



XVIII Congreso Peruano de Geología

METODOLOGIA PARA LA ALERTA DE EVENTOS TSUNAMIGÉNICOS LOCALES A PARTIR DEL ANÁLISIS FRECUENCIAL DE SEÑALES SISMICAS APLICACIÓN AL BORDE OCCIDENTAL DEL PERÚ

José Luis Guzmán Mendivil¹, Hernando Tavera²

¹ Instituto Geofísico del Perú, Calle Calatrava # 216 Urb. Camino Real, Lima, Perú (jguzman@igp.gob.pe)

² Instituto Geofísico del Perú, Calle Calatrava # 216 Urb. Camino Real, Lima, Perú (hernando.tavera@igp.gob.pe)

Resumen

El Perú forma parte del denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico” y su actividad sísmica está directamente asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, dando origen a sismos de magnitud elevada que generalmente producen tsunamis (Chimbote, 1996; Arequipa, 2001 y Pisco, 2007). En este estudio se propone una metodología para discriminar y generar una alerta temprana ante la ocurrencia de sismos locales que sean tsunamigénicos o no tsunamigénicos. Para ello se hace uso del método del análisis frecuencial de una señal sísmica y cálculo de la Energía liberada por el sismo. Los registros sísmicos con contenido de baja frecuencia y alta energía liberada, con epicentro cerca de la fosa, podrían ser potencialmente tsunamigénicos y los que presentan altas frecuencias y bajos niveles de energía, con origen cerca a la costa son no tsunamigénicos. Este procedimiento es aplicado a 2 sismos ocurridos en Perú, obteniendo resultados óptimos y válidos para la alerta temprana de tsunamis.

Palabras clave: Subducción, Tsunamis, Sismos locales, Tsunamigénicos.

1. Introducción

El Perú forma parte de la región sísmica más activa del mundo debido a que se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico y según su historia, ha sido afectado por un gran número de sismos, siendo los más recientes los ocurridos el 21 de febrero de 1996 (7.5 Mw, Chimbote), 12 de noviembre de 1996 (7.7 Mw, Nazca), 23 de junio de 2001 (8.2 Mw, Arequipa) y 15 de agosto de 2007 (7.9 Mw, Pisco). En general, uno de los eventos naturales con mayor índice de destrucción son los sismos, y más aún si al fuerte movimiento del suelo, se suma la salida, hacia las costas, de grandes volúmenes de agua, dando origen a los tsunamis, que contribuyen a la destrucción de puertos y ciudades costeras. Cuanto más grande es el sismo, mayor será el tsunami.

Por otro lado, la práctica ha permitido establecer que solo los sismos con magnitudes mayores a 7.0 Mw y con epicentro en el mar, son capaces de originar tsunami. A fin

de alertar sobre la ocurrencia de tsunamis locales, con estas características, en este estudio se propone una metodología en base a la hipótesis planteada por Shapiro et al., (1998). Para su aplicación se ha elaborado el algoritmo TSUFREC que integra todo el proceso de análisis de la información sísmica, este algoritmo permite discriminar si los sismos se originan en la zona de subducción o cercanos a la costa (0-60 km de profundidad), a través del análisis espectral de la señal sísmica. Esta metodología es rápida y efectiva para la alerta temprana de Tsunamis en el campo cercano y sería emitida en menos de tres minutos.

2. Metodología

La formación de un sismo que genere un gran tsunami está ligada a la zona de origen y la energía liberada en la fuente, en tanto, el evento podría ser de magnitud moderada y no ser percibido por la población pero sí tendría potencial de generar tsunami, siendo conocidos

como Tsunami Earthquake. Los cambios típicos en el contenido frecuencial y energía liberada, puede ser evaluada en las señales según el origen de la fuente, lo cual indicaría una característica particular de los sismos y que puede ser usado para su discriminación (Shapiro et al., 1998). Por ello, TSUFREC es un algoritmo que permite el análisis de sismos locales (<500 km) registrado en una estación de Banda Ancha y en una ventana de análisis que abarca el grupo de ondas P y S [Figura (1)].

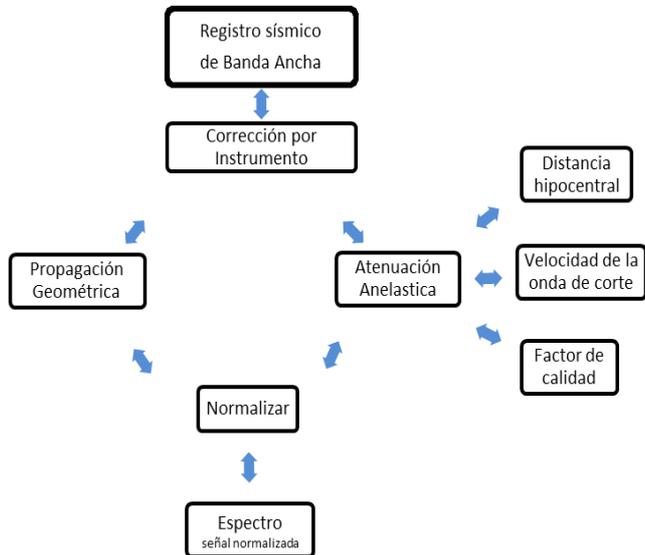


Figura 1: Esquema de los principales procesos considerados para el cálculo de diagnóstico de los eventos Tsunamigénico.

De acuerdo a la metodología establecida, la energía es calculada con la siguiente relación.

$$Energía = \frac{\int_0^{\infty} [V_N^2(f) + V_E^2(f) + V_Z^2(f)] df}{\int_1^{\infty} [V_N^2(f) + V_E^2(f) + V_Z^2(f)] df}$$

Dónde: V_N : Espectro de la componente norte.
 V_E : Espectro de la componente este.
 V_Z : Espectro de la componente vertical.

$V_i(f)$ es el espectro de Fourier de la i-ésima componente del sismograma en velocidad normalizado a una distancia de 400 km. Es necesario, considerar un valor de frecuencia para el límite de las integrales y en este estudio se consideró 5 Hz, a fin de garantizar que los espectros estén por encima del nivel de ruido. El límite inferior se toma como valor la frecuencia más pequeña, debajo de la cual los espectros están dominados por el ruido. Considerando que esta secuencia es diferente para cada evento, se toma el valor de 1Hz, como representativo.

Así mismo, previo al cálculo de la energía y análisis frecuencial, la señal sísmica fue corregida por: a) Propagación Geométrica, dado por $R^{-0.5}$ o $\frac{1}{\sqrt{R}}$, y b)

Atenuación Anelástica dada por $e^{-\frac{\pi f R}{BQ(f)}}$. Dónde, "R" es la Distancia Hipocentral, "B" es la Velocidad de onda de corte (3.75 km/seg) y "Q (f)" el Factor de Calidad; expresado como $273 \cdot (f)^{0.067}$, "f" es la frecuencia que tiene un valor de

1.62 Hz, sugiere Ordaz y Singh, (1992) apropiado para zonas de subducción.

3. Aplicación al Perú

En el presente estudio la metodología propuesta se ha integrado en un algoritmo llamado TSUFREC a fin de ser aplicado a eventos ocurridos en el borde occidental de Perú y de utilidad para los sistemas de alerta temprana para tsunamis En el estudio se aplica a los sismos de Chimbote y Nazca de 1996.[Figura (2)]

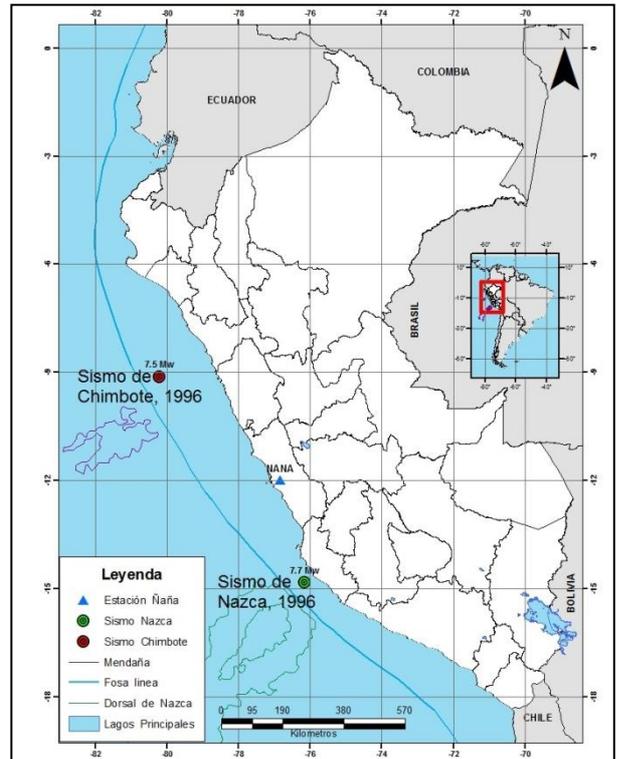


Figura 2: Ubicación de los sismos de Chimbote y Nazca de 1996, así como la estación de Naña.

3.1. Evento de Chimbote-1996

3.1.1. Análisis sísmico

El 21 de Febrero de 1996, a las 7h 51m (hora local), ocurrió un evento sísmico con magnitud 7.5Mw, y epicentro a 200 km en dirección oeste con respecto a la Ciudad de Chimbote y a una profundidad de 18 km. La intensidad del sismo en la Escala Modificada de Mercalli (MM) fue de III en la localidad de Chimbote, sin producir daños.

Según Ihmlé et al., (1998), el sismo se caracterizó por presentar un proceso lento de ruptura con velocidades entre 0.8 a 2.0 km/s dentro de un área rectangular de ruptura paralela a la línea de fosa, de 110 km de largo por 40 km de ancho.

3.1.2. Análisis frecuencial

El registro sísmico normalizado en velocidad, corresponde a la estación de Naña ubicada a 400 km del hipocentro del sismo (Figura 3a). De acuerdo a su espectro de frecuencia se observa que el registro del sismo tiene contenido de bajas frecuencias (<0.5 Hz) y alto nivel de energía.

De acuerdo a la metodología establecida, este evento correspondería a un sismo tsunamigénico; por lo tanto se daría la alerta de Tsunami.

El sismo produjo un tsunami que demoró alrededor de una hora en llegar a las costas produciendo un "Run up" de más de 5 metros en la bahía de Chimbote; y en la ciudad de Chimbote, de poco más de 3 metros debido a la barrera (rompe olas) que se encuentra frente a su costa (Yauri, 2008).

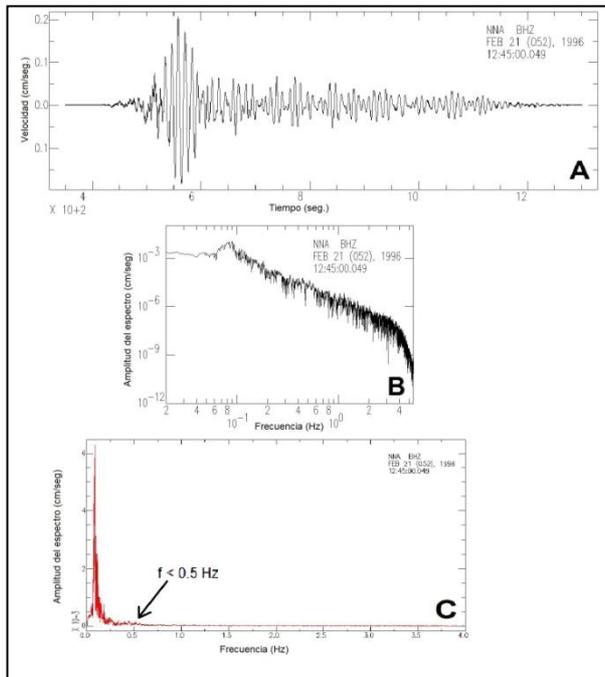


Figura 3: A) Registro del sismo del 21 de febrero de 1996, B) Espectro de amplitud en velocidad y C) Análisis frecuencial en escala log-log.

3.2. Evento de Nazca-1996

3.2.1. Análisis sísmico

El 12 de Noviembre de 1996, a las 11h 59min (Hora local), ocurrió un evento sísmico con magnitud momento (Mw) de 7.7, y epicentro en la costa a 90 km al SO de la ciudad de Nazca y a una profundidad de 46 km. La intensidad del sismo en la Escala Modificada de Mercalli fue de VII en Nazca y Palpa, V Ica, IV Camaná, III y II Arequipa, Moquegua y Tacna; murieron 17 personas (Tavera, 2004).

3.1.2. Análisis frecuencial

Para el análisis frecuencial del sismo se utilizó el registro de la estación de ÑAÑA ubicada a 400 km del hipocentro (Figura 4a). De acuerdo a sus espectros de frecuencia, se observa la presencia de altas frecuencias ($\geq 4\text{Hz}$) y bajo nivel de energía liberada, es debido, a un proceso complejo de ruptura en el desplazamiento de la corteza.

De acuerdo a la metodología establecida, este evento corresponde a un sismo no Tsunamigénico.

Después de ocurrido el sismo, no se registró la ocurrencia de tsunami.

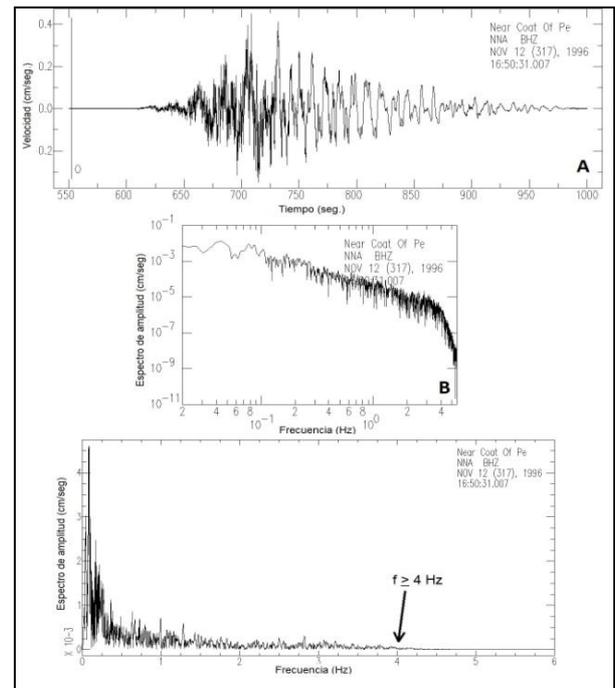


Figura 4: A) Registro del sismo del 12 de noviembre de 1996, B) Espectro de amplitud en velocidad y C) Análisis frecuencial en escala log-log.

4. Conclusiones

La metodología propuesta permite discriminar en base al contenido frecuencial de los registros sísmicos, entre eventos locales tsunamigénicos y no tsunamigénicos. Los primeros ocurren cerca de la fosa y se caracterizan por presentar bajas frecuencias menores a 1 Hz; mientras que los segundos, con epicentro cerca de la costa presentan altas frecuencias mayores a 1Hz.

El método permitiría dar alertas de tsunami con tan solo disponer de información de una estación sísmica. Esta metodología es parte del algoritmo TSUFREC que ha sido integrado al Centro Nacional de Monitoreo Sísmico-Acelerométrico de la subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida del Instituto Geofísico del Perú.

Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar proyectos de investigación, así mismo, al Dr. Hernando Tavera, por los sabios consejos impartidos en estos años de trabajo.

Referencias

- ANTAYHUA, Y., TAVERA, H., (2004). Estudio de la distribución espacial de las réplicas del sismo de Nazca del 12 de Noviembre de 1996 (Perú). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú v. 97 (2004) p. 81-89.
- IHMLÉ, P., GOMEZ J., HEINRICH P., GUIBOURG S., (1998): The 1996 Peru tsunamigenic earthquake: Broadband source process. Geophysical Research Letters, vol. 25, NO. 14, Pages 2691.
- ORDAZ, M., y SINGH, S., (1992). Source spectra and spectral attenuation of seismic waves from Mexican

- earthquakes, an evidence of amplification in the hill zone of Mexico City, Bull Seism. Soc. Am., 82, 24-43.
- SHAPIRO N., SINGH, S., y PACHECO, J., (1998). A fast and simple diagnostic method for identifying tsunamigenic earthquake, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional de México D.F., México.
- YAURI S., (2008). Detección, localización y análisis de sismos tsunamigénicos: Sistema de alerta de tsunami tremors. *Tesis de grado U.N.S.A*