

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL RÉGIMEN SÍSMICO DE CUBA ORIENTAL DE 1998 A 2007

(Seismic Regime Parameters' Determination of the Oriental Cuba between 1998 and 2007)

José Alejandro Zapata Balagué

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas, Cuba,
zapata@sssn.ciges.inf.cu, zapata@cenais.cu

(Recibido octubre 19 de 2007 y aceptado mayo 30 de 2008)

Resumen:

Se presentan los resultados de la evaluación anual del régimen sísmico (años 1998 a 2007) de la región oriental de Cuba, con la información registrada por las estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano; se utilizan como elementos de partida la ubicación espacial de los terremotos, sus magnitudes, profundidades, curvas de descarga energética y sus relaciones magnitud-frecuencia. La evaluación de estos estadígrafos permite el análisis del comportamiento espacio-temporal de la actividad sísmica. Se introducen comparaciones con determinaciones realizadas anteriormente (1979-1989) y se evalúan ajustes producto de los cambios de la cobertura del sistema durante la etapa de estudio.

Palabras clave: Variables directas, Sismicidad, Cuba.

Abstract:

The results presentation of the annual evaluation of the seismic regime (years 1998 to 2007) of the oriental region of Cuba with the information registered by the stations of the Cuban National Seismological Service. As the starting elements there were used the spatial location of the earthquakes, their magnitudes, depths, curves of energetic unload and their relations magnitude-frequency. The evaluation of these statistics allows the analysis of the behavior time-space of the seismic activity. There were introduced comparisons with the determinations realized previously (1979-1989) and the adjustments produced by the changes of the system coverage, during the stage of study, are evaluated.

Key words: Direct Variables, Seismism, Cuba.

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad del estudio periódico de la sismicidad de una región, y con ello del régimen sísmico de las zonas sismoactivas, posibilita el conocimiento de su potencialidad, los parámetros de su actividad y su liberación energética. En Cuba, a pesar de la existencia de registros sismológicos, no se han regularizado estos estudios; el último de ellos fue el realizado en los sitios seleccionados para la Central Electroenergética del Norte de Oriente y de la Central Hidroenergética Toa-Duaba, ambos en la zona oriental del país.

El análisis de la relación magnitud-frecuencia espacial y temporal posibilita conocer el comportamiento de la sismicidad y potencialidad de una zona sismoactiva, aportando el comportamiento de los parámetros y la regularidad del régimen sísmico como base para otras investigaciones. En estudios realizados en Cuba por Chuy (1980), Álvarez (1983) y Álvarez y Chuy (1992) se utilizaron diferentes intervalos espaciales, temporales y de magnitud, así como aumento del número de estaciones utilizadas, lo cual expondremos posteriormente, como elemento para la discusión y evaluación de los resultados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de cálculo utilizada estuvo basada en el empleo de métodos estadísticos, como comúnmente se realizan estos análisis. Presentamos los resultados para el intervalo de 1998 a 2007, periodo en el cual se trabajó con estaciones digitales de banda ancha, corto periodo y una red de estaciones que aportaban una cobertura adecuada para terremotos con magnitudes de 1.5 Richter.

La zona seleccionada para el estudio es la comprendida desde los 19.3 a los 22.0 grados de Latitud Norte y los 74.0 a los 78.0 grados de Longitud Oeste, que comprende los sectores de Santiago de Cuba, Baconao, Guantánamo, Maisí, Cabo Cruz, Pión, Moa y Sierra del Purial, dado que en estos han ocurrido 23 de los 28 terremotos fuertes de la historia sísmica cubana.

Diferentes investigadores (Salcedo et ál., 1997) han aportado sus experiencias a estudios de este tipo, por ejemplo, Rikitake (1975) consideraba que se han podido observar diferentes parámetros que sufren importantes variaciones que pueden ser consideradas como precursoras de terremotos. Dentro de estos parámetros para la predicción de terremotos se encontraba del parámetro b. Ogata and Katsura (1993) describen que Utsu, en 1971, revisó más de 250 artículos que para ese tiempo incluían

descripciones de los valores de *b* y relacionaban cantidades para terremotos ocurridos en algunas regiones del mundo. Utsu reportó que *b* comúnmente toma un valor cercano a la unidad y varía aproximadamente en un intervalo entre 0,3 y 2,0. Otros, como Suyehiro (1966) y Smith (1981), plantean que no existe un acuerdo sobre si *b* aumenta o disminuye antes de un terremoto fuerte, pero que sí presenta comportamientos particulares para cada región y que actúa como un premonitor de terremotos.

En zonas tradicionalmente sismoactivas, como la parte suroriental del archipiélago cubano, los estudios del proceso y el régimen sísmico para la estimación de los parámetros de la frecuencia de ocurrencia de los terremotos, es decir, la función Gutenberg y Richter $N(M)$, conocida también como relación magnitud–frecuencia, contienen como principal incertidumbre la fijación de intervalos espaciales (latitud, longitud y profundidad), temporales (rangos de tiempo para el análisis) y de magnitud. En la relación magnitud–frecuencia:

$$\lg N(M) = a - b M$$

de donde:

la pendiente (*b*) representa la frecuencia de ocurrencia de terremotos y es una muestra de la relación entre los terremotos pequeños y grandes. La actividad sísmica está representada por (*a*). La magnitud del terremoto máximo posible (M_{max}) se define en la intersección del gráfico de frecuencia de terremotos con el eje de las abscisas.

El régimen sísmico tiene como principal característica la frecuencia media de ocurrencia en un periodo largo, quedando establecida por la ley y el gráfico que muestran la frecuencia con que se repiten los terremotos de determinada magnitud en una región dada. Estos, a su vez, están representados por una función estadística de distribución de frecuencia de ocurrencia de los terremotos, por su magnitud *M*.

Es claro, que esta ecuación representa la relación entre la frecuencia de ocurrencia de terremotos y la magnitud, y es un importante factor para el estudio de la sismicidad.

Algunas diferencias en el valor del parámetro *b* han sido observadas entre diferentes regiones sísmicas, (como también han sido muchas las discusiones del significado de estas diferencias).

Igualmente, analizando la actividad sísmica en la misma región se pueden observar cambios en el tiempo, incluyendo la actividad sísmica ordinaria y las réplicas.

ESTACIONES SISMOLÓGICAS DEL SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL CUBANO

El Servicio Sismológico Nacional Cubano (SSNC), desde su creación en 1964, ha pasado por diferentes etapas, tanto por el número de estaciones, la tecnología de captación y registro, así como por la cobertura producto del número de estaciones, las cuales se presentan en las tablas 1 y 2 y en la figura 1.

Tabla 1. Localización y nomenclatura de las estaciones sismológicas principales de primer orden (Banda ancha).

Estación	Lat. N	Lon. W	H	Año	Nombre Provincia
SOR	22.78	-83.00	206.0	1964	Soroa Pinar del Río
RCC	19.99	-75.69	103.0	1965	Río Carpintero Santiago de Cuba
MASC	20.19	-74.24	419.0	1979	Maisí Guantánamo
LMGC	20.08	-77.01	165.0	1979	Las Mercedes Granma
CCCC	21.20	-77.40	90.0	1982	Cascorro Camaguey
MGV	22.11	-79.98	350.0	1998	Manicaragua Villa Clara
MOAC	20.66	-74.96	50.0	1999	Moa Holguín

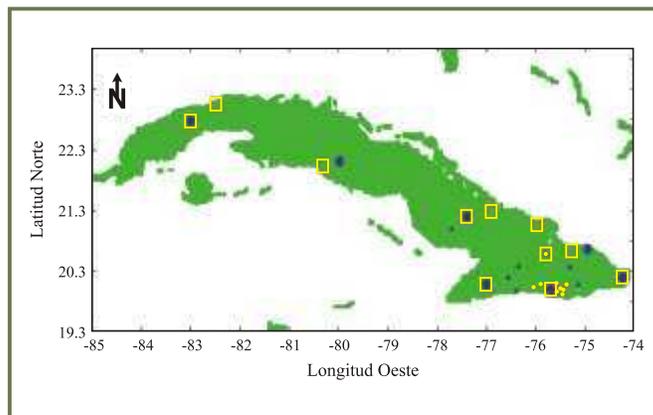


Figura 1. Estaciones del Servicio Sismológico Nacional Cubano (SSNC) durante todas sus etapas.

En cuadrados amarillos se presentan las estaciones asistidas antes de 1998; en círculos azules, las estaciones asistidas digitales después de 1998; en puntos amarillos, las estaciones telemétricas analógicas antes de 1998, y en triángulos azules, las estaciones telemétricas digitales después de 1998.

Tabla 2. Localización y nomenclatura de las estaciones sísmológicas de segundo orden (Corto periodo).

Estación	Lat. N	Lon. W	H	Año	Nombre Provincia
TRU	20.01	- 75.50		1989	Trucucú Santiago de Cuba
CEN	22.03	- 80.31	20.0	1995	CEN Juraguá Cienfuegos
GTMO	20.08	- 75.14	54.9	1998	Guantánamo Guantánamo
SABC	20.36	- 75.31	400.0	1998	Sabaneta Guantánamo
CISC	20.00	- 75.77	90.0	1998	CIES Santiago de Cuba
YARC	20.37	- 76.36	200.0	1998	Yarey Granma
BEL	21.00	- 77.71	109.0	2000	Belén Camaguey
PLAC	20.19	- 76.56	900.0	2001	Punta de Lanza Granma
CHIC	19.97	- 76.40	15.0	2002	Chivirico Santiago de Cuba

La operación de estas estaciones se realizó en las siguientes etapas:

- Trabajo independiente de dos estaciones (1964-1979).
- Red de cinco estaciones asistidas corto periodo (1979-1986).
- Red de once estaciones asistidas corto periodo (10 en la región oriental y una en la occidental) y otras seis telemétricas analógicas en Santiago de Cuba (1986-1990).
- Red digital de siete estaciones asistidas de banda ancha, cuatro acelerógrafos, siete estaciones telemétricas y un sistema telemétrico móvil con cobertura de todo el país (1998-2004).

Los trabajos realizados por Chuy (1980), Álvarez (1983) y Álvarez y Chuy (1992) tuvieron como punto de partida los requerimientos necesarios y cubrieron las áreas que se presentan en la figura 2, así como los parámetros resultantes en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los trabajos anteriores realizados por Chuy (1980), Álvarez (1983) y Álvarez y Chuy (1992).

Autores	Zona	Latitud N	Longitud W	a	b
Chuy, 1980	4	19.50 a 20.00	-75.66 a -76.08	0.09	-0.42
	5	19.50 a 20.00	-75.17 a -75.67	0.24	-0.44
Álvarez, 1983	1	19.50 a 20.50	-75.20 a -76.20	1.48	-0.53
Álvarez y Chuy, 1992	Oriente 1	19.30 a 20.00	-75.20 a -76.80	2.40	-0.65
	Oriente 2	19.30 a 20.00	-74.00 a -75.19	1.62	-0.58
	Oriente 3	19.30 a 20.00	-76.81 a -78.00	0.60	-0.58
Zapata, 2004	Norte	20.01 a 22.00	-74.00 a -78.00		
	Sur	19.30 a 20.00	-74.00 a -78.00		

Los resultados de Zapata (2004) se presentan en las tablas 4 y 5.

Es importante plantear que la información utilizada en los estudios fue la siguiente:

- Chuy (1980) utilizó sólo los datos de la estación RCC (8 años).
- Álvarez (1983) utilizó los datos de RCC e internacionales (13,5 años).
- Álvarez y Chuy (1992) utilizaron los datos de las 10 estaciones analógicas e internacionales (25 años).
- Zapata (2004) utilizó los datos de las estaciones analógicas (1979-1997) y digitales (1998-2003), se tomó un intervalo de magnitudes de 0.5 y como magnitud representativa 2.0 Richter.

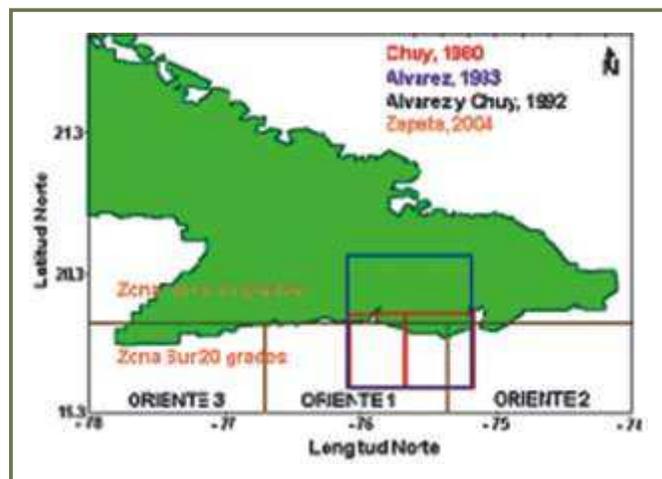


Figura 2. Localización espacial del área de los estudios presentados por Chuy (1980), Álvarez (1983), Álvarez y Chuy (1992) y Zapata (2004).

PARÁMETROS TEMPORALES DE LA RELACIÓN MAGNITUD-FRECUENCIA EN CUBA ORIENTAL

La selección de las zonas presentadas en este trabajo se justifica debido a la necesidad de discernir los parámetros y las diferencias existentes entre la sismicidad producto de las placas de Norteamérica y el Caribe (conocida como extraplaca), y la generada dentro del archipiélago (conocida como intraplaca); es por ello que se utiliza la Latitud 20.00 grados Norte como límite para el estudio.

Fue necesario ampliar el intervalo de tiempo para el estudio, con el objetivo de establecer las comparaciones necesarias para el análisis espacial.

Las zonas geográficas en uso por el SSNC (Zapata et ál., 2002a) serán utilizadas en estudios posteriores, teniendo en cuenta la evaluación de las crisis sísmicas (Zapata et ál., 2002b).

3. RESULTADOS

En las figuras 3 y 4 y en la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos. Con posterioridad, se pretende realizar el estudio específico de las diferentes zonas sismoactivas cubanas (Chuy et ál., 1997).

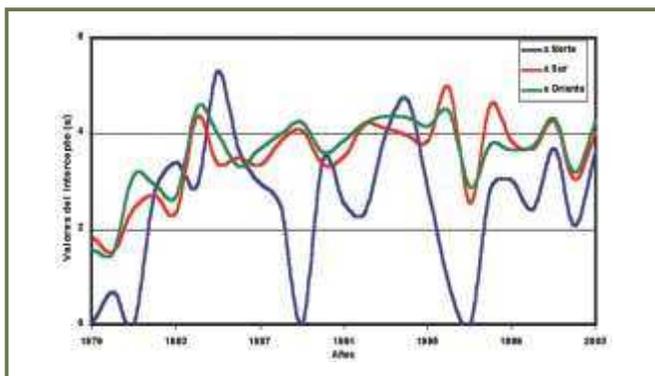


Figura 3. Comportamiento temporal del intercepto (a) de la relación magnitud frecuencia.

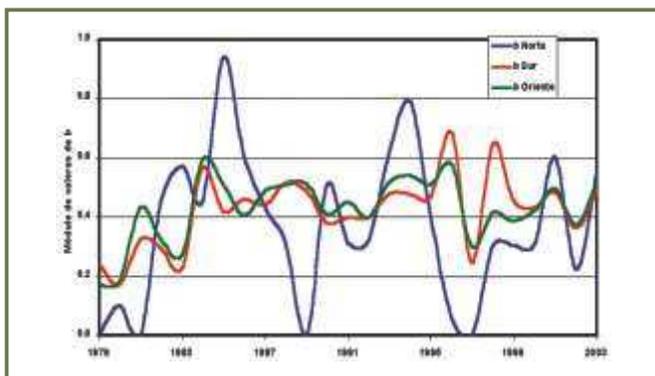


Figura 4. Comportamiento temporal de la pendiente (b) de la relación magnitud frecuencia.

En las figuras 3 y 4 mostramos los parámetros y zonas en estudio, y la influencia de su aporte en la parametrización de la sismicidad de la región oriental de Cuba. Nótese que el comportamiento de los dos parámetros para la zona oriental en su conjunto está controlado por la zona Sur.

Tabla 4. Comportamiento espacial temporal del régimen sísmico de las regiones estudiadas.

Año	SUR 20 grados			NORTE 20 grados				
	Cant.	A	b	R	Cant.	A	b	R
1979	19	1.84	-0.24	0.96				
1980	15	1.53	-0.17	1.00	5	0.70	-0.10	1.00
1981	52	2.43	-0.33	0.91				
1982	74	2.70	-0.29	0.99	25	2.79	-0.45	0.95
1983	78	2.36	-0.23	0.92	25	3.41	-0.57	1.00
1984	269	4.36	-0.57	0.99	53	2.92	-0.45	0.93
1985	241	3.38	-0.42	0.94	68	5.31	-0.94	1.00
1986	123	3.51	-0.46	0.95	85	3.65	0.61	0.98
1987	142	3.33	-0.44	0.96	78	2.97	-0.43	0.97
1988	172	3.84	-0.52	0.91	53	2.49	-0.31	0.92
1989	210	4.06	-0.49	0.97				
1990	174	3.36	-0.38	0.94	56	3.45	-0.51	0.97
1991	241	3.53	-0.40	0.97	70	2.54	-0.31	0.94
1992	802	4.19	-0.40	0.97	53	2.35	-0.32	0.92
1993	255	4.10	-0.48	0.96	67	4.00	-0.61	0.99
1994	189	3.96	-0.48	1.00	69	4.73	-0.79	1.00
1995	213	3.83	-0.47	0.98	79	2.89	-0.41	0.95
1996	113	4.96	-0.69	1.00	26	0.85	-0.06	0.89
1997	102	2.54	-0.25	0.98				
1998	850	4.62	-0.65	0.95	228	2.84	-0.30	0.97
1999	1355	3.85	-0.46	0.96	1526	3.02	-0.30	0.99
2000	1321	3.69	-0.43	0.96	320	2.41	-0.31	0.91
2001	2076	4.25	-0.49	0.97	222	3.69	-0.60	1.00
2002	1081	3.04	-0.36	0.96	241	2.08	-0.22	0.95
2003	937	4.02	-0.49	0.97	469	3.63	-0.54	0.94
2004	113	4.96	-0.69	1.00	26	0.85	-0.06	0.89
2005	102	2.54	-0.25	0.98				
2006	850	4.62	-0.65	0.95	228	2.84	-0.30	0.97
2007	1355	3.85	-0.46	0.96	1526	3.02	-0.30	0.99

En la tabla 5 se presentan los parámetros por año para toda la región oriental.

Tabla 5. Comportamiento espacio temporal del régimen sísmico para la región de Cubaoriental.

Año	Cant	a	b	R
1979	24	1.58	-0.17	0.81
1980	18	1.51	-0.18	0.88
1981	60	3.12	-0.43	0.98
1982	99	2.93	-0.32	0.99
1983	99	2.69	-0.27	0.96
1984	321	4.55	-0.59	0.99
1985	311	4.00	-0.51	0.94
1986	208	3.31	-0.40	0.95
1987	218	3.69	-0.49	0.96
1988	230	3.99	-0.51	0.99
1989	255	4.24	-0.51	0.98
1990	230	3.60	-0.41	0.95
1991	311	3.86	-0.45	0.99
1992	855	4.21	-0.40	0.98
1993	322	4.36	-0.51	0.97
1994	258	4.34	-0.54	1.00
1995	292	4.14	-0.51	0.98
1996	139	4.48	-0.58	1.00
1997	120	2.88	-0.30	0.99
1998	1078	3.78	-0.41	0.96
1999	2881	3.66	-0.39	0.95
2000	1641	3.73	-0.42	0.98
2001	2298	4.32	-0.49	0.97
2002	1322	3.18	-0.37	0.96
2003	1412	4.26	-0.52	0.98
2004	1641	3.73	-0.42	0.98
2005	2298	4.32	-0.49	0.97
2006	1322	3.18	-0.37	0.96
2007	1412	4.26	-0.52	0.98

En las tablas 4 y 5 marca en negritas los valores coincidentes con los estudios realizados anteriormente (nótese que el coeficiente de correlación (R) obtenido en las determinaciones es bastante elevado).

Los resultados obtenidos hasta el momento no permiten utilizar estos resultados de a y b como elementos predictivos. Esto puede ser producto de la mayor contribución de los parámetros del régimen sísmico en la sismicidad de la región.

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA RELACIÓN MAGNITUD-FRECUENCIA EN CUBA ORIENTAL PARA EL PERIODO ESTUDIADO

En el análisis del espacio-temporal de estos tres periodos (ver figuras 5, 6, 7 y 8) notamos que existe un corrimiento de la actividad sísmica (parámetro a), desde la zona de Pílon y Santiago de Cuba (1979-1989) hacia Santiago de Cuba y Cabo Cruz (1990-1997), y luego hacia Chivirico, Cabo Cruz y Norte de Holguín (1998-2007).

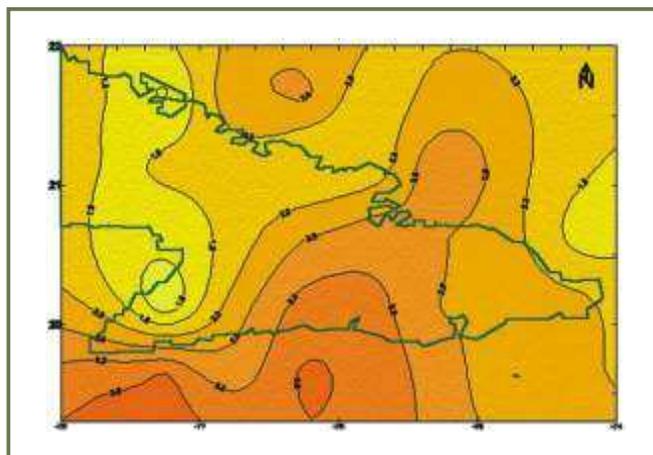


Figura 5. Representación espacial del parámetro a de la relación magnitud-frecuencia durante el periodo 1979-1989.

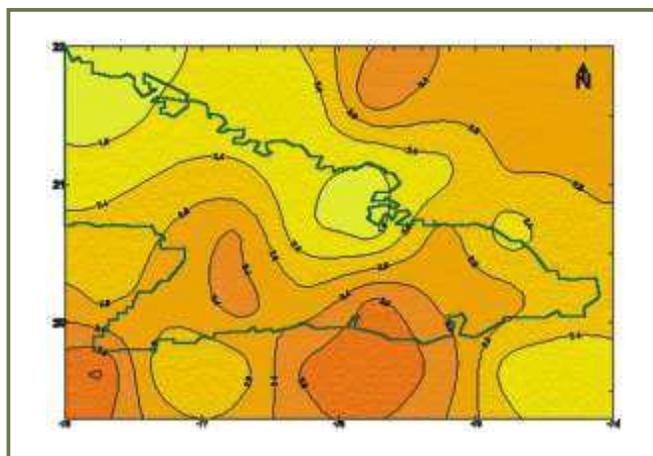


Figura 6. Representación espacial del parámetro a de la relación magnitud-frecuencia durante el periodo 1990-1997.

Las dos coinciden con los terremotos de Pílon, Cabo Cruz y Santiago de Cuba de los últimos tiempos, pero en la figura 7 no se ve reflejada la incidencia de los terremotos de Moa durante 1998 y 1999.

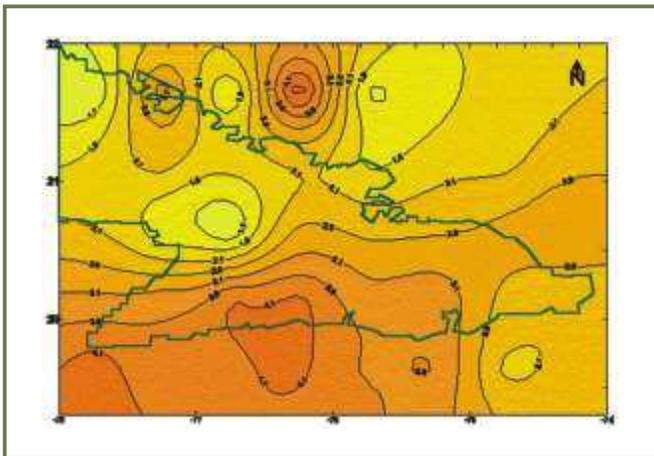


Figura 7. Representación espacial de los parámetros de la relación magnitud-frecuencia para el período 1998-2003, parámetro a.

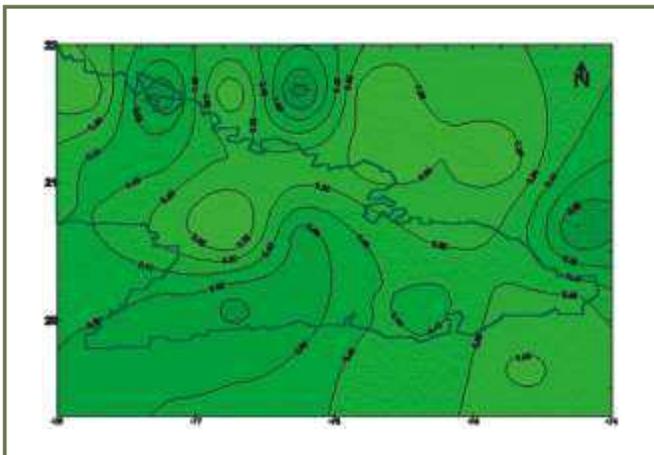


Figura 8. Representación espacial de los parámetros de la relación magnitud-frecuencia para el período 1998-2003, parámetro b.

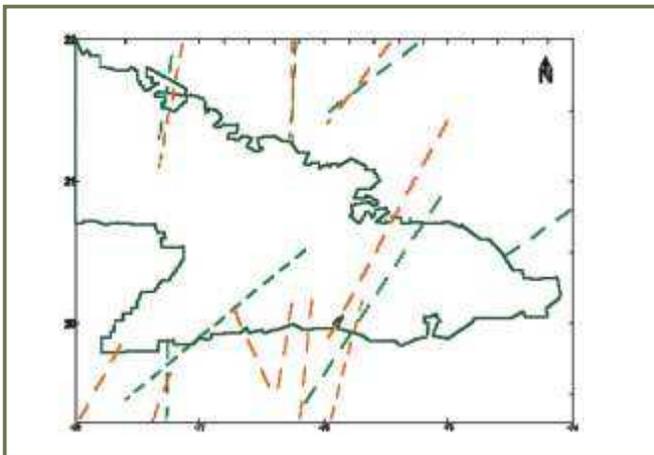


Figura 9. Alineaciones principales a partir del análisis espacial de los parámetros a y b de la relación magnitud-frecuencia.

De la evaluación de los resultados del análisis espacial de ambos parámetros, fue posible trazar las alineaciones principales de los máximos (ver figura 9). Estas, en gran medida, coinciden con las estructuras tectónicas de la región y reflejan con claridad las principales estructuras sismoactivas. Aunque la estructura principal Bartlett Cayman no se traza, por no utilizarse como límite inferior del área de estudio 19.3 de Latitud Norte.

4. CONCLUSIONES

Con un número elevado de estaciones cubanas se logró el estudio de los parámetros del régimen sísmico.

Con el análisis de estos parámetros se pudo definir el comportamiento detallado de las zonas sismoactivas de la región oriental.

Se reflejan variaciones espaciales que se ajustan a periodos de actividad de diferentes estructuras sismoactivas.

Se tienen las herramientas para la ejecución de estos estudios en otros sectores.

5. REFERENCIAS

- Álvarez, J. L. (1983). Estimación de la peligrosidad sísmica para la ciudad de Santiago de Cuba. *Investigaciones Sismológicas en Cuba*, N.º 4, pp. 87-123.
- Álvarez, J. L. y Chuy, T. J. (1992). Peligrosidad sísmica de Cuba. Una aproximación a la regionalización sísmica del territorio nacional. *Revista Geofísica*, N.º 35, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, pp. 125-150.
- Chuy, T. J. (1980). Régimen sísmico de la región suroriental de Cuba. *Revista Investigaciones Sismológicas en Cuba*, N.º 1. IGA, ACC. La Habana. pp 58-68.
- Chuy, T.J.; Orbera, L.; Hernández, J. R.; Magaz, A.; Sánchez, F.; Pérez, C.; González, E.; Fundora, M.; Rubio, M.; Álvarez, J. L.; Cotilla, M.; Arango, D.; Iturralde-Vinent, M.; Rodríguez, J.; Marquetti, M. C. y Ramirez, R. (1997). Dictamen conclusivo. Comisión ad-hoc para la determinación de las zonas sismogénicas de la región Oriental de Cuba y zonas aledañas. En: *Revista Electrónica Ciencia en su PC*, Santiago de Cuba. ISSN 1027-2887, Vol. 2, N.º 2.
- Ogata Y. and Katsura K. (1993). Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude-frequency distribution inferred from earthquakes catalogues, *Geophys. J. Int.*, 113: 727-738.
- Rikitake T. (1975). Earthquake precursors, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 65: 1133-1162.
- Salcedo, E. J.; Rivera, C. I. y Gómez, A. A. (1997). Análisis de la frecuencia de terremotos fuertes en la región central de Colombia mediante parámetros de régimen sísmico. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. XXI, N.º 79, pp. 57-72.
- Smith W. D. (1981). The b-value as an earthquake precursor, *Nature*, 29: 136-139.

- Suyehiro S. (1966). Difference between aftershocks and foreshocks in the relationship of magnitude to frequency of occurrence for the great Chilean earthquake of 1960, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 56: 185-200.
- Zapata, J. A.; Chuy, T. J.; Despaigne, G.; Matos, R. y Expósito, O. L. (2002a). Servicio Sismológico Nacional Cubano como Sistema de Alerta Temprana: Año 2001. En: *Revista Servicio Sismológico Nacional. Año 2001*. Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0348-5. pp 7-66.
- Zapata, J. A.; Chuy, T. J.; García, J. y Arango E. D. (2002b). Agrupamientos de terremotos en el sector Santiago de Cuba–Chivirico: repetibilidad, características y su implicación en la Sismicidad del área. En: *Memorias del II Congreso Cubano de Geofísica y IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica del 2002*. En: *Revista Nuevas Investigaciones Sismológicas en Cuba*. Editorial Academia. La Habana. ISBN 959-02-0347-7. pp. 7-15.
- Zapata, J. A., Rosabal, S. Y., García, J. y Boytel (2004): Sismicidad, Geodinámica y Medio Ambiente en la ciudad de Santiago de Cuba y sus alrededores. *Memorias de la X Convención Internacional y Feria "Informática 2004"*. La Habana. ISBN 959-237-1172. Febrero/2004. 7 pp. En: *Memorias de la I Conferencia Internacional de Peligrosidad, Riesgo Geológico e Ingeniería Sísmica "SISMOS 2004"*. Editorial "Oriente". ISBN 959-11-0451-0. 9 pp.