

Escenarios sísmicos en la isla de Tenerife (Canarias): Aplicación a los emplazamientos de los paleo-deslizamientos de Güímar y La Orotava.

Seismic scenarios for Tenerife (Canary Islands): Application to Güímar and La Orotava paleo-landslides sites

J. García-Mayordomo¹, J. Seisedos¹, J.M. Insua Arévalo² y L.I. González de Vallejo²

- 1 Instituto Geológico y Minero de España (IGME), c/La Calera, 1 Tres Cantos (Madrid) 28760 julian.garcia@igme.es, j.seisedos@igme.es
2 Cátedra de Ing. Geológica, Fac. de CC. Geológicas (UCM), C.Universitaria, s/n Madrid 28040 insuarev@geo.ucm.es, vallejo@geo.ucm.es

Resumen: El objetivo de este trabajo es proveer las bases adecuadas para considerar el factor sísmico en un análisis retrospectivo de la estabilidad de los grandes paleo-deslizamientos de Güímar y La Orotava (Tenerife). En primer lugar, se calcula la peligrosidad sísmica en ambos emplazamientos en términos de aceleración máxima horizontal y se analiza la contribución particular de las fuentes sismogénicas a la peligrosidad total. En segundo lugar, se realiza un análisis de desagregación y se analiza la contribución parcial a la peligrosidad total por pares magnitud-distancia. En base a los resultados obtenidos se proponen tres escenarios sísmicos diferentes para cada emplazamiento, cada uno definido por un terremoto de magnitud, distancia y origen tectónico/volcánico dado. Los resultados obtenidos del cálculo de la peligrosidad pueden ser empleados en un análisis de estabilidad pseudoestático simple. Para un análisis dinámico complejo la selección de acelerogramas reales puede realizarse de acuerdo a los escenarios propuestos en este trabajo.

Palabras clave: Estabilidad, laderas, terremotos, peligrosidad sísmica, volcanismo.

Abstract: This work aims to provide the basis for considering the seismic input in performing a stability back-analysis at Güímar and La Orotava paleo-landslide sites (Tenerife). First, seismic hazard in terms of peak ground acceleration is calculated for each site, and source contribution is analysed. Secondly, we perform a hazard deaggregation calculation and the different contribution of magnitude-distance pairs is analysed. Based on the results we proposed three different seismic scenarios at each site, each one characterizing the magnitude, distance, and tectonic/volcanic origin of the earthquakes. Our hazard results can be used to perform a simple pseudostatic analysis. To perform a dynamic complex analysis the selection of real accelerograms can be based on the seismic scenarios presented here.

Key words: Stability, slopes, earthquakes, Spain, seismic hazard, volcanism.

INTRODUCCIÓN

Los grandes deslizamientos son procesos relativamente comunes que tienen lugar durante el crecimiento y evolución de las islas volcánicas oceánicas. Algunos de los mejores ejemplos mundiales se encuentran en el Archipiélago Canario. Entre ellos destacan los de Güímar y La Orotava, localizados en la Dorsal NE de la isla de Tenerife.

Los valles de Güímar y La Orotava (Fig. 1) son grandes depresiones de fondo plano flanqueadas por escarpes de fuertes pendientes. En la actualidad, se acepta que estos valles fueron generados por grandes deslizamientos ocurridos hace cientos de miles de años (e.g., Navarro y Coello, 1989). Entre los numerosos factores potencialmente desencadenantes (e.g., intrusión de diques, erupciones explosivas, alteración hidrotermal, existencia de capas de baja resistencia, etc...) la sismicidad –tanto de origen tectónico como magmático– es uno de los más relevantes.

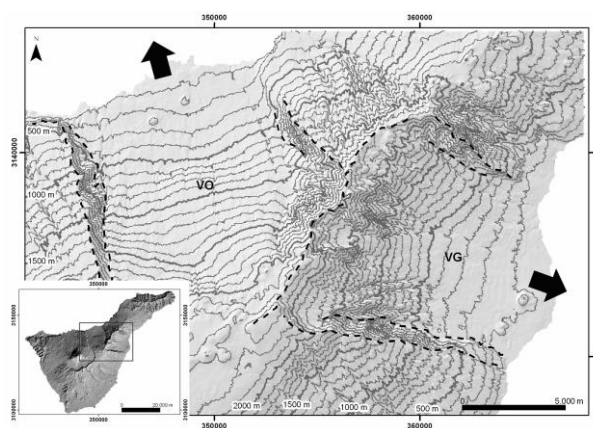


FIGURA 1. Localización de los valles de Güímar (VG) y La Orotava (VO) en Tenerife. En línea punteada se indican los escarpes principales. Adaptada de Seisedos (2007).

Para analizar la importancia del factor sísmico es necesario, en primer lugar, contar con un estudio de peligrosidad sísmica y, posteriormente, según la complejidad requerida, ejecutar un análisis de estabilidad pseudoestático o dinámico complejo. El

objetivo de este trabajo es proveer las bases adecuadas para poder realizar ambos análisis. En el primer caso, obtener los valores de aceleración máxima horizontal (*Peak Ground Acceleration*, PGA) para diferentes periodos de retorno y, en el segundo caso, proponiendo escenarios sísmicos concretos que sirvan de base para una posterior selección de acelerogramas reales.

PELIGROSIDAD SÍSMICA EN GÜÍMAR Y LA OROTAVA

Para el cálculo de la peligrosidad sísmica se ha tomado como base el estudio de González de Vallejo et al. (2006). En este estudio se definen tres fuentes sismogénicas, modelizadas como zonas (ver Fig. 2). En las zonas 1 y 2 se admite la ocurrencia de sismicidad baja a moderada ($M_{Wm\acute{a}x}=6.0$), independientemente de su origen volcánico o tectónico; mientras que la Zona 3 define el área donde es previsible la ocurrencia de terremotos tectónicos de magnitud moderada a grande ($M_{Wm\acute{a}x}=6.8$) debido a la presencia de la falla responsable de la serie sísmica de 1989 ($m_{blg}=5.2$) (Mezcua et al., 1992). Los cálculos se realizaron en términos de magnitud y empleando la función de atenuación hawaiana de la PGA (Munson and Thurber, 1997). La peligrosidad se calculó para dos emplazamientos localizados en el punto central de los valles de Güímar y La Orotava, con coordenadas $16.428^{\circ}W-28.333^{\circ}N$ y $16.543^{\circ}W-28.370^{\circ}N$, respectivamente.

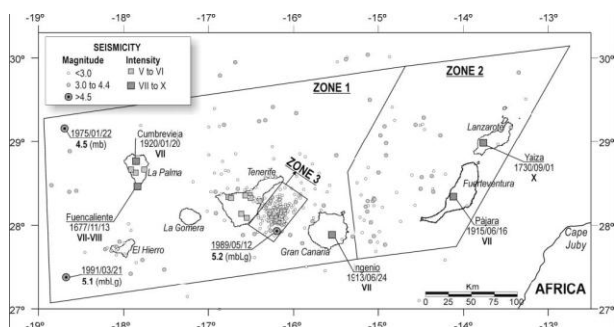


FIGURA 2. Sismicidad del archipiélago Canario con indicación de las principales terremotos y las zonas sismogénicas referidas en el texto. Tomada de González de Vallejo et al. (2006).

La peligrosidad sísmica en Güímar y La Orotava presenta importantes diferencias, tanto en términos totales como en relación con el aporte particular de cada zona sismogénica a la peligrosidad total (Fig. 3). En términos globales, la peligrosidad en Güímar es ligeramente superior a La Orotava, incrementándose esta diferencia con el periodo de retorno. Este aumento de peligrosidad sísmica relativo es consecuencia del incremento gradual del aporte de la Zona 3, donde, a partir aproximadamente del periodo de retorno 1500 años, constituye la fuente principal, y, en el periodo de retorno 2500 años su aporte ya es aproximadamente tres veces mayor que el de la Zona 1 (Tabla I). En La Orotava, la distribución parcial de los aportes a la peligrosidad total es diferente. La Zona 3 constituye la principal fuente sismogénica a partir del periodo de retorno de 3000 años y, en cualquier caso, este aporte

llega como máximo a ser el doble que el de la Zona 1 en el periodo de retorno de 10.000 años (Tabla I).

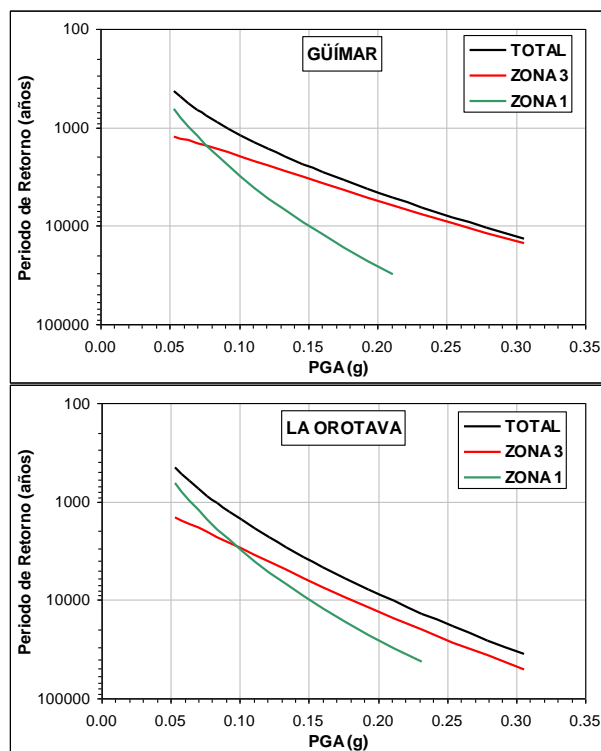


FIGURA 3. Curvas de peligrosidad sísmica en los valles de Güímar (arriba) y La Orotava (abajo). Se representan las curvas de peligrosidad total y las curvas parciales de aporte de cada zona sismogénica (ver Fig. 2). Nótese que el aporte de la Zona 2 es nulo.

Periodo de Retorno (años)	PGA en roca (g)		Ratio: Zona 3/Zona 1	
	Güímar	Orotava	Güímar	Orotava
500	0.06	0.06	0.6	0.5
1000	0.09	0.08	1.3	0.8
2500	0.15	0.13	2.9	1.3
5000	0.21	0.16	4.9	1.7
10.000	0.27	0.21	7.1	2.0

TABLA I. Valores de PGA horizontal en roca para periodos de retorno particulares, con indicación del ratio de aporte a la peligrosidad total de la Zona 3 sobre la Zona 1.

DESAGREGACION DE LA PELIGROSIDAD

La técnica de la desagregación de la peligrosidad consiste en determinar el aporte parcial a la peligrosidad total del espectro de pares magnitud-distancia posibles, para diferentes niveles de PGA asociados a un determinado periodo de retorno. Los pares magnitud-distancia con mayor contribución en cada emplazamiento constituirán, posteriormente, la base sobre la que definir los escenarios sísmicos. El cálculo de la desagregación ha sido realizado con el programa CRISIS (Ordaz et al., 2003).

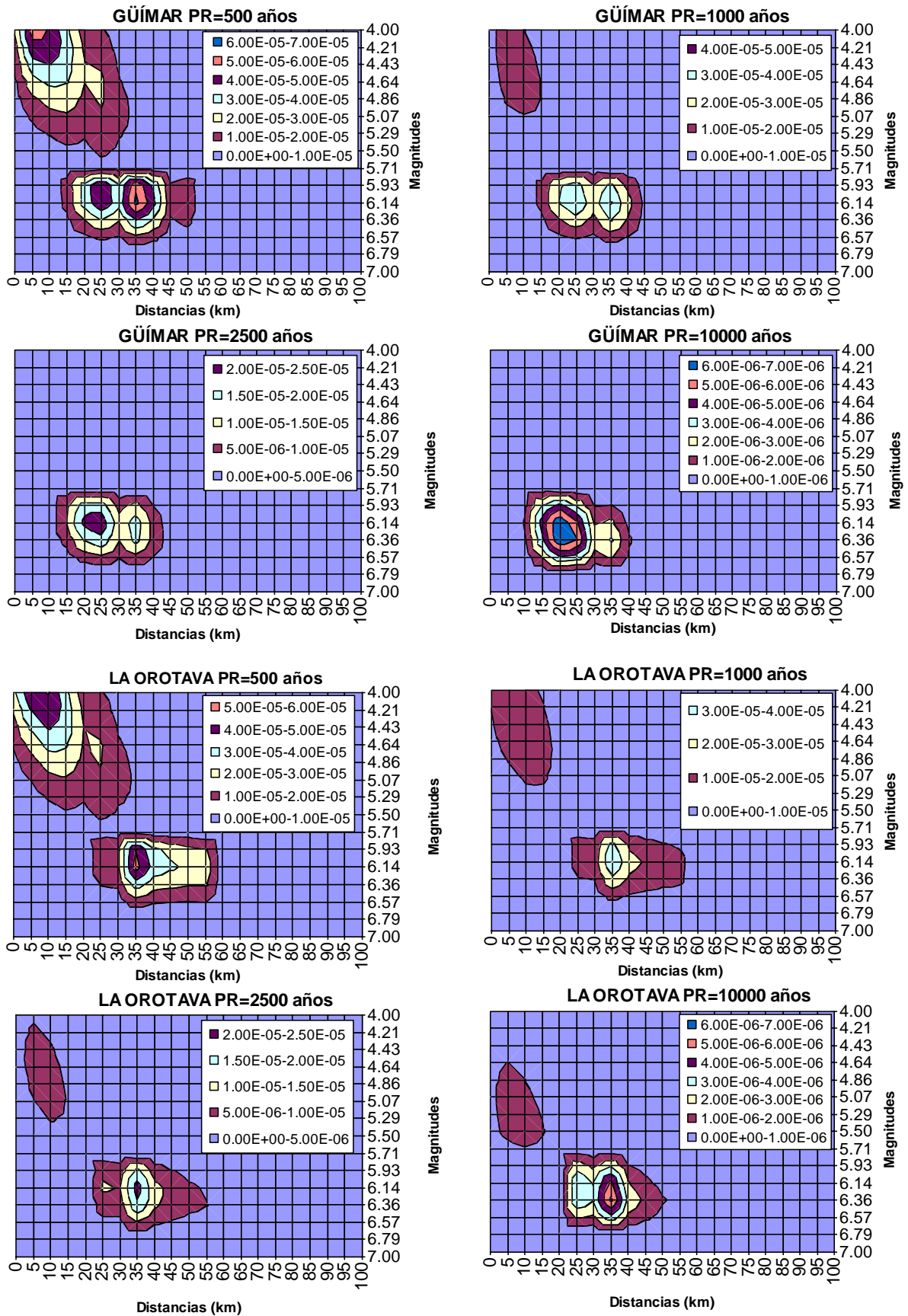


FIGURA 4. Representación del aporte parcial de pares magnitud-distancia a la tasa anual de excedencia de la PGA (ver Tabla 1) para diferentes periodos de retorno en Güímar (arriba) y La Orotava (abajo).

Para los periodos de retorno 500 y 1000 años destaca el aporte significativo de terremotos de magnitud baja (4.0-4.4) a distancias cortas (5-10 km) (“terremotos cercanos”). Este aporte siempre es más importante en el caso de La Orotava, mientras que en Güímar, el aporte de terremotos de magnitud moderada (5.9-6.1) y moderada a grande (6.1-6.4) a distancias largas (20-25 y 35 km, respectivamente) (“terremotos lejanos”) es, en conjunto, siempre más importante que el de terremotos cercanos. A partir del periodo de retorno 2500 años el aporte de terremotos cercanos deja de ser significativo en ambos casos. Para periodos de retorno más altos (5000 y 10000 años) el aporte mayoritario se produce siempre por terremotos lejanos de magnitud moderada a grande (6.1-6.4) localizados a una distancia de 20-25 y 35 km, para Güímar y La Orotava, respectivamente.

DEFINICIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS

Sobre la base de los resultados alcanzados anteriormente proponemos tres tipos fundamentales de escenarios (Tabla III). El primero, o escenario tipo 1, está basado en los resultados obtenidos para los periodos de retorno de 500 y 1000 años, y comprende la ocurrencia de terremotos relativamente frecuentes. El segundo, o escenario tipo 2, está basado en los resultados obtenidos para los periodos de retorno de 5000 y 10000 años, y comprende la ocurrencia de terremotos relativamente grandes y poco frecuentes. Por otra parte, también se puede definir un escenario determinista, representado por el peor caso posible, interesante para analizar la estabilidad en la situación más extrema.

	GÜÍMAR		LA OROTAVA	
	Mw	Dist. (km)	Mw	Dist. (km)
ESCENARIO 1	4.4	5	4.4	5
	6.1	25	6.1	35
ESCENARIO 2	6.4	20	6.4	25
DETERMINISTA	6.0	0	6.0	0
	6.8	13	6.8	24

TABLA III. Escenarios sísmicos propuestos para Güímar y La Orotava.

El escenario tipo 1 comprende dos tipos de terremotos diferentes, uno de magnitud pequeña situado en las inmediaciones del emplazamiento, y otro de magnitud mayor situado a cierta distancia. Es importante considerar ambos tipos de terremoto puesto que el contenido frecuencial del movimiento producido por uno u otro puede ser muy diferente. El terremoto pequeño y cercano, dada su magnitud y su ocurrencia en las inmediaciones del emplazamiento, tiene como origen más probable un evento magmático (cf. Zobin, 2007) asociado a la Zona 1. Por el contrario, el terremoto de magnitud mayor y más lejano, tiene su origen en la Zona 3 (ver Figs. 2 y 3) y, por tanto, en relación con la falla situada entre Gran Canaria y Tenerife. El terremoto del escenario 2, de igual modo, tiene origen en la Zona 3.

Finalmente, el escenario determinista estaría representado por los terremotos máximos posibles en las zonas 1 y 3. El primero de éstos puede atribuirse a un evento volcánico de carácter explosivo en el propio edificio o en sus inmediaciones. El segundo, a un evento tectónico máximo relacionado con la falla situada entre Gran Canaria y Tenerife.

CONCLUSIONES

La peligrosidad sísmica en Güímar y La Orotava está controlada, para periodos de retorno relativamente bajos (500-1000 años), por terremotos pequeños ($M_w=4.0-4.4$) presumiblemente de origen magmático y, por terremotos de tamaño moderado a grande ($M_w=5.9-6.4$) cuyo origen más probable es tectónico en relación con la falla situada entre Gran Canaria y Tenerife. Para periodos de retorno mayores (5000 a 10000 años) la peligrosidad en ambos emplazamientos está controlada por terremotos de magnitud grande ($M_w=6.1-6.4$) de origen tectónico relacionados con la mencionada falla.

Para realizar un análisis de estabilidad por el método pseudoestático pueden usarse los resultados del cálculo de la peligrosidad en términos de PGA (Tabla I). La selección de acelerogramas reales para un análisis dinámico complejo puede basarse en los parámetros de magnitud y distancia de los tres escenarios sísmicos establecidos (ver Tabla III) además del origen presumible del terremoto, tectónico o magmático.

REFERENCIAS

- González de Vallejo L.I., García-Mayordomo J. and Insua J.M. (2006): Probabilistic Seismic-Hazard Assessment of the Canary Islands. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(6): 2040-2049.
- Mezcua, J., Buforn, E., Udías, A. and Rueda, J. (1992): Seismotectonics of the Canary Islands, *Tectonophysics*, 208: 447-452.
- Munson, C.G. and Thurber, C.H. (1997): Analysis of the attenuation of strong ground motion on the island of Hawaii. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 87 (4): 945-960.
- Navarro J.M. and Coello, J. (1989): Depressions originated by landslide processes in Tenerife. ESF Meeting on Canarian Volcanism, Cabildo insular de Lanzarote. Abstract, 150-152.
- Ordaz M., Aguilar A. and Arboleda J. (2003): CRISIS 2003 ver. 3.1.0. Program for Computing Seismic Risk, Instituto de Ingeniería, UNAM, Mexico City.
- Seisdedos, J. (2007). Análisis geomecánico de los grandes paleo-deslizamientos de flanco en Tenerife. En: II Semana de Jóvenes Investigadores del IGME (Bermúdez, D., Najarro, M. y Quesada, C. eds.), Publicaciones del IGME, 157-160.
- Zobin, V.M. (2007): Seismic hazard of volcanic activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 112:1-14.