



TOTAL

EL PROYECTO EDURIESGO:

PLATAFORMA DE APOYO A LA DOCENCIA
SOBRE TEMAS DE SEGURIDAD CIUDADANA
EN CUMANÁ, MÉRIDA Y EL MUNICIPIO
CHACAO.

**APUNTES SOBRE LA AMENAZA SÍSMICA
DEL ESTADO SUCRE**



JORGE LUIS ROJAS MSc.

CENTRO DE SISMOLÓGIA UDO.

Septiembre 2020

PRESENTACIÓN:

Este documento ha sido elaborado como parte del material divulgativo y referencia que se ofrece en la de la Plataforma de Apoyo a la Docencia sobre Temas de Seguridad Ciudadana EDURIESGO V3.0, una iniciativa desarrollada por el Centro de Investigación en Gestión Integral de Riesgos CIGIR y que fue posible gracias al financiamiento de la Gerencia de Responsabilidad Social de la empresa Total Oil & Gas Venezuela.

El objetivo de este documento es el de divulgar aspectos relevantes asociados a la caracterización de los niveles de amenaza sísmica que han sido definidos para el estado Sucre (Venezuela), y la elaboración del mismo ha sido confiada al Profesor Jorge Luis Rojas, distinguido investigador y académico venezolano adscrito al Centro de Sismología de la Universidad de Oriente y radicado en la ciudad de Cumaná.

Las conclusiones y recomendaciones que son planteados en este informe se basan esencialmente en los esfuerzos de investigación documental, en diversas consultas a expertos y en la propia experiencia del autor de este trabajo, de allí que cualquier observación o recomendación que se pudiera hacer en procura de mejorar el contenido de este documento, será transmitida directamente a sus autores.



www.cigir.org.ve

Introducción

A lo largo de la historia, el sucrense ha sentido la energía de la naturaleza en forma de terremoto, las principales poblaciones del estado han sido impactadas por este evento adverso. Tal como lo demuestra los registros de sismicidad en el País, el estado Sucre es parte de la zona con mayor actividad sísmica, y los daños que han acarreados los terremotos en dicha entidad federal, son muy frecuentes.

La anterior afirmación, es el fundamento para que la norma sismorresistente en Venezuela ubique a esta entidad federal como la zona de mayor peligrosidad sísmica, zona 7, el de mayor valor en el País. Producto de la manifestación frecuente de los sismos, hasta ahora conocemos que la historia de sus pueblos está ligada al historial sísmico en Venezuela. Todavía permanece en la memoria de los sucrense, el terremoto ocurrido el 09 de julio de 1997, el cual es el más contemporáneo en Venezuela, que generó colapso de edificaciones en Cariaco y Cumaná, Terremoto de Cariaco, acarreado 122 muertos, más de 600 heridos, 2000 viviendas destruidas, y más 100 millones de dólares en pérdidas (Rangel et al., 1999).

Desde la entrada en vigencia de la norma sismorresistente en Venezuela (COVENIN 1756-2001), hasta la actualidad han transcurridos más de dos décadas y es necesario incorporar estudios que han tomado en cuenta a esta entidad federal, los cuales, se han realizado con más detalle y a menor escala que permiten que se pueda caracterizar la amenaza sísmica, teniendo en cuenta las condiciones geomorfológicas de los suelos y evidencias arrojadas por estos eventos telúricos.

Indudablemente que la mayor amenaza socio natural presente en el estado, es la sísmica, pero es necesario caracterizar y detallar el nivel de la misma, teniendo en cuenta cada uno de los Municipios que conforman la geografía sucrense, y sus condiciones geomorfológicas, que son las que intervienen en el proceso de generación de víctimas y daños, y así lograr una estimación del riesgo sísmico de la entidad, es por ello, que es de suma utilidad estimar la Amenaza Sísmica presente en el estado Sucre.

Interacción de Placas Tectónicas

La parte más superior de la corteza terrestre, la podemos aproximar a cuerpos rígidos rectangulares que se denominan Placas Tectónicas, y las mismas interactúan, porque la tierra está en constante evolución y expansión. Udías, 1999. En nuestro planeta existen algunas 10 principales placas tectónicas, véase figura 1. El norte de Venezuela se encuentra en la zona de influencia de la interacción entre las placas tectónicas Caribe y Suramérica, la cual genera los sistemas de fallas Boconó – San Sebastián – El Pilar, originando los principales terremotos ocurridos en nuestro país. Pérez y Mendoza, 1998.

Toda la actividad sísmica superficial ocurrida en el estado Sucre, confirma que la relación entre las Placas Tectónicas Caribe y Suramérica es lateral (Dextral), tal como se muestra en la figura 1C. Russo et all 1992. Al este del estado Sucre, ocurre otro tipo de interacción entre ambas placas, la Subducción, producto de un desgarramiento litosférico de la losa oceánica atlántica adherida al continente sudamericano, el cual está por debajo de la placa Caribe de manera oblicua en la zona del arco de la Antillas Menores. Speed et all 1991.

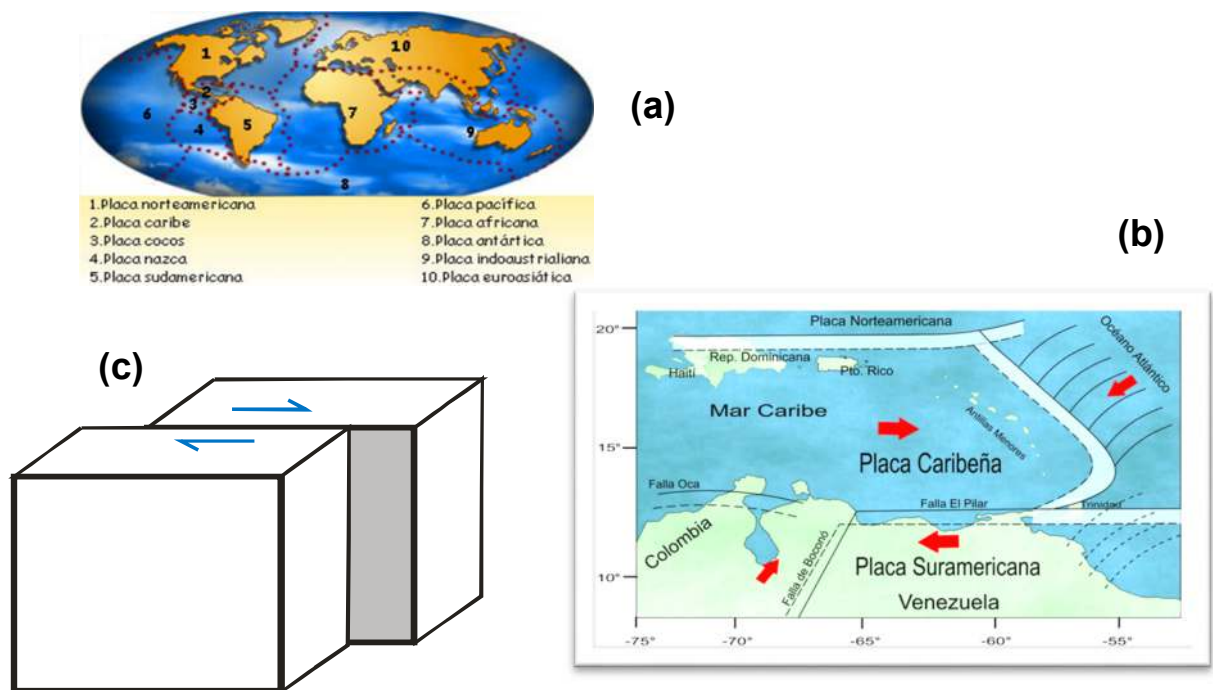


Figura 1. Placas tectónicas presente en la tierra (a). Interacción entre las Placas Caribe y Suramérica, responsable de generar los sistemas de fallas Boconó, San Sebastián y El Pilar. La sección (c) de la imagen muestra la interacción entre la placa tectónica Caribe y Suramérica, la cual es de forma lateral.

Sismicidad en el estado Sucre.

Venezuela tiene una actividad sísmica producto del conjunto de fallas geológicas que se encuentran en su territorio y sus adyacencias. Los terremotos de mayor magnitud, ocurren por la manifestación de las fallas Boconó, San Sebastián y El Pilar, la cual se puede visualizar en el siguiente mapa.



Figura 2. Rasgos tectónicos de Venezuela, donde se destacan la ubicación de las fallas Boconó (BF), San Sebastián (SSF) y El Pilar (EPF). Adaptado desde Molnar y Sykes, 1969. Elaboración propia utilizando software GMT, Wessel y Smith, 2011.

El fallamiento ubicado en Venezuela, origina eventos sísmicos en su mayoría ubicados en el norte de Venezuela en correspondencia con las cercanías de las fallas, tal como se puede visualizar en la actividad sísmica de Venezuela, véase figura 3. Tal como se observa en esta figura, la actividad sísmica en Venezuela es predominantemente superficial (círculos de color rojo), lo que indica que la misma ocurre en la zona cortical del País a lo largo de las principales fallas. Los círculos de color azul, epicentros de profundidad intermedia, ubicados al Noreste del estado Sucre, es producto del proceso de subducción ubicado en el arco de las Antillas Menores, zona donde ocurrió el último terremoto de mayor magnitud en Venezuela, en los últimos 200 años. Terremoto de Yaguaraparo (7.3 Mw) ocurrido el 21 de agosto de 2018.

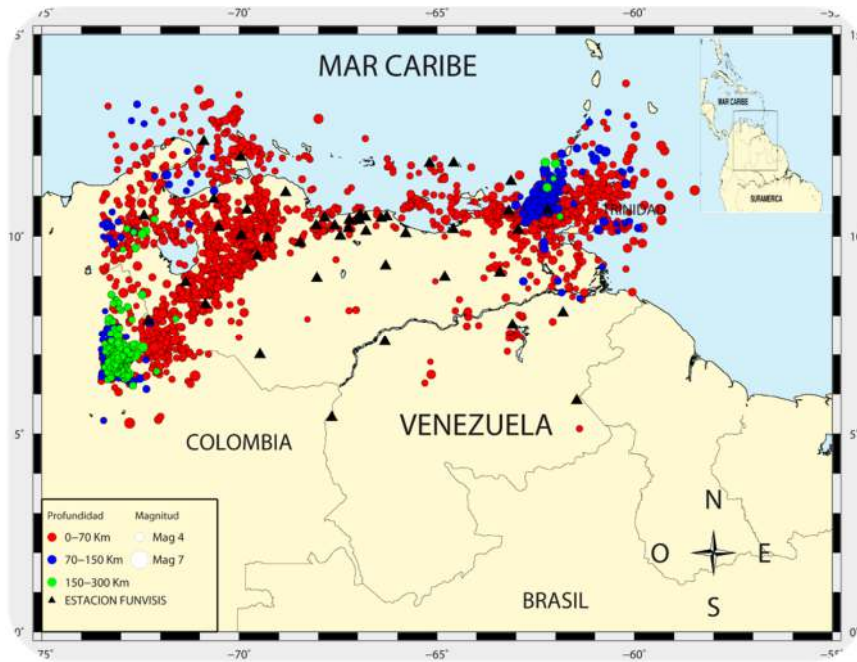


Figura 3. Epicentros de sismos ocurridos en Venezuela de magnitud mayor a 4,0 y registrados por la red sísmica de FUNVISIS desde el año 1990 hasta el año 2012, obtenido desde la web, www.funvisis.gob.ve. Elaboración propia utilizando software GMT, Wessel y Smith, 2011.

Para conocer la sismicidad en el estado Sucre, debemos ampliar nuestra área de observación, es por ello que se realiza el mapa del estado con la actividad sísmica registrada por Funvisis y por el Centro de Sismología UDO, quien es el centro de monitoreo regional y suministra información más detallada, véase figura 4 y 5.

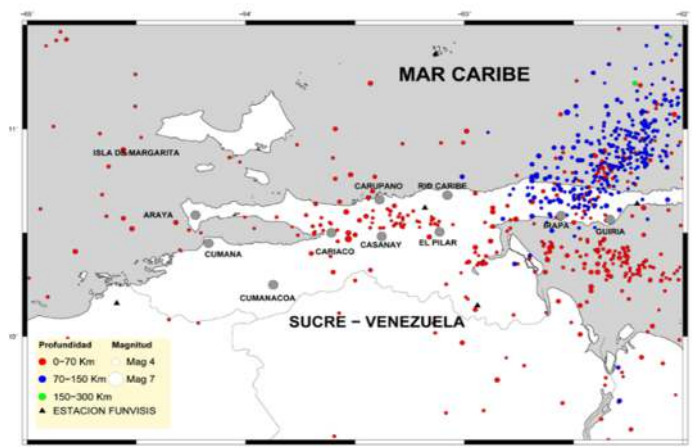


Figura 4. Epicentros de sismos ocurridos en el estado de magnitud mayor a 4,0 y registrados por la red sísmica de FUNVISIS desde el año 1990 hasta el año 2012, obtenido desde la web, www.funvisis.gob.ve. Elaboración propia utilizando software GMT, Wessel y Smith, 2011.

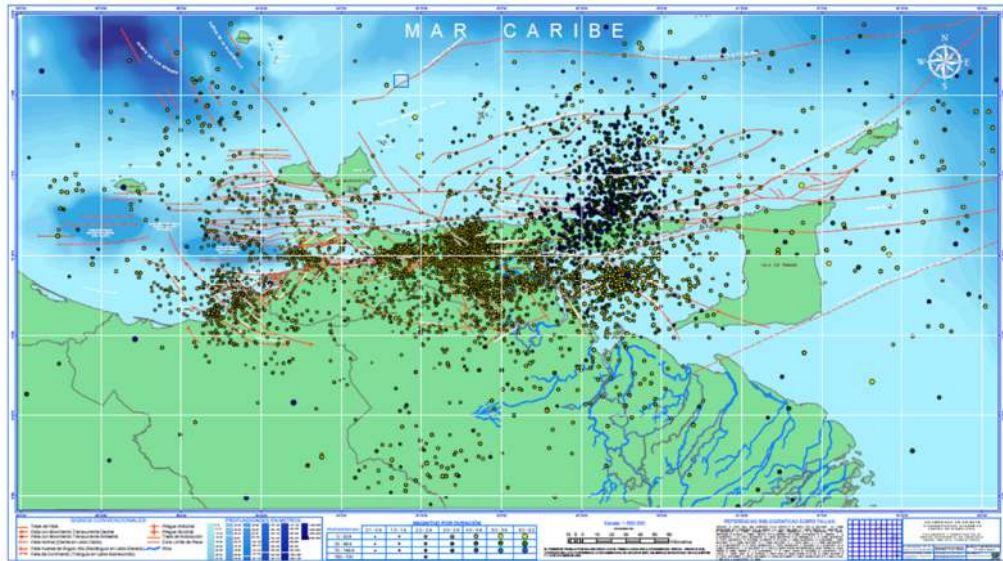


Figura 5. Epicentros de sismos ocurridos en el estado Sucre y registrados por la red sísmica de CSUDO desde el año 1995 hasta el año 2010.

Tal como se puede visualizar en las figuras anteriores, la actividad sísmica superficial (círculos de color rojo, figura 4) está liderizada por el sistema de falla El Pilar, la cual se manifestó con el terremoto de Cariaco ocurrido el 09 de julio de 1997, cuya característica del comportamiento cosísmico es netamente superficial, véase Baumbach et all, 2004 y Rojas el all 2012.

Sistema de Fallas El Pilar

El sistema de falla El Pilar, recorre toda la geografía del estado Sucre, la misma se extiende desde la fosa de Cariaco hasta al noreste de la isla de Trinidad, y tiene una longitud aproximada de 700 km en dirección este-oeste. Schubert, 1984. Dicho sistema de falla es complejo, de la comúnmente aceptada subducción en las Antillas menores, se pasa a un movimiento lateral entre placas. Baumbach, et all, 2004. Tal como se puede visualizar en la figura 6, el sistema de fallas El Pilar es el responsable de generar los terremotos de magnitudes mayores en el estado Sucre, el mismo está Subsidiado a otras fallas llamadas secundarias que generan sismos de magnitudes no mayor a 5,0 Mw,

pero que incorporan energía y complejidad en la sismicidad de la región. Audemard et all 2019.

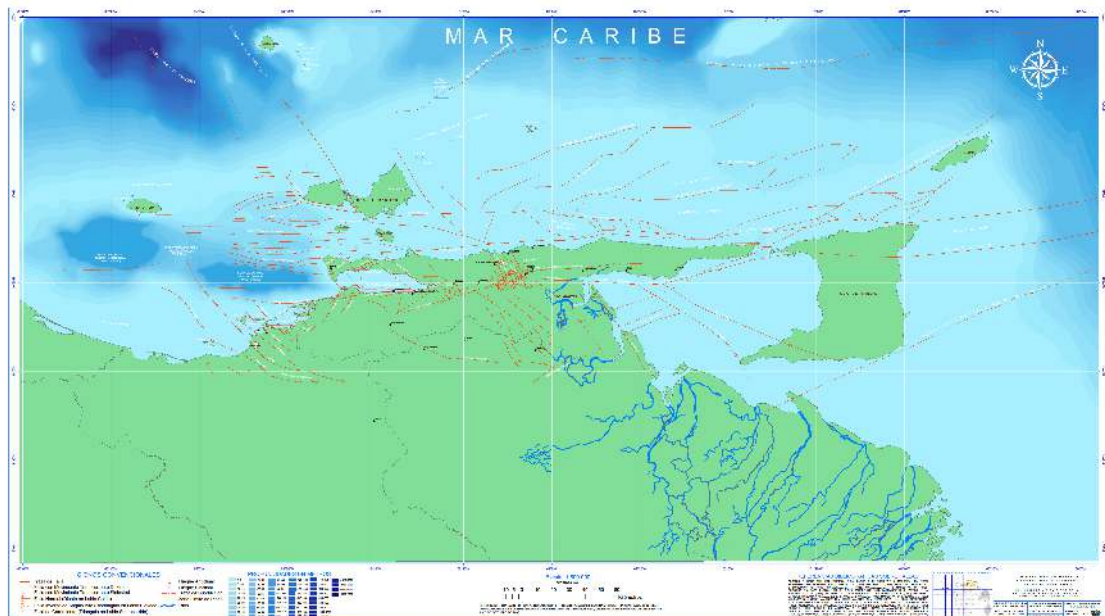


Figura 6. Fallamiento en el estado Sucre. Cada línea de color rojo representa una falla, cuyo nombre está señalado sobre la misma. Fuente. CSUDO, 2011.

El comportamiento sismogénico de este sistema de falla, no es uniforme a lo largo de todo el estado, a medida que ocurren los sismos hacia el oeste del estado, sus epicentros son más superficiales, por ende, el riesgo no es similar en todos los Municipios de la geografía sucrense. Además, hay que agregar que la falla está segmentada en cuatro principales tramos y no posee comportamiento cosísmico similar. Por ejemplo, el tiempo de retorno de los terremotos que suceden en los tramos asociados con la zona central del estado, es mucho menos que el tiempo de retorno asociado al oeste del estado, es decir, el sector más contiguo al oeste de Cumaná. Audemard et all, 2019. A medida que pasa el tiempo, aumenta la probabilidad de ocurrencia de un terremoto en este sector del estado, el cual en tiempos anteriores ha acarreado olas tsunamigénica, y ello, hace que dicha zona sea la mayor amenaza presente en el estado Sucre.

Terremotos en el estado Sucre

Con el objetivo de estimar la amenaza sísmica en el estado, debemos recurrir al historial sísmico de Venezuela, el cual se inicia con un terremoto ocurrido en la hoy ciudad de Cumaná, ocurrido el 01 de septiembre del año 1530. Cuando realizamos recorrido por este historial nos damos cuenta que recurrentemente han ocurrido terremotos y esta entidad federal es la que tiene la mayor estadística de ocurrencia de sismos destructores, destacándose Cumaná, tal como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 1. Terremotos ocurridos en las principales capitales de estado, que han sido afectadas, y la intensidad en la escala Mercalli Modificada. Se muestra las intensidades VIII, IX y X. Nótese que la mayor intensidad es sufrida en la capital del estado Sucre, Cumaná.

Ciudad	Año Terremoto Asociado	Intensidad Máxima (MM)
Caracas	1641	IX
	1812	IX
	1900	VIII
	1967	IX
Cumaná	1530	X
	1629	VIII
	1684	VIII
	1766	X
	1794	VIII
	1797	IX
	1853	IX
	1929	IX
Barquisimeto	1812	VIII
Mérida	1610	VIII
	1674	VIII
	1812	VIII
	1894	VIII

Consultando el Catálogos de terremotos sentidos o destructores: Venezuela 1530-1998. Grases et al, 1999 y el Sistema de Tele información de Sismología Histórica de Venezuela, disponible en línea <http://www.sismicidad.ciens.ula.ve>. Palme et al, nos damos cuenta que en varias ocasiones las ciudades de Güiría, Irapa, El Pilar, Rio Caribe, Carúpano, Casanay, Cariaco Cumanacoa, Araya y

Cumaná han sido afectadas y se han registrados las intensidades más elevadas, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Intensidad de terremotos históricos ocurridos en el estado Sucre, que han generado daños, según la escala de intensidad sísmica de la escala de Mercalli Modificada (M.M).

INTENSIDAD MERCALI MODIFICADA (M.M)			
X	IX	VIII	VII
Cumaná	El Pilar	Güiria	Carúpano
Cariaco	Río Caribe	Casanay	Cumanacoa
		Irapa	Araya

Cuando representamos dicha tabla en el mapa del estado Sucre, y lo asociamos a la intensidad sísmica generada en dicha ciudad, por los terremotos ocurridos en más de 500 años de historia, obtenemos, el siguiente mapa.

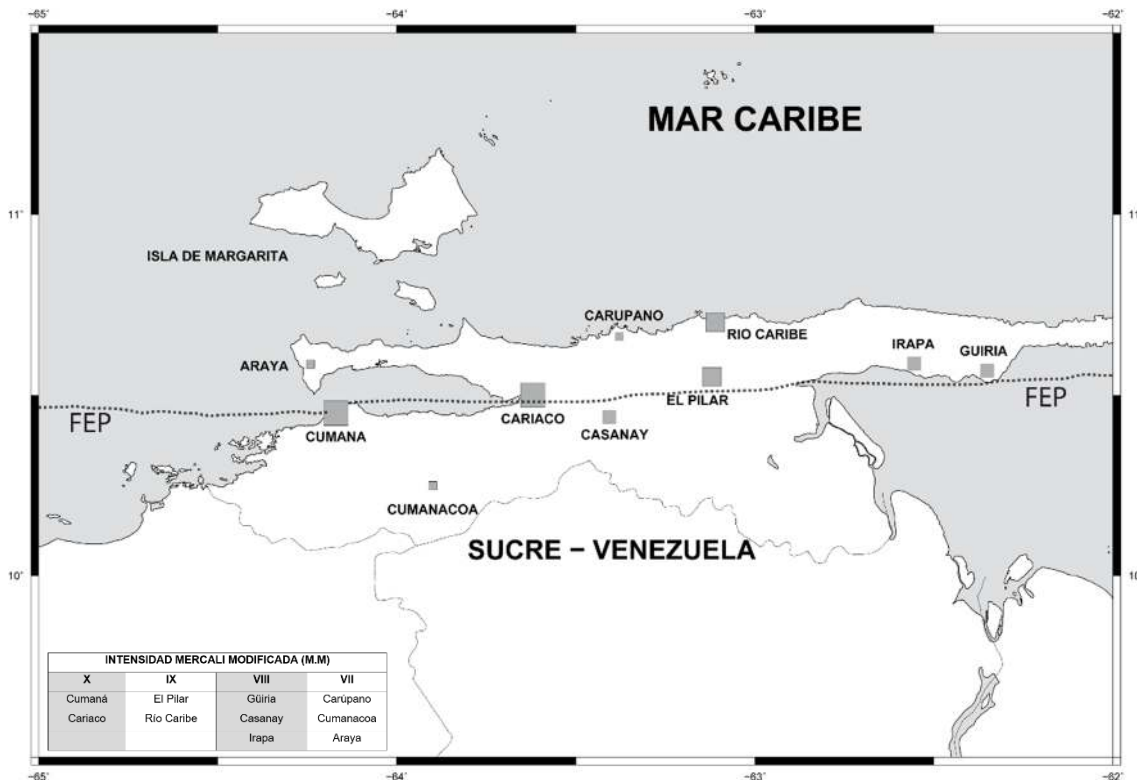


Figura 7. Intensidades originadas por terremotos históricos, en las ciudades capitales de Municipio del estado Sucre. Fuente. Grases et all 1999 y Palme et all, en línea. Elaboración propia utilizando software GMT, Wessel y Smith, 2011.

En la Venezuela contemporánea, la actividad sísmica que presenta el estado Sucre es elevada, es la zona de mayor actividad sísmica en Venezuela, tal como lo corrobora el terremoto de mayor magnitud en Venezuela, Terremoto de Yaguaraparo de magnitud 7,3 Mw, sucedido el 21 de agosto de 2018, se estima que es precursor del terremoto manifestado en el año 1766, con epicentro en la misma zona y magnitud estimada de 7,5. Audemard 1999 y Audemard et all, 2019, fue sentido en todo el país y originó algunos daños en Trinidad. Otro evento que todavía está en nuestra memoria es el Terremoto de Cariaco, 6,9 Mw, ocurrido el 09 de julio de 1997, acarreando 122 muertos, más de 600 heridos, 2000 viviendas destruidas, y más 100 millones de dólares en pérdidas. Rangel 1999. Además de éstos 2 grandes terremotos, en el estado han ocurridos eventos sísmicos originando daños en la mayoría de las ciudades capitales de Municipio que conforman la geografía sucrense, tal como se puede observar en el siguiente mapa.

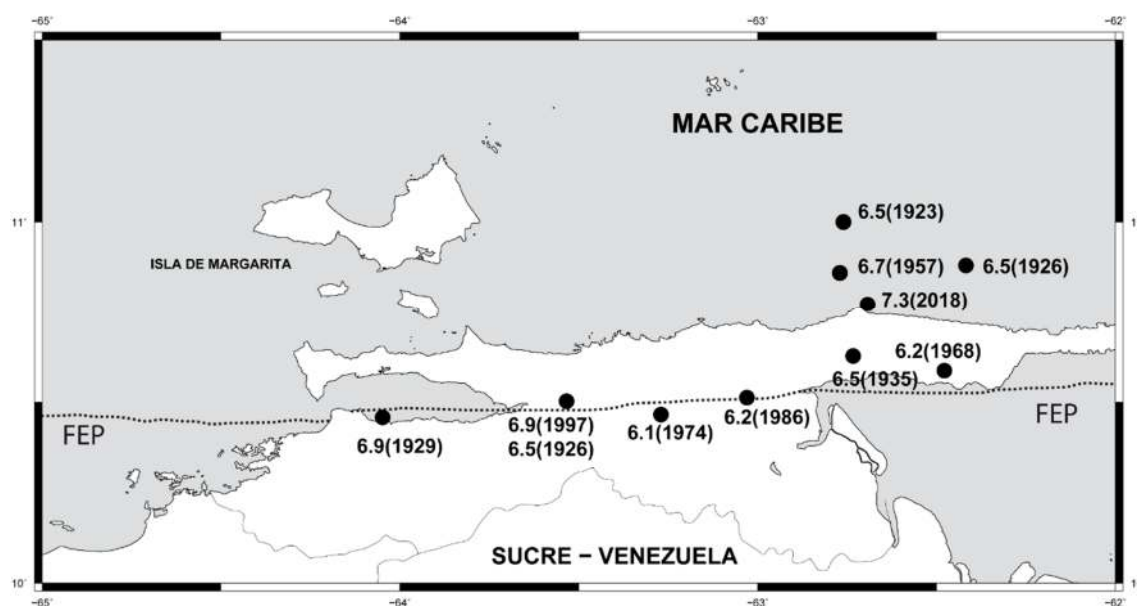


Figura 8. Epicentros de Terremotos ocurridos en el estado Sucre en los siglos XX y XXI, de magnitud mayor a 6,0 (número a la izquierda del paréntesis). El número dentro del paréntesis representa el año de ocurrencia del evento sísmico. Fuente. Grases et all 1999 y Palme et all, en línea. Elaboración propia utilizando software GMT, Wessel y Smith, 2011.

Peligrosidad Sísmica en el estado Sucre

Tal como hemos observado en las secciones anteriores, el estado Sucre, es la entidad federal con mayor amenaza sísmica, está clasificado según la norma COVENIN 1756-2001, como zona 7, el cual es el mayor valor en Venezuela, con una aceleración en roca esperada de 0,40 g, véase la figura 9.

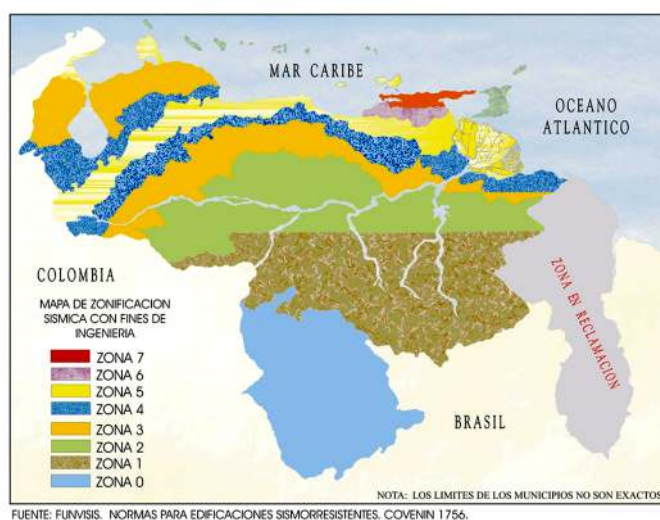


Figura 9. Mapa de zonificación, que indica la peligrosidad sísmica teniendo en cuenta la aceleración en roca esperada en caso de un terremoto, cuyo valor superior es de 0,40 la aceleración de gravedad (g), color rojo.

Los terremotos ocurridos en el estado Sucre, han dejado evidencias en superficie, como lo es la licuación de los suelos, la cual es un parámetro fundamental para estimar la calidad de los suelos, y su comportamiento ante un eventual terremoto. Rodríguez et al, 2006. Hoy sabemos que en Cumaná se han presentados en diferentes oportunidades este fenómeno, es por ello, que ha sido útil estudios relacionados con la amenaza en la ciudad de Cumana, y los mismos han arrojado valores superiores a 0,40 g (valor estimado en la norma sismorresistente vigente), con lo cual indica que dicha ciudad tiene una amenaza elevada. Rojas et al 2016. A continuación, se muestra mapa de la zona urbana del Municipio Sucre, donde se indica los valores de aceleración de gravedad encontrado, para el caso de terremoto extremo que pudiera ocurrir con la activación de la zona sismogénica Cumaná.

CUMANÁ

Resultados de Amenaza en ROCA

Aceleraciones máximas PGA
5 % prob. de excedencia en 50 años

Sismo extremo

Mapa de Peligrosidad Sísmica PR 975 años. Aceleraciones en PGA (g) roca

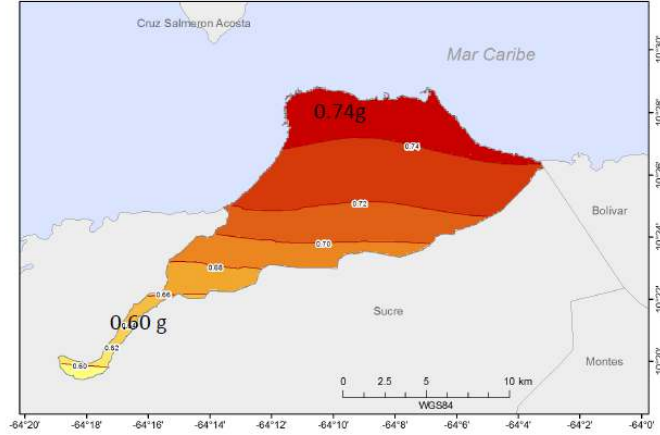


Figura 10. Mapa de amenaza sísmica de Cumaná. Fuente Rojas et all, 2016.

El estado Sucre posee unas condiciones geológicas que acentúan la amenaza sísmica, como es la presencia de suelos blandos en las ciudades, lo que incrementa la vulnerabilidad que éstas puedan tener. Montezuma 2010. Es por ello, que se realizó estudio de para conocer la calidad de los suelos de la ciudad capital del estado Sucre, donde se logró estimar las características geotécnicas de los suelos asentados en el área urbana de la ciudad.

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE CUMANÁ, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

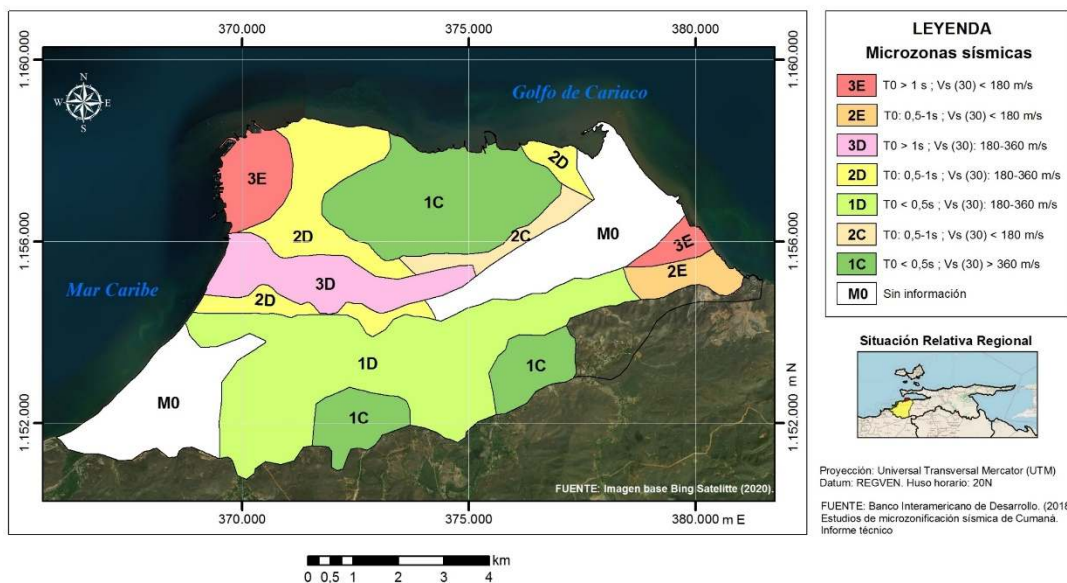


Figura 11. Mapa de microzonas de la ciudad de Cumaná. La microzona 3E indica suelos muy blandos y la microzona 1C indica mejor calidad de suelo. BID, 2018.

La ciudad de Cumaná posee alto nivel freático, por ende, estamos en presencia de suelos muy blandos, los cual potencia y amplifica las ondas sísmicas y han favorecido la ocurrencia de fenómenos de licuación. Beauperthuy, 2006 y BID 2018. A pesar, que no se ha realizado estudios similares en otras ciudades del estado, podemos estimar la amenaza sísmica, según la calidad de los suelos, para ello, nos apoyaremos en el trabajo realizado por Montezuma 2010, en el cual se utiliza la aceleración de gravedad de los suelos como constante y se incorpora la variable licuación de los suelos originados por terremotos históricos en el estado Sucre.

Tabla 3. Índice de Amenaza Sísmica. Fuente. Montezuma 2010.

Municipio	Índice de Amenaza
Benítez	7,21
Sucre	5,39
Mariño	4,97
Valdez	4,91
Ribero	4,79
Andrés Eloy Blanco	4,76
Arismendi	4,62
Cruz Salmerón Acosta	4,55
Libertador	4,55
Andrés Mata	4,51
Bolívar	4,51
Mejía	4,43
Cajigal	4,42
Montes	4,41
Bermúdez	4,39

Tal como se visualiza en la anterior tabla, los Municipios Benítez y Sucre presentan los mayores valores de Amenaza Sísmica, en correspondencia con la Intensidad Sísmica registrada por terremotos históricos en ambas ciudades. Véase Tabla 2.

Municipios con mayor vocación de amenaza sísmica

Como ya conocemos, una de las variables fundamentales del riesgo está relacionado con la urbano, y las condiciones para mitigar el evento adverso que puede ocurrir en cualquier momento sin previo aviso. Según el comportamiento cosísmico del Sistema de falla El Pilar, los eventos suelen dejar daños en la población teniendo en cuenta las condiciones geomorfológicas y la calidad de los suelos donde se desarrolla la cotidianidad de sus habitantes.

La densidad demográfica de nuestro estado está signada, según la Tabla N° 4, el 77,6% de la población está contenida en los primeros 6 Municipios con mayor densidad demográfica, y a su vez son las capitales de Municipio donde se han registrados las mayores intensidades de los terremotos, exceptuando las ciudades de Cumanacoa y Carúpano, las cuales se encuentran más alejadas de la traza principal de falla El Pilar. Véase figura 7.

Tabla N°4. Densidad Demográfica del estado Sucre por Municipio. Fuente INE, proyección 2020, con base a la data recogida en el año 2014.

N°	MUNICIPIO	PORCENTAJE DE POB. (%)
1	SUCRE	40,0
2	BERMÚDEZ	15,5
3	RIBERO	6,5
4	MONTES	6,0
5	ARISMENDI	5,3
6	VALDEZ	4,3
7	CRUZ SALMERÓN ACOSTA	3,9
8	BENÍTEZ	3,5
9	ANDRÉS ELOY BLANCO	2,9
10	MARIÑO	2,5
11	BOLÍVAR	2,4
12	CAJIGAL	2,3
13	ANDRÉS MATA	2,2
14	MEJÍA	1,6
15	LIBERTADOR	1,1

Análisis de los últimos 30 años de la actividad sísmica instrumental de Funvisis, indican que los eventos sísmicos de mayor magnitud se nuclean alrededor de la traza principal de la falla El Pilar. Audermard et al, 2019; además sabemos que el sistema de falla El Pilar se debe seccionar en 4 áreas que abarca la totalidad del área del sistema de fallas, véase Audemard et al, 2000.

El otro elemento que se debe tener presente es la superficialidad de los epicentros de los terremotos ocurridos en éstas cuatro secciones de fallas; a medida que ocurren los terremotos con ubicación epicentral más oriental, las profundidades de los epicentrales son mayores, por ende, la afección que pudiera originar en superficie es mitigada. En correspondencia con la afirmación anterior, encontramos resultados mostrados por el trabajo de Montezuma, 2010, quien afirma que los Municipios con mayor riesgo sísmico serían los Municipios Sucre, Ribero y Valdez, respectivamente.

Como ya sabemos esta entidad federal, está clasificada de mayor peligro sísmico en Venezuela, pero sería de suma utilidad, discriminar la amenaza sísmica en el estado, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Municipio históricamente afectado.
- Distanciamiento de la traza principal del sistema El Pilar
- Calidad de los Suelos. Suelos Potencialmente Licuables.

En tal sentido, realizamos, una escala de Likert, donde el límite inferior sería amenaza sísmica media. Nuestra escala inferior se ubica en la amenaza sísmica media porque recordemos que toda la geografía del estado está signada con el mayor valor de peligrosidad sísmica, y así lo manifiesta la sismología histórica.

A continuación, se muestra tabla de escala de Likert, utilizada para estimar la amenaza sísmica presente en el estado Sucre.

Tabla 5. Amenaza Sísmica estado Sucre. Orden de aparición en cada columna según la densidad demográfica de cada Municipio.

Amenaza muy Alta	Amenaza Alta	Amenaza Media
Sucre (Cumaná)	Ribero (Cariaco)	Bermúdez (Carúpano)
	Arismendi (Río Caribe)	Montes (Cumanacoa)
	Valdez (Güiria)	Cruz Salmerón Acosta (Araya)
	Benítez (El Pilar)	Bolívar (Marigüitar)
	Andrés Eloy Blanco (Casanay)	Cajigal (Yaguaraparo)
	Mariño (Irapa)	Andrés Mata (San José de Aerocuar)
		Mejía (San Antonio del Golfo)
		Libertador (Tunapuy)

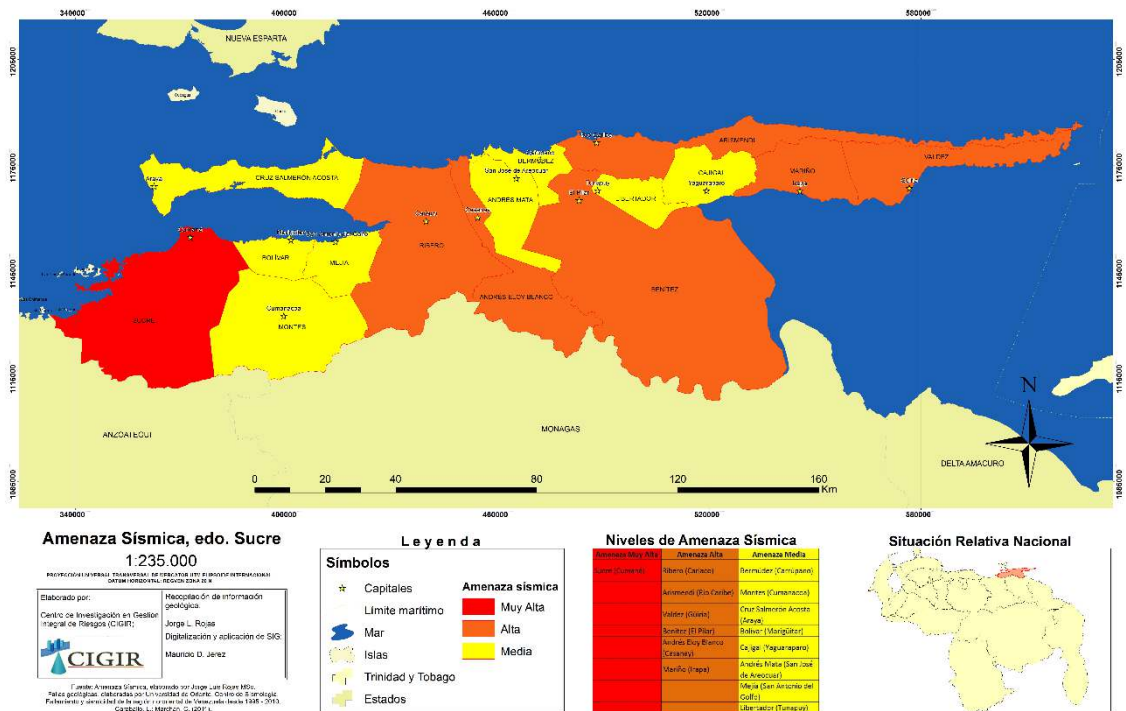


Figura 12. Mapa de Amenaza Sísmica del estado Sucre. Destaca la ciudad de Cumaná con amenaza sísmica muy alta, considerando las condiciones de los suelos donde está asentada la ciudad y en correspondencia a los daños que ha

sufrido recurrentemente la ciudad ante la ocurrencia de terremotos, tanto cercano como lejano.

Características y Conclusiones de la Sismicidad en el estado Sucre

Tal como se puede observar en las secciones anteriores, la actividad sísmica en el estado Sucre está liderizada por la traza principal del sistema de fallas El Pilar, que es la genera los terremotos de mayor magnitud en el estado.

La profundidad de los epicentros es menor a medida que la actividad sísmica se manifiesta al lado occidental, es decir, a medida que avanza hacia la ciudad de Cumaná.

La sismicidad, de profundidad intermedia, al norte de la península de Paria, ha sido vinculada a un desgarre litosférico de la losa oceánica atlántica adherida al continente sudamericano, en su proceso de subducción por debajo de la placa Caribe, que conlleva consigo a su vez el desprendimiento del manto litosférico de la corteza continental sudamericana.

El segmento de la falla El Pilar, al oeste de Cumaná, es la que genera los eventos de mayor afectación a la ciudad de Cumaná, porque acarrea olas que incursionan en la ciudad, y tiene un periodo de retorno sísmico, mucho más lento que las demás áreas contiguas. El ultimo terremoto manifestado en dicha sección ocurrió en 1853, con los cual lleva acumulado 167 años sin manifestación sísmica de liberación energética.

La ciudad de Cumaná, posee algunas características adversas que la hacen mostrar como la ciudad con mayor récord de daños acarreados por terremotos. Tal como se muestra en las imágenes de este informe, la ciudad es participe de la dinámica sismotectónica de la región, además se estima que los eventos sísmicos originados por el sistema de fallas El Pilar, son más superficiales, que en las otras zonas del fallamiento presente en el estado Sucre; y ello acompañado de la presencia de suelos blandos, tal como se muestra en el informe técnico BID 2018, es la causa más probable que dicha ciudad sea de amenaza sísmica muy alta. Toda esta afirmación es corroborada por los daños vividos en la ciudad recurrentemente, tanto por terremotos contiguos como por terremotos ocurridos fuera de la zona sismogénica Cumaná.

No es claro cuál es la sección de falla próxima a activarse, pero todas las fallas están mecánicamente ligadas a la falla El Pilar, por lo que presajiamos que es ésta la que se está ajustando, forzando las fallas asociadas a moverse igualmente.

A continuación, se muestra las secciones activas del sistema principal de fallas El Pilar y el año de ocurrencia del terremoto manifestado en esa área.

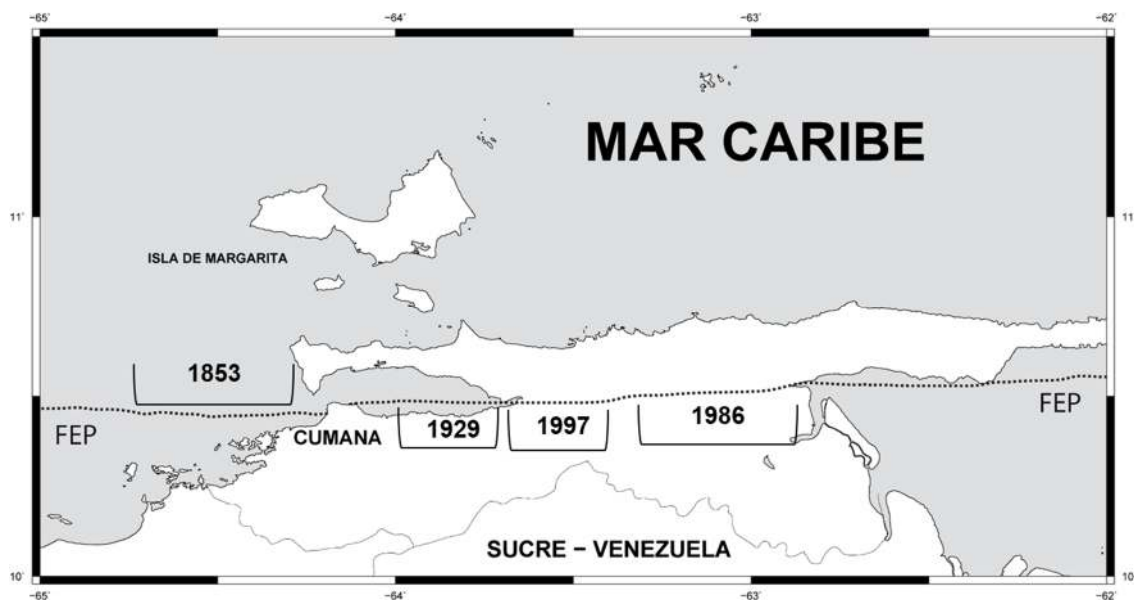


Figura 13. Mapa del estado Sucre, donde se muestra la traza principal del sistema de falla El Pilar (línea discontinua). Los números dentro del recuadro rectangular representan los años de ocurrencia del terremoto que activó la zona sismogénica del Sistema de falla. Elaboración propia utilizando software GMT, Wessel y Smith, 2011.

Referencias Bibliográficas

Altez, Rogelio y Audemard, Franck. (2008). *El sismo de 1629 en Cumaná: Aportes para una nueva historia sísmica del Oriente venezolano*. BOLETÍN TÉCNICO IMME. VOLUMEN 46 N.º 2

Audemard, F. A., (1999). *Nueva percepción de la sismicidad histórica del segmento en tierra de la falla de El Pilar, Venezuela nororiental, a partir de primeros resultados paleosísmicos*. VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Mérida, Venezuela. Edición en CD-ROM.

Audemard, F. (2006). *Surface rupture of the Cariaco July 09, 1997 Earthquake on the El Pilar fault, northeastern Venezuela*. Tectonophysics 424 (1-2): 19-39.

Audemard, F. A. (2007). *Revised seismic history of El Pilar Fault, Northeastern Venezuela, after the Cariaco 1997 Earthquake and from recent preliminary paleoseismic results*. Journal of Seismology 11(3): 311-326.

Audemard, F.A; Leonardo Alvarado; Aura Fernández; Gloria Romero; Alejandra Leal; Raquel Vásquez; José Antonio Rodríguez; Alejandra Martínez; Ivette Barrios. (2019). *Renovada sismicidad superficial en el oriente venezolano después del sismo de Cariaco de julio de 1997*. Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander. Vol. 41, n.º1, enero-abril de 2019 ISSN impreso: 0120-0283 ISSN en línea: 2145-8553.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2018). *Estudios de microzonificación sísmica de Cumaná*. Informe técnico.

Baumbach, M.; H. Grosser; G. Romero; J. Rojas; M. Sobiesiak y W. Welle. 2004. *Aftershock pattern of the July 9, 1997 Mw=6.9 Cariaco earthquake in Northeastern Venezuela*. Tectonophysics 379, 1-23.

Beauperthuy, L. (2006). *Análisis histórico de las amenazas sísmicas y geológicas de la ciudad de Cumaná, Venezuela*. Revista Facultad de Ingeniería - UCV, Vol. 21 (4), pp. 103-115.

Centro de Sismología Luis Daniel Beauperthuy U. Universidad de Oriente (UDO). (2011). *Fallamiento de la Región Nororiental de Venezuela*. Recopilación realizada por Dr. Luis Felipe Caraballo.

GRASES, J.; ALTEZ, R. & LUGO, M. (1999). *Catálogos de terremotos sentidos o destructores: Venezuela 1530-1998*. Acad. de Ciencias Fís., Mat. y Naturales. Fac. de Ing., Univ. Central de Venezuela. Ed. Innovación Tecnológica, Caracas. 654 p.

Molnar, P. Sykes, L. (1969). *Tectonics of Caribbean and Middle America Regions from Focal Mechanisms and Seismicity*. Geological Society of America Bulletin. GSAB. Vol. 80, pp. 1639-1684.

Montezuma, D. (2010). *Determinación de áreas de riesgo sísmico, estado Sucre. Venezuela*. Trabajo de grado para optar al título de Magister Scientiarium en Análisis Espacial y Gestión del Territorio. UCV.

Palme, C.; Altez, R.; Silva, J. G.; Morandi, M. T.; Rodríguez, J. A.; Choy, J. E.; Urbani, F. & Rengifo, D. (2011). *Sistema de Tele información de Sismología Histórica de Venezuela*. <http://www.sismicidad.ciens.ula.ve>.

Pérez, O y Mendoza, J. (1998). *Sismicidad y tectónica de Venezuela y áreas vecinas*. Física de la Tierra. N° 10, pp. 87-110.

Rangel, A. (1999). *Crónicas de Desastres. Terremoto de Cariaco, Venezuela, julio de 1997*. Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Rodríguez, Luz; Audemard, Franck. Rodríguez José A. (2006). *Casos históricos de licuación de Sedimentos Inducidos por Sismos en Venezuela desde 1530*. Revista de la Facultad de Ingeniería de la UCV. Vol. 21 N° 3, pp. 5-33.

Rojas, J. Buforn, E. y Udías, A. (2012). *Estudio de la fuente sísmica del Terremoto de Cariaco (Venezuela) de 1997*. 7ma. Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesía y Geofísica. San Sebastián. España.

Rojas, J. Benito, M. B. Quiros, L. E. y Rivera, Y. (2016). *Estimación de la Amenaza Sísmica en Cumaná, estado Sucre, Venezuela*. IASPEI. Asamblea Regional, Comisión Latinoamericana y del Caribe de Sismología. LACSC, 2016. San José de Costa Rica.

Russo RM, Okal EA, Rowley KC (1992). Historical seismicity of the southeastern Caribbean and tectonic implications. *Pure Appl Geophys* 139:87–120.

Schubert C (1984). Basin formation along Boconó-Morón-El Pilar fault system, Venezuela. *J Geophys Res* 89:5711–5718.

Speed R, Russo R, Weber J, Rowley KC (1991). *Evolution of southern Caribbean plate boundary, vicinity of Trinidad and Tobago: discussion*. *Am Assoc Pet Geol Bull* 75(11): 1789–1794

Udias, A. (1999). *Principles of Seismology*. Cambridge University Press.

Wessel, Paul y Smith, Walter. University of Hawaii. (2011). *Generic Mapping Tools Graphics (GMT, Versión 4.5.7)*.