

# ANÁLISIS MACROSÍSMICO DEL SISMO Mw~7,6 DE SAN NARCISO DEL 29 DE OCTUBRE DE 1900, APLICANDO LA ESCALA MEDIO-AMBIENTAL DE INTENSIDAD SÍSMICA ESI 2007

SIREL COLÓN<sup>1</sup>, ALEJANDRA LEAL, FRANCK AUDEMARD, RAQUEL VÁSQUEZ Y JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ  
Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS)

<sup>1</sup> scolon@funvisis.gob.ve

Recibido: XXX de 2019

Recibido en forma final revisado: XXX de 2019

## RESUMEN

El 29 de octubre de 1900 se registró un terremoto cortical de Magnitud promedio Mw 7,54 en territorio venezolano, cuyos efectos geológicos cosísmicos se extendieron principalmente en la región centro norte del país. Los efectos geológicos reportados fueron principalmente grietas, aumento anormal del oleaje o tsunami, licuación de suelos, derrumbes, deslizamientos, desprendimientos laterales (*lateral spread* en inglés), anomalías hidrotermales, *seiches* y fuegos fatuos. En este estudio aplicamos la Escala ESI 2007, y se estimó la intensidad máxima de IX. Los mayores efectos geológicos cosísmicos en el área epicentral están concentrados en la región central del país, en dirección este - oeste, en las poblaciones cercanas a la costa, esto concordando con las estimaciones asociadas para la falla San Sebastián como responsable de este evento.

*Palabras clave:* Escala Sísmica Medio-Ambiental –ESI 2007, Efectos Sísmicos Medio-ambientales –EEE-, Falla San Sebastián, Sismo del 29 de octubre de 1900.

## MACROSEISMIC INTENSITY ASSESSMENT OF Mw ~7.6, 1900 OCTOBER, 29TH SAN NARCISO EARTHQUAKE, USING THE ENVIRONMENTAL SEISMIC INTENSITY SCALE (ESI 2007)

### ABSTRACT

On October 29, 1900 there was an Mw 7.54 earthquake in Venezuelan territory where its primary and secondary coseismic geological effects extended mainly in the north-central region of the country. The geological effects most commonly reported were: cracks, anomalous waves or tsunami, soil liquefaction, landslides, lateral spread, hydrological anomalies, seiches and fatuous fires. According to the ESI 2007 Scale, the maximum intensity estimated was IX. The greatest geophysical effects recorded for the 1900 earthquake are concentrated in the central region of the country, on the east-west direction, in populations near the coast. This is consistent with the estimates made for the San Sebastián fault as responsible for this event.

*Keywords:* Environmental Seismic Intensity –ESI 2007 scale, Earthquake Environmental Effects –EEE-, San Sebastián fault; October 29th, 1900 Venezuela Earthquake.

## INTRODUCCIÓN

Mientras la magnitud de un sismo cuantifica la fuerza de la sacudida sísmica o la energía liberada por el mismo, la intensidad sísmica persigue determinar la severidad de los daños ocasionados por el sismo en proximidad a su epicentro. La descripción de los daños se puede efectuar sobre el individuo, el medio construido y/o el ambiente. A tal fin, por más de un siglo, desde fines del siglo XIX, se han propuesto diversas escalas de intensidad, estando entre las más renombradas: Rossi-Forel (1883) y Mercalli (1902), Mercalli-Cancani-Sieberg –MCS- de 1912 (adoptada en 1917 por la *International Seismological Association*),

Mercalli reinterpretada por Woods-Newmann en 1931 y por Richter de 1956 (ambas versiones se conocen indistintamente como la escala de Mercalli Modificada), Medvedev-Sponshouser-Karnik –MSK- de 1964 así como su versión revisada de 1976, las cuales fueron paulatina y progresivamente incorporando mayor número y más precisos indicadores de medición de los daños sobre los distintos componentes del sistema (hombre-construcción-ambiente). Por su parte, Japón, a través del *Japan Meteorological Agency* (JMA), igualmente desarrolla su propia escala de intensidad (Véase Musson *et al.*, 2010). Estas escalas vieron su auge crecer en el estudio particularmente de los sismos históricos, tal como lo indica Salcedo & Tabares (2001),

en tiempos de ausencia de redes sismológicas instrumentales que sólo verán la luz del día más tarde, a comienzos del siglo XX. A partir del análisis macrosísmico (del nivel o grado de daños sufridos) se pueden determinar particularidades de los sismos históricos tales como: momento de ocurrencia del evento, localización del epicentro (macrosísmico; puede diferir ampliamente del instrumental, referirse a Rodríguez & Audemard, 2003, para precisiones más amplias), intensidad máxima, extensión (superficial o no) de la ruptura (en función de la geometría de las isosistas), ley de atenuación de daños con la distancia, probable asociación sismotectónica (relación del sismo con su falla causativa) y hasta período de retorno (recurrencia) entre sismos equivalentes. No obstante, dado que la evaluación macrosísmica reposa primordialmente en describir los daños sufridos tanto por el individuo, el medio construido como el medio ambiente, observados, descritos y reportados como el producto de un sismo de suficiente magnitud, la macrosísmica puede entonces aplicarse tanto a sismos instrumentales, históricos como pre-históricos. Su aplicación a sismos instrumentales, además de validar la extensión temporal de la técnica o disciplina a sismos históricos, ha permitido: verificar la ubicación epicentral (e inclusive hipocentral, en función de la separación de las isosistas y del área sentida total), establecer correlaciones entre magnitud e intensidad sísmicas (con fines de poder estimar magnitud de aquellos sismos históricos que sólo se le pudo determinar intensidades por haber ocurrido en tiempos pre-advenimiento de la era instrumental), definir leyes de atenuación de la energía sísmica en función de las propiedades mecánicas del medio rocoso (definiendo o no anisotropía del medio o contexto geológico) y por último, más no menos importante, efectos de sitio (resonancia, amplificación de ondas, efecto topográfico, etc.). Al igual que para los sismos históricos, con el mismo interés de ampliar la ventana de observación sísmica (historia sísmica de una falla o región), la macrosísmica se ha aplicado a la fuerte sismicidad en tiempos pre-históricos, a través del estudio de una serie de objetos geológicos que pueden ser perturbados por la falla sismogénica o la vibración sísmica introducida por el sismo propiamente (referirse a Audemard & Michetti, 2011, para más detalles). Muy en particular y más allá de la propia ruptura superficial de la falla (en el caso que ocurriese), los movimientos en masa, la licuación de suelos y las olas tsunamis han recibido especial atención. En tal sentido y haciendo un paréntesis, una escala de intensidad de los tsunamis también ha sido desarrollada y perfeccionada a través de los años, estando vigente la *International Tsunami Intensity Scale* de 2012 (ITIS 2012; Lekkas *et al.*, 2013).

Cabe mencionar que las escalas de intensidad antes mencionadas sufren un cambio radical en su concepción con la introducción de la Escala Macrosísmica Europea –EMS– de 1998 (Grunthal, ed., 1998), que esencialmente se avoca a la descripción y cuantificación de los daños en el medio construido, aunque lo hace con un grado de detalle y rigor (semi-cuantificación relativa) mucho mayor que en el pasado. En vista de esta tendencia, la formulación a comienzos del siglo XXI de la *Environmental Seismic Intensity Scale* de 2007, conocida bajo su acrónimo ESI 2007, vendrá al rescate parcialmente de esa evolución conceptual. ESI 2007 se va a fundamentar en lo que definirá como los EEE, acrónimo de *Environmental Earthquake Effects* (Efectos Sismo-Ambientales; **Figura 1**). En tal sentido, esta escala pretende rescatar todos los daños sobre el medio o ambiente natural, entendiéndose: ruptura superficial de falla, grietas en el terreno (*Sympathetic faults/cracks*, para algunos autores), movimientos en masa, evidencias superficiales de licuación de suelos, cambios en la mesa de agua/flujo de cursos de agua, y tsunamis (Michetti *et al.*, 2004, 2007, 2010; Audemard *et al.*, 2015, Serva, 2019). La fortaleza de esta nueva escala medio-ambiental –que no pretende en momento alguno desplazar las anteriores sino complementarlas–, se centra en dos aspectos: 1) no requiere de centros poblados para su establecimiento, por lo que puede aplicarse a regiones del globo con poca población; problema que habían confrontado Dengler & McPherson (1993) con un sismo en la costa norte de California. Es decir que una región como el desierto de Atacama, en la alta cordillera andina, no quedaría excluido en el análisis macrosísmico si viniese a darse el caso; y 2) los ambientes sedimentarios y los tipos y las propiedades de las rocas, a pesar de su intrínseca diversidad natural, son más uniformes a la escala global que los tipos y materiales constructivos empleados por los hombres a través de los siglos y en regiones tan disímiles del planeta, y que la muy variable y dispersa sensibilidad sensorial de los humanos, ya naturalmente sesgados subjetivamente; en clara oposición a la posición expuesta por Grunthal (1998) en la EMS-98. Podemos indicar entonces, que la macrosísmica, es aplicable a todo sismo generador de daños y efectos superficiales, indistinto de su temporalidad (instrumental, histórico o pre-histórico) y su aplicación transversalmente a todos permite uniformizar catálogos, extenderlos temporalmente a fin de cubrir varios ciclos sísmicos, y validar parámetros sismológicos adquiridos por enfoques distintos, insumos necesarios para los estudios de amenaza sísmica de una región; de manera que con estos estudios también se alimentan los catálogos sísmicos de una región sísmicamente activa (Postpischl *et al.*, 1991).

CUADRO DE LA INQUA ENVIRONMENTAL SEISMIC INTENSITY SCALE 2007 ESI - 07										
Elaborada por el Grupo de Trabajo Español AEQUA (modificado de Silva et al., 2008; Reicheter et al., 2009)										
OBSERVADO	EFECTOS PRIMARIOS		EFECTOS SECUNDARIOS CON REGISTRO GEOLOGICO Y GEOMORFOLOGICO				OTROS EFECTOS SECUNDARIOS CON REGISTRO GEOLOGICO MENOR		AREA AFECTADA Y TIPO DE REGISTRO	
	RUPTURAS SUPERFICIALES	ELEVAC/SUBSID TECTONICA	GRIETAS TERRENO	MOVIMIENTOS DE LADERA	PROCESOS DE LICUEFACCION	OLEAJE ANOMALO Y TSUNAMIS	ANOMALIAS HIDROGEOLOGICAS	MOVIMIENTO DE ARBOLES	AREA AFECTADA	TIPO DE REGISTRO
I-III	EFECTOS AMBIENTALES MUY RAROS Y NO DIAGNOSTICOS (GRADOS I - III)									
IV	Desplaz Longitud	AUSENTES	AUSENTES	Anchura Longitud	Raros y locales	Raros y locales	Solo niveles de def. (Seismitas)	Cambios temporales de nivel del mar	Raros y locales	Raros y locales
VII	Raros y locales	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)
VIII	Raros y locales	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)
IX	Raros y locales	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)
X	Raros y locales	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)
XI	Raros y locales	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)
XII	Raros y locales	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)	Dislocaciones del terreno permanentes (<10 cm)
Descripción	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas	Desplazamiento vertical y horizontal de rupturas cosísmicas

**Figura 1.** Tabla sinóptica de los efectos cosísmicos medio-ambientales (EEE) de la escala ESI 2007 (traducción al español por el Grupo de Trabajo Español (AEQUA) modificado de Silva *et al.*, 2008; Reicheter *et al.*, 2009).

El terremoto del 29 de octubre de 1900, el último gran evento del siglo XIX, sacudió gran parte del territorio venezolano, especialmente la región centro-norte del país. Dada la profusa documentación hemerográfica develada por Leal Guzmán (2018) en referencia a este evento, sus características y efectos –cosísmicos como socio-culturales-, este evento destructor ha sido sometido a una investigación sistemática relacionada a la estimación de intensidades (Leal Guzmán *et al.*, 2017 y 2018), cálculos de los parámetros de la fuente (Vásquez *et al.*, 2018), reevaluación de las características del tsunami y su intensidad (Audemard & Leal, 2013, 2014, 2015, 2017; Audemard, 2014; Audemard *et al.*, 2014; Audemard, 2019). En particular, en función de la abundante documentación de calidad sobre este evento recopilada y procesada sobre efectos geológicos cosísmicos generados por el sismo de 1900, nos planteamos en este trabajo aplicar la escala macrosísmica ESI 2007 para estimar las intensidades macrosísmicas en las distintas poblaciones venezolanas afectadas, y así obtener la intensidad máxima de este sismo por medio de otro enfoque.

### SISMO DE SAN NARCISO DEL 29 DE OCTUBRE DE 1900

En la madrugada del 29 de octubre de 1900, un sismo, cuya magnitud macrosísmica promedio ha sido estimada en  $7,54 \pm 0,31 M_w$  (Vásquez *et al.*, 2018), sacudió el centro-norte costero venezolano. Los daños generados por el terremoto se concentran en la región central,

donde se registraron las intensidades más altas, MM IX, cubriendo un área epicentral de unos 3560 km<sup>2</sup> (Vásquez *et al.*, 2018), propagándose hacia la región oriental. Los daños materiales más graves se observaron en las poblaciones de Macuto (Vargas), Guarenas y Guatire (Miranda) y en Los Roques, en las cuales colapsaron varios edificios y se registraron las más altas cifras de víctimas, para las cuales se estimó una intensidad de IX en la escala de Mercalli Modificada según Leal Guzmán *et al.* (2018). En las poblaciones de Higuerote y Paparo, se documentaron daños graves y la ocurrencia de diversos efectos geológicos, estimándose intensidades VIII-IX, e intensidad VIII en las poblaciones de Caucagua, Capaya, Curiepe, San José de Barlovento, Carenero y Puerto Tuy.

Algunos de los efectos geológicos en el medio ambiente mencionados en la documentación histórica son la ocurrencia de importantes deslizamientos, licuación, anomalías hidrotermales y un tsunami que inundó las áreas bajas costeras del litoral (Audemard *et al.*, 2012; Audemard & Leal, 2017). Estos efectos se concentraron en los estados Anzoátegui, Aragua, Carabobo, Distrito Capital, Miranda y Vargas, resultando sensiblemente afectadas las poblaciones de Barcelona, Onoto, Carenero, Puerto Tuy, San José de Río Chico, La Guaira, Camurí Grande y Petaquire. Asimismo, las poblaciones de Macuto, San Diego de los Altos, Paparo, Panaquire, Guarenas, Capaya, Islas de La Toruga, Isla de Los Roques, Güigüe, San Diego, Clarines, Puerto Cabello y Caucagua reportaron daños menores.

## FALLAS COSTA AFUERA AL NORTE DE VENEZUELA

El norte de Venezuela se encuentra en la zona de interacción entre la placa de Sur América y el Caribe, mientras que el oeste de Venezuela y el norte de Colombia cubren varios bloques o microplacas tectónicas que interactúan entre sí (Audemard, 2014). El límite entre la placa del Caribe y América del Sur, desde Colombia, pasando por Venezuela y hasta Trinidad, se encuentra sobre una zona de transurrencia dextral y compresiva activa de unos 100 km de ancho en tierra y costa afuera del norte de Venezuela (Audemard, 1993; Singer & Audemard, 1997; Pindell *et al.*, 1998; Audemard *et al.*, 2000, 2005; Ysaccis *et al.*, 2000). Un relieve positivo significativo está presente a lo largo de las serranías costeras e interiores del centro-norte y noreste de Venezuela. Más al oeste, el límite del sur del Caribe se amplía hasta 600 km e incluye varios bloques o microplacas tectónicas pequeñas (Figura 2). La sismicidad a lo largo de este límite de placa es moderada tanto en frecuencia como en magnitud, y los tipos dominantes de fallas, basados en soluciones de mecanismos focales, son transcurrentes y de cabalgamiento (Audemard *et al.*, 2005; Palma *et al.*, 2010).

Gran parte del deslizamiento dextral actual a lo largo de la frontera sur del Caribe parece estar focalizado a lo largo del sistema de fallas de Boconó-San Sebastián-El Pilar-Los Bajos-Warm Spring. La mayoría de los autores ven este sistema como el límite de la placa (Hess & Maxwell, 1953; Schubert, 1979; Stephan, 1985; Pérez *et al.*, 2001a, b). Una gran parte de este sistema de fallas de deslizamiento se encuentra en mar (Figura 3), que comprende la casi totalidad de la falla de San Sebastián (FSS) y la mayor parte de la falla El Pilar (FEP), con la rara excepción de la porción de la FEP que cruza el puente de tierra entre los golfos de Cariaco y Paria, en el este de Venezuela. En otras palabras, el principal sistema de fallas de transurrencia a lo largo de esta zona fronteriza de la placa del Caribe y Sur América se extiende en mar a lo largo de la costa por más de 400 km entre la longitud  $-68^{\circ}$  y  $-64^{\circ}$ , al norte del centro-norte de Venezuela. El centro de intensidad del terremoto de 1900 se encuentra en esta región costera que viene siendo estudiada por varios autores (e.g. Audemard *et al.*, 2012, 2015; Colón *et al.*, 2015; Leal *et al.*, 2018), donde se asume que el epicentro de dicho evento se presenta costa afuera asociado a la falla de San Sebastián.

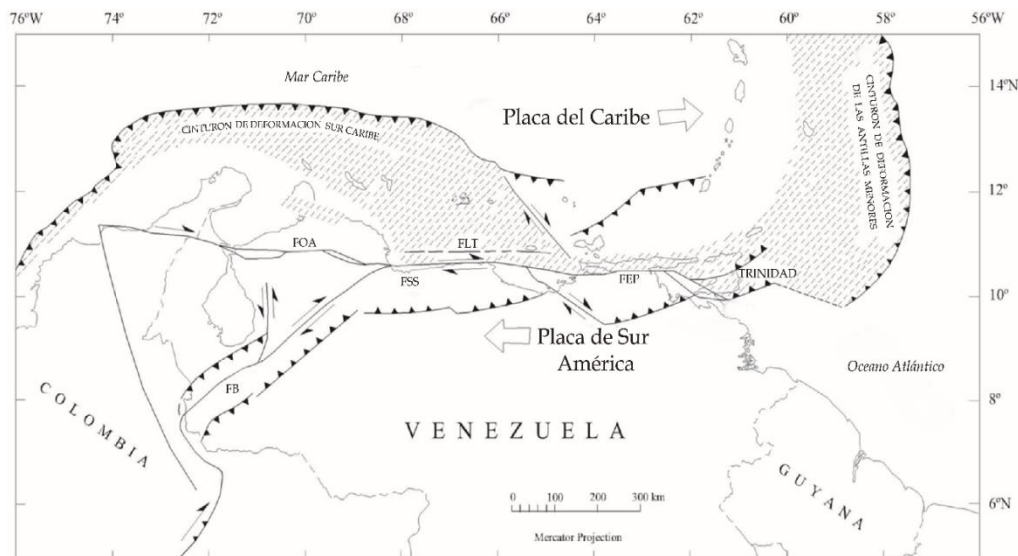
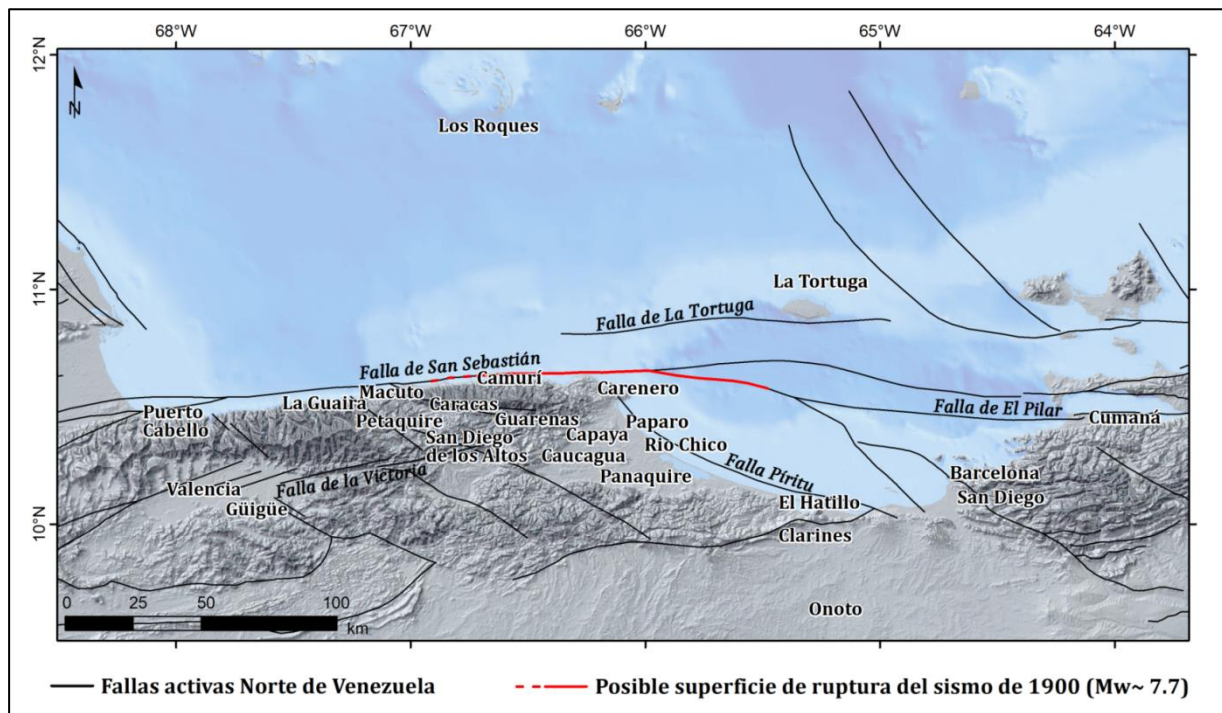


Figura 2. Marco geodinámico simplificado del Norte de Sur América (modificado de Audemard *et al.*, 2000).



**Figura 3.** Mapa de fallas activas de la costa nor-central de Venezuela (según Audemard *et al.*, 2000), donde se ubican las poblaciones afectadas por el sismo de 1900. Asimismo, se resalta con una línea roja la ruptura cosísmica estimada para este evento.

## METODOLOGÍA

Tal como lo hemos indicado previamente, los efectos cosísmicos medio-ambientales (EEE por sus siglas en inglés; **Figura 1**) proveen una importante información acerca del tamaño y el campo de intensidad de los sismos (Dengler & McPherson, 1993; Serva, 1994; Esposito *et al.*, 1997; Michetti *et al.*, 2004; Audemard *et al.*, 2015), complementando las anteriores escalas macrosísmicas convencionales basadas en el daño de Rossi (1883), Mercalli (1902), Wood y Neumann (1931), Sieberg (1943), y Richter (1958), entre otras (Musson *et al.*, 2010). Los datos de intensidad resultantes proporcionan la mejor herramienta para comparar terremotos recientes, históricos y prehistóricos (Serva *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2008, 2019), utilizando la escala de Intensidad Sísmica Ambiental (ESI 2007). En este estudio se compiló la información necesaria respecto a las descripciones y a los efectos del terremoto sobre el medio ambiente, a partir de las investigaciones históricas realizadas por Leal Guzmán *et al.* (2018), donde los más frecuentes efectos secundarios detectados según la escala utilizada fueron: grietas, licuación, anomalías hidrotermales, tsunamis, movimientos de remoción de masas, desprendimiento lateral (más conocido por su nombre en inglés *lateral spread*), *seiches*, etc. (**Figura 1**). En comparación con las escalas de intensidades existentes previas a la ESI 2007, esta última pareciera estar en desventaja por ser

significativamente útil donde las intensidades de daños son elevadas, normalmente por encima del grado V o VI de los XII totales. No obstante, esto pierde relevancia si recordamos que los estudios de amenaza sísmica se realizan para mitigar o reducir los daños generados por sismos sobre el medio construido o la afectación sobre el individuo o poblador, lo cual sólo ocurre en ocasión de los terremotos de elevada magnitud.

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS EFECTOS GEOLÓGICOS COSÍSMICOS REGISTRADOS

El evento de 1900 no produjo una ruptura superficial en tierra debido a que el epicentro se ubica costa afuera. Sin embargo, grandes efectos geológicos fueron registrados ampliamente distribuidos a lo largo de la región central con mayores concentraciones de estos cercanos a las zonas costeras. Su cobertura va de Oeste a Este desde Puerto Cabello hasta Barcelona, alcanzando al norte hasta la isla de Los Roques con reporte en 36 localidades específicamente, cubriendo un área de percepción de aproximadamente 274.000 km<sup>2</sup>. Los efectos registrados corresponden a las siguientes categorías: grietas, aumento anormal del oleaje o tsunami, licuación, anomalías hidrotermales, movimientos de remoción de masa, desprendimiento lateral (*lateral spread*), *seiches* y fuegos fatuos (**Tabla 1, Figura 4**).

**Tabla 1.** Efectos geológicos del sismo de 1900 y cálculo de intensidad usando ESI 2007.

Población (Estado)	Efectos geológicos reportados	Interpretación de estos efectos	ESI-2007 ( <u>máximas</u> <u>intensidades</u> )	Mercalli Leal et al. (2018)
Barcelona (Anzoátegui)	1. En el puerto "El Rincón" en terreno de aluvión de formación reciente a orillas del mar, se abrieron grietas casi de Noroeste a Sureste; algunas de estas grietas tienen más que trescientos metros de longitud y pocos 0, m 40 de ancho iguales grietas se abrieron en una vega a orillas del río Neverí al Suroeste de "El Rincón", en terreno también de aluvión y en ese lugar se hundió como 0, m 50 una superficie de 400 metros cuadrados donde están unos árboles cocales.	1. En dos localidades, se reporta desprendimiento lateral ( <i>"lateral spread"</i> ) de márgenes de río o mar, de unas pocas centenas de metros de longitud (300 m) y apertura inferior a 1 m.	(IX)	
	2. En unos pozos salinos saltó el agua algunos metros sobre su nivel natural quedando después en una agitación como producida por un viento fuerte.	2. Seiche en cuerpos de agua restringidos.	VIII	
	Arena fina de la capa anterior del terreno de aluvión, salió por las cuevas de cangrejo del río ( <i>Astacus Fluviabilis</i> ) y también fango. Lo mismo sucedió en la costa Noroeste de esta ciudad.	Licuación, aprovechando madrigueras de cangrejo, como reportado por Audemard & De Santis (1991).	VII	
	3. En la isla "La Borracha" que está casi al Norte de Barcelona se cayó una punta rocallosa en la parte que mira hacia el Noroeste y hacia el Suroeste se abrieron grietas.	3. Movimientos de remoción en masa, sin dimensiones; y apertura de grietas en una 2da. localidad, sin dimensiones provistas.	VII	
	4. En una posición agrícola al Este de Barcelona disminuyó el agua de una quebrada, y en otras aumentó.	4. Cambios del nivel de las aguas.	VIII	VIII
	5. En "Putucual" al Sureste de esta ciudad, había unos magníficos baños de agua mineral de alta temperatura y ha desaparecido dicha agua.	5. Secado de unas fuentes/baños termales minerales.	VIII	
	6. En el mismo puerto "El Rincón" que he mencionado anteriormente, uno de los caños del río Neverí se angostó como más de 2 metros, los árboles de sus riberas están arrasados como por un temporal. Este caño está en terreno de aluvión muy reciente.	6. Se reporta desprendimiento lateral ( <i>"lateral spread"</i> ) de márgenes de río, con hasta 2 m de desplazamiento horizontal. Posible arrase de árboles por olas tsunamis (¿?).	(IX)	
7. El nivel de las aguas del Neverí se levantó a juzgar por uno de los caños: el de Puente Colorado. Este caño no corría desde hacía tiempo porque su embocadura, con los detritus y sustancias vegetales, quedó más alta que las	7. Desbordamiento del río Neverí como consecuencia de un <i>riverbore</i> , asociado a olas tsunamis en la desembocadura del río, de al menos 1 m de alto. Efecto	VIII		

	aguas del Neverí. Al día siguiente del movimiento seísmico y en mis exploraciones noté que dicho caño estaba corriendo en abundancia. A los pocos días volví, y ya no corría. Fui a su embocadura, y me cercioré que esta es más alta, con un metro, que el Neverí.	temporal (desaparece a los días).		
	8. Un islote situado en la desembocadura del Neverí, desapareció con el temblor.	8. Licuación o erosión por olas tsunamis en su camino tierra adentro.	(IX)	
<b>Clarines (Anzoátegui)</b>	Grandes grietas en los barrancos del río Unare	Se reporta desprendimiento lateral (" <i>lateral spread</i> ") de márgenes de río	(VIII)	VII
<b>El Hatillo (Anzoátegui)</b>	Se reportan profundas grietas en las salinetas, de donde brotaban corrientes de agua sucia.	Licuación de suelos, probablemente asociada a desprendimiento lateral.	(VIII)	
<b>Onoto (Anzoátegui)</b>	El río botó el agua 7 metros fuera de su cauce. "En él había un hombre bañándose y lo arrastraron las corrientes, escapándose milagrosamente; un muchacho que iba en un burro a cargar agua, pudo salvarse; pero el burro y los barriles fueron aprisionados por la tierra al abrirse uno de los barrancos del río".	Oscilación del espejo de agua del río ( <i>Seiche</i> ). Se reporta desprendimiento lateral (" <i>lateral spread</i> ") de márgenes de río, con grietas grandes abiertas.	(IX) (IX)	VII
<b>San Diego (Anzoátegui)</b>	Los baños de aguas calientes, que se encontraban en las inmediaciones de San Diego, de este Estado, desaparecieron con el temblor del 29.	Secado de unas fuentes termales.	(VIII)	VIII
<b>Güigüe (Carabobo)</b>	Algunos habitantes de la ribera del lago de Tacarigua (Carabobo) me han dicho que antes del terremoto del 29 vieron, hacia oriente, un fenómeno tan raro como alarmante. Consistía este en llamaradas de fuego que salían de la tierra y casi se confundían con la luna. Otras personas refieren que antes y después de los temblores, el lago estuvo tan agitado, que producía un ruido semejante al de la mar.	Fuegos fatuos.  <i>Seiche</i> en cuerpo de agua restringido. Hoy día este lago se le conoce como Lago de Valencia.	(VIII)  VI	VII
<b>Puerto Cabello (Carabobo)</b>	En el solar de Mr. Wolkmar se abrió la tierra en una larga faja	Grietas alargadas abiertas. Probablemente asociadas a desprendimiento lateral.	(VII)	VII
<b>Territorio Colón/Los Roques</b>	1. El mar se retiró mugiendo a muchos metros de la playa. Los tripulantes de las embarcaciones que han llegado a este puerto en lo que va ocurrido del día, y que navegaban en los canales de estas islas, me dicen haber oído las mismas detonaciones, al tiempo que sintieron sacudidas violentas y una agitación extraña en las aguas. 2. Se agrietó el suelo, en especial una de las islas. 3. Navegantes reportaron hundimientos de consideración	1. Se reporta ola tsunami, con retirada inicial en Gran Roque.  2. Grietas, sin más descripción. 3. Desprendimiento lateral con	(VIII)	VIII-IX

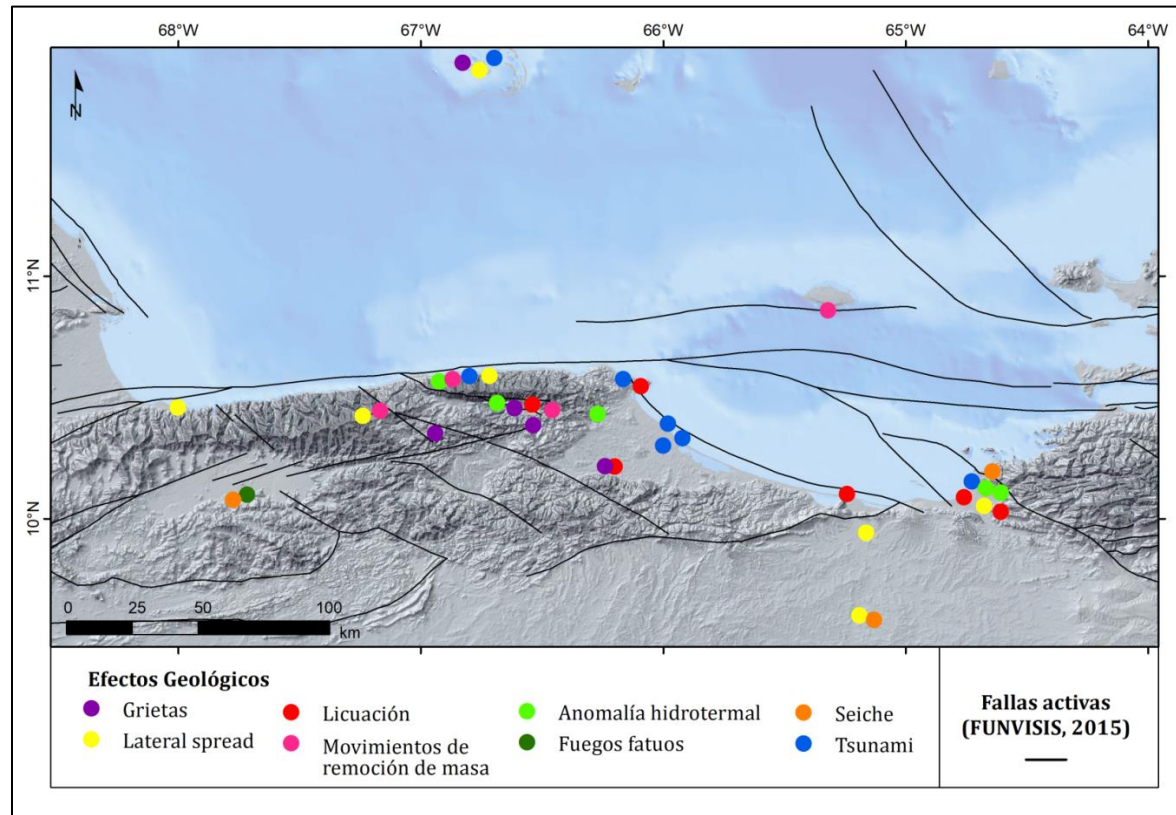
	en el islote Codazzi y la presencia, en muchas partes, de zanjas profundas, que parecen indicar que la base de la isla se ha roto en varios fragmentos; lo que basta para dar idea de la terrible violencia del sacudimiento.	hundimiento, así como grandes grietas abiertas.	(VIII)	
<b>Isla de La Tortuga</b>	En la isla "La Tortuga" se cayó un pedazo de serranía	Movimientos de remoción de masa, sin precisar dimensiones. Puede ser de tamaño considerable, en la parte sur de la isla.	(VIII)	VII-VIII
<b>Capaya (Miranda)</b>	Se observaron "Borbollones de agua"	Anomalía hidrotermal o simple escape de agua, gas y/o sedimentos (Licuación).	(VIII)	VIII
<b>Carenero (Miranda)</b>	Por todas partes se han abierto zajones que brotan una agua negra y hedionda á azufre. Entre Paparo y Carenero, en un espacio de cinco leguas, brotaron pozos, más o menos grandes, de un líquido bituminoso, que en algunos lugares han formado pequeñas lagunas. El hundimiento de la estación y de varias casas, sin mencionar expresamente inundación.	Licuación de suelos, en asociación a desprendimiento lateral (grandes grietas o zajones), con hundimiento de construcciones.	(IX)	VIII
<b>Caucagua (Miranda)</b>	Grietas en el camino de Guatire a Caucagua	Se reportan sólo grietas. Pueden estar asociadas a movimientos de remoción en masa y/o desprendimiento lateral de rellenos viales.	(VII)	VIII
<b>Guarenas (Miranda)</b>	1. Por todas partes se han formado manantiales de aguas que por sus caracteres, pueden ser suponerse sulfurosas, 2. También se ha sabido que en las altas montañas de "Los Mariches", punto fronterizo a los indicados Guarenas y Guatire, se han abierto grandes grietas, y algunas de notable profundidad, en una de las cuales brotó una gran fuente de agua cristalina, cuya temperatura no tuvo el cuidado de comprobar el observador uno de los principales propietarios de aquellos lugares.	1. Nuevas surgencias de agua. 2. Grietas grandes y muy abiertas (considerable profundidad). También alguna de ellas con surgencia de aguas cristalinas.	(VIII) (VIII)	IX
<b>Guatire (Miranda)</b>	1. Un testigo informó que en el camino de Guatire a Caracas habían aparecido al menos 26 grietas transversales largas y estrechas 2. El mismo testigo señaló que en varios puntos del terreno se abrieron manantiales y pequeños volcanes de agua, pero que él no los había visto personalmente. 3. se han formado manantiales de aguas que por sus caracteres, pueden ser sulfurosas. 4. Otro testigo señala no haber visto las grietas, sino derrumbes describiéndolos como "algunos pedazos de	1. Grietas numerosas largas pero de pequeña apertura. 2. Licuación y/o nuevas surgencias de agua. 3. Nuevas surgencias de agua. 4. Movimientos de remoción en masa, que no parecen ser de grandes	VIII VIII (IX) VII	IX



	cerro desprendido, pero que eso no se puede llamar grietas", 5. También se ha sabido que en las altas montañas de "Los Mariches", punto fronterizo a los indicados Guarenas y Guatire, se han abierto grandes grietas, y algunas de notable profundidad, en una de las cuales brotó una gran fuente de agua cristalina, cuya temperatura no tuvo el cuidado de comprobar el observador uno de los principales propietarios de aquellos lugares, 6. Las aguas de los ríos abundaron y hay vertientes, tenidas hasta aquella fecha como secas que están corriendo abundantemente desde entonces.	dimensiones. 5. Grietas grandes y muy abiertas (considerable profundidad). También alguna de ellas con surgencia de aguas cristalinas. 6. Nuevas surgencias de agua, transformada en escorrentía en vertientes.	VIII	
<b>Panaquire (Miranda)</b>	En varios lugares de las cercanías de este pueblo se han abierto grietas de 300 y más metros de longitud; de estas aberturas se desprende una arena fangosa y negra que desprende un fuerte olor a azufre. Hay lugares en que esta materia ha formado capas de más de una cuarta de espesor a la orilla de las grietas y en largo trayecto	Licuación de suelos, en asociación a desprendimiento lateral (extensas grietas; > 300 m de largo). El material licuado ocasionalmente supera los 15 cm de espesor.	<b>(VIII)</b>	<b>VII</b>
<b>Paparo (Miranda)</b>	1. Una parte del pueblo de Paparo se hundió en el agua, quedando las casas sólo con la mitad afuera, 2. Entre Paparo y Carenero, en un espacio de cinco leguas, brotaron pozos, más o menos grandes, de un líquido bituminoso, que en algunos lugares han formado pequeñas lagunas	1. <i>Riverbore</i> asociado a ola tsunami, que conllevó el desbordamiento del río e inundación del pueblo en más de 1 m de alto en las márgenes del río. 2. Licuación de suelos.	<b>(VIII)</b> <b>(VIII)</b>	<b>VIII-IX</b>
<b>Puerto Tuy (Miranda)</b>	Olas tsunami. Anegados los almacenes del Ferrocarril Carenero. Según el testigo la ola alcanzó la altura de 10 m.	Ola Tsunami de hasta 10 (?) m de altura. Valor ampliamente discutido por Audemard y Leal (2017).	<b>(IX)</b>	<b>VIII</b>
<b>San Diego de los Altos (Miranda)</b>	Se abrió una zanja extensísima que desde Los Ocumitos pasa por la Capilla del Naranjal.	Grietas de gran extensión con hundimiento e importante apertura.	<b>(VIII)</b>	<b>VIII</b>
<b>San José de Río Chico (Miranda)</b>	Media hora después del cataclismo crecieron las aguas de los ríos sin que antes ni después de aquel aciago momento hubiese llovido en sus lechos. Las mismas huellas del movimiento giratorio de los horcones, se observan en los árboles, que han quedado además torcidos y defectuosos	<i>Riverbore</i> asociado a ola tsunami, que conllevó al desbordamiento del río. Árboles y horcones (de cerca?) perdieron la vertical y se torcieron.	<b>(IX)</b>	<b>VIII</b>

<b>La Guaira (Miranda)</b>	1. En los siguientes puntos de La Guaira: Quebrada de El Cardonal, en Quebrada Seca, Caraballeda, en los tablonces de caña de Juan Díaz y en algunas otras quebradas de aquellos lugares, han brotado grandes cantidades del agua sulfurosa.	1. Varias surgencias de agua sulfurosa	(IX)	VII
	2. En el río Aguas Calientes perecieron los peces a causa de la elevada temperatura del agua.	2. Anomalía hidrotermal	(IX)	
	3. El Capitán del Philadelphia, que arribó a La Guaira el 29 del pasado, antes de las 11, dice que sintió abordo la onda seísmica, a sesenta y siete millas de distancia de dicho puerto; y que en el primer momento llegó a creer que había chocado con algún arrecife.	3. Marejada (¿?) sentida a bordo de barco en mar abierto (67 millas de la costa; a unos 120 km).	VIII	
	4. Derrumbe de gran parte del Cerro Vueltas Blancas, en una extensión de cien metros, entre el Ojo de Agua y Guaracarumbo, inutilizando la carretera Caracas-La Guaira y estorbando el tránsito del ferrocarril. Otro derrumbe "de consideración" reportado en el sitio Los Valleros, en el recorrido del Ferrocarril.	4. Movimiento de remoción en masa (derrumbe) de unos 100 m de largo. Se reporta un segundo también.	VIII	
<b>Macuto (La Guaira)</b>	En el pueblo de Macuto del Distrito Federal se acentuó la ruidosa y turbulenta sacudida con considerable número de víctimas; y como en La Guaira, capital del Distrito Vargas, no causó la conmoción desastre de alta importancia, consideramos la exacerbación del fenómeno en el primer punto como un acontecimiento de carácter distinto al juicio que venimos formando, pudiendo atribuirse la causa a ese otro fenómeno que lleva el nombre de <i>Ras de morée</i> , o sea levantamiento de las aguas del mar, acciones físicas y químicas combinadas con fuerzas eléctricas, que hacen siempre grandes desastres en las costas en que se desarrolla aquel fenómeno. El término correcto es <i>raz de marée</i> , sinónimo de <i>maremoto</i> "marejada sísmica".	Olas Tsunami, sin proporcionar altura de las mismas ni distancia de penetración o invasión.	(VIII)	IX
	El cura de Macuto señalo que "Los baños de agua dulce, están en su mayor parte agrietados, y el temor o el miedo priva de ir a ellos. Los baños de mar, necesitan una mano fuerte que haga sentir el Caribe altivo que ése es el lugar donde encuentra salud el enfermo, y que debe respetar la valla que le han puesto"	Varias grietas afectando baños de agua dulce, sin proporcionar dimensión alguna ni el material afectado.	(VIII)	
<b>Camurí Grande</b>	Desde el frente de El Peñón hasta la quebrada de Los Guamachos, se abrió una grieta como de dos metros de	Extensa grieta, asociada a desprendimiento lateral	(IX)	VII

<b>(La Guaira)</b>	ancho por dos y medio de profundidad.		
<b>Petaquire</b>	En Petaquire, en la Montaña Grande, se derrumbó un farallón que arrasó como 15 cuadras de montaña, <i>Una cuadra equivale a unos 6400 m<sup>2</sup>.</i>	Derrumbe de grandes dimensiones.	(X)
<b>(La Guaira)</b>	y en El Pedregal hay una grieta de más de tres cuadras en el camino. <i>Una cuadra equivale a unos 100 m de longitud.</i>	Grieta de gran extensión afectando vialidad (desprendimiento lateral?).	IX IX



**Figura 4.** Mapa de distribución de los efectos geológicos cosísmicos generados por el sismo de 1900.

Gracias a la gran cantidad de efectos geológicos registrados en las fuentes primarias para el sismo de 1900 y siguiendo la clasificación de la escala de Intensidad Sísmica Ambiental ESI 2007 (Michetti *et al.*, 2007; Audemard *et al.*, 2015) fueron descritos y categorizados los efectos geológicos registrados para el evento de 1900 en efectos primarios y efectos secundarios.

### Efectos primarios

Estos efectos describen efectos regionales mayores expresando la longitud de ruptura total de la falla y desplazamiento máximo, así como subsidencias y levantamientos importantes. En nuestro caso, el sismo de 1900 como se mencionó anteriormente, es un evento con epicentro costa afuera, por ello, los efectos primarios generados por este evento no pueden ser identificados fácilmente. Sin embargo, estudios geofísicos marinos recientes (Colón *et al.*, 2015) han podido describir y estimar una ruptura de la falla generadora de este evento, la cual se estima de aproximadamente unos 150 km de longitud con un posible movimiento vertical de aproximadamente 1,5m, muy cercana a la línea de costa (**Figura 3**), lo cual juntos con los valores de magnitud macrosísmica obtenidos de  $7,54 \pm 0,31 M_w$  por Vásquez *et al.* (2018), y los efectos vistos en tierra registrados cercanos a la costa nos permite inferir que las intensidades serán de alrededor de IX, reflejando probablemente este valor como el de máxima intensidad macrosísmica (epicentro macrosísmico).

### Efectos secundarios

Esta categoría de efectos describe a aquellos originados o inducidos por el sismo sobre los sedimentos o el macizo rocoso, tales como los movimientos de remoción de masas, licuación del suelo, grietas, etc. (**Figura 4**). En nuestra área de estudio, los efectos secundarios registrados están en los puntos de intensidad que abarcan (**Figura 5**):  
VII (DAÑINO): Efectos apreciables sobre el ambiente  
VIII (MUY DAÑINO): Efectos considerables sobre el ambiente  
IX (DESTRUCTIVO): Los efectos en el ambiente son generalizados, constituyendo una fuente de peligrosidad considerable, y empieza a ser importantes para la determinación de la intensidad.

#### *Grietas en el terreno*

Este fenómeno es uno de los más extendidos en el área de afectación por este sismo, el cual podría ser asociado con desprendimiento lateral (*lateral spread*)

de terreno en zonas de playas y márgenes de ríos, donde Barcelona y las costas de La Guaira son claros testigos de este fenómeno. Se presentan casos de importantes grietas en ciudades como Caucagua, Guarenas, Guatire que podrían vincularse a inestabilidades de terreno (deslizamientos) asociadas posiblemente a zonas de relleno. Adicionalmente se presentaron grietas con ~300m de longitud de las cuales según las descripciones se desprendía arena fangosa y negra con un fuerte olor a azufre, asociadas a posible licuación de suelos como es el caso de la localidad de Panaquire.

#### *Movimientos de remoción de masas*

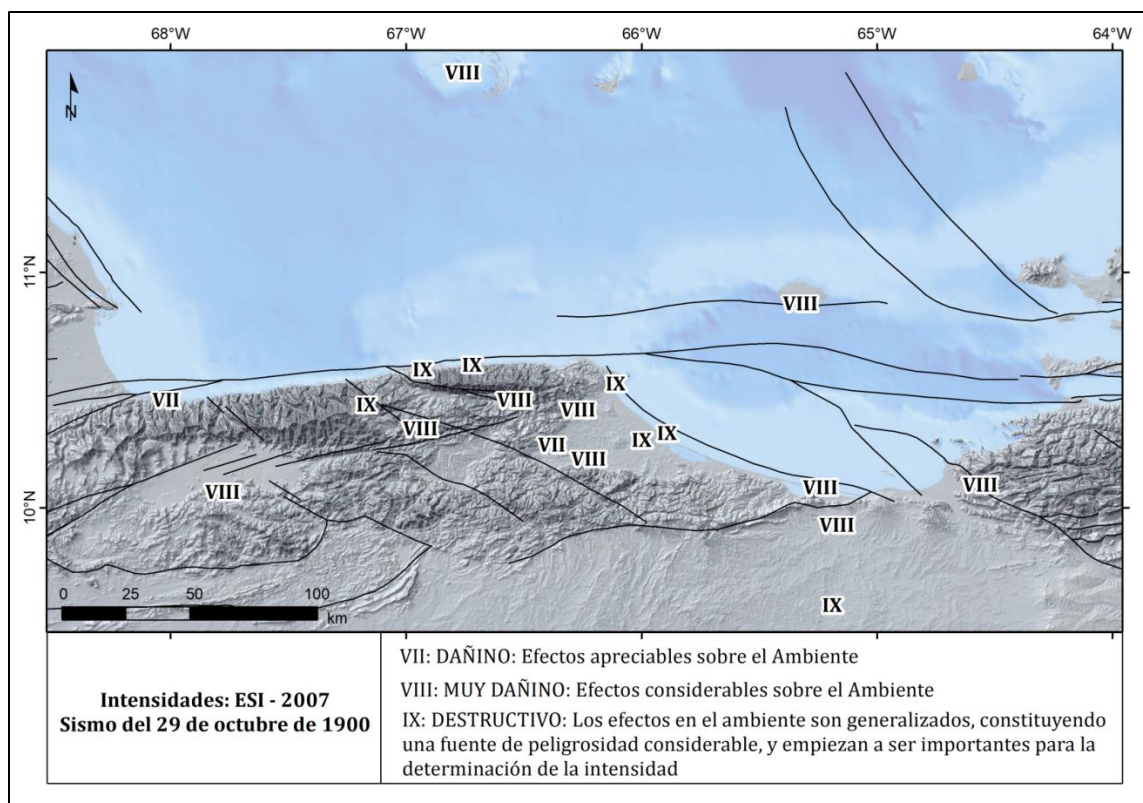
De esta categoría se presentan aislados, pero de igual forma ampliamente distribuidos en la zona. En la costa de Barcelona, las islas de la Tortuga y Los Roques se reportan desprendimiento de rocas, así mismo en la vía de Guarenas-Caucagua posiblemente por inestabilidades del terreno. Asimismo, en La Guaira se registraron importantes deslizamientos en la carretera Caracas-La Guaira y uno de gran magnitud, de unos 96000m<sup>2</sup>, en la población de Panaquire.

#### *Licuación*

Cercano a la zona epicentral, a lo largo de la costa entre La Guaira y Barcelona, así como algunos casos aislados (ej., Guarenas), se presenta este fenómeno. Según la descripción del fenómeno, podría presentarse de diferentes formas y dimensiones: como grietas importantes en el terreno de donde podían surgir líquidos fangosos o bituminosos y en forma de volcanes de arenas de varios tamaños.

#### *Oleaje anómalo y tsunamis*

Otros de los fenómenos importantes, está asociado con oleaje anómalo. Se tiene el registro de oscilación de cuerpos cerrados, fenómeno denominado *Seiche* en las localidades de Onoto y Güigüe, al sur del Lago de Valencia. Aparentemente es un fenómeno común en este sector porque a causa del sismo de Caracas de 1967 se ha reportado dicho efecto en el lugar. En este mismo sentido, se presentó el fenómeno de tsunami en la mayoría de la costa y en la Isla de Los Roques; con una altura de ola descrita de aproximadamente unos 10m en Puerto Tuy. Se presentaron así mismo los efectos sobre el litoral como consecuencia de este oleaje anómalo. También, se ha descrito el efecto de *riverbore* en San José de Río Chico, en Paparo, y en Barcelona, causando entonces inundaciones y desbordamiento de ríos.



**Figura 5.** Mapa de distribución de intensidades calculadas usando la escala de intensidades ESI-2007 a partir de los efectos geológicos cosísmicos generados por el sismo de 1900.

#### *Anomalía hidrotermal*

Se presentan estas anomalías en primer lugar con inusuales surgencias y desaparición de escorrentías en Guarenas - Guatire. El secado de fuentes termales se presenta en el oriente del país (San Diego de Anzoátegui, Barcelona), mientras en Capaya y La Guaira se describieron aparición o surgencias de aguas sulfurosas, así como escape de gases. En este mismo orden de ideas, se registraron fenómenos en forma de pequeñas llamas sobre la superficie del Lago de Valencia, lo que interpretamos como fuegos fatuos, que corresponde a la inflamación de gases desprendidos por materia orgánica en descomposición originadas en este caso, por la repentina sacudida del suelo en el lugar.

#### **DISCUSIÓN**

La distribución de los efectos geológicos cosísmicos cubre ampliamente la región central del país, muy cercanos a la línea de costa, en proximidad del epicentro marino establecido por los autores que han estudiado este evento (Fiedler, 1961, 1968, 1988; Centeno Graü, 1969; Jakubowicz & Larotta, 1974; Lugo, 1984; Audemard, 2002; Palme *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2006; Colón *et al.*, 2015; Audemard y Leal, 2017; Leal *et al.*, 2018) con la excepción de

Sievers (1905) que lo coloca en tierra firme, en Barlovento (Palme *et al.*, 2009). Asimismo, se tiene que en algunas localidades, los efectos de este sismo están ligados a las condiciones geológicas del lugar que juegan un papel importante para la distribución de estos daños locales. Esto particularmente concierne a las áreas donde se presentan sedimentos poco consolidados, lo cual implica que son fácilmente licuables o aquellos susceptibles a movimientos de remoción de masa. Por lo tanto, esta distribución de efectos geológicos constituye una herramienta poderosamente útil en la evaluación del riesgo sísmico, y el mapeo de estos contribuye a la planificación urbana. Esto implica la identificación de áreas vulnerables en términos de efectos de sitio, especialmente en algunos centros urbanos (por ejemplo: Guarenas-Guatire) y ciudades en expansión.

En nuestro estudio generamos el primer mapa de efectos geológicos (Figura 4) y de intensidades (Figura 5) siguiendo los criterios de la escala de intensidad ESI 2007 para un evento sísmico de Venezuela, donde se identificaron en tierra un área de aproximadamente 30mil km<sup>2</sup> de efectos secundarios en tierra y debemos adicionar a ello las islas de Los Roques y La Tortuga. Los valores de intensidad máxima obtenida es de IX, esto acorde con un evento

de esta magnitud y comparando con los valores obtenidos por Leal *et al.* (2018), utilizando la Escala Mercalli Modificada 98, obtuvimos una concordancia general entre ambas escalas, con diferencias en un grado de intensidad (sólo en 2 ocasiones en dos grados), donde 11 mayores en ESI 2007, 5 mayores en MMI y 6 iguales. Las mayores intensidades obtenidas fueron interpretadas en las poblaciones ubicadas a lo largo de la costa donde se registraron efectos importantes de licuación, tsunami, movimientos de remoción de masa y grietas vinculadas a *lateral spread*. Algunas ciudades lejanas a la costa presentaron estas mismas intensidades y efectos geológicos como es el caso de Guarenas-Guatire (Miranda) y Onoto del Estado Anzoátegui. En Güigüe (Sur del Lago de Valencia) se presentó el efecto de lateral spread, el cual fue identificado y reportado asimismo para el sismo de 1967 (De Santis *et al.*, 1989; Audemard, 1998 y Rodríguez *et al.*, 2006). Esta condición local de sitio debe ser considerada para estudios de amenaza sísmica para estas ciudades y su consecuente planificación urbana.

## CONCLUSIONES

Las poblaciones que resultaron ser más afectadas por efectos geológicos son Barcelona, Onoto, Carenero, Guarenas-Guatire, Puerto Tuy, San José de Río Chico, La Guaira, Camurí Grande y Petaquire con intensidad máxima de IX. Los efectos predominantes en estas poblaciones son grandes grietas asociadas a procesos de *lateral spread*, movimientos de remoción en masa, nuevas surgencias de aguas y anomalías hidrotermales, licuación y finalmente tsunamis.

Complementando los valores obtenidos a través de la evaluación realizada por Leal *et al.* (2018), utilizando la Escala Mercalli Modificada (1956), los valores de intensidad máxima obtenidos con ESI 2007 parecen corresponder efectivamente (**Tabla 1**). Estas escalas, guardando las diferencias de los aspectos que considera cada una para la valoración de las intensidades, permiten mejorar los criterios a considerar en el cálculo de intensidad macrosísmica utilizando la escala ESI 2007 en futuras investigaciones.

Los mayores efectos geológicos cósmicos registrados para el sismo de 1900 presentan una distribución espacial en dirección este-oeste en la región central del país, con la mayor intensidad en las poblaciones cercanas a la costa, lo cual permite ratificar junto con las estimaciones realizadas por Leal *et al.* (2018), a la falla San Sebastián como posible responsable de este evento.

Toda esta información, permite considerar que es un evento fundamental para evaluar la amenaza sísmica en la región central de Venezuela, así como para

estudiar en mayor detalle los aspectos sismológicos y efectos de sitio en las ciudades mayormente afectadas por este evento.

Se recomienda ampliamente el uso de la escala ESI 2007 para el cálculo de intensidades de sismos históricos que presenten información sustancial de efectos geológicos en Venezuela.

## REFERENCIAS

- AUDEMARD, F. A., 1993. Néotectonique, Sismotectonique et Alea Sismique du Nord-Ouest du Vénézuéla (Système de failles d'Oca-Ancon). PhD thesis. Université Montpellier II, France, p. 369 + appendix.
- AUDEMARD, F. A., 1998. Soil liquefaction during the Caracas 1967 and Boca de Tucuyo 1989 earthquakes, Venezuela: its significance for human settlements on active alluvial areas and coastlands. In: Proceedings of the XV Caribbean Geological Conference, Kingston, Jamaica.
- AUDEMARD, F. A., 2002. Ruptura de los grandes sismos históricos venezolanos de los siglos XIX y XX revelados por la sismicidad instrumental contemporánea. In: XI Congreso Venezolano de Geofísica, p. 8 (formato CD).
- AUDEMARD, F. A., 2014. Block tectonics in and around the Caribbean: a review. In: SCHMITZ, M., AUDEMARD, F. A., URBANI, F. (Eds.), The North-eastern Limit of the South American Plate-lithospheric Structures from Surface to the Mantle, pp. 29-77 (Chapter 2 GEODINOS Project).
- AUDEMARD, F. A., 2019. Investigaciones Marinas y Costeras Desarrolladas por Funvisis a fin de Mejorar la Estimación de la Amenaza por Sismos y Tsunamis. Boletín de la Academia de la Ingeniería y el Hábitat, 42: 893-930.
- AUDEMARD, F. A. & DE SANTIS, F., 1991. Survey of liquefaction structures induced by recent moderate earthquakes. Bulletin IAEG/AIGI, N°44. 5-16. doi: 10.1016/0148-9062(92)92820-3
- AUDEMARD, F. A. & LEAL, A., 2013. Local tsunamigenic earthquakes in northeastern Venezuela, in the southern Caribbean realm. 8<sup>th</sup> International Conference on Geomorphology, Paris, Francia, 28-31 agosto 2013.
- AUDEMARD, F. A. & LEAL, A., 2014. Local tsunamigenic earthquakes off northeastern Venezuela, in the southern Caribbean realm. IASPEI - Regional Assembly Latin American and Caribbean Seismological Commission – LACSC- y III Congreso Latinoamericano de Sismología, Bogotá, Colombia. July 23-25, 2014.

- AUDEMARD, F. A. & LEAL, A., 2015. Reliability of first-hand accounts on the study of past tsunami events in northeastern Venezuela (southeastern Caribbean Sea), since 1530 AD. *Miscellanea INGV* 27, 25-28 (Extended Abstract).
- AUDEMARD, F. A. & LEAL, A. 2017. Reliability of first-hand accounts on the study of historical tsunamis in northeastern Venezuela (southeastern Caribbean Sea). *Annals of Geophysics*. 60 (6). doi: 10.4401/ag-7437.
- AUDEMARD, F. A. & MICHETTI, A.M., 2011. Geological criteria for evaluating seismicity revisited: 40 years of paleoseismic investigations and the natural record of past earthquakes. In AUDEMARD, F. A., MICHETTI A. M. & MCCALPIN, J. (eds.) Geological criteria for evaluating seismicity revisited: 40 years of paleoseismic investigations and the natural record of past earthquakes, *GSA Special papers* N°479, Boulder. 1-21. doi:10.1130/2011.2479(00).
- AUDEMARD, F. A., GLIMSDAL, S. & LEAL, A., 2014. Local historical tsunamis along Northeastern Venezuela, Southern Caribbean: tectonic and/or mass wasting induction? First modeling results of strike-slip generation. *International Workshop «Mega Earthquakes and Tsunamis in Subduction Zones—Forecasting Approaches and Implications for Hazard Assessment»*, Rhodes Isl., Greece, 6-8 October, 2014.
- AUDEMARD, F. A., LEAL, A. & PALME, C., 2012. “Testimonios históricos de terremotos locales tsunamigénicos en el oriente venezolano”. *Memorias de las VI Jornadas de Sismología Histórica*, 26 al 28 de marzo, Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas: Caracas (Resumen).
- AUDEMARD, F. A., ROMERO, G., RENDON, H. & CANO, V., 2005. Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions. *Earth Sci. Rev.* 69, 181-233.
- AUDEMARD, F. A., MACHETTE, M.N., COX, J.W., DART, R.L. & HALLER, K.M., 2000. Map and Database of Quaternary Faults in Venezuela and Its Offshore Regions. U.S. Geological Survey. Open-File Report 00e018.
- AUDEMARD, F. A., AZUMA, T., BAIOTTO, F., BLAIZE, S., BLUMETTI, A.M., BRUSTIA, E., CLAGUE, J., COMERCI, V., ESPOSITO, E., GUERRIERI, L., GÜRPINAR, A., GRÜTZNER, C., JIN, K., KIM, Y.S., KOPSACHILIS, V., LUCARINI, M., MCCALPIN, J., MICHETTI, A., MOHAMMADIOUN, B., MÖRNER, N. A., OKUMURA, K., OTA, Y., PAPATHANASSIOU, I., PAVLIDES, S., PÉREZ-LÓPEZ, R., PORFIDO, S., REICHERTER, K., RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., ROGOZHIN, E., SCARAMELLA, A., SERVA, L., SILVA, P., SINTUBIN, M., TATEVOSSIAN, R. & VITTORI, E., 2015. Earthquake Environmental Effect for seismic hazard assessment: the ESI intensity scale and the EEE Catalogue. *Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia – vol. 97*. ISPRA, Servizio Geologico D’Italia. 181 pp.
- CENTENO GRAÜ, M., 1969. *Estudios Sismológicos*, Caracas: Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales.
- COLÓN, S., AUDEMARD, F. A., BECK, C., ÁVILA, J., PADRÓN, C., DE BATIST, M., PAOLINI, M., LEAL G., A. & VAN WELDEN, A., 2015. The 1900 M 7.6 Earthquake Offshore North-central Venezuela: Is La Tortuga or San Sebastian the Source Fault? *Marine and Petroleum Geology*, 67: 498-511.
- DE ROSSI, M.S., 1883. Programma dell’osservatorio ed archivio centrale geodinamico. *Bollettino Vulcanologia Italiana* 10, 3e24 (and 67e68).
- DENGLER, R. & MCPERSON, L., 1993. The 17 August 1991 Honeydew Earthquake, north coast California: A case for revising the Modified Mercalli Scale in sparsely populated areas. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(4): 1081-1094.
- DE SANTIS, F., SINGER, A. & AUDEMARD, F. A., 1989. Manifestaciones de «lateral spread» en el delta lacustre de Güigüe, costa del sur del Lago de Valencia, durante el Terremoto de Caracas del 29-07-1967. *Memorias. VII Congreso Geológico Venezolano*, Barquisimeto 3: 1123 - 1236.
- ESPOSITO E., PORFIDO S., MASTROLORENZO G., NIKONOV A.A. & SERVA L., 1997. Brief review and preliminary proposal for the use of ground effects in the macroseismic intensity assessment. *Proceedings 30th International Geological Congress, Beijing, China, vol 5. Contemporary lithospheric motion seismic geology, the Netherlands*, VSP ed., ISBN: 90-6764-269-X, 233-243.
- FIEDLER, G., 1961. Áreas afectadas por terremotos en Venezuela, Ponencia presentada en el III Congreso Geológico Venezolano, Caracas, Venezuela.
- FIEDLER, G., 1968. Estudio Sismológico de la Región de Caracas con relación al terremoto del 29 de julio de 1967, *Bol. Inst. Materiales y Modelos Estructurales*, 23-24: 127-222.
- FIEDLER, G., 1988. Preliminary evaluation of the large Caracas earthquake of October 29, 1900” In: Lee, W., H. Meyers and K. Shimazaki (Editors) *Historical seismograms and earthquakes of the world, 201-207*. Academic Press: San Diego.

- GUERRIERI, L. & VITTORI, E., 2007: Intensity scale ESI 2007, Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, 74, Servizio Geologico d'Italia, APAT, Rome, 41 p.
- GRUNTHAL, G. (ED.), 1998. European Macroseismic Scale 1998 EMS-98. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, N° 15, Luxembourg (Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie), 101 p.
- HESS, H. & MAXWELL, J., 1953. Caribbean research project. Bull. Geol. Soc. Am. 64, 1-6.
- JAKUBOWICZ, E. & LAROTTA, J., 1974. Terremoto del 29 de octubre de 1900. Boletín Técnico del IMME, 11(47), 23-47
- LEAL G., A., 2018. Contra temblores. Lecciones urbanas del sismo de San Narciso del 29 de octubre de 1900, en la ciudad de Caracas. Tesis doctoral, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela.
- LEAL, A., VÁSQUEZ, R., RODRÍGUEZ, J. A., & AUDEMARD, F. A., 2017. Análisis macrosísmico del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. XI CONVESIS, Caracas, Venezuela, 17-19/07/2017.
- LEAL G., A., VÁSQUEZ S., R., RODRÍGUEZ, J. A. & AUDEMARD, F. A., 2018. Reevaluación del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. Primera parte: estimación de intensidades. GEOMINAS, 77: 139-154.
- LEKKAS, E., EMMANUEL, A., KOSTAKI, I. & KAPOURANI, E., 2013. A proposal for a new Integrated Tsunami Intensity Scale (ITIS-2012). The Bulletin of the Seismological Society of America. 103: 1493-1502. 10.1785/0120120099.
- LUGO, 1984. Metodología para la reevaluación macrosísmica de sismos históricos: el caso del terremoto de Caracas del 29 de octubre de 1900, Ponencia presentada en el IV Congreso venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Barquisimeto, Venezuela.
- MERCALLI, G., 1902. Intensity scale. Bollettino della Società Sismologia Italiana 8,184-191.
- MICHETTI, A. M., ESPOSITO, E., GÜRPINAR, A., MOHAMMADIOUN, B., MOHAMMADIOUN, J., PORFIDO, S., ROGOZHIN, E., SERVA, L., TATEVOSSIAN, R., VITTORI E., AUDEMARD, F. A., COMERCI, V., MARCO, S., MCCALPIN, J. & MÖRNER, N. A., 2004. The INQUA Scale: an innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically-induced ground effects in natural environment. APAT, Dipartimento Difesa del Suolo, Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol. LXVII, Rome, Italy. Special paper. 113 pp.
- MICHETTI, A. M., AUDEMARD, F. A., AZUMA, T., CLAGUE, J., COMERCI, V., ESPOSITO, E., GUERRIERI, L., GÜRPINAR, A., MCCALPIN, J., MOHAMMADIOUN, B., MÖRNER, N. A., OTA, Y., PORFIDO, S., ROGOZHIN, E., SERVA, L., TATEVOSSIAN, R. & VITTORI, E., 2007. INQUA Environmental Seismic Intensity Scale 2007 – ESI 2007-. 19 pp ([http://www.apat.gov.it/site/en-GB/Projects/INQUA\\_Scale/](http://www.apat.gov.it/site/en-GB/Projects/INQUA_Scale/)).
- MICHETTI A. M., ESPOSITO, E., GUERRIERI, L., PORFIDO, S., SERVA, L., TATEVOSSIAN, R., VITTORI, E., AUDEMARD, F., AZUMA, T., CLAGUE, J., COMERCI, V., GÜRPINAR, A., MCCALPIN, J., MOHAMMADIOUN, B., MÖRNER, N. A., OTA, Y. & ROGOZHIN, E., 2010. Escala Medio-ambiental de Intensidad Sísmica ESI-2007 INQUA, Madrid: Grupo Español de Trabajo de la Asociación Española para el Estudio del Cuaternario, AEQUA.
- MERCALLI, G., 1902. Intensity scale. Bollettino della Società Sismologia Italiana 8, 184-191.
- MUSSON, R.W.M., GRUNTHAL, G. & STUCCHI, M. 2010. The comparison of macroseismic intensity scales. Journal of seismology, 14: 413-428.
- PALMA, M., AUDEMARD, F. A. & ROMERO, G., 2010. New focal mechanism solutions for Venezuela and neighbouring areas 2005-2008: importance of the National Seismological Network's density and distribution. Rev. Tec. Ing. Univ. Zulia 33 (2), 108-121.
- PALME DE OSECHAS, C., MORANDI S., M. T. & CHOY, J., 2005. Re-evaluación de las intensidades de los grandes sismos históricos de la región de la cordillera de Mérida utilizando el método de Bakun y Wentworth Revista Geográfica Venezolana, 46: 233-253.
- PALME, C., CHOY, J. & GUADA, C., 2009. Wilhelm Sievers y el terremoto del 29 octubre de 1900, reflexiones preliminares. Proceedings V Jornadas Venezolana de Sismología Histórica, Mérida, Venezuela.
- PÉREZ, O. J., BILHAM, R., BENDICK, R., HERNÁNDEZ, N., HOYER, M., VELANDIA, J. R., MONCAYO, C. & KOZUCH, M., 2001a. Velocidad relativa entre las placas del Caribe y Sudamérica a partir de observaciones dentro del sistema de posicionamiento global (GPS) en el norte de Venezuela, Interciencia, 26(2): 69-74.
- PÉREZ, O. J., BILHAM, R., BENDICK, R., VELANDÍA, J. R., HERNÁNDEZ, N., MONCAYO, C., HOYER, M. & KOZUCH, M., 2001b. Velocity field across the southern Caribbean plate boundary and estimates of Caribbean/South-American plate motion using GPS geodesy 1994–2000, Geophys. Res. Lett., 28, doi:10.1029/2001GL013183.
- PINDELL, J. L., HIGGS, R. & DEWEY, J. 1998. Cenozoic palinspatic reconstruction, paleogeographic evolution and hydrocarbon



- setting of the northern margin of South America. In: Pindell, J. y Drake, C. (eds) *Paleogeographic Evolution and Non-glacial Eustasy, Northern South America*. Society for Sedimentary Geology, Special Publications, 58, 45-85.
- POSTPISCHL, D., STUCCHI, M. & BELLANI, A., 1991. Some ideas for a databank of macroseismic data. *Tectonophysics*, 193(1-3): 215-223.
- RICHTER, C. F., 1958. *Elementary Seismology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, p. 768.
- RODRÍGUEZ, J. A. & AUDEMARD, F. A., 2003. Sobrestimaciones y limitaciones en los estudios de sismicidad histórica con base en casos venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*, Universidad de Los Andes, 44(1): 47-75.
- RODRÍGUEZ, L. M., AUDEMARD, F. A. & RODRÍGUEZ, J. A., 2006. Casos históricos y contemporáneos de licuación de sedimentos inducidos por sismos en Venezuela desde 1530. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela*, 21(3):5-32.
- SALCEDO, E. & TABARES, L. M., 2001. Sismicidad histórica una herramienta de trabajo en macrosísmica. *Memoria del VIII Congreso Colombiano de Geología*.
- SCHUBERT, C., 1979. El Pilar fault zone, northeastern Venezuela. *Brief. Rev. Tectonophysics*. 5 (2): 447-455.
- SERVA L., 1994. Ground effects in intensity scales. *Terra Nova* 6: 414-416.
- SERVA, L., ESPOSITO, E., GUERRIERI, L., PORFIDO, S., VITTORETTI, E. & COMERCI, V., 2007. Environmental effects from five historical earthquakes in southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment: contribution to INQUA EEE Scale Project. *Quaternary International* 173-174: 30-44.
- SERVA, L., 2019. History of the Environmental Seismic Intensity Scale ESI-07. *Geosciences*, 9(5), 210.
- SIEBERG, A., 1943. *Experience and Lessons on the Origin, Prevention and Elimination of Earthquake Damages*. CEI University Network (English version by CARA, M., PANZA, G.F., PASKALEVA, I., Eds.), Sofia, 2005.
- SIEVERS, W., 1905. Das Erdbeben in Venezuela vom 29, Oktober 1900, *Geographischen Vereinigung*, 35-50.
- SILVA, P.G., RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., PÉREZ-LÓPEZ, R., BARDAJI, T., LARIO, J., ALFARO, P., MARTÍNEZ-DÍAZ, J.J., REICHERTER, K., GIMÉNEZ GARCÍA, J. & GINER, J., 2008. Catalogación de los efectos geológicos y ambientales de los terremotos en España en la Escala ESI 2007 y su aplicación a los estudios paleosismológicos. *Geotemas* 2008, 6, 1063-1066.
- Reicherter, K., Michetti, A.M. & Silva, P. G., 2009. *Paleoseismology Historical and Prehistorical Record of Earthquake Ground Effects*. Geol. Soc. London Spe. Publ., Publishing Hours, London, UK, 316-324.
- SILVA, P.G., RODRÍGUEZ-PASCUA, M.A., GINER ROBLES, J.L., ÉLEZ, J., PÉREZ-LÓPEZ, R. & DÁVILA, M.B.B., 2019. Catalogue of the Geological Effects of Earthquakes in Spain Based on the ESI-07 Macroseismic Scale: A New Database for Seismic Hazard Analysis. *Geosciences*, 9, 334 p.
- SINGER, A. & AUDEMARD, F. A., 1997. Aportes de Funvisis al desarrollo de la geología de fallas activas y de la paleosismología para los estudios de amenaza y riesgo sísmico. *Publicación Especial Academia de las Ciencias Naturales, Matemáticas y Físicas*, 33: 25-38.
- STEPHAN, J.-F., 1985. Andes et chaîne caraïbe sur la transversale de Barquisimeto (Vénézuéla). Evolution géodynamique. In: *Proceedings of Symposium Géodynamique des Caraïbes*, Paris. Editions Technip, Paris, 505-529.
- VASQUEZ S., R., LEAL G., A., RODRIGUEZ, J.A. & AUDEMARD, F. A., 2018. Reevaluación del terremoto del 29 de octubre de 1900 en Venezuela. Segunda parte: cálculo de los parámetros de la fuente. *GEOMINAS*, 77: 225-237.
- WOOD, H.O. & NEUMANN, F., 1931. Modified Mercalli intensity scale of 1931. *Bulletin of the Seismological Society of America* 21: 277-283.
- YSACCIS, R., CABRERA, E. & DEL CASTILLO, H., 2000. El Sistema Petrolífero de la Cuenca de La Blanquilla, costa afuera, Venezuela. In: *VII Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Subandinas*, Caracas, 411-425.