

EL SISMO DEL 21/12/2001 EN LOS ANDES MERIDEÑOS

MARTÍN RENGIFO, JAIME LAFFAILLE, JOSÉ CHOY

Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias. Departamento de Física,
Laboratorio de Geofísica. Mérida. Venezuela. e-mail: {martinr; jaime; choy}@ula.ve

Recibido: junio de 2009

Recibido en forma final revisado: febrero de 2010

RESUMEN

El día 21 de diciembre de 2001 cerca de las cinco de la tarde un fuerte sismo sacudió gran parte de los Andes venezolanos. Este evento fue reportado por el Laboratorio de Geofísica (Universidad de Los Andes), con magnitud $M_b = 5.7$, epicentro con coordenadas $8.23^\circ \text{ N} - 70.97^\circ \text{ O}$ (al noreste de Aricagua, estado Mérida) y profundidad focal de 6 Km. El mecanismo focal se determinó utilizando 33 polaridades del primer arribo de la onda P, resultando la solución focal: (a) rumbo = 228° , buzamiento = 75° y deslizamiento = 137° ; (b) rumbo = 328° , buzamiento = 48° y deslizamiento = 17° . La distribución de las réplicas evidencia que el plano de falla es el plano (a) de la solución focal, indicando un fallamiento rumbo deslizante dextral. La ubicación de su epicentro, el tipo de fallamiento y la distribución de sus réplicas, permite asociar este sismo al sistema de fallas de Caparo, Venezuela. El día 26 del mismo mes, aproximadamente a 20 km hacia el suroeste se produjo otra serie de eventos, también asociados a la falla de Caparo, y cuyo conjunto de polaridades es consistente con el mecanismo del sismo principal del día 21. Aunque inicialmente no se reportaron daños graves, pocas semanas después se conoció que este evento causó cierta destrucción en una población merideña de difícil acceso: El Quinó. Con la información macrosísmica, obtenida a través de diversas fuentes, se elaboró el mapa de isosistas, cuyas curvas muestran cierta tendencia a alargamiento NE-SO. La determinación de los parámetros del sismo a partir de las isosistas revela la factibilidad de aplicar, con buenos resultados, las ecuaciones de Shebalin a sismos históricos ocurridos en los Andes venezolanos.

Palabras clave: Terremoto, Intensidad, Vulnerabilidad, Falla de Caparo, Sismicidad.

THE EARTHQUAKE OF 12/21/2001 IN THE MÉRIDA ANDES

ABSTRACT

On December 21, 2001, at nearly five o'clock in the afternoon, a strong earthquake shook a large extent of the Venezuelan Andes. This event was reported by the Laboratorio de Geofísica (Universidad de Los Andes) with magnitude $M_b = 5.7$; epicentral coordinates at $8.23^\circ \text{ N} - 70.96^\circ \text{ W}$ (northeast of Aricagua, Mérida state) and 6 km depth. The focal mechanism was determined using 33 P-wave first motion polarities. The solution is given by: (a) strike = 228° , dip = 75° and slip = 137° ; (b) strike = 328° , dip = 48° and slip = 137° . The distribution of aftershocks shows that (a) is the fault plane, indicating a right lateral strike slip faulting. Due to the location of its epicenter, its type of faulting and the distribution of its aftershocks, it is considered that this event broke the Caparo fault, Venezuela. Another set of events occurred on the 26th of the same month, at approximately 20 km to the southwest. They also were associated with the Caparo fault, and produced a set of polarities consistent with the focal mechanism of the main event of December the 21th. Initially, no serious damages were reported, but a few weeks later it was known that they occurred in the El Quinó, a village of difficult access for its geographical location. The collected macroseismic information was enough to make an isosistic map, whose curves show some elongation with a NE-SW trend. Determination of earthquake parameters from this map point out the feasibility of the application, with good results, of the Shebalin seismic-field equations to historical earthquakes occurring in the Venezuelan Andes.

Keywords: Earthquake, Intensity, Vulnerability, Caparo fault, Seismicity.

INTRODUCCIÓN

El día viernes 21 de diciembre de 2001 a las 4:51 de la tarde hora local, los estados del occidente y centro de Venezuela fueron sacudidos por un fuerte sismo con epicentro al sur de Mérida, en una zona poco habitada y de difícil acceso. Este evento fue sentido con mucha intensidad en la mencionada ciudad, y aunque causó pánico en algunos sectores no se reportó, en ese momento, ningún daño que lamentar. El sismo también fue sentido en los departamentos colombianos del Arauca y Norte de Santander; hacia el este se sintió hasta Barcelona (Venezuela), a más de 700 km del epicentro, aunque sólo por algunas personas. La prensa comentó daños menores en algunos poblados merideños y la caída de un rancho en Socopó, estado Barinas, población cercana al epicentro.

El lugar señalado como epicentro (figura 1) es una zona de montaña y casi deshabitada, siendo las poblaciones más cercanas Aricagua, Socopó y la aldea El Quinó. El evento no estuvo precedido de otros que pudieran catalogarse de premonitores, pero posteriormente se registraron varios sismos de menor magnitud, por lo menos durante los cinco días siguientes, con epicentros cercanos al del evento principal.

El área que rodea a la zona epicentral ha sufrido en anteriores oportunidades por efectos de los sismos; algunos catálogos sísmicos como el de Grases (1980) y el de Cluff & Hansen (1969) reportan que entre 1935 y 1961 se sintieron en los alrededores de Aricagua muchos temblores, unos cuantos de ellos llegaron a producir daños en las poblaciones aledañas y en la misma Aricagua (Rengifo & Escobar, 2002). A menudo se producen sismos con epicentros en esta

zona de la cordillera merideña tal como se refleja en los boletines sismológicos del Laboratorio de Geofísica-ULA (2006).

Actualmente se acepta que la tectónica de los Andes venezolanos está controlada por la interacción de las placas tectónicas: Suramericana, Nazca y la del Caribe, así como por algunos bloques o miniplacas, ubicados entre éstas. Una parte de la frontera de placas transcurre a lo largo de la cordillera andina, representada por la Falla de Boconó (Audemard *et al.* 2007). La dirección de los esfuerzos regionales en esta parte del occidente de Venezuela es aproximadamente este – oeste, y el rumbo de las trazas principales del sistema de fallas de Boconó, así como el del eje de la cordillera es noreste, de tal manera, que los esfuerzos regionales presentan tanto una componente perpendicular al mencionado eje de los Andes, como una componente paralela al mismo (Soulas, 1985; Audemard & Audemard, 2002). Esta última, sería la responsable del movimiento de rumbo dextral atribuido a la falla de Boconó y a otros fallamientos que corren cuasi-paralelos a dicha falla; la componente perpendicular de los esfuerzos generaría fallas de tipo inverso en los flancos de la cordillera y estaría relacionada con el ascenso de la misma.

En el flanco sureste de los Andes, donde se ubica la zona epicentral, existen varias fallas de rumbo noreste (Hackley *et al.* 2005), cuasiparalelas al sistema principal, de considerable longitud y de expresión topográfica bien marcada, que constituyen lo que se conoce como Sistema de Caparo. A este sistema de fallas Soulás (1983) le atribuye movimientos rumbodeslizantes a la derecha con cierta componente vertical, señalando además que existen evidencias de

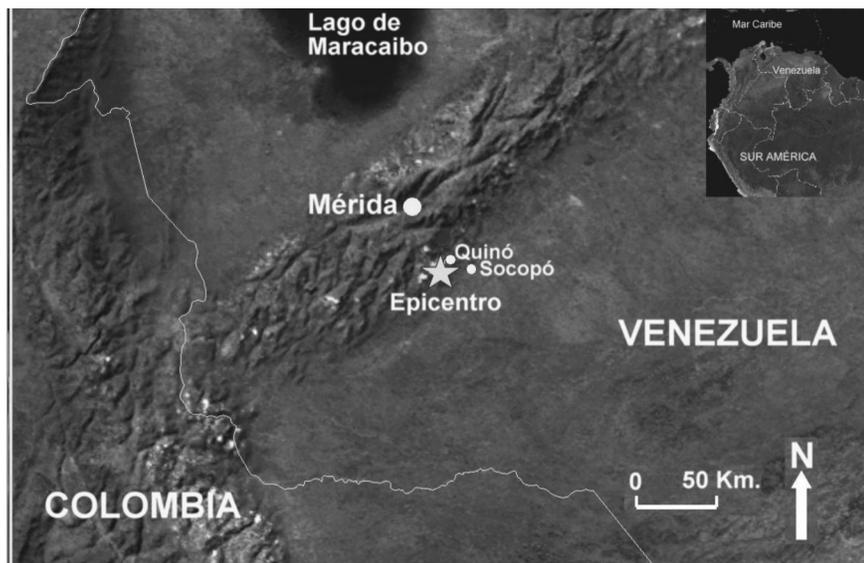


Figura 1. Imagen de satélite del occidente de Venezuela indicando la zona epicentral del evento del 21/12/2001, al sur de Mérida. Imagen: NASA, 2005.

actividad reciente. Al respecto, un mecanismo focal compuesto, obtenido con varios eventos sísmicos asociados al mencionado sistema de fallas y que es consistente con movimiento de rumbo a la derecha (Aggarwal, 1982), tiende a confirmar las apreciaciones de Soulás (1983).

Hasta el presente la sismicidad reportada en esta zona es principalmente superficial, no excediendo los 15 km de profundidad; sin embargo, al avanzar desde los flancos hacia el centro de la cordillera se ubican hipocentros algo más profundos asociados con las fallas inversas de los piedemontes. Bonive & Rengifo (1998), determinaron para la falla del Piedemonte Suroriental un buzamiento hacia el centro de la cordillera con valor promedio de 39°.

Aunque inicialmente no se reportaron daños importantes asociados con el temblor que motivó este trabajo, casi un mes después de ocurrido el mismo, algunos montañistas (Geog. Juan C. Rincón, ref. personal) informaron que se habían producidos cuantiosos daños en la población de El Quinó, lo que motivó una visita a la zona a fin de evaluar la situación real.

A continuación se presenta una descripción de los efectos generados por ese temblor de tierra en parte del occidente del país, con particular énfasis en la aldea El Quinó, población que sufrió con mayor rigor los embates del mencionado movimiento sísmico.

DATOS INSTRUMENTALES

El sismo del 21/12/01 fue registrado por la Red Sismológica de los Andes Venezolanos (REDSAV), la red de DESURCA en Uribante – Caparo y las estaciones de la Red Nacional (FUNVISIS). Con estos datos y usando el Fasthypo con el paquete OSULA se localizó el epicentro del evento en las

coordenadas 8,23° N y 70,97° O, con profundidad focal de 6,5 km; su magnitud de ondas de cuerpo (mb) se estimó para este trabajo en 5,5, sin embargo, se aprecia un amplio margen en la estimación de la magnitud según los diferentes reportes, que oscila entre 5,1 y 5,7 (Funvisis, 2002; Laboratorio de Geofísica, 2001; USGS, 2001).

En el momento en que ocurrió el evento las estaciones sismográficas de la REDSAV contaban con sismómetros de corto período S-13 (Geotech) en posición vertical; la estación UAV era la única que registraba las tres componentes con sensores del mismo tipo. La red de DESURCA usaba sismómetros S-13 (Geotech) y Rangers (Kinometrics), también en posición vertical. La Red Nacional disponía tanto de estaciones de corto período (S-13, en posición vertical) como de banda ancha, estas últimas con sismómetros Guralp CMG-40T.

Después del sismo principal se produjo una corta secuencia de réplicas todas con $M \leq 3,7$: seis sismos en las primeras 8 horas y otros dos en los dos días siguientes. Las profundidades de estos eventos no sobrepasan los 15 km, todos con epicentros en un área relativamente pequeña (6 km x 4 km) contigua al sitio donde se localizó el epicentro del sismo principal (grupo A en figura 2). El día 26 se produce un sismo de $M= 3,4$ aproximadamente a 20 km al sureste de la anterior zona epicentral, el cual fue seguido de 15 réplicas en las subsiguientes 30 horas, también con epicentros localizados dentro de un área muy reducida (grupo B de la figura 2). Los epicentros de las réplicas mostrados en la figura 2 (tabla 1) corresponden al resultado de relocalizar dichos eventos considerando los residuales, en los tiempos de llegadas de las ondas P, de un sismo considerado como patrón en cada grupo: el sismo principal para el grupo A, y el sismo del 26/12/01 a las 08:48 h para el grupo B.

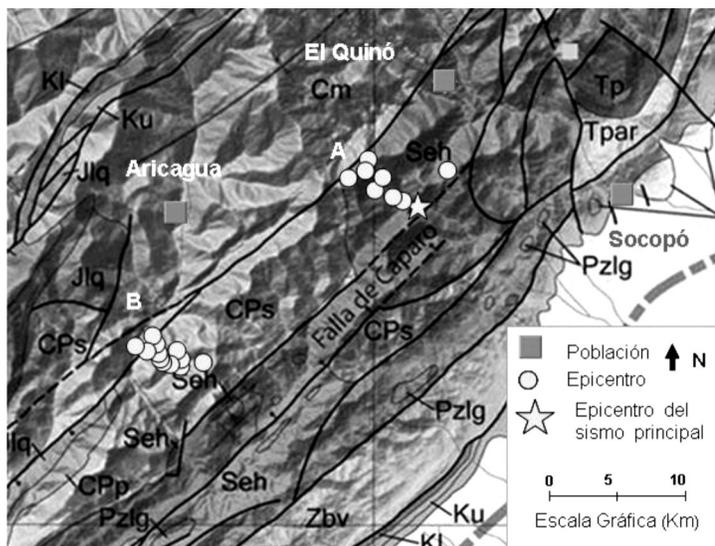


Figura 2. Mapa geológico mostrando parte del Sistema Caparo, así como los epicentros de los sismos (círculos llenos) que siguieron al sismo de $M = 5,6$ del día 21/12/01 (estrella). Mapa modificado de Hackley *et al.* (2005).

Tabla 1. Parámetros principales de los sismos de diciembre de 2001.

N	Fecha	Hora	Lat (°)	Lon (°)	Prof. (Km)	Magnitud	NE
1	21/12/01	20:51:51	8,23	70,965	6	5,5	24
2	21/12/01	21:03:53	8,239	70,987	9	3,7	16
3	21/12/01	21:45:54	8,246	71,000	9	3,4	20
4	21/12/01	21:50:02	8,254	71,018	-	2,5	9
5	22/12/01	02:28:20	8,260	70,946	1	2,5	13
6	22/12/01	03:37:44	8,254	70,994	12	2,9	16
7	22/12/01	04:11:58	8,268	71,005	13	2,8	17
8	23/12/01	08:09:54	8,237	70,978	10	2,6	14
9	24/12/01	22:34:59	8,260	71,006	14	3,5	21
10	26/12/01	06:57:05	8,13	71,164	10	3,4	15
11	26/12/01	08:49:01	8,132	71,161	13	3,2	16
12	26/12/01	08:50:59	8,123	71,147	14	2,4	13
13	26/12/01	10:34:04	8,128	71,158	14	3,1	16
14	26/12/01	10:44:15	8,129	71,164	13	2,8	15
15	26/12/01	10:45:21	8,131	71,168	14	2,5	14
16	26/12/01	11:01:04	8,130	71,163	13	2,7	13
17	26/12/01	11:14:28	8,123	71,156	14	2,5	14
18	26/12/01	11:16:38	8,127	71,143	16	2,5	15
19	26/12/01	16:41:35	8,130	71,160	6	3,6	23
20	26/12/01	17:08:05	8,119	71,126	14	2,5	11
21	26/12/01	16:46:37	8,125	71,156	16	2,3	9
22	26/12/01	17:44:15	8,121	71,143	11	2,4	8
23	26/12/01	19:56:15	8,130	71,144	15	2,7	13
24*	27/12/01	04:23:13	8,104	71,159	9	2,4	7
25*	27/12/01	11:45:17	8,131	71,154	14	2,6	9

NE se refiere al número de estaciones usadas en la localización epicentral.

* indica localización poco confiable.

Las gráficas de frecuencia sísmica (figuras 3a y 3b) de ambos grupos de eventos señalan una rápida caída de la sismicidad en el tiempo, lo cual unido a la definida separación espacial entre ellos, podría ser indicativo de que se registraron dos episodios sísmicos distintos a pesar de su cercanía tanto espacial como temporal.

Con la información aportada por las diferentes redes que operan en el país, se reunió suficiente información de polaridades de primera llegada para elaborar el mecanismo focal del evento (proyección de la semiesfera inferior), el cual se muestra en la figura 4, y corresponde a un movimiento fundamentalmente de rumbo con una apreciable componente de movimiento inverso. La elección del plano de falla (plano de rumbo noreste, $\sim 228^\circ$) se logra al considerar que el rumbo de los principales fallamientos en la zona es noreste, y que la profundidad de los hipocentros de las réplicas aumenta en función de su posición al noroeste, tal como se muestra en la figura 5 para el grupo "A"; las profundidades de los focos para el grupo "B" resultaron me-

nos confiables y no arrojan una tendencia definida. De tal manera, que el mecanismo focal representa un movimiento de rumbo a la derecha, sobre un plano de alto buzamiento ($\sim 75^\circ$), coherente con la tectónica regional. Previamente el Servicio Geológico (USGS, 2002) presentó una solución focal determinada a partir del tensor de momento, pero en términos generales, dicha solución no difiere mucho de la que se presenta en este trabajo.

El resto de los eventos no presentó suficientes polaridades para determinar sus mecanismos focales simples, sin embargo, las polaridades de los sismos del grupo A fueron revisadas y son consistentes con el mecanismo focal determinado; las polaridades del grupo B se usaron para obtener un mecanismo compuesto (figura 6a), que aunque su solución no es única, es coherente con el mecanismo del sismo principal, lo cual puede verificarse en la figura 6b donde se agregan las polaridades de este evento al mecanismo compuesto del grupo B.

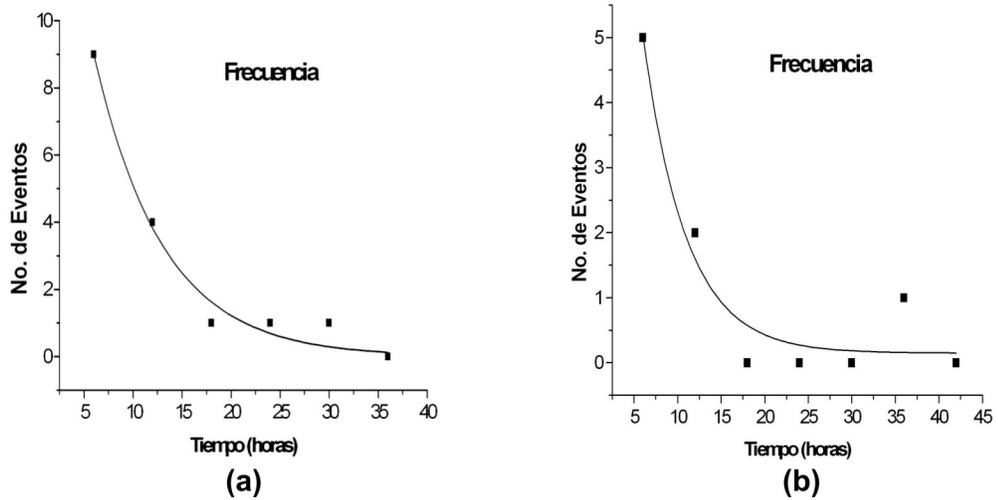


Figura 3. Número de sismos en función del tiempo (intervalos de seis horas):
a) Grupo de epicentros “A” de la figura 2; b) Grupo de epicentros “B” de la figura 2.

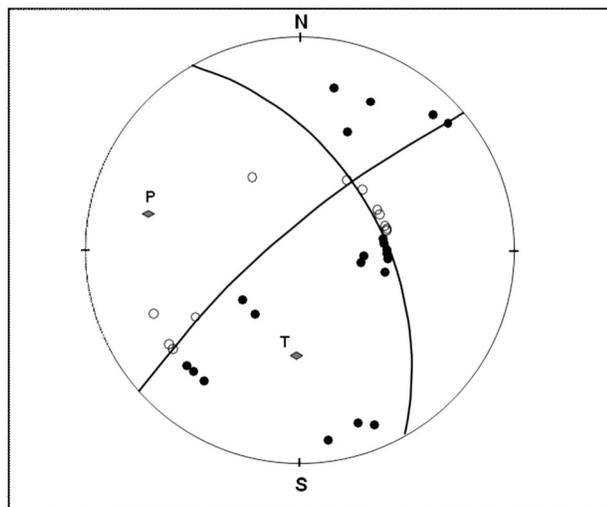


Figura 4. Mecanismo focal del sismo del 21/12/01 a las 20:51 con epicentro al sur de Mérida. Los círculos en blanco representan dilatación y los negros compresión. Plano de falla: rumbo 228°, buzamiento 75° y deslizamiento 137°. Ejes de esfuerzos: P (Az=286° ; Pl = 18°), T (Az = 181°; Pl = 38°).

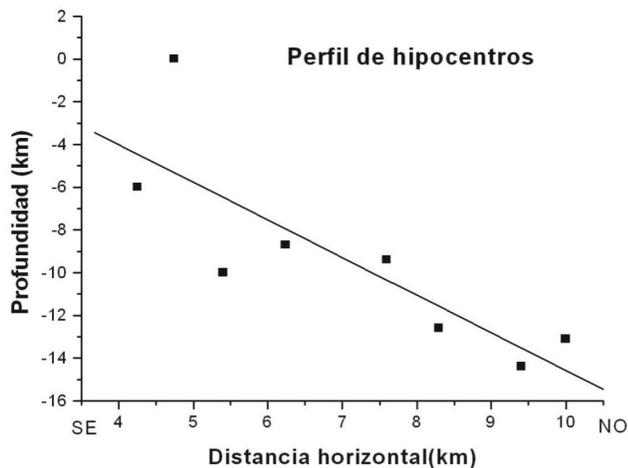


Figura 5. Perfil de hipocentros para el grupo de eventos “A” de la figura 2.

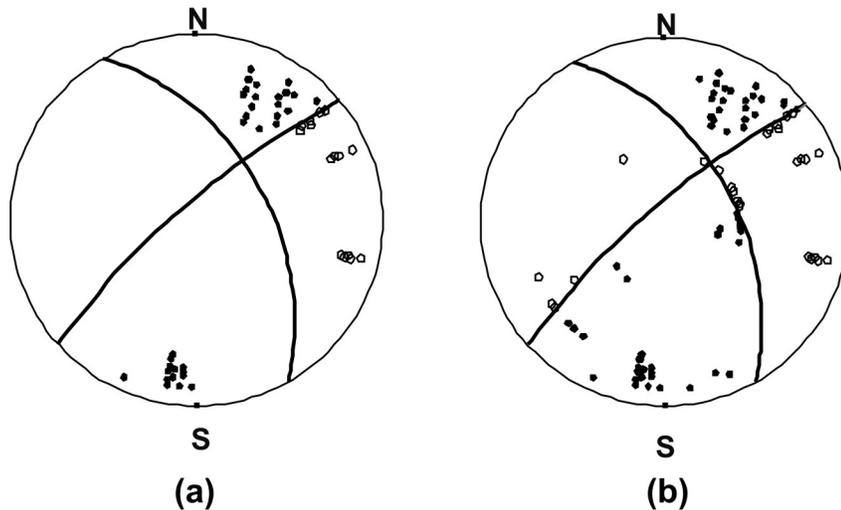


Figura 6. Mecanismos focales compuestos: a) Grupo B de la figura 2; b) Grupo B + evento principal. Los círculos en blanco representan dilatación y los negros compresión. Plano de falla: rumbo 228°, buzamiento 75° y deslizamiento 137°.

EFECTOS MACROSÍSMICOS

Los distintos medios de comunicación al referirse a los efectos producidos por este terremoto, sólo mencionaron la manera como fue percibido el evento por la población: sentido muy fuerte, causó pánico, etc., y refieren que sólo hubo daños menores, sin embargo, en la zona cercana al epicentro se produjeron graves destrozos, que por lo aislado del lugar, no llegaron a conocerse sino tiempo después. Tal es el caso de lo que aconteció en El Quinó, pueblo de la geografía meridiana, donde el sismo causó grandes averías que no trascendieron a los medios de comunicación, pero llegaron a conocimiento de la Fundación para la Prevención de los Riesgos Sísmicos (Fundapris) a través de excursionistas que visitaron la zona.

Una exploración a la zona afectada se realizó después de tres meses de ocurrido el terremoto, debido, por una parte, a lo comentado respecto al flujo de información, y por la otra, al difícil acceso al poblado, que en sus tramos iniciales desde Socopó debe realizarse en vehículos de doble tracción, por caminos a veces intransitables (figura 7), particularmente en esta oportunidad debido a las fuertes lluvias que afectaron la región durante los primeros meses del año 2002; luego del trayecto mencionado debe cubrirse otro, a pie o en recua, por aproximadamente seis horas antes de alcanzar el poblado.

En El Quinó el sismo causó seria conmoción en la población, afectando además, muchas de las edificaciones. Se constató la destrucción total de cuatro viviendas (ejemplos se presentan en la figura 8); la destrucción parcial, grandes grietas y caída de muros de otras cuatro edificaciones, don-



Figura 7. Vista del camino hacia El Quinó, en su sección inicial (parte plana del mismo).

de se incluye el dispensario del pueblo (figura 9), así como el agrietamiento de muchas edificaciones entre las que se consideran la escuela, la iglesia y viviendas particulares. Se debe acotar que las edificaciones de esta aldea, como casi todas las de pueblos y aldeas del interior del país, corresponden al “tipo A” especificado en la escala de magnitudes MSK, es decir, son construcciones rurales, casas de tierra pisada, en algunos casos de bahareque o de madera, con techos de zinc, muy livianos.

Si se considera que el número de edificaciones en la aldea, es inferior a cuarenta, los daños antes descritos, corresponderían a un 22 ó 23% de edificaciones con daños de “clase 4” (9 viviendas caídas o con destrucción parcial) según la escala mencionada y muchas con daños de “clase 3” (viviendas agrietadas, daños considerables), lo que significa un valor de intensidad MSK cercano a VIII o al menos, claramente mayor a VII, que se designará con VII+.



(a)



(b)

Figura 8. Dos de las viviendas destruidas por el temblor del 21/12/01. (a) Restos de vivienda colapsada. (b) Estructura de madera levantada en el sitio anteriormente ocupado por una casa destruida por efectos del sismo.



(a)



(b)

Figura 9. Edificaciones de El Quinó afectadas por el temblor del 21/01/08. (a) El dispensario del poblado. (b) Casa particular.

En general los datos macrosísmicos se comenzaron a recolectar el mismo día del evento. Para ello se efectuaron entrevistas telefónicas, también se solicitó información a través de distintas listas de distribución por Internet, se efectuaron entrevistas personales a los viajeros en los distintos terminales de transporte de los pueblos del sur: plaza Las Heroínas, Periférico y Chamita. Así mismo, se consultó la prensa regional y nacional y se visitaron algunas poblaciones como Lagunillas, San Juan, Tovar, Tabay, Socopó, El Quinó, la zona panamericana, etc.

La recopilación de las percepciones de los efectos del sismo en la forma señalada permitió asignar intensidades en las distintas poblaciones de la región: por ejemplo, en Aricagua todo el mundo lo sintió, dicen que los perros ladraron. En la casa del jefe del módulo de Defensa Civil se rompieron unos vasos. En varias casas cerca de la plaza se agrietaron las paredes y se les cayó el friso. En las casas viejas

cercanas al pueblo aparecieron grietas en las paredes y se les cayeron tejas del techo. Aparecieron pelados en algunos cerros cercanos. Una señora contó que se cayó una pared, pero estaba muy vieja y en mal estado.

Otro informante refiere que el temblor duró como 30 segundos, le dio tiempo a la gente de salir de sus casas y llegar a la calle y seguía temblando. Las personas mayores se arrojaban en las calles y gritaban que era el fin del mundo. Todo el mundo fue presa del pánico.

El chofer Omar Cadenas refirió: En Los Azules (5 km al SO de Aricagua) y otras aldeas: “Se cayó una casa de bahareque y muchas se abrieron (se separaron las paredes) esto lo dijo el cura en la misa”. En la aldea Mucupué (5 km al OSO de Aricagua) según otro chofer, se cayó el friso de algunas paredes y se cayeron tejas; algunas paredes se derrumbaron parcialmente; en unas 10 casas se observaron

desplazamientos de tejas y daños menores. Estas referencias indican intensidad de VI o algo más (VI+) para Aricagua y muy cercana a VII para Los Azules y Mucupué. En Santa Rosa una aldea ubicada aproximadamente a 20 km al NE de El Quinó un vecino refirió que hubo pánico general y grietas profundas en algunas paredes. Se cayó una pared. Otro vio un derrumbe en el camino al caserío. Descripciones que hacen suponer una intensidad de VI+. En Mucutaray, aldea a 10 km al SE de El Morro, dos testigos afirman que lo sintió fuerte todo el mundo. A una señora se le rompieron dos ollas de arcilla. Se cayó una pared y en la casa de uno de ellos se agrietó toda la fachada. Lo cual concuerda con una intensidad de VI+.

Los datos referenciales de lo ocurrido en Los Nevados señalan una intensidad de VI: todo el mundo lo sintió. Dos señoras y un turista sintieron que casi se caen y no podían conservar el equilibrio. En muchas casas aparecieron pequeñas grietas en las paredes. En la posada también se agrietó el piso. A la iglesia se le dañó un sector del altar. Se cayeron algunas tejas. Uno de los conductores de la línea de transporte interurbano fue allá al día siguiente, pero no se enteró de daños. Otro afirmó que se agrietó la iglesia por las esquinas sin más detalles.

En El Morro la intensidad puede tomarse como V+, aunque hay poca información: “sentido fuerte”, en el sitio conocido como “plan de El Morro” se agrietaron los frisos de algunas paredes. Similar a lo ocurrido en El Palmar V+ (cerca de Socopó): Se agrietaron algunas construcciones de tierra pisada y de bahareque. Se cayó un muro que estaba en construcción.

En Acequias fue muy fuerte, mucha gente salió asustada de las casas. Se batieron las puertas y las ventanas. Grietas en varias paredes de arcilla. Otra persona refiere que en su casa se rompió un poquito el friso en la unión con el horcón (viga del techo). En otras casas también se rompió un poco el friso. Esta descripción equivale aproximadamente a una intensidad de V+. Muy cerca de Acequias se encuentran algunas aldeas donde los efectos fueron similares a los observados en dicha población: en Mocotone: todo el mundo se asustó mucho. Un señor dijo que se cayó al piso cuando sintió el temblor. A otro le contaron que en Machare (Mochere, 1 km al norte de Acequias) a una señora se le rodaron las tejas de su casa; Mucusún (a 5 km al norte de S. José de Acequias): “se sintió muy fuerte y todo el mundo se asustó, pero no hubo daños”. En San José de Acequias, la intensidad alcanzó el valor de V: “el remezón fue fuerte y de improvisado, se oyó como crujían los techos. Se movieron de su sitio unas mesas pequeñas”. Otra persona expuso: “con la vibración, fuerte, nos asustamos. Las ventanas estaban cerradas y sonaban, después todos salimos de la casa. Cayó

tierra del techo. Algunas casas se agrietaron”. De Mucutuy y Mucuchachí (I= V) reporta un vecino que el remezón fue muy fuerte, pero no pasó nada. Otro afirmó ver grietas pequeñas en algunas paredes, que la gente salió a la calle y se batieron las ventanas. Reportan de Canaguá mucho pánico en Mucuchachí y derrumbe pequeño en la carretera. Comentó el señor Ponciano Dugarte que en Mucurisá, aldea a 2 km al sur de Mucutuy, se agrietó una casa y una pared de tapia se agrietó de arriba abajo; lo que podría indicar V+? de intensidad.

En Canaguá. La gente se asustó mucho y se salió a la calle porque las casas sonaban y se sacudían mucho. En las casas se movieron los muebles y las puertas y ventanas se sacudieron, se abrían y cerraban de golpe. En algunas casas viejas aparecieron grietas en las paredes y se cayeron trozos de frisos. Lo que corresponde a I= V.

La información de Socopó concuerda también con intensidad V: “mucho susto, la gente salió a la calle. Se escucharon ruidos y crujidos de las casas”. El diario Últimas Noticias (22/12/01) reportó el colapso de un rancho. Sin embargo, no se pudo confirmar este suceso ya que las personas entrevistadas en esa población no tenían conocimiento del mismo.

En la zona de La González, San Juan, Lagunillas, los comentarios son parecidos: “la gente se asustó mucho y salió a la calle, las casas sonaban”. Otros dicen que se movieron muebles o que se batieron las puertas y hubo algunas casas con grietas. Una señora afirmó que “en algunas paredes (muros de las calles, no de las casas) aparecieron grietas muy feas (profundas) y se les cayó el friso (trozos), aun cuando algunas eran de bloques”. En La González hablan de dos temblores. En el Corozo (San Juan) se agrietó el lavadero de una casa (muro de la batea) y la pared de otra casa. En La Vega de La González se agrietó una pared y se sintió muy fuerte. Descripciones que podrían indicar una intensidad de V+.

En Ejido (V): “se sintió muy fuerte, la gente salió a la calle. En el centro centenario todo el mundo salió de las tiendas”. En la urbanización Don Luis se sintió fuerte y la gente salió de algunas casas. Alguien mencionó que su edificio sonaba y que las ventanas se estremecían. Descripciones del mismo tipo se obtuvieron en Mérida (V): expresiones como muy fuerte, mucha alarma, la gente abandonó las casas. En algunas partes se sintió mucho ruido (El Vallecito, La Mata, La Vuelta, el centro). Movimiento muy brusco. Ningún daño. En el centro las personas salieron de las tiendas.

Los efectos del sismo en poblaciones como Tovar, Sta. Cruz, Mesa Bolívar, Chiguará, Jají, El Vigía, Mucujepe,

La Azulita, La Culata, Tabay, Mucurubá, Mucuchíes, Chachopo, Sta. Apolonia, Torondoy, Caja Seca, son propias de intensidad IV. Es curioso el caso de Sto. Domingo donde califican de fuerte al temblor y que además crujieron las casas. En algunas casas se cayeron cuadros u objetos. Lo que podría significar una intensidad de al menos IV+, sin embargo, en Pueblo Llano a escasos 7 km de esa población, la descripción general es que se sintió débil en las casas y no produjo sustos (I= III). Algo similar ocurre con Guaraque donde afirman que todo el mundo lo sintió y hablan de casas agrietadas (I= V), pero en Bailadores que está a 15 km “se sintió suave, no muy fuerte. No hubo alarma” (I = III). Otros casos que llaman la atención son las poblaciones de Colón, Coloncito y San Cristóbal que estando ubicadas a más de 150 km del epicentro, la prensa (Ultimas Noticias, 22/12/01) describe en ellas daños menores como agrietamiento de pisos y paredes y cierta alarma en la población, que sugieren intensidad V. Informó el diario Panorama (22/12/01) que en Bachaquero, Lagunillas y Tiajuana lo calificaron de “muy fuerte” (I= IV – V). En Machiques, a 250 km del epicentro, la gente salió de los locales (I= V).

Estos valores de intensidades permitieron la elaboración del mapa de isosistas que se muestra en la figura 10. En ella

se observan dos situaciones interesantes, por una parte, el epicentro instrumental está alejado del centro de la isosista VI, la de mayor intensidad trazada, y no se ven afectadas por igual poblaciones equidistantes del epicentro, lo que genera un ligero elongamiento de las curvas isosistas en dirección NE-SO. A la par de esto puede notarse una brusca atenuación de intensidades en dirección SE, efecto similar al observado por Rengifo & Laffaille (2000) en un análisis macrosísmico del sismo de 1894 en los Andes meridionales. También es cierto que algunos de estos efectos podrían tener su origen en la falta de información, por ser la zona de mayor influencia del evento un sitio aislado y de difícil acceso, aunque éste no parece ser el caso de la isosista VI. Además, pueden concurrir otros factores como el patrón de radiación generado por el evento o la directividad de la fuente.

Algunos parámetros básicos de este temblor pueden calcularse a partir de las isosistas trazadas, lo que hará posible su comparación con los valores obtenidos usando los datos instrumentales y validar o no, de esta forma, las relaciones empíricas usadas en el cálculo macrosísmico. Al respecto cabe mencionar que Laffaille & Rengifo (1999), Rengifo & Laffaille (2000), Rengifo & Escobar (2002) y Escobar

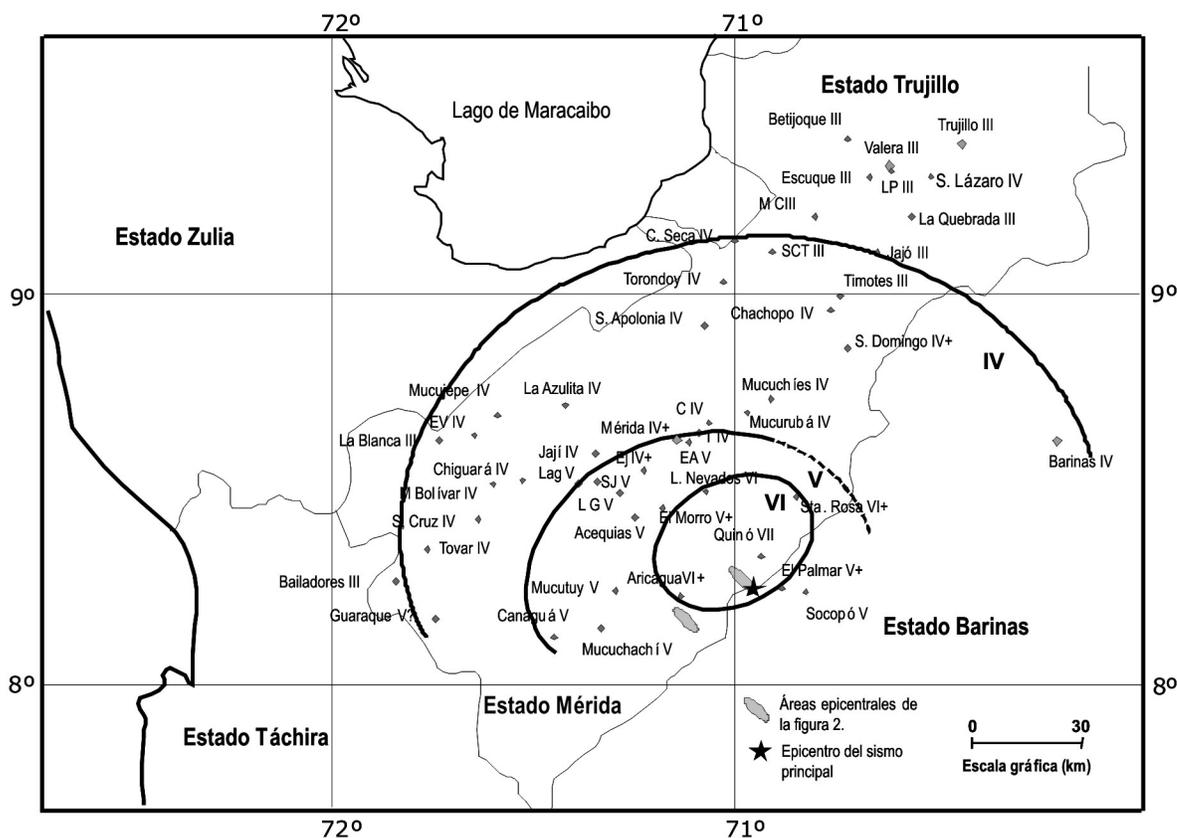


Figura 10. Isosistas del sismo del 21/12/2001. Escala MSK. Algunas abreviaciones se usaron para simplificar la vista: EA: El Arenal; Ej: Ejido; Lag: Lagunillas; LG: Las González; SJ: San Juan; T: Tabay; C: La Culata; EV El Vigía; SCT: San Cristóbal de Torondoy; LP: La Puerta y MC: Monte Carmelo.

En referencia a los efectos macrosísmicos, es importante comentar que los daños ocurridos en el poblado de El Quinó no estaban restringidos a un sitio particular, es decir, las edificaciones con colapso o destrucción parcial, estaban ubicadas en distintos sitios del pueblo, incluso en sitios fuera del asentamiento principal. Además, ni en el camino de subida al pueblo ni en el pueblo mismo se observaron deslizamientos o grietas en el suelo, o cualquier otro elemento que pudiera indicar inestabilidad del terreno. También resulta importante el hecho de que la única población seriamente afectada fue El Quinó, a pesar que las distancias epicentrales desde El Quinó, Aricagua y Socopó no son tan diferentes y el tipo de construcción de las edificaciones pueden considerarse similares en Aricagua y El Quinó (edificaciones tipo "A", comentadas anteriormente), con alguna variación en Socopó que cuenta con un mejor sistema constructivo, pero que conserva muchas edificaciones del tipo señalado para las otras dos poblaciones. Por otra parte, si se considera que tanto el epicentro del sismo principal, así como el sitio donde se localiza el pueblo de El Quinó y el epicentro del sismo del día 26 ($M = 3,4$) están aproximadamente alineados en dirección noreste - suroeste, relativamente cerca de una de las trazas de la figura 2, la cual probablemente represente la falla que generó el sismo, es posible atribuir los daños acontecidos en El Quinó a un efecto de directividad en la ruptura, aunque también pueden atribuirse al hecho de que la mencionada población esté ubicada sobre el bloque superior de la falla (hanging wall), que tal como ha ocurrido en eventos pasados puede ser lugar de mayores aceleraciones (por ejemplo, Shin & Teng, 2001; Shin *et al.* 2003). De igual forma, considerar que tanto el primer conjunto de eventos (el sismo principal y sus réplicas), como los del segundo (sismo del día 26 y sus réplicas), separados más de 20 km, pertenezcan a la misma falla, facilita la hipótesis de que el primer conjunto de eventos podría haber actuado como disparador del segundo conjunto de sismos. Es importante notar que la última réplica del primer grupo de sismos ocurrió el día 26/12/01, que es justamente la fecha en la cual comienza a activarse el otro grupo de eventos.

Las isosistas asociadas al evento, a pesar de estar incompletas por la falta de información, sobre todo en la región al este de la zona epicentral, sugieren (isosista VI) una mayor atenuación en dirección sureste que podría intentar explicarse en base al patrón de radiación de una falla rumbo deslizante buzando al noroeste con ángulo alto. Por otra parte, los valores de profundidad para el foco que se obtienen aplicando las ecuaciones de Shebalin (1968) a las tres isosistas trazadas: 5,7 km, 6,7 km y 7,1 km se aproximan al valor instrumental de 6,5 km. Igualmente la magnitud que se obtiene a partir de las isosistas (5,2 – 5,3) está cerca del valor de magnitud mb (5,5), promedio tomado sobre los

valores reportados por varias agencias sismológicas (ISC, 2005) (Catálogo del ISC 1904-2002), y coincide con el promedio de ms (5,2) tomado del mismo catálogo. Esto constituye un indicio de que las ecuaciones de Shebalin (1968) podrían usarse con resultados confiables en la evaluación de sismos históricos en los Andes merideños.

CONCLUSIONES

El sistema de fallas de Caparo es considerado de régimen transcurrente dextral en base a información geomorfológica, en este trabajo se aportan evidencias sísmicas que refuerzan tal aseveración, pero se determina además, que tal régimen es acompañado de cierta componente de movimiento inverso y que el plano de falla buza 75° al NO, así como también, que los ejes de esfuerzos compresionales P están orientados en la dirección aproximada ONO - ESE.

Es de resaltar que las curvas isosistas trazadas presentan un ligero alargamiento en dirección NE - SO y se encuentra una aparente atenuación hacia el SE, similar a lo obtenido para las isosistas del sismo de 1894 (Rengifo & Laffaille, 2000).

Por otra parte, el análisis macrosísmico indica que se obtienen resultados aceptables en la determinación de parámetros sísmicos al aplicar las ecuaciones de Shebalin (1968) a terremotos históricos que han afectado a los Andes merideños.

Así mismo, la información presentada en este trabajo, además de aportar datos acerca de las características de la tectónica regional, pone de manifiesto una situación que debe llamar a la reflexión: sismos de magnitud moderada pueden ocasionar daños de importancia en diversos poblados y ciudades de la geografía andina, y venezolana en general, dado que la vulnerabilidad sísmica de sus edificaciones es muy elevada. En el caso aquí estudiado la situación resultó aún más dramática, debido al gran aislamiento en que se encuentra la población de El Quinó para el momento del evento. Sin embargo, una breve mirada sobre las tipologías constructivas de los poblados venezolanos, y también sobre las barriadas que rodean las principales ciudades, conduce a plantear la posibilidad de que se presenten escenarios de daños importantes en caso de ocurrir eventos con magnitudes similares o mayores a las del evento estudiado en este trabajo. En este sentido, resulta recomendable y pertinente iniciar un plan de educación nacional tendente a concienciar a la población acerca de la amenaza planteada y sobre las posibles medidas de reforzamiento de edificaciones que cada familia podría ir implementando con la finalidad de reducir la vulnerabilidad de su vivienda.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al aporte de Fundapris y del Laboratorio de Geofísica de la Universidad de Los Andes. Los autores agradecen al geog. Juan C. Rincón su colaboración como guía al poblado El Quinó, así como a los acompañantes prof. Patxi Vizcarret y téc. Marcial Laffaille.

REFERENCIAS

- AGGARWAL, Y. (1982). Sismos locales registrados por la Red Sismológica de Uribante-Caparo; implicaciones para el diseño antisísmico de las presas y las probabilidades de sismicidad inducida. Informe para Cadafe. Funvisis. Caracas. Venezuela, p. 14.
- AGGARWAL, Y. (1984). Actividad sísmica de la región Uribante-Caparo, abril 1984-agosto 1984. Informe para Cadafe. Funvisis. Caracas. Venezuela, p. 18.
- AUDEMARD, F.A., CARRILLO, E., BECK, C. (2007). Fieldtrip Guidebook, International Workshop Blind dip-slip faulting and strain partitioning in an active orogen: the Mérida Andes case, Venezuela. Santo Domingo, Mérida state, Venezuela. March, s/n.
- AUDEMARD, F.E., AUDEMARD, F.A. (2002). Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction. *Tectonophysics*, 345, pp. 299-327.
- BELTRÁN, C. (1993). Mapa Neotectónico de Venezuela, 1: 2.000.000. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Caracas. Venezuela. s/n.
- BONIVE, F. & RENGIFO, M. (1998). Sismicidad en la región andina venezolana (período 1992 – 1993). Memorias del IX Congreso Venezolano de Geofísica. CD-ROM Doc. 066. Caracas. Venezuela. s/n.
- CLUFF, L.S. & HANSEN, W.R. (1969). Seismicity and seismic geology of northwestern Venezuela. Reporte para la compañía Shell de Venezuela. V. 1 y 2 Caracas. Venezuela. s/n.
- ESCOBAR, A. & RENGIFO, M. (2002). Reevaluación de dos sismos históricos en las inmediaciones de La Grita y Zea. *Revista Geográfica Venezolana*. V. 44(2), Mérida, Venezuela, pp. 219-245.
- FUNVISIS (2001). Boletín Sismológico de Venezuela. V. 18 (4). Caracas. Venezuela. s/n.
- GRASES, J. (1980). Investigaciones sobre sismos destructores que han afectado el centro y occidente de Venezuela. Instituto Tecnológico del Petróleo (Intevep). Informe Técnico, Caracas. Venezuela, p. 300.
- HACKLEY, P.C., URBANI, F., KARLSEN, A., GARRITY, C. (2005). Mapa Geológico de Venezuela. Open File 2005-1038. USGS, p. 2.
- INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL CENTRE (2005). Catálogo 1904-2002, Pipers Lane. U. K. s/n.
- LABORATORIO DE GEOFÍSICA (2001). Boletín Sismológico Mensual REDSAV. Diciembre 2001. Mérida. Venezuela. s/n.
- LABORATORIO DE GEOFÍSICA (2006). Boletín Sismológico Mensual REDSAV. Años 1995- 2006 (SIG). Mérida. Venezuela. s/n.
- LAFFAILLE, J. & RENGIFO, M. (1999). Estudio de las intensidades de los eventos sísmicos que sacudieron la región de Carora en diciembre de 1995. VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. CD-ROM 1 – 8. Doc. dsr07. Mérida. Venezuela (12-15 de mayo). s/n.
- NASA (2005). Imagen Satelital. Consultada en septiembre, 2008. <http://WorldWin.arc.nasa.gov/>. s/n.
- PANORAMA (2001). Reportajes del sismo del 21/12/01. Publicación Periódica de Maracaibo, 22 de diciembre. Maracaibo. Edo. Zulia. Venezuela. s/n.
- RENGIFO, M. & ESCOBAR, A. (2002). Los sismos de Aricagua de 1956 y 1959. *Revista Geográfica Venezolana*. V. 44 (1), Mérida. Venezuela, pp. 77-96.
- RENGIFO, M., & LAFFAILLE, J. (2000). Reevaluación del sismo del 28 de abril de 1894. *Acta Científica Venezolana*. V. 51 (3), Caracas, Venezuela, pp. 160-175.
- SHEBALIN, N.V. (1968). Methods of using engineering-seismology data in seismic zoning. En Medvedev S F, *Seismic Zoning of the USSR*, Akad, Nuak, USSR, pp. 101-121.
- SHI, B., BRUNE, J., ZENG, Y., ABDOLRASOOL, A. (2003). Dynamics of earthquake normal faulting: two – dimensional lattice particle model. *BSSA*. V. 93 (3), pp. 1179-1197.
- SHIN, T.C., TENG, T.L. (2001). An overview of the 1999 Chi – Chi, Taiwan earthquake. *BSSA*. V. 91 (5), pp. 895-913.

SOULÁS, J. (1983). Mapa de fallas activas del sur de los Andes. Proyecto Uribante – Caparo. Funvisis. Caracas. Venezuela, s/n.

SOULÁS, J. (1985). Neotectónica del flanco occidental de los Andes de Venezuela entre 70,5° y 71° (fallas de Boconó, Valera, Tuñame, Piñango y del Piedemonte). Memorias del IV Congreso Geológico Venezolano, Tomo IV, Caracas, Venezuela, pp. 6639-6656.

ÚLTIMAS NOTICIAS (2001). Reportajes del sismo del 21/12/01. Publicación Periódica de Caracas, circulación nacional, 22 de diciembre. Caracas. Venezuela, s/n.

USGS (2001). NSGS rapid moment tensor solution 01/12/21; 20:51:52.68. Earthquake Hazards Program. National Earthquake Information Center. Denver. USA. Consultado en junio de 2002. <http://neic.usgs.gov/neis/FM/Q0112212051.html>.