

## Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de 97 edificaciones de la “Comuna Santa Clara de San Millán”, Quito

<sup>1</sup>Ilyak Fernández Echemendía, <sup>2</sup> Antonio Ramón Gómez García, <sup>3</sup> Nancy del Rocío Carchipulla Ramón, <sup>4</sup> Yiselle Bonucci Martín, <sup>5</sup> Miguel Ángel Pavón Suintaxi.

<sup>1</sup>Universidad Internacional SEK, Quito - Ecuador, [ilyak.fernandez@uisek.edu.ec](mailto:ilyak.fernandez@uisek.edu.ec)

<sup>2</sup>Universidad Internacional SEK, Quito - Ecuador, [antonio.gomez@uisek.edu.ec](mailto:antonio.gomez@uisek.edu.ec)

<sup>3</sup>Universidad Internacional SEK, Quito - Ecuador, [nancy.carchipulla@uisek.edu.ec](mailto:nancy.carchipulla@uisek.edu.ec)

<sup>4</sup>Universidad Internacional SEK, Quito - Ecuador, [yiselle.bonucci.arq@uisek.edu.ec](mailto:yiselle.bonucci.arq@uisek.edu.ec)

<sup>5</sup>Comuna S. Clara San Millán, Quito - Ecuador, [comunasantaclarasanmillan1911@gmail.com](mailto:comunasantaclarasanmillan1911@gmail.com)

Recepción / *Received*: 27, 02, 2018

Aceptación / *Accepted*: 27, 06, 2018

Publicado / *Published*: 30, 06, 2018

### Resumen:

Ecuador se caracteriza por ser un país multiamenazas frente a desastres naturales, por ello el esfuerzo por mejorar la calidad de las edificaciones debería ser una prioridad. De los trágicos acontecimientos sucedidos en Pedernales en abril de 2016 se han extraído datos importantes provenientes de las edificaciones colapsadas o con alto grado de deterioro, en las que se evidencian tres características en común: 1. Construcciones sin criterios estructurales normados; 2. Ausencia de control profesional durante la construcción; y 3. Falta de previsión de posibles daños estructurales ante la incidencia de un sismo de gran intensidad.

Ante el latente riesgo que enfrenta la ciudad de Quito, se presenta una investigación donde se evalúa la vulnerabilidad sísmica en cuanto a la configuración estructural de 97 edificaciones de la Zona 1 de la Comuna Santa Clara de San Millán, ubicada en el sector occidental del Distrito Metropolitano de Quito, conformada en su gran mayoría por construcciones informales, con base en el levantamiento y evaluación de dichas construcciones, para ello se aplica la guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con NEC 2015, que determina que el 91,8% de las edificaciones evaluadas poseen alta vulnerabilidad sísmica.

**Palabras clave:** Configuración estructural, riesgo sísmico, vulnerabilidad sísmica.

### Abstract:

*Ecuador is characterized as a multi-threatening country where the effort to improve the quality of buildings should be a priority. From the tragic events of Pedernales in April 2016 have extracted important data from buildings collapsed or with high degree of deterioration, which show three characteristics in common: buildings without standardized structural criteria, absence of professional control during construction, and lack of forecast of possible structural damages before the incidence of a high intensity earthquake.*

*Given the latent risk that Quito has, an investigation is presented where the seismic vulnerability is evaluated in terms of the structural configuration of ninety-seven (97) buildings in Zone 1 of Santa Clara de San Millán Commune, located in the western sector of the Metropolitan District of Quito, conformed in its great majority by informal constructions. By means of the survey and evaluation of these constructions, applying the practical guide for seismic evaluation and rehabilitation of structures in*

*accordance with NEC 2015, determining that 91.8% of the evaluated buildings have high vulnerability in terms of structural configuration.*

**Keywords:** Structural configuration, seismic risk, seismic vulnerability.

## I. INTRODUCCIÓN

En Ecuador existen normas dentro de la legislación en las que taxativamente se prohíben, o se regula la formación de asentamientos humanos en zonas de alto riesgo, como por ejemplo la Resolución No-SGR-042-2014 (Cornejo, M. 2014, 4), y la Ordenanza No. 0147 (Del Pozo, E, 2016, 11), en espera de que los cumplimientos de dichas disposiciones mitiguen los posibles efectos de los fenómenos naturales que pudiesen impactar a las ciudades. Sin embargo, y pese a los esfuerzos que se realizan, en dichas zonas es donde se concentra el mayor número de poblaciones, que por lo general se caracterizan por habitar en construcciones informales o carentes de supervisión calificada, transformándose así en asentamientos humanos vulnerables.

Una de las principales causas de daño en las edificaciones, provocadas por el efecto de sismos se debe al inadecuado comportamiento de las estructuras, por lo que es necesario conocer el grado de vulnerabilidad que presentan según la configuración estructural de las mismas, con el fin de buscar soluciones y mejorar las respuestas de los inmuebles ante la incidencia de un sismo de mediana o gran intensidad.

En el evento sísmico de abril de 2016, Quito no sufrió grandes daños, no obstante, se debe considerar que esta ciudad se encuentra ubicada en una zona de alto riesgo por la existencia de varias fallas geológicas; que en otros eventos si ha afectado a la capital ecuatoriana. De acuerdo a datos registrados, desde 1587, existe información de la presencia de diversos eventos sísmicos de características alarmantes y destructoras, evidenciados al menos una vez por siglo, exceptuando el siglo XIX. El 5 de marzo de 1987 fue la última vez que Quito fue afectada por un terremoto fuerte, el mismo que dejó como saldo la muerte de aproximadamente 1.000 personas fuera de los límites de la ciudad. Cabe señalar que el territorio ecuatoriano ha sufrido muchos terremotos, con diversos grados de afectación, en algunos casos han sido mucho más intensos y han ocasionado daños considerables y víctimas fatales, estos sismos ocurrieron en 1587, 1755, 1797, 1859 y 1868 (Fernández, J., Valverde, Yepes, H., 1995, 9).

Ante el riesgo latente que enfrenta la ciudad de Quito, se presentan los resultados de una investigación que determina la vulnerabilidad sísmica en edificios, tras la aplicación del formulario de evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de la *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la norma ecuatoriana de la construcción, 2016*, a la que en adelante llamaremos GPESRE, 2016; de 97 edificaciones de la Zona 1 de la Comuna Santa Clara de San Millán, caracterizada por ser un asentamiento indígena descendiente de los Kitu-Kara, fundado por españoles en 1537 (Andrade G., 2016, 15-18), ubicada en el sector occidental del Distrito Metropolitano de Quito, conformada en su gran mayoría por construcciones informales. La misma cuenta con, aproximadamente, 1.500 edificaciones, distribuidas en ocho zonas. Se escoge para iniciar esta investigación la Zona 1, por ser la que menor superficie posee, y cuenta con la mayor concentración de construcciones, es una zona que por su crecimiento ya forma parte del área

urbana de la ciudad de Quito (Andrade G., 17) y es la que posee las edificaciones más consolidadas y antiguas de la Comuna de Santa Clara.

## II. METODOLOGÍA

La Zona 1 de la Comuna Santa Clara de San Millán, ubicada en el sector occidental del Distrito Metropolitano de Quito, cuenta con 120 edificaciones aproximadamente, de las cuales se evalúan 97 (figura 1).

En el levantamiento de datos del trabajo de campo participan estudiantes de la Carrera de Arquitectura, que realizan sus prácticas preprofesionales, asistidos por los autores.

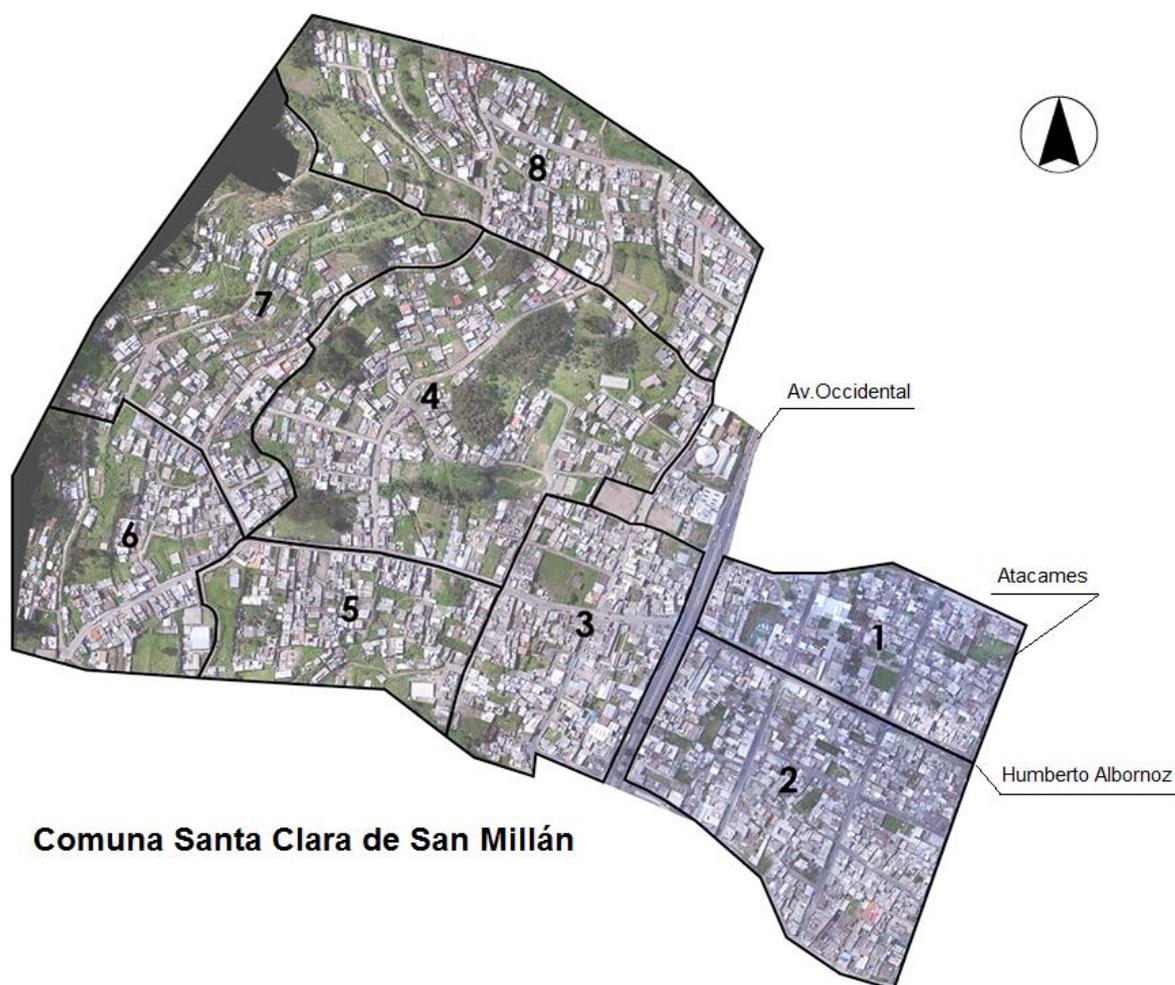


Figura 1. Ubicación de la zona 1 de la Comuna Santa Clara de San Millán.

Fuente: Google Maps, 2017.

La investigación se basa en la determinación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones por medio del trabajo de campo, con análisis numérico y procesamiento de datos, cuyo objetivo es determinar cuáles son las edificaciones más vulnerables frente a eventos sísmicos, y que posteriormente requerirán otro tipo de estudio más detallado. Este resultado servirá para la implementación de programas de mitigación de riesgos (GPESRE, 2016, 121).

En la primera fase de la investigación se realiza una evaluación visual simple de la zona de estudio, para definir la complejidad y características de los trabajos a realizar.

Definidos los trabajos, se emplea una ficha para el levantamiento de datos tomada del Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (Aragón J., Flores, L., López O., 2011), con ciertas modificaciones a las 97 viviendas estudiadas, en las que se incluyen croquis de plantas y elevaciones con dimensiones generales, fotos del inmueble, con el objetivo de verificar y corregir cualquier incongruencia de la toma de datos de campo.

Se determina el grado de vulnerabilidad sísmica, empleando el formulario para la evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de la (GPESRE, 2016). Figura 2.

FORMATO PARA LEVANTAMIENTO DE RIESGO SÍSMICO														
TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL														
Madera	W1	Pórtico hormigón armado				C1	Pórtico acero laminado				S1			
Paredes sin refuerzo	URM	Pórtico hormigón armado con paredes estructurales				C2	Pórtico acero laminado con diagonales				S2			
Paredes reforzadas	RM	Pórtico hormigón armado con paredes sin refuerzo				C3	Pórtico acero laminado doblado en frío				S3			
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón	MX	Hormigón armado prefabricado				PC	Pórtico acero laminado con paredes estructurales de hormigón armado				S4			
							Pórtico acero con paredes sin refuerzo				S5			
PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJES FINALES														
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5	
Puntaje básico	4,4	1,8	2,8	1,8	2,5	2,8	1,6	2,4	2,6	3	2	2,8	2	
ALTURA DE LA EDIFICACIÓN														
Baja altura (menor a 4 pisos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	N/A	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	N/A	0,4	0,4	
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	N/A	N/A	0,3	0,6	0,8	0,3	0,4	0,6	0,8	N/A	0,8	0,8	
IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACIÓN														
Irregularidad vertical	-2,5	-1	-1	-1,5	-1,5	-1	-1	-1	-1	-1,5	-1,5	-1	-1	
Irregularidad en planta	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	
CÓDIGO DE LA CONSTRUCCIÓN														
Pre-código (construido antes de 1977) o autoconstrucción	0	-0,2	-1	-1,2	-1,2	-1	-0,2	-0,8	-1	-0,8	-0,8	-0,8	-0,2	
Construido en etapa de transición (entre 1977 y 2001)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Post código moderno (construido a partir de 2001)	1	N/A	2,8	1	1,4	2,4	1,4	1	1,4	1,4	1	1,6	1	
TIPO DE SUELO														
Tipo de suelo C	0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	
Tipo de suelo D	0	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	
Tipo de suelo E	0	-0,8	-0,4	-1,2	-1,2	-0,8	-0,8	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-0,8	
PUNTAJE FINAL (S)														
S<2	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial													
2<S<2,5	Media vulnerabilidad													
S>2,5	Baja vulnerabilidad													

Figura 2

Formulario para la evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica en edificaciones.

Fuente: *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC 2015.*

Se determina el grado de vulnerabilidad de riesgo sísmico de acuerdo al puntaje de cada edificio en la ficha llenada. Tabla 1.

Tabla 1  
Resultados de la evaluación sísmica de 97 edificaciones

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA		
	Frecuencia	(%)
Alta vulnerabilidad	89	91,8
Media vulnerabilidad	2	2

Baja vulnerabilidad	6	6,2
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>100</b>

Fuente: Datos evaluados por los autores, 2018.

Una vez culminada la determinación del grado de vulnerabilidad sísmica, se realiza un análisis estadístico para determinar la correlación de la asimetría en planta, la irregularidad estructural, y la tipología del sistema estructural, en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, usando el programa IBM SPSS Statistics, versión 24.0.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 97 edificaciones evaluadas se observa que el 92% (n=89) presentan una alta vulnerabilidad sísmica en cuanto a configuración estructural, el 2% (n=2) media, y con una vulnerabilidad sísmica baja el 6% (n=6).

En cuanto a la tipología del sistema estructural de los inmuebles evaluados; 81 edificaciones (83,5%) están construidas con sistema apertado de hormigón armado con paredes sin refuerzos; en 14 construcciones (14,4%) se observó que su sistema estructural es de paredes portantes sin refuerzo, y finalmente, 2 edificaciones (2, 1) disponen de sistema mixto de estructuras de acero estructural y hormigón armado.

Se observa en el análisis estadístico que solo 14 edificaciones (14,4%) poseen asimetría en planta, y el resto 83 inmuebles (85,6%) no tienen ese tipo de irregularidad de configuración estructural.

La irregularidad en elevación en los edificios evaluados está presente en 47 (48,8%), y el resto de las construcciones 50 (51,5%) no poseen este tipo de irregularidad de configuración estructural.

En la Tabla 2 se presentan las combinaciones entre las variables de tipología del sistema estructural, asimetría en planta, e irregularidad en elevación distribuidas en función al grado de vulnerabilidad sísmica de las 97 edificaciones evaluadas, donde se puede apreciar que la tipología constructiva de pórtico de hormigón armado con paredes sin refuerzo y la irregularidad en elevación tienen una alta incidencia en la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de la zona.

Tabla 2

Configuración estructural en cuanto a la tipología del sistema estructural, asimetría en planta, e irregularidad en elevación, según vulnerabilidad (n=97).

	Vulnerabilidad Sísmica			<i>p-valor*</i>
	Alta n (%n)	Media n (%n)	Baja n (%n)	
<b>Tipología del Sistema Estructural</b>				<b>0,787</b>
Paredes portantes sin refuerzo	14 (100)	-	-	
Mixta de acero y hormigón armado	2 (100)	-	-	

Pórtico hormigón armado con paredes sin refuerzo	73 (90,1)	2 (2,5)	6 (7,4)
<b>Asimetría Planta</b>			<b>0,479</b>
Sí	14 (100)	-	-
No	75 (90,4)	2 (2,4)	6 (7,2)
<b>Irregularidad Elevación</b>			<b>0,017*</b>
Sí	47 (100)	-	-
No	42 (84,0)	2 (4,0)	6 (12,0)

\* Chi-cuadrado  $p < 0,05$ .

Fuente: Programa IBM SPSS Statistics, versión 24.0. Datos evaluados por los autores, 2018.

Del análisis de evaluación de la zona de estudio, se determina que el 91,8% posee alta vulnerabilidad, en cuanto a configuración estructural, siendo uno de los parámetros que más influye en el colapso de las estructuras ante la incidencia de un sismo de gran intensidad según la GPESRE (2016). Se concluye que se está en presencia de una zona con dos factores muy desfavorables: ALTO RIESGO SÍSMICO y ALTA VULNERABILIDAD EN CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las siguientes conclusiones y recomendaciones rigen principalmente para las edificaciones evaluadas de la zona de estudio aunque se hayan validado con datos y experiencias de otros autores.

1. La Zona 1 de la Comuna Santa Clara de San Millán, ubicada en el sector occidental del Distrito Metropolitano de Quito, posee alta vulnerabilidad sísmica en cuanto a configuración estructural.
2. El 91,8% de las edificaciones evaluadas poseen alta vulnerabilidad en cuanto a configuración estructural.
3. El 2,1% de las edificaciones evaluadas poseen mediana vulnerabilidad en cuanto a configuración estructural.
4. Solo el 6,2% de las edificaciones evaluadas poseen baja vulnerabilidad en cuanto a configuración estructural.
5. La tipología constructiva de pórtico de hormigón armado con paredes sin refuerzo y la irregularidad en elevación tienen una alta incidencia en la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de la Zona 1 de la Comuna Santa Clara de San Millán.
6. De las 97 edificaciones evaluadas se observa que el 48,8% (n=47) presentan una alta vulnerabilidad sísmica en cuanto a configuración estructural debido a la irregularidad vertical.
7. Se recomienda hacer un análisis estadístico del resto de los parámetros que afectan la irregularidad estructural de las edificaciones evaluadas, para determinar cuáles son los más frecuentes y proponer soluciones a las mismas.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los miembros del Cabildo de la Comuna de Santa Clara de San Millán, por el apoyo en los trabajos de campo en la zona en estudio.

## VI. REFERENCIAS

1. Alfaro Castillo, A. J., & Correa Leguizamón, M. (2011). “Necesidad de la revisión de los estudios de amenaza sísmica a raíz del sismo de Tohoku de 2011”. *Tecnura*, 15 (30) (julio-diciembre): 82-92.
2. Andrade, G. (2016). *Las comunas ancestrales de Quito: Retos y desafíos en la planificación urbanística*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador / Corporación Editora Nacional.
3. Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo (2014). Resolución No-SGR-042-2014. junio 15, 25, 2018, de. Recuperado de: < <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/RESOLUCION-No-SGR-042-2014.pdf>>. Recuperado marzo de 2018.
4. <content/themes/Web\_Consejo/doctos/federales/Manual\_Formato\_Captura\_de\_Datos\_2011\_febrero\_CENAPRED.pdf>.
5. Concejo Metropolitano de Quito. (2016). Ordenanza 0147. 1 de diciembre de 2016. <[http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Proyectos%20Ordenanzas/147/Ordenanza%20No.%20147.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Proyectos%20Ordenanzas/147/Ordenanza%20No.%20147.pdf)>. Recuperado en marzo de 2018.
6. Espinosa Cazarín, E. F., Terán Gilmore, A., Zúñiga Cuevas, O., & Perilliat, R. J. (2014). “Consideraciones para el diseño sísmico de edificios altos de mampostería confinada ubicados en zonas sísmicas”. *Ingeniería sísmica*, (90) (enero-junio): 88-109.
7. Fernández, J., Valverde, J., Yepes H. (1995). *Proyecto para el manejo del riesgo sísmico de Quito*. Ecuador: EPN / Municipio del Distrito Metropolitano de Quito / Orstom / OYO Corporation.
8. González Díaz, L. (2006). "Sismos vs patrimonio. La gestión del riesgo como única alternativa". *Ciencia en su PC*, 4 (octubre-diciembre): 1-10
9. González Díaz, L. (2005). “¿Es exitosa la gestión del riesgo sísmico en la rehabilitación estructural en el territorio santiaguero?” *Ciencia en su PC*, 4.
10. Gómez Araujo, I., Chio Cho, G., Maldonado Rondón, E. (2007). “Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. *Ingeniería y Universidad*, 11(2) (julio-diciembre): 149-168.
11. Aragón J., Flores, L., López O., (2011). *Manual del formato de captura de datos para evaluación estructural*. Quito: Sistema Nacional de Protección Civil / Centro Nacional de Prevención de Desastres Sitio web: <<http://consejocentrohistoricopuebla.com/wp->>.
12. Minard, L. (1991). *Los terremotos del Ecuador del 5 de marzo de 1987: Deslizamientos y sus efectos socioeconómicos*. Quito: Corporación Editora Nacional.
13. López, O. A. (2013). “Lineamientos para un programa de reducción del riesgo sísmico en Venezuela”. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 28(3), 29-46.
14. Montilla Moreno, P. J., Castillo Gandica, A. (2012). “Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúca. *Revista Geográfica Venezolana* (julio-diciembre): 277-295.
15. Ramírez de Alba, H., De la Colina Martínez, J. (1999). “Características de los sismos y sus efectos en las construcciones (Segunda de dos partes)”. *Ciencia Ergo Sum*, 6(2): 169-75.
16. Ramírez de Alba, H., Arzate Cruz, S. P., Pichardo Lewenstein, B. (2007). “Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas en zonas urbanas”. *Ingeniería*, 11(1):13-23.

17. Terán Gilmore, A.; Espinosa Cazarín, E. F.; Zúñiga Cuevas, O.; Perilliat, R. J.; (2014). “Consideraciones para el diseño sísmico de edificios altos de mampostería confinada ubicados en zonas sísmicas”. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 90: 88-109.
18. Secretaría de Gestión de Riesgos / Ministerio de Desarrollo Urbano (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015*. Quito: MIDUVI / SGR.
19. Yépez, F., Guerra, M. (2016). *Guía práctica de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC 2015*. Ecuador: Secretaría de Gestión de Riesgos / Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.