

Aceleraciones del terremoto del 27 de febrero de 2018 obtenidas por la red acelerográfica de la ciudad de Santiago de Cuba

Accelerations or the earthquake of February 27, 2018 obtained by the accelerographic network of the Santiago de Cuba city

Sandra Rosabal-Domínguez¹, Raúl Palau-Clares¹, Manuel Cutié-Mustelier¹, Ricardo Oliva-Álvarez², Zulima Rivera-Álvarez¹, Madelín Villalón-Semanat¹

¹Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Santiago de Cuba, Cuba.

²Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

*Autor para la correspondencia: sandra@cenais.cu

Resumen

Con 13 estaciones de la red acelerográfica de la ciudad de Santiago de Cuba se obtienen y analizan por primera vez los registros acelerográficos del terremoto perceptible de mayor magnitud de 2018. Se emplea un procedimiento que permite lograr los esquemas de isoaceleraciones, se establecen correlaciones con la geología local, la microzonación y las intensidades sísmicas reportadas. Los máximos valores de aceleración en la componente horizontal para el terremoto del 27 de febrero de 2018, de magnitud 3.9 Richter, fueron: ARAF con 12.10 cm/s²; AARA con 13.50 cm/s²; AKEN con 19.10 cm/s² y AYEL con 48.60 cm/s².

Palabras clave: red acelerográfica; isoaceleraciones; terremoto perceptible; magnitud.

Abstract

For the first time, records from the perceptible earthquake of greater magnitude in 2018 were obtained and analyzed with 13 accelerograph networks from Santiago de Cuba city. A procedure that allows achieving isoacceleration schemes is used. Correlations with the local geology, and microzonation and reported seismic intensities are established. The maximum

acceleration values in the horizontal component reached for the earthquake on February 27th, 2018 of magnitude 3.9 Richter were: ARAF with 12.10 cm/s^2 ; AARA with 13.50 cm/s^2 ; AKEN with 19.10 cm/s^2 and AYEL with 48.60 cm/s^2 .

Keywords: accelerographic network; isoaccelerations; perceptible earthquake; magnitude.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional varios países ubican en zonas de alto peligro sísmico redes de acelerógrafos para registrar los movimientos fuertes del terreno y obtener las aceleraciones del suelo durante un terremoto (Carreño *et al.* 1999; Luna *et al.* 2009; Susagna *et al.* 2012; Acevedo 2012; Pardo, 2014; Lozano 2016; Alva *et al.* 2019), en función del tiempo. Ejemplo en: Guatemala, Honduras, El Salvador, México, Colombia, Chile, Ecuador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Perú, entre otros países.

El conocimiento de las fuerzas de los terremotos, el análisis de sus efectos sobre las estructuras, el desarrollo de normas de construcción y los métodos para determinar el riesgo sísmico sobre las construcciones son algunas de las principales motivaciones para el estudio de los acelerogramas (Carreño *et al.* 1999).

En Cuba existe una red regional de acelerógrafos instalados en las estaciones sismológicas de Maisí, Río Carpintero, Las Mercedes y Moa, además en Varadero, Caimaneras, Pilón, Nicaro y el Mariel.

A nivel local en la ciudad de Santiago de Cuba, en junio de 2017 se instaló una red heterogénea de acelerógrafos para registrar las aceleraciones del suelo en caso de ocurrir un terremoto moderado o fuerte; el proceso de instalación continúa en la actualidad.

Al no existir una red acelerográfica se limitaba el estudio del efecto de sitio, la tomografía, atenuación, determinación de las intensidades sísmicas reales, la estabilidad de taludes y el análisis dinámico en presas. Hoy es posible realizar estos estudios, aunque se requiere densificar la red y realizar un análisis profundo de esta información, que permita realizar una valoración integral para la prevención/mitigación de desastres en la ciudad de Santiago de Cuba ubicada en la zona 5, de peligro sísmico muy alto (NC46:2017) donde puede ocasionar daños graves en las construcciones debiéndose tomar medidas sismoresistentes en las estructuras y obras en función de la

categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño.

El objetivo principal del trabajo fue obtener el esquema de isoaceleraciones de la ciudad de Santiago de Cuba para el terremoto perceptible de mayor magnitud del año 2018.

La ciudad de Santiago de Cuba se ubica en la provincia y municipio de igual nombre (Figura 1), en la región oriental cubana. Cuenta con una red acelerográfica integrada por 13 estaciones, formada por equipos Guralp y Nanometrics, modelos CMG-5TDE; Titán SMA y TMA-33.

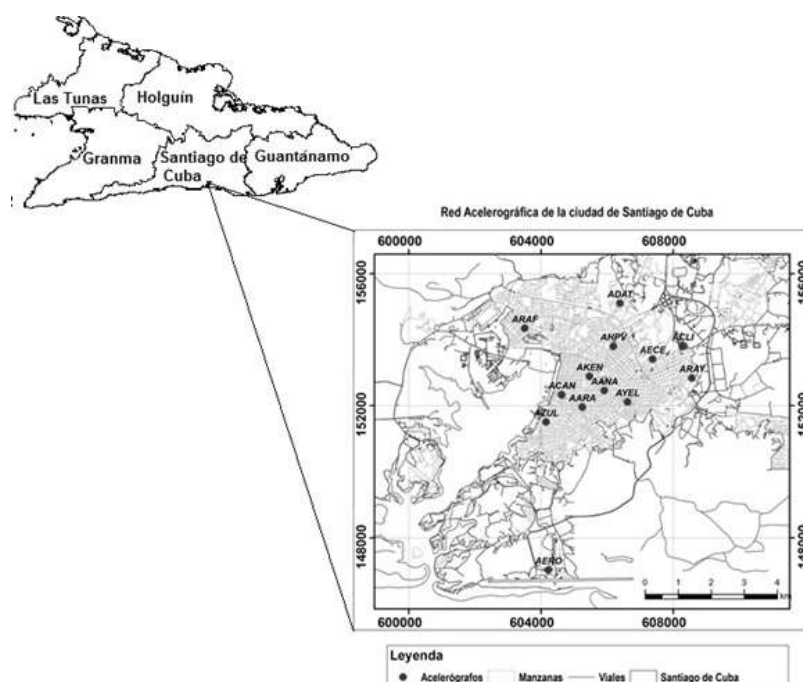


Figura 1. Ubicación geográfica actual de la red acelerográfica de la ciudad de Santiago de Cuba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como material base se empleó el mapa geológico digital de la cuenca Santiago de Cuba a escala 1:25 000 de Medina *et al.* 1999.

Para obtener el esquema de isoaceleraciones se elaboró un procedimiento que se detalla seguidamente:

1. Diseño una base de datos.
2. Selección del terremoto de mayor magnitud del 2018.
3. Adquisición de datos de la red acelerográfica de la ciudad de Santiago de Cuba.
4. Descarga de ficheros por cada estación acelerográfica.

5. Conversión de ficheros de formato MSEED a SAC.
6. Remoción de la respuesta instrumental de los ficheros SAC
7. Obtención de aceleraciones en sus tres componentes (HNN, HNE, HNZ) para el terremoto perceptible.
8. Obtención del esquema de isolíneas de aceleraciones para la ciudad de Santiago de Cuba.
9. Interpretación preliminar del esquema obtenido.
10. Propuesta de densificación de la red acelerográfica.

En el diseño de la base de datos se consideraron la ubicación geográfica de cada estación con sus coordenadas planas (Proyección Cónica Conforme de Lambert) (Tabla 1), así como la litología y perfil de suelo presente según la Norma Sísmica (NC46:2017). Los instrumentos se encuentran colocados en diferentes litologías (Figura 2), basado en el esquema geológico de la cuenca de Santiago de Cuba (Medina *et al.* 1999) a escala 1:25 000 y el léxico estratigráfico (Colectivo de autores 2013). Las estaciones acelerográficas se asientan sobre la formación La Cruz que incluye a los miembros Tejar y Santiago y sobre los depósitos del Cuaternario (Tabla 2).

Tabla 1. Ubicación geográfica actual de las estaciones acelerográficas de la ciudad de Santiago de Cuba con sus coordenadas planas (Proyección Cónica Conforme de Lambert)

No.	Coordenadas X	Coordenadas Y	Código de Estación Acelerográfica	Tipo de Instrumento
1	605256	151958	AARA	GURALP
2	604634	152331	ACAN	GURALP
3	608300	153800	ACLI	GURALP
4	606400	155100	ADAT	TITAN SMA
5	607388	153410	AECE	TITAN SMA
6	605474	152886	AKEN	GURALP
7	603512	154342	ARAF	GURALP
8	606634	152112	AYEL	GURALP
9	604164	151507	AZUL	TITAN SMA
10	606207	153651	AHPV	TMA-33
11	608578	152836	ARAY	TMA-33
12	604230	147021	AERO	TMA-33
13	605919	152428	AANA	TMA-33

Tabla 2. Estaciones acelerográficas y su ubicación actual en la formación geológica correspondiente

No.	Código de Estación Acelerográfica	Formación geológica (fm)	Miembro (mb)	Litología presente	Perfil de suelo según NC46:2017
1	AARA	Formación La Cruz	Miembro Tejar (mb tj).	margas	C
2	ACAN	Depósitos Cuaternario (mQ _{IV})	-	Depósitos marinos	E
3	ACLI	Formación La Cruz	Miembro Santiago (mb stg)	argilitas calcáreas	D
4	ADAT	Formación La Cruz	Miembro Santiago (mb stg)	argilitas calcáreas	D
5	AECE	Formación La Cruz	Miembro Santiago (mb stg)	argilitas calcáreas	D
6	AKEN	Formación La Cruz	Miembro Tejar (mb tj).	margas	C
7	ARAF	Formación La Cruz	Miembro Santiago (mb stg)	argilitas calcáreas	D
8	AYEL	Depósitos Cuaternarios (alQ ₄)	-	lino gris y gris parduzco	E
9	AZUL	Formación La Cruz	Miembro Tejar (mb tj).	margas	C
10	AHPV	Formación La Cruz	Miembro Santiago (mb stg)	argilitas calcáreas	D
11	ARAY	Formación La Cruz	-	areniscas calcáreas	C
12	AERO	Formación La Cruz	-	calizas coralinas	C
13	AANA	Formación La Cruz (Lcz)	Miembro Tejar (mb tj).	margas	C

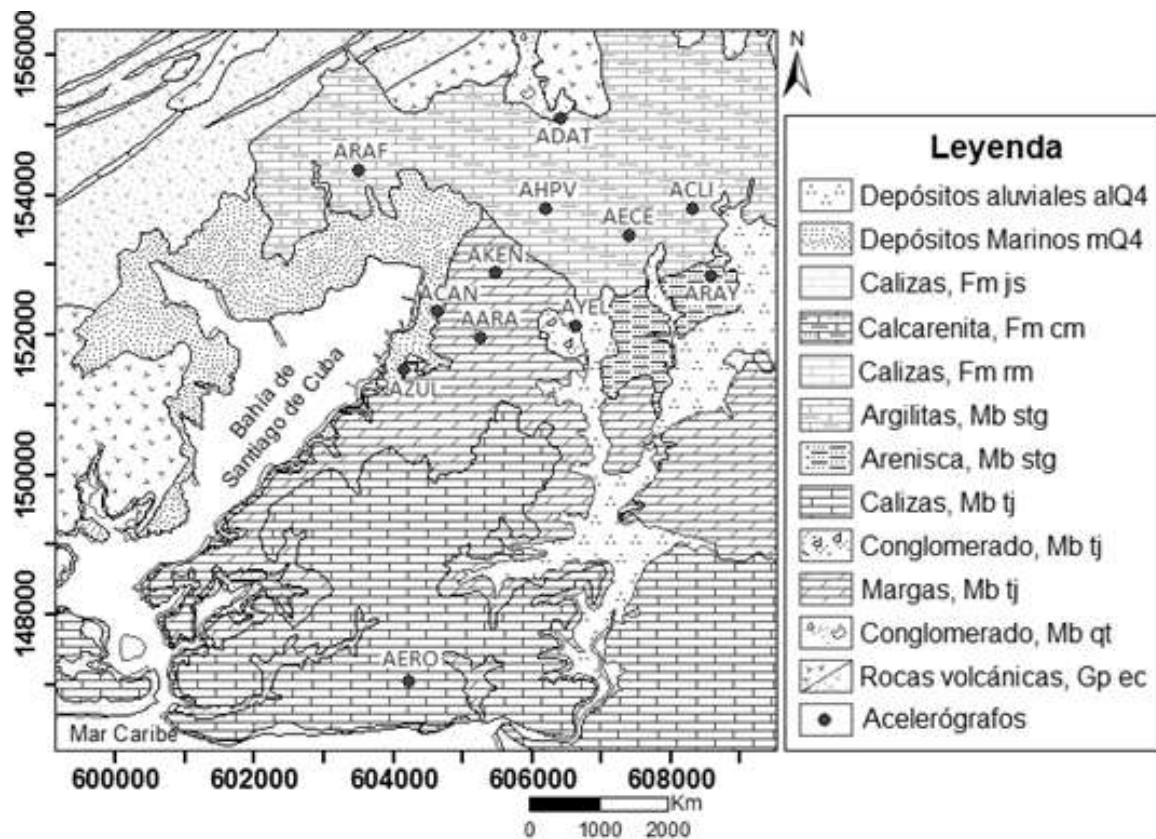


Figura 2. Esquema geológico de la cuenca Santiago de Cuba, ubicación de las estaciones acelerográficas y su código de identificación. Modificado de Medina *et al.* 1999. Donde Fm representa formación; js: jaimanitas; cm: camarones; rm: río maya. Mb representa miembro; stg: santiago; tj: tejar; qt: quintero; Gp ec representa Grupo El Cobre.

Apoyados en la red sismológica del Servicio Sismológico Nacional de Cuba (SSNC) y en sus boletines especiales, en caso de sismos perceptibles con información preliminar, así como boletines mensuales, resúmenes trimestrales o semestrales y el resumen de la sismicidad del año, se seleccionó el terremoto perceptible de mayor magnitud del año 2018; en este caso, 27 de febrero del 2018 con magnitud 3.9 Richter (CENAI 2018), cuyos datos muestra la Tabla 3.

Tabla 3. Terremoto perceptible de mayor magnitud del 2018, registrado por red acelerográfica de la ciudad de Santiago de Cuba

No	Long. Oeste	Lat. Norte	Mag. (Richter)	Prof. (Km)	Hora Local	Fecha	Localidad	Intensidad
1	-75.6	19.92	3.9	33	6:07pm	27-02-2018	Sureste de Santiago de Cuba	III MSK

Nota: Long: Longitud; Lat: Latitud; Mag: Magnitud; Prof: Profundidad

La Figura 3 muestra la ubicación geográfica del terremoto del 27 de febrero del 2018 y las estaciones acelerográficas actuales.

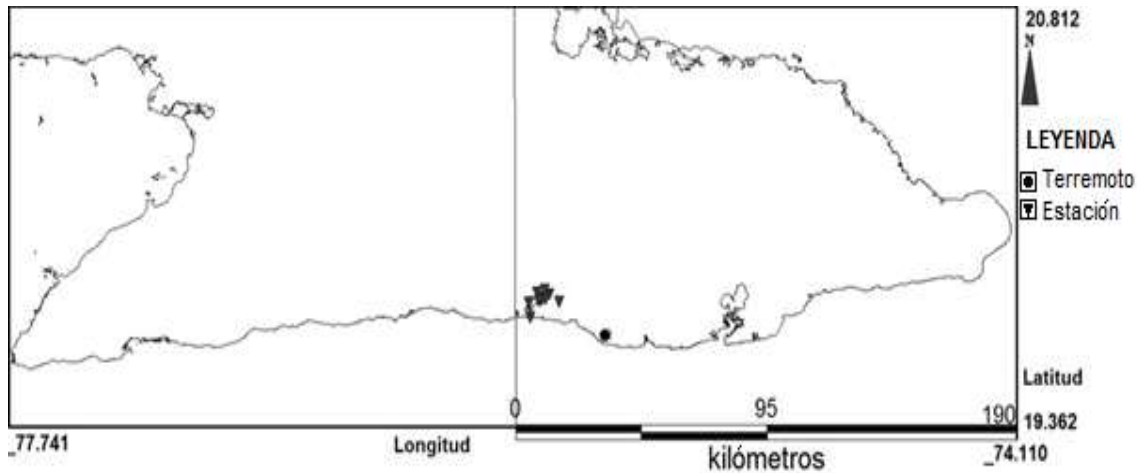


Figura 3. Epicentro del terremoto perceptible del 27 de febrero del 2018 (círculo) en la región de Cuba Oriental y las estaciones acelerográficas de la ciudad de Santiago de Cuba (triángulos).

Posterior a la adquisición de los datos de la red acelerográfica de la ciudad de Santiago de Cuba, se descargaron los ficheros por cada estación acelerográfica, convirtiendo de formato mseed a sac con el programa mseed2sac o wavetool de SEISAN, y se removió la respuesta instrumental.

El registro acelerográfico del terremoto del 27 de febrero del 2018 (Figura 4) se obtuvo mediante el software SEISAN 10.1. Para obtener los valores de amplitud en las tres componentes (HNN, HNE, HNZ) se utilizaron herramientas del programa SEISAN como el comando `> dirf2020*` que genera un fichero `filen.lis`. En la pantalla `filen.lis` a cada componente acelerográfica se le asigna un número. Después se debe utilizar el comando `multplt`, para plotear las señales. Se observa una nueva pantalla donde muestra en la parte superior un menú e información del evento analizado, la componente analizada, la estación acelerográfica y muestra el acelerograma, en la parte inferior se observa el valor máximo de amplitud.

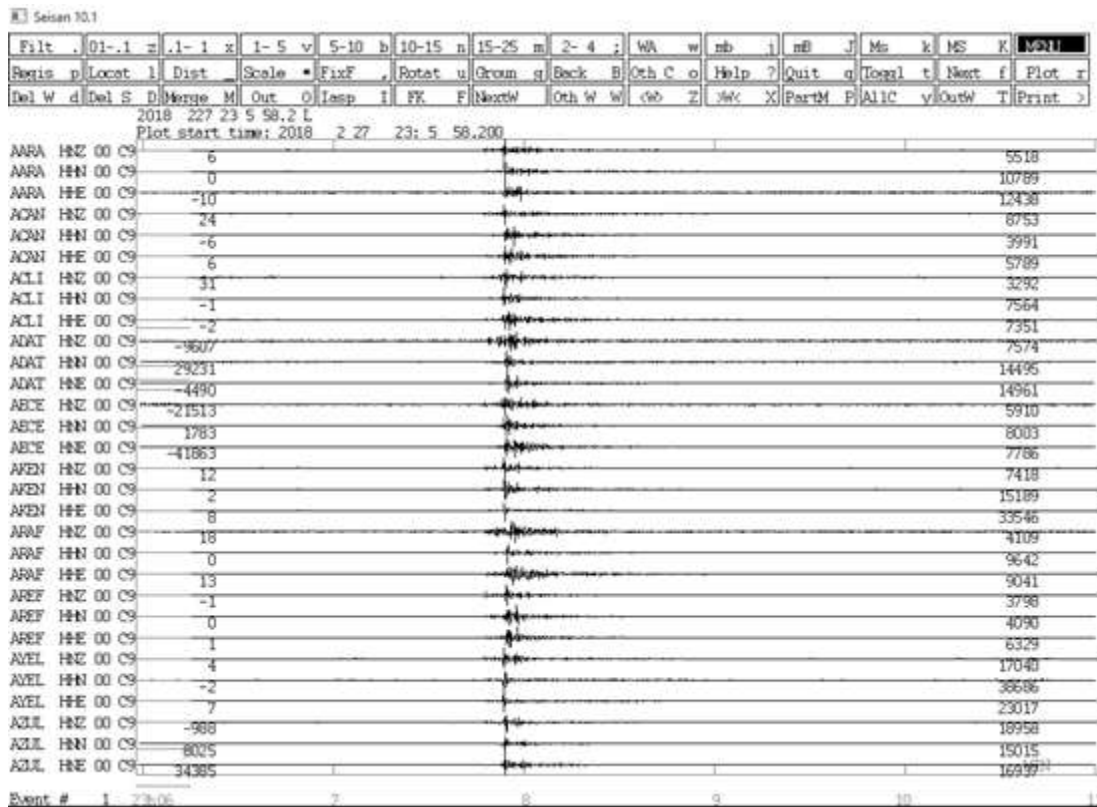


Figura 4. Registro acelerográfico del terremoto del 27 de febrero del 2018 de magnitud 3.9 Richter.

3. RESULTADOS

La Tabla 4 muestra los valores de las aceleraciones registradas por 10 de las estaciones acelerográficas, ya que tres de las estaciones de la red no registraron el evento por encontrarse fuera de servicio. Algunos instrumentos han sido desconectados o están rotos, como la estación AREF, razón por la cual esta no aparece en el mapa geológico, ni en el de ubicación geográfica de la red actual.

Tabla 4. Información de la señal registrada por 10 estaciones de la red acelerográfica y la información del evento de mayor magnitud del 2018 en Santiago de Cuba

Información de la señal				Información del evento			
No	Código de estación	Componente	Ac. Max (cm/s ²)	Fecha	Prof. (Km)	Magnitud (Richter)	Localidad
1	AARA	HNN	13.50	2018-02-27	33	3.9	Sureste de Santiago de Cuba
		HNE	15.60				
		HNZ	6.93				
2	ACAN	HNN	5.01				
		HNE	7.27				
		HNZ	11.00				
3	ACLI	HNN	9.50				
		HNE	9.23				
		HNZ	4.13				
4	AECE	HNN	1.96				
		HNE	1.91				
		HNZ	1.45				
5	AKEN	HNN	19.10				
		HNE	42.10				
		HNZ	9.31				
6	ARAF	HNN	12.10				
		HNE	11.30				
		HNZ	5.16				
7	AREF	HNN	5.13				
		HNE	7.95				
		HNZ	4.77				
8	AYEL	HNN	48.60				
		HNE	28.90				
		HNZ	21.40				
9	AZUL	HNN	3.68				
		HNE	4.15				
		HNZ	4.65				
10	ADATYS	HNN	3.55				
		HNE	3.67				
		HNZ	1.86				

Nota: HNN: componente Este-Oeste; HNE: componente Norte-Sur; HNZ: componente Vertical y Prof: profundidad.

4. DISCUSIÓN

Se obtiene el esquema de isoceleraciones de aceleraciones para la ciudad de Santiago de Cuba pertenecientes al terremoto perceptible del 27 de febrero del 2018 mediante un sistema de información geográfica gvSIG (Figura 5). Al realizar la interpretación de este esquema se alcanzan los valores de aceleración (A_c) ubicados en zona donde se esperan incrementos de la intensidad sísmica de hasta +1 grado MSK, basado en las condiciones geológicas presentes y profundidad de los niveles freáticos. Las estaciones donde se lograron los máximos valores son ARAF con 12.10 cm/s^2 ubicada sobre argilitas calcáreas; AARA tiene un valor de 13.50 cm/s^2 y AKEN con 19.10 cm/s^2 ambas estaciones situadas sobre margas, y AYEL con 48.60 cm/s^2 localizada sobre depósitos cuaternarios. Existe correlación directa entre los valores de la aceleración obtenidos y la intensidad sísmica reportada.

Considerando que la cuenca de Santiago de Cuba por su ubicación geográfica en la zona de mayor peligrosidad sísmica puede ser afectada por un sismo de gran intensidad, debido a su cercanía a la zona de contacto (Falla Oriente o Bartlett-Caimán) entre la placa de Norteamérica y la micro placa Gonave (Mann *et al.* 2002; Demets & Wiggins-Grandison 2007) puede ser susceptible a efectos de sitio como los deslizamientos (Galbán 2014; Galbán & Guardado 2016; Rosabal 2018) y la licuefacción de suelos (Fernández *et al.* 2016; Rosabal 2018) se propone densificar la red acelerográfica de forma tal que cubra las áreas de los efectos inducidos por la actividad sísmica y todos los tipos de litologías presentes para conocer los valores reales de aceleración en cada sitio de ubicación de los acelerógrafos para la prevención y mitigación de desastres.

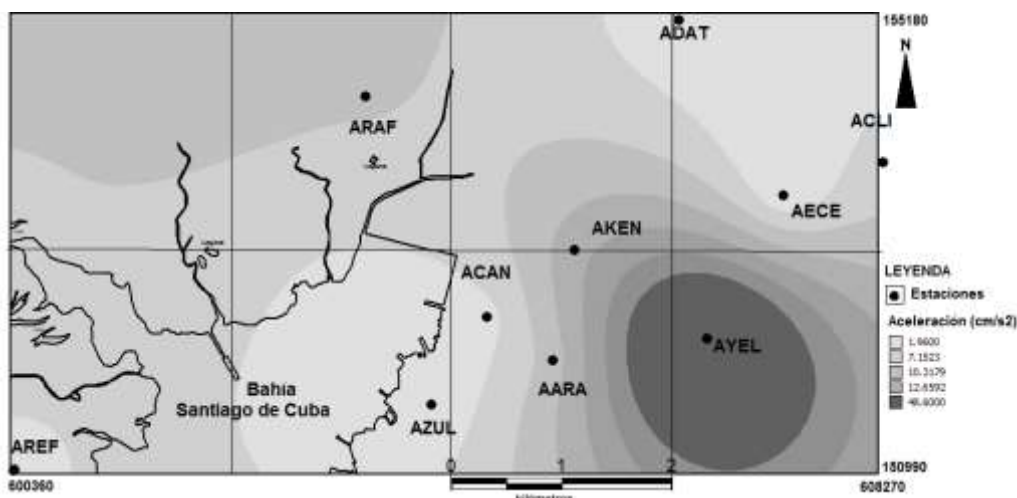


Figura 5. Esquema de isoaceleraciones del terremoto del 27 de febrero de 2018 de magnitud 3.9 Richter. Componente HNN para la ciudad de Santiago de Cuba.

5. CONCLUSIONES

- Se obtienen y analizan por primera vez, los registros acelerográficos de las estaciones que componen la red acelerográfica de la ciudad de Santiago de Cuba correspondientes al terremoto perceptible de mayor magnitud, del 27 de febrero del 2018.
- Se presenta el esquema de isoaceleraciones del terremoto del 27 de febrero de 2018 de magnitud 3.9 Richter, los máximos valores de A_c responden a ARAF con 12.10 cm/s^2 ubicada sobre argilitas calcáreas; AARA tiene un valor de 13.50 cm/s^2 ; AKEN con 19.10 cm/s^2 ambas estaciones situadas sobre margas y AYEL con 48.60 cm/s^2 localizada sobre depósitos cuaternarios.
- Se propone densificar la red acelerográfica considerando las condiciones geológicas y presencia de efectos de sitios tales como los deslizamientos y la licuefacción de suelos para la prevención y mitigación de desastres.
- Los valores de aceleración obtenidos están en correspondencia con la intensidad sísmica reportada (III MSK).
- Se confeccionó la base de datos para 13 estaciones acelerográficas que conforman la red actual y que contiene las siguientes variables: ubicación geográfica, litologías, terremoto y aceleraciones.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS) para la realización de este trabajo.

7. REFERENCIAS

- Acevedo, A. 2012: Criterios sismológicos para seleccionar acelerogramas reales de la red nacional de acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinámicos. Revista EIA, (17): 57-70.
- Alva, J., Ortiz, C., Soto, J. 2019: Registros en Perú y Ecuador del sismo de Lagunas-Alto Amazonas-Loreto del 26 de Mayo de 2019. VII Conferencia Ecuatoriana de Ingeniería Sísmica: "Profesor Alfonso Malaver" Guayaquil-Ecuador, 15, 16, 17 y 18 de Julio de 2019. Disponible en:
<http://www.jorgealvahurtado.com/files/Presentacion%20Sismo%20Lagunas%20X.pdf>.
- Carreño, E., Bravo, B., Suarez, A., Tordesillas, J. 1999: Registro y tratamiento de Acelerogramas. Revista Física de la Tierra. 11: 81-111.

- CENAIIS. 2018: Sismicidad registrada en el territorio nacional en el año 2018. Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS).
- Colectivo de autores. 2013: Léxico Estratigráfico de Cuba. La Habana. Instituto de Geología y Paleontología. Servicio Geológico de Cuba. Ministerio de Energía y Minas.
- DeMets, C. & Wiggins-Grandison, M. 2007: Deformation of Jamaica and motion of the Gonave microplate from GPS and seismic data. *Geophys. J. Int.*, 168: 362-378.
- Fernández, L., Guardado, R., Herrera, I., Oliva, R. y Díaz, P. 2016: Escenarios susceptibles a licuefacción inducida por sismos de gran magnitud en Santiago de Cuba. *Revista Minería y Geología*, 32(2): 53-69.
- Galbán, L. 2014: *Procedimiento para la gestión y reducción de riesgos geológicos en la provincia Santiago de Cuba*. Tomás Chuy Rodríguez. (Tutor). Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, Holguín, Cuba.
- Galbán, L. & Guardado, R. 2016: Modelación del peligro a deslizamientos en el municipio Santiago de Cuba considerando el peso de las variables determinantes. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 18(1): 89-99.
- Lozano, C. 2016: Catálogo de eventos sísmicos-2016. Subdirección de análisis de riesgos y efectos de cambio climático. Grupo monitoreo de riesgos. Red de acelerógrafos de Bogotá. Disponible en: https://www.sire.gov.co/documents/82884/86757/BARSRAB_vfinal.pdf/a899b3c5-e851-4982-ab83-75d585420b11.
- Luna, M.; Munguía, L.; Navarro, M.; Valdéz, T. 2009: Catálogo de Acelerogramas Registrados por la Red de Acelerógrafos del Noroeste de México durante el año 2009. Departamento de Sismología. División de Ciencias de la Tierra. CICESE. Disponible: <http://resnom.cicese.mx/sitio/ui/img/catalogos/Catalogo2009.pdf>.
- Mann, P., Calais, E., Ruegg, J., DeMets, Ch., Jansma, P. & Mattioli, G. 2002: Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations. *Tectonics*, 21(6). doi: 10.1029/2001TC001304.
- Medina, A., Escobar, E., Ortiz, G. Ramírez, M., Díaz, L., Móndeolo, F., Montejo, N., Dúquez, H., Guevara, T y Acosta, J., 1999: Reconocimiento geológico-geofísico de la cuenca de Santiago de Cuba, con fines de Riesgo Sísmico. Empresa Geominera de Oriente, Santiago de Cuba. 32pp.
- Oficina Nacional de Normalización 2017: Norma Cubana NC 46:2017: Construcciones Sismoresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción. 106pp.

- Pardo, A. 2014: Criterios de selección de acelerogramas reales para su uso en análisis dinámicos para la ciudad de Medellín. Tesis en opción al grado de Master en Estructuras. Universidad EAFIT. Colombia. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/47242044.pdf>.
- Rosabal, S. Y. 2018: Evaluación de peligros de deslizamientos y licuefacción de suelos, inducidos por la actividad sísmica, en Cuba suroriental. Alina Rodríguez Infante (Tutora). Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geológicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Facultad de Geología y Minería. Departamento de Geología. Moa, Holguín.
- Susagna, T., Cabañas, L., Goula, X., Alcalde, J., Belvaux, M. 2012: Análisis de los parámetros de los Acelerogramas registrados en los seísmos de Lorca, de interés para la Ingeniería. 15th World Conference on Earthquake Engineering: 15th WCEE, Sep 2012, Lisbon, Portugal. Hal00704265.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución de los autores

SRD: Interpretación de datos, redacción, revisión, elaboración del procedimiento, base de datos de aceleraciones y terremotos, confección del esquema de epicentros y Isoaceleraciones, aprobación de la versión final. RPC: Adquisición de datos, procesamiento en SEISAN y elaboración del procedimiento. MCM: Adquisición de datos y procesamiento en SEISAN. ROA: Interpretación de datos. ZRA: Caracterización geológica, base de datos de las estaciones acelerográficas y esquema geológico. MVS: Esquema de ubicación geográfica de las estaciones acelerográficas.

ORCID

SRD, <https://orcid.org/0000-0002-1233-1101>

RPC, <http://orcid.org/0000-0003-3864-2159>

MCM, <https://orcid.org/0000-0001-7909-8925>

ROA, <http://orcid.org/0000-0001-5286-7974>

ZRA, <https://orcid.org/0000-0001-5702-8010>

MVS, <https://orcid.org/0000-0002-9367-1828>

Recibido: 13/04/2021

Aceptado: 06/09/2021