

ESTIMACIÓN DE EFECTOS DE SITIO USANDO EL COCIENTE ESPECTRAL H/V EN LAS ESTACIONES SAB2, SAB3 Y SAB4 DE LA RSTS

Rosario Paxi¹, Yanet Antayhua¹, Julio Cuenca²

¹Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima – Perú. rosariopaxi@gmail.com

²Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, México

INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista general, el efecto de sitio puede definirse como la respuesta que tiene cada sitio, ante el paso de las ondas sísmicas, las mismas que dependen de sus condiciones geológicas y topográficas de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre (Sauter, 1989; Chávez-García et al., 1996). Así, cualquier medio al ser afectado por una onda puede causar amplificación y/o de-amplificación de la misma, acorde a su composición geológica y geometría (Riquer et al., 2003). Un ejemplo típico de ellos son los volcanes, pues presentan una composición geológica heterogénea, compuesta por rocas y materiales muchas veces, pobremente consolidados.

Considerando que la mejor manera de estimar la respuesta sísmica, cuantitativamente, es registrando sismos pequeños o analizando el ruido sísmico ambiental, en este trabajo se realiza el análisis del efecto de sitio en tres estaciones sísmicas de la Red Sísmica Temporal del Sabancaya (RSTS) correspondiente al periodo mayo – julio 2009, utilizando ruido sísmico ambiental.

ESTIMACIÓN DE EFECTOS DE SITIO USANDO EL COCIENTE ESPECTRAL H/V EN LAS ESTACIONES SAB2, SAB3 Y SAB4

Para estimar el efecto de sitio en la zona del volcán Sabancaya, se ha considerado utilizar los registros sísmicos continuos de 3 estaciones: dos de banda ancha (SAB2 y SAB4) y una estación casi banda ancha (SAB3), instaladas sobre la estructura misma del volcán Sabancaya como se muestra en la Fig. 1. observándose que cada una de las estaciones se encuentran ubicadas sobre rocas volcánicas andesíticas y dacíticas de 50 m de espesor (SAB2), sobre Morrenas Holocénicas (SAB3) y rocas andesíticas de 30 a 60m de espesor (SAB4), adicionalmente un sismo registrado en las estaciones SAB2 y SAB4, presenta frecuencias distintas para cada estación, así como otro sismo registrado en la estación SAB3 su espectro de frecuencia presenta características diferentes. Debido a estas observaciones es que se procedió a hacer el análisis de cociente espectral (H/V) para cada estación y así determinar la respuesta de sitio de las estaciones instaladas (Fig.1).

Como se puede observar en la Fig. 2, estas estaciones estuvieron separadas una de la otra, por una distancia aproximada de 1.6 y 1 km respectivamente.

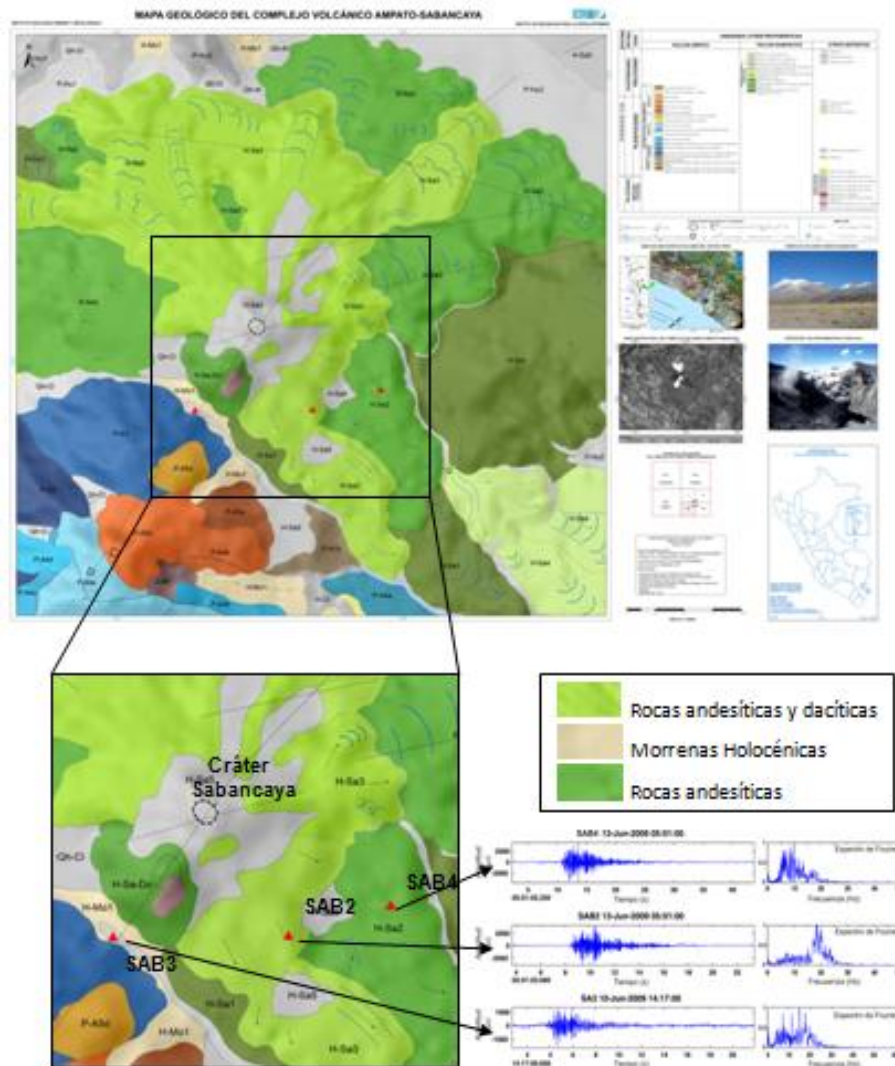


Fig. 1. Mapa Geológico con la ubicación de las Estaciones SAB2, SAB3 y SAB4. (Modificado de Delgado, 2012)

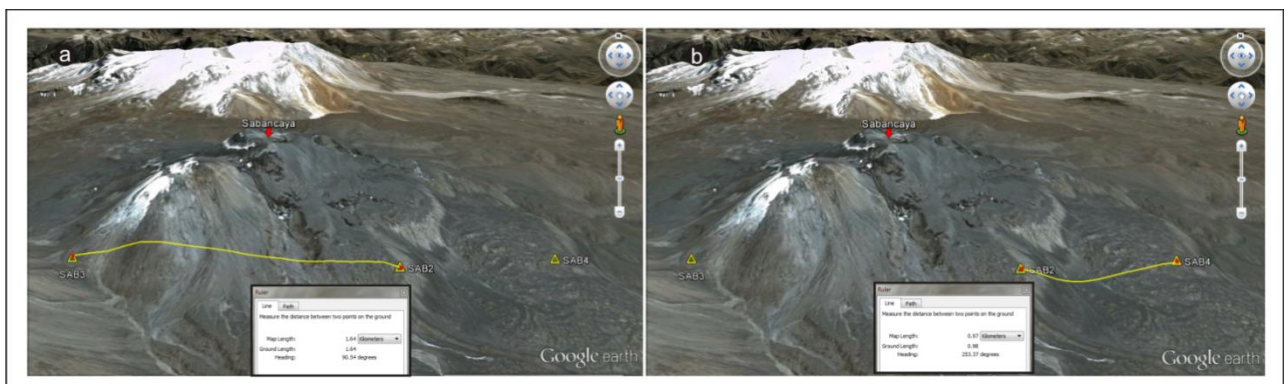


Fig. 2. Mapa de ubicación de las estaciones SAB2, SAB3 y SAB4, instaladas sobre la estructura del volcán Sabancaya. a) Distancia entre SAB2 y SA3, siendo de 1.6 km y en b) Distancia entre SAB2 y SAB4 correspondiente a 1km.

METODOLOGÍA

Para estimar el efecto de sitio en las estaciones sísmicas SAB2, SAB3 y SAB4; se utiliza el método espectral de Nakamura (1989), la misma que propone como hipótesis que el ruido sísmico ambiental, se debe a la excitación de las ondas superficiales Rayleigh y que el efecto de la fuente puede estimarse considerando que, únicamente las componentes horizontales del registro son afectadas por la estructura local (Lermo et al., 1994; Theodulidis et al., 1996; Lachet et al., 1996). Esta técnica utiliza la amplitud del espectro de Fourier entre las componentes horizontales (N-S, E-O) y la vertical (Z); a partir de ellos se obtiene el cociente espectral H/V, el mismo que permite identificar la frecuencia predominante (F_0) y en algunos casos la amplificación relativa (A_0). Según la literatura geotécnica, las F_0 altas corresponderían a una respuesta sísmica de suelos rígidos; mientras que las F_0 bajas, a suelos blandos o poco compactados. Mientras tanto, la amplificación A_0 (en veces) depende del espesor de los estratos que vibran a una determinada frecuencia. Asimismo, un buen resultado dependerá del buen contraste de impedancia (relación de velocidades y densidades) entre una capa encima y de capas subyacentes.

CÁLCULO DEL COCIENTE ESPECTRAL H/V

Para realizar el estudio de efectos de sitio, se ha determinado la frecuencia predominante (F_0) en Hertz (Hz) y la amplitud relativa (A_0) en la ubicación de las estaciones SAB2, SAB3 y SAB4, mediante el programa de procesamiento GEOPSY versión 2.7.3 (ww.geopsy.org) y la metodología descrita por Nakamura (1989).

Se analizaron cuatro registros consecutivos, cada uno de ellos de 1 hora para cada estación sísmica (SAB2, SAB3 y SAB4). Estos registros de 4 horas se seleccionaron en ventanas de 80 segundos, siendo un total de 179 ventanas con un rango para cada ventana de 0.1 - 20Hz de frecuencia. GEOPSY, calcula la

Transformada de Fourier (FFT) utilizando el promedio cuadrático y obtiene el valor de $H = \sqrt{\frac{NS^2 + EO^2}{2}}$; seguidamente hace la división H/V en el dominio de las frecuencias y la suaviza (Konno y Ohmachi, 1998). Calcula el promedio de los cocientes espectrales H/V y +/- la desviación estándar (Fig. 3), **con un rango de 0.1 - 20Hz de frecuencia.**

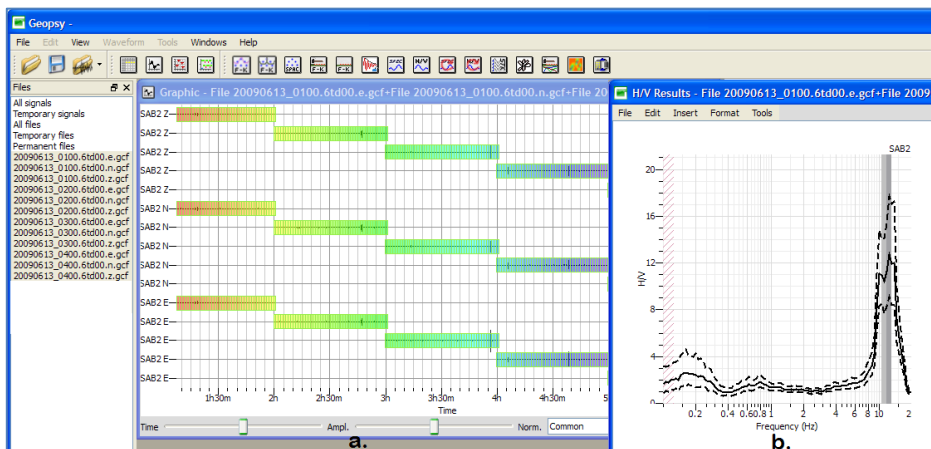


Fig. 3. Ejemplo de procesamiento en Geopsy. a) Ventanas de 80 s en 3 componentes para las 4 horas de registro. b) Resultados de H/V en función de la frecuencia.

RESULTADOS DEL COCIENTE ESPECTRAL H/V PARA LAS ESTACIONES SAB2, SAB3 Y SAB4

La estación SAB2 presenta un efecto de sitio con la mayor amplificación de 14 veces a una frecuencia de 12 Hz, estas altas frecuencias están asociadas a depósitos **volcánicos** rígidos y de origen profundo. Este efecto ocurre en rocas andesíticas y dacíticas de un derrame de lava más reciente a una mayor altitud con respecto a SAB4. Los picos a bajas frecuencias de 0.2 y 0.8 Hz tienen amplificaciones (A_0) bajas (2.5 y

1.8 veces, respectivamente) y corresponden a capas superficiales blandas o poco consolidadas (0.2 Hz), seguida por capas transicionales entre suelo blando y duro (0.8 Hz). (Fig. 4a)

La estación SAB4 presenta 2 picos de frecuencia en 0.2 y 4.2Hz, con amplificaciones en 2.3 y 2.9 veces. La frecuencia de 0.2 Hz correspondería a un derrame muy superficial de suelo poco consolidado y la frecuencia de 4.2 Hz a depósitos volcánicos más rígidos subyacente con espesores pequeños debido a la baja amplificación y estaría asociada a rocas andesíticas (Fig. 4b). La estación SAB3 ubicada entre el Ampato y el Sabancaya, presenta una frecuencia pico en 2 Hz, con una amplificación (A_0) de 4 veces, la cual estaría asociada a **morrenas holocénicas resonando** con considerable espesor (amplificado 4 veces). (Fig. 4c)

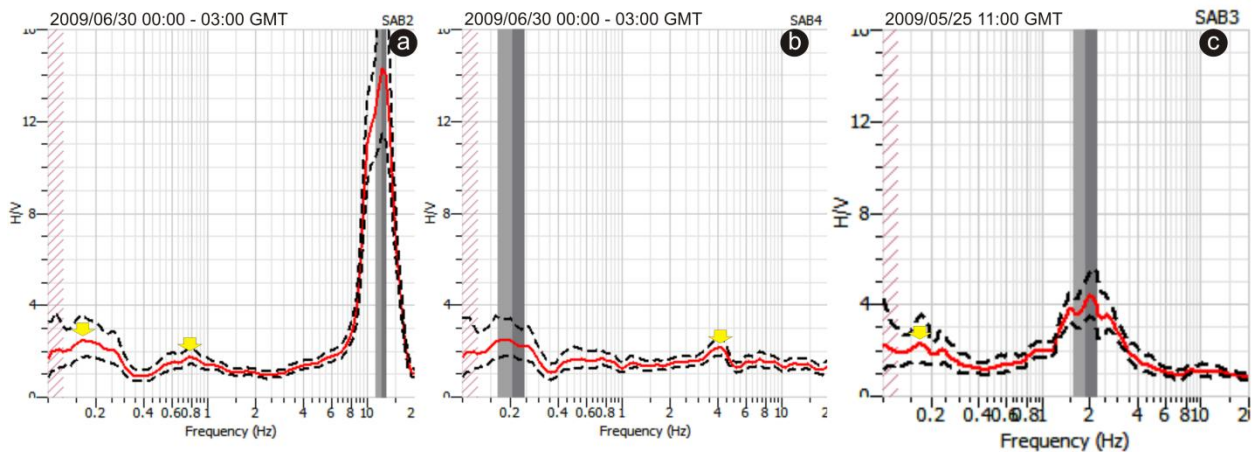


Fig. 4. Resultados de la estimación de H/V promedio (línea roja) y más/menos desviación estándar promedio (líneas discontinuas). a) Estación SAB2, b) SAB4 y c) SAB3.

BIBLIOGRAFÍA

- Chavez-Garcia, F.J., L.R. Sanchez and D. Hatzfeld (1996). Topographic site effects and HVSR. A comparison between observations and theory. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86-5**, 1559-1573.
- Delgado, R. (2012). Estudio Geológico Petrográfico y Geoquímico del Complejo Volcánico Ampato – Sabancaya. Universidad Nacional de San Agustín. Tesis de Ingeniero. 140 p.
- Konno, K. and Ohmachi, T. (1998). “Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 88, No.1, 228-241.
- Lachet, C. and P. -Y. Bard (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of the "Nakamura's" technique, *Jour. Phys. Earth*, 42, 377-397.
- Lermo, J. and F. J. Chavez-Garcia (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83,1350-1364.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *QR of RTRI*, **30**, No.1;25-33.
- Riquer, G, Williams, F, Lermo Samaniego, J, Torres, G y Leyva, R (2003), Microzonificación sísmica de la zona Conurbada Veracruz-Boca del Río, Memorias XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, León, Gto, II.105-119
- Sauter, F. (1989). Introducción a la sismología. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Seo, K. (1995).
- Theodulidis, N.P., P.-Y.Bard, R. Archuleta, and M. Buchon (1996). Horizontal to vertical spectral ratio and geological conditions: the case of Garner Valley Downhole Array in Southern California, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 306-319.