisible	Se debe evitar la filtración del agua por lluvia canalizando los arroyos que provienen de los cerros latapuquio, así también la rotura de tubería de agua que pueden filtrar al suelo y formar la karstificación de suelos, evitar la construcción de viviendas en los puntos de subsidencia y dolinas para reducir el riesgo. Reubicar las viviendas que se encuentran en zonas de peligro, al grupo Etario: De 0 a 5 años y mayores a 65 años (varones y mujeres), de esta manera evitar la aproximación a los puntos de hundimiento de suelo y dolinas,
3	Inaceptable	

		No construir las viviendas con materiales frágiles dentro de las zonas de peligro, evitar que la población se encuentre cerca de los puntos de hundimiento de suelo y dolinas,
2	Tolerable	En las zonas libres evitar la agricultura, plantaciones y huertas, con la finalidad reducir la filtración de agua
1	Aceptable	Se debe construir viviendas que tenga relación con agua y otras actividades domesticas con filtración de agua

Figura 8
Mapa de Riesgo



5. Discusión

La subsidencia presenta un riesgo debido a que el estrato subterráneo está compuesto, por rocas sedimentarias con alto contenido de carbono de calcio y arcilla, que al estar en contacto con el agua erosiona formando un relieve Kárstico, los suelos están formados por un material soluble que el calizo con alta concentración de carbonato, el cual al estar en contacto con el agua de lluvia y arroyos de Latapuquio, forma el proceso de modelado o relieve kárstico es realmente lento, estos modelos también se producen en

otra zonas calcáreas, donde las rocas calizas experimentan una variación en su composición química con la acción del agua, la disolución kárstica el cual ocurrió un proceso químico por el cual el dióxido de carbono interactúa con la roca caliza creando bicarbonato cálcico.

La meteorización química es el resultado de dos procesos. La disolución, cuando las rocas calizas se disuelven en agua. Por otro lado, la carbonatación, ocasiona carbonato (insoluble) se transforma en bicarbonato (soluble) por el aumento de la concentración de CO₂ en el agua. Los suelos calizos, además de las yesíferas y salinas, presentan un modelado característico por su solubilidad. Realmente, el CO₃Ca es muy poco soluble, pero en presencia de agua y CO₂ atmosférico se transforma en (CO₃H)₂Ca según esta reacción: CO₃Ca + CO₂ + H₂O → (CO₃H)₂Ca. Así, las calizas (superficiales o subterráneas) se erosionan por meteorización química, el carbonato insoluble pasa a ser bicarbonato, soluble, por la acción del H₂O y el CO₂.

Los sumideros y dolinas que se encuentra dentro o cerca del cauce de los arroyos que provienen de la ladera de Latapuquio, que discurren las aguas en la época de lluvia de diciembre abril causando la saturación del suelo, a su vez penetra las aguas al estrato calizo que al estar en contacto con el agua se erosiona formando un conjunto de morfologías desarrolladas sobre rocas solubles como los carbonatos (calizas y dolomías), donde las estratos calizas experimentan una variación en su composición química creando bicarbonato cálcico, que es altamente soluble, ocasionando un procesos de hundimiento lento.

El hundimiento de suelos percibidos en varios puntos, a consecuencia de la disolución del suelo calizo y la formación de dolinas, ocasiona un peligro de bajo a medio principalmente en las construcciones de viviendas. Esto a su vez la vulnerabilidad bajo a medio en las construcciones de viviendas y la población dentro del área de estudio, capaces de sufrir daños físicos, económico.

6. Conclusiones

El riesgo por subsidencia es de bajo a medio por el proceso de hundimiento del suelo de manera muy lenta por la disolución de materiales solubles, este fenómeno se produce



por la disolución de una roca caliza o carbonatada por presencia de agua, el riesgo es la probabilidad de que ocurran daños o pérdidas debido a la interacción entre peligro y la vulnerabilidad en el entorno de Pueblo Nuevo Santa Rosa

La subsidencia del suelo en el área urbano de Lircay, es un fenómeno natural que consistente en el hundimiento vertical de la superficie terreno, por la presencia de rocas sedimentarias con alto contenido de carbono de calcio y arcilla, que al estar en contacto con el agua se erosiona formando un relieve Kárstico, el proceso de formación del modelado o relieve kárstico es realmente lento,

La evaluación de vulnerabilidad de las viviendas, según el mapa de peligro de la zona crítica estudiado, las metodologías de la valoración a sido por medio de la observación directa las cuales coincidieron en sus resultados, la mayoría de las viviendas evaluadas obtuvieron una clase de vulnerabilidad de baja a media por tener un sistema constructivo de material noble, y las viviendas de adobe resultaron de nivel medio de vulnerabilidad siendo las edificaciones más antiguas con más riesgo al colapso.

La subsidencia es el riesgo geológico que no fueron estudiados en nuestro medio, por ello es considerado como uno de los problemas más latentes, en este trabajo se han estudiado los factores naturales que podrían ayudar el desarrollo de la subsidencia por disolución del sub suelos por factores geológicos y climáticos, así mismo tener en cuenta la rotura de turberas que últimamente está causando hundimientos.

Es posible lograr cambios sustanciales y positivos en el estatuto actual en la universidad, si se otorga mayor importancia y fortalecimiento a las estructuras de investigación como soportes e instrumentos para apuntalar una más efectiva competencia del tutor que redunde en una praxis investigativa institucional. Con la certeza que es desde las estructuras de investigación, y con apoyo de los tutores desde el Ser, que se puede ir creando una cultura y praxis investigativa. Es preciso llamar la atención a una acertada competencia tutorada que redunde en una cultura y praxis investigativa.

Es necesario reflexionar que posibilidades existe de separar las unidades académicas para asuntos de docencia, y dejarle, a las estructuras de investigación lo atinente a la



investigación, ya que estas unidades organizativas atraen más para sus puestos directivos a investigadores desde el Ser que a los investigadores desde el tener. Vislumbrando un futuro promisor, un nuevo horizonte con diferentes matices en la investigación, cuando existe intención, compromiso, trabajo, interés en cambiar la forma de hacer y de actuar, ganas de aprender y dejarse orientar por el camino que conduce a elevar el SER en su más alta dimensión y comenzar a darle sentido a la investigación, no solo como capital intelectual acumulable, sino como una posesión de gran valor, con sentido y pertinencia, investigación por y para la sociedad capaz de transformar al ser humano y el entorno.

El tener bajo la dimensión del SER entonces no será desde un hacer fútil, insustancial, pasa a convertirse en un capital académico reconocido por el aporte que pueda brindar a las demandas que la sociedad reclama.

7. Declaración de contribución de autoría: CREdiT

Dedicación Miguel Medina-Champe: Conceptualización, Metodología. Favio Quevedo-Jurado: Redacción, borrador original, Resultados, Discusión. Demetrio Soto-Carbajal: Redacción, Conclusiones y Revisión de estilo.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo logístico a la Facultad de Ingeniería Minas Civil Ambiental de la Universidad Nacional de Huancavelica, a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Filial-Lircay. Asimismo, a los revisores por tomarse el tiempo y el esfuerzo necesario para revisar este trabajo.

9. Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia conocidos ni relaciones personales que pudieran haber parecido influir en el trabajo reportado en este artículo.

10. Disponibilidad de los datos



Los datos están disponibles en los siguientes enlaces: dedicación.medina@unh.edu.pe, favio.quevedo@unh.edu.pe y demetrio.soto@unh.edu.pe, o los datos estarán disponibles previa solicitud.



Referencias

1. Abellaneda, M. (2016). Estudio y análisis de la subsidencia del terreno en la cuenca del Alto Guadalentín. Investigaciones previas, evolución, causas y consecuencias. Repositorio institucional de la Universidad de Alicante. España. <http://hdl.handle.net/10045/54865>
2. Abellaneda M. (2015) Estudio y análisis de la subsidencia del terreno en la cuenca del alto Guadalentín. Investigaciones previas, evolución, causas y consecuencias, Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/54865>
3. Abidin, H., Andreas, H., Gumilar, I., Sidiq, T., & Fukuda, Y. (2011). Land subsidence in Jakarta, Indonesia: Characteristics, impacts and causes. Environmental Geology, 55(2), 217–229. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1004-4>
4. Aponte, A. (2023). Susceptibilidad y amenaza asociadas a la subsidencia y colapsos en terrenos kársticos: Caso del estado de Campeche. Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, (89), 2.Mexico. <https://n9.cl/qtcvo>
5. Arcurquina G. y Prudencio D. (2022), evaluación de peligros geológicos por hundimiento y deslizamiento en el sector Pucuto, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet. www.gob.pe/ingemmet
6. Birkmann, J. (Ed.). (2006). Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies. United Nations University Press.USA. <https://n9.cl/8lrqos>
7. Cardona, O. D. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universidad de Los Andes. [Tesis Doctoral]. Barcelona. <https://n9.cl/if9s85>
8. Carlos L. Liesa, Arancha Luzón, Antonio Pérez, Óscar Pueyo (*); Emilio Pueyo, Tania Mochales (**).
9. Chaussard, E., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E., & Amelung, F. (2014). Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-series. Remote Sensing of Environment, 140, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.038>
10. Fco. Javier Gracia Abadías (***) y Diego Ansón (****). riesgo de subsidencia kárstica en áreas urbanas: el caso de zaragoza
11. Ford, D., & Williams, P. (2007). Karst hydrogeology and geomorphology (2nd ed.). Wiley.
12. Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. Hydrogeology Journal, 19(8), 1459–1486. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5>
13. Gonzalo A et al (2022) Informe Técnico A7288, Evaluación de peligros geológicos por hundimiento en el barrio Miraflores – Lircay. Ingemmet



14. Gutiérrez, F., Parise, M., De Waele, J., & Jourde, H. (2008). A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews*, 88(3–4), 88–119. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.01.001>
15. Herrera-García, G., Ezquerro, P., Tomás, R., Béjar-Pizarro, M., Guardiola-Albert, C., & García-López, S. (2021). Global land subsidence mapping and monitoring: A new global hazard. *Science*, 372(6541), eabb8549. <https://doi.org/10.1126/science.abb8549>
16. Holzer, T. L. (1984). Ground failure induced by ground-water withdrawal from unconsolidated sediment. In Holzer, T. L. (Ed.), *Man-induced land subsidence* (pp. 67–94). Geological Society of America. <https://n9.cl/4pbmy>
17. Kaufmann, O., & Quinif, Y. (2002). Geohazard map of the Walloon karst, Belgium. *Engineering Geology*, 65(2–3), 99–107. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00122-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00122-1)
18. Keller y Blodgett (2007). *Natural Hazards: Earth's Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes*. Universidad de Jaen-España. <https://n9.cl/ctd7ir>
19. Lavell, A. (2003). La gestión local del riesgo: conceptos y experiencias. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). <https://www.desenredando.org>.
20. Leal Oscar (2017), Evaluación de vulnerabilidad de viviendas afectadas por hundimientos en función de los tipos de materiales empleados en el pueblo de Jocotepec, Jalisco, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.Mexico. <http://hdl.handle.net/11117/4777>
21. Parise, M., & Gunn, J. (2007). *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, analysis and mitigation*. Geological Society, London. Londres. <https://n9.cl/oilns>
22. Poland, J. F., & Davis, G. H. (1969). Land subsidence due to withdrawal of fluids. *Reviews in EngineeringGeology*, 2, 187–269. <http://dx.doi.org/10.1130/REG2-p187>
23. Summerfield, M. (2013). *Global Geomorphology*. <https://doi.org/10.4324/9781315841182>
24. Tomas R. et al (2009), subsidencia del terreno, revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra. vol.17, núm. 3, p. 295-02. España. <https://goo.su/WjPJs>
25. Ulloa, A., Aguilar, T., Goicoechea, C., & Ramírez, R. (2011). Descripción, clasificación y aspectos geológicos de las zonas kársticas de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, (45), 53-74. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i45.1910>
26. Waltham, T., Bell, F., & Culshaw, M. (2005). *Sinkholes and subsidence: Karst and cavernous rocks in engineering and construction*. Springer. <https://goo.su/NnJg>

