

VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS DE RECURRENCIA SÍSMICA EN EL OCCIDENTE DE VENEZUELA

América Bendito

Pedro Rivero

William Lobo Quintero

Departamento de Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

RESUMEN

En este trabajo se revisan las variaciones espacio-temporales de los parámetros que representan la sismicidad regional, en términos de la tasa media de ocurrencia, a y b de la distribución frecuencia-magnitud de Gutenberg-Richter y de la magnitud mínima de reporte homogéneo, M_c . El área analizada comprende la región del Occidente venezolano delimitada por las coordenadas: Longitud $-73W$ y $-68W$, Latitud $7N$ y $12N$, durante el período de 1960-2000. Los resultados indican una alta heterogeneidad en la distribución espacial de M_c , cambiando en un grado de magnitud en distancias menores de 60 km. Se detectó una considerable disminución de M_c en la región, ocasionada por la ausencia de sismos menores en el estado Mérida, durante los últimos 10 años. La variabilidad espacial de a y de b muestra valores más altos en el Nido de Bucaramanga y en un sector de la falla de Piedemonte Occidental. La variación con la profundidad de b en el Nido de Bucaramanga y a lo largo de la Falla de Boconó sugiere la definición de varias fuentes sísmicas, lo que refleja el hecho de que distintas áreas e inclusive sectores de fallas en la región, tienen diferentes niveles de sismicidad y distinta calidad en el reporte de sus datos. Este análisis proporciona una herramienta adicional que puede contribuir al estudio de la amenaza sísmica en la región.

Palabras Clave: Sismicidad, Amenaza sísmica, Red sismológica, Sismotectónica, Recurrencia sísmica, Falla de Boconó.

SPACE-TEMPORARY VARIATION OF THE PARAMETERS OF SEISMIC RECURRENCE IN THE WESTERN REGION OF VENEZUELA

ABSTRACT

In this paper, the space-temporary variations of a and b in the frequency-magnitude distribution of Gutenberg-Richter, and the minimum magnitude of complete reporting, M_c , are reviewed. The analyzed area includes the western region of Venezuela delimited by the coordinates: Longitude $-73W$ and $-68W$, Latitude $7N$ and $12N$, during the period of 1960-2000. The results indicate a high heterogeneity in the space distribution of M_c , changing an order of magnitude over distance less than 60 km. A considerable decrease of M_c caused by the absence of smaller earthquakes in the Mérida State was detected, during last 10 years. The space variability of a and b shows higher values in the Nido of Bucaramanga and in one sector of the Western Piedemonte fault. The variation with the depth of b in the Nido of Bucaramanga and throughout the Boconó fault, suggests the definition of several seismic sources. This reflects the fact that different areas and inclusive sectors from faults in the region, have different seismic potentials and different quality in the report from their data. It is expected that this work may to serve to the study of seismic hazard in the western region of Venezuela.

Key Words: Seismicity, seismic hazard, seismological network, seismo-tectonic, seismic recurrence, Boconó fault.

1. INTRODUCCIÓN

La distribución frecuencia-magnitud de Gutenberg-Richter (1944), describe la relación entre la frecuencia de ocurrencia y la magnitud de los sismos:

$$\text{Log } N = a - b M \quad (1)$$

Recibido: 12/07/01

Revisado: 25/10/01

Aceptado: 13/12/01

donde N es el número de eventos con magnitud igual o mayor que M , y a y b son parámetros que describen la sismicidad regional. La figura 1 representa gráficamente la relación de recurrencia, donde M_c es la magnitud de completitud o magnitud mínima de reporte homogéneo durante un período de tiempo, a partir de la cual los datos pueden representarse por una línea recta cuya pendiente es b .

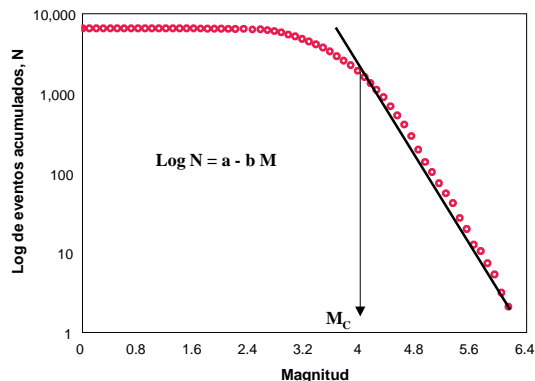


Figura 1. Relación de recurrencia típica de acuerdo a la distribución Gutenberg-Richter

El valor de a es la tasa de sismicidad y es el logaritmo del número promedio de eventos con una magnitud hipotética de 0 o más grande que ocurren durante un año. Debido a que no existe tal magnitud cero y muy raramente la base de datos llega a ser considerada completa para estas magnitudes tan bajas, es más conveniente considerar que el valor de a representa una tasa de actividad cuya magnitud describe la ocurrencia promedio de eventos (Reiter, 1990). Como el valor de a varía fuertemente de una región a otra, la determinación de la variación espacial de a se considera como un importante indicador de la amenaza sísmica.

Por otra parte, el valor de b o pendiente de la línea de regresión, indica el número relativo de eventos grandes y pequeños. Un valor bajo de b (pendiente con tendencia horizontal) puede implicar una mayor proporción de eventos grandes que un valor alto de b (pendiente con tendencia vertical). Como el valor de b cambia de región a región, la variación espacial de b surge como un importante parámetro para evaluar la potencialidad sísmica de áreas sismogénicas.

La modificación de a o de b tiene un fuerte impacto en el estimado del número de eventos de un tamaño determinado, que ocurren durante un año afectando el estimado de recurrencia de los eventos. La sensibilidad de los intervalos de recurrencia de grandes terremotos respecto a pequeñas variaciones en el cambio del valor de b , hace que su determinación sea un punto importante.

En un análisis probabilístico de amenaza sísmica, las relaciones de recurrencia proporcionan una herramienta que incorpora la descripción completa de la historia de sismicidad y es la completitud, la cual se refiere a la extensión de tiempo donde todos los eventos sísmicos, dentro de un rango de magnitudes, son reportados y aparecen en un catálogo, el problema más importante asociado a la base de datos usada para su definición. Por lo tanto, la capacidad de detección de las redes sismológicas se convierte en un factor determinante en la información instrumental de una región.

2. VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA MAGNITUD MÍNIMA DE REPORTE HOMOGÉNEO, M_c

En estudios de sismicidad y amenaza sísmica donde las relaciones frecuencia-magnitud y las consideraciones estadísticas tienen un rol de primera línea, es vital un sólido conocimiento de M_c a fin de delinear áreas con reporte uniforme y para asegurar que los resultados no estén influenciados por la selección de una magnitud límite que persiga garantizar (con la selección de un alto M_c), completitud en los datos de sismicidad. Generalmente, las diferencias de M_c en función del espacio son ignoradas (Wiemer y Wyss, 1999).

La estimación de M_c se basa en la suposición de una distribución de magnitud que sigue la ley de Gutenberg-Richter. Para la distribución frecuencia-magnitud (DFM) observada se estima el valor de a y b como función de la magnitud mínima, basado en los eventos con $M \geq M_i$. Luego se calcula una distribución sintética de magnitudes con el mismo valor de a , b y M_i . El mejor ajuste se determina calculando la diferencia absoluta, o residual R , del número de eventos en cada banda de magnitud entre la distribución observada y la sintética, mediante la expresión:

$$R(a, b, M_i) = 100 - \left(\frac{\sum_i^{M_{\text{máx}}} |B_i - S_i|}{\sum_i B_i} 100 \right) \quad (2)$$

donde B_i es el número de eventos observados y S_i es el número de eventos predichos en cada banda de magnitud y se divide por el número total de eventos observados para normalizar la distribución. Para un grupo de datos incompletos la distribución sintética no se adaptará adecuadamente a la DFM observada, por lo que el valor residual será alto. El valor de M_c se toma como la magnitud a la cual el residuo se hace tan pequeño que el 90% de los datos puede ser modelado por la ley de distribución sintética. Sin embargo, no todas las DFM alcanzan una marca de 10% y en algunos casos, será demasiado curvada o bimodal para ser ajustada satisfactoriamente por una distribución sintética lineal. Esto puede ser debido a una fuerte heterogeneidad espacial o temporal de alguna muestra de eventos o a un proceso físico dentro de la corteza de la tierra. Estas áreas reservan especial atención en análisis de sismicidad y amenaza sísmica debido a que las extrapolaciones que tienen lugar en los estudios probabilísticos en el dominio de las grandes magnitudes se hacen menos confiables (Wiemer y Wyss, 1999).

Para representar la variación espacial de M_c en la región, se utiliza un catálogo sísmico entre 1960 y 2000 (CAT2000), compilado de los registros de la Red Sismológica de los Andes Venezolanos (RedSAV), de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y de la National Earthquake Information Center (NEIC). La base de datos se depura para eliminar eventos dependientes mediante el procedimiento descrito en Reasenberg (1985), obteniéndose 5858 eventos independientes. La distribución espacial de los epicentros de los eventos contenidos en el catálogo para el período considerado, así como la curva de sismos acumulados versus tiempo se muestran en la figura 2.

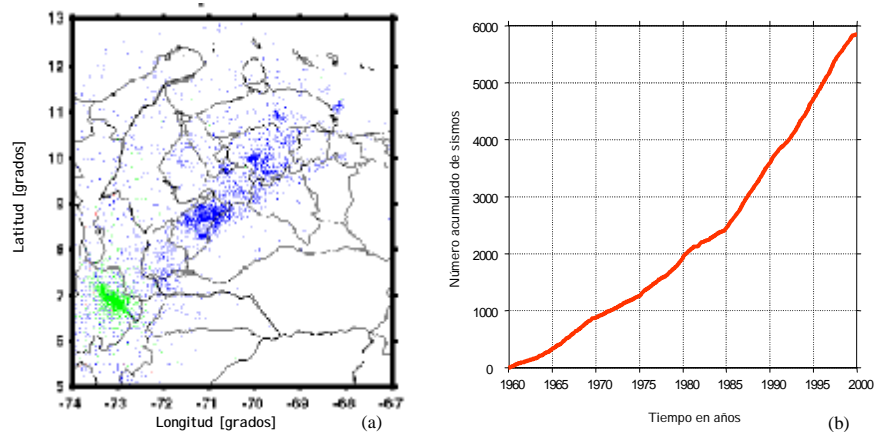


Figura 2. (a) Distribución espacial de la sismicidad entre 1960-2000 en el catálogo depurado CAT2000, (b) Distribución acumulada de sismos en función del tiempo para el período considerado

El programa ZMAP (Wiemer, 1996) se emplea como herramienta para investigar y visualizar las variaciones de M_c como función del espacio y del tiempo. Se construye una malla rectangular con nodos espaciados a cada 0.02 grados, se determina la DFM en cada nodo con los 100 eventos más cercanos, valor mínimo necesario dada la densidad de registros en la región, y se estima M_c de acuerdo al procedimiento descrito con anterioridad. Los resultados son presentados en la figura 3.

La heterogeneidad de los valores de M_c es considerable en algunas áreas y cambia en un grado de magnitud sobre distancias menores de 60 km. La magnitud de reporte varía desde un valor de 2.5 en el interior del Estado Mérida, núcleo en la cobertura de la red sismográfica de la región, hasta un valor superior a 4 en el Nido de Bucaramanga, límite de cobertura de la red venezolana. Una extensa área se ubica dentro de 3.5 a 4.0, siendo el promedio general para toda la región de 3.7, considerando los últimos cuarenta años de registro. Estos valores relativamente altos de M_c y la alta dispersión presente en la región, representan un aspecto importante en la evaluación de fuentes sísmicas para un estudio de amenaza, ya que la selección de áreas con diferencias apreciables en la M_c , conlleva una desviación en la pendiente de la DFM y por ende una modificación en las tasas y tiempo de recurrencia.

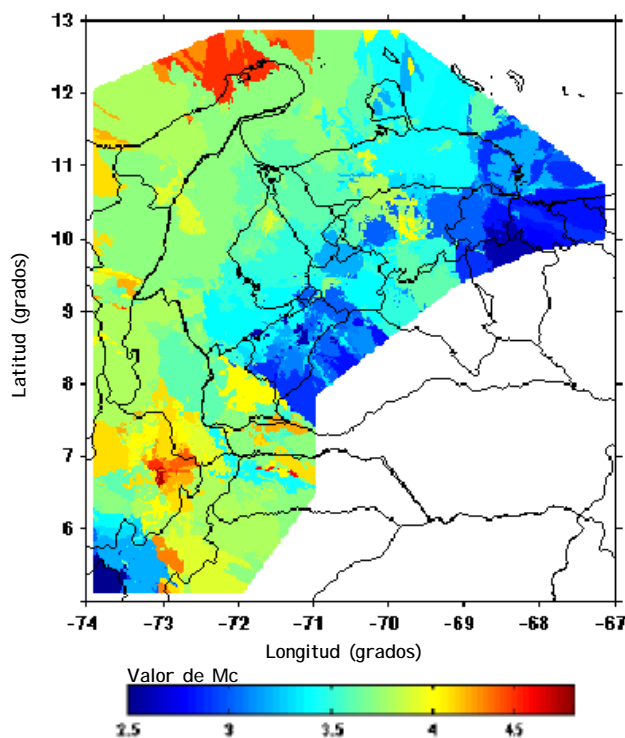


Figura 3. Mapa de la M_c de la región en estudio, estimada con los 100 eventos más cercanos a los nodos de una malla espaciada a cada 0.02 grados

El nivel de la magnitud mínima de reporte homogéneo M_c , no puede considerarse satisfactorio, cuando se compara con los valores determinados para la mayor parte de Alaska, 1.8 ± 0.4 , y con los de la mayor parte de California, 1.2 ± 0.4 ; para la sismicidad registrada en los años 90 (Wiemer y Wyss, 1999). Estos resultados muestran la conveniencia de monitorear con mayor detalle la sismicidad en la región, con la instalación de más y mejores aparatos sismográficos en sitios estratégicos, para disponer de una base de datos más confiable y de alta calidad, en tiempo y espacio, de eventos de bajas magnitudes. Esto puede ser útil para comprender la distribución de esfuerzos en la corteza y para que una vez procesados y analizados, puedan convertirse en una herramienta que ayude a la mitigación del riesgo sísmico en la región.

La figura 4 muestra el radio de resolución necesario para incluir 100 eventos alrededor de cada nodo de la malla, durante el período comprendido entre 1960 y 2000. Este valor es una función del espacio e inversamente proporcional a la densidad local de eventos: áreas con alta densidad de sismos resultan en un cilindro más pequeño que áreas con baja sismicidad. La resolución alcanza 50 km en los Estados Táchira, Mérida, Trujillo, Lara, Yaracuy y en la zona central del Estado Falcón. La mejor resolución se tiene en 20 km en la ciudad de Mérida, Estado Mérida; alrededor de El Tocuyo, Estado Lara y en el Nido de Bucaramanga. En estas zonas se concentra la mayor densidad de eventos en la región. La resolución se incrementa por encima de 100 km en buena parte del Estado Zulia, en el Estado Carabobo, en la Península de Coro, en la serranía de Perijá y hacia el Mar Caribe.

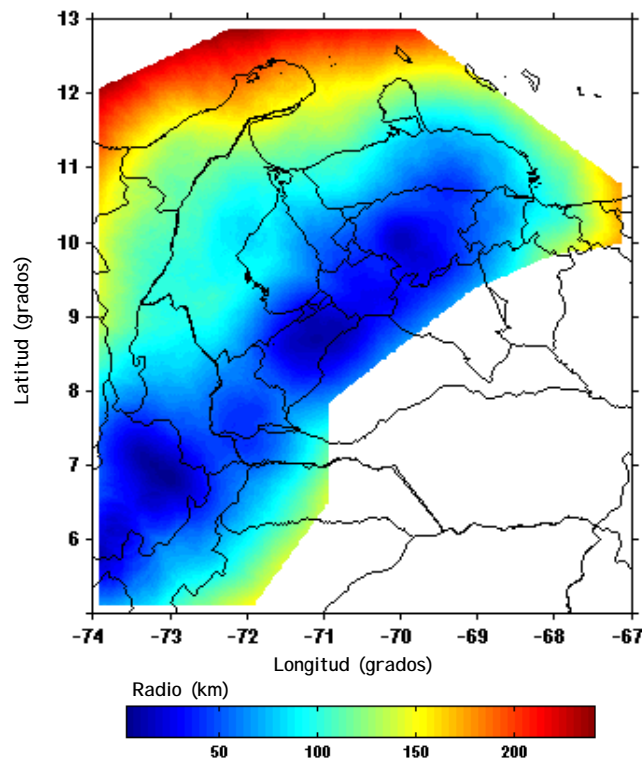


Figura 4. Mapa de resolución para el catálogo depurado CAT2000 entre 1960-2000

En la figura 5 se visualiza el mapa de valores residuales R , donde se evalúa el ajuste de la DFM observada en cada nodo de la malla con una ley de distribución sintética perfecta. El valor de M_c calculado para definir el mapa de la figura 5, se obtiene cuando el 90% de la DFM puede ser modelada por la ley sintética. Las áreas donde los valores de R son inferiores a 90% representan la ubicación de los puntos donde es probable que la estimación de M_c sea inexacta, lo cual es importante por la fiabilidad de las extrapolaciones a las magnitudes más altas que son comunes en los estudios de amenaza sísmica.

Se pueden identificar numerosos sectores donde el mejor ajuste a una distribución Gutenberg-Richter es inferior al 90% de la distribución observada. El menor ajuste ($R < 80\%$) se tiene en las áreas ubicadas en el perímetro exterior de cobertura de la red sismológica del país, pero también en varios sectores dentro de la zona de influencia del sistema de fallas de Boconó, tal como lo muestra la figura 5(b). Este hecho puede ser causado por los cambios de M_c en función del tiempo, por la inclusión de eventos causados por distintos orígenes y también por la distribución espacial heterogénea de M_c (Wiemer y Wyss, 1999).

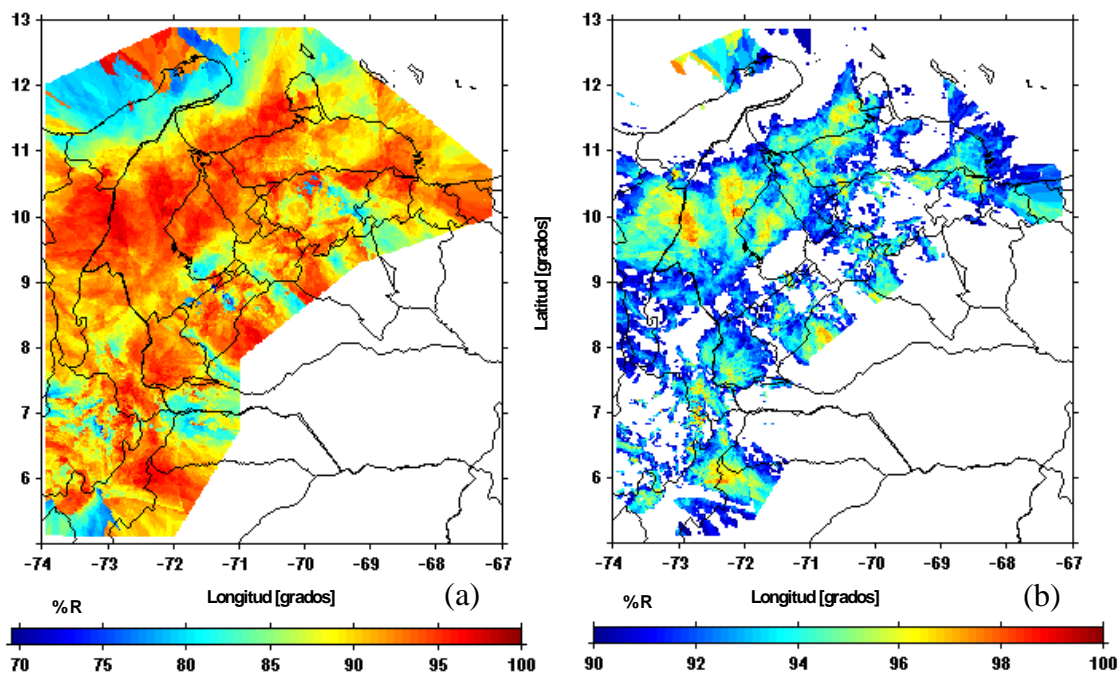


Figura 5. Mapa de valores residuales R, (a) considerando todos los valores de R, (b) considerando los valores de R superiores al 90% satisfactorio

En la región occidental de Venezuela existe un importante incremento de la Mc en los últimos 10 años, a pesar de que generalmente disminuye con el tiempo, debido a la incorporación de nuevos equipos de registros y que los métodos de análisis mejoran. Tal como se presenta en la figura 6, es notoria la paulatina disminución en los valores de Mc a partir del año 1960 y hasta el año de 1988 donde se alcanza una Mc mínima de 3.0. Sin embargo, a partir de 1991 se inicia un incremento que aparece estabilizado en los últimos años alrededor de 3.7.

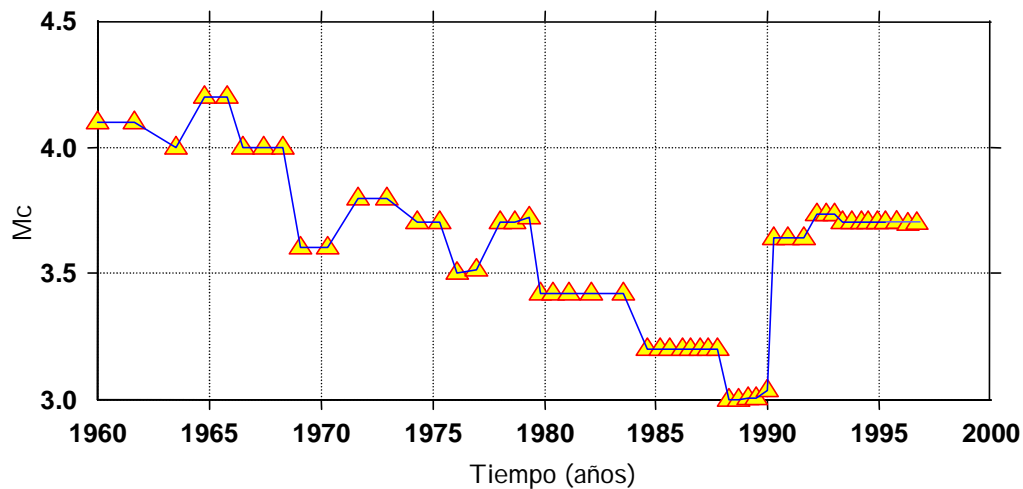


Figura 6. Variación de Mc con el tiempo en el catálogo CAT2000 depurado, entre 1960 y 2000

La comparación de la tasa de sismicidad por año para varias magnitudes entre 1985-1990.9 (líneas segmentadas) y 1991-2000 (líneas continuas), mostrada en la figura 7, permite comprender las razones que pueden estar detrás del aumento de la M_c a partir de 1991. Es evidente, a partir de la figura 7(a), como durante los últimos diez (10) años se ha producido una disminución en el registro de sismos con magnitudes comprendidas entre 2.5-3.5, y se ha incrementado el de sismos entre 3.5-4.5. Cuando se eliminan los sismos provenientes del Nido de Bucaramanga la curva de líneas continuas del período 1985-1990.9, se superpone sobre la del período de 1991-2000 (líneas segmentadas), tal como se muestra en la figura 7(b). Por lo tanto, el incremento se debe a la sismicidad asociada con el registro de sismos provenientes del Nido de Bucaramanga y la disminución debe entonces asociarse con alguna actividad anómala en el territorio venezolano.

Los datos de sismicidad que sirven de base al catálogo CAT2000 para el período 1985-2000 provienen fundamentalmente de la información aportada por la RedSAV, con la cual se incrementó notablemente la cantidad de eventos sísmicos detectados en toda la región. Sin embargo, es la sismicidad asociada al Estado Mérida, la que presenta una marcada disminución, a pesar de que la RedSAV tiene instalados seis (6) de sus once (11) aparatos sismográficos en la zona. Esto queda evidenciado en la curva la figura 8(b) obtenida para el grupo de eventos registrados en el Estado y resaltados en la figura 8(a).

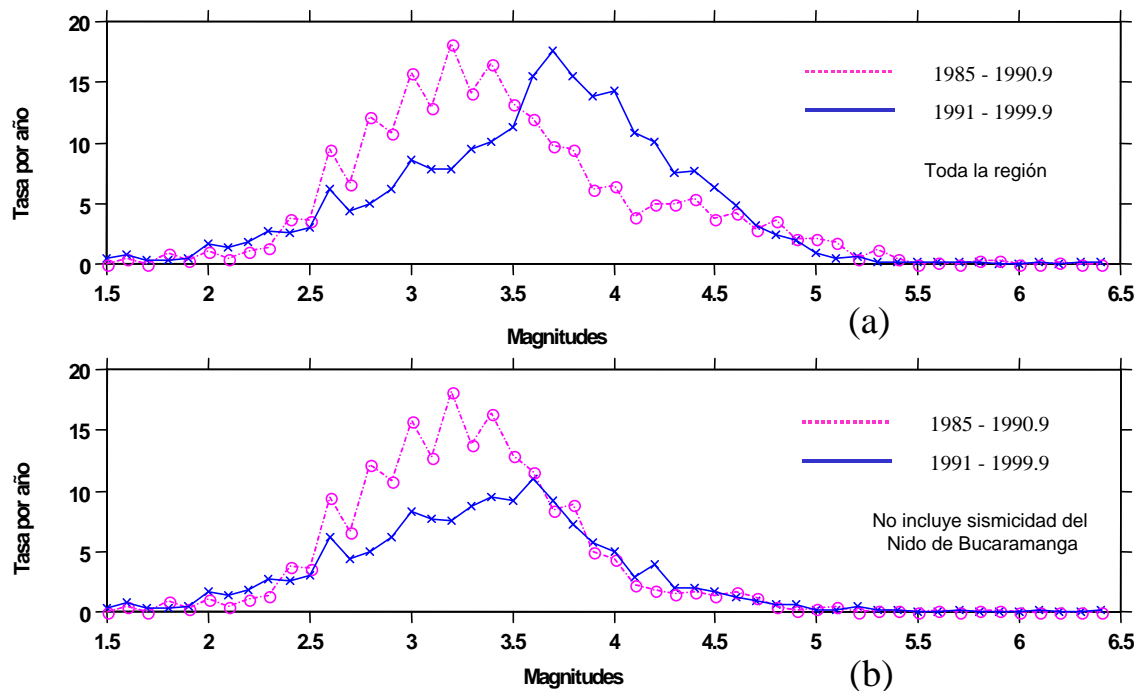


Figura 7. Tasas de sismicidad anual entre 1985-1990.9 y 1991-2000. (a) Para toda la región en estudio, (b) Para toda la región excluyendo los eventos asociados al Nido de Bucaramanga

En la figura 8(b) se observa como desde 1985 hasta 1990 se mantiene un registro constante en el tiempo y es a partir de 1991 aproximadamente cuando la curva comienza a declinar producto de una reducción en la detección (o generación?) de eventos sísmicos en la zona. Una curva semejante de número acumulado de sismos contra el tiempo para toda la región exceptuando al Estado Mérida, muestra una curva con pendiente aproximadamente constante durante el período de 1985-2000, lo cual indica que el volumen de datos que afecta la detección de eventos en la región se ubica dentro de este Estado. Esto se comprueba al revisar las gráficas de la figura 9.

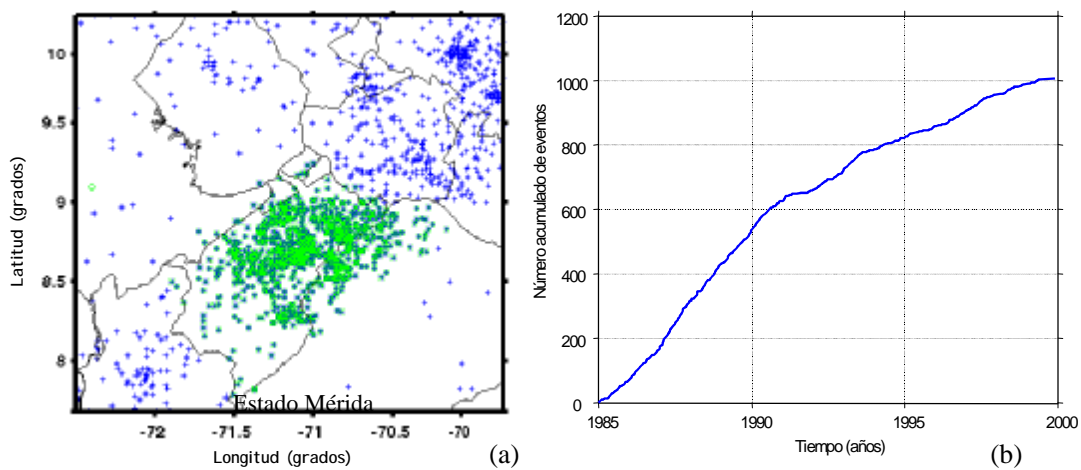


Figura 8. (a) Sismicidad del Estado Mérida entre 1985 y 2000, (b) Gráfica de eventos acumulados versus tiempo para los datos del Estado Mérida entre 1985 y 2000

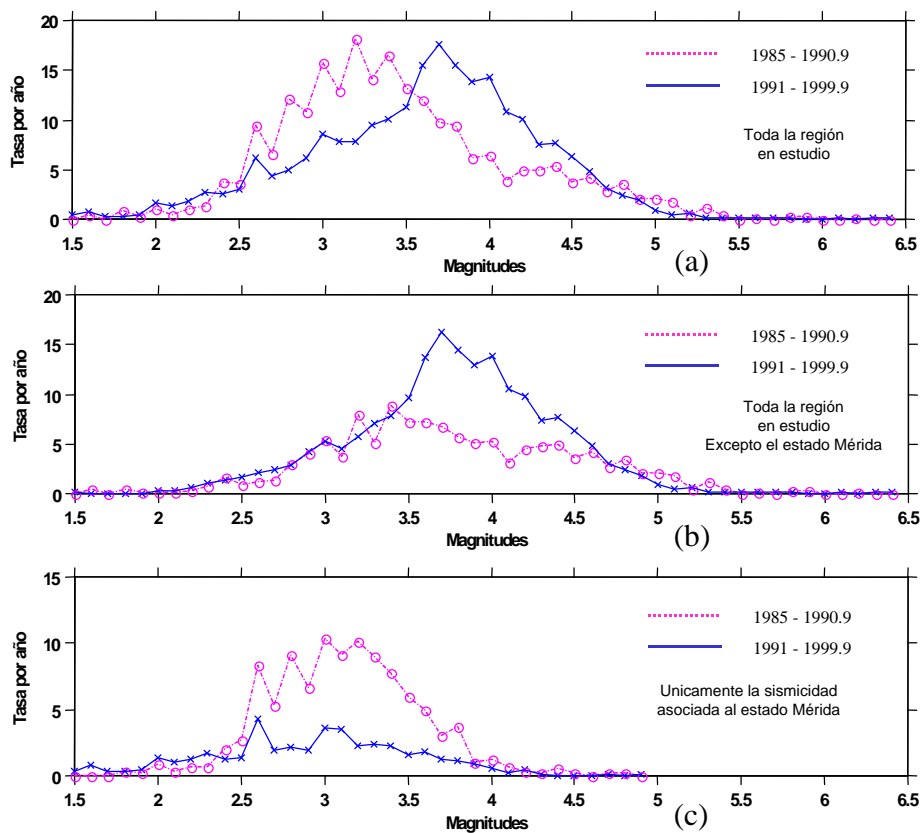


Figura 9. Tasas de sismicidad anual entre 1985-1990.9 y 1991-2000. (a) Para toda la región en estudio, (b) Para toda la región excluyendo los eventos del Estado Mérida y, (c) considerando únicamente la sismicidad del Estado Mérida

La figura 9(c) muestra como durante el período de 1985-1990.9 se registraron en Mérida sismos entre una magnitud de 2.5 y 3.5 que no aparecen registrados para el período de 1991-2000. Si se acepta como válida la Ley de Gutenberg y Richter, que establece una producción de sismos “constante” con el tiempo, entonces estos eventos han debido ser generados y debidamente registrados.

Las razones que pueden explicar la ausencia de estos eventos de baja magnitud en el Estado que es, posiblemente, el mejor monitoreado del país, pueden ser el cierre, la falla o el traslado de estaciones sismográficas, a fallas en los sistemas operativos de registro, a problemas en la medición del evento que impida su inclusión en el catálogo, etc. No puede descartarse que la reducción en la tasa de producción de sismos tenga un origen tectónico natural, relacionado con un proceso de acumulación de energía en la zona, actualmente en progreso.

En cualquier caso, la inclusión de eventos de magnitudes bajas es importante para valorar los patrones de sismicidad de los diferentes sistemas de fallas de la región. La documentación de la variación espacio-temporal de la magnitud de reporte dentro de los catálogos, representa una herramienta para investigar la homogeneidad de los reportes y evaluar la capacidad de detección de las redes sismológicas. Como consecuencia puede derivarse mayor calidad en los reportes dentro de los catálogos y mejores bases para estimar la amenaza sísmica en la región.

3. VARIACIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE b Y DE a

El valor de b de la DFM ha sido tema de varios estudios en la década pasada. Sin embargo, recientemente se ha aplicado la técnica de malla que permite visualizar espacialmente en un mapa el valor de b haciendo uso de catálogos sísmicos. La DFM describe la relación entre la frecuencia de ocurrencia y la magnitud de los eventos sísmicos mediante la conocida relación de Gutenberg-Richter (ecuación 1).

Se analiza la distribución espacio-temporal en dos y tres dimensiones de los valores de a y b , con la finalidad de delinear áreas con potenciales sísmicos similares que puedan servir de base para un estudio de amenaza sísmica; mediante una técnica de mallado similar a la utilizada anteriormente: el valor de b se estima en cada punto nodal de una malla bidimensional espaciada a cada 0.02 grados, usando los 100 eventos más próximos a cada nodo. Estos eventos se seleccionan sobre la base de las distancias epicentrales en el caso de mapas en 2D y sobre la base de las distancias más cortas en la proyección de las distancias hipocentrales sobre un plano vertical, en el caso de las secciones transversales en 3D.

Se utiliza la información contenida en el catálogo CAT2000 en el período comprendido entre enero de 1960 y diciembre de 1999, depurado de eventos dependientes. Por cuanto el catálogo no es completo para este período en todos los rangos de magnitudes, las amplitudes de a y b solo deben tomarse como referencia para evaluar su variabilidad en la región y los patrones de sismicidad en los diferentes sistemas de fallas.

Los resultados se muestran en la figura 10 donde se calculan los valores de b utilizando el método de mínimos cuadrados. Puede verse la dispersión que se tiene en buena parte de la región estudiada. Sobre parte de la traza de la falla de Piedemonte occidental aparece una zona donde se tiene un valor bajo de b (centro en las coordenadas: longitud $-71.38W$, latitud $8.83N$), rodeado de una zona de valor alto de b . Mientras en el resto del Estado Mérida, se observa una distribución mas o menos uniforme de b . En los límites de los Distritos Torres y Morán del Estado Lara (centro en las coordenadas: longitud $-70W$, latitud $10N$), aparece un área que contiene un círculo de 22 km de radio con un valor de b más bajo que el área circundante. La zona del Nido de Bucaramanga contiene los valores más altos de b que superan un valor de 1.5 (la escala fue recortada para mostrar únicamente hasta 2.0 y permitir mejor resolución en la figura). Esta área se concentra en un cuadrante definido por las coordenadas: longitud $-72.45W$ a $-73.74W$ y latitud $6.23N$ a $7.40N$.

En los Estados Táchira y Trujillo se tiene cierta uniformidad en los valores de b , lo que no ocurre en parte del Estado Falcón (sobre la falla de Ancón) que muestra un contraste en los valores de b : hacia el Este tiene valores más bajos mientras hacia el Oeste se tienen más altos. En el Lago de Maracaibo, en el área de influencia de la falla de Icotea, los valores de b hacia el Sur son más bajos que hacia el Norte.

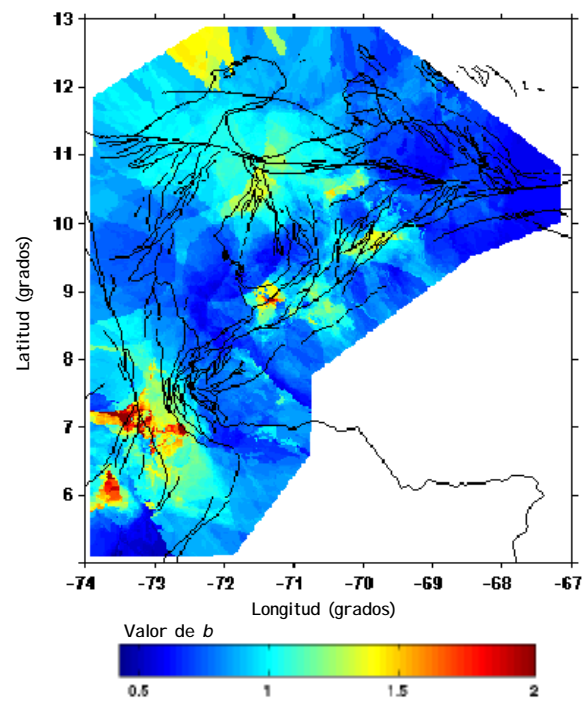


Figura 10. Distribución espacial de valores de b

Un mapa de la distribución espacial de valores de a (figura 11), muestra un patrón similar al de valores de b . En el Nido de Bucaramanga se tienen los valores más altos de a , que alcanzan entre 7 y 10, y sobre la falla de Piedemonte Occidental, aparece el mismo sector anómalo con los valores más altos de a en toda la zona andina.

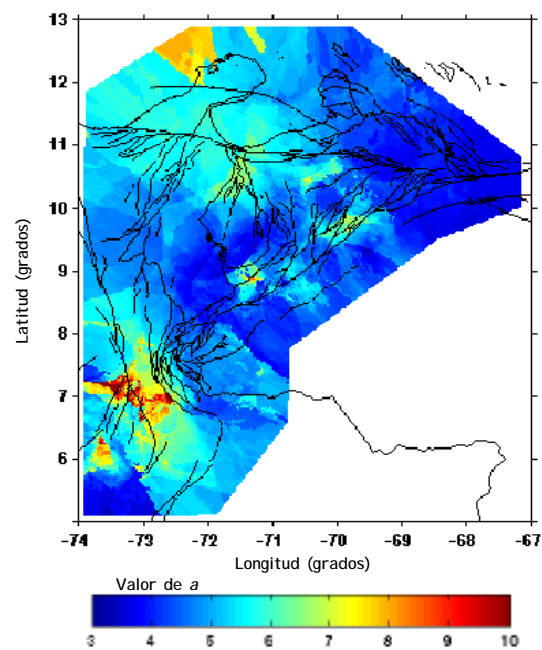


Figura 11. Distribución espacial de valores de a

4. VARIACIÓN DEL VALOR DE b CON LA PROFUNDIDAD

4.1 Nido de Bucaramanga

La figura 12 muestra la zona seleccionada para el análisis de distribución tridimensional de valores de b en el Nido de Bucaramanga. El área rectangular se delimita por las coordenadas geográficas: longitud: -74° W a -72° W y latitud: 8° N a 5.5° N. Se considera una malla horizontal con separación entre nodos de 0.075 grados y una malla en vertical con separación de 5 km hasta 250 km de profundidad (figura 12a). Se toman dos planos verticales que cruzan el área en sentido $N45^{\circ}$ E y $N45^{\circ}$ W (figura 12b) y tres planos horizontales ubicados a 40, 160 y 250 km de profundidad para visualizar la distribución espacial de los valores de b .

Los resultados se muestran en la figura 13, donde se aprecia como los valores de b varían también de acuerdo a la profundidad. Los mayores valores tienden a ubicarse hacia profundidades superiores a 100 km y se concentran sobre un área rectangular que delimita la ubicación epicentral de los sismos más profundos. Esta particularidad en la distribución con la profundidad de los valores de b en el Nido de Bucaramanga obliga a considerar dos patrones diferentes de generación de sismos en la zona, lo cual conlleva distintas propiedades de ocurrencia.

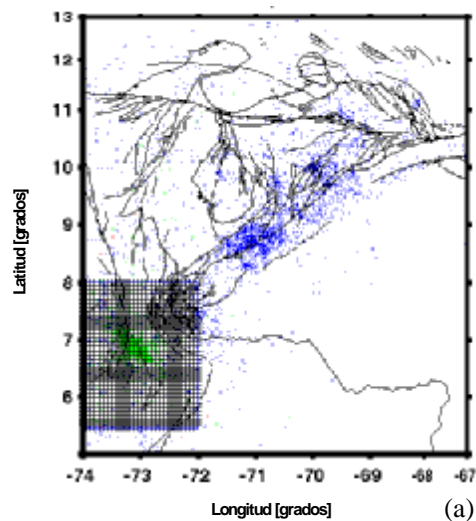


Figura 12. (a) Cuadrante analizado para el Nido de Bucaramanga

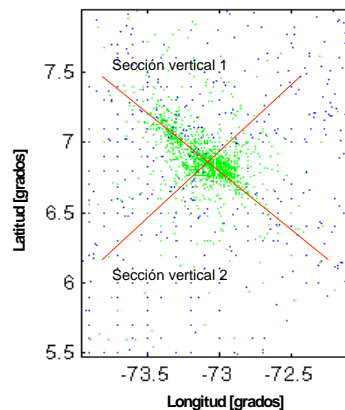


Figura 12. (b) Detalle del cuadrante

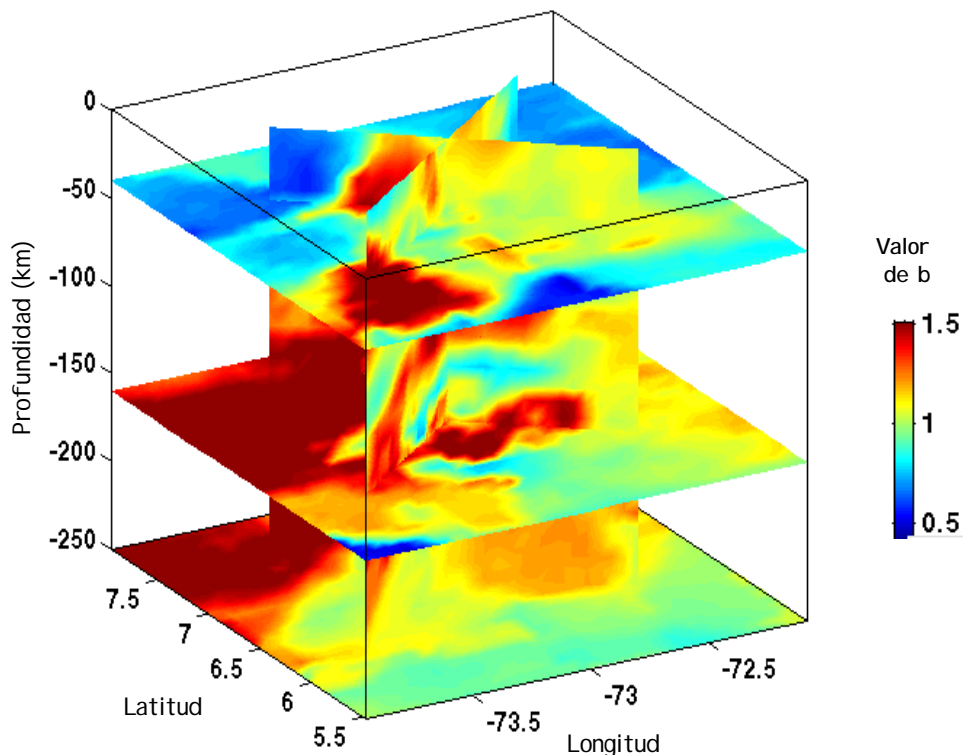


Figura 13. Vista tridimensional de la distribución de valores de b en el cuadrante analizado para el Nido de Bucaramanga

4.2 Traza principal de la Falla de Boconó

Para conocer la distribución de b con la profundidad a lo largo de la traza principal de la falla de Boconó, se considera una franja de 30 km de ancho y una longitud superior de 500 km tal como se muestra en la figura 14. Se analizan los eventos con profundidades comprendidas entre 0 y 50 km y se genera una malla con separación entre nodos de 0.02 grados sobre la superficie y a cada 5 km de profundidad.

Los resultados presentados en la figura 15, muestran como los valores de b se mantienen aproximadamente homogéneos con la profundidad para toda la sección considerada, mientras se nota la variación a lo largo de la longitud de la sección.

Es evidente la variabilidad espacial de los parámetros que intervienen en la ecuación de recurrencia sísmica. La inclusión de áreas que contengan patrones diferentes en la distribución de algunos de estos parámetros conlleva a incorporar dispersiones dentro de la relación frecuencia magnitud, que afecta las estimaciones de recurrencia de eventos sísmicos. Por lo tanto, la definición de áreas donde se mantenga cierta uniformidad en estos parámetros es importante para garantizar zonas con similares propiedades sísmicas, lo que configura un aspecto clave a considerar dentro de un estudio de amenaza sísmica.

Estos estudios son posibles en la medida que se cuente con redes de registro adecuadas que monitoreen la sismicidad en la región con la mayor calidad posible y, representan en todo caso, una “fotografía” de lo sucedido durante una determinada ventana de observación.

5. CONCLUSIONES

- Los niveles de la magnitud mínima de reporte homogéneo justifican la necesidad de incrementar la capacidad de registro de la red sismológica en la región occidental venezolana, para monitorear la sismicidad con mayor detalle e incorporar eventos de baja magnitud. Particularmente, el análisis muestra la necesidad de brindar mayor cobertura al Sistema Coriano y a la Región del Lago de Maracaibo y reforzar la de los Andes venezolanos.
- Es necesario profundizar en las razones que motivan el incremento de la M_c en la región, el cual se produce como consecuencia de la disminución de la actividad sísmica registrada en el estado Mérida y la probable vinculación con la presencia de un sector anómalo sobre la falla de Piedemonte Occidental.
- La variación espacial de a , b y M_c en la región Occidental de Venezuela y en las secciones transversales de los principales accidentes tectónicos, demuestra las diferentes propiedades de los sistemas de falla. Esto indica que distintas áreas e inclusive sectores de fallas en la región, tienen diferentes niveles de sismicidad y distinta calidad en el reporte de sus datos.
- El Nido de Bucaramanga, con alto nivel de sismicidad que varía de acuerdo a la profundidad y, el poco documentado sistema de fallas en la Serranía de Perijá, son otras fuentes sísmicas convenientes de definir en torno al manejo y calidad de los datos disponibles. En estas fuentes la ocurrencia de eventos sísmicos promedia profundidades de 150 y 80 km, respectivamente, siendo los mayores en toda la región.

6. REFERENCIAS

1. Bendito, A. (2001). “Análisis de sismicidad y curvas de isoaceleración para estados de desempeño estructural en el Occidente venezolano”. Tesis de maestría en Ingeniería Estructural, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
2. Gutenberg, R. y C. F. Richter (1944). “Frequency of earthquakes in California”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.
3. Reasenberg, P. A. (1985). “Second-order moment of central California seismicity”, 1969-1982”, *Journal of Geophysical Research*, 90, 5479-5495.
4. Reiter, L. (1990). “*Earthquake hazard analysis: issues and insights*”, Columbia University Press, New York, 254 pp.
5. Wiemer, S. y M. Wyss (1999). “Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the western US and Japan”, *Bulletin of the Seismological Society of America*, August 1999, submitted.
6. Wiemer, S. (1996). “*Analysis of seismicity: new techniques and case studies*”, Dissertation thesis, University of Alaska, Fairbanks, Alaska.