

SIMULACIÓN DE LOS EFECTOS EN QUITO DE UN SISMO DE Mw 7.1 A 100 Km DE LA CAPITAL

Víctor Alfonso-Naya; Instituto Geofísico-EPN, Quito, Ecuador
Françoise Courboux; Géoazur, Sophia Antipolis, Francia
Martin Vallée; Géoazur, Sophia Antipolis, Francia

Introducción

La zona del valle interandino, donde se encuentra Quito, ha sido afectada por terremotos corticales superficiales de intensidad tan alta como XI en la escala MSK. Afortunadamente, no ha ocurrido ningún sismo con suficiente intensidad para afectar a Quito desde 1868. Pero, con el aumento de la población hasta aproximadamente dos millones, con una gran parte de ella habitando en viviendas mal construidas y en sitios inestables, el daño de un terremoto futuro en Quito podría ser devastador.

Este trabajo de investigación utiliza el registro en ocho estaciones de la nueva red acelerométrica de Quito, del terremoto de Mw 5.1, el 9 de octubre de 2009, a 100 Km de la capital. Se ha empleado un método basado en las funciones de Green empíricas para simular los acelerogramas de un terremoto de magnitud 7.1, localizado en el mismo sitio.

Método de simulación

Una forma de simular los terremotos, cuando no se tiene un buen conocimiento del medio del subsuelo, es emplear los métodos de suma de las funciones de Green empíricas (EGF), inicialmente propuestas por Hartzell (1978). Estos métodos se basan en sumar los registros de pequeños terremotos, utilizados como EGF, para simular un sismo de gran magnitud. (Fig. 1a). El pequeño terremoto tiene que ser de la misma región que el grande y poseer el mismo mecanismo focal. Estos métodos tienen la ventaja de reproducir los efectos de sitio, de propagación y atenuación. Una condición fundamental es que el sismo registrado debe tener una buena razón señal ruido.

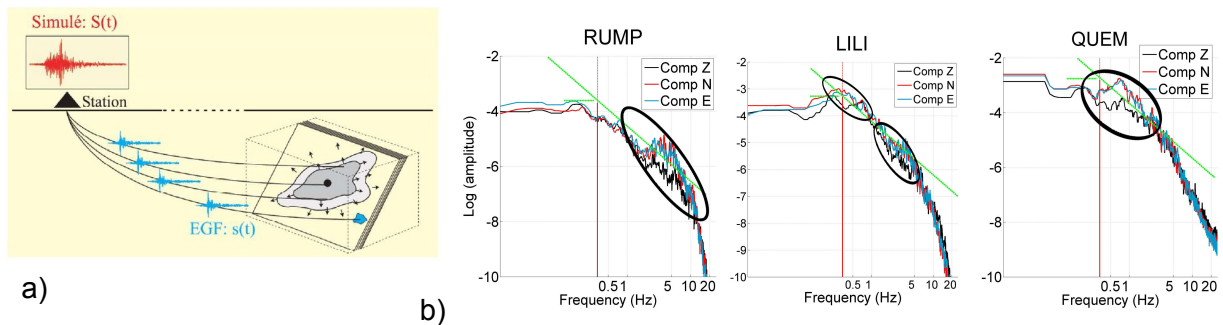


Figura 1. (a) Métodos de suma de funciones de Green empíricas. El pequeño sismo registrado en la estación, representado en azul, es sumado varias veces para generar un terremoto grande en rojo. (Kohrs-Sansorny et al., 2005). (b) Determinación visual de la frecuencia esquina en los espectros de desplazamiento para las estaciones de Quito. En el círculo se puede ver la amplificación de las componentes horizontales, producto de los efectos de sitio.

Para realizar la simulación, se tomó el método de suma estocástica de pequeños terremotos en dos etapas, creado por Kohrs-Sansorny et al. (2005). Este método tiene la ventaja de sólo necesitar tres parámetros para ser aplicado: el momento, la frecuencia esquina del sismo pequeño y la razón de la caída de esfuerzo entre el sismo simulado y el usado como función de Green empírica (C). Produce un gran número de simulaciones distintas, que representan diferentes procesos de ruptura aleatorios, para el mismo mecanismo focal y momento magnitud.

Determinación de los parámetros y estudio de la fuente del evento, utilizado para la simulación

Para efectuar esta simulación, se necesita encontrar el momento y la frecuencia esquina del sismo pequeño. La frecuencia esquina (f_c) se halla al aproximar el espectro de Fourier de

desplazamiento de los registros del sismo de Mw 5.1 con el modelo w^{-2} de Brune. (Fig. 1b). Se realizó una inversión de la fuente sísmica para encontrar el mecanismo focal y el momento magnitud. En esta inversión se ajusta el sismograma real al sintetizado, modificando los parámetros de fuente y el modelo de velocidades. (Fig. 2). Esta técnica fue utilizada en (Mercier de Lepinay *et al*, 2010), para determinar los mecanismos de las réplicas del terremoto de Haití del 2010.

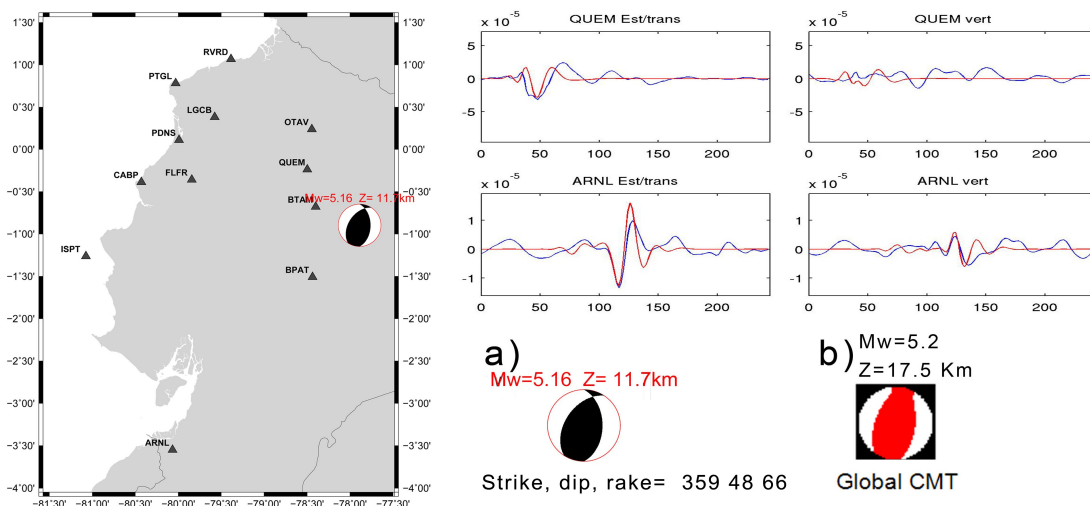


Figura 2. Buen ajuste entre los sismogramas reales en azul y sintéticos en rojo, en las 12 estaciones utilizadas. (a) Momento magnitud y profundidad encontrados por la inversión. (b) Resultado del Global CMT. Se efectuaron varias simulaciones, modificando la ventana de filtrado. El mecanismo focal que mejor se ajustó (Fig. 2a), fue principalmente inverso, lo que está de acuerdo con la geología de las fallas presentes y coincide con el del Global CMT. (Fig. 2b).

Resultados selectos para un evento de magnitud Mw 7.1 en Quito con C=1

Suponiendo que el evento simulado tiene la misma caída de esfuerzo que el pequeño, $C=1$, se hacen 500 simulaciones para cada una de las componentes registradas en las estaciones de Quito.

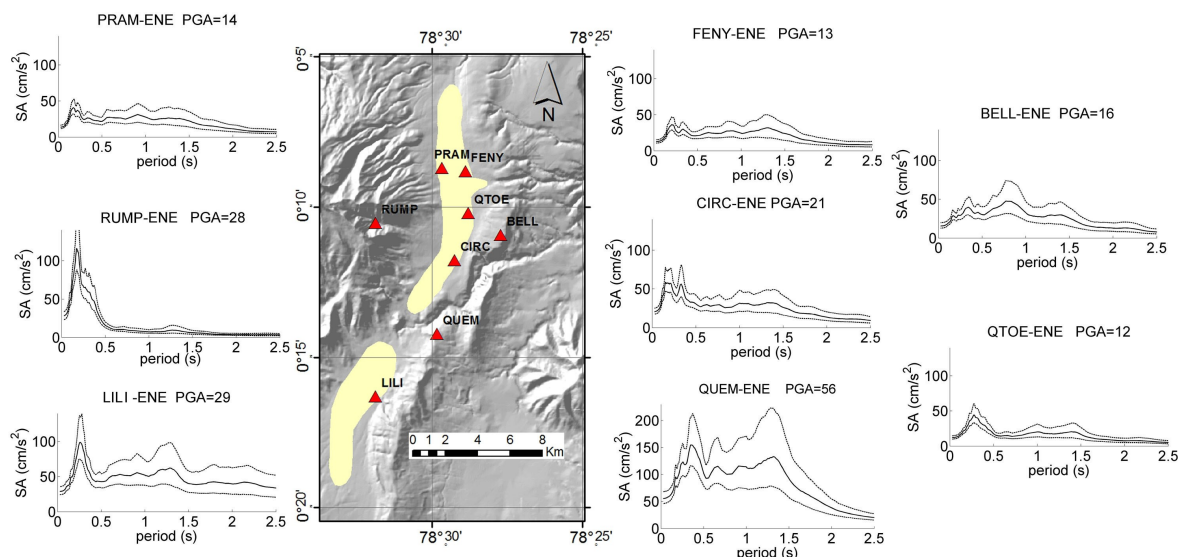


Figura 3. Espectro de respuesta elástica para las simulaciones con $C=1$. Se muestra la mediana de 500 simulaciones y los percentiles 16 y 84. El PGA en cm/s^2 ("Peak Ground Aceleración") es el valor máximo de aceleración. El área en amarillo del mapa de Quito es la zona central del valle formada por depósitos lacustres. Para cada uno de los acelerogramas simulados, se encontró el espectro de respuesta elástica, el cual describe la respuesta máxima de un oscilador amortiguado de una dimensión, afectado por un movimiento del suelo en función de la frecuencia natural del mismo. (Fig. 3).

Las estaciones FENY, PRAM, QTOE, y CIRC, al norte de la capital y que se hallan en la zona central del valle, tienen un espectro de respuesta similar con un valor máximo en los 0.26 s y un valor prácticamente constante de los 0.4 a los 1.4 s del período espectral, luego de esto, la aceleración espectral decae rápidamente. (Fig. 3). En las estaciones PRAM, FENY y QTOE, que están en el mismo tipo de zona geológica, se encuentran espectros de respuesta prácticamente iguales con un PGA entre 12 a 14 cm/s^2 y la máxima aceleración entre 37 y 41 cm/s^2 .

BELL difiere del resto de estaciones, al hallarse fuera de la depresión central, su mayor valor de aceleración de 48 cm/s^2 se encuentra alrededor de los 0.7 s.

La estación RUMI está situada en una quebrada, por lo que sus valores son muy diferentes. LILI, que es la estación al sur de Quito, en la zona central del valle, posee un PGA de 29 cm/s^2 y un máximo valor de amplificación espectral de 99 cm/s^2 .

Comparación con las leyes de atenuación seleccionadas (GMPE)

Hasta este momento no existen *Ground Motion Prediction Equations* (GMPEs), publicadas en revistas internacionales para Ecuador. Por esta razón, se utilizaron para comparar los resultados, los modelos de Ambraseys *et al.* (2005) y Chiou, B.S.-J., and Youngs (2006), creados a partir de datos de otras regiones del mundo y que corresponden al contexto sismotectónico de un terremoto en una región activa con sismicidad superficial. Estos dos modelos arrojaron resultados prácticamente idénticos, por lo que sólo se mostrarán las comparaciones con el de Ambraseys (2005).

Las características de los espectros de respuesta para las estaciones del norte de Quito se presentan en la estación CIRC (Fig. 4a). Ésta tiene un valor de aceleración espectral menor que el promedio de la GMPE para los períodos bajos, menores que 1s, un PGA inferior y valores muy cercanos al valor medio predicho para 1 seg en adelante. La estación al sur, LILI (Fig. 4b), posee valores mayores al valor medio de la relación a partir de $T=1$ s y amplificación a períodos de 0.25 y 1.5s. El espectro de respuesta de las estaciones de la cuenca del norte y sur se encuentra en los valores comprendidos en una desviación estándar.

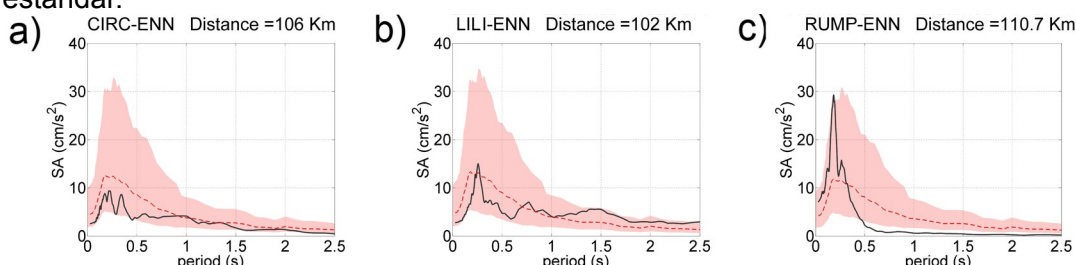


Figura 4. Espectro de respuesta del sismo estudiado de Mw 5.1 para la componente NS. La línea negra es el espectro de respuesta elástica del sismo y la línea cortada en rojo, el valor medio predicho por el GMPE Ambraseys (2005), la figura en rojo representa los valores más menos una desviación estándar.

La estación RUMI (Fig. 4.c), que es la que posee una mayor amplificación, tiene un PGA en el rango predicho por Ambraseys y una amplificación en los 0.2 seg. Luego, este espectro cae a valores inferiores a los de la GMPE.

Resultados para un evento de magnitud Mw 7.1 con C entre 1,3 y 4,6

En el epígrafe 4. de este trabajo investigativo se mostraron los resultados de la simulación con una caída de esfuerzo común entre el evento ocurrido y el simulado, $C=1$. En esta ocasión, se realiza una segunda simulación donde se propone un valor de C entre 1,3 y 4,6 que equivale a un tiempo de ruptura entre 14 y 20 seg (Alfonso-Naya 2010), que son valores esperados para un terremoto de Mw 7.1. Se simularon 2000 espectros de respuesta en la componente NS de cada estación, para el rango de C. Los resultados para el valor medio del PGA se indican en la Tabla 1. En la (Fig. 5) se comparan los resultados de la simulación con la ley de atenuación de Ambraseys.

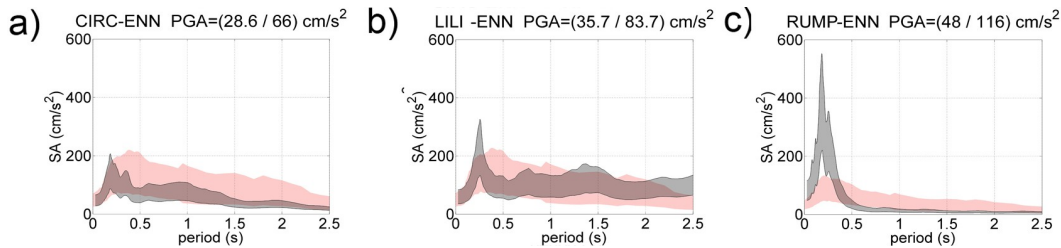


Figura 5. Franja gris, rango de valores de la simulación, en rojo, ley de atenuación de Ambraseys más menos una desviación estándar, el rango del PGA se encuentra en la parte superior. (a) El espectro simulado para las estaciones de la zona central del norte de Quito. (b) Estación del sur, el rango de valores de la simulación coincide con lo predicho por la ley de Ambraseys. (c) La estación RUMI con fuerte amplificación.

	CIRC	LILY	BELL	QTOE	FENY	RUMI	PRAM	QUEM
PGA (cm/s ²)	43	58	31	25	26	57	27	165

Tabla 1. Valor medio del PGA para 2000 simulaciones, componente horizontal.

Discusión

La mayoría de los valores del período donde es máxima la aceleración espectral (Fig. 3), se encuentran alrededor de 0.26 segundos (4 Hz). Lo que concuerda con lo que se halló como la frecuencia de mayor amplificación en la zona central de depósitos lacustres (Gueguen et al., 2000).

En la estación LILI, del sur de Quito (Fig. 5b), se observa que a altos períodos los valores de la aceleración espectral del sismo simulado son mayores que los predichos por las leyes de atenuación, lo contrario ocurre con las estaciones del norte (Fig. 5a). El mismo efecto se produce con el sismo original (Fig. 4), por tal razón, los edificios de mayor altura, que tienen un período mayor, serían afectados con más intensidad por un sismo, en la zona sur de Quito.

Conclusiones

El sismo simulado afectaría a Quito con una aceleración máxima entre 25 y 165 cm/s² y se sentiría más en los edificios de uno a tres pisos. El pequeño evento utilizado para la simulación se encontraba muy lejos de la ciudad, para crear un posible escenario de daños en Quito. En este estudio se utiliza, por primera vez en Ecuador, el método de funciones de Green empíricas, para simular los efectos de un sismo de gran magnitud. Los resultados son más realistas que las relaciones de atenuación, ya que tienen en cuenta los efectos de sitio y de propagación regional. Este método se puede utilizar cada vez que ocurra un sismo moderado en las cercanías de Quito, para calcular mapas de intensidad o probar la dinámica de cómo respondería un edificio específico a los acelerogramas obtenidos con el método.

Referencias

- Alfonso-Naya V. (2010). El riesgo sísmico en Quito: Análisis y simulaciones. Tesis de Maestría, Université de Nice-Sophia Antipolis.
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Sarma, S.K. & Smit, P.M. (2005). Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **3**,1-53, DOI: 10.1007/s10518-005-0183-0.
- Chiou, B.S.-J., and Youngs, R.R. (2006), Chiou and Youngs PEER-NGA Empirical Ground Motion Model for the Average Horizontal Component of Peak Acceleration and Pseudo-Spectral Acceleration for Spectral Periods of 0.01 to 10 Seconds, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley, California.
- Gueguen, P. Chatelain, J.-L. Guillier, B. Yepes, H. (2000). An indication of the soil topmost layer response in Quito (Ecuador) using noise H/V spectral ratio. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **19** (2000) 127–133.
- Hartzell, S. (1978). Earthquake aftershocks as Green's functions, *Geophys. Res. Lett.* **5**, 1–4.
- Kohrs-Sansorny C, Courboux F, Bour M, Deschamps A (2005). A two-stage method for ground-motion simulation using stochastic summation of small earthquakes. *Bull Seismol Soc Am* **95**:1387–1400.
- Mercier de Lepinay, B., A. Deschamps, F. Klingelhoefer, Y. Mazabraud, B. Delouis, V. Clouard, Y. M. Hello, J. Crozon, B. Marcaillou, D. Graindorge, M. Vallée, J. Perrot, M.-P. Bouin, J.-M. Saurel, P. Charvis, and M. St-Louis (2011), The 2010 Haiti earthquake: a complex fault pattern constrained by seismologic and tectonic observations, *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2011GL049799, in press.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
INSTITUTO GEOFÍSICO



7 mas **Jornadas**
en **Ciencias**
de la Tierra
y I **Encuentro**
sobre Riesgos y
Desastres

23 - 25 de Noviembre de 2011, Quito



PETROAMAZONAS EP



Memorias de las 7 mas Jornadas en Ciencias de la Tierra
Editado por: Dr. Daniel Andrade Varela
Publicado por: Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
Diagramación: Equator Meetings S.A., www.equatormeetings.com
Año: 2011
ISBN: 978- 9978-383-17-9