

## Estudio del enjambre sísmico de la península de Araya, estado Sucre, ocurrido en marzo de 1996

### *Study of seismic swarm of Araya Peninsula, Sucre state, occurred in March 1996*

### *Estudo do enxame sísmico da península de Araya, estado Sucre, ocorrido em março de 1996*

Américo Montilla<sup>1</sup> Jaime Avendaño<sup>2</sup> Luis D. Beauperthuy<sup>3†</sup> Jorge Rojas<sup>4</sup> Francelina Acuña<sup>5</sup> Claudio Marchán<sup>6</sup>

Recibido: 9-6-14; Aprobado: 16-7-14

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
<p>Se analiza el enjambre sísmico ocurrido en marzo de 1996, entre Cumaná y la península de Araya en la región comprendida entre la falla de Manzanillo y la falla de El Pilar al noroeste de Cumaná. Se registraron 140 sismos, de los cuales 6 fueron sentidos, y 32 localizados, con profundidad predominante alrededor de los 4,9 km. La relación de Gutenberg-Richter (<math>\log N = a - bM</math>), arrojó los siguientes valores para "a" y "b", 2,02 y 0,47, respectivamente. El patrón de radiación de la onda P (para un mecanismo focal compuesto de los eventos sísmicos) indica un fallamiento normal con componente transcurrente dextral, con plano nodal principal N30°E y buzamiento 42,1°.</p> <p><b>Palabras clave:</b> Enjambre sísmico, eventos sísmicos, mecanismo focal.</p>	<p>We study the seismic swarm of march 1996, which occurred between Cumaná and Araya Peninsula in a region located between the Manzanillo fault and the El Pilar fault to the northwest of Cumaná. 140 events were registered, 32 of which were located and 6 were felt. The predominant depth was around 4 km. The Gutenberg-Richter relationship (<math>\log N = a - bM</math>), gives the following "a" and "b" parameters: "a" = 2.02 and "b" = 0.47. The P - wave radiation pattern (for a composed focal mechanism of the seismic events) indicates a normal fault with right - slip component, and with main nodal plane N30°E and dip 42.1°.</p> <p><b>Keywords:</b> Focal mechanism, seismic events, seismic swarm.</p>	<p>Enxame sísmico ocorreu em março de 1996, entre Cumana e península Araya na região entre a falha de Manzanillo e a falha El Pilar e noroeste de Cumana é analisada. 140 sismos foram registrados, dos quais 6 foram sentidas, e 32 localizadas profundidade predominante de cerca de 4,9 km. A relação Gutenberg-Richter (<math>\log N = a - bM</math>), forneceu os seguintes valores para "a" e "b", 2,02 e 0,47, respectivamente. O padrão de radiação da onda P (para um mecanismo focal composto por eventos sísmicos) indica falhas normais com dextral componente transcurrente, principalmente nodal avião mergulhando N30°E e 42,1°.</p> <p><b>Palavras-chave:</b> Enxame sísmico, eventos sísmicos, mecanismo focal.</p>

### INTRODUCCIÓN

La mayoría de los terremotos suelen suceder en forma de grupos relacionados en el tiempo y en el espacio. Mogi (1963), distingue tres tipos:

Tipo I: No se producen premonitores. El sismo principal es el primero, seguido de una serie de terremotos de menor magnitud.

Tipo II: Se dan premonitores, cuyo número aumenta rápidamente antes del sismo principal.

Tipo III: La secuencia de terremotos sucede en forma de un enjambre, en el cual no se distingue un terremoto principal. Un enjambre sísmico es un conjunto de sismos que ocurren en un área y en tiempo limitado (Udías y Mézcua, 1997). Mogi (1963), definió un enjambre sísmico como una secuencia de sismos, en la cual el número y la magnitud de los terremotos se incrementan gradualmente con el tiempo y después de cierto período decrece, sin un evento sísmico principal predominante.

Sin embargo, Utsu (1970), clasificó los enjambres en dos tipos, el primero coincide con el tipo III, presentado por Mogi (1963) y el segundo tendría un número limitado de eventos principales de magnitudes similares.

A nivel mundial, se han realizado estudios sobre enjambres sísmicos. Cabe mencionar el ocurrido durante el período junio-agosto de 1968 en medio del canal de Santa Bárbara, California; durante el mismo se registraron sesenta y tres sismos de pequeñas magnitudes, siendo la mayor 5,2 (Sylvester et al., 1970).

Otra tormenta estudiada es la que tuvo lugar en la Colina de Briones en la costa de California en el año 1977, donde se registraron 78 sismos superficiales, con los cuales se obtuvo conocimiento de que dicha zona, es un nido de fallas (Bolt et al., 1977).

En Venezuela han ocurrido algunos enjambres sísmicos, uno de ellos se localizó cerca de la

<sup>1</sup> Lcdo°Fis°, MSc. Universidad de Oriente, Centro de Sismología (CS-UDO). e-mail: [amontilla@udo.edu.ve](mailto:amontilla@udo.edu.ve); <sup>2</sup> Lcdo°Mat°, MSc. CS-UDO. e-mail: [javendano@udo.edu.ve](mailto:javendano@udo.edu.ve); <sup>3</sup> Lcdo°Fis°, MSc. CS-UDO. e-mail: [luisboper@yahoo.es](mailto:luisboper@yahoo.es); <sup>4</sup> Lcdo°Fis°, MSc. CS-UDO. e-mail: [jorgero@udo.edu.ve](mailto:jorgero@udo.edu.ve); <sup>5</sup> Lcda°Fis°, MSc. Universidad politécnica Territorial del Oeste de Sucre "Clodosbaldo Russián". e-mail: [facuna@uptos.edu.ve](mailto:facuna@uptos.edu.ve); <sup>6</sup> TSU°Infrmtca° CS-UDO. e-mail: [cmarchan@udo.edu.ve](mailto:cmarchan@udo.edu.ve)

población Tocuyo de la Costa y otro en los alrededores Boca de Tocuyo, ambos en la región nororiental del estado Falcón. Estos fenómenos produjeron licuefacción en un área muy espaciosa y, entre lo dos, aproximadamente, dos mil sismos registrados entre finales del mes de abril y mes de mayo de 1989, de los cuales el mayor fue de 5,8 mb en la escala de Richter.

Otra actividad de este tipo ocurrió en la población de Curarigua, distrito Torres, estado Lara, durante los meses agosto-septiembre de 1991, la RESVAC registró 521 sismos en 54 días, con el hecho particular que la tormenta se inició con un sismo de 5,0 mb en la escala de Richter, el día 7 de agosto y a los diez días (17 de agosto) se registró otro evento sísmico de 5,3 mb en la misma escala. Estos movimientos permitieron conocer la existencia de dos tipos de fallas: transcurrente dextral con componente normal y transcurrente sinistral con componente inversa (Valera, 1991).

En este estudio analizamos la actividad sísmica ocurrida entre las poblaciones de Cumaná y Araya, iniciándose el 06 de marzo de 1996, a las 07<sup>h</sup>42<sup>min</sup>17,1<sup>s</sup> ± 0,1<sup>s</sup> (GMT) de la mañana, con un movimiento sísmico sentido de corta duración, de magnitud 4,5 por duración (md). El enjambre continuó durante un mes en una región ubicada entre las fallas de Manzanillo y El Pilar, al noroeste de Cumaná, se registraron 140 sismos, en 32 se localizaron sus parámetros, seis fueron sentidos por la población con carácter de leve a fuerte; el parámetro profundidad predomina alrededor de los 4,9 km. El objetivo primordial de este estudio es caracterizar este enjambre sísmico.

## METODOLOGÍA

La obtención de los datos sísmicos se realizó con la Red de Estaciones Sismológicas del Centro de Sismología de la Universidad de Oriente (CSUDO), que para el año 1996 tenía

operativas tres estaciones sismológicas más una estación de la Red Venezolana de Apertura Continental (RESVAC), todas ubicadas en la región nororiental de Venezuela (tabla I y figura 1). Las localizaciones de los eventos sísmicos registrados se realizan utilizando el programa Basic-Hypo (Mendoza y Morgan, 1985), el cual se basa en el modelo de inversión no lineal para determinar los parámetros hipocentrales de los eventos sísmicos. El primer evento del enjambre, se ubicó en las coordenadas: (10,558 ± 0,009)°N, (64,299 ± 0,006)°O, con una profundidad focal de 9,38 ± 0,08 km.

Las magnitudes de los eventos sísmicos registrados, se calcularon usando la relación Magnitud-Duración, dada por Ramos (1986):

$$m(d) = 1,95 \log(d) - 0,68 \quad (1)$$

donde (d) es la duración de la señal sísmica.

Una vez localizados los eventos se calculan los parámetros "a" y "b", de la relación de distribución frecuencia-magnitud (Gutenberg y Richter, 1944), es una de las relaciones empíricas más conocida en sismología; describe la relación de la frecuencia de ocurrencia de los terremotos como una función de la magnitud:

$$\log(N) = a + bM \quad (2)$$

donde N, es el número acumulativos de terremotos con magnitudes iguales o mayores que M; el valor de "a" es una constante que se asocia a la actividad sísmica, y el valor de "b", es uno de los parámetros más importante en sismología y establece la proporción relativa de terremotos de pequeña magnitud con respecto a los de alta magnitud.

Se determinó el mecanismo focal compuesto de los terremotos utilizando la polaridad de las primeras llegadas con el programa SANSORES 1991, el cual utiliza la proyección focal de Schmidt y se basa en el método de la polaridad del primer impulso de la onda P (Udías et al., 1985). Este algoritmo

determina todos los parámetros del mecanismo focal (Villaseñor, 1993).

Para el estudio se realizaron dos cortes verticales: Latitud - Profundidad y Longitud - Profundidad y un histograma de la distribución de los sismos como una función de la profundidad focal, para determinar la profundidad predominante de los eventos (figuras 2 y 3).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el enjambre sísmico se registraron 140 sismos, 32 de los cuales se localizaron; éstos se concentran en una región de 2,36 km<sup>2</sup> comprendida entre las coordenadas geográficas 10,455-10,567)°N y 64,380-64,190°O (figura 4), ubicada entre la falla de Manzanillo y la falla de El Pilar al noroeste de Cumaná.

Las magnitudes de los eventos localizados varían entre 1,2 y 4,5 md. La relación de recurrencia Gutenberg-Richter aplicada a los mismos, aporta los siguientes valores para los parámetros "a" y "b": "a" = 2,02 y "b" = 0,47 (figura 5). El valor obtenido de "b" se encuentra debajo del rango de valores (0,6-1,4) admitido para sismicidad durante períodos largos de tiempo en zonas activas (Udías, 1999).

Es importante destacar, que el margen de variación de "b" para una serie de eventos sísmicos secundarios oscila entre 0,4 y 1,8. En general, las series de eventos sísmicos secundarios tienen valores altos de "b" y los enjambres sísmicos tienen valores bajos de "b", lo que concuerda con los resultados encontrados.

El patrón de radiación de la onda P, para el mecanismo focal compuesto de los sismos, indica un fallamiento normal con una pequeña componente transcurrente dextral (figura 4). Ball et al. (1969), reportan fallamientos normales de rumbo este-oeste, desde la fosa de Cariaco hasta el golfo del mismo nombre, con traza superficial al sur del cerro Barrigón en la península de Araya.

De los dos planos nodales, el que corresponde a un rumbo N30°E



Figura 1. Mapa geográfico de la región nororiental de Venezuela, donde se muestra la distribución de las estaciones sismológicas de CSUDO y RESVAC (triángulos sólidos).

Tabla I. Estaciones Sismológicas de la Red de CSUDO y la RESVAC.

Nº	ESTACIÓN	CODIGO	LATITUD (°N)	LONGITUD (°O)	RED
1	Manicuare	MAN	10.561	64.189	CSUDO
2	Cumanacoa	COAV	10.158	63.827	CSUDO
3	Campearé	CAMV	10.551	63.322	CSUDO
4	Cumaná	CUM	10.427	64.198	RESVAC

con buzamiento de  $42,1^\circ$  es concordante con la dirección de campos de esfuerzos (aproximadamente norte-sur) al norte de la península de Araya, que tienden a desviarse y toma una orientación aproximada NNO-SSE, en las proximidades de la falla de El Pilar, presentados por Giraldo y Beltrán (1988).

La distribución de sismicidad en la región nororiental de Venezuela es muy heterogénea, y hasta ahora no ha sido completamente analizada (Russo et al., 1993). En la figura 3, se muestran dos secciones verticales de la profundidad de los eventos con respecto a la latitud y longitud, donde podemos apreciar que la sismicidad en esta región (área del enjambre) es netamente superficial, con profundidad predominante alrededor de los 4,9 km, y donde se destaca que el área del enjambre es muy localizada.

## CONCLUSIONES

El enjambre sísmico, se inicia el 06 de marzo de 1996, a las  $07^h42^{min}17,1^s \pm 0,1^s$  (GMT) con un sismo de 4,5 de magnitud por duración (md), se localizaron 32 eventos (de los 140 sismos de la actividad sísmica) concentrados en una región de  $2,36 \text{ km}^2$ , ubicada entre las fallas de Manzanillo y El Pilar, al noroeste de Cumaná. Los eventos restantes no pudieron ser localizados porque fueron registrados solamente por tres o menos estaciones sismológicas.

La magnitud de los eventos sísmicos del enjambre varía entre 1,2 y 4,5 md (magnitud por duración).

Los valores de los parámetros de la relación Gutenberg-Richter "a" = 2,02 y "b" = 0,47, nos indican que durante el enjambre sísmico predominaron sismos de magnitudes más bien uniformemente distribuidos en valores bajos. Este tipo de serie de terremotos corresponde a zonas de

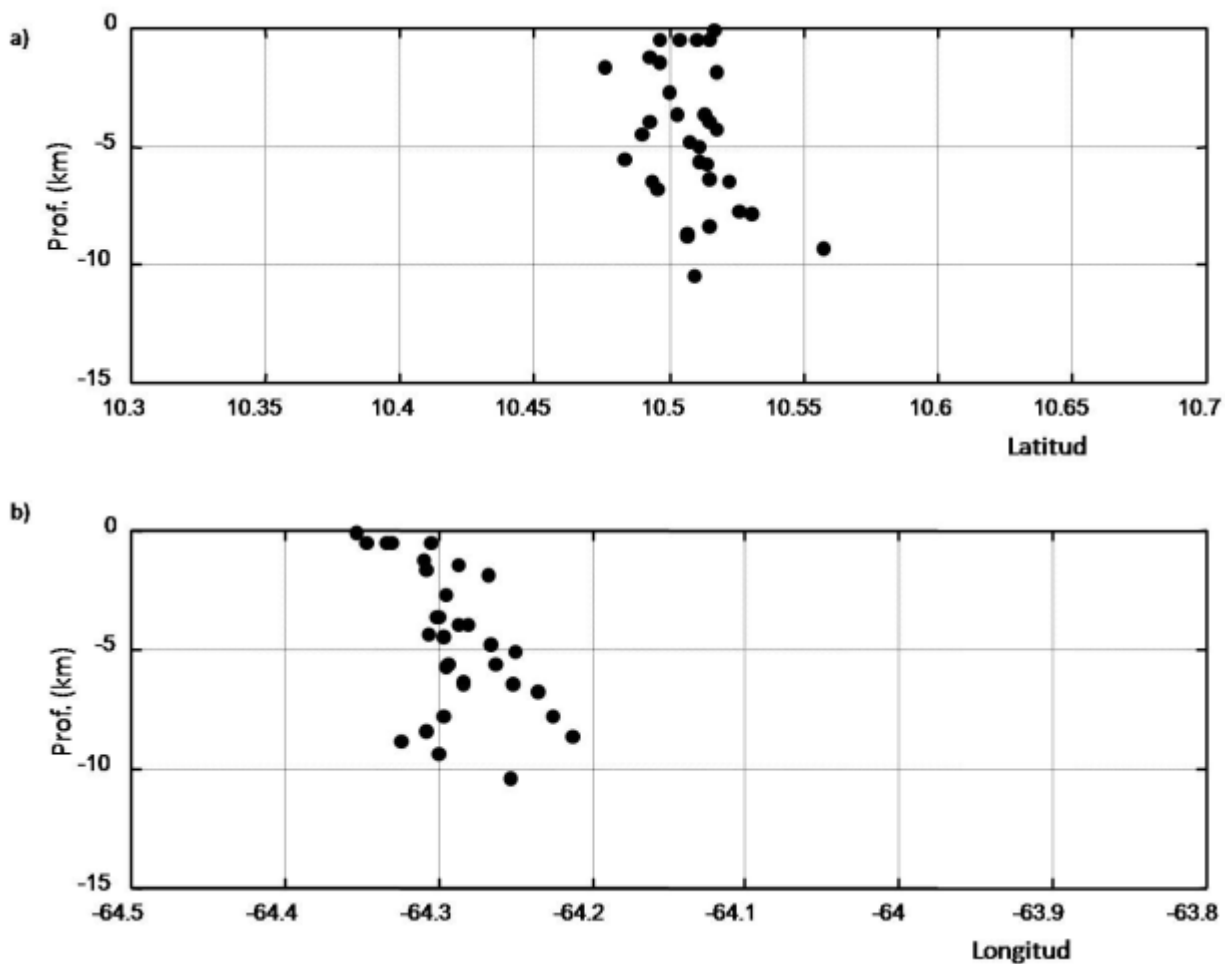


Figura 2. Secciones transversales. a) Profundidad de los sismos respecto a la latitud. b) Profundidad de los sismos respecto a la longitud.

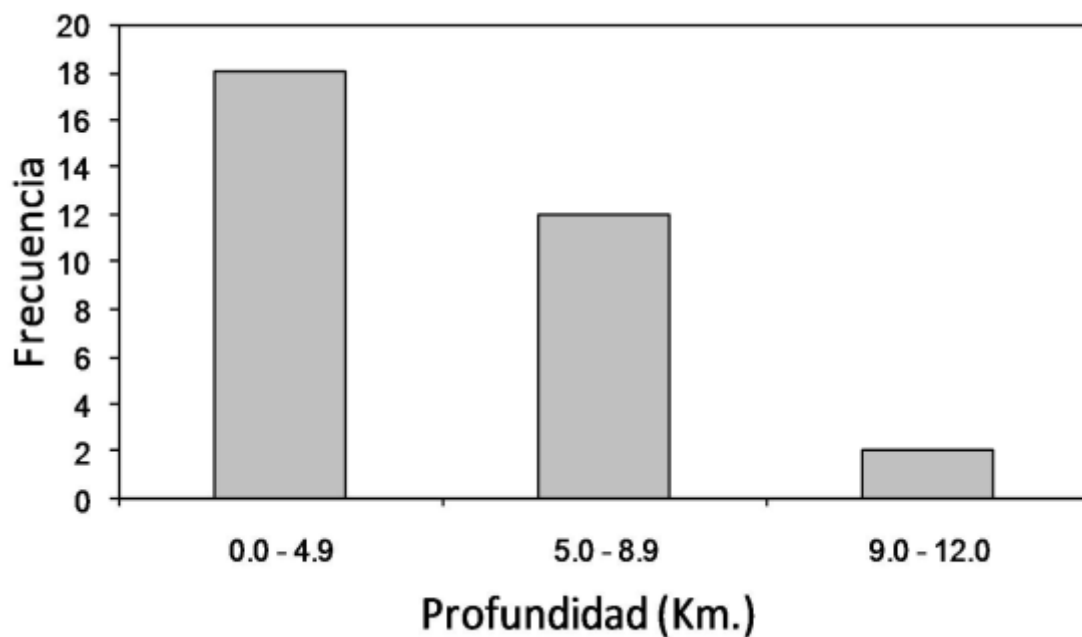


Figura 3. Histograma de la frecuencia de ocurrencia de los 32 sismos del enjambre sísmico con respecto a su profundidad.

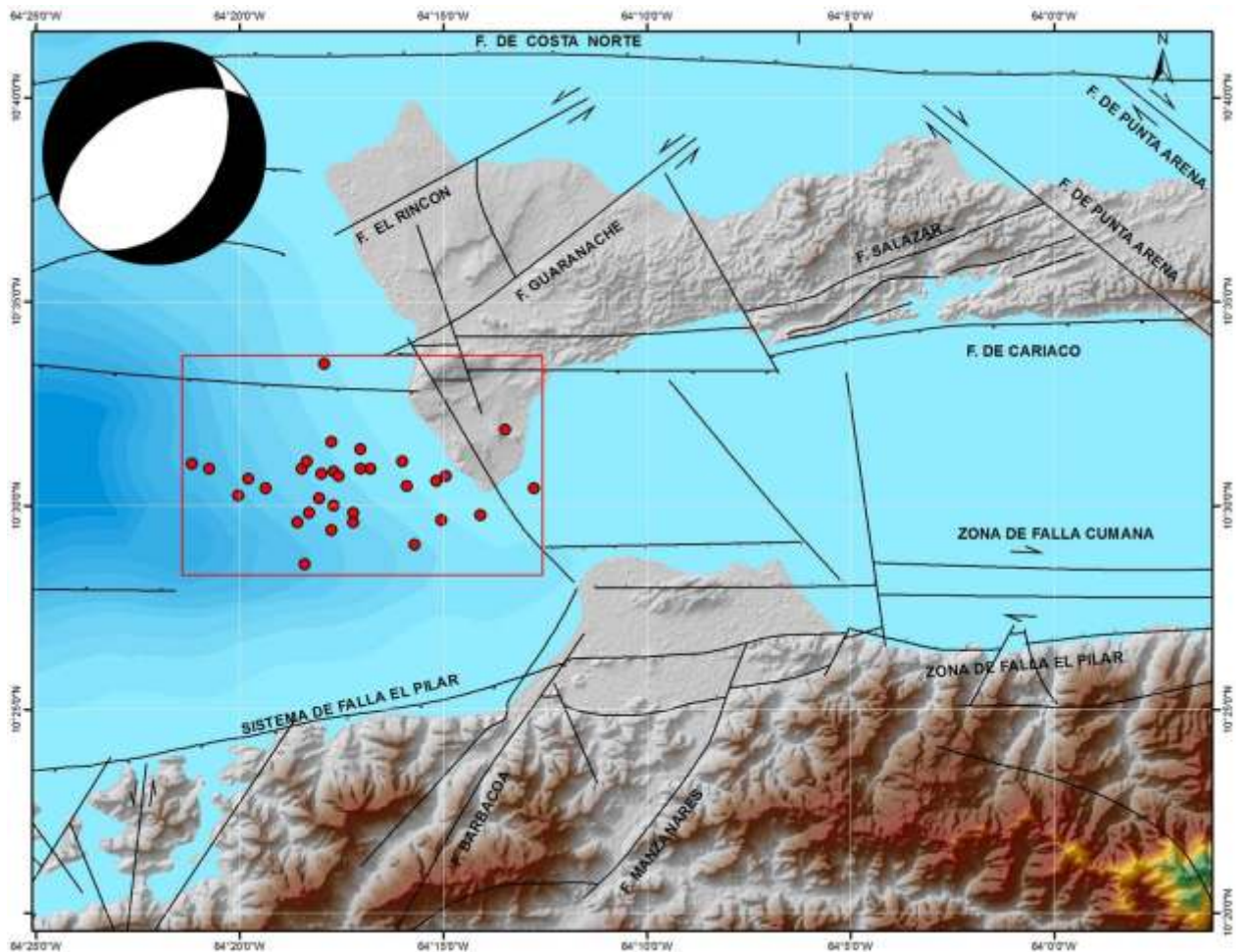


Figura 4. Región nororiental de Venezuela, en el cual se muestra la distribución de los epicentros del enjambre (círculos sólidos), y el mecanismo focal compuesto de los sismos.

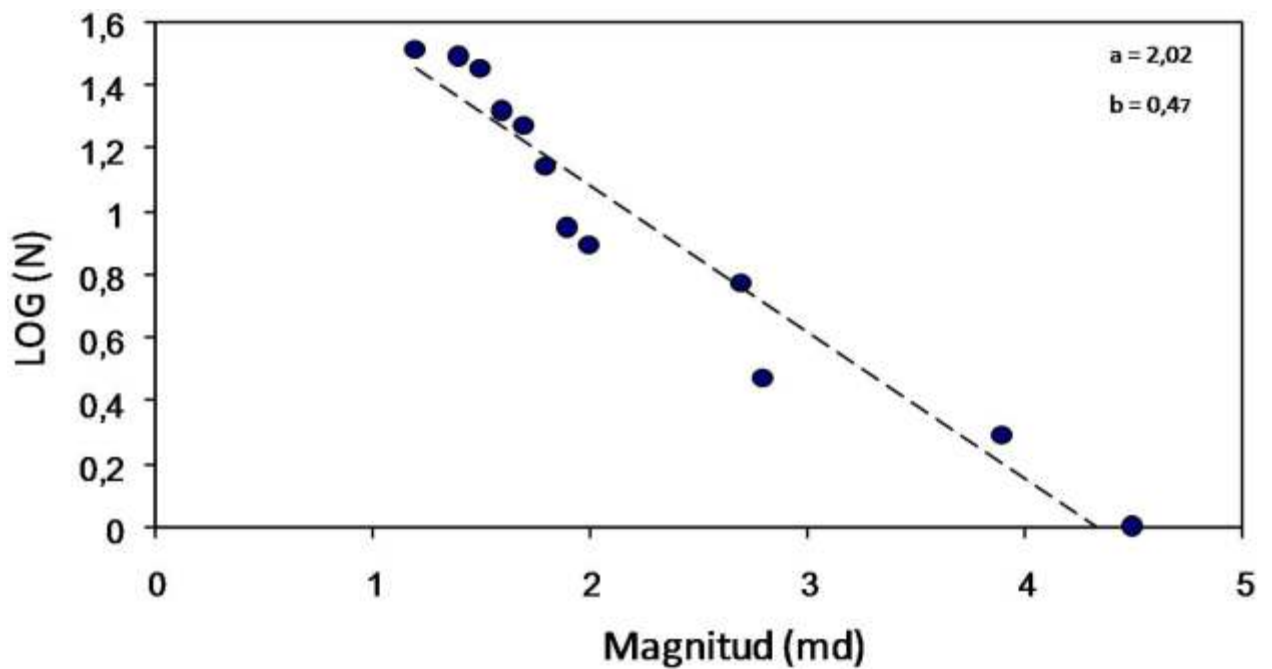


Figura 5. Gráfica del logaritmo en base 10 del número de eventos respecto a la magnitud (md), en el cual se indican los valores de los parámetros a y b.

materiales muy heterogéneos y distribuciones de esfuerzos no uniformes y muy concentrados.

El mecanismo focal compuesto de los eventos localizados indica un fallamiento normal con una pequeña componente transcurrente dextral y con plano nodal principal N30°E y buzamiento de 42,1°.

La sismicidad en la zona es superficial con profundidad de los eventos desde 0,1 km. hasta 10,44 km. (figura 2). El 56,25 % de las profundidades de los sismos de la actividad se encuentran entre 0 y 4,9 km.

#### AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todo el personal del área de Análisis y Registros del Centro de Sismología de la Universidad de Oriente, señores Jhonny González, Raúl Sierra y Jesús Contreras por su valiosa colaboración en el análisis de los datos sísmicos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ball, M., Harrison, C., Supko, P., Bock, W. y Maloney, N. (1969). Fallamiento a lo largo del límite meridional del Caribe, Bahía de Unare, Venezuela. *Bol. Inf. Asoc. Venez. Min. y Petrol.* 12(2): 23-41.

Bolt, B., Stifler, J. & Uhrhammer, J. (1977). The Briones Hills Earthquake Swarm of January 8, 1977, Contra Costa County, California. *Bulletin of the Seismological Society of America.* 67(6):1555-1564.

Giraldo, C. y Beltrán, C. (1988). *Evaluación del campo de esfuerzos cuaternarios en la región nororiental de Venezuela.* Informe Final Proyecto CONICIT S1-1161, FUNVISIS, Venezuela. 25 pp.

Gutenberg R. and C. F. Richter. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34, 185-188.

Mendoza, J. y Morgan, D. (1985). BASIC - HYPO: A Basic Language Hypocenter location Program. *Bulletin of the Seismological Society of America.* 67(6):1555-1564.

Mogi, K. (1963). Some discussions on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms, the fracture of a medi-infinite body caused by inner stress origin and its relations to earthquake phenomena. *Bull. Earthq. Res. Inst. Tokio Univ.* 41:615-658.

Ramos, C. (1986). *Determinación de una Relación de Magnitud Local Usando la Duración de la Señal Sísmica.* Tesis de Grado. Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Venezuela.

Russo, R., Speed, R. & OKAL, E. (1993). Seismicity and Tectonics of the Southeastern Caribbean. *Journal of Geophysical Research.* 98(B8): 14299-14319.

Sylvester, A., Smith, S. & Scholz, C. (1970). Earthquake Swarm in the Santa Barbara Channel, California, 1968. *Bulletin of the Seismological Society of America.* 60(4):1047-1060.

Udías, A. (1999). *Principles of Seismology*, Cambridge

University Press, Cambridge, England, pp. 385 - 386.

Udías, A. y Mézcua, J. (1997). *Fundamentos de Sismología*, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, San Salvador, El Salvador, pp. 127-131.

Udías, A., Muñoz, D. y Buforn, E. (1985). *Mecanismo de los Terremotos y Tectónica*, Cátedra de Geofísica, Facultad de Ciencias Físicas. Editorial de la Universidad Complutense, Madrid, España, pp. 117-126.

Utsu, T. (1970). Aftershocks and earthquake statistics (II). Further investigation of aftershocks and other earthquake based on a new classification of earthquake sequence. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. VII(3):* 197-266.

Valera, M. (1991). *Estudio de la Tormenta Sísmica ocurrida en el estado Lara en los meses agosto-septiembre de 1991.* Trabajo de Grado en Física, Departamento de Física, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Venezuela. 75 pp.

Villaseñor, A. (1993). *Sismicidad y Tectónica en el Límite de Placas del Caribe: noreste de Venezuela e Hispaniola.* Trabajo de Doctorado en Ciencias Físicas, Departamento de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología, Universidad de Barcelona, España. 237 pp.



# FUNDA GEOMINAS



Calle San Simón, Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente en Ciudad Bolívar, Frente a la plaza Perfetti. Tlf: 58+ 4129475886 y 58+ 4166851052