

Microzonificación sísmica en la parte Norte del Distrito VI de la ciudad de Managua.

Seismic microzoning in the northern part of District VI of the city of Managua.

Castrillo Osorio, Edwin Nadir¹ ✉; González Candray, Weslin¹

¹IGG-CIGEO/UNAN-Managua.

Recibido: 09/08/2019
Aceptado: 25/02/2021

© 2021-Revista Tierra (Earth Journal) IGG-CIGEO



Este trabajo está licenciado bajo una [Licencia Internacional Creative Commons 4.0 Atribución-NonComercial-CompartirIgual](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen

La investigación propone una microzonificación sísmica en la parte norte del distrito VI de la ciudad de Managua a partir de 44 registros de microtemores. Se determinó la frecuencia natural del suelo mediante la aplicación de la técnica del cociente espectral H/V Nakamura (1989), teniendo como resultado el mapa de microzonificación sísmica con base en los periodos predominantes de vibración del suelo. En esta microzonificación por periodos, se definieron tres zonas con modos vibración del suelo similares, como sigue: Zona 1, vibra en el rango de periodos de 0.034s a 0.160 s; Zona 2, los suelos vibran en el rango de periodos de 0.161 s a 0.333 s y Zona 3 en esta zona los periodos del suelo se encuentran en el rango 0.334 s a 0.708 s.

Adicional a los registros de microtemores se realizaron 9 perfiles de prospección sísmica para, posteriormente, estimar velocidades de ondas S, utilizando el método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) desarrollado por Park y otros (1999). De este análisis se obtuvo como resultado un mapa de microzonificación sísmica con base en las velocidades de ondas de corte, donde se definieron dos zonas con características dinámicas similares con base en el parámetro V_{s30} del sitio en estudio, estas zonas se definieron como sigue: Zona 1, presenta velocidades de ondas S en el rango de 209.50 m/s a 360 m/s; Zona 2, presenta velocidades de ondas S en el rango de 361 m/s a 471.60 m/s. Los rangos de velocidad para definir estas zonas fueron determinados con base en el reglamento RNC-07 Y NEHRP-2003 (FEMA 450).

Palabras clave: Microzonificación sísmica, Vibración ambiental, HV, MASW, Espectro de diseño

Abstract

This research proposes a seismic microzonation in the northern part of district VI of Managua city from 44 microtemors records. The natural frequency of the ground was determined through the spectral quotient technique H/V (Nakamura 1989), as result a seismic microzonation map was obtained based on the predominant periods of vibration of the ground. In the microzonation based on periods, three zones with similar modes of vibrations of the ground were defined as follows: Zone 1, it vibrates in the range of periods from 0.034 s to 0.160 s; Zone 2, the soils here vibrates in the range of periods from 0.161 to 0.333 s and Zone 3 in this zone the periods of the ground are in the range from 0.334 s to 0.708 s.

Besides the microtemors measurements 9 seismic prospection profiles were collected in order to later estimate S waves, by using the multichannel analysis of surface waves (MASW) developed by Park et al (1999). It was obtained as result of this analysis a seismic microzonation map based on shear waves velocity, where two zones of similar dynamic characteristics were defined based on the V_{s30} parameter of the study area. These zones were defined as follows: Zone 1, it shows S waves velocities in the range from 209.5 m/s to 360 m/s; Zone 2, it shows S waves velocities in the range from 361 m/s to 471.60 m/s. The ranges used to defined these zones were taken from the national building code RNC-07 and the NEHRP 2003 (FEMA 450).

Keywords: seismic microzonation, microtemors, HV, MASW, design spectrum.

1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se propone una microzonificación sísmica con base en dos parámetros, primeramente, una basada en periodos fundamentales del suelo y la otra está basada en velocidades de ondas de corte (V_{s30}); un aspecto importante de este estudio es que se comparan las respuestas sísmicas de sitio en lugares seleccionados del área de estudio con el espectro de diseño RNC-07.

Los resultados de este estudio son fundamentales para la planificación y diseño de estructuras sismorresistentes en la parte norte del distrito VI de la ciudad de Managua, así como un correcto uso de los terrenos de acuerdo a la respuesta sísmica que presente cada lugar del área.

Este estudio es parte de un objetivo más regional enfocado en la microzonificación sísmica de las ciudades del Pacífico de Nicaragua que el primer autor como parte del IGG, lleva desarrollando desde el año 2010.

2. MÉTODOS

En este proyecto se implementaron métodos sísmicos, los cuales consistieron en mediciones de ondas superficiales y métodos numéricos, estos nos brindaron la información dinámica de los suelos.

A continuación, se mencionan brevemente los métodos aplicados en este estudio.

2.1 Razón espectral H/V

Según Lermo y Chávez (1993) el método de Nakamura o razón espectral H/V consiste en relacionar los espectros de Fourier de las compo-

nentes horizontales N-S y E-W con la componente vertical del registro de microtemores registrados en la superficie (de allí el nombre H/V). Los microtemores, o ruido ambiental son vibraciones naturales que se producen en el suelo y que no corresponden necesariamente a una acción sísmica (Omori, 1909), sino que son generados por el tránsito vehicular, el viento que hace oscilar los árboles y edificios y por la operación en fábricas.

El análisis de microtemores, utilizando la técnica H/V, permite realizar estudios geotécnicos, de efecto de sitio y estimación de modelos de velocidades (Yauri y Sheila, 2006).

2.2 Análisis multicanal de ondas superficiales MASW.

El método de análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) es un método sísmico no destructivo y usado eficazmente para evaluar la velocidad de ondas de corte (V_{s30}) de sitios que se requiere zonificar sísmicamente. Este método analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park y otros, 1999).

2.3 Método Lineal equivalente

Según Astroza y otros (2017) el análisis de la respuesta del sitio mediante el método lineal equivalente es uno de los estudios de suma importancia para la definición del peligro sísmico y la distribución de los daños ocasionados durante un evento telúrico.

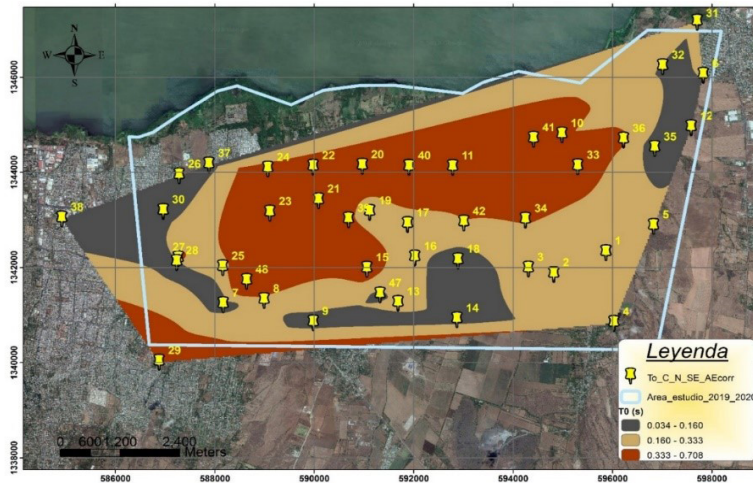


Figura 1. (Mapa de microzonificación sísmica basado en periodos fundamentales. Los puntos amarillos representan la ubicación aproximada de sitios de medición de vibración ambiental.

3. RESULTADOS

3.1 Microzonificación sísmica basada en periodos fundamentales

Con base en las funciones de transferencia empírica (FTE) y en comparaciones con la carta geotécnica de Managua y el mapa geológico Managua, se propone una microzonificación que tiene tres rangos de periodos: La Zona 1 presenta valores de periodos entre 0.034 a 0.0160 s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo rígido debido a que los periodos son cortos.

La Zona 2 presenta valores de periodos entre 0.0161 a 0.333 s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo duro debido a que los periodos son medios.

La Zona 3 presenta valores de periodos entre 0.334 a 0.708 s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo medio y blando debido a que son periodos largos.

Las características dinámicas de los suelos en la Zona 1 podrían afectar edificaciones menores a dos plantas, así como estructuras con periodos

de vibración muy cortos. En las Zonas 2 y 3 podrían verse afectadas estructuras mayores a 2 niveles debido a que en estas zonas los suelos tienen periodos medios lo cual corresponde a suelos blandos.

3.2 Microzonificación sísmica basada en velocidades de ondas de corte

En el caso de la microzonificación basada en velocidades de ondas de corte se tomó como referencia el reglamento nacional de la construcción de Nicaragua, con lo cual obtuvimos dos microzonas que se describen a continuación:

La Zona 1 presenta valores de velocidades de ondas de corte entre 209.50 a 360 m/s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo tipo III, el cual corresponde a suelo moderadamente blando.

La Zona 2 presenta valores de velocidades de ondas de corte entre 361 a 750 m/s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo tipo II el cual corresponde a un suelo firme y denso.

Es importante mencionar que el mapa de microzonificación basado en

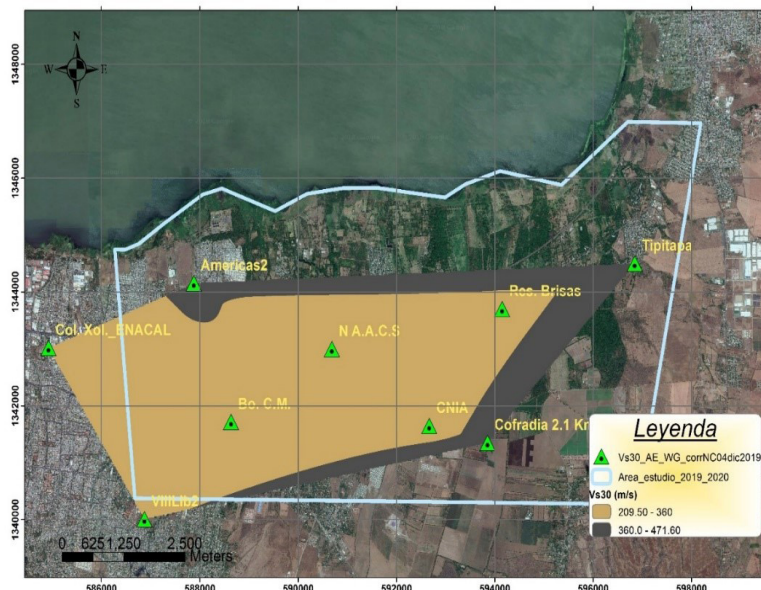


Figura 2. Mapa de microzonificación sísmica basado en velocidades de ondas de corte Vs30 propuestos. Los puntos en verde representan las ubicaciones aproximadas de los sitios de medición.

Tabla 1. Características de los terremotos utilizados para el análisis de respuesta de sitio (PEER).

Terremoto	Año	Nombre de la estación	M	Mecanismo	Vs30(m/s)	Componente
Managua	1972	ESSO	6.2	Lateral	Horizontal
Mateare	2014	6.1	Transversal	Horizontal
Parkfield	1966	Cholame-Shandon Array#12	6.19	Lateral	408.93	Horizontal
Livermore-01	1980	San Ramon Fire Station	5.8	Lateral	384.47	Horizontal
Chalfant Valley-01	1986	Benton	5.77	Lateral	370.94	Horizontal
Chalfant Valley-01	1986	Bishop - Paradise Lodge	5.77	Lateral	585.12	Horizontal
Chalfant Valley-01	1986	Lake Crowley - Shehom Rres	5.77	Lateral	456.83	Horizontal
Chalfant Valley-02	1986	Benton	6.19	Lateral	370.94	Horizontal
Parkfield -02_CA	2004	Coalinga - Priestvalle	6	Lateral	412.79	Horizontal
Joshua Tree_CA	1992	Morongo Valley Fire Station	6.1	Lateral	396.41	Horizontal

periodos fundamentales tiene una zona más respecto al mapa de microzonificación de velocidades ondas de corte, debido a que la densidad de los registros es mayor en el primero; sin embargo, es notoria la similitud de los resultados de ambos mapas.

3.3 Espectro de diseño

Basados en el análisis de respuesta sísmica de sitio, se determinaron espectros elásticos de respuesta, los cuales fueron comparados con el espectro de diseño sugerido por el RNC-07.

A continuación, se muestran las características de los terremotos utilizados en este análisis.

Se determinaron las respuestas sísmicas para cada uno de los sitios explorados con prospección sísmica, a continuación, se detallan los parámetros encontrados para cada sitio.

Respuesta sísmica en Las Américas 2: se puede observar que la demanda sísmica en este sitio es superior al espectro de diseño, pues dos de estos eventos superan al espectro de diseño del RNC-07. La demanda sísmica alcanza una pseudo aceleración máxima de 2.0 g aproximadamente en un periodo de vibración de alrededor de 1.05 s.

Respuesta sísmica en Bo. C.M.: en este sitio, la demanda sísmica del sitio es superior al espectro de diseño, pues dos de los eventos superan al espectro de diseño del RNC-07. La demanda sísmica alcanza una pseudo aceleración máxima de 1.6 g aproximadamente en un periodo de vibración de alrededor de 1.05 s.

Respuesta sísmica en VIIIILIB2: en este sector se puede observar que

dos de los eventos históricos superan al espectro de diseño del RNC-07, siendo la máxima pseudo aceleración de 2.8 g y se encuentra aproximadamente en 1.0 s.

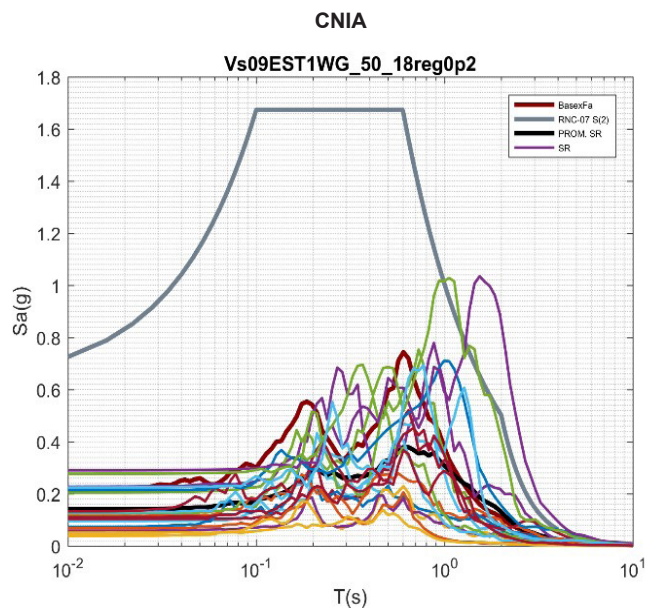
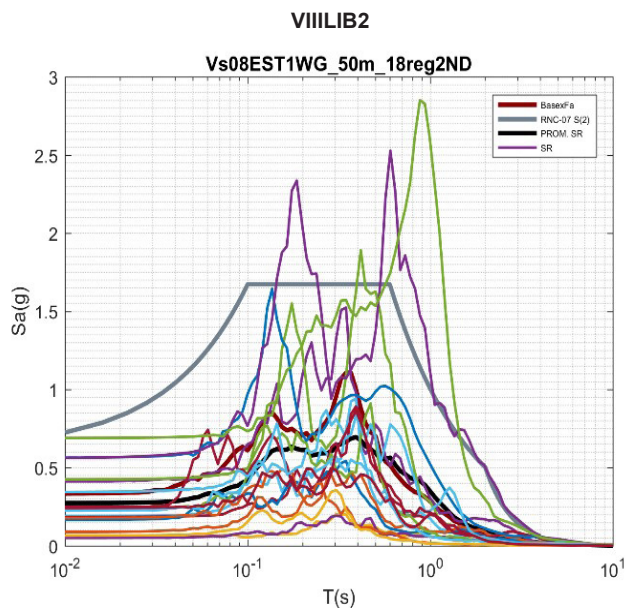
Respuesta sísmica en CNIA: Para el caso del sector detrás del aeropuerto, se puede observar que dos de estos eventos sísmicos históricos superan al espectro de diseño del RNC-07, llegando a alcanzar una pseudo aceleración máxima de 1.04 g aproximadamente en un periodo de vibración alrededor de 1.16 s.

Respuesta sísmica en Res. Brisas: en este sitio se puede observar que dos de estos eventos sísmicos históricos superan al espectro de diseño del RNC-07, la demanda sísmica máxima alcanza una pseudo aceleración de 1.18 g y ocurre aproximadamente en un periodo de vibración alrededor de 1.0 s.

Respuesta sísmica en sitio Cofradía 2.1 km NW: se puede observar que dos de estos eventos sísmicos superan al espectro de diseño del RNC-07. En este sitio, la pseudo aceleración máxima es de 1.68 g, y ocurre aproximadamente en un periodo de vibración alrededor de 1.04 s.

Respuesta sísmica en N.A.A.C.S.: se puede observar que dos de estos eventos sísmicos históricos superan al espectro de diseño del RNC-07 las cuales son las líneas de color morado y verde, esta última posee una pseudo aceleración máxima de 1.68 g aproximadamente a un periodo de vibración alrededor de 1.57 s.

Respuesta sísmica en Col. Xol. ENACAL: en este sitio se puede observar que dos de los eventos históricos superan al espectro de diseño del RNC-07. La pseudo aceleración máxima en este sitio es de 1.45 g, y ocurre aproximadamente en un periodo de vibración alrededor de 1.03 s.



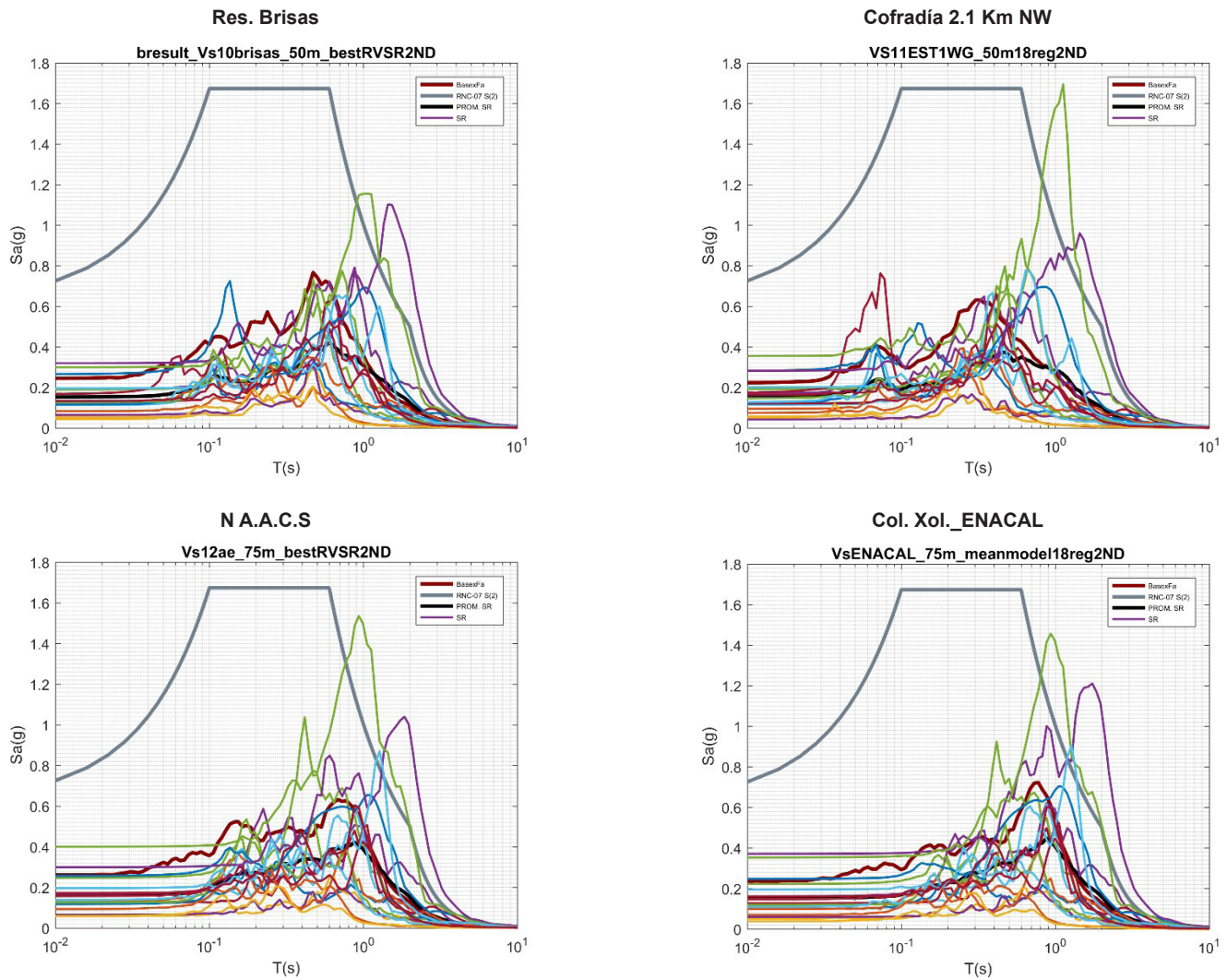


Figura 3. Comparación del espectro de respuesta sísmica de sitio con el espectro de diseño (Res Brisa, Cofradía 2.1Km NW, N.A.A.C.S, Col. Xol. ENACAL) vs espectro de diseño RNC-07.

4. DISCUSIÓN

Los estudios de prospección sísmica en Managua han sido muy escasos hasta la fecha, encontramos que el primero de estos fue el realizado por Faccioli (1973) luego del terremoto de Managua de 1972, donde determinó en 4 sitios de Managua perfiles geotécnicos hasta profundidades de 15 m, e. De acuerdo con Faccioli, en general los suelos de Managua alcanzan una rigidez competente para ingeniería alrededor de 15 m, es decir, velocidades de ondas S de 360 m/s en adelante.

Posteriormente al estudio de Faccioli se han realizado pocos estudios, siendo dos de ellos el realizado por INETER (2000) respecto a Microzonificación sísmica enfocada en zonificación por método de vibración ambiental, en este estudio se encontró que los suelos de Managua vibran con periodos cortos alrededor de 0.1 s.

Luego Hernández (2010) realizó un estudio basado en vibración ambiental con el fin de determinar el modo fundamental de vibrar de los suelos de Managua, a partir de este estudio él propuso una zonificación basada en el periodo fundamental de los suelos.

En el presente estudio en la zona del aeropuerto hemos encontrado que en general la información determinada con nuestros resultados coincide con los estudios antes mencionados. Sin embargo, el nivel de detalle de las mediciones realizadas en este estudio aporta mayor claridad a posibles zonas de transición, así como de microzonas que los estudios anteriores no habían develado (ver Figura 1 y Figura 2). Tales microzonas "nuevas" presentan suelos con propiedades dinámicas diferentes y no estaban definidas con tanta precisión en los estudios anteriores. Por

ejemplo, Hernández (2010) clasificó toda la zona de nuestro estudio como afloramiento rocoso; sin embargo, hemos encontrado que el afloramiento rocoso en esta zona se encuentra en los alrededores, esto es un claro aporte de este estudio como se mencionó antes dado su alto nivel de resolución. Lo antes mencionado tiene implicaciones muy importantes, porque por ejemplo si un diseñador estructural utiliza los datos con poca resolución de los estudios anteriores, puede diseñar su edificio con la demanda sísmica más baja asumiendo afloramiento rocoso toda la zona del aeropuerto, lo cual como vemos de los resultados de este estudio, no es del todo cierto, pues existen en la parte central del área suelos blandos, que en la práctica son los que presentan las demandas sísmicas más altas al momento de eventos sísmicos.

Además, se determinó en este estudio que la zona del aeropuerto está definida por tres tipos de suelos con propiedades dinámicas diferentes, que varían sus modos de vibrar desde 0.034 s hasta 0.71 s. En los alrededores, por ejemplo, en Tipitapa, al Este de Cofradía y en Villa Libertad (ver Figura 2) encontramos suelos con rigideces altas, mientras que al centro del área de estudio nos encontramos con suelos de menor rigidez. Esto coincide bastante bien con el mapa geológico realizado en el estudio para mitigación de georriesgos desarrollado por INETER-BGR (2012).

Sumado a los resultados antes mencionados, un aporte muy importante en este estudio fue el de comparar la respuesta sísmica de sitio con el espectro de diseño recomendado por el reglamento Nicaragüense de construcción, donde nos encontramos con un hecho que ya ha venido siendo visto en estudios anteriores (e.g., Castrillo et al. 2018), nos

encontramos que, para los distintos sitios donde se calculó el espectro de diseño, este no cubre de forma consistente la demanda sísmica. Por ejemplo en el sitio "VillLib2" la respuesta sísmica sobrepasa en varios periodos de vibración al espectro de diseño, mientras que en sitios como en "Cofradía 2.1 Km NW", "N.A.A.C.S" y "Col. Xol. ENACAL", la respuesta sísmica sobrepasa el espectro de diseño en el valor alrededor de 1 s. Con lo antes discutido queda claro que el presente estudio trae aportes muy importantes para la ingeniería sísmica nicaragüense con miras a la prevención de desastres causados por terremotos, por lo que se debería tomar en cuenta para futuros códigos de construcción y normativas sismo resistentes.

5. CONCLUSIONES

A partir de los análisis e interpretación de los resultados del presente documento de investigación, cuyo objetivo primordial es proponer la microzonificación sísmica en la parte norte del Distrito VI de la ciudad de Managua, se muestran a continuación los principales hallazgos:

Primeramente, se propone una microzonificación con base en periodos de vibración del suelo, como sigue:

La **Zona 1** presenta valores de periodos entre 0.034 a 0.0160 s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo rígido por ser de periodos cortos.

La **Zona 2** presenta valores de periodos entre 0.0161 a 0.333 s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo duro.

La **Zona 3** presenta valores de periodos entre 0.334 a 0.698 s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo medio y blando.

Las características dinámicas de los suelos en la Zona 1 podrían afectar edificaciones menores a dos plantas, así como estructuras muy rígidas, dado que estas presentan periodos muy cortos. En las Zona 2 y Zona 3 podría verse afectadas estructuras mayores a 2 niveles debido a que en estas zonas los suelos tienen periodos medios, lo cual corresponde a suelos blandos.

Adicionalmente se propone una microzonificación, con base en velocidades de ondas de corte y considerando el parámetro V_{s30} , de esta manera se identificaron 2 zonas con propiedades dinámicas que difieren en rangos que se detallan a continuación:

La **Zona 1** presenta valores de velocidades de ondas de corte entre 209.50 a 360 m/s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo tipo III, el cual corresponde a suelo moderadamente blando.

La **Zona 2** presenta valores de velocidades de ondas de corte entre 361 a 750 m/s, este tipo de suelo puede clasificarse como suelo tipo II, el cual corresponde a un suelo firme.

Adicionalmente con los resultados estimados para proponer una microzonificación sísmica en la parte norte del distrito VI de Managua, basados en periodos dominantes del suelo T_0 y con base en las velocidades de ondas de corte V_{s30} , es notorio que hay una alta presencia de depósitos blandos, lo cual indica que los suelos del área en estudio están expuestos a una amplificación del movimiento del terreno por lo cual es recomendable diseñar siguiendo el Reglamento Nacional de la Construcción, así como realizar estudios similares a los de esta investigación en cada sitio donde se vaya a construir una nueva edificación.

Así mismo, mediante el Reglamento Nacional de la Construcción del RNC-07, se procedió a realizar el espectro de diseño, el cual fue comparado con los espectros de respuestas sísmicas de 8 sitios del área de estudio. En esta comparación encontramos que de los 18 espectros de respuestas de sitio la mayoría presenta aceleraciones espectrales menores a la respuesta sísmica de diseño de la norma Nicaragüense en todo los sitios del área de estudio; sin embargo, es notorio observar que dos de estos eventos sobrepasan el espectro de diseño RNC-07 en todos los sitios analizados y tres en el caso del sitio Américas 2, por lo que se considera que más de uno de estos sismos afectarían a las estructuras existentes que están diseñadas conforme al Reglamento Nacional de Construcción, así como las edificaciones que se diseñen en el futuro en el área de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Ambos autores desean agradecer al Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-MANAGUA) quien financió este proyecto.

El primer autor, agradece a su ex-alumno, ahora ingeniero Geovany Mercado, por su apoyo en el trabajo de campo en esta investigación, y a cada una de las personas de esta institución quienes dieron su aporte en labores de campo y administrativos.

Agradecemos de forma muy especial a todas las instituciones que nos abrieron sus instalaciones para realizar mediciones, en especial a la alcaldía de Managua y ENACAL.

REFERENCIAS

- Astroza, R., Pasten, C., & Ochoa, F. (2017). Site response analysis using one-dimensional equivalent- linear method and bayesian filtering. *Computers and geotechnics*, 89(2017), 43-54.
- Faccioli, E. (1973). Microzonation criteria and Seismic response studies for the city of Managua. *Proceedings of the conference on the Managua, Nicaragua Earthquake of December 23, 1972*. Managua, Nicaragua.
- Hernández, O. (2009). Reevaluación del efecto de sitio y propuesta de clasificación de terreno con fines de diseño sísmico para Managua (Tesis de maestría). Nicaragua. Managua, Nicaragua.
- INETER (2000). Microzonificación sísmica de Managua. Managua, Nicaragua.
- INETER (2012). Mapa de fallas geológicas de Managua (Informe geológico). Managua, Nicaragua.
- Lermo, J., y Chávez, F. (1994). Site effect evaluation at Mexico City: dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, volumen 13, 6(1994), 413-423. Recuperado el 05 de septiembre de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0267726194900124>
- Nakamura, H. (1989). Method for dynamic characteristics stimulation of subsurface using microtremores on the ground surface. *Quarterly report of railway technical research institute*.
- Omori, F. (1909). On micro-tremor. *Bull imperial earth investigation committee of Tokio*, Vol. II, 1-6.
- Park, C.; Miller, R. & Xia, J. (1999). "Multichannel Analysis of Surface Waves". *Geophysics*.Vol.64...
- Park, C.; Miller, R., & Xia, J. (1999). "Multichannel Analysis of Surface Waves". *Geophysics*.Vol.64.
- Park, C., Miller, R.; Xias, J., & Ivanov, J. (2001). Seismic characterization of geotechnical sites by multichannel analysis of surface waves (MASW) method. Tenth international conference on soil dynamics and earthquake engineering (SDEE).
- RNC 07. (2007). Reglamento nacional de construcción. Managua, Nicaragua: La gaceta.
- Yauri, C y Sheila, A. (2006). Microtremores. [Compendio de trabajo de investigación CNDG-Biblioteca]. Instituto geofísico del Perú, 7.