

New focal mechanism solutions for Venezuela and neighbouring areas 2005-2008: importance of the National Seismological Network's density and distribution

Miguel Palma¹, Franck Audemard², Gloria Romero¹

¹*Departamento de Sismología. mpalma@funvisis.gob.ve; gromero@funvisis.gob.ve*

²*Departamento de Ciencias de la Tierra. faudemard@funvisis.gob.ve*

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas – FUNVISIS. Apartado 76880, Final Calle Mara, Urb. El Llanito. Caracas, Venezuela.

Telf: (58-212) 257-7672/5153/9346/2561 Fax: (58-212) 257-9977/9084/9860

Abstract

The purpose of this work is to show 66 new focal mechanism solutions for some seismic events which have occurred in Venezuela and neighbouring areas between October 2005 and December 2008. All this solutions were obtained through P-wave first motion polarity registered by the Venezuelan Seismological Network operated by FUNVISIS, and additional information provided by INGEOMINAS (Colombia) and the University of the West Indies (Trinidad and Tobago). All these focal mechanism solutions increase and reinforce our knowledge in the Venezuela regional/local tectonics as well as indicating the scope and potential of the Venezuelan Seismological Network which has been upgraded (enlarged and modernized) since 1998, being fully operative in 2002.

Key words: Focal mechanism, polarity, Venezuelan Seismological Network.

Nuevos mecanismos focales para Venezuela y áreas vecinas 2005-2008: importancia de la densificación y distribución de la Red Sismológica Nacional

Resumen

En el siguiente trabajo se presentan 66 nuevas soluciones de mecanismos focales propuestas para algunos eventos sísmicos que han ocurrido en Venezuela y áreas vecinas entre octubre de 2005 y el año 2008. Dichas soluciones fueron obtenidas a través del método de identificación de la "polaridad" de las primeras llegadas que registraron las estaciones que conforman la Red Sismológica Nacional de FUNVISIS, en ocasiones apoyadas con información suministrada por instituciones como INGEOMINAS (Colombia) y la Universidad de West Indies (Trinidad y Tobago). Este importante número de mecanismos focales propuestos amplían y refuerzan el conocimiento de la tectónica regional y local de nuestro país, y muestran parte del alcance de la Red Sismológica Nacional de Venezuela, cuya modernización y densificación se inició en el año 1998, estando totalmente operativa en el año 2002.

Palabras clave: Mecanismo focal, polaridad, Red Sismológica Nacional de Venezuela.

Introducción

La Red Sismológica Nacional de Venezuela, cuyo proyecto de ampliación y modernización fue preparado para 1998, y con desarrollo alcanzado en el período 2000-2002 (Figura 1), permite, por su actual distribución espacial –que abarca principalmente áreas de alto potencial sísmico y gran densidad de población–, la capacidad de ahondar en el mejor conocimiento de la sismicidad que ocurre en el país y su correlación con las fallas geológicas activas. Comparando la configuración actual de la Red Sismológica Nacional de Venezuela con la operada en el año 1983 por Funvisis, denominada Resvac (Red de Estaciones Sismológicas de Apertura Continental) y constituida por 20 estaciones sismológicas corto período [1], sin duda que se ha alcanzado una mejor cobertura azimutal que no sólo reduce el umbral de detección de los sismos y mejora los cálculos de los parámetros tradicionales del foco –tiempo origen, localización hipocentral y magnitud–, sino que favorece en la determinación del mecanismo focal del evento sísmico, información que refleja el

posible mecanismo de ruptura de la falla en el foco, expresado como un doble par de fuerzas [2].

El mecanismo focal es una representación gráfica de dos posibles soluciones de la ruptura asociada a un sismo y de la configuración de los esfuerzos tectónicos en el área; es decir, un compendio de informaciones que describen la orientación y el posible mecanismo de la falla en la fuente o foco donde se libera la energía en forma de ondas sísmicas [4].

Uno de los métodos para obtener la solución del mecanismo focal de un sismo se basa en la identificación de la llamada “polaridad” de la primera llegada que se registra en la componente vertical de un sismograma. Este procedimiento de lectura se efectúa en cada una de las estaciones sismológicas que registran el evento sísmico [5].

El objetivo del presente trabajo es mostrar las 66 nuevas soluciones de mecanismos focales propuestas para Venezuela y áreas vecinas entre agosto de 2005 y finales de 2008, y sumarlas a la compilación ya realizada por Audemard [6] don-

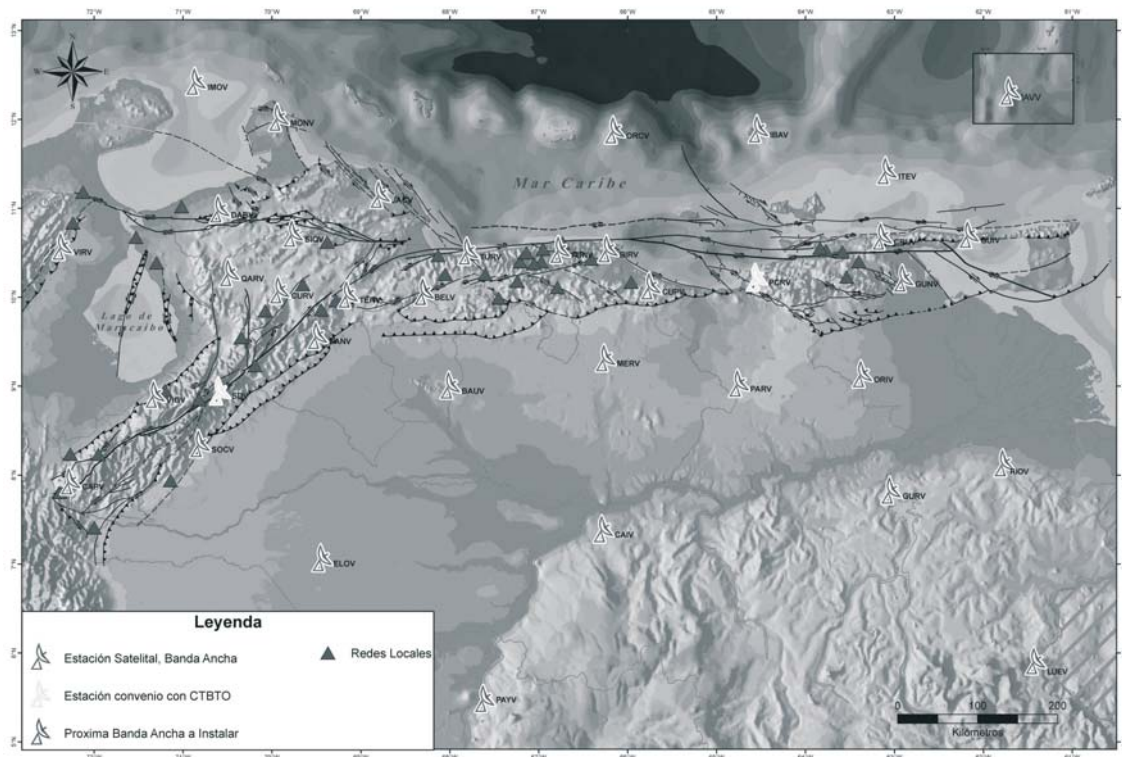


Figura 1. Mapa de fallas cuaternarias de Venezuela con la configuración actual de la red sismológica nacional. Modificado de [3].

de se desprenden 125 soluciones. En consecuencia, un total de 191 soluciones de mecanismos focales forman parte de un banco de datos útiles, entre muchas cosas, para determinar la cinemática actual de las fallas sismogénicamente activas y la configuración de las direcciones de los ejes de esfuerzos T y P que involucran a Venezuela y áreas vecinas.

Marco geodinámico

La tectónica activa de Venezuela debe ser relacionada con la interacción entre las placas Caribe, Suramérica y Nazca e igualmente con otros bloques continentales de menores dimensiones entrampados entre las placas antes indicadas. Esta interacción varía dramáticamente del este hacia el oeste [7].

Venezuela presenta la mayor parte de sus deformaciones neotectónicas –generadoras de una gran actividad sísmica–, en una franja de unos 100 a 150 kilómetros de ancho, definida por el eje cordillerano-costero del país y constituida por el sistema de grandes fallas activas de tipo transcurrente dextral conocidas como fallas de Boconó, San Sebastián, El Pilar y Los Bajos, las cuales se desarrollan de manera continua desde

la frontera colombo-venezolana en el Táchira hasta la Isla de Trinidad sobre una distancia de unos 1.500 kilómetros [8]. Estas fallas geológicas principales permiten caracterizar la distribución hipocentral de los sismos mayormente dentro de un carácter cortical, es decir, eventos sísmicos cuyos valores no superan los 40 km de profundidad (Figura 2). Adicionalmente, estas fallas han sido las causantes de los principales eventos sísmicos ocurridos en Venezuela (1812, 1853, 1894, 1900 y recientemente 1967 y 1997), y claramente se puede observar la correlación que existe entre la distribución de los epicentros y las fallas activas presentes en el territorio nacional (Figuras 1 y 3). Sin embargo, es posible compilar información sobre eventos sísmicos de profundidad intermedia localizados, espacialmente, en los extremos este y oeste de Venezuela, y cuyos procesos geodinámicos están asociados a zonas de subducción que agregan complejidad al panorama tectónico de la región.

En Venezuela, de igual forma destacan otros sistemas de fallas activas secundarias, tales como la falla de La Victoria, Icotea, Valera y el sistema de fallas transfronterizo de Oca-Ancón, este último en combinación con las fallas de Santa Marta-Bucaramanga y Boconó, delimitan el

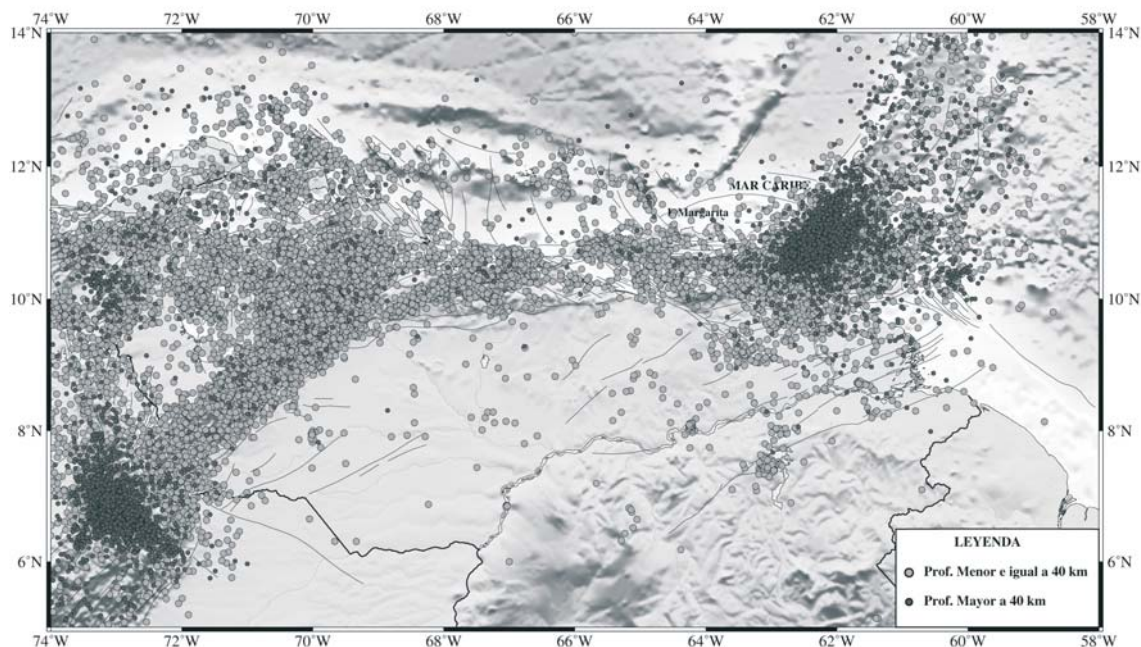


Figura 2. Mapa de Venezuela con la distribución de los sismos según sus profundidades, registrados en el período 1910-2008. Sistemas de Fallas según Beltrán [9].

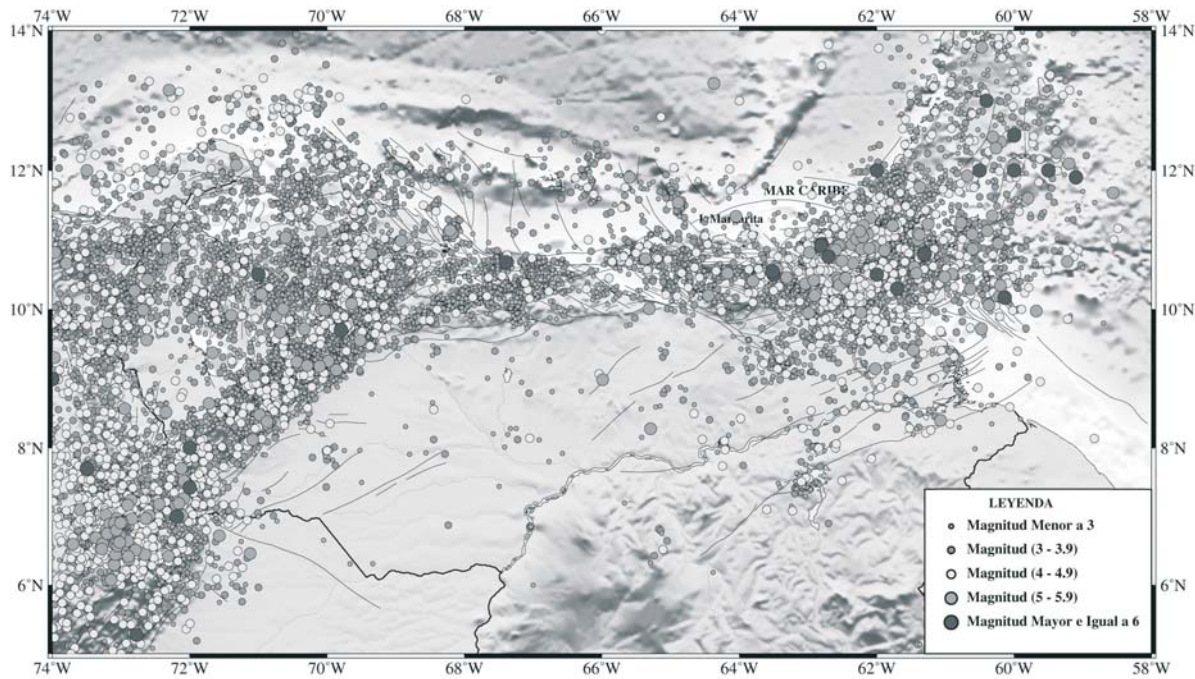


Figura 3. Mapa de Venezuela con la distribución epicentral de los sismos según sus magnitudes, registrados en el periodo 1910-2008. Sistemas de Fallas según Beltrán [9].

llamado Bloque triangular de Maracaibo, donde se asientan numerosos accidentes tectónicos y se registra un proceso de expulsión de dicho bloque en sentido NNE con respecto a Suramérica [7, 10, 11, y 12].

Datos empleados

Los datos sismológicos empleados en el presente trabajo son los reportados por la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), cuya información digital proviene del registro efectuado por los sismómetros banda ancha, modelo Guralp 40-T, instalados en cada una de las estaciones sismológicas que conforman la red. De igual forma, fueron utilizados los datos correspondientes a la identificación de fases y polaridades asociadas reportadas por agencias internacionales tales como INGEOMINAS y la Universidad de West Indies, los cuáles resultaron de gran ayuda para tratar los casos de eventos sísmicos con ubicación hipocentral limítrofes con Colombia y Trinidad y Tobago respectivamente, y donde se requerían mejoras significativas en la cobertura azimutal de la Red Sismológica Nacional de Venezuela.

Adicionalmente, se integraron los datos publicados por Palma y Malavé [2], donde se presentan algunos mecanismos focales para el noroccidente de Venezuela. Sin embargo, es importante mencionar, que para efecto del presente trabajo, algunos de los sismos presentados en dicho artículo fueron relocalizados en función del parámetro de la profundidad, la cual fue asumida por FUNVISIS, a partir del año 2005, con un valor fijo de 5 km para los casos donde los cómputos originales arrojaban valores 0 km (señal de sismicidad de carácter cortical). Esta aclaratoria resulta pertinente debido a que los parámetros hipocentrales de los eventos sísmicos acá presentados, tendrán leves diferencias con los publicados en el artículo anteriormente referido.

Metodología

Uno de los métodos utilizados para determinar soluciones de mecanismo focal, se basa en la identificación de la llamada “polaridad” de la primera llegada que se registra en un sismograma. Este procedimiento responde a la caracterización del primer pulso de la onda registrada proveniente del sismo, en términos de una compre-

sión –pulso hacia arriba– o una dilatación –pulso hacia abajo–, y es una identificación que se realiza en la componente vertical de cada una de las estaciones sismológicas que captaron el evento [13]. En tal sentido, las estaciones que conforman la Red Sismológica Nacional de Venezuela fueron empleadas, utilizando esta metodología, para determinar los mecanismos focales de cada uno de los eventos sísmicos reportados en este estudio. De igual forma se incluyeron, para el caso de los sismos fronterizos o con epicentros en Colombia o Trinidad y Tobago, la información de tiempo de llegada de las fases (P y S) y las respectivas polaridades identificadas en las estaciones que conforman la red sismológica de INGEO-MINAS y la Universidad de West Indies, quienes suministraron la información vía reportes sismológicos en línea o por comunicación directa según la importancia del caso. Tales datos se emplearon con el fin de alcanzar una distribución azimutal uniforme alrededor del epicentro del sismo, que además permitió afinar las localizaciones hipocentrales arrojadas por la red de FUNVISIS y estimar la mejor profundidad focal, el cual resulta un parámetro de gran importancia para la determinación y correcta interpretación del mecanismo focal correspondiente.

La fiabilidad de los resultados obtenidos tras la aplicación de la citada metodología, radica en poseer estaciones sismológicas con las siguientes características: adecuada orientación de los sensores o sismómetros respecto al norte geográfico; presencia de óptimas relaciones señal-ruido en los registros sismológicos, lo que facilitaría y permitiría la correcta identificación de las polaridades; y un amplio número de estaciones sismológicas con una distribución espacial uniforme en torno a las posibles fuentes sismogénicas en estudio. Finalmente, la validación de los resultados obtenidos con la tectónica regional o local conocida en el área de ocurrencia del sismo, es fundamental para definir las posibles soluciones de mecanismos focales existentes, lo que indica que la convergencia de los diferentes criterios o factores de calidad, son requisitos para sustentar el mecanismo de ruptura propuesto.

Resultados

Desde el mes de octubre de 2005 se inició la determinación rutinaria de mecanismos focales

para Venezuela y áreas vecinas, considerando y aprovechando las bondades de la expansión de la Red Sismológica Nacional de Venezuela. Esta actividad ha permitido alcanzar 66 nuevas soluciones de mecanismos focales a partir de la fecha referida y hasta diciembre del año 2008 (Tabla 1), lo que significa más de la mitad de las soluciones presentadas en el trabajo de Audemard [6], cuya compilación refiere a un período más extenso comprendido entre 1957 y 2003. Adicionalmente, cabe destacar el número promedio de polaridades empleadas en la obtención de cada mecanismo focal, cuyo valor oscila en torno a las 16 lecturas (considerando sólo las estaciones de la Red Sismológica Nacional de Venezuela). De esta estadística, se desprenden los valores máximo y mínimo de polaridades utilizadas, que refieren a 30 y 8 respectivamente, y apoyándonos en la Figura 4, podemos observar la relación que existe entre la magnitud del sismo y el número de polaridades determinadas para la elaboración de los diferentes mecanismos focales. Pese a que la relación entre los dos elementos anteriormente citados, muestran (de forma general) una tendencia lógica de incremento de polaridades a medida que aumenta la magnitud del sismo, cabe señalar que la dispersión observada refleja la participación adicional de parámetros tales como la ubicación hipocentral del sismo, la densidad de estaciones sismológicas adyacentes al epicentro del evento, que implícitamente indica la cobertura azimutal necesaria para cubrir la esfera focal y compensar posibles polaridades confusas producto de la alineación de los planos A y B -del mecanismo focal- con las estaciones sismológicas, y la disponibilidad u operatividad de dichas estaciones al momento de ocurrencia del evento sísmico.

La distribución hipocentral alcanzada por las nuevas soluciones de mecanismos focales permiten caracterizar y corroborar la cinemática y evolución de algunos procesos geológicos, tales como:

La falla de Valera, cuya reciente actividad sísmica y mecanismo focal asociado (ver Id 23 en Tabla 1 y Figura 5) muestra el carácter transcurrente sinistral reportado por Beltrán [9] y Audemard [6].

Los mecanismos focales representados con los Id 4, 7, 9, 10, 39, 43, 47, 51, 54 y 56, por sus

Tabla 1. Primera parte
Nuevas soluciones de mecanismos focales propuestas para los eventos sísmicos ocurridos en Venezuela
y áreas vecinas entre agosto de 2005 y diciembre de 2008

Fecha (dd/mm/yyyy)	Latitud N (°)	Longitud W (°)	Magnitud	Profundidad (km)	Tipo de magnitud					Fuente	Plano nodal A			
					Ml	Md	Ms	Mb	Mw		Azi	Buz	Desl	
15/08/2005	9.762	-69.701	4.4	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	'FUN'	69.0	87.0	0.0
28/08/2005	11.422	-70.424	4.4	25.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	'FUN'	165.0	55.0	-71.7
19/10/2005	11.412	-69.612	4.7	20.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	129.0	61.0	-137.4
22/10/2005	11.330	-71.236	3.8	136.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	'FUN'	270.0	46.0	-164.4
24/10/2005	11.014	-62.250	5.3	109.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	'FUN'	191.0	87.0	-85.9
28/10/2005	11.038	-61.501	5.5	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	'FUN'	261.0	89.0	-63.4
01/01/2006	12.088	-71.327	5.0	92.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	'FUN'	110.0	63.0	-128.2
03/01/2006	9.885	-71.921	5.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	'FUN'	229.0	72.0	-139.1
06/01/2006	6.813	-73.207	4.7	167.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	29.0	88.0	-97.4
10/01/2006	6.815	-73.071	5.4	167.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	'FUN'	245.0	10.0	-23.3
23/01/2006	9.082	-70.039	4.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	'FUN'	236.0	82.0	0.0
21/03/2006	10.065	-69.745	4.1	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	'FUN'	79.0	88.0	0.0
31/03/2006	10.989	-62.113	4.2	81.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	'FUN'	278.0	40.0	-113.9
10/04/2006	7.398	-71.607	4.7	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	36.0	60.0	120.8
14/04/2006	10.341	-69.870	4.6	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	'FUN'	113.0	76.0	171.8
12/06/2006	10.888	-62.167	4.0	84.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	'FUN'	285.0	28.0	-178.9
13/06/2006	10.878	-62.105	4.6	67.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	'FUN'	274.0	21.0	167.2
15/06/2006	10.735	-62.290	4.0	88.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	'FUN'	276.0	65.0	0.0
01/07/2006	8.104	-64.215	4.6	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	'FUN'	34.0	87.0	0.0
07/07/2006	9.156	-70.891	3.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	'FUN'	249.0	87.0	161.6
02/08/2006	9.562	-70.624	4.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	'FUN'	240.0	68.0	35.6
04/08/2006	10.425	-62.251	4.7	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	110.0	61.0	171.8

Tabla 1. Primera parte (Continuación)

Fecha (dd/mm/yyyy)	Latitud N (°)	Longitud W (°)	Magnitud	Profundidad (km)	Tipo de magnitud					Fuente			Plano nodal A		
					MI	Md	Ms	Mb	Mw		Mw	Azi	Buz	Desl	
04/08/2006	10.002	-70.642	5.5	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	'FUN'	175.0	88.0	26.6	
29/09/2006	10.797	-61.300	6.1	54.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	'FUN'	208.0	25.0	-159.2	
11/11/2006	11.406	-64.883	3.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	'FUN'	321.0	65.0	166.0	
15/11/2006	10.784	-62.487	4.7	97.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	272.0	67.0	157.9	
17/11/2006	11.455	-62.112	4.4	116.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	'FUN'	230.0	78.0	-93.2	
08/02/2007	9.149	-63.444	4.6	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	'FUN'	76.0	84.0	161.5	
23/02/2007	10.742	-61.392	4.7	56.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	4.0	38.0	164.9	
27/02/2007	10.696	-62.515	4.4	105.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	'FUN'	86.0	67.0	-153.6	
03/03/2007	8.496	-71.451	3.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	'FUN'	110.0	80.0	-148.8	
10/03/2007	9.760	-69.723	3.6	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	'FUN'	195.0	49.0	80.7	
12/03/2007	10.850	-62.119	4.4	62.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	'FUN'	262.0	82.0	-69.1	
14/03/2007	10.300	-62.229	4.4	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	'FUN'	105.0	51.0	-122.2	
22/03/2007	12.149	-70.178	4.7	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	35.0	44.0	38.8	
24/03/2007	7.227	-72.025	4.3	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	'FUN'	329.0	48.0	46.3	
20/04/2007	9.904	-69.252	3.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	'FUN'	53.0	66.0	160.9	
21/04/2007	10.681	-62.553	4.3	84.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	'FUN'	269.0	85.0	-82.1	
06/05/2007	6.814	-73.097	5.3	164.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	'FUN'	21.0	45.0	146.6	
09/05/2007	9.576	-70.764	4.9	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	'FUN'	22.0	38.0	82.9	
15/05/2007	10.648	-62.429	3.6	87.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	'FUN'	283.0	39.0	110.8	
20/06/2007	7.169	-72.169	5.3	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	'FUN'	321.0	73.0	13.5	
06/07/2007	10.115	-72.573	4.2	158.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	'FUN'	358.0	74.0	-62.6	
16/07/2007	10.665	-62.353	4.8	82.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	'FUN'	184.0	34.0	-49.4	
16/07/2007	7.192	-72.158	5.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	'FUN'	329.0	83.0	-8.2	
05/09/2007	10.672	-68.557	4.1	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	'FUN'	99.0	81.0	167.4	

Tabla 1. Primera parte (Continuación)

Fecha (dd/mm/yyyy)	Latitud N (°)	Longitud W (°)	Magnitud	Profundidad (km)	Tipo de magnitud					Fuente			Plano nodal A		
					Ml	Md	Ms	Mb	Mw	Mw	'FUN'	Azi	Buz	Desl	
20/11/2007	6.823	-73.072	4.4	158.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	'FUN'	37.0	84.0	-111.3	
10/12/2007	10.695	-69.416	4.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	'FUN'	275.0	85.0	-168.7	
12/12/2007	10.721	-62.408	4.8	78.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	'FUN'	169.0	82.0	-102.6	
26/12/2007	10.762	-65.683	4.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	'FUN'	270.0	78.0	0.0	
16/01/2008	9.709	-72.627	4.7	171.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	'FUN'	166.0	31.0	174.0	
29/01/2008	10.234	-71.803	4.2	22.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	'FUN'	28.0	48.0	68.9	
13/02/2008	10.366	-62.171	4.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	'FUN'	243.0	73.0	107.4	
17/02/2008	6.801	-73.069	5.5	161.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	'FUN'	19.0	51.0	-143.5	
25/02/2008	10.219	-70.960	5.0	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	'FUN'	6.0	73.0	13.5	
28/03/2008	6.912	-72.989	5.2	160.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	'FUN'	41.0	37.0	-16.1	
27/04/2008	10.116	-69.534	4.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	'FUN'	7.0	58.0	-14.9	
17/05/2008	10.981	-62.208	4.2	94.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	'FUN'	265.0	67.0	-120.1	
03/06/2008	10.813	-70.316	4.0	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	'FUN'	90.0	85.0	180.0	
27/06/2008	11.126	-62.244	5.2	128.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	'FUN'	207.0	87.0	-59.1	
27/07/2008	11.203	-71.233	3.7	131.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	'FUN'	138.0	70.0	-59.4	
11/08/2008	10.523	-64.168	5.2	13.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	'FUN'	90.0	86.0	0.0	
17/08/2008	10.253	-69.691	4.6	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	'FUN'	25.0	77.0	13.1	
19/10/2008	10.699	-62.307	4.3	76.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	'FUN'	252.0	62.0	112.9	
01/11/2008	10.815	-62.196	4.0	92.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	'FUN'	307.0	39.0	-153.7	
03/11/2008	9.378	-70.358	3.7	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	'FUN'	0.0	85.0	-21.8	

Tabla 1. Segunda parte

Fecha (dd/mm/yyyy)	Plano nodal B			Eje T			Eje P			Descripción Información de utilidad (detalles)	Id
	Azi	Buz	Desl	Azi	Buz	Azi	Buz	Azi	Buz		
15/08/2005	339.0	90.0	-3.0	24.0	2.1	294.0	2.1	294.0	2.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism composite	1
28/08/2005	315.0	39.0	-114.2	242.0	8.3	123.9	72.8	123.9	72.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	2
19/10/2005	15.0	53.7	-37.0	250.5	4.3	345.6	49.6	345.6	49.6	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	3
22/10/2005	169.0	78.8	-45.1	226.7	20.7	118.9	38.9	118.9	38.9	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	4
24/10/2005	317.0	5.1	-143.9	277.1	41.9	105.3	47.8	105.3	47.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	5
28/10/2005	353.0	26.6	-177.8	327.2	38.3	195.4	40.1	195.4	40.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	6
01/01/2006	350.0	45.5	-39.5	226.4	10.0	330.8	54.7	330.8	54.7	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	7
03/01/2006	124.0	51.5	-23.3	352.2	12.8	93.7	41.2	93.7	41.2	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	8
06/01/2006	284.0	7.7	-15.1	126.1	42.5	291.4	46.5	291.4	46.5	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	9
10/01/2006	358.0	86.1	-99.2	96.5	40.4	258.2	48.2	258.2	48.2	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	10
23/01/2006	146.0	90.0	-8.0	191.3	5.6	100.7	5.6	100.7	5.6	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	11
21/03/2006	349.0	90.0	-2.0	34.0	1.4	304.0	1.4	304.0	1.4	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	12
31/03/2006	128.0	54.0	-71.3	204.8	7.2	89.9	73.2	89.9	73.2	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	13
10/04/2006	166.0	41.9	48.4	355.5	61.6	104.4	9.9	104.4	9.9	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	14
14/04/2006	205.0	82.0	14.1	69.6	15.6	338.4	4.2	338.4	4.2	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	15
12/06/2006	194.0	89.5	-62.0	259.0	38.2	129.3	39.1	129.3	39.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	16
13/06/2006	16.0	85.4	69.5	265.2	45.8	124.1	37.1	124.1	37.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	17
15/06/2006	186.0	90.0	-25.0	233.8	17.4	138.2	17.4	138.2	17.4	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	18
01/07/2006	304.0	90.0	177.0	259.0	2.1	349.0	2.1	349.0	2.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism composite	19
07/07/2006	340.0	71.6	3.2	203.0	15.1	295.9	10.7	295.9	10.7	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	20
02/08/2006	135.0	57.4	153.6	101.1	40.3	5.4	6.7	5.4	6.7	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	21
04/08/2006	204.0	82.8	29.3	70.9	25.5	333.6	14.7	333.6	14.7	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	22

Tabla 1. Segunda parte (Continuación)

Fecha (dd/mm/yyyy)	Plano nodal B			Eje T		Eje P		Descripción	Id
	Azi	Buz	Desl	Azi	Buz	Azi	Buz		
04/08/2006	84.0	63.4	177.8	42.7	19.9	306.4	16.9	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	23
29/09/2006	99.0	81.4	-66.4	169.5	32.3	34.2	48.3	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	24
11/11/2006	57.0	77.4	25.7	281.3	27.0	187.1	8.3	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	25
15/11/2006	11.0	69.8	24.6	232.1	31.4	141.0	1.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	26
17/11/2006	65.0	12.4	-75.3	322.7	32.9	135.9	56.9	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	27
08/02/2007	168.0	71.6	6.3	30.6	17.3	123.3	8.6	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	28
23/02/2007	106.0	80.8	53.0	341.0	42.1	224.4	26.3	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	29
27/02/2007	345.0	65.8	-25.4	215.3	0.8	305.8	34.5	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	30
03/03/2007	14.0	59.3	-11.6	238.5	13.8	336.3	28.9	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	31
10/03/2007	29.0	41.9	100.5	48.6	82.1	291.6	3.6	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	32
12/03/2007	12.0	22.3	-158.5	334.3	33.8	194.5	48.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	33
14/03/2007	330.0	48.9	-56.7	217.1	1.2	309.7	65.5	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	34
22/03/2007	275.0	64.2	127.0	232.4	54.7	339.3	11.6	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	35
24/03/2007	204.0	57.5	127.5	169.6	58.5	268.4	5.3	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	36
20/04/2007	151.0	72.6	25.2	13.4	29.9	280.9	4.4	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	37
21/04/2007	31.0	9.4	-147.7	351.7	39.5	187.6	49.4	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	38
06/05/2007	136.0	67.1	50.1	0.2	50.8	253.7	13.0	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	39
09/05/2007	211.0	52.3	95.5	148.7	81.6	297.1	7.2	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	40
15/05/2007	77.0	54.0	74.0	298.4	74.9	178.4	7.7	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	41
20/06/2007	227.0	77.1	162.5	183.4	21.3	274.5	2.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	42
06/07/2007	116.0	31.4	-148.1	67.1	24.1	300.7	53.0	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	43
16/07/2007	318.0	64.9	-113.7	65.3	16.6	190.1	62.4	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	44
16/07/2007	60.0	81.9	-172.9	14.6	0.8	284.4	10.7	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	45

Tabla 1. Segunda parte (Continuación)

Fecha (dd/mm/yyyy)	Plano nodal B		Eje T		Eje P		Descripción Información de utilidad (detalles)	Id	
	Azi	Buz	Desl	Azi	Buz	Azi			Buz
05/09/2007	191.0	77.6	9.2	54.7	15.2	145.3	2.4	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	46
20/11/2007	292.0	22.1	-16.1	145.4	35.5	284.9	46.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	47
10/12/2007	184.0	78.7	-5.1	49.1	4.4	140.0	11.5	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	48
12/12/2007	47.0	14.9	-32.9	269.9	35.8	64.7	51.4	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	49
26/12/2007	180.0	90.0	-12.0	225.6	8.5	134.4	8.5	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	50
16/01/2008	261.0	87.0	59.1	142.7	40.0	17.2	34.7	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	51
29/01/2008	238.0	46.1	111.8	226.3	74.4	132.8	1.0	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	52
13/02/2008	16.0	24.1	45.6	176.8	58.4	319.4	26.0	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	53
17/02/2008	264.0	62.4	-45.2	323.9	6.8	225.6	50.5	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	54
25/02/2008	272.0	77.1	162.5	228.4	21.3	319.5	2.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	55
28/03/2008	144.0	80.4	-125.9	261.6	26.5	19.4	43.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	56
27/04/2008	105.0	77.4	-147.1	232.5	12.8	330.6	31.9	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth fixed - Mechanism simple	57
17/05/2008	141.0	37.2	-40.3	16.7	16.7	134.3	57.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	58
03/06/2008	180.0	90.0	5.0	45.1	3.5	314.9	3.5	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	59
27/06/2008	302.0	31.0	-174.2	270.8	34.7	145.3	40.0	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	60
27/07/2008	258.0	36.1	-144.5	205.6	19.3	86.3	54.0	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	61
11/08/2008	360.0	90.0	-4.0	45.1	2.8	314.9	2.8	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	62
17/08/2008	292.0	77.2	166.7	248.5	18.4	338.5	0.2	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	63
19/10/2008	30.0	35.6	53.8	202.8	65.1	325.5	14.1	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	64
01/11/2008	196.0	73.8	-54.0	259.6	20.6	144.6	48.3	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	65
03/11/2008	92.0	68.3	-174.6	47.9	11.6	313.9	18.9	FUNVISIS: Compiled by Audemard and Palma - Depth free - Mechanism simple	66

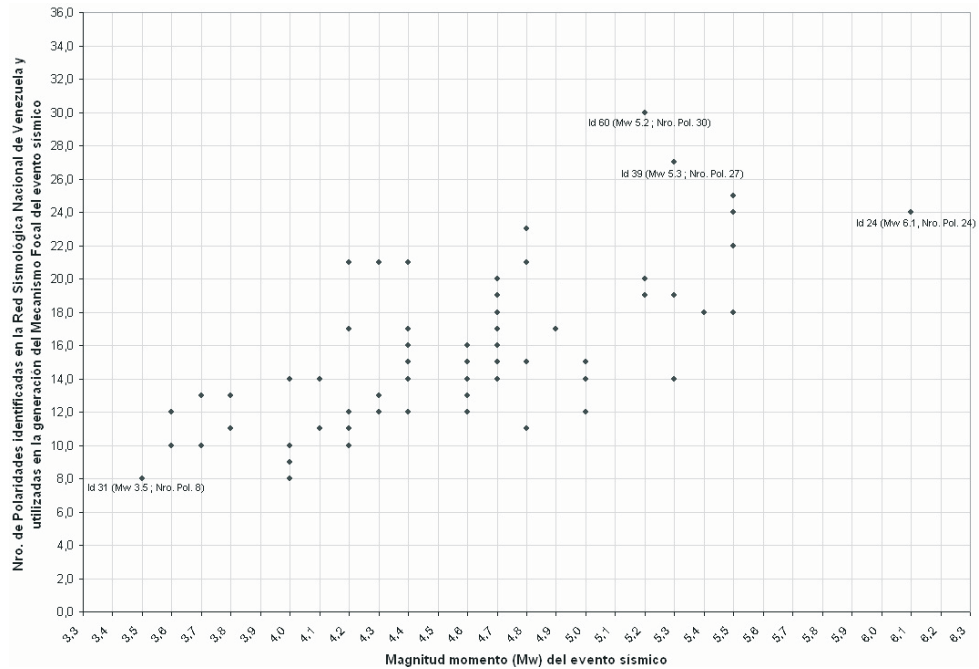


Figura 4. Distribución y relación entre los mecanismos focales, la magnitud del evento sísmico y el número de polaridades empleadas en su elaboración. El Id 24, que responde al sismo de mayor magnitud dentro de la base de datos del presente estudio, refleja la importancia de la densidad y distribución de las estaciones sismológicas, ya que el epicentro se ubicó al norte de Trinidad donde la Red Sismológica Nacional de Venezuela presenta poco alcance. Igualmente se tiene el caso opuesto (Id 31), que representa el sismo de menor magnitud, pero con una ubicación hipocentral ideal respecto a la red sismológica que permitió la determinación del mecanismo focal correspondiente, empleando el método identificación de la polaridad de la primera llegada.

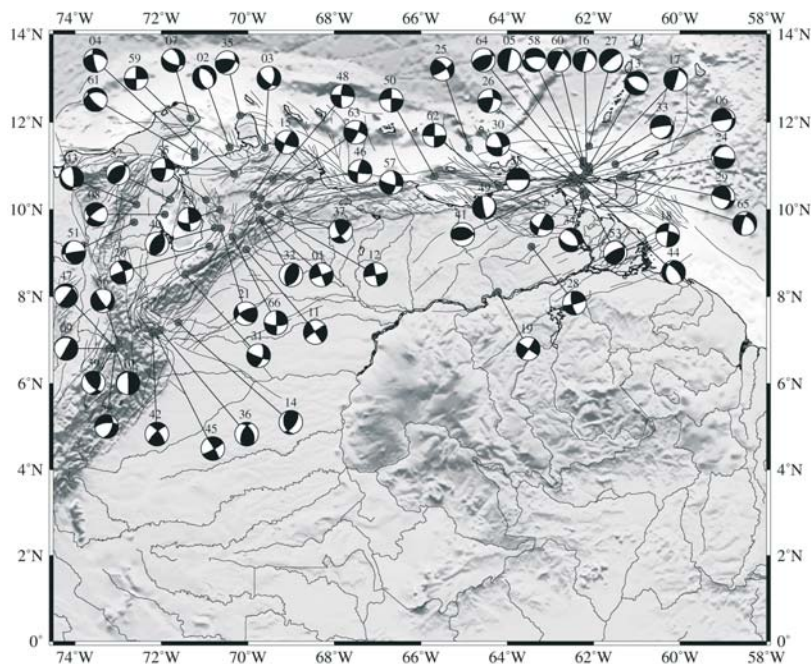


Figura 5. Mapa de Venezuela con la distribución espacial de las 66 nuevas soluciones de mecanismos focales propuestas entre el mes de agosto de 2005 y diciembre de 2008.

características de sismos profundos, brindan información adicional y esencial sobre la evolución y geometría de la subducción oblicua de la placa del Caribe por debajo del bloque de Maracaibo, descritos por Malavé y Suárez [14] y retomados por Palma y Malavé [2].

Igualmente, se puede desprender de los mecanismos focales identificados con los Id 5, 13, 16, 17, 18, 27, 30, 33, 38, 41, 44, 49, 58, 60 y 64, obtenidos en el oriente del país, específicamente al norte de Güiria y sus alrededores, información que pudiera indicar y/o caracterizar el slab de subducción a diferentes profundidades en dicha zona, así como su evolución espacio-temporal.

Casos adicionales como los que se presentan en el oeste del Lago de Maracaibo, donde se observa a través del mecanismo focal identificado con el Id 52, procesos inversos; y situaciones como el mecanismo focal obtenido al oeste de Ciudad Bolívar (ver Id 19 en Tabla 1), donde se añade información a la falla inferida, con orientación ENE-OSO, interpretada por Beltrán [9], son informaciones relevantes que se desprenden de los resultados alcanzados, a través de los mecanismos focales, en distintas regiones del país.

Conclusiones

La Red Sismológica Nacional de Venezuela, cuyo desarrollo fue logrado en el período 2000-2002, ha permitido por su densidad y distribución actual, obtener información adicional relacionada con las características de la fuente sismogénica, a través de los mecanismos focales que se han determinado para diversos eventos sísmicos, empleando el método de identificación de la "polaridad" de las primeras llegadas de la onda sísmica. Este procedimiento rutinario, que inició en el mes de octubre de 2005, aumentó considerablemente el número de soluciones propuestas para sismos ocurridos en el país, alcanzando un total de 66 nuevas soluciones de mecanismos focales hasta el año 2008, lo que representa más de la mitad de las soluciones presentadas en el trabajo de Audemard [6], cuya compilación refiere a un período más extenso comprendido entre 1957 y 2003. Adicionalmente, se debe destacar que el número promedio de polaridades empleadas en la obtención de cada mecanismo

focal oscila en torno a las 16 lecturas, lo que implica un valor aceptable para la correcta determinación de los mecanismos focales, siempre y cuando factores como la ubicación hipocentral del sismo y la densidad de las estaciones sismológicas adyacentes al epicentro del evento, favorezcan su estimación.

Este conjunto de soluciones, alcanzadas entre agosto de 2005 y diciembre de 2008, ha ampliado notablemente el banco de datos útiles para conocer la cinemática actual de las fallas sismogénicamente activas de nuestro país, y ha permitido conocer información adicional en zonas como el oeste de Lago de Maracaibo; datos sobre la falla de Valera; la evolución del slab de subducción tanto en el occidente como en el oriente del país, actividad sísmica al oeste de Ciudad Bolívar, entre otros, y que en general reflejan características particulares que ameritan estudios en profundidad, que deben ser desarrollados próximamente.

Referencias

1. FUNVISIS: "Boletín Sismológico de Venezuela, enero-diciembre". Vol. 1, No. 1 (1983) 81.
2. Palma M., Malavé G.: "Actividad Sísmica Reciente en el Noroccidente de Venezuela: Nuevos Mecanismos focales". VIII Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica (CONVESIS), Mayo 17-19, Valencia (2006).
3. Audemard F.A., Machette M.N., Cox J.W., Dart R.L., Haller K.M.: "Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions". U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-018, (2000).
4. Lay T., Wallace T.: "Modern Global Seismology". Academic Press, San Diego, EE.UU, 1995.
5. FUNVISIS: "Mecanismo Focal". <<http://www.funvisis.gob.ve/mecanismosf.php>> [En línea]. (Consultado julio, 2008).
6. Audemard F.A., Romero G., Rendón H., Cano V.: "Quaternary fault kinematics and stress tensors along the southern Caribbean from fault-slip data and focal mechanism solutions". Earth-Science Reviews, Vol. 69, No. 3-4, (2005) 181-233.
7. Audemard F.A.: "Ruptura de los grandes sismos históricos venezolanos de los siglos XIX

- y XX, revelados por la sismicidad instrumental contemporánea". 9° Congreso Venezolano de Geofísica, Noviembre 17-20, Caracas (2002).
8. Audemard F.A., Singer A.: "La ingeniería de fallas activas en Venezuela: historia y estado del arte". Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica: Aniversario del Terremoto de Caracas de 1967. Universidad Católica Andrés Bello, Julio 21-22, Caracas (1987).
 9. Beltrán C.: "Mapa Neotectónico de Venezuela. Escala 1:2.000.000". Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS. Caracas (1993).
 10. Pindell J., Dewey J.: "Permo-Triassic Reconstruction of western Pangea and the evolution of the Gulf of Mexico/Caribbean region". *Tectonics*, Vol. 1, No. 2, (1982) 179-211.
 11. Freymueller J. T., Kellogg J. N., Vega V.: "Plate motions in the north Andean region". *J. Geophys. Res.*, Vol. 98, No. B12, (1993) 21853-21864.
 12. Kellogg J., Vega V.: "Tectonic development of Panama, Costa Rica, and the Colombian Andes: Constraints from Global Positioning System geodetic studies and gravity". In: P. Mann (ed.), *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America*. Geological Society of America, USA (1995), 75-90.
 13. Cronin V.: "A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists". Universidad de Baylor, Texas-EE.UU. <http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure_04/Focal_mechanism_primer.pdf> [En línea]. (Consultado enero, 2006).
 14. Malavé G., Suárez G.: "Intermediate-depth seismicity in northern Colombia and western Venezuela and its relationship to Caribbean plate subduction". *Tectonics*, Vol. 14, No. 3, (1995) 617-628.

Recibido el 23 de Marzo de 2009

En forma revisada el 3 de Mayo de 2010