

Aplicación de la vibración ambiental a la información física de las construcciones para determinar la vulnerabilidad sísmica

Arquímedes León Vargas-Luque

avargasl@unam.edu.pe

Universidad Nacional de Moquegua

Fabrizio Del Carpio Delgado

fdelcarpiod@unam.edu.pe

Universidad Nacional de Moquegua

RESUMEN

La investigación se realizó en la ciudad de Moquegua, con el objetivo de determinar la vulnerabilidad sísmica, partiendo de la información física de las estructuras de las viviendas y la vibración ambiental. La metodología para obtener la información de las características de 22,905 viviendas de la ciudad de Moquegua comprendiendo sus centros poblados, fue empleando el formato FEMA 154, para el registro de información de la vibración natural de los suelos se empleó registradores sísmicos de vibración ambiental como los microtremores, lo que permitió realizar el cálculo de los periodos de vibración, los resultados de los puntos de medición, permitieron determinar la vulnerabilidad sísmica. Los resultados nos muestran que se tiene una vulnerabilidad sísmica del 58.74% en el tipo III, resultando un 74.09% como vulnerabilidad media.

Palabras clave: Vibración ambiental; información física; vulnerabilidad sísmica; microtremor; resonancia sísmica.

Application of environmental vibration to the physical information of buildings to determine seismic vulnerability

ABSTRACT

The research was carried out in the city of Moquegua, with the objective of determining seismic vulnerability, starting from the physical information of the housing structures and environmental vibration. The methodology to obtain information on the characteristics of 22,905 homes in the city of Moquegua, including its populated centers, was using the FEMA 154 format, for the registration of information on the natural vibration of the soils, seismic environmental vibration recorders were used, such as the microtremores, which allowed the calculation of the vibration periods, the results of the measurement points, allowed to determine the seismic vulnerability. The results show us that there is a seismic vulnerability of 58.74% in type III, resulting in 74.09% as a medium vulnerability.

Keywords: Environmental vibration; physical information; seismic vulnerability; microtremor; seismic resonance.

Artículo recibido: 25 marzo 2021
Aceptado para publicación: 29 abril 2021
Correspondencia: avargasl@unam.edu.pe
Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

1. INTRODUCCIÓN

La investigación se realizó en la ciudad de Moquegua, comprendiendo los centros poblados de San Francisco, Chen Chen, San Antonio y Los Ángeles, teniendo como objetivo obtener la vibración ambiental empleando microtemores y la vibración física de las infraestructuras de la ciudad y a partir de ellas determinar la vulnerabilidad sísmica. Considerando que el valle costero de Moquegua en el Perú es en el inicio del desierto de Atacama en una zona con dominio de un territorio semiárido, disectado y de topografía abrupta.

Los sismos que se presentan en la zona de influencia del cinturón de fuego del Pacífico monitoreado desde el año 1970 al 20174 determinada que “existe una migración de fuentes sísmicas” de lo que se deduce en la constante de los sismos (López, 2017)

Sobre el particular Tavera (2010) refiere sobre las conclusiones de DeMets et al, (1980) & Norabuena et al. (1999) y manifiesta "La importante actividad sísmica presente en el Perú es debida al proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el mismo que se produce con una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año”, además en su investigación Tavera (2014) Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú, señala “Durante los últimos 500 años de historia, todas las ciudades cercanas a la zona costera han sido afectadas por sismos en menor y mayor grado”, ante un realidad histórica, se suma la presencia de sustratos que necesitan de una “caracterización ingeniero geológicas de los suelos y zonificar el potencial de licuefacción” para delimitar los suelos con condiciones favorables (Fernández, 2015).

Aspectos que permitieron enfocarnos en obtener el registro de las vibraciones naturales mediante el empleo de microtemores y con el empleo del formato FEMA 154 conseguir la información de las edificaciones de la ciudad de Moquegua, que permitió traducirlos en la vulnerabilidad sísmica, en una secuencia de investigación que abarca un análisis en el marco teórico, empleo de métodos y materiales, que devienen en una discusión y resultados.

Sobre amenaza y vulnerabilidad física y la probabilidad de ocurrencia, Hernández & Ramírez (2016) afirman, “se clasifica de bajo a muy alto, según los efectos del evento amenazante sobre los elementos físicos expuestos”, lo que permitirá dar un valor determinado a los suelos inestables, ello no conlleva a enfocarnos en conseguir información de vulnerabilidad física...La información de vulnerabilidad física permitirá elaborar “representación cartográfica” para la toma de decisiones (Durán, 2017), además,

las herramientas informáticas coadyuvan en corroborar información, como los arenales presentan “valores de alta o muy alta vulnerabilidad” mientras que los afloramientos rocosos de la costa se muestran en mejores condiciones (Gómez & Pérez, 2017).

La vulnerabilidad sísmica conlleva mediante su data identificar estructuras que no poseen las mejores características, y con ello plantear soluciones desde una mejora o tomar la decisión de cambiarlos (Saracho, Pérez, Barlek & Dip, 2018), para el propósito si el logro de la información es sencillo permitirá tomar dicciones mediatas, incluso comparando resultados de “estructuras con característica similares” (Hidalgo, Schmidt & Cruz, 2018) Las ciudades resilientes propenden a contar con respuestas adecuadas que se traslucen en “una recuperación eficaz y óptima” ante eventualidades sísmicas (Iñiguez, Berru, Oyola, & Solano de la Sala, 2018), las mejoras realizadas en las edificaciones mejoraran sus capacidades, permitiendo actualizar los estudios (Jiménez, Cabrera, Sánchez & Avilés, 2018).

La construcción de viviendas en lugares inadecuados que no cumplen con las normas es el resultado de una nula o inexistente planificación que se deduce en una mayor vulnerabilidad y peligro (Vargas, Arroyo, & Vizconde, 2018), para la obtención de información directa, rápida y mediata la Federal Emergency Management Agency (FEMA-154) propone inspecciones visuales rápidas (PIVR) con la finalidad de realizar evaluaciones mediatas en zonas potenciales de vulnerabilidad sísmica (Castro, 2019), la información conlleva emplear formularios para acumular información en forma visual, metodología que permite llegar a un índice de vulnerabilidad (Vargas, Arroyo, & Vizconde, 2018).

La información de vibraciones ambientales permite realizar registros de frecuencias naturales de los suelos, los que permiten elaborar microzonificaciones (Giolo, Frau, Calderón, Pagano & Tornello, 2018), estas vibraciones ambientales tienen la gran ventaja de aplicarlos en cualquier momento, no es necesario como otras técnicas que requieren aguardar un sismo (Ritta, Suárez, & Pando, 2012), los microtemores brindan información de las ondas superficiales, para caracterizar los suelos, estos métodos geofísicos utilizan técnicas como SPAC, que son las auto relaciones espaciales y Nakamura (Zambrana, 2019).

Los sistemas administrativos corroboran al aspecto técnico, es necesario mejorar los aspectos inherentes a las licencias de edificaciones, para ello se requiere una metodología

que conlleve a viabilizar la gestión de riesgos del sistema administrativo de licencias (Véliz & Obregon, 2019), se suman el proceso constructivo con mano de obra no calificada, la densidad de los muros, los materiales y el proceso constructivo definirán una mayor vulnerabilidad (Llamccaya, 2018), los que deben estar representados en variables topográficas que consideran información de pendientes, taludes, elevaciones y orientaciones (Segura, 2019), Los cambios de uso de suelos influidos por factores como el cambio climático ha incrementado las áreas de vulnerabilidad moderada (Albornoz-Euán, 2017), a pesar de los controles de erosión que se realizan, los problemas son mas severos, por lo que es ineludible desarrollar nuevos conocimientos y nuevas tecnologías (Amado & Torres, 2017).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la ciudad de Moquegua, comprendido los centros poblados de San Francisco, Chen Chen, San Antonio y Los Ángeles.

Dentro de los materiales empleados para recabar la información de las edificaciones se empleó los formatos FEMA 154 y para la medición de la vibración ambiental se empleó un registrador sísmico microtremor, con sistema de monitoreo via IPot touch 16 Gb y un GPS Garmin modelo 16x-lvs.

a) Población y tamaño de muestra.

18,000 viviendas 53 puntos de registro de información de vibración ambiental.

El método para obtener la información de las edificaciones fue visual, propuesta por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (Federal Emergency Management Agency) FEMA 154, y el método empleado para determinar el período fundamental de vibración ha sido el análisis los registros de vibración ambiental, que son los periodos de vibración y finalmente traducirlos en vulnerabilidad sísmica.

b) Recolección de datos:

La adquisición de datos se realizó con el equipo microtremor en horas de la noche para evitar perturbaciones no deseadas, como el tránsito vehicular, su característica principales muestra que es liviano, no invasivo ambientalmente, posee 3 canales de acumulación de datos acelerográficos y 3 de geófono (Figura 1), un IPod que permite la visualización de las vibraciones en tiempo real (Fig. 2).

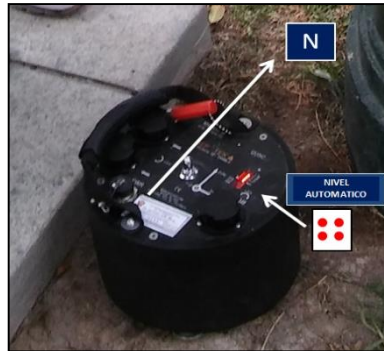


Figura 1. Equipo microtremor Geodas empleado para la adquisición de datos.

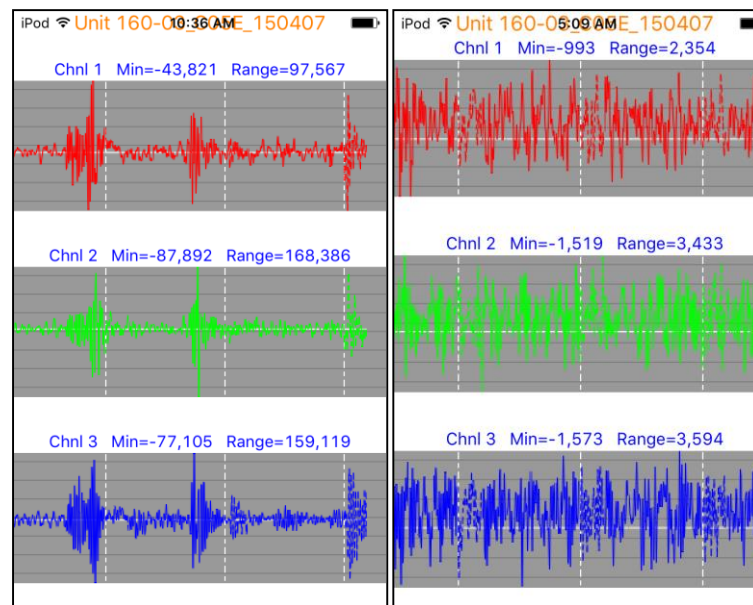


Figura 2. Ondas registradas por el microtremor con dos sensores - componentes vertical y horizontal E-W; N-S; V, vistas des el iPod

Las grabaciones de las vibraciones fueron durante el lapso de 10 minutos, tiempo que garantizó una adecuada recolección de datos, en el transcurrir de este lapso se cuidó que no exista “interferencias directas” (Fig. 3) como el paso de vehículos o personas en las zonas próximas al sensor, en diversas ocasiones se necesitó rehacer el procedimiento por interferencias del tráfico vehicular (Vargas et al, 2020).

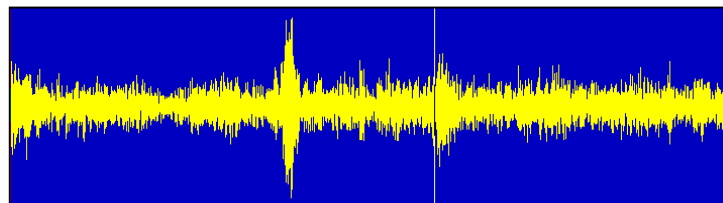


Figura 3. Interferencias directas

c) Evaluación de viviendas:

El método usado es una evaluación visual rápida, se agruparon las edificaciones según su comportamiento sísmico (Del Carpio, 2016):

1) **Tipo 1:** Sísmicamente muy débil: edificaciones antiguas (mayor a 100 años) de adobe, piezas cuyas dimensiones de 50x30x13 cm., muros de 0.30 o 0.50 m. de ancho sin refuerzos verticales ni horizontales, con techos flexibles cuyas vigas de madera forman armaduras trapezoidales sobre los cuales se colocan listones de madera con torta de barro, este tipo de techo se conoce como Mojinete.

Edificaciones con muros de adobe, cuyas dimensiones son de 40x30x12 cm, lo que da muros de 0.20 o 0.40 m., de ancho y 2.5 m. de altura, con cimentación de piedra con barro de 0.40 m. de profundidad, sin refuerzos vertical ni horizontal en los muros, con techo ligero constituido por vigas de madera con cobertura de caña con torta de barro y también planchas onduladas de Zinc o asbesto-cemento.

2) **Tipo 2:** Sísmicamente débil: edificaciones antiguas de madera y quincha, cuyos miembros estructurales están debilitados por la acción de sucesivos humedecimientos y secados, con techo flexible tipo mojinete con cobertura de listones de madera o caña con torta de barro o planchas onduladas de Zinc o asbesto-cemento.

Edificaciones de muros de albañilería cuyas unidades son ladrillos (29x15x9 cm) y bloquetas (30x18x13cm) de concreto fabricado artesanalmente de regular a baja calidad, unidas con mortero de arena-cemento, cimientado corrido de concreto, con o sin refuerzo en columnas de concreto, sin vigas collar, con techo flexible y ligero constituido de vigas de madera con cobertura de caña con torta de barro, planchas onduladas de zinc o asbesto-cemento, edificaciones que usan unidades tubulares para la construcción de muros portantes en el primero como en los pisos superiores, autoconstruidos informalmente. De la misma manera edificaciones que presentan la configuración de ladrillo de 24x14x9 cm en el primer nivel y en el segundo bloque de arcilla.

3) **Tipo3:** Sísmicamente semirresistentes: son construcciones con muros de albañilería de ladrillo o bloques de concreto, fabricados artesanalmente de regular a baja calidad, unidos con mortero, fabricados, las unidades de arcilla serán macizas, con columnas y vigas collar y techo rígido ligero, autoconstruidos informalmente, sin haber tenido asesoría técnica. Se agregará la definición de que las unidades de arcilla serán macizas.

4) **Tipo 4:** Sísmicamente resistentes: edificaciones de muros de albañilería con unidades hechos en fábrica de ladrillo de arcilla o concreto, o bloquetas de concreto de buena calidad, unidas con mortero de arena-cemento, unidades de arcilla serán macizas, con columnas, vigas collar y techo rígido ligero o pesado de concreto reforzado, construidos con asesoría técnica.

5) **Tipo 5:** Áreas sin construir destinadas a construcciones de viviendas y construcciones no estructurales temporales.

- Para hallar la Vulnerabilidad se seguirá el siguiente criterio
- Vulnerabilidad Alta: en la zona donde las edificaciones Tipo 1 y Tipo 2 suman más del 50 % del total
- Vulnerabilidad Media: en el sector donde las edificaciones Tipo 2 y Tipo 3 suman más del 50% del total
- Vulnerabilidad Baja: si en el sector las edificaciones Tipo 3 y Tipo 4 suman más del 50% del total.

d) Procesamiento de datos

Usualmente la interpretación de los registros de microtemores se realiza a través del análisis de amplitudes espectrales. Este procedimiento consiste en convertir la señal analógica a una señal digital, para luego aplicarle la transformada de Fourier y obtener el período predominante, el cual presenta la amplitud espectral (Rocha, 2016), que son los periodos de vibración natural de los suelos, finalmente traducirlos en vulnerabilidad sísmica.

Para eliminar el efecto de la fuente de generación de las vibraciones, se empleó la técnica de Nakamura, que propone evaluar la relación espectral H/V (Ulloa, 2018). Las grabaciones de las vibraciones fueron durante el lapso de 10 minutos, tiempo que garantizó una adecuada recolección de datos, en el transcurrir de este lapso se cuidó que no exista interferencias directas (figura 3) como el paso de vehículos o personas próximas al sensor.



Figura 4. *Equipo GEODAS de la UNAM Moquegua empleado en la investigación*

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información directa, rápida y mediata con el formato de la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA-154) nos conllevó a procesar y obtener los siguientes resultados (Tabla 1) sobre el tipo de materiales de construcción empleados en la construcción de las viviendas:

Tabla 1: *Materiales de construcción*

Materiales de construcción de las viviendas						
Ubicación	Ladrillo %	Adobe %	Bloqueta %	Madera %	Estera %	Duales %
Cercado						
Moquegua	61	32	0.5	2	4	0.5
C.P. San Francisco	71	15	4	5	5	
C.P. Chen Chen	62	15	3	20		
C.P. San Antonio	51	14	12	22	1	
C.P. Los Ángeles	27	60	1	4	8	
Total	54.4	27.2	4.1	10.6	3.6	0.1

El formato de la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA-154) nos permitió obtener los siguientes resultados (Tabla 2) sobre el número de niveles edificaciones de las viviendas en la ciudad de Moquegua:

Tabla 2: *Niveles de pisos de las edificaciones*

Niveles de edificaciones de las viviendas						
Ubicación	1 piso %	2 pisos %	3 pisos %	4 pisos %	5 pisos %	6 pisos %
Cercado						
Moquegua	65	28	6	1		
C.P. San Francisco	58	34	8			
C.P. Chen Chen	91	8	1			
C.P. San Antonio	84	14	2			
C.P. Los Ángeles	93	7				
Total	78.2	18.2	3.4	0.2		

Sobre el periodo fundamental del suelo

En los resultados de los 53 puntos de muestreo del registrador sísmico con la técnica del microtremor (Tabla 3) se consiguió los siguientes resultados:

Tabla 3: *Periodo fundamental del suelo*

PUNTO DE MEDICION	COORDENADAS UTM		PERIODO FUNDAMENTAL DEL SUELO
	ESTE	NORTE	
1	294737	8098665	0.31
2	294497	8098299	0.3
3	293631	8098275	0.1
4	293339	8098183	0.2
5	294239	8098138	0.19
6	293971	8097944	0.23
7	293950	8097614	0.34
8	294279	8097809	0.19
9	294668	8097799	0.24
10	294375	8097611	0.26
11	295115	8098503	0.47
12	295213	8098431	0.27
13	295313	8098319	0.98
14	295034	8098235	0.34
15	295200	8098103	0.76
16	295354	8098107	0.37
17	295094	8097941	0.21
18	295978	8098017	0.47
19	296069	8097761	0.91
20	295361	8097305	0.78
21	295672	8097336	1.68
22	296141	8097347	0.98
23	295153	8096795	0.98
24	295694	8096628	1.25
25	295849	8096804	1.73
26	295523	8096395	1.29
27	293928	8097027	0.3
28	293522	8097784	0.55
29	293351	8097843	0.47
30	293414	8097636	0.47
31	293208	8097660	0.41
32	293099	8097940	0.31
33	292736	8098105	0.82
34	292780	8098373	0.41
35	292535	8098242	0.55
36	292813	8097825	0.45
37	292818	8097406	0.37
38	291476	8097012	0.45

39	292161	8097153	0.29
40	292162	8096885	0.26
41	292487	8096924	0.43
42	292908	8097050	0.21
43	292014	8096517	0.84
44	291840	8096278	0.24
45	292174	8096278	0.24
46	292593	8096436	0.57
47	292677	8096117	0.29
48	293184	8096142	0.3
49	293114	8095838	0.21
50	293692	8095838	0.4
51	293784	8096046	0.22
52	293437	8096422	0.49
53	293829	8096472	0.3

Sobre la resonancia

Se tomó en consideración para este análisis la norma NERP y la Norma Peruana (RNE);

$$T = \alpha H^{3/4}$$

$$T = H/Ct$$

Tomando en consideración los periodos obtenidos en la investigación, afirmamos la vulnerabilidad sísmica (Tabla 4), con los siguientes resultados:

Tabla 4: *Vulnerabilidad sísmica*

Vulnerabilidad sísmica		
Tipo de Comportamiento Sísmico	Parcial	%
Tipo V	5,152	22.49%
Tipo IV	598	2.61%
Tipo III	13,454	58.74%
Tipo II	3,516	15.35%
Tipo I	185	0.81%
Total	22,905	100.00%

La vulnerabilidad es una susceptibilidad o la predisposición intrínseca de un elemento o de un sistema de ser afectado gravemente (Tabla 4) lo que nos permite establecer los porcentajes del tipo de vulnerabilidad.

Tabla 5: *Tipo de vulnerabilidad*

Tipo de vulnerabilidad	%
Vulnerabilidad Alta	16.16%
Vulnerabilidad Media	74.09%
Vulnerabilidad Baja	61.35%

Los suelos cuaternarios y la formación geológica Moquegua, donde está emplazada la ciudad en mayor proporción presentan arcillas, limos, gravas, son coadyubados por Gómez & Pérez (2017), se debe corroborar información, como los arenales presentan “valores de alta o muy alta vulnerabilidad” mientras que los afloramientos rocosos de la costa se muestran en mejores condiciones, Saracho (2018) afirma, la data permite identificar estructuras que no poseen las mejores características, y con ello plantear soluciones desde una mejora o tomar la decisión de cambiarlos, con la investigación se demuestra que los suelos presenta valores de alta vulnerabilidad.

Los microtemores brindan información de las ondas superficiales, para caracterizar los suelos (Zambrana, 2019), si bien estos valores son superficiales, Giolo (2018) asevera que la información de vibraciones ambientales permite elaborar microzonificaciones, no solo ello, Ritta, Suárez, & Pando, (2012) dicen que estas vibraciones tienen gran ventaja por su aplicación inmediata y no esperar un evento sísmico, no solo ello, Llamccaya (2018) se suman el proceso constructivo mano de obra no calificada, la densidad de los muros, los materiales y el proceso constructivo definirán una mayor vulnerabilidad (Llamccaya, 2018). Por lo tanto, es necesario tener información de ambos frentes, la vibración natural de los suelos y la información física de las edificaciones de las viviendas de la ciudad, lo cual coincide con nuestra investigación al tener información de ambos aspectos que sirvieron para relacionarlos, y conseguir los objetivos proyectados.

Los sistemas administrativos corroboran al aspecto técnico, es necesario mejorar los aspectos inherentes a las licencias de edificaciones, para ello se requiere una metodología que conlleve a viabilizar la gestión de riesgos del sistema administrativo de licencias (Véliz & Obregon, 2019), se suman el proceso constructivo con mano de obra no calificada, la densidad de los muros, los materiales y el proceso constructivo definirán una mayor vulnerabilidad (Llamccaya, 2018), los que deben estar representados en variables topográficas que consideran información de pendientes, taludes, elevaciones y orientaciones (Segura, 2019), Los cambios de uso de suelos influidos por factores como

el cambio climático ha incrementado las áreas de vulnerabilidad moderada (Albornoz-Euán, 2017), a pesar de los controles de erosión que se realizan, los problemas son más severos, por lo que es ineludible desarrollar nuevos conocimientos y nuevas tecnologías (Amado, 2017), bajo esta línea se consigue con la investigación determinar la vulnerabilidad sísmica.

4. CONCLUSIONES

Se logró conocer de la vulnerabilidad física de las edificaciones de la ciudad de Moquegua:

Los materiales de construcción empleados en las edificaciones de las viviendas en la ciudad de Moquegua nos muestran: 54.4 % de edificaciones de ladrillo; 27.2% de adobe, 4.1% bloqueta; 10.6% de madera; 3.6% de estera; 1,0 % duales.

Al promediar las cifras del cercado de Moquegua y los centros poblados sobre el número de pisos se tiene: 78.2% edificaciones de 1 piso; 18.2% dos pisos; 3.4% tres pisos; 2,0% cuatro pisos.

Al relacionar la vulnerabilidad física de la ciudad de Moquegua con la vibración ambiental se consiguió determinar la vulnerabilidad sísmica, de los resultados también se puede discernir: Tipo de comportamiento V - 22.49%, comportamiento IV – 2.61%, comportamiento III – 58.74%, comportamiento II – 15.35%, comportamiento I – 0.81. Con un tipo predominante de vulnerabilidad media de 74.09%.

Los periodos fundamentales los suelos del área de influencia del estudio de la ciudad de Moquegua variaron en un rango de 0.21 a 1.73 y la relación entre el período y la profundidad de los sedimentos nos permite concluir que las potencias de los estratos estudiados oscilan de 20 a 100 m. con presencia de material sedimentario no consolidado.

5. LISTA DE REFERENCIAS

Albornoz-Euán, B. S. I., & González-Herrera, R. A. (2017). Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero Yucateco bajo escenarios de cambio climático. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 4(11), 275-286. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.1037>

Amado Rey, M. C., & Torres Penagos, É. D. (2017). Análisis de la susceptibilidad a la erosión de los suelos entre Neiva y El Vergel en proximidades al cauce del río Magdalena determinando su vulnerabilidad. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1321&context=ing_civil

- Castro Herrera, M. A. E. (2019). Inspección sísmica visual rápida de los edificios de la Universidad de Piura por el método FEMA 154. <https://hdl.handle.net/11042/3940>
- Del Carpio Delgado, Fabrizio (2016) “Modelo de Gestión con Procesos para Identificar la Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas en los Gobiernos Locales de la Región Moquegua, 2016”. *Universidad Privada de Tacna, Escuela de Postgrado de Ingeniería Civil*.
- Durán Gil, C. A. (2017). Análisis espacial de las condiciones de vulnerabilidad social, económica, física y ambiental en el territorio colombiano. *Perspectiva Geográfica*, 22(1), 11-32. <https://doi.org/10.19053/01233769.5956>
- Fernández Diéguez, L. (2015). *Licuefacción de los suelos generada por sismos de gran magnitud: Caso de estudio Caimanera y Santiago de Cuba* (Doctoral dissertation, Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Geología. Mención geotecnia e hidrogeología).
<http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1174>
- Giolo, E., Frau, C., Calderón, F., Pagano, S., & Tornello, M. (2018). Frecuencias naturales de suelos en el núcleo urbano de la ciudad de Mendoza (Argentina). *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 23(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v23i2.967>
- Gómez-Pazo, A., & Pérez-Alberti, A. (2017). Vulnerabilidad de las costas de Galicia a los temporales marinos en el contexto del cambio global. *Sémata: Ciencias Sociais e Humanidades*, (29), 117-142. <https://doi.org/10.15304/s.29.4210>
- Hernández Atencia, Y., & Ramírez Arcila, H. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 26(2), 111-128. <https://doi.org/10.18359/rcin.1800>
- Hidalgo, D., Schmidt, V., & Cruz, M. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de hospitales de Costa Rica con la aplicación de índices de vulnerabilidad. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 21(4), 437 – 452. <http://hdl.handle.net/10669/74604>
- Iñiguez-Singüenza, L., Berru Cabrera, L.; Oyola-Estrada, E & Solano de la Sala, C. (2018, July). Análisis de la resiliencia ante la vulnerabilidad sísmica de las

- edificaciones en la ciudad de Machala. In Conference Proceedings (Vol. 2, No. 2), 331-317 <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11592>
- Jiménez, J., Cabrera, J., Sánchez, J., & Avilés, F. (2018). Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca: Lineamientos generales y avances del proyecto. *Maskana*, 9(1), 59-78. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.01.07>
- López, A., Álvarez, C. I., & Villarreal, E. (2017). Migración de fuentes sísmicas a lo largo del cinturón de fuego del Pacífico. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 25(1), 5-15. <http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n25.2017.01>
- Llamccaya Huamani, H. (2018). Evaluación de las viviendas autoconstruidas para determinar la vulnerabilidad sísmica en la urbanización Patibamba Baja–Abancay–Apurímac-2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34668>
- Ritta, R. J., Suárez, L. E., & Pando, M. A. (2012). Determinación del período fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente espectral horizontal/vertical. *Mecánica computacional*, 31(8), 1399-1419. <http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4130>
- Rocha, T. C. D. (2016). *Estudo e aplicação da transformada de Fourier na regularização de dados sísmicos na exploração de petróleo* (Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte). <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/20815>
- Saracho, J. A., Perez, G. A., Barlek, J. R., & Dip, O. (2018). Metodología para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Puentes Típicos en Argentina mediante Análisis Dinámico No Lineal. *Revista Tecnología y Ciencia*, (31), 173-187. <http://190.114.222.115/index.php/rtyc/article/view/115>
- Segura Tejada, R. (2019). Control topográfico de los movimientos en masa en sistemas áridos acarcavados: generación de mapas de vulnerabilidad a partir de imágenes de alta resolución espacial. http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/7993/TFG_SEGURA%20TEJADA,%20RAUL.pdf?sequence=1
- Tavera, H., Bernal Esquia, Y. I., & Torres Velarde, L. R. (2010). Sismo de Ancash del 3 de Enero de 2010 (5.7 ML), Región Central del Perú. <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/1073>

- Tavera, H. (2014). Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú. <https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/777/peligrosismos-Per%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ulloa, R. (2018). Aplicación del método de Nakamura H/V, para estudiar el riesgo sísmico en la zona comprendida por el despliegue d. e estaciones IMAD. *Universidad de Concepción, Departamento de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas*, https://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2018/06/Tesis_R_Ulloa_150dpi.pdf
- Vargas Saltos, M. E., Arroyo Orozco, J., & Vizconde Campos, A. (2018). Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares existentes de una Zona Urbano – Residencial en Anconcito, Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia E Investigación*. ISSN 2528-8083, 3(ICCE2018), 10-15. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp10-16p>
- Vargas, A., Del Carpio, F., Villa, C., Medina, R., Vargas, N. (2020). Aplicación de la vibración ambiental y la vulnerabilidad física de la ciudad de Moquegua. *Sincretismo–Revista de Divulgación Científica*. Volumen: 01, Número: 002. <https://revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/38>
- Véliz Velásquez, J. F., & Obregon Martinez, V. E. (2019). Mejoramiento del proceso administrativo en licencias de edificación para mitigar las consecuencias de vulnerabilidad en viviendas informales en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, 2019. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1258>
- Zambrana, X. (2019). Peligro sísmico de la falla geológica aeropuerto, margen este de la ciudad de Managua, Nicaragua. *Revista Compromiso Social*, (2), 61-68. <https://revistacompromisosocial.unan.edu.ni/index.php/CompromisoSocial/article/view/47>