

# Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares existentes de una Zona Urbano – Residencial en Anconcito, Ecuador

## Seismic vulnerability of existing single-family homes of an Urban Zone - Residential in Anconcito, Ecuador

María Elena Vargas Saltos<sup>1,\*</sup>, Jorge Arroyo Orozco<sup>1,†</sup> y Adalberto Vizconde Campos<sup>3,‡</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Guayaquil, Ecuador.

melenavargass@ug.edu.ec, jorge.arroyoo@ug.edu.ec, adalberto.vizcondec@ug.edu.ec

**Fecha de recepción:** 31 de mayo de 2018 — **Fecha de aceptación:** 1 de octubre de 2018

**Cómo citar:** Vargas Saltos, M., 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, 3(ICCE)*, 10-15. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp10-16p>

**Resumen**—La falta de planificación es muy evidente en el entorno urbano de nuestro país, lo que ha provocado que los pobladores implanten sus viviendas en lugares no idóneos. Considerando esta variable y la aplicación de los criterios de la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-2015, se determinó que las zonas de nuestro litoral se encuentran en una situación de muy alta peligrosidad sísmica. La población de estudio está definida espacialmente en el contexto de la Zona 3 de Anconcito-Ecuador, donde los pobladores tienen viviendas con más de tres décadas de existencia según las encuestas formuladas in situ y que estructuralmente no están bien definidas, aumentando la situación de vulnerabilidad y peligro. La metodología para determinar la situación actual de las viviendas del sector se realiza mediante el método de inspección visual del FEMA-P154 que representa un índice de vulnerabilidad mediante formularios requeridos para la zona.

**Palabras Clave**—Vulnerabilidad sísmica, evaluación.

**Abstract**—The lack of planning is very evident in the urban environment of our country, which has caused the residents to build their homes in unsuitable places. Considering these variables and the application of the criteria of the Ecuadorian Construction Standard NEC-2015, it is determined that the zones of our Litoral are in a very high risk of seismic hazard. The population of study is focused on Zone 3 of Anconcito - Ecuador, where the inhabitants have houses with more than three decades of useful life and which are structurally not well defined, increasing the situation of vulnerability and danger. The methodology to determine the current situation of housing in the area is carried out by means of the visual inspection method of FEMA-P154, which represents a vulnerability index by means of forms required for the area.

**Keywords**—Seismic Vulnerability, evaluation.

### INTRODUCCIÓN

La zona costera de Ecuador, históricamente, se ha visto afectada por terremotos que han generado pérdidas de vidas humanas y materiales, tales como el terremoto en la Provincia de Esmeraldas de 8.8Mw el 31 de enero de 1906, terremoto en la Provincia del Guayas el 13 de mayo del 1942 de Magnitud 7.9Mw, y el terremoto en la Provincia de Manabí del 16 de abril del 2016 con Magnitud 7.8Mw, estos dos últimos eventos tienen similares características de daños cosísmicos (Chung et al., 2016).

Para el estudio de la amenaza del sector de Anconcito, se toma en cuenta la acción de subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana que es esencialmente ortogonal y se hunde entre 25° y 35°, siendo discontinua a una profundidad de 200Km (Ortiz, 2013). En cuanto a la velocidad de subducción, la más alta registrada por el GPS

es de 46mm/año (Chlieh et al., 2014), en dirección Oeste a Este según se indica en la Figura 1.

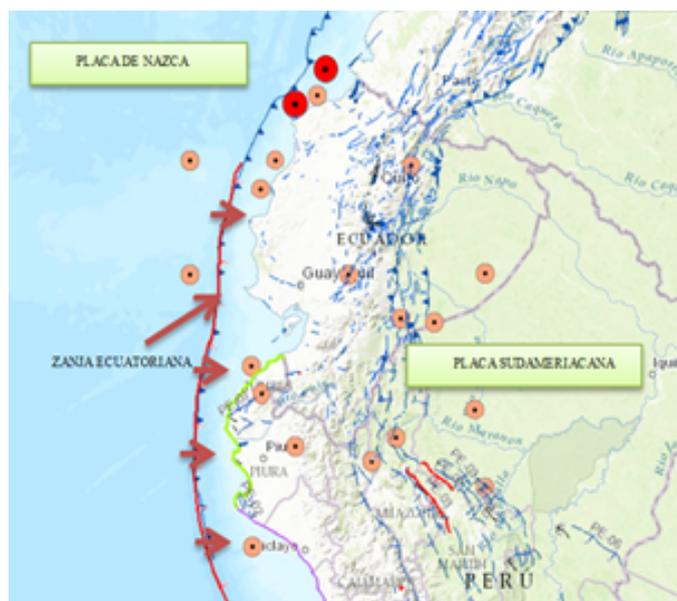
Además, la Provincia de Santa Elena donde se encuentra Anconcito, ha sido objeto de fenómenos tectónicos sobre magnitud 6 en la escala de Richter, por lo que se la considera una zona de alta intensidad sísmica. Según la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15, la cual divide al Ecuador en seis zonas sísmicas, catalogadas por su amenaza, para el caso de Anconcito, asigna a este sector como zona sísmica VI de muy alta amenaza sísmica, con factor sísmico  $Z \geq 0.5g$  (NEC-15, 2015), tal como se muestra en el Figura 2, brindando un panorama general de la situación actual del sector en estudio, su amenaza ante las fuerzas ocasionadas por sismos, donde también existen fallas geológicas activas que generarían sismos.

El conocimiento de la vulnerabilidad sísmica de una localidad es fundamental para todo cálculo de mitigación de riesgos o plan de prevención, y principalmente es importante por cuanto da información para el desarrollo y actualizaciones de normas y códigos de construcción. Mediante la evaluación

\*Magíster en Tecnologías de Edificación

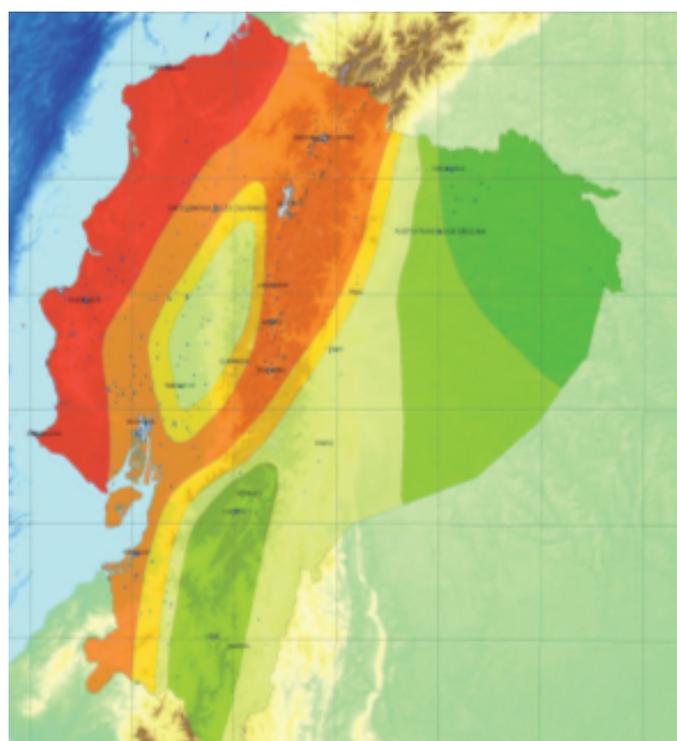
†Magíster en Auditoría de Gestión de la Calidad

‡Magíster en Tecnologías de Edificación



**Figura 1.** Dirección de subducción entre Placa de Nazca y Sudamérica, Modificado de Mapa interactivo de sismicidad de Ecuador-Perú.

**Fuente:** IG-EPN (2016).



**Figura 2.** Mapa de amenaza sísmica según NEC-15, donde se marca la zona de estudio.

**Fuente:** NEC-15 (2015)

de la vulnerabilidad sísmica y la amenaza del sector, se podrá determinar los daños esperados en estructuras en el supuesto de que ocurra un terremoto de una cierta severidad. Por lo cual se realiza el estudio de vulnerabilidad sísmica en la Parroquia Anconcito de la Provincia de Santa Elena,

que se desarrolla por medio de la metodología FEMA P-154, dando así información de la situación actual de las viviendas unifamiliares de la zona, tomando en cuenta que la vulnerabilidad de las estructuras es el único campo que el ser humano puede modificar para mitigar los riesgos.

Las zonas propensas a aumentar su índice de vulnerabilidad tienen su origen, entre otros, en el crecimiento acelerado y desordenado de las poblaciones, la ocupación de terrenos sin conocer las características de los tipos de suelos, la ausencia de instrumentos de planificación territorial y la falta de conocimiento (especialmente en el medio rural) sobre las probables amenazas y sus efectos potenciales; todo esto, hace que se haya incrementado la vulnerabilidad y por ende el riesgo ante desastres naturales (Cardona, 2008).

Con el afán de conocer el riesgo en que se encuentran las edificaciones de viviendas populares en nuestra zona costera, los autores de la presente investigación recorrieron aquellas poblaciones, seleccionando la Zona 3 del Centro-Sur de la Parroquia Anconcito, Santa Elena, según el Plan de ordenamiento territorial del cantón Salinas (GAD-Salinas, 2014).

### METODOLOGÍA

Se comenzó por identificar una zona vulnerable en el perfil costanero del Ecuador, hallando la parroquia Anconcito tal como se observa en la Figura 3, localizado al suroeste de la provincia de Santa Elena, el cual es afectado por fenómenos geológicos inducidos por la dinámica costera de la zona de estudio: 1.- socavamiento de los acantilados causado por la dinámica de la erosión marina y posterior derrumbe de estratos rocosos, y 2.- deslizamientos de estratos rocosos a través de planos de fallas geológicas de tipo normal con componentes de desplazamientos laterales (Chunga et al., 2016).

En el lugar se identifica que las viviendas tienen similares características estructurales a las edificaciones que han colapsado ante los sismos dentro de nuestra región tal como en el sismo del 16 de abril del 2018, en el que los fallos estructurales de viviendas han sido usualmente por entrepiso suave, tal como se observa en la Figura 4, asimismo se observan en el sitio viviendas que tienen elementos constructivos de distintos materiales y en la mayoría de los casos existen divisiones de ambientes y fachadas construidos en madera o caña, que durante un sismo pueden ocasionar lesiones a los habitantes de las viviendas tal como se puede observar en la Figura 5 que muestra el colapso de una vivienda en Jama, Ecuador en el sismo del 16 de abril del 2018.

Se recorrieron distintos lugares de la población de Anconcito, como el sector asentado sobre una ladera que mira al mar, donde se observaron viviendas con similares características a las viviendas colapsadas en el sismo del 16 de abril del 2016, Muisne - Ecuador, en las cuales se observaron viviendas de estructura de hormigón, de madera, estructuras mixtas, albañilería sin confinar, viviendas de caña, y con niveles desde 1 a 4 pisos, tal como se observa en la Figura 6.

Para el desarrollo de la recopilación de información se toman en cuenta los pasos a seguir en la figura 7.



**Figura 3.** Población de estudio.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 4.** Población de estudio.  
**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 5.** Colapso de mampostería (fuera de plano) en Jama, Ecuador, en el evento sísmico de Muisne del 16 de abril del 2016.  
**Fuente:** Rojas (2016).



**Figura 6.** Viviendas de Anconito donde se puede apreciar las fallas que se pueden ocasionar en caso de un sismo, figura-izquierda: colapso de mampostería, figura derecha: entrespico suave y colapso de mampostería.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se clasifica las distintas viviendas de la Zona 3 de Anconito de acuerdo a los sistemas estructurales propuestos tal como se observa en la Tabla 1 por el Manual FEMA P-154. Se utiliza los medios de evaluación con la inspección visual de las estructuras de las viviendas para obtener el índice de Vulnerabilidad S del Formulario de muy alta sismicidad tal como se observa en la Figura 8, que permite valorar la vulnerabilidad de cada edificio existente. Se estudia las distintas tipologías estructurales de Anconito, y su cumplimiento de las Normas de Construcción vigentes.



**Figura 7.** Pasos a seguir para la recopilación de información para obtener el índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas en estudio.

**Fuente:** Elaboración propia.

El Método FEMA P-154 puede clasificar los edificios inspeccionados en dos categorías: los que tienen una resistencia sísmica aceptable y los que pueden ser sísmicamente peligrosos. Para ello se califica cada uno de los parámetros del edificio a consideración de los criterios sísmicos actuales, lo que genera un índice de probabilidad de que la edificación colapse. “S” se refiere a un valor para cada sistema estructural, si el puntaje obtenido es menor al  $S_{min}$ , entonces la estructura es vulnerable y necesita el nivel 2 de evaluación de esa metodología, debiendo ser estudiados con mayor detalle por un profesional en diseño estructural.

**Inspección Visual Rápida de edificios con amenazas sísmica potenciales**

**Nivel 1 /Muy alta sismicidad**

**Fotografía**



**Dirección:** Anconito, Sector 6, Manzana 2, V 34

**Zip:** \_\_\_\_\_

**Otras identificaciones:** Vivienda de 2 plantas con bloque Mstoy y blanco

**Nombre del edificio:** S/N

**Uso:** Vivienda

**Latitud:** 2° 19' 42,00" S      **Longitud:** 80° 53' 27,56" O

**Inspector:** María Elena Vargas Salto      **Fecha/hora:** 10/01/15h45

**No. de pisos:** Sup: 2 Inf: 0      **Año construcción:** 1984

**Área total de piso (m2):** 98,28m<sup>2</sup>      **Año de código:** \_\_\_\_\_

**Ampliación:**  No  Si, año construcción: 2013

**Ocupación:** Asamblea  Comercial  Servicios Em.  Histórico  
 Industria  oficina  Escuela  Albergue  
 Herramientas  almacén  residencial No.  Gubernamental

**Unidades:** 1

**Tipo de suelo:**  A  B  C  D  E  F      No se conoce. Síno se conoce su tipo D

**Comentarios:**  
S=5min ; S=0,3

**Resultado base, modificadores y resultado final del nivel 1 de análisis, SL1**

	W1	W1A	W2	S1	S2	S3	S4	S5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
	(MRF)	(BR)	(MRF)	(BR)	(LM)	(RC)	(URM)	(MRF)	(SW)	(NF)	(NF)	(TU)	(FD)	(RD)			
<b>Tipo de edificación</b> DNK	2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
<b>RESULTADO BASE</b>	2,1	1,9	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,0	1,2	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,1
Irregularidad vertical severa	-0,9	-0,9	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,5	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	NA
Irregularidad vertical moderada	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,5	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Planta irregular	-0,7	-0,7	-0,6	-0,5	-0,5	-0,6	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	NA
Pre-código sísmico	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,2	-0,5	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0
Post-código sísmico	1,9	1,9	2,0	1,0	1,1	1,1	1,5	NA	1,4	1,7	NA	1,5	1,7	1,6	1,6	NA	0,5
Suelo tipo A o B	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,1	0,1
Suelo tipo E (1-3 pisos)	0,0	-0,2	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	-0,1
Suelo tipo E (> 3 pisos)	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2	NA	-0,3	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	NA	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	NA
<b>Resultado mínimo, S min</b>	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,0

**0,3**

**Extensión de la revisión**

**Exterior:**  Parcial  todos los lados  Aireo

**Interior:**  No  Visible  Ingresó

**Revisión planos:**  Sí  No

**Fuente del tipo de suelo:** \_\_\_\_\_

**Fuente de peligros geológicos:** \_\_\_\_\_

**Contacto de la persona:** \_\_\_\_\_

**¿Se requiere de una inspección de Nivel 2?**

SI

**Otros peligros:** ¿Hay peligros que desencadenan una evaluación estructural detallada?

Posible golpeo entre edificios

Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos

Peligro geológico o Suelo tipo F

Daños significativos/deterioro del sistema estructural

**Acción requerida estructural más detallada?**

Sí, se desconoce el tipo de edificio según

Sí, resultado menor que el límite

Sí, otros peligros presentes

No

**¿Se requiere una evaluación detallada de elementos estructurales?**

Sí, hay peligro de caída de elementos no

No, existe amenaza de elementos no estructurales y deben ser mitigados, pero la evaluación detallada no es necesaria.

No, no existe peligro de elementos no estructurales

No se sabe

Cuando la información no se puede verificar, el inspector debe señalar lo siguiente: EBT= Datos estimados o imprecisos, o DNK= No se conoce

**Leyenda:**

MRF= Pórtico Resistente al momento	RC= Concreto Reforzado	URM INF= Mampostería de relleno no retrazado
BR= Estructura de acero en costado	SM= Muro de corte	TU= Estructura prefabricada en suelo y levantada con equipo
MH= Vivienda Prefabricada	LM= Muro liviano	FD= Degrade Flexible
		RD= Degrade rígido

**Figura 8.** Formulario, FEMA P-154 – nivel 1, de muy alta sismicidad.

**Fuente:** Mahoney (2015)

**RESULTADOS**

Para el conocimiento del riesgo sísmico del sector en estudio se toman los resultados de las evaluaciones realizadas a 40 viviendas de la Zona 3 de Antoncito, que reflejan que las edificaciones en mayor porcentaje son usadas sólo como viviendas y un 28% para uso vivienda y comercio. Más de la mitad de las familias poseen viviendas de dos plantas y un 30% de una planta. En su mayoría, las unidades de viviendas tienen como área total de piso menos de 100m<sup>2</sup>,

el 70% ha realizado un aumento después de su construcción y el 100% ha sido construido antes de la vigencia de la actual norma de construcción NEC-2015, lo que determina que dichas edificaciones no hayan sido construidas bajo criterios estructurales actualizados. Por su tipo de suelo, la Zona 3 de Anconito se encuentra en un área de suelo tipo E, es decir suelo blando, según la NEC-15, lo que expone un mayor peligro a las edificaciones.

Tal como se observa en la Tabla 1 En los tipos de edificación, el 40% está predominada por la estructura de pórtico de

Tabla 1: Tipos de viviendas observadas en la Zona 3 De Anconcito

Especificación
W1: Pórtico de madera ligera, para vivienda unifamiliar o multifamiliar de uno o más pisos de altura.
W1A: Pórtico de madera ligera, para residencia de varias unidades, de varios pisos con área de cada planta de 3000 <i>pies</i> <sup>2</sup> (278, 71m <sup>2</sup> )
C1: Pórtico de concreto resistente al momento
C3: Pórtico de hormigón con albañilería no reforzada
RM1: Mampostería reforzada con piso rígido y techo de estructura metálica o madera con paneles de zinc o paja
RM2: Mampostería reforzada con piso y techo rígido
W1 y URM: Pórtico de madera ligera, para vivienda unifamiliar o multifamiliar de uno o más pisos de altura con mampostería no reforzada
W1 y RM1: Pórtico de madera ligera, para vivienda unifamiliar o multifamiliar de uno o más pisos de altura con mampostería reforzada con piso rígido y techo de estructura metálica o madera con paneles de zinc o paja
C1 y C3: Pórtico de concreto resistente al momento con albañilería no reforzada
C3 y RM1: Pórtico de hormigón con albañilería no reforzada con mampostería reforzada con piso rígido y techo de estructura metálica o madera con paneles de zinc o paja
S3 y C3: Pórtico de acero liviano y de hormigón con albañilería no reforzada
URM: Mampostería no reforzada

Fuente: Mahoney (2015).

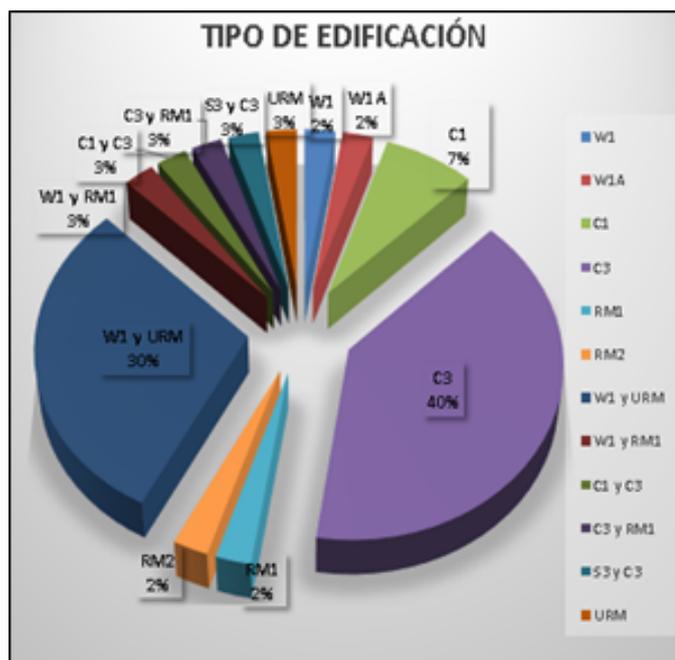


Figura 9. Tipos de viviendas y los porcentajes obtenidos

Fuente: Elaboración propia.

hormigón con albañilería no reforzada y el 30% con una combinación de pórtico de madera ligera para vivienda unifamiliar o multifamiliar de uno o más pisos y de albañilería no reforzada, mientras que el restante del porcentaje llevan en menor cantidad los otros tipos de edificaciones con estructuras de madera, hormigón, metálica y sus distintas combinaciones, por lo que al encontrarse en una zona de alto nivel de salinidad

en el ambiente se plantea la utilización de estructura de hormigón armado, tratando de evitar la corrosión del acero. El 83% de edificaciones pueden someterse al posible golpeteo entre edificios, ya que en su mayoría son viviendas adosadas por los linderos laterales. El 2% puede sufrir riesgo de caída de edificios adyacentes, debido a que se han construido en un mismo nivel de piso o no hay construcciones más altas a sus lados.

El 75% de las viviendas presentan algún daño significativo o deterioro en su sistema estructural. El índice de valor "S" en la totalidad de las viviendas han sido menor a 2, es decir el 100% de las casas evaluadas tienen una probabilidad de colapso de 1/10, son vulnerables y necesitarían de una evaluación más detallada.

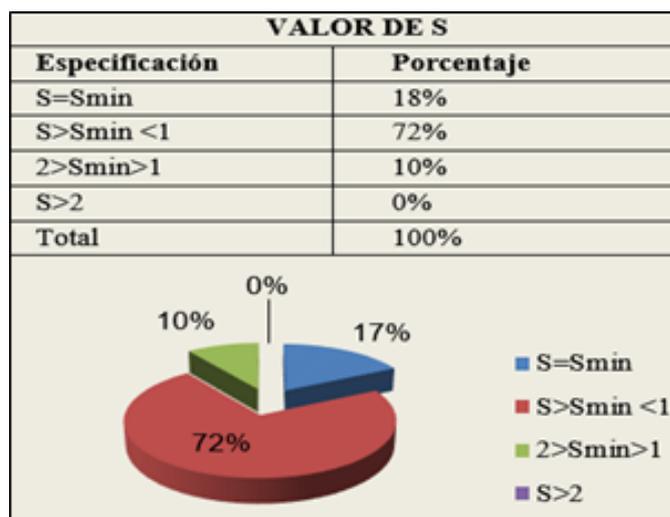


Figura 10. Valor S de las viviendas analizadas

Fuente: Elaboración propia.

### CONCLUSIONES

Considerando la información de los parámetros de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de la Zona 3 de Anconcito, mediante el método FEMA P-154, y tomando en cuenta los criterios de diseño y estructura de la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-2015, se concluye que el estado actual de las viviendas del sector en estudio, no satisface con los índices de seguridad estructural ante un sismo de magnitud mayor a 8 en la Escala de Richter, motivo por el cual se buscan soluciones a nivel social y constructivo mediante la propuesta de un diseño de vivienda unifamiliar con características sismorresistentes.

Para evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de las viviendas de Anconcito se utilizó el Formulario de Nivel 1 de Muy alta Sismicidad del método FEMA-P154, con el cual se determinó que las viviendas de Anconcito están con un Valor S de vulnerabilidad menor a 2 y necesitan ser estudiadas a mayor escala, es decir a un Nivel 2, con lo cual se ratifica lo observado en las visitas a campo, en las cuales se señalaba que la mayoría de las viviendas tenían daño en sus elementos estructurales y no estructurales, poniendo en riesgo las vidas

de los habitantes de dichos edificios.

En cuanto al tipo de vivienda de la Zona 3 de Anconcito, se concluye que son viviendas unifamiliares, para familias de un nivel económico bajo y medio bajo, que han sido construidas con un sistema constructivo artesanal de hormigón, de madera y mixto, es decir del tipo C y W según el formulario FEMA P-154, sin supervisión técnica y sin considerar los criterios y parámetros de las NEC-2015, ya que fueron construidas antes de su año de vigencia.

### RECOMENDACIONES

De la experiencia obtenida en la realización del presente trabajo se ha observado que la causa de los daños importantes en los edificios, en especial las viviendas, de sectores del Litoral Ecuatoriano, han sido por consecuencia de sus construcciones con deficientes o inexistentes estudios de suelo, el improvisado diseño de los jefes de familia que construyen con sus limitados recursos y en la mayoría de veces no pueden invertir en especialistas que gestionen la obra, provocando deficiencia en el sistema constructivo y supervisión técnica, además del hecho de no poder evitar o pronosticar eventos sísmicos de alta magnitud, por lo que se recomienda tomar las medidas pertinentes para evitar al máximo las pérdidas de vidas humanas y minimizar los daños materiales provocados por terremotos, a nivel profesional y a nivel social.

A nivel profesional porque debemos tomar consciencia que hay vidas expuestas de las personas que habitan las viviendas que construimos, y para ello se debe tomar en consideración para los diseños, los criterios de las Normas Ecuatorianas de Construcción, cumplir con las ordenanzas Municipales, realizar análisis del tipo de suelo donde se implantará el proyecto e informarse de los sistemas constructivos idóneos para la construcción a realizar. Y a nivel social, en cuanto se debe informar a la población de los riesgos que representa la construcción informal, y de las acciones a seguir antes, durante y luego de un evento sísmico, ya que la mayoría de habitantes de sectores como Anconcito, lo único que requieren es una vivienda que se acomode a sus necesidades y recursos, que les brinde confort y seguridad.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardona, O. D. (2008). Mitigación de desastres sísmicos en las instalaciones de salud. Bogotá: Heid.
- Chlieh, M., Mothes, P., Nocquet, J.-M., Jarrin, P., Charvis, P., Cisneros, D., Font, Y., Collot, J.-Y., Villegas-Lanza, J.-C., Rolandone, F., et al. (2014). Distribution of discrete seismic asperities and aseismic slip along the Ecuadorian megathrust. *Earth and Planetary Science Letters*, 400:292–301.
- Chunga, K., Quiñonez, M., Huaman, F., Besenzon, D., Mulas, M., Garcés, D., Larreta, E., Michetti, A., and Gorshkov, A. (2016). *Geología de Terremotos y Tsunami*. Quito, Ecuador: Sección Nacional del Ecuador del Instituto Panamericano de Geografía en Historia.
- GAD-Salinas (2014). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón salinas.

IG-EPN (2016). Sismos. Instituto de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional.

Ortiz, O. C. (2013). Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador. Master's thesis, Madrid/Facultad: Ciencias Geológicas-Universidad Complutense de Madrid/2013.