

ANÁLISIS Y LOCALIZACIÓN DE PROBABLES ÁREAS DE RUPTURA POR SISMOS, EN EL BORDE OCCIDENTAL DE PERÚ: DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE “b”.

Cristobal Condori y Hernando Tavera

Área de Sismología/Instituto Geofísico del Perú. Email: 0Tccondoriq85@hotmail.com; hjtavera@geo.igp.gob.pe

RESUMEN

En el presente estudio se pretende identificar la existencia de probables áreas propensas a generar en el futuro un sismo de gran magnitud, en el borde occidental de Perú. Para tal fin se aplica la metodología propuesta por Wiemer y Wyss. (1997), la misma que considera la variación espacio-tiempo del parámetro “b”. Se utilizan los catálogos sísmicos del IGP (1963 a 1972) y NEIC (1973 a 2009), para el periodo de 1963 a 2009 con una magnitud de completitud de 3.8 Ms. Los resultados infieren la presencia de al menos 6 áreas de acumulación de energía ubicadas entre los departamentos de Arequipa, Moquegua (16.4° a 18° S), frente a la costa de Lima (12.4°S a 13.5° S), y entre los departamentos de Piura y Lambayeque (4.5° a 7.6°S). Estas áreas y/o asperezas tienen valores máximos para periodos de retorno de 50 años, y para sismos con magnitud 7Ms.

INTRODUCCIÓN

El Perú forma parte de la región sísmica más activa del mundo, debido a que se encuentra ubicado dentro del denominado cinturón de Fuego del Pacífico, donde se libera más del 80% de la energía sísmica a nivel mundial. En Perú la actividad sísmica está directamente asociado al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el cual se da a una velocidad promedio de 8cm/año en dirección N80° (Misner y Jordan, 1978). Este proceso dió origen a los terremotos mas grandes ocurridos en el Perú, como los del 17 de octubre de 1966 (7.7 Mw.), 31 de mayo de 1970 (8.0 Mw), 3 de octubre de 1974 (7.9 Mw), 12 noviembre de 1996 (7.7Mw), 23 de junio de 2001 (8.2 Mw), y 15 agosto de 2007 (8,2 Mw). En la actualidad se tiene conocimiento amplio acerca de este peligro, mas no se sabe como prevenirlo, es por eso que durante los últimos años varios investigadores han desarrollado diversos métodos de predicción, sin lograr el objetivo de conocer la fecha de su recurrencia (Tavera, 2003). Sin embargo, la sismología ha logrado caracterizar y localizar las áreas probables donde podría generarse en un futuro un terremoto de magnitud elevada.

Uno de los métodos propuestos para identificar estas áreas corresponde al propuesto por Wiemer y Wyss (1997), el cuál se basa en la distribución frecuencia-magnitud de los sismos ($\log N = a - bM$). Estas áreas, llamadas “zonas de silencio sísmico” definen a un segmento del límite entre placas en el cual no ha ocurrido un sismo fuerte desde hace tiempo, lo que ocasiona que se acumule la energía elástica suficiente para producir otro gran sismo. El método propuesto por Wiemer y Wyss (1997), ha sido aplicado a diversos estudios para el análisis de asperezas y cambios en el índice de sismicidad de una determinada región sísmica (Wiemer y Wyss, 1994; Wyss y Wiemer, 1996; Wyss, et al., 1996). En 1996 dicho método se aplicó para el estudio de la variación de los valores de “b” en la zona de subducción de Alaska Nueva Zelanda (Wiemer y Benoit, 1996). Zúñiga y Wyss (2000), también analizaron la distribución de los valores de “b” a lo largo de la zona de subducción de México para sismos ocurridos hasta una profundidad de 60 Km., A fin de identificar las asperezas o áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de sismos de magnitud $M_s=7.2$ en el futuro. En el Perú este método fue aplicado por Heras y Tavera (2002) en todo el borde oeste de Perú, y en donde se identificó los gap sísmicos de Ica y Arequipa, afectado por los terremotos del 2001 y 2007. En el presente estudio se emplea el método de Wiemer y Wyss (1997), para analizar el valor de la distribución espacial de “b” en el borde occidental del Perú y a partir de esto identificar los probables gaps sísmicos.

DATOS

La base de datos utilizada en este estudio fue extraída de los catálogos del IGP (1963-1972) y NEIC (1973-2009) y comprende un total de 1901 eventos, los cuales se distribuyen en el borde occidental del Perú entre la fosa Perú-Chile y la línea de costa hasta una distancia de 100 Km. hacia el interior del continente con hipocentros ubicados hasta los 60 Km. de profundidad (ver Figura 1).

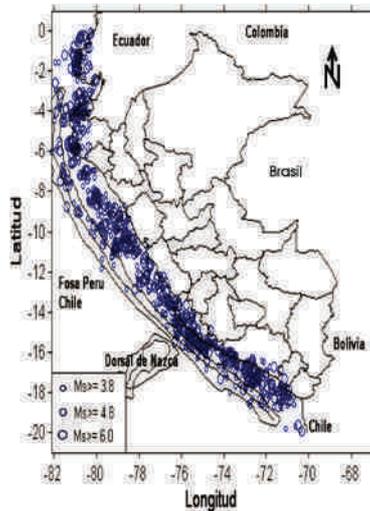


Figura 1.- Mapa de sismicidad del Perú para el periodo 1963-2009 ($h \leq 60$ Km.), ($M_s \geq 3.8$). Estos eventos serán utilizados para el cálculo de los valores de "b" y Pr (periodo de retorno).

MÉTODO DE ANÁLISIS

Para el análisis de datos se utilizó el programa Zmap, (Wiemer y Zúñiga, 1994, Wyss, et al., 2001), el mismo que permitió eliminar las réplicas correspondientes a los terremotos de 1963, 1970, 1974, 1996, 2001 y 2007, obteniendo como datos finales 1901 eventos sísmicos (Figura 2a). Por tanto a partir de la distribución frecuencia-magnitud de los sismos (Gutenberg y Richter, 1944) (Figura. 2b), se determinó la completitud del catálogo en 3.8Ms (Figura 2c). Finalmente, se presenta una curva acumulativa de forma lineal (Figura 2d), la cual define la homogeneidad de la base de datos a utilizar en este estudio.

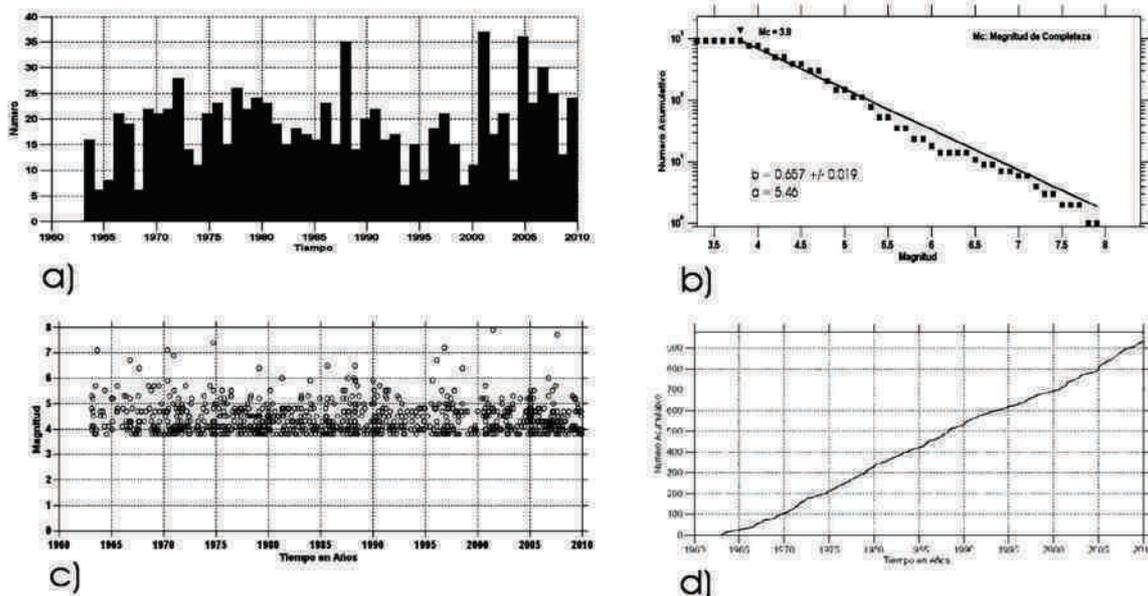


Figura 2.- Resultados del análisis de datos de los catálogos IGP (1963-1972) y NEIC (1973-2009), para todo el borde occidental del Perú. a) Histograma de sismos sin réplicas. b) Distribución frecuencia-magnitud. c) Base de datos final con $M_c \geq 3.8$. d) Curva acumulativa de sismos.

El cálculo de los valores de "a" y "b", se obtiene a partir de la relación frecuencia-magnitud (Ec. 1), y empleando el método de máxima verosimilitud ya que presenta mejores límites de confianza (Aki, 1965).

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

Donde, N es el número acumulado de sismos con magnitud mayor o igual a M. Luego, en base a esta ecuación se estima el periodo de retorno de un sismo con magnitud M_{max} utilizando la siguiente ecuación:

$$Pr(M_{max}) = \Delta T / 10^{(a - bM)} \quad (2)$$

Donde ΔT es el periodo de datos considerados en el estudio, Pr es el periodo de recurrencia y M_{max} la magnitud del sismo para el cual se desea conocer su periodo de recurrencia. Para la elaboración de los mapas de valores de “b” y Pr , se utilizó la técnica de grillado (Wiemer, 1996), codificada en el programa ZMAP (Wiemer y Zúñiga, 1994). El espaciamiento de nodos en el área de estudio fue de 0.1° con un radio constante de 150 Km. alrededor de cada nodo. El radio constante es un valor promedio asumido a partir de la longitud de ruptura de los principales terremotos ocurridos en el periodo de 1963 a 2009.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio para el borde occidental de Perú, son presentados en la Figura 3, asimismo se muestran los epicentros (estrellas) de los últimos sismos notables ocurridos desde 1963 al 2009. Según la Figura 3a los valores de “b” varían entre 0.5 y 1.1, siendo los valores menores a 0.6 los que presentan áreas con valores anómalos de “b” y en donde se estaría acumulando mayor energía y por lo tanto, tiene mayor probabilidad de generar un sismo en el futuro. Estas áreas, a las cuales se les denomina asperezas, se encuentran distribuidas en forma heterogénea a lo largo del borde occidental de Perú y son:

Aspereza 1-y-2.-Se localizan entre los departamentos de Arequipa y Moquegua ($16^\circ S$ a $18^\circ S$).

Aspereza 3-y-4.-Ubicadas frente a las costas, centro, norte de Lima ($12.4^\circ S$ a $13.5^\circ S$).

Aspereza 5-y-6.-Ubicadas entre los departamentos de Piura y Lambayeque ($5.5^\circ S$ a $7^\circ S$).

Asperezas 7-y-8.- Ubicadas frente a la costa de Ecuador (entre $2.8^\circ -1^\circ S$ $0.5^\circ -1.5^\circ S$).

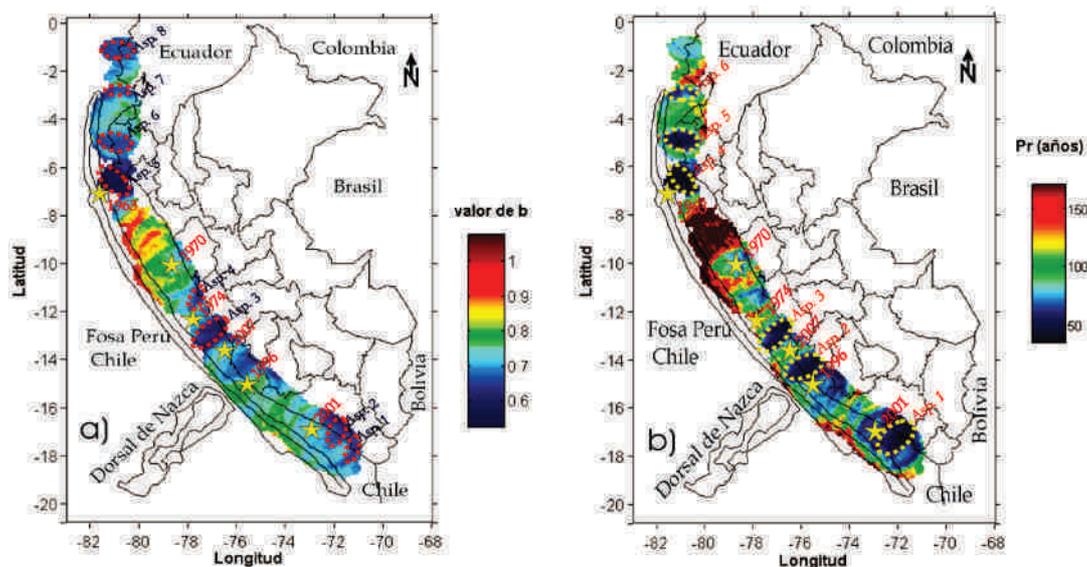


Figura 3. a) Mapa de valores de “b”, las elipses indican áreas o zonas de silencio sísmico. b) Mapa de periodo de recurrencia estimado para un sismo con magnitud $7M_s$ en el borde occidental de Perú. Las estrellas amarillas indican el epicentro de los principales terremotos ocurridos en el periodo 1963-2009. Las elipses indican áreas con periodos de retorno de 50 años.

El mapa de periodo de retorno ilustrado en la Figura 3b fue calculado a partir de la ecuación (2) considerando los valores de a y b, de la ecuación (1) para un sismo con magnitud $M_s \geq 7.0$. Este mapa muestra características similares al mapa de valores de b, y los periodos de recurrencia para un sismo con una magnitud $M_s \geq 7.0$ oscilan entre 50 y 150 años. Las zonas que presentan periodos de retorno de 50 años se localizan sobre los valores anómalos de “b”. Las áreas que presentan periodos de recurrencia de 100 años se localizan en las costas de los departamentos de la Libertad ($8^\circ -10^\circ S$) y Ancash ($10^\circ -11^\circ S$).

En el mapa de probabilidad (Figura 3b), con periodos de 50 años y al sur del departamento de Ica, se define un área de acumulación de energía que estaría bordeado por las áreas de los terremotos de 1996 y 2007. Esta área podría corresponder a un nuevo gap sísmico (Aspereza 2).

CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología propuesta por Wiemer y Wyss (1997), en el borde occidental del Perú, permite llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los valores de “b” a lo largo del borde occidental del Perú varían entre 0.5 a 1.1.
2. Los mapas de distribución de los valores de “b” y periodos de recurrencia han proporcionado una importante información para la identificación de asperezas o zonas de silencio sísmico.
3. Las asperezas identificadas presentan geometrías y extensiones variables, las cuales estarían relacionadas con el área y tamaño de las zonas en las que se podría producir terremotos.
4. Las zonas que podrían constituir la fuente mas probable de sismos fuertes se ubican frente a las costas del departamento de Lima (12°-14°S), entre los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna (17°-19°S), y entre los departamentos de Piura y Lambayeque (5.5°-7°S).

REFERENCIAS

- Aki K. (1965). Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits, *Bulletin of the Earthquake Research Institute. Vol. 43 pp.237 – 239*.
- Gutenberg R. y Richter C.F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc. Am. 34, 185-188*.
- Heras H. y Tavera H. (2002), Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en distribución de valores de “b”. Centro Nacional de Datos Geofísicos, boletín de la S.G.P. pp. 7-16.
- Minster J. y Jordan T. (1978). Present-day plate motions. *Tour. Geophys. Res. 83, 5331_8334*.
- Tavera, H. (2003). La Predicción Tectónica. *Centro Nacional de Datos Geofísicos. (CNDG) p. 23 - 25*.
- Wiemer S. y Wyss M. (1997).- Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: an improved technique to calculate recurrence times? *Jour. Geophys. Res. 102, 15115-15128*.
- Wiemer S. y Wyss M. (1994). Seismic quiescence before the 1993 M=7.5 Landers and M=6.5 Big Bear (California) earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am. 84, 3, 900-916*.
- Wiemer S. y Zuñiga R. (1994) ZMAP a software package to analyze seismicity, *EOS, Transactions, Fall Meeting, AGU, 75, 456*.
- Wiemer S. y Beniot J. (1996). Mapping the b-value anomaly at 100 km depth in the Alaska and New Zealand subduction zones, *Geophys. Res. Lett, 23, 1557-1560*.
- Wyss M, Wiemer S, y Zuñiga R. (2001). A tool for Analyses of Seismicity Patterns. *Tutorial de Zmap. P 3 – 63*.
- Zuñiga R. y Wyss M. (2000). Most and least likely locations of large to great earthquakes along the pacific coast of Mexico, estimate from local recurrence times based on b-values, *Geophys. Jour. Intern. 90. in press, 2000*.