

ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA OCURRIDA ENTRE EL 11 Y EL 18 DE AGOSTO DE 2008 EN LA CIUDAD DE CUMANÁ, VENEZUELA

LUIS D. BEAUPERTHUY U*. FRANCISCO BONIVE, LUIS F. CARABALLO, AMÉRICO MONTILLA Y JORGE ROJAS

Universidad de Oriente, Vicerrectorado Académico, Centro de Sismología, Cumaná, Venezuela
(*luisboper@yahoo.com)

Recibido: octubre de 2009

Recibido en forma final revisado: julio de 2011

RESUMEN

Se analizó la actividad sísmica ocurrida cerca de la ciudad de Cumaná, Venezuela, los días 11 al 18 de Agosto de 2008, y registrada por la red local del Centro de Sismología de la Universidad de Oriente (CSUDO), con el fin de identificar el plano de falla activado y evaluar sus parámetros geométricos y mecánicos. La actividad se inició con un sismo (el principal) de magnitud de coda 5,1, seguido de 13 eventos registrados con magnitudes de coda entre 1,1 y 3,4. La solución para el mecanismo focal del sismo principal admite una ruptura transcurrente dextral de orientación aproximada E-W, y con buzamiento hacia el Norte entre 81° y 90°. Los epicentros tienden a alinearse en dirección E-W, en una banda de unos 12 km de largo, y con eje en la latitud 10° 28,7' N, y entre las longitudes 64° 8,5' y 64° 15,2'W. Esta alineación confirma una falla de traza E-W, y un perfil N-S del conjunto de hipocentros sugiere que se agrupan alrededor de un mismo plano de falla con esa orientación, buzado hacia el Norte en unos 85° ± 3°, y aflorando en superficie a nivel del pie norte del cerro de Caigüire, apuntando al segmento de la falla El Pilar con traza a nivel del pie norte del mencionado cerro como la falla activada. La presencia de epicentros al Oeste del cerro de Caigüire revela que esa falla no se ciega a nivel de la esquina noroeste del cerro, sino que se prolonga como falla activa debajo de la ciudad más al Oeste del cerro, hacia la fosa de Cariaco. Todos los eventos secundarios ocurren al Oeste del epicentro principal, esa atípica asimetría de su distribución parece confirmar la pequeña barrera que proponen los especialistas en la esquina noreste del cerro de Caigüire, ubicada a 1,1 km al Este del epicentro principal, bloqueando rupturas hacia ese lado. En cuanto a los parámetros geométricos y mecánicos del evento principal, las correlaciones empíricas y sismológicas arrojan 7×10^{16} N-m de momento sísmico liberado, 4×10^{12} J de energía liberada, 34 bares de caída de esfuerzos y 18 km² de área de ruptura con 13 cm de deslizamiento relativo promedio entre paredes de falla.

Palabras clave: Enjambre sísmico, Sismicidad, Falla El Pilar, Cumaná, Placa Caribe.

ANALYSIS OF THE SEISMIC ACTIVITY DURING AUGUST 11 TO 18, 2008, NEAR CUMANÁ CITY, VENEZUELA

ABSTRACT

The seismic activity close to Cumaná city, Venezuela, during August 11 to 18, 2008, and recorded by the local seismic CSUDO network, is analyzed in order to identify the activated fault plane and evaluate its geometrical and mechanical parameters. The activity started with a (main) quake of coda magnitude 5.1, followed by 13 registered events with coda magnitudes between 1.1 and 3.4. The focal mechanism solution for the main quake is consistent with a right lateral E-W oriented rupture, with north dip between 81 and 90 degrees. The epicenters spread in E-W direction over a 12 km long strip, with axis in the latitude 10° 28.7' N, and between the longitudes 64° 8.5' and 64° 15.2'W. This alignment corroborates an E-W oriented fault. A N-S depth profile of hypocenters corroborates the gathering around such a fault plane, with north dip of 85° ± 3°, emerging at surface around the north foot of the Caigüire hill, pointing out at the El Pilar fault segment at the north foot of the mentioned hill as the activated one. The presence of epicenters west from the Caigüire hill suggests that this fault segment does not blind at the north western corner of the hill; besides, it looks to extend as an active fault beneath the city westward from the hill. All secondary events occur west of the main epicentre. This atypical asymmetric distribution seems to corroborates the small barrier proposed by specialists at the north eastern corner of the Caigüire hill, 1.1 km East from the main epicenter, stopping ruptures towards that side. With respect to the geometrical and mechanical

parameters of the main event, the empirical and seismological correlations give 7×10^{16} N-m of released seismic moment, 4×10^{12} J of yielded energy, 34 bars of stress drop and 18 km^2 of rupture area with 13 cm of relative mean fault slip.

Keywords: Seismic swarm, Seismicity, El Pilar Fault, Cumaná, Caribbean Plate.

INTRODUCCIÓN

Entre los días 11 y 18 de Agosto de 2008, se presentó una actividad sísmica cerca de la costa norte de la ciudad de Cumaná y entrada del golfo de Cariaco. La red sismológica regional de CSUDO registró catorce sismos (entre el principal y los secundarios) asociados con la referida actividad. El primer evento (el principal), con magnitud de momento $M_w = 5,2$ (USGS, FUNVISIS), y magnitud de coda MD = 5,1 (CSUDO). Se sintió fuertemente en el distrito Salmerón Acosta de la península de Araya y en la ciudad de Cumaná, donde más de trescientos inmuebles resultaron dañados, según reporte de Protección Civil Sucre (2008).

La tabla 1 presenta las ubicaciones hipocentrales y magnitudes de coda (calculados con el programa HYPO71 en la Sala de Registro y Análisis de CSUDO) de los catorce

sismos de la actividad de Agosto, más cuatro sismos adicionales ocurridos pocos meses después, cuyas ubicaciones nos permiten asociarlos con la misma actividad. La figura 1 muestra las ubicaciones epicentrales de los 18 sismos presentados en la tabla 1, junto con las trazas de las principales fallas del sistema El Pilar en la zona (reproducidas del mapa síntesis del fallamiento regional, Beltrán, 1994).

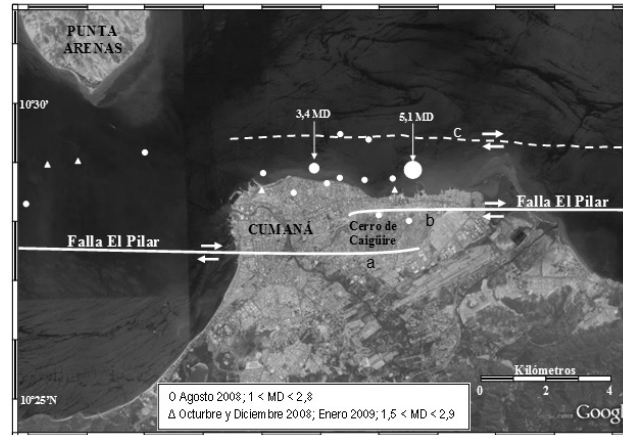


Figura 1. Trazas de las principales fallas del sistema El Pilar en la región vecina a la ciudad de Cumaná, y epicentros de la actividad estudiada en este trabajo (Fuente de la imagen satelital: programa Google Earth).

Tabla 1. Data sísmica de los eventos asociados con la actividad cercana a la ciudad de Cumaná.

Fecha	Hora Origen (HLV)	Magnitud (MD)	Latitud (error en km)	Longitud (error en km)	Profundidad error (km)
11-08-2008	02:49:25,4	5,1	10° 28,7' (1,4)	-64° 08,4' (0,8)	5,3 ± 2,3
11-08-2008	02:56:49,3	2,3	10° 29,4' (0,6)	-64° 09,2' (1,3)	7,9 ± 1,0
11-08-2008	03:13:02,4	2,8	10° 29,5' (0,6)	-64° 09,7' (0,8)	8,5 ± 1,5
11-08-2008	06:30:40,8	1,5	10° 28,5' (1,2)	-64° 10,5' (2,6)	2,7 ± 3,3
11-08-2008	07:56:44,5	2,3	10° 28,1' (0,7)	-64° 09,0' (1,4)	5,9 ± 1,5
11-08-2008	09:04:19,8	1,9	10° 28,8' (0,6)	-64° 11,0' (0,9)	7,8 ± 0,8
11-08-2008	10:16:02,1	1,1	10° 28,3' (2,0)	-64° 15,2' (7,1)	3,4 ± 18,3
11-08-2008	13:46:29,3	2,5	10° 28,8' (0,7)	-64° 09,7' (5,4)	6,9 ± 6,1
12-08-2008	00:04:54,9	2,1	10° 28,6' (0,7)	-64° 08,8' (1,3)	7,2 ± 1,5
12-08-2008	17:17:54,0	2,1	10° 29,2' (0,6)	-64° 13,0' (2,3)	8,7 ± 2,9
13-08-2008	01:34:09,7	2,2	10° 28,0' (0,8)	-64° 08,5' (1,4)	2,9 ± 3,6
15-08-2008	06:06:33,3	1,5	10° 28,7' (0,4)	-64° 09,8' (1,5)	1,7 ± 1,7
18-08-2008	13:05:21,6	3,4	10° 29,0' (0,6)	-64° 10,3' (0,8)	9,4 ± 1,4
18-08-2008	13:08:54,6	1,6	10° 28,6' (0,6)	-64° 09,2' (1,0)	7,8 ± 1,2
30-10-2008	07:52:27,0	2,9	10° 28,7' (0,8)	-64° 14,8' (3,5)	6,4 ± 1,5
07-12-2008	08:21:36,0	1,7	10° 29,1' (0,8)	-64° 14,1' (2,2)	1,0 ± 3,3
20-01-2009	21:40:39,3	2,1	10° 28,5' (1,3)	-64° 08,7' (3,3)	6,1 ± 4,5
21-01-2009	03:10:06,7	1,5	10° 28,5' (1,0)	64° 11,0' (3,4)	8,2 ± 4,0

Con base en la data presentada en la tabla 1, y la propuesta actual sobre el fallamiento local asociado con el sistema de fallas El Pilar (Beltrán, 1994; CSUDO, 2006) en las vecindades de la ciudad de Cumaná y boca de entrada del golfo de Cariaco, se propuso identificar la(s) falla(s) activada(s). Adicionalmente, se ha aproximado la evaluación de algunos parámetros geométricos y mecánicos del evento principal.

FALLAMIENTO LOCAL Y BARRERA DE LOS CERROS DE CAIGÜIRE

La actividad sísmica del Nororiente venezolano es generada principalmente por el sistema transcurrente dextral de fallas El Pilar, que se extiende en dirección Este-Oeste por unos 350 km entre el golfo de Paria al Este y la fosa de Cariaco al Oeste (Audemard *et al.* 2007). Este sistema se considera parte de la frontera principal entre las placas Caribe y Suramérica (Pérez & Aggarwal, 1981; Beltrán & Giraldo, 1989; Audemard, *et al.* 2000). La ciudad de Cumaná está ubicada prácticamente sobre el eje de ese sistema, como muestra la figura 1. En esta figura se destacan las principales fallas propuestas en la vecindad de la ciudad, la orientación de las trazas es predominantemente Este-Oeste. Entre varias trazas secundarias se destaca la de la falla activa principal (falla El Pilar) cruzando la ciudad, con el salto senestro en echelon cerca del litoral norte de Cumaná; esta discontinuidad genera una zona transpresiva entre las dos trazas paralelas, formando la barrera tectónica de los cerros de Caigüire (Beltrán & Singer, 1996; Mocquet *et al.* 1996), de manera que ambas trazas se ubicarían solidarias respectivamente con los pies norte y sur del referido cerro. En cuanto a la transferencia entre ambas trazas a nivel del extremo oeste del cerro de Caigüire, se han propuesto dos versiones: una de ellas aparece en un estudio sobre la vulnerabilidad del hospital de Cumaná Antonio Patricio Alcalá (OPS, 1994), donde se propone que la traza norte se desviaría hacia el Suroeste solidaria con la falda noroeste del cerro hasta conectar con la traza sur, como se muestra con línea punteada en la figura 2. Sin embargo, Giraldo & Beltrán (1988) y Beltrán & Giraldo (1989) proponen que esa falla no desvía su orientación a nivel del extremo Oeste del cerro, sino que se prolonga manteniendo su dirección Este-Oeste (línea segmentada en la figura 2) debajo de la ciudad, separándose de la falda noroeste del cerro, pero cegándose en algún punto frente al extremo oeste del cerro, donde hace el relevo senestro hacia la traza solidaria con el pie sur del cerro.

SISMICIDAD PREVIA A LA ACTIVIDAD DE AGOSTO DE 2008

Durante los días 14 y 15 de Marzo de 2005, se presentó un pequeño enjambre en la misma zona, donde se concentró

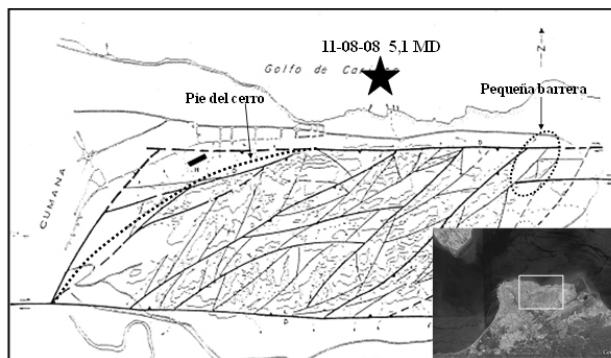


Figura 2. Reproducción de la figura 5 del artículo de Giraldo & Beltrán (1988). Se agregó una línea punteada para sugerir la versión de OPS (1994) sobre la orientación de la traza de la falla El Pilar a nivel de la esquina noroeste del cerro de Caigüire. Con línea a trazos (de la figura original), los autores presentan su versión sobre la traza de la falla frente al extremo noroeste del cerro. Se ha agregado un óvalo punteado para destacar la pequeña barrera que los autores proponen en la esquina noreste del mismo cerro y una estrella para ubicar el epicentro principal del 11-08-2008. En la esquina inferior derecha se recuadra la ubicación geográfica (Fuente de la imagen satelital del recuadro: programa Google Earth).

la actividad de Agosto de 2008. El boletín sismológico de CSUDO reporta 10 sismos registrados en esos dos días, con magnitudes de coda oscilando entre 1,0 y 2,1, y todos con profundidades similares, entre 7,6 y 9,6 km.

Al igual que ocurrirá con la actividad de Agosto de 2008, los epicentros se distribuyeron axialmente de Este a Oeste a lo largo de una banda de unos 3,3 km de largo entre las longitudes $64^{\circ} 9,5'$ y $64^{\circ} 11,3'$ W, con eje en la latitud $10^{\circ} 29,2'$ N (medio minuto de arco al Norte del eje de la actividad de Agosto de 2008). En la figura 3 se destaca el referido enjambre entre el conjunto de epicentros de todo el año 2005 para la misma región donde va a ocurrir la actividad de Agosto de 2008. La alineación general del enjambre en dirección Este-Oeste apunta a la activación de una falla con esa orientación, como efectivamente son las principales fallas activas del sistema El Pilar cartografiadas para la región de Cumaná y zonas vecinas (Beltrán, 1994; CSUDO, 2006), y cuyas trazas se exponen en la figura 1.

Posteriormente a los días 14 y 15 de Marzo de 2005, no se presentó cerca de Cumaná ninguna actividad que pudiera calificarse como tipo “enjambre”, hasta el 11 de Agosto de 2008, cuando se inicia la actividad especial de ese mes. Sin embargo, cabe destacar que la sismicidad alrededor de Cumaná durante el lapso 2005-2008 no es homogénea, siem-

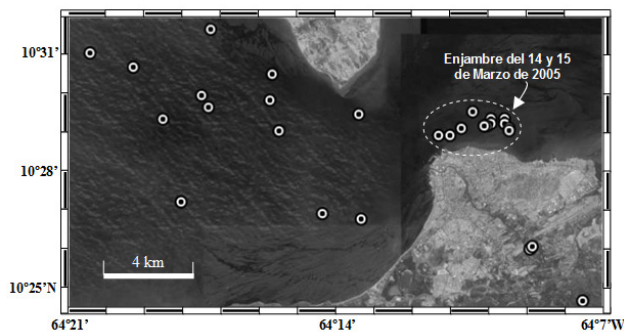


Figura 3. Se señalan con círculos blancos los epicentros de todo el año 2005 en la región vecina a Cumaná y extremo oriental de la fosa de Cariaco. Con líneas punteadas se señala el pequeño enjambre ocurrido muy cerca de Cumaná (Fuente de la imagen satelital: programa Google Earth).

pre fue más abundante hacia el Oeste de la boca de entrada del golfo de Cariaco y (en contraste) notoriamente escasa al Este de la ciudad, según consta en los mapas de sismicidad anual del 2005 al 2008 (CSUDO, 2009) sintetizados en la figura 4. Allí se puede notar un gradiente de la sismicidad en dirección Oeste-Este, que cae abruptamente a casi cero precisamente a nivel del epicentro principal de Agosto de 2008.

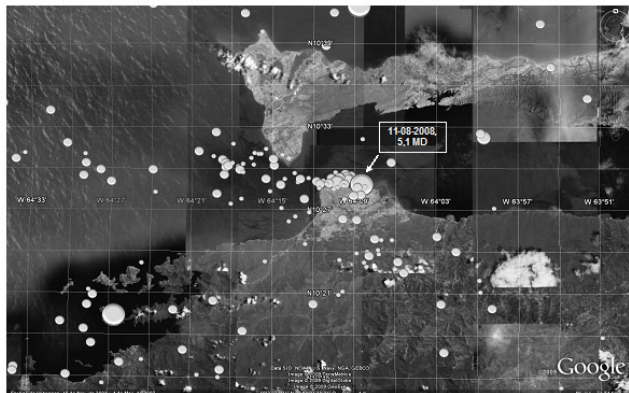


Figura 4. Sismicidad en la región vecina a la ciudad de Cumaná durante el período 2005-2008 (Fuente de la imagen satelital: programa Google Earth).

ACTIVIDAD DE AGOSTO DE 2008, IDENTIFICACIÓN DEL PLANO DE FALLA ACTIVADA

En la figura 1 presentamos las ubicaciones epicentrales de los catorce sismos de la actividad de Agosto de 2008, más los cuatro sismos adicionales de Octubre y Diciembre de 2008, y Enero de 2009. Una característica singular que resalta en esa figura es que, similarmente a como ocurrió con el enjambre de Marzo de 2005, todos los eventos tienden a alinearse a lo largo de una estrecha franja, pero a escala

mayor esta vez, con unos 12 km de largo en dirección Este-Oeste franco, y con eje en la misma latitud del evento principal ($10^{\circ} 28,7' N$), paralelo al eje del enjambre de 2005, pero a medio minuto de arco al Sur del mismo. La alineación de epicentros en dirección Este-Oeste sugiere nuevamente asociarlos con la actividad de alguna de las fallas activas del sistema El Pilar con esa orientación (a, b o c en la figura 1). Para investigar cual de las tres trazas corresponde al plano de falla que se activó, se ha graficado en la figura 5 un perfil Norte-Sur de los hipocentros de Agosto de 2008. Se ha incluido en la misma figura los del pequeño enjambre del año 2005. El plano de los perfiles cortaría perpendicularmente a los planos de fallas activadas, admitiendo que sus trazas son de orientación Este-Oeste. En la misma figura, se han ubicado las latitudes de los puntos en la superficie donde cortan las tres trazas señaladas en la figura 1.

Las latitudes de las trazas a y b son de fácil identificación si se acepta que ambas son solidarias respectivamente con las faldas sur y norte del cerro de Caigüire, cuyas ubicaciones geográficas se usaron como referencia. Para la latitud de la falla (submarina) inferida c, se ha aproximado la que se puede estimar en mapas del fallamiento regional (Beltran, 1994; Soulas, 1986).

La figura 5 muestra que tres de los hipocentros más profundos de Agosto de 2008 se producen en la región del pequeño enjambre de Marzo de 2005, pero desde esta profundidad hasta la superficie, el conjunto de hipocentros de Agosto de 2008 se transfiere hacia el Sur de la zona que se activó en 2005 en un pequeño salto de menos de un minuto de arco, distribuyéndose a partir de allí y hacia arriba en una estrecha banda con ancho en dirección Norte-Sur de unos 0,85 minutos de arco (aproximadamente 1,6 km), y con buzamiento aproximado de $85^{\circ} \pm 3^{\circ}$ hacia el Norte. Pero esos hipocentros están distribuidos a lo largo de unos 12 km en dirección Este-Oeste (figura 1 y recuadro izquierdo en la figura 5), el hecho de que su proyección en el plano de la figura 5 ocupe una cinta tan estrecha sugiere asociarlos con un plano de falla orientada de Este a Oeste. Se puede ver en la figura 5 que la banda de hipocentros intercepta la superficie en un segmento que contiene a la traza de falla b próxima al centro de ese segmento, quedando las trazas a y c definitivamente fuera del mismo. Según este modelo, el plano de falla con mayor probabilidad de haberse activado en Agosto de 2008 es el que aflora en superficie a nivel del pie norte del cerro de Caigüire, y referida con la letra b en las figuras 1 y 5. La teoría actualmente más admitida sobre la referida falla b propone que se ciega a nivel del extremo oeste del cerro (Ascanio, 1972; Beltrán, 1994), como muestra la figura 1, o bien hace una transferencia tipo “cola de caballo” hacia la traza sur del cerro bordeando su falda noroeste (OPS, 1994), como muestra en línea punteada la

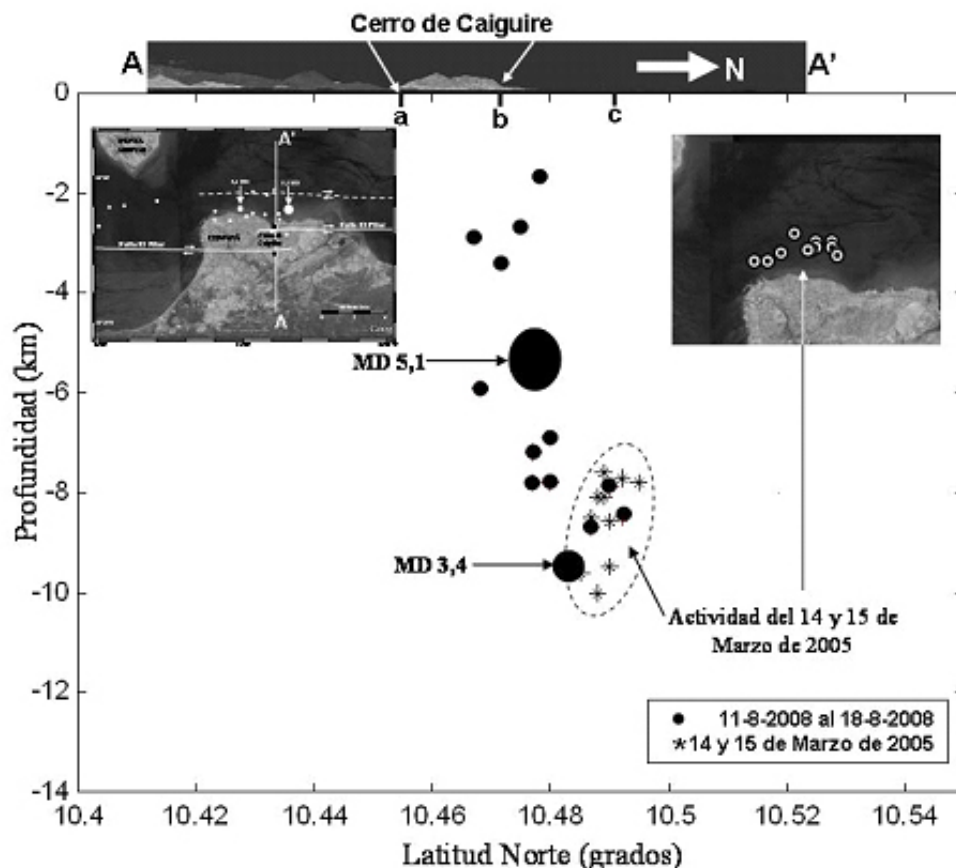


Figura 5. Perfil N-S para los hipocentros de la actividad de Agosto de 2008 y los del 14 y 15 de Marzo de 2005, a través del corte AA' mostrado en el recuadro superior izquierdo. La escala de la latitud se ajustó para que las distancias N-S quedaran a la misma escala de las profundidades (Fuente de imágenes satelitales de los recuadros: programa Google Earth).

figura 2. Pero según la figura 1, los epicentros de Agosto de 2008 se extendieron por toda la costa norte de Cumaná y parte de la fosa de Cariaco en dirección Este-Oeste. Entonces, la actividad de Agosto de 2008 parece revelarnos que esa falla no se ciega a nivel del extremo oeste del cerro, ni se desvía siguiendo la falda noroeste del cerro hacia la traza sur, sino que continúa activa manteniendo su orientación Este-Oeste debajo de la ciudad, incluso, más al Oeste de la prolongación separada del cerro que proponen Giraldo & Beltrán (1988) (línea a trazos en la figura 2), cruzando la ciudad, y quizás continuando submarina debajo de la fosa de Cariaco.

POSIBLE BARRERA AL ESTE DEL EVENTO PRINCIPAL

Observando la figura 1, se nota una atípica ausencia de sismos secundarios al Este del evento principal del 11-08-2008. En la figura 4 se puede constatar que durante los cuatro años 2005 al 2008, la sismicidad al Este del evento principal fue muy baja o casi nula, y se ha mantenido así incluso después de Agosto de 2008.

Esta ausencia de actividad al Este del epicentro principal podría estar confirmando la pequeña barrera para la traza b de falla El Pilar que proponen Giraldo & Beltrán (1988) en la esquina noreste del cerro de Caiguire (figura 2), a sólo unos 1,1 km al Este del epicentro principal de Agosto de 2008, donde la traza que sigue el pie norte del cerro hace un pequeño salto dextro en esa esquina del cerro, bloqueando rupturas hacia ese lado.

Por otro lado, Audemard *et al.* (2007) han identificado en la depresión submarina de Guaracayal, en el golfo de Cariaco, una barrera para la propagación de rupturas cosísmicas a lo largo de la falla El Pilar; pero ésta se ubica a más de una decena de kilómetros al Este del epicentro principal de Agosto de 2008, y por esta distancia, no parece ser esta vez la responsable del silencio sísmico que se ha evidenciado incluso muy cerca de ese evento al Este del mismo. Sin embargo, es interesante destacar que estos autores proponen en ese trabajo tres segmentos de ruptura para la falla El Pilar: el primero, desde las barreras al Este de Casanay hasta la de Guaracayal; el segundo, desde esta barrera hasta la de Cumaná; y el tercero submarino, desde la barrera de

Cumaná hacia el Oeste, debajo de la fosa de Cariaco. Según estos autores, los dos primeros segmentos rompieron en el siglo XX (1997 y 1929 respectivamente) y la última vez que rompió el tercero, fue en el siglo XIX (1853). El cambio abrupto de régimen sísmico a nivel de donde ocurrió el epicentro principal de Agosto de 2008, y que se puede apreciar en la figura 4, parece confirmar parcialmente lo relativo a los segmentos segundo y tercero: hay mucha sismicidad al Oeste de ese punto, hacia el tercer segmento, que tiene el mayor tiempo sin haber producido un terremoto importante, y notoriamente escasa al Este de allí, hacia el segundo segmento, que rompió en 1929. De hecho, la ruptura de ese año, que interceptó la superficie, pudo ser seguida por Sidney Paige (1930) “por cuatro kilómetros” en dirección Este-Oeste cruzando las sabanas aluvionales de El Peñón, desde la costa al Este “hasta el pequeño pueblo de Caigüire” al Oeste, y ese pueblo se ubicaba en aquella época precisamente frente al epicentro principal de Agosto de 2008.

ALGUNOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y MECÁNICOS DEL SISMO PRINCIPAL

En la figura 6 se presentan la esfera focal (proyección en hemisferio inferior) para el sismo principal del 11-08-2008, que hemos podido aproximar con los pocos registros de polaridades de la primera señal P en las diez estaciones de la red de CSUDO, más tres estaciones de la red nacional de FUNVISIS ubicadas en la región nororiental de Venezuela (PCRV, ITEV y GUIV). Sugerimos con líneas punteadas y con líneas llenas los dos pares extremos posibles de planos nodales de la esfera focal, según el margen de precisión que la data permite. La ubicación de las polaridades de la primera señal P se calculó usando el modelo de corteza que ha podido aproximar Montilla (2009) para la zona más septentrional del Nororiente venezolano.

Aunque el número de estaciones no permitió mucha precisión en la evaluación del mecanismo focal de ese sismo, sí se puede observar que el rango de posibles soluciones es compatible con una falla transcurrente dextral de orientación aproximada Este-Oeste y de plano sub-vertical como lo es la falla El Pilar. Las soluciones admiten un posible buzamiento comprendido entre 81 y 90 grados hacia el Norte. Este rango de mecanismos focales posibles es muy aproximado al evaluado por FUNVISIS (2011), excepto que en este último caso la solución para el buzamiento del plano nodal A es de 86° hacia el Sur.

A continuación presentamos otros parámetros del sismo principal que se han evaluado con base en conocidas correlaciones sismológicas y empíricas: usando para la magnitud (tanto de momento como de onda superficial) el valor 5,2, las fórmulas empíricas de Gutenberg y Richter (1956) y de

Kanamori (1977) nos arrojan respectivamente 4×10^{12} J de energía liberada y 7×10^{16} N-m para el momento sísmico liberado. Con estos valores, y suponiendo una rigidez en la zona de fractura $\mu = 3 \times 10^{10}$ N/m², la fórmula empírica de Kostrov (1974) nos da para la caída de esfuerzos el valor $\Delta\sigma = 34$ bares.

Adicionalmente, usando el diagrama de Kanamori & Anderson (1975), que relaciona la caída de esfuerzos con el área de falla fracturada y el momento sísmico, encontramos un área de fractura de 18 km², la cual es compatible con el área donde se concentraron la mayoría de los hipocentros, como se puede ver en la figura 7, donde se enmarcan en un rectángulo de 6x3 km². Con esta área de fractura, el deslizamiento relativo promedio entre las paredes de falla resultó 13 cm.

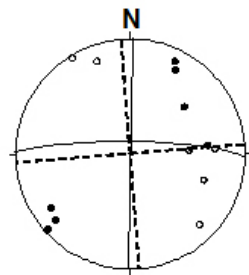
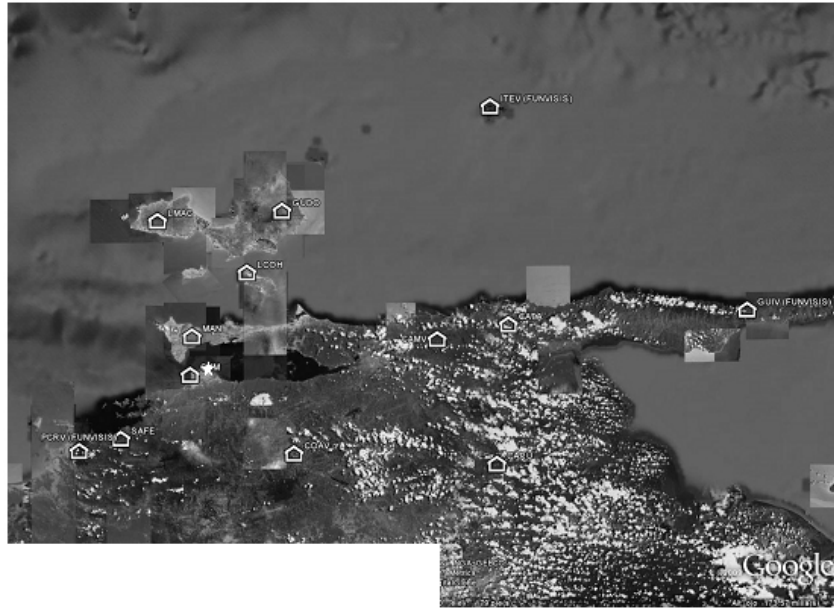
CONCLUSIONES

La actividad sísmica cerca de la costa norte de Cumaná en Agosto de 2008 consistió en la típica secuencia de un sismo principal (5,1 MD) seguido de una serie de eventos secundarios cada vez menos frecuentes y con magnitudes inferiores a la del primero. La esfera focal para el sismo principal, aunque no muy precisa (evaluada con trece estaciones), admite una ruptura transcurrente dextral, con planos nodales sub-verticales de orientación cercana a la dirección E-W uno de ellos. Todas estas son características compatibles con la falla del sistema El Pilar que se propone haberse activado.

La distribución axial de epicentros en dirección E-W, junto con la distribución vertical de hipocentros, sugieren asociarlos con el tramo de falla El Pilar que aflora en superficie a nivel del pie norte del cerro de Caigüire, pero también sugiere que dicha falla continúa activa más al Oeste del cerro, debajo de la ciudad y posiblemente hacia la fosa de Cariaco.

La ausencia absoluta de actividad secundaria al Este del evento principal, y sostenida durante los últimos cuatro años, parece confirmar una barrera en la esquina noreste del cerro de Caigüire, y que hemos estimado que quedaría a 1,1 km al Este del epicentro principal.

Finalmente, la actividad de Agosto de 2008 parece haber sido anticipada por un pequeño enjambre ocurrido los días 14 y 15 de Marzo de 2005. La conexión entre las dos actividades es aparente si se observa que ambas comparten varias características: misma alineación de epicentros en dirección E-W, similar latitud alrededor de la cual se alinean (cerca de los 10° 29'), similar rango de longitudes geográficas donde se concentran la mayoría, notoria ausencia de actividad al



Parámetros de la solución con líneas punteadas

	Azim.(°)	buzam.(°)	desliz.(°)	Orient.(°)	Incl.(°)
A	84,0	90,0	180,0	T 219,0	0,0
B	174,0	90,0	0,0	P 129,0	0,0

Parámetros de la solución con líneas llenas

	Azim.(°)	buzam.(°)	desliz.(°)	Orient.(°)	Incl.(°)
A	270,5	81,0	0,0	T 225,9	6,4
B	180,5	90,0	-9,0	P 135,1	6,4

Figura 6. Esfera focal para el sismo del 11-08-2008, MD 5,1. Se sugieren con líneas punteadas y con líneas llenas los dos pares extremos de planos nodales que se pudieron obtener. Los círculos negros son compresiones, y los blancos dilataciones. A la derecha de la esfera se exponen las respectivas soluciones. Arriba se presenta el mapa de estaciones sismológicas usadas: tres de FUNVISIS y diez de CSUDO (Fuente de imagen satelital: programa Google Earth).

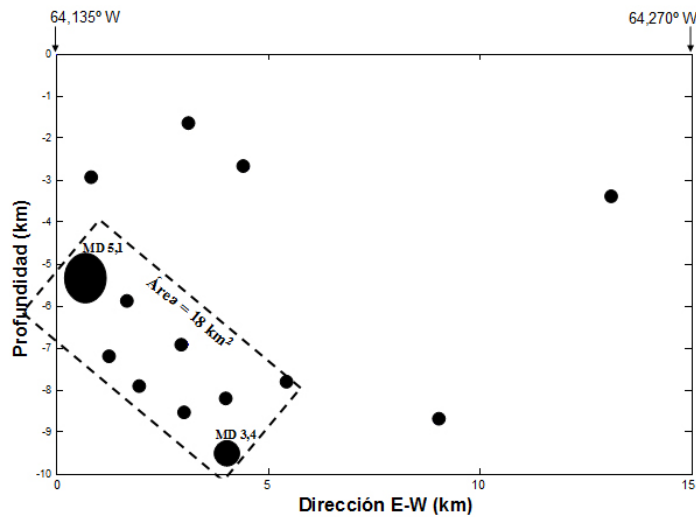


Figura 7. Perfil longitud geográfica vs. Profundidad del área activada en Agosto de 2008, usando la misma escala en kilómetros en ambas direcciones. Los catorce hipocentros de ese mes se señalan con círculos. El rectángulo con líneas punteadas cubre el área con mayor concentración de hipocentros, y se dibujó de manera que su área fuese igual al área de fractura del sismo principal calculada mediante correlaciones empíricas.

Este de ambos enjambres, en contraste con la sostenida actividad al Oeste de los mismos; pero todo a mayor escala en el 2008: mayor magnitud promedio, mayor longitud total del eje de ubicación de epicentros, mayor ancho del mismo, mayor tiempo de duración de la actividad. La única diferencia entre ambos enjambres es que el del 2005 ocurre en una estrecha banda de profundidades, entre 7,6 y 9,6 km, mientras que el de 2008 ocupa ese rango de profundidades sólo con cuatro de sus eventos más profundos con el conjunto de eventos restantes dando un pequeño salto hacia el Sur desde esta profundidad hasta cerca de la superficie, o sea, hacia la falla El Pilar b, liberando esfuerzos alrededor de la misma (¿totalmente?, ¿parcialmente?) en Agosto del 2008.

REFERENCIAS

- ASCANIO, G. (1972). *Geología de los cerros de Caigüire, Cumaná, Estado Sucre*. IV Congreso Geológico Venezolano, Caracas 1969, Tomo III, 1279-1288.
- AUDEMARD, F. BECK, C. MOERNAUT, J. DE RYCKER, K. DE BATIST, M. SÁNCHEZ, J. GONZÁLEZ, M. SÁNCHEZ, C. VERSTEEG, W. MALAVÉ, G. SCHMITZ, M. VAN WELDEN, A. CARRILLO, E. LEMUS, A. (2007). *La depresión submarina de Guaracayal, estado Sucre, Venezuela: Una barrera para la propagación de la ruptura cosísmica a lo largo de la falla de El Pilar*. INCI, vol.32, no.11, p.735-741. ISSN 0378-1844.
- AUDEMARD, F., MACHETTE, M., COX, J., DART, R., HALLER, K. (2000). *Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions*. U.S. Geological Survey Open-File-Report 00-18. 79 pp.
- BELTRÁN, C. (1994). *Trazas activas y síntesis neotectónica de Venezuela a escala 1:2.000.000*. Mem. VII Cong. Venez. Geofísica. Caracas, Venezuela. pp. 541-547.
- BELTRÁN, C. & SINGER, A. (1996). *Evidencias Neotectónicas de Movimiento Transcurrente Dextral de la Falla de El Pilar, Nororiente Venezolano*. ABSTRACT. AAPG Bulletin, Volume 80.
- BELTRÁN, C. & GIRALDO, C. (1989). *Aspectos neotectónicos de la región nororiental de Venezuela*. Memorias VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto, 3, 999-1021.
- CSUDO, (2006). *Mapa síntesis de fallamiento y sismicidad de la región nororiental de Venezuela, 1995-2006, escala 1:500.000*. Premio Nacional SAG, otorgado por ESRI-Venezuela en Noviembre de 2006.
- CSUDO, (2009). *Mapa de sismicidad de la región nororiental de Venezuela, años 2005-2008*. Informe inédito, 1 p.
- FUNVISIS, (2011). Recuperado el 25-5-2011 de http://www.funvisis.gob.ve/mecanismos_focales.php.
- GIRALDO, C. & BELTRÁN, C. (1988). *Evaluación del campo de esfuerzos durante el Cuaternario en la región nororiental de Venezuela* (Proyecto CONICIT S1-1161). FUNVISIS, 68 pp.
- GUTENBERG, B. & RICHTER, C. F. (1956). *Magnitude and energy of earthquakes*. Annali di Geofisica, 9, 1-15.
- KANAMORI, H. (1977). *The energy release in great earthquakes*, J. Geophys. Res., 82, 2981-2987.
- KANAMORI, H. & ANDERSON, D. L. (1975). *Theoretical basis of some empirical relations in seismology*. B. S. S. A. 65, 1073-1095.
- KOSTROV, B. (1974). *Seismic moment and energy of earthquakes and seismic flow of rock*, Izv. Acad. Sci., USSR Phys. Solid Earth (Engl. Transl.). 1, 23-40.
- MOCQUET, A. BELTRÁN, C. LUGO, M. RODRÍGUEZ, J. A. SINGER A. (1996). *Seismological interpretation of the historical data related to the 1929 Cumaná earthquake, Venezuela*. 3rd International Symposium on Andean Geodynamics. Editions of I' ORSTOM, Paris; 203-206.
- MONTILLA, A. (2009). *Modelo 1 D de corteza por inversión discreta para la zona norte e insular de la región nororiental de Venezuela*. Tesis de maestría no publicada. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- OPS (GRASES, J., MALAVER, A. Y GIRALDO, C.). (1994). *Estudio de la vulnerabilidad del hospital Dr. Antonio Patricio de Alcalá, Cumaná, Estado Sucre*. Organización Panamericana de Salud, Caracas.
- PAIGE, S. (1930). *The earthquake at Cumaná, Venezuela, January 17, 1929*. B.S.S.A., 20(12): 1 – 10.
- PÉREZ, O. & AGGARWAL, Y. (1981). *Present-day tectonics of southeastern Caribbean and northeastern Venezuela*. J. Geophys. Res. 86, 10791-10805.
- PROTECCIÓN CIVIL SUCRE. (2008). Recuperado el 25 de Mayo de 2011 de <http://www.reporteconfdencial.info/index.php>.

SOULAS, J. (1986). *Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas*. Memorias del VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas X; 6639-6656.

SYKES, L. R. & EWING, M. (1965). *The seismicity of the Caribbean region*. J. Geophys. Res., 70; 5065-5074.