

Capítulo 5

Distribución de la Aceleración Pico en la Zona de Estudio

5.1 Generalidades

Como se explicó anteriormente, el sismo que se espera en la Península de Nicoya es del tipo de subducción de placas. Este sismo se produciría al liberarse la energía generada como producto de la subducción de la Placa de Cocos en la del Caribe.

Si se quiere estimar el daño de la infraestructura ante la ocurrencia de un sismo determinado es necesario conocer la aceleración pico a la que estará sometida, para luego determinar el comportamiento de la estructura ante esta demanda sísmica.

Para poder predecir la aceleración pico que produciría un sismo de subducción en los lugares aledaños a la zona de ruptura se han llevado a cabo diversas investigaciones en los últimos años. La más reciente de ellas es la de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey, publicada en enero de 1997.

En el trabajo de graduación desarrollado por Bravo y Calvo (Ref. 4), se utiliza esta metodología para determinar la distribución de la aceleración pico en la zona de la Península de Nicoya.

Es importante aclarar que la distribución de aceleraciones es una variable muy importante para la generación de los mapas de susceptibilidad de licuación y deformaciones permanentes del terreno por deslizamientos, por lo que es de especial interés aclarar el procedimiento seguido para su cálculo.

A continuación se presenta una descripción de las relaciones de atenuación propuestas por Youngs para la generación de los mapas de distribución de la aceleración pico para nuestra zona de estudio.

5.2 Relaciones de atenuación de Youngs et al

Cuando la onda sísmica se propaga por los diferentes estratos de suelo o roca, ocurre una disipación de energía sísmica, a la cual se le conoce con el nombre de atenuación.

Para poder explicar este fenómeno, se han desarrollado relaciones como las propuestas por Youngs et al. (Ref. 28) en las que se correlaciona la aceleración pico en un lugar cercano a la zona de ruptura con una serie de variables como lo son: el tipo de material que se encuentra en el lugar de interés, la distancia a la zona de ruptura y las características del sismo que produjo esta aceleración.

Esta metodología contempla dos tipos de sismos de subducción: sismos de interfase y sismos de intraplaca. Los sismos de subducción interfase presentan ángulos de subducción poco pronunciados y los eventos sísmicos ocurren en los bordes de las dos placas. Algunos ejemplos de estos eventos son el terremoto de Alaska de 1964 (M 9.2), y los terremotos de 1985 en Valparaíso, Chile y Michoacán , México (M 8.0).

Los sismos intraplaca ocurren en el interior de la placa oceánica y usualmente presentan ángulos de subducción pronunciados y placas de subducción sometidas a tensión. Algunos ejemplos son los terremotos de 1976 en Tangshan (China), el de 1993 en Marathawada (India) y los de 1949 (mb 7.1) y 1965 (Ms 6.5) ocurridos en Washington, Estados Unidos. Como se explicará adelante, esta diferenciación entre sismos de intraplaca e interfase es de especial importancia en la determinación de la aceleración pico para la zona de estudio análisis.

Las relaciones para determinar la aceleración horizontal pico (PGA) para los terremotos de subducción fueron desarrolladas haciendo un análisis de regresión para datos recopilados en terremotos pasados. Los resultados que producen estas relaciones se consideran apropiados para terremotos de magnitud M 5.0 y mayores; y para distancias a la zona de ruptura que van de los 10 a los 500 kilómetros. Es necesario que se cumplan estas premisas para el terremoto de Nicoya para poder tener confiabilidad en los valores de aceleración. La magnitud del terremoto que se ha pronosticado es de M 7.5 y la zona de estudio comprende distancias menores a los 500 kilómetros, por lo que es aplicable el análisis de Young al caso particular del Terremoto de Nicoya.

En estas relaciones se presentan variables que identifican las diversas situaciones contempladas en el análisis de datos: Z_i indica el tipo de fuente sísmica (vale 0 para sismos de interfase y 1 para intraplaca), Z_{ds} indica que existe un estrato de suelo (vale 1 si hay suelo y 0 si no), Z_r indica si existe roca (cuando hay roca vale 1 y cuando no la hay es 0). La ecuación básica se presenta a continuación.

$$\ln(PGA)_{ij} = C_1^* + C_2^* M_i + C_3^* \ln \left[(r_{rup})_{ij} + e^{\frac{C_4^* - C_2^* M_i}{C_3^*}} \right] + C_5 Z_i + C_9 H_i + C_{10} Z_{ss} + \eta_i + \varepsilon_{ij}$$

Ecuacion 5.1

$$C_1^* = C_1 + C_6 Z_r$$

$$C_3^* = C_3 + C_7 Z_r$$

$$C_4^* = C_4 + C_8 Z_r$$

donde i es el índice del terremoto, j es el índice de la estación, la PGA es la aceleración pico en porcentaje de la gravedad, M es la magnitud de momento, r_{rup} es la distancia a la fuente sísmica en kilómetros, H es la profundidad focal en kilómetros y C_k con $k=1..10$ son coeficientes determinados por el análisis de regresión.

Recientemente, el modelo original ha sido ajustado y separado en dos ecuaciones, una para roca y la otra para suelo, las cuales presentan la aceleración para un amortiguamiento del 5%. Estas ecuaciones se muestran a continuación.

para roca:

$$\ln(\gamma) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818e^{0.554M}) + 0.00607H + 0.3846Z_i$$

Ecuación 5.2

para suelo:

$$\ln(\gamma) = 0.6687 + 1.438M + C_1 + C_2(10-M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.097e^{0.617M}) + 0.00648H + 0.3643Z_i$$

Ecuación 5.3

donde,

	Roca	Suelo
C_1	0.0	0.0
C_2	0.0	0.0
C_3	-2.552	-2.329
C_4	1.45	1.45
C_5	-0.1	-0.1
Y	Aceleración pico del terreno	
M	Magnitud de momento	
r_{rup}	Distancia más cercana a la zona de ruptura	
H	Profundidad en kilómetros	
Z_t	Tipo de fuente sísmica	

Y la desviación estándar es $C_4 + C_5 M$

Como se mencionó anteriormente el valor de Z_t varía según la naturaleza de la fuente sísmica y vale 1 para sismos intraplacas y 0 para sismos de interfase. En la Figura 5.1 se muestran tres gráficas en las que los puntos representan las aceleraciones pico medidas a diferentes distancias de la fuente sísmica. Se muestran tres juegos de datos correspondientes a sismos de magnitudes $M 7.0$, $M 8.0$ y $M 8.5$. También se gráfica la predicción del modelo planteado por Youngs et al. Como se observa en la figura, ninguna de las dos líneas se ajusta completamente a los puntos producidos en la simulación, sin embargo se nota que para un rango de distancias el sismo interfase se ajusta bastante bien a los datos, mientras que para distancias mayores es el sismo intraplaca el que mejor representa la realidad. Recordando que el sismo pronosticado en la Península de Nicoya es de magnitud $M 7.5$ se debe buscar el punto de cambio entre las dos primeras gráficas. Buscando un punto de cambio intermedio al que se observa para sismos $M 7$ y $M 8$, se obtiene que para distancias menores a los 50 kilómetros de la fuente sísmica, el comportamiento interfase se adapta satisfactoriamente, mientras que para distancias mayores es el sismo intraplaca el que mejor se adapta a la realidad. Se debe recordar que el modelo de Youngs et al. pierde precisión para distancias mayores a los 500 kilómetros de la fuente sísmica.

Las ecuaciones 5.2 y 5.3 son las que dan lugar a los Mapas 5.2. Para generar esta distribución de aceleraciones, se utilizó el criterio explicado anteriormente. Para distancias menores a los 50 km se utilizó Z_1 igual a uno y para distancias mayores Z_1 igual a cero.

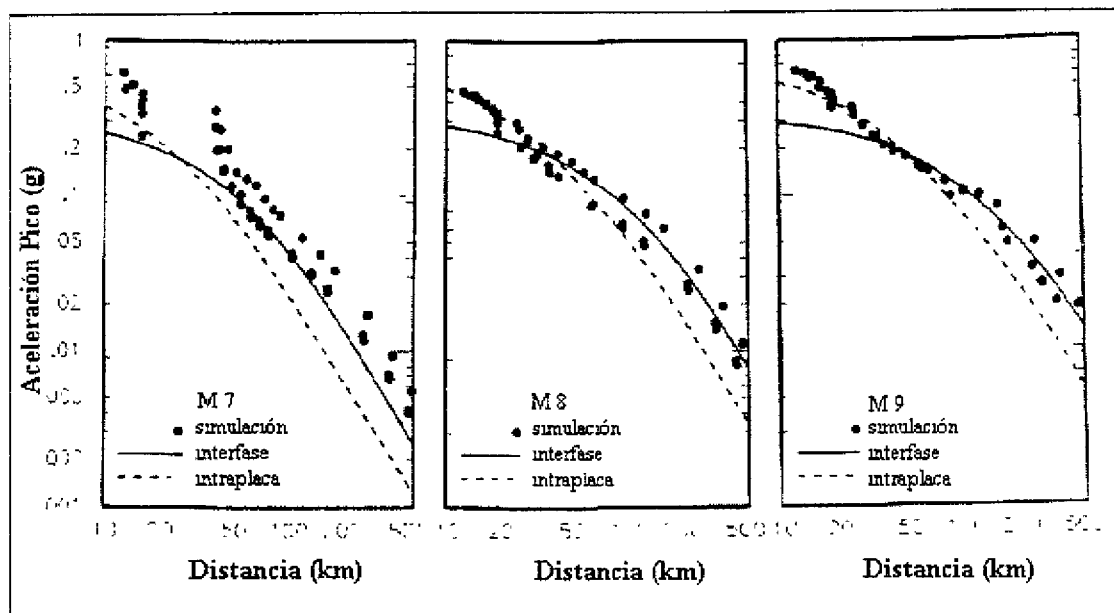
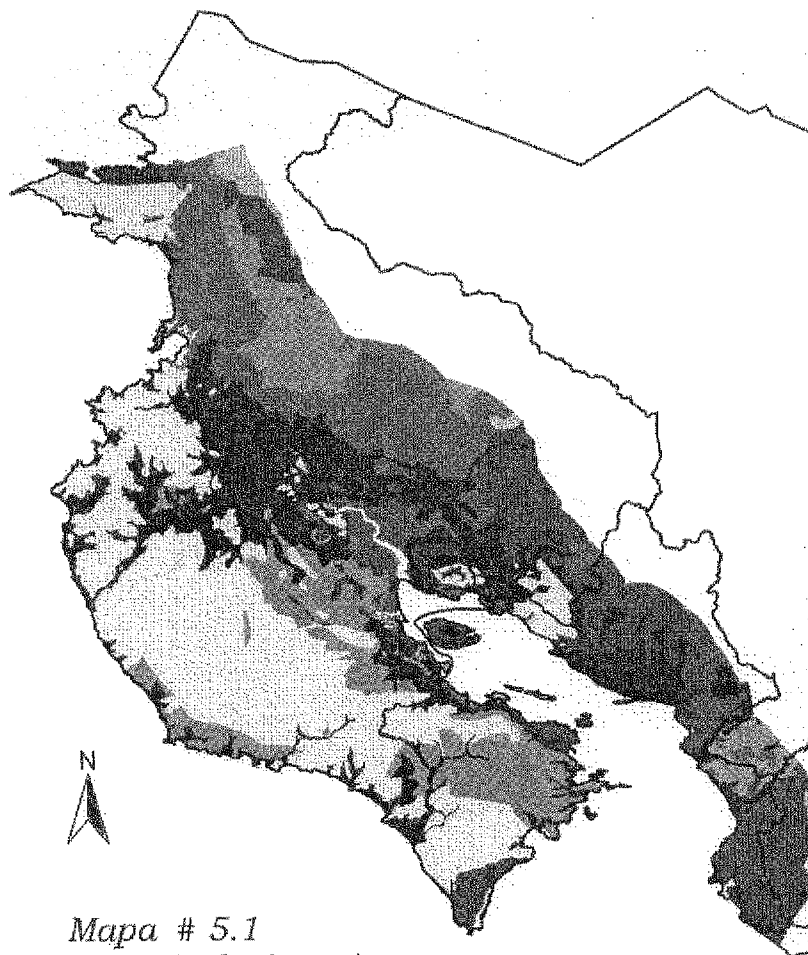


Figura 5.1 Comportamiento de la ecuación de Youngs (adaptado de la Ref. 28)

Para poder aplicar las ecuaciones anteriores es necesario definir las formaciones geológicas a las que se le aplica la ecuación para suelo. Las formaciones Qa (manglares y pantanos) y la Qal (depósitos aluviales) son consideradas como suelo, mientras que todas las demás se consideran como roca.

De esta forma se le aplican las ecuaciones a las zonas correspondientes del Mapa Geológico de Costa Rica (Mapa 5.1) y se obtiene la distribución de aceleraciones que se muestra en el Mapa 5.2. Como se puede observar la Ciudad de Santa Cruz presenta aceleraciones mayores a $0,5g$, las cuales se deben a que el suelo está formado por depósitos aluviales que tienden a producir un fenómeno de amplificación de la onda sísmica. El Mapa 5.3 muestra con más detalle las altas aceleraciones que se presentan en Santa Cruz, las cuales van a ser determinantes en el cálculo de los daños para las estructuras de esa Ciudad.



Mapa # 5.1
Formaciones Geológicas de
la Zona de Estudio



Diagrama de
Ubicación

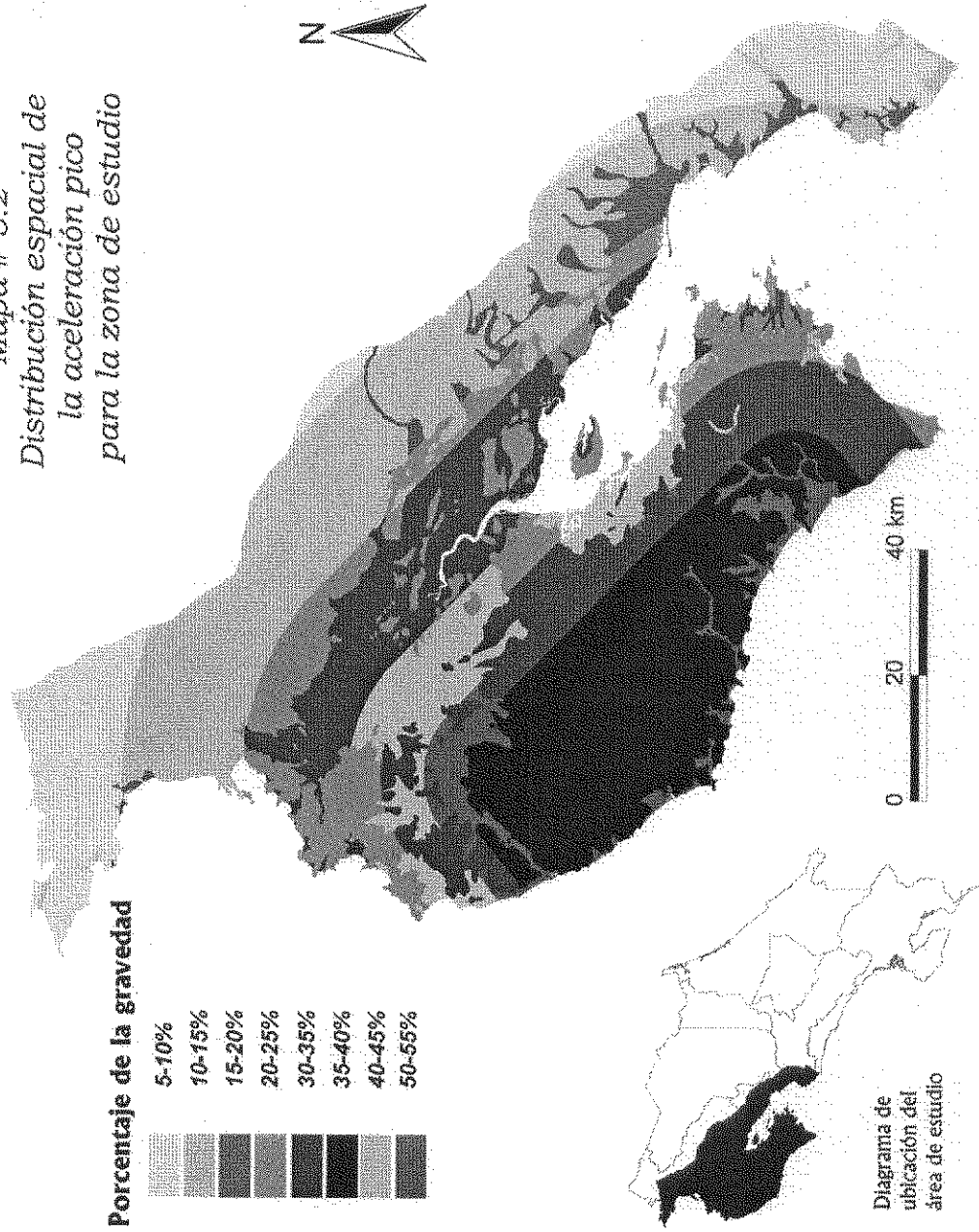
Formaciones Geológicas

- Qal
- Qa
- Qv
- Qv1
- Qv2
- Tep
- Tm
- Tmi
- Tmp

- To
- Tom
- Tp
- Tpi
- Tpq
- TT
- Tva
- K
- Kp
- Ki
- Kvs

Realizado por:
J.P. Montenegro
A. Trezza 5-6

*Mapa # 5.2
Distribución espacial de
la aceleración pico
para la zona de estudio*



--- Considera corrección por factor α a los 50 km