
Aplicación del método de Bakun & Wentworth para el análisis del terremoto de febrero 3, 1610, Andes venezolanos

Aplicação do método Bakun & Wentworth para a análise do terremoto de 3 de fevereiro de 1610, Andes venezuelanos

Application of the Bakun & Wentworth method for the analysis of the earthquake of February 3, 1610, Venezuelan Andes

Christl Palme de Osechas¹, Reina Aranguren², José Choy², Carlos Guada² y Luis Alberto Ramírez Méndez³

¹ Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario 'Rafael Rangel'
Trujillo, Venezuela

² Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Laboratorio de Geofísica
Mérida, Venezuela

³ Universidad de Los Andes, Facultad de Humanidades y Educación, Escuela de Historia
Mérida, Venezuela

cpalme56@gmail.com; arangurenreina@gmail.com; jose.a.choy@gmail.com; carlos.e.guada@gmail.com; luisramirez811@gmail.com

Palme: <https://orcid.org/0009-0006-8649-0638>

Aranguren: <https://orcid.org/0009-0000-5027-0920>

Choy: <https://orcid.org/0009-0002-1387-3217>

Guada: <https://orcid.org/0000-0002-4084-0309>

Ramírez: <https://orcid.org/0000-0001-7014-8105>

Resumen

El terremoto de La Grita, del 3 de febrero de 1610, es uno de los grandes sismos ocurridos en el occidente de Venezuela, sobre cuyas características sismológicas existen incertidumbres y diferentes opiniones de los estudiosos del mismo. En este trabajo se presenta un resumen del estado del conocimiento y se reinterpretan las intensidades del evento, a través del examen de la información contenida en documentos históricos que hasta el momento no habían sido utilizados con este propósito. El análisis se ha realizado aplicando el método de Bakun & Wentworth y se obtuvo como resultado que la magnitud del evento fue aproximadamente 7,1 M_{wi} , cuyo centro de intensidades se ubicó cerca de La Grita. En consecuencia, se sugiere que el sismo de 1610 rompió un tramo de la falla de Boconó, que solapa parcialmente con la ruptura del terremoto de 1894, pero extendiéndose más hacia el suroeste.

PALABRAS CLAVE: terremoto; 1610; La Grita; falla de Boconó; Venezuela.

Resumo

O terremoto La Grita de 3 de fevereiro de 1610 é um dos grandes terremotos ocorridos no oeste da Venezuela, sobre cujas características sismológicas há incertezas e opiniões diferentes entre os estudiosos. Este artigo apresenta um resumo do estado do conhecimento e reinterpreta as intensidades do evento examinando as informações contidas em documentos históricos que não haviam sido usados para esse fim até o momento. A análise foi realizada usando o método de Bakun & Wentworth e o resultado é que a magnitude do evento foi de aproximadamente 7,1 M_{wi} , com o centro de intensidades localizado próximo a La Grita. Consequentemente, sugere-se que o terremoto de 1610 rompeu uma seção da falha de Boconó, sobrepondo-se parcialmente à ruptura do terremoto de 1894, mas estendendo-se mais para o sudoeste.

PALAVRAS-CHAVE: terremoto; 1610; La Grita; falha de Boconó; Venezuela.

Abstract

The La Grita earthquake of February 3, 1610, is one of the large earthquakes that occurred in western Venezuela. Its seismological characteristics are uncertain and debated among scholars. This paper presents a summary of the state of knowledge and reinterprets the intensities of the event by analyzing information from historical documents that until now had not been used for this purpose. The Bakun & Wentworth method was used to analyze the event, resulting in a magnitude of approximately 7.1 M_{wi} . The center of intensities of the earthquake was located near La Grita. This suggests that the 1610 earthquake ruptured a section of the Boconó fault, partially overlapping with the 1894 earthquake's rupture but extending further southwest. The conclusion is that these tourist resources have great potential to become tourist attractions.

KEYWORDS: earthquake; 1610; La Grita; Boconó fault; Venezuela.

1. Introducción

En la región de los Andes venezolanos han ocurrido tres sismos históricos con una magnitud mayor de siete (Audemard, 1997; Ferrer y Laffaille, 1998; Rengifo y Laffaille, 2000; Palme y Altez, 2002; Palme *et al.*, 2005a; Audemard, 2009; Audemard, 2014; Altez, 2016): el terremoto de La Grita, también denominado Terremoto de Bailadores o Terremoto de San Blas (Laffaille, 2011), ocurrido el 3 de febrero de 1610 aproximadamente a las tres de la tarde; el sismo del 16 de enero de 1674, también a las tres de la tarde, que destruyó Trujillo y Mérida y el Gran Terremoto de los Andes el 28 de abril de 1894. La destrucción causada por estos tres sismos se extiende en la región Andina, desde San Cristóbal hasta la ciudad de Trujillo. Adicionalmente, se conoce que en los eventos de 1674 y 1894 la zona Sur del Lago de Maracaibo fue afectada fuertemente por efectos cosísmicos (Ramírez, 2011; Aranguren *et al.*, 2012).

En particular, en el presente trabajo se profundizará sobre el evento de 1610. Los análisis macrosísmicos sobre este terremoto se han basado, principalmente, en la descripción realizada por el Fray Simón y que fue publicada en sus obras (Pedro Simón (Fray), 1963). En consecuencia, casi todas las localizaciones del evento han aceptado que el epicentro se ubicó en las cercanías de los fenómenos descritos en la mencionada referencia, entre La Grita y La Playa. En el presente trabajo se analizará esta y otras fuentes, que no han sido utilizadas para el análisis sismológico, aplicando el método de Bakun & Wentworth, 1997, con la finalidad de aportar conocimiento sobre las características sismológica de este evento.

2. Investigaciones previas

2.1. Resumen del relato del Fray Pedro Simón

La descripción de Fray Pedro Simón (1963) sobre el temblor en la ciudad de La Grita, fue escrita dos años después del sismo y analizada por Laffaille en el notisismo (2011). De esta información, se han tomado las siguientes observaciones relevantes para el presente trabajo:

1. La ocurrencia de un extraordinario terremoto en La Grita el 3 de febrero de 1610, aproximadamente a las 3 pm. En la Grita y

algunas leguas de distancia de todas las casas solo 10 (de tapia) quedaron de pie. Los movimientos fueron tan fuertes que casi ninguna persona pudo dar paso adelante ni atrás del lugar donde se halló. En todas partes la tierra comenzó a moverse con tanta fuerza que hacía oleajes como las aguas del mar cuando están inquietas.

2. En La Grita quedaron en "ruina total" las dos iglesias de la ciudad y el convento franciscano. Durante el primer día se secaron los ríos y quebradas por toda la jurisdicción y el día siguiente crecieron con agua tan turbia "como si les hubieran sobrevenido grandes avenidas de aguaceros". Los muertos en la ciudad sumaron más de 60 entre indios, españoles, hombres y mujeres.
3. En el valle de los Bailadores "voló la mitad de un valentísimo cerro" y "quedó plantado a la mitad del valle", se rebalsó el río haciendo una formidable laguna. Tres niños quedaron enterrados en las ruinas de una casa que cayó en el mismo valle.
4. A un lado del mismo valle un ancón llamado de 'Suarez' con un pantano voló media legua.

2.2 Investigaciones sobre el terremoto

La primera evaluación sismológica de este evento la realizó Fiedler en 1961, basándose en la descripción del Fray Pedro Simón, quien ubicó el epicentro del sismo en 71,8W; 8,3 N, es decir entre Tovar y Bailadores, unos 30 km al noreste de La Grita (FIGURA 1), muy cerca del alud sísmico descrito por Fray Pedro Simón. La intensidad máxima en el epicentro sería de 10 MCS (escala Mercalli-Cancani-Sieberg) que correspondería aproximadamente a un sismo de magnitud 7,3 (Båth, 1973). Posteriormente, en su publicación de 1972, Fiedler reduce la intensidad máxima a 8,5 MCS correspondiendo con una magnitud del terremoto de 6,6 m_b (magnitud de ondas corpóreas). En consecuencia, si la localización de Fiedler es correcta se podría aceptar la conclusión de Lares (1894) quien opina que el terremoto de Los Andes en 1894 fue una repetición del terremoto de La Grita.

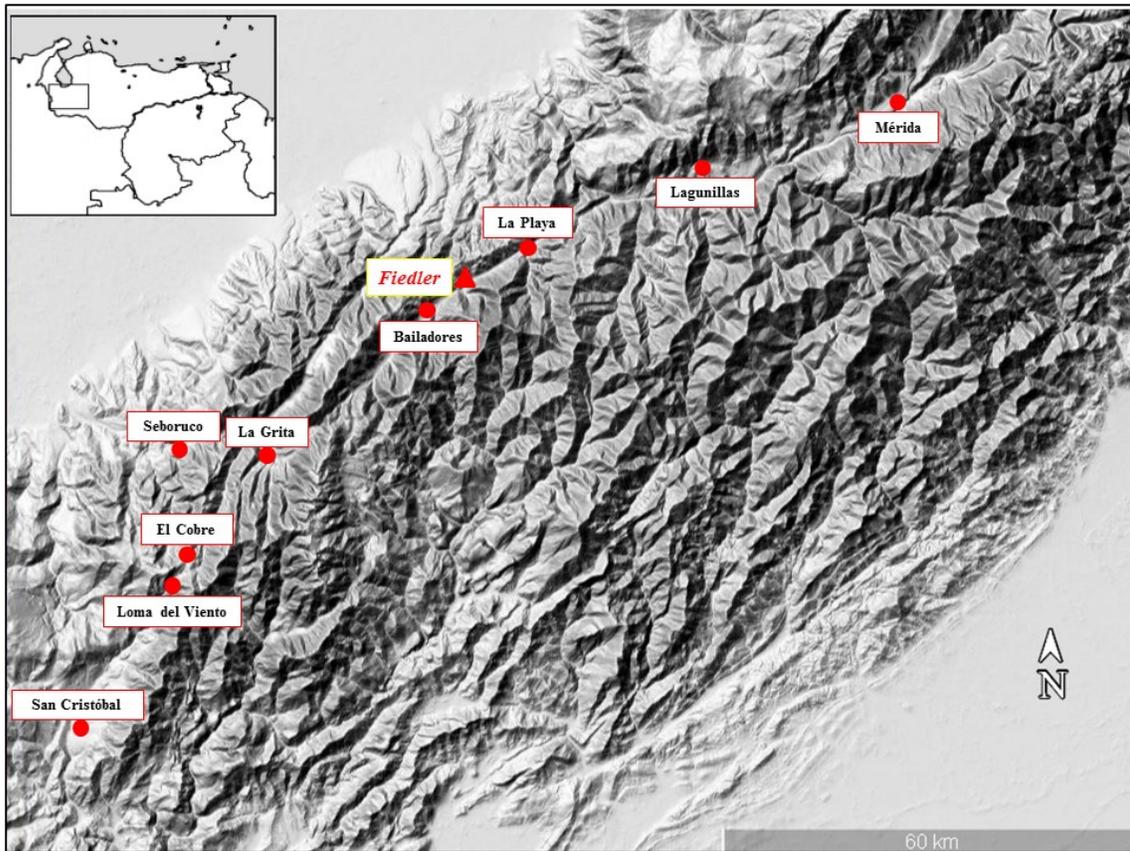


FIGURA 1. Imagen de radar de la región indicando los sitios mencionados en el texto y la ubicación del epicentro propuesto por Fiedler (1961)

Estas ideas también se reflejan en la isosista de intensidad VIII que se publicó en el trabajo de Soulas *et al.* (1987); allí el área que abarca la misma está comprendida completamente dentro de la isosista VIII del sismo de 1894, siendo este último mucho más grande (FIGURA 2). Esta misma opinión también fue expresada por Audemard en sus trabajos paleosismológico de 1997 y 2014.

Posteriormente, en 1995, Lugo presentó un trabajo, el cual muestra con documentos que el terremoto realmente ocurrió en el año 1610 y muy probablemente el 3 de febrero. Igualmente dio a conocer documentos que demostraron la ocurrencia de anteriores eventos sísmicos, posiblemente a partir de 1599, que causaron fuertes daños a la Villa de San Cristóbal, en particular en la iglesia. Estos documentos y otros se encuentran recopilados en el catálogo Grases *et al.* 1999.

En las Primeras Jornadas Venezolanas de Sismicidad Histórica realizadas en 1997, en la ciudad de Trujillo, se presentaron tres trabajos sobre el terremoto de 1610 (Audemard, 1998, Ferrer y Laffaille, 1998 y Singer, 1998), los dos últimos trataron de los aspectos geomorfológicos del gran alud sísmico de La Playa. La confrontación de las descripciones del Fray Pedro Simón con las observaciones en el campo demostró que el Fray no había inventado ni exagerado su historia como hasta entonces se había creído; esto da mucha confiabilidad a las demás informaciones suministradas en su libro. Ferrer y Laffaille asignaron al evento una intensidad máxima de 11 MM lo cual, de acuerdo a ellos, correspondería a una magnitud de 7,2; además adjudicaron la causa del evento a una ruptura de la falla de Boconó de 36,4 km desde La Grita hasta La Playa.

En otro trabajo, Laffaille *et al.* (2007) ubicó el epicentro del sismo inmediato a La Grita, considerando los fuertes daños que se experimentaron en esta población. Por otra parte, Audemard (1998) presentó los resultados de un trabajo paleosismológico, realizado en una trinchera excavada al norte de La Grita, en la traza de la falla de Boconó, donde encontró evidencias de un desplazamiento vertical, atribuible a un sismo ocurrido en 1610. El análisis de unas estrías observadas dio como resultado un desplazamiento horizontal de 1,2 a 1,7 m que correspondería a una magnitud del sismo entre 7,1 a 7,3 Ms.

Posteriormente, Audemard (2014), publicó otro estudio, en el cual presentó una visión actualizada sobre la segmentación de la falla de Boconó (cinco segmentos Boc-a en el suroeste hasta Boc-e en el noreste), comparando los resultados de excavaciones de 7 trincheras repartidas a lo largo de la falla. Cada segmento sería potencialmente fuente para un sismo grande (de magnitud mayor de 7),

aunque no necesariamente rompiendo todo el segmento. El segmento que daría origen al terremoto objeto de este estudio es Boc-a ó segmento La Grita, que se extiende desde la frontera con Colombia hasta la cuenca de tracción de Lagunillas; sobre este segmento se excavaron tres trincheras El Delirio, La Grita (hotel La Montaña) y La Pantaleta (en la traza norte de la falla en la cuenca de tracción de Lagunillas). Asimismo, Audemard presenta los resultados e interpretaciones de estas trincheras y afirmó que se encontraron evidencias del terremoto de 1610 en las trincheras de La Grita y La Pantaleta. En la TABLA I se resumen los resultados mencionados en este apartado.

En 2016, Altez en su libro "Historia de la Vulnerabilidad en Venezuela: siglos XVI-XIX" dedicó un capítulo entero al 'Terremoto del 3 de febrero de 1610', donde realizó una investigación histórica detallada del terremoto presentando una revisión minuciosa de los documentos históricos.

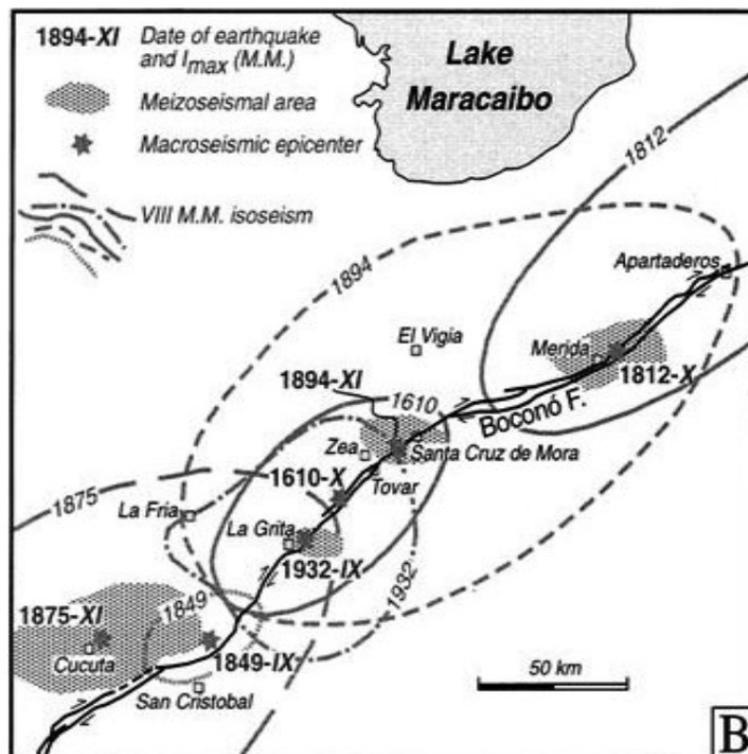


FIGURA 2. Isosistas de intensidad VIII para los más importantes sismos del occidente de Venezuela según Soulas *et al.* (1987)

TABLA 1. Resumen de los resultados de investigaciones previas a este trabajo

Autores	Fenómenos tratados	Características del sismo
Fiedler (1961/1972)	Fenómenos descritos por Fray Pedro Simón	Epicentro: 8,3N; 71,8W Intensidad máxima: 10/8,5 MCS Magnitud: 7,3/6,6 mC
Ferrer y Laffaille (1998)	Alud sísmico de La Playa de Bailadores Volumen desplazado por el alud 14–21 millones m ³	Intensidad máxima: 11 MM Magnitud: 7,2 MI Longitud de ruptura: 36,4 km desde La Grita hasta La Playa de Bailadores
Singer (1998)	Alud de La Playa de Bailadores Volumen desplazado por el alud 15–20 millones m ³ .	
Soulas <i>et al.</i> (1987) revisado en Audemard (1998)	Excavación de una trinchera cerca de La Grita Evidencias de un sismo que puede ser asociado al 03-02-1610	Magnitud 7,1 – 7,3 Ms Desplazamiento 1,2 – 1,7 m
Laffaille <i>et al.</i> (2007)	Destrucción de La Grita y alud sísmico de La Playa	Epicentro muy cerca de La Grita
Audemard (2014)	Integración de segmentación de la falla de Boconó con los resultados de las trincheras. Sección Boc-a, La Grita	Segmento Boc-a le corresponden los evento históricos de 1610 y 1894

2.3 Otras fuentes de información

Lo relatado por Fray Pedro Simón (1963) con respecto al gran alud sísmico, fue confirmado en la crónica de Fray Antonio Vázquez de Espinosa (1987), quien solo difiere en la fecha del temblor el 3 de febrero de 1608. A pesar de ello, existen otros documentos que lo data en 1610, por ejemplo Aguilar (1611) y Martínez (1610).

Asimismo, en el informe de Juan Aguilar, corregidor de La Grita y Mérida, fechado el 4 de octubre de 1611, redactado con la finalidad de dar a conocer el hallazgo de las minas de cobre en el valle de San Bartolomé, se relata la existencia de un ‘volcán’ (en los documentos de esta época se llamaba ‘volcán’ a los movimientos de masa, Altez, 2016) que dejó expuestas las vetas del metal, cuya circunstancia fue descrita por el funcionario al decir que: “...se an descubierto las minas que son una muy gruesa de cobre que la descubrió un bolcan muy grande que abrió unas sierras donde dos leguas de la redonda se an descubierto cantidad de minas de plata...y por que son los temblores tan graves se descubrió esta mina de cobre y con el mismo temblor se hundió esta ciudad...” (Aguilar, 1611: f.611r-v).

En el señalado informe también se incluyen las declaraciones de varios testigos que confirmaron lo dicho por el corregidor y además precisaron algunos detalles, entre los cuales se destaca a que: “...desde hace seis años se tenía conocimiento de las minas, pero un volcán muy, muy grande causado por el terremoto la desenterró...”. Además, se explica que en este mismo cerro había una sola mina, pero se agrega que existían otros volcanes, a lo largo del mismo cerro, ubicado en el valle de San Bartolomé. En frente había otra cordillera, que se extendía hasta Seboruco, en la cual también se conseguía cobre. De acuerdo con lo expuesto se puede concluir que la mina fue descubierta por el ‘volcán’ que se ubicaba en la sierra, al este del valle de San Bartolomé, hoy valle de El Cobre (FIGURA 1).

En otra carta remitida por el Presidente de la Real Audiencia de Santa Fe de Bogotá al Rey, fechada el 16 de octubre de 1610 en cuyo texto se comunica que: “...en los términos de la ciudad de La Grita en el Corregimiento de Mérida en la loma que llaman del viento han descubierto una mina de cobre en plancha...”. Para ubicar la Loma del Viento ayuda lo

descrito por Diego de Villanueva y Gribaja, 1607, quien afirma que *"En el valle de San Bartolomé del que ya se habló está la loma del viento a 3 leguas de la ciudad de la Grita, donde están las minas de Cobre..."* (publicado en Relaciones Geográficas de Venezuela, 1964: 295). Por tanto, las minas descubiertas por efecto del terremoto se ubicaban en el valle de San Bartolomé (hoy El Cobre) en la Loma del Viento, que se sitúa frente de la sierra que se extiende en dirección hacia Seboruco. Ciertamente, en la ruta que sigue en la actual carretera que va del páramo El Zumbador hacia Queniquea hay una zona protectora de las aguas denominada Lomas del Viento. En el mapa de la FIGURA 1 están marcados los sitios mencionados. Por otra parte, existe la descripción de Fray Joseph Martínez de Solís, quien escribió el 13 de marzo de 1610 en Altamira de Cáceres, cerca de Barinas: *"...auserse abolcanado las sierras con temblores de tierra de modo que los ríos y caminos se an atapado en los términos de la grita y Mérida y la villa y camino rreal para desta ciudad yr a la de Santa Fee y hecho grandes lagunas y rrios y estanques muy grandes en el dicho bolcan y saue justamente como vna ciudad y vna villa que en el dicho camino están que es de la grita y villa de San Cristoual se asolaron abra quinze días de vn temblor de tierra sin quedar casa en pie ni templo donde se entiende auer muerto más de ochenta personas en sola La Grita..."* (Martínez, 1610: 56-57).

En ese relato existen tres hechos que es preciso destacar: Primero, se trata de un testigo que no vivió el terremoto propiamente, pero vio sus consecuencias 15 días después. Segundo, el testigo

menciona movimientos de masa en los términos de La Grita, Mérida y la Villa (San Cristóbal); sin embargo, cuando se trata de hablar de destrucciones excluye a Mérida pero si incluye a la Villa de San Cristóbal. Tercero, es sorprendente la coincidencia en el número de muertos con la cifra proporcionada por Fray Pedro Simón, quien habló de 60 difuntos en total. Esto da confiabilidad a ambos testimonios.

Don Tulio Febres Cordero (1930: 109) narra los daños ocurrido en Capacho: *"Su primer templo, sin embargo, no duró sino hasta el año aciago de 1610, en que el espantoso terremoto de La Grita y Bailadores... debió de acabar con él o por lo menos desquiciarlo"*. Hay que considerar que Tulio Febres no menciona los temblores que afectaron a esta región desde finales del siglo XVI (Grases *et al.*, 1999) y que podían haber dañado este templo; además la descripción es imprecisa y fue escrita doscientos años después del evento.

3. Procesamiento de la información histórica

3.1 Intensidades

Con la información proporcionada en la documentación, arriba mencionada se asignaron intensidades a cinco lugares (TABLA 2). El procedimiento utilizado en el presente trabajo para estimar el centro de intensidades y la magnitud del sismo admite que se asigne a cada sitio un intervalo de intensidades (Choy *et al.*, 2010). Para evaluar las intensidades se utilizaron las escalas EMS-98 Escala Macrosísmica Europea (Comisión Sismológica Europea, 1998) y ESI-2007 Medio-ambiental de intensidad sísmica (INQUA, 2010).

TABLA 2. Intensidades asignadas a los diferentes lugares. Se utilizaron las escalas EMS-98 y ESI-2007, tal y como se explica en el texto

Lugar	La Grita	Bailadores y La Playa	Lomas del Viento	San Cristóbal y Capacho	Mérida
Intensidad	9-10	8-9	8-9	7-8	5-6

A continuación, se justifican los valores utilizados: **La Grita:** Los términos que utiliza Fray Pedro Simón para describir los daños en esa población indican un grado de destrucción bastante elevado. De las casas

que existían en esa población, solo 10 quedaron en pie, debido a que su construcción era de tapias; suponiendo la clase de vulnerabilidad más alta de acuerdo con la escala EMS-98, esto significaría una

intensidad mínima de 9 ("*muchos edificios de vulnerabilidad clase A sufrieron daños de grado 5*", INQUA, 2010: 20), pero podría haber llegado a 10 ("*la mayoría de los edificios de vulnerabilidad clase A sufrieron daños de grado 5*", INQUA, 2010: 20). El número de muertos reportados tanto por Fray Pedro Simón como por Fray Joseph Martínez (entre 60 y 80) concordaría con estas intensidades. De esta manera se obtiene un intervalo de intensidades de 9-10 para La Grita, lo cual coincide con lo planteado por Laffaille *et al.*, 2007, quienes asignan un valor entre 9 y 10 en la escala de Mercalli.

San Cristóbal y Capacho: En el relato de Fray Joseph Martínez (1610), se describe de forma convincente que también San Cristóbal sufrió daños por el terremoto; en sus escritos dice: se "*asolaron*" San Cristóbal y La Grita. Tal como lo plantea Altez (2016), el grado de destrucción de San Cristóbal es difícil de evaluar por la confusión con uno o varios sismos que ocurrieron alrededor de 1597 (Alonso de Ribas, 1609, citado en Grases *et al.*, 1999). Pero, se puede afirmar que hubo daños de consideración, como se desprende del uso del término 'asolar', que correspondería por lo mínimo a una intensidad 7 en la escala EMS-98. Indudablemente, los daños fueron menores que en La Grita. En consecuencia, se obtiene un intervalo de intensidades de 7-8 para San Cristóbal.

Por otra parte, para Capacho, pueblo muy cerca de San Cristóbal, se tiene información de Tulio Febres Cordero (1930), quien describe la situación del templo con los calificativos "*acabado*" o "*desquiciado*"; sin embargo, no proporciona información de otras construcciones. Aunque la información es vaga, se considera que estos daños pueden también incluirse en el intervalo de intensidades de 7-8 de la escala EMS-98 para Capacho.

Bailadores y La Playa: De acuerdo con Fray Pedro Simón, en Bailadores se desplomó una casa y en ella murieron tres niños. Independientemente de cuantas casas habría tenido Bailadores en comparación con La Grita, este dato implica que fueron menores los daños en Bailadores que en La Grita.

También es necesario considerar el espectacular evento del alud de La Playa, sitio cercano a Bailadores. La escala ESI-2007 evalúa efectos

cosísmicos naturales. Para la intensidad 8 la escala dice sobre los deslizamientos: "*su tamaño es a veces grande ($10^5 - 10^6 m^3$). Algunos movimientos de masa pueden ocasionalmente obturar valles estrechos causando lagos temporales e incluso permanentes*" (Inqua, 2010: 6). Para la intensidad 9: "*Su tamaño es frecuentemente grande ($10^5 m^3$ o muy grande $10^6 m^3$). Algunos movimientos de masa pueden ocasionalmente obturar valles estrechos causando lagos temporales e incluso permanentes*" (Inqua, 2010: 7). Es decir, la diferencia entre intensidad 8 y 9 está en la frecuencia con la cual estos eventos grandes ocurren. Como se desconoce la ocurrencia de otros movimientos de masa en las inmediaciones de Bailadores se considera asignar a este sitio un intervalo de 8-9 de acuerdo a la escala ESI-2007.

Loma del Viento, Valle de San Bartolomé: Una argumentación similar se puede aplicar para los movimientos de masas ocurridos en la Loma del Viento en el valle de San Bartolomé (hoy El Cobre). En ese sentido, se desconoce la magnitud y la frecuencia de los movimientos de masa en esta zona. Sin embargo, se puede afirmar que hubo uno muy grande que descubrió las minas de cobre (o por lo menos tiene que haber contribuido a descubrirlas más) y los movimiento de masa fueron varios (Aguilar, 1611; Martínez 1610). Por lo tanto, también a esta región se asigna un intervalo de intensidad de 8-9.

Mérida: No se dispone de ninguna información acerca de daños en Mérida. Al respecto se puede dar solamente un límite superior gracias al hecho de que Fray Joseph Martínez de Solís (1610) excluye a Mérida en su relato. Concluimos que los daños ahí no superaron las intensidades 5-6. En la [TABLA 2](#) resumimos las intensidades asignadas y en la [FIGURA 1](#) se representa los lugares donde fueron asignadas las intensidades.

3.2 Método de procesamiento de la información

Para obtener una estimación del centro de intensidades y de la magnitud del evento a partir de los intervalos de intensidades, se aplicó el procedimiento de Bakun & Wentworth (1997) con su modificación para la incorporación de intervalos de intensidades. El método en su forma original fue calibrado para eventos sísmicos del centro-occidente de Venezuela (Palme *et al.*, 2005b) y luego

modificado para incorporar intervalos de intensidades y una corrección por el rumbo de una supuesta falla (Choy *et al.*, 2010; Choy *et al.*, 2011). Los resultados de estos estudios han sido bastante satisfactorios, especialmente para el gran terremoto de 1812, en Venezuela, pero también para el terremoto de Loma Prieta de 1989, en California. Sin embargo, la limitación del presente trabajo es la escasez de información para asignar puntos de intensidades. Por esta razón, existe un elevado margen de incertidumbre.

4. Resultados

4.1 Estimación del centro de intensidades y magnitud

En la FIGURA 3 están representados los resultados obtenidos de la aplicación del procedimiento de Bakun & Wentworth (1997, 1999). El centro de intensidades está indicado con una estrella (latitud 8,1 N; longitud: 71,9 W). Es de hacer notar que, como resultado de este método, no se obtiene el epicentro, que es un término de la sismología instrumental, que ubica el lugar del inicio de la

ruptura proyectado sobre la superficie de la tierra, sino un centro de intensidades, que sería el lugar que pondera la distribución espacial de las intensidades, un análogo al concepto de centro de masas en mecánica de partículas. En los eventos de magnitud moderada, en los cuales la longitud de ruptura es pequeña, el centro de intensidades puede estar muy próximo al epicentro instrumental. En eventos de gran magnitud, especialmente si la ruptura es unilateral, la separación entre ambos puede ser considerable.

Las líneas alrededor del centro de intensidades encierran áreas de probabilidades y fueron trazadas de acuerdo a los criterios de Bakun & Wentworth (1999). La línea más interna significa una probabilidad de 50% de que el centro de intensidades se haya ubicado dentro de esta área, la línea intermedia significa el 80% y la más externa el 95%. La magnitud del evento sería $7,1 \pm 0,5 M_{WI}$, donde M_{WI} significa una magnitud obtenida por medio de intensidades y calibrada con magnitudes de momento y el valor de 0,5 indica una probabilidad de 95%.

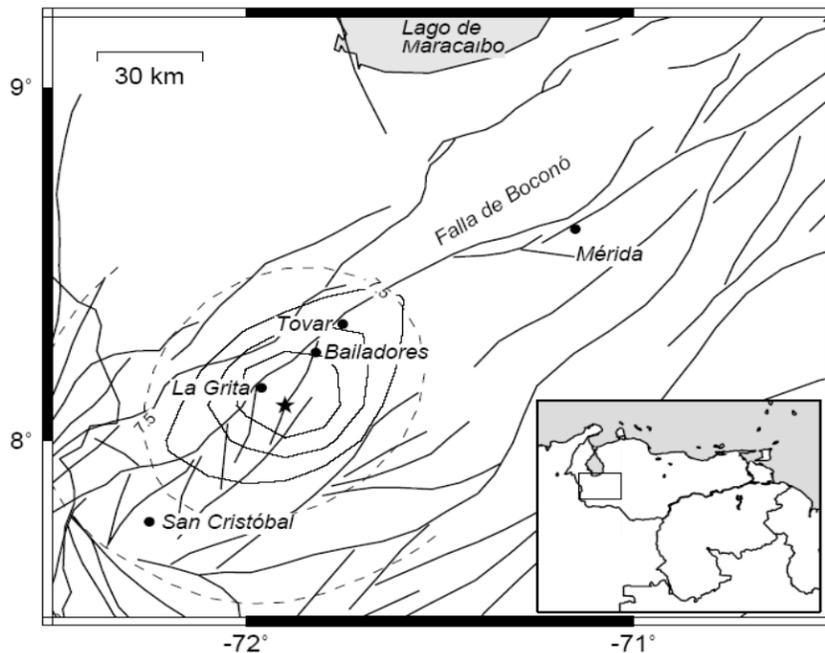


FIGURA 3. Localización del centro de intensidades de acuerdo al procedimiento aplicado de Bakun & Wentworth (1997) con las líneas de probabilidad de 50, 80 y 95%

En la FIGURA 4 se han graficado los valores inferiores de los intervalos de intensidades (FIGURA 4a) y los valores superiores (FIGURA 4b), en función de la

distancia del centro de intensidades. La línea gruesa, representa aquella recta que mejor se adapta a los puntos de observaciones, mientras la línea

interrumpida es una representación de la ley de atenuación utilizada en el algoritmo de este trabajo y que fue obtenido en el proceso de calibración (Palme *et al.*, 2005b). Se observa que para una magnitud de 6,8 en el caso de las intensidades mínimas y de 7,4 en el caso de los valores máximos,

estas dos líneas son prácticamente idénticas. El promedio de las dos magnitudes sería también 7,1. La coincidencia entre las líneas experimentales y teóricas apoyan aún más el resultado obtenido para el centro de intensidades.

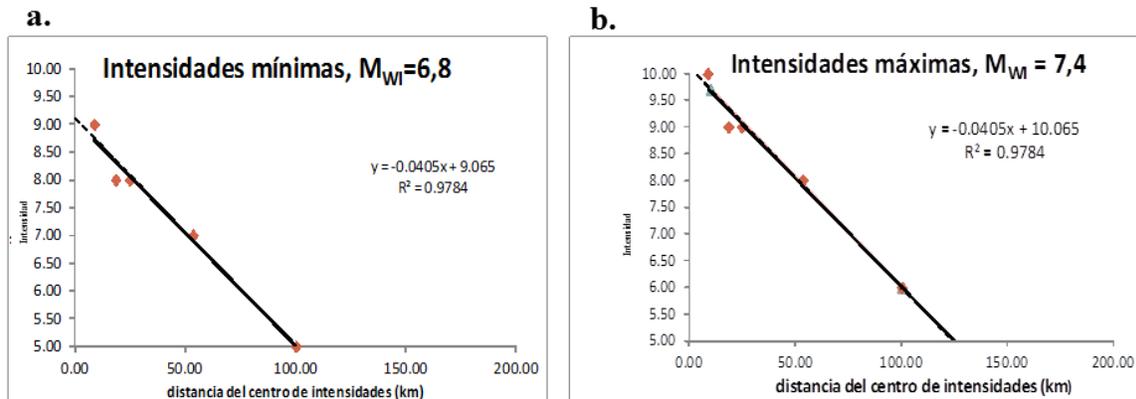


FIGURA 4. En la figura a. (a la izquierda) se muestran los valores inferiores de los intervalos de intensidades, y en la figura b. (a la derecha) los valores superiores en función de la distancia del centro de intensidades. La línea gruesa representa aquella recta que mejor se adapte a los puntos de observaciones. La línea interrumpida es una representación de la ley de atenuación utilizada

4.2 Estimación de la longitud de ruptura

De acuerdo con la publicación de Wells & Coppersmith (1994), un sismo rumbo deslizante de magnitud 7,1 con 95% de probabilidad fue causado por la ruptura de una falla de longitud entre 39 y 115 km, con un promedio de 68 km. En el presente caso, una ruptura de aproximadamente 70 km podría haberse producido en el sistema de fallas de Boconó desde algunos kilómetros al norte de San Cristóbal hasta aproximadamente la ciudad de Tovar. Esta extensión coincidiría con el área de mayores efectos cosísmicos. En la FIGURA 5 se representa con una línea roja gruesa la ruptura propuesta.

4.3 Estimación de la intensidad máxima a partir de la escala ESI-2007

Se puede estimar de manera muy aproximada el área afectada por los efectos secundarios causados por el sismo, que fueron esencialmente los fuertes

movimientos de masa. La escala ESI-2007 establece para el grado 9: "Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 1.000 km²" (Inqua, 2010: 6); y para el grado 10: "Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 5.000 km²" (Inqua, 2010: 7). Si se estiman que los fuertes movimientos de masas se extendían sobre un área elíptica de 1.500 km² (esto correspondería a una elipse, de eje mayor 30 km, en la dirección noreste-suroeste y un eje menor, de 15 km perpendicular al rumbo de la cadena montañosa) se obtendría una intensidad máxima lo un poco mayor que 9. De acuerdo con la relación dada por Båth (1973) $M=1+2/3$ lo se obtendría una magnitud ligeramente mayor que 7, en perfecto acuerdo con los resultados arriba expuestos.

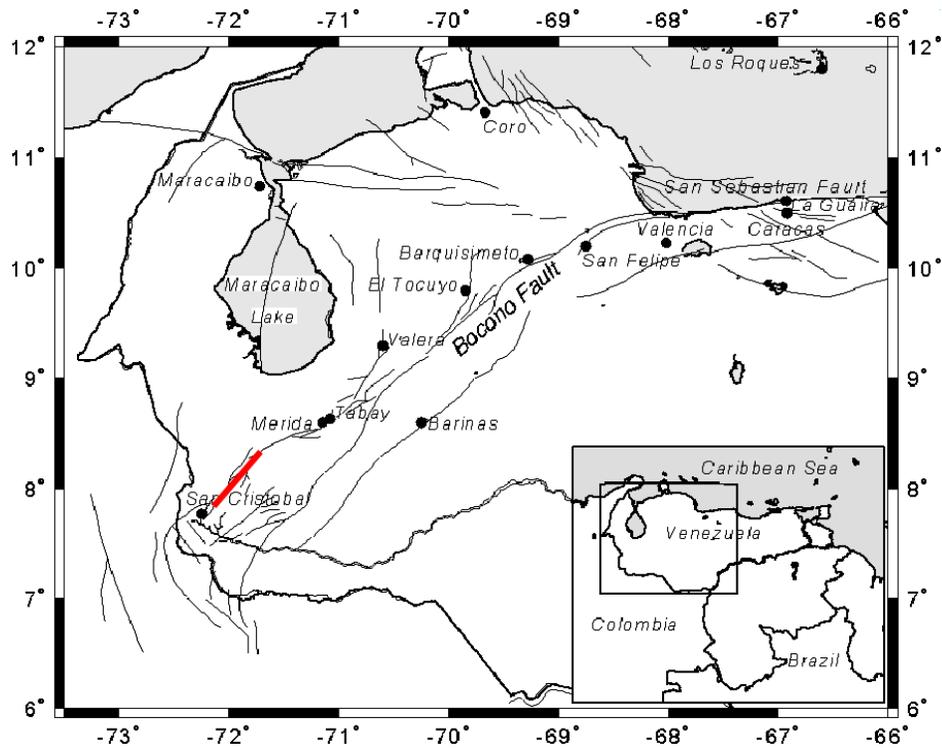


FIGURA 5. Representación esquemática de la ruptura de la falla de Boconó propuesta en este trabajo (línea roja)

5. Discusión y conclusiones

El centro de intensidades de este evento se ubicó cerca de La Grita (8,1 N; 71,9 W) con una magnitud de $7,1 \pm 0,5 M_{w}$. La magnitud obtenida coincide con aquella publicada por otros autores (TABLA 1). El margen de error relativamente grande se debe a la incertidumbre en las intensidades y al hecho que hay pocos puntos de intensidad disponibles. El centro de intensidades se ubicó al suroeste del publicado por Fiedler (1961) y Soulas (1987), es decir más cerca de La Grita (FIGURAS 1 Y 2); esta diferencia se debe a que se ha incluido en la evaluación fuentes documentales que otros autores no han considerado y que reportan grandes movimientos de masa en el valle del Cobre al suroeste de La Grita.

El cuadro de destrucción en los alrededores de La Grita y los extendidos movimientos de masa pueden ser atribuidos a una ruptura del segmento La Grita de la falla de Boconó (Audemard, 2014), con

una longitud de por lo menos unos 70 km, desde Tovar hasta el norte de San Cristóbal. Esta ruptura incluiría también el lugar de la trinchera cerca de La Grita en la cual Audemard (1997) encontró evidencias de una ruptura de la falla para 1610. En su trabajo de 2014 Audemard planteó la posibilidad de que el Gran Terremoto de los Andes de 1894 fuese una repetición del Terremoto de La Grita. La distribución de las intensidades expuestas en el presente trabajo no sustenta esta hipótesis. Salcedo *et al.* (2021) trazó la isosista de intensidad 8 del terremoto de 1894 desde cerca de Bailadores hacia noreste. De acuerdo al presente trabajo, en el terremoto de 1610 las intensidades 8 se extienden desde de noreste de Bailadores hacia el suroeste, con un máximo en La Grita. Esto significa que las rupturas de la falla de Boconó de ambos terremotos no coinciden completamente.

6. Notas

El tema de este estudio fue presentado en la VI Jornadas de Sismicidad Histórica de Venezuela en marzo de 2012 en Caracas, cuyos resúmenes están disponibles en <http://www.sismicidad.ciens.ula.ve/>

La mayoría de los documentos históricos pueden ser consultados en: <http://www.sismicidad.ciens.ula.ve/>

7. Referencias citadas

- AGUILAR, DON JOAN DE. 1611. "Carta al rey. La Grita 04-10-1611". Archivo General de Indias, Sección Audiencia de Santa Fe, Legajo 51. R.2, N° 34, f.611r-v.
- ALTEZ, R. 2016. *Historia de la vulnerabilidad en Venezuela: siglo XVI-XIX*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad de Sevilla. Madrid, España.
- ARANGUREN, R.; RAMÍREZ, L.; CHOY, J.; PALME C. y C. GUADA. 2012. Los terremotos de 1674 y 1894 y la amenaza sísmica del Sur del Lago, Venezuela. *VI Jornadas de Sismicidad Histórica de Venezuela* (Resúmenes). Caracas, Venezuela (26 al 28 de marzo).
- AUDEMARD, F. 2014. "Segmentación sismogenética de la falla de Boconó a partir de investigaciones paleosísmicas por trincheras, Venezuela occidental: ¿Migración de la ruptura hacia el noreste en tiempo históricos?". *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71(2): 247-259.
- AUDEMARD, F. 2009. Información de detalles segmentación sismogenética de la falla de Boconó a partir de investigaciones paleosísmicas por trincheras, *V Jornadas Venezolanas de Sismología Histórica* (Resúmenes). Mérida, Venezuela (25 al 28 de junio).
- AUDEMARD, F. 1998. "Contribución de la paleosismología a la sismicidad histórica: los terremotos de 1610 y 1894 en los Andes venezolanos meridionales". *Revista Geográfica Venezolana*, 39 (1-2): 87-105.
- AUDEMARD, F. 1997. "Holocene and historical earthquakes on the Boconó fault system, southern Venezuelan Andes: trench confirmation". *Journal of Geodynamics*, 24(1-4): 155-167.
- BAKUN, W. & C. WENTWORTH C. 1999. "Erratum to estimating earthquake locations and magnitudes from seismic intensity data". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89: 557.
- BAKUN, W. & C. WENTWORTH. 1997. "Estimating earthquake locations and magnitudes from seismic intensity data". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 87: 1.502-1.521.
- BÅTH, M. 1973. *Introduction to seismology*. Birkhäuser Verlag, Basel.
- CENTENO GRAÜ, M. 1969. *Estudios sismológicos*. Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Caracas, Venezuela: 365.
- CHOY, J.; PALME, C.; GUADA, C.; MORANDI, M. y S. KLARICA. 2011. "Implicaciones de la localización de los centros de intensidad de los eventos de Caracas de 1967 y subevento de Caracas de 1812", *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 26(2): 77-88.
- CHOY, J.; PALME, C.; GUADA, C.; MORANDI, M. & S. KLARICA. 2010. "Macroseismic Interpretation of the 1812 Earthquakes in Venezuela Using Intensity Uncertainties and A Priori Fault-Strike Information". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 100: 241-255.
- COMISIÓN SISMOLÓGICA EUROPEA. 1998. *Escala Macrosísmica Europea EMS-98*. Editor G. Grünthal. Alemania.

- FEBRES CORDERO, TULIO. 1930. "XXVI El Antiguo Capacho". *Archivo de Historia y Variedades*. Tomo I. Editores Parra León Hermanos. Caracas, Venezuela.
- FERRER, C. y J. LAFFAILLE. 1998. "El alud sísmico de la playa: causas y efectos el terremoto de Bailadores (1610)". *Revista Geográfica Venezolana*, 39(1-2): 23-86.
- FIEDLER, G. 1972. La liberación de energía sísmica en Venezuela, volúmenes sísmicos y mapas de Isosistas. *IV Congreso Geológico Venezolano*. Caracas, Venezuela (16 al 22 de nov, 1969).
- FIEDLER, G. 1961. Áreas afectadas por terremotos en Venezuela. *III Congreso Geológico Venezolano*, 1791-1810. Editorial Sucre. Caracas, Venezuela.
- GRASES, J.; ALTEZ, R. y M. LUGO. 1999. *Catálogo de sismos sentidos o destructores Venezuela 1530/1998*. Academia de Ciencias Físicas, matemáticas y naturales. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- INQUA. 2010. *Escala medio-ambiental de intensidad sísmica ESI-2007*. Servicio Geológico de Italia. (Versión en español). Roma, Italia.
- LAFFAILLE J. 2011. *Un Terremoto con tres nombres diferentes: día tres de Febrero de 1610*. Notisismo de 25 octubre 2011. Mérida, Venezuela.
- LAFFAILLE, J.; KLARICA, S.; ALVARADO, M.; GUERRERO, O. y M. LAFFAILLE. 2007. "La reevaluación de los terremotos históricos de Venezuela como una propuesta multidisciplinaria". *Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela*, 98 (IX Congreso Geológico Venezolano. Memorias, 21 al 25 de octubre)
- LARES, J. I. 1894. *Volvamos al hogar: después del terremoto del 28 de abril de 1894*. Imprenta Picón Grillet. Mérida, Venezuela.
- LUGO, M. 1995. "Primeras relaciones históricas de fenómenos sísmicos en Los Andes venezolanos", *Boletín de Historia de las Geociencias en Venezuela*, 1-5.
- MARTÍNEZ DE SOLÍS, J. (FRAY). 1610. "Declaración del 13 de marzo de 1610", Archivo General de Indias, Sevilla, Santa Fe, Leg. 67, Transcripción en: *Colección de los Andes*, Libro La Grita Representaciones 1610.
- PALME, C. y R. ALTEZ. 2002. "Los terremotos de 1673 y 1674 en los Andes venezolanos". *Interciencia*, 27(5): 220-225.
- PALME, C.; MORANDI, M. y J. CHOY. 2005a. "Re-evaluación de las intensidades de los grandes sismos históricos de la región de la cordillera de Mérida utilizando el método de Bakun & Wentworth". *Revista Geográfica Venezolana*, Número especial: 233-253.
- PALME, C.; MORANDI, M. y J. CHOY. 2005b. "Determinación de una relación lineal entre intensidad, magnitud y distancia epicentral para el occidente de Venezuela", *Interciencia* 30: 195-204.

PEDRO SIMÓN (FRAY). 1963. *Noticias Historiales de Venezuela*, 66-67. Academia Nacional de la Historia. Tomo II. Caracas, Venezuela.

PRESIDENTE DE LA REAL AUDIENCIA DE SANTA FE DE BOGOTÁ AL REY.1610. Transcripción en: *Colección de Los Andes; Cedula I (1580-1676)*, Tomo 1-156.

RAMÍREZ, L. 2011. *La tierra prometida del sur del lago de Maracaibo y la Villa y Puerto de San Antonio de Gibraltar (Siglos XVI-XVII)*. Editorial Academia de Historia del Zulia, 2021 T. III. Maracaibo, Venezuela.

RENGIFO M. y J. LAFFAILLE. 2000. "Reevaluación del sismo del 28 de abril de 1894". *Acta Científica Venezolana*, 51: 160-175.

RIBAS, ALONSO DE. 1609. "Carta al Rey", transcripción en: *Colección de Los Andes*, Libro La Grita Representaciones 1610.

SALCEDO, E.; AUDEMARD, F. y N. GARCÍA-MILLÁN. 2021. "Parámetros focales del terremoto del 28 de abril de 1894 en los Andes venezolanos usando datos macrosísmicos". *Revista Académica Colombiana Ciencias*, 45(175): 591-606.

SINGER, A. 1998. "Evaluación retrospectiva de los efectos geológicos destructores del Terremoto de 1610 en los Andes venezolanos por medio de la confrontación de testimonios del siglo 17 y de observaciones de campos actuales". *Revista Geográfica Venezolana*, 39(1-2): 289-296.

SOULAS, J.; SINGER, A. y M. LUGO. 1987. *Tectónica cuaternaria, características sismogénicas de las fallas de Boconó, San Simón y del piedemonte occidental andino y efectos geológicos asociados a la sismicidad histórica* (Proyecto Sumandes). FUNVISIS. Tomado de: Audemard F. 1998. "Contribución de la paleosismología a la sismicidad histórica: los terremotos de 1610 y 1894 en los Andes venezolanos meridionales". *Revista Geográfica de Venezuela*, 39(2): 87-105.

VÁZQUEZ DE ESPINOSA, A. (FRAY). 1987. Transcripción en: *Colección de Los Andes*. Fundación de La Grita. Táchira, Venezuela.

VILLANUEVA y GRIBAJAM D. 1607. "Relación Geográfica de la Gobernación de Venezuela. Los Corregimientos, la Grita, Tunja y Gobernación de los Mussos". *Relaciones Geográficas de Venezuela* (Siglos XVI-XVIII), pp. 287-301. Academia Nacional de la Historia. Caracas, Venezuela.

WELLS, D. & K. COPPERSMITH. 1994. "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement". *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84: 974-1002.

Lugar y fecha de finalización del artículo:

Mérida, Venezuela: mayo, 2024

Revisión: noviembre, 2024