

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ESPECTROS PARA EL DISTRITO METROPOLITANO
DE QUITO ASOCIADOS A LAS FALLAS DE: QUITO Y
NANEGALITO.**

PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

**DAISSY GUADALUPE
QUISHPE CHIMARRO**

**MAGALY POLETH
QUISHPE CHIMARRO**

SANGOLQUÍ, NOVIEMBRE DE 2011

RESUMEN

El presente estudio de investigación se enfoca en la obtención de espectros para el Distrito Metropolitano de Quito asociado a las principales falla que pueden afectar a la ciudad por su cercanía, como son la falla Quito y la falla de Nanegalito. Los métodos utilizados en este estudio fueron los propuestos por: Abrahamson & Silva y Campbell & Bozorgnia. Además se complementó el estudio al colocar los espectros de diseño CEC 2000 y NEC-11 conjuntamente con los antes mencionados. De manera complementaria a este estudio se presenta la completitud del catálogo sísmico del cual se obtiene las ventanas de tiempo, las mismas que se emplean en el estudio de relación de recurrencia. En la obtención de la Relación de recurrencia se manejaron cuatro métodos: Gutenberg y Richeter, Cornell y Vanmarcke, Wesnousky, Zoller; para la obtención de la magnitud máxima esperada para un sismo raro y ocasional. También se actualizó la microzonificación de los suelos de Quito; teniendo en cuenta las quebradas rellenadas y zonas de licuefacción.

ABSTRACT

The current finding study focuses on the obtaining of spectrums for the Distrito Metropolitano de Quito associated with the main failures that affects the outskirts of the city, as are the Quito and Nanegalito failure. The used means on this study were the ones proposed by: Abrahamson & Silva and Campbell & Bozorgnia. Furthermore it supplemented to the study at setting the spectrums of CEC 2000 and NEC-11 design, jointly with the before mentioned. Of a complementary way to this study it shows the completeness of the sismical catalog of which it gets the time windows, the same as those used in the study of recurrence relation. In the obtaining of the Recurrence Relation it manages four methods: Gutenberg and Richeter, Cornell and Vanmarcke, Wesnousky, Zoller, for the obtention of the expected maximum magnitude for a rare and ocasional quake. Also it updated la microzonification of the Quito grounds, having in count the filled ravine and liquefaction zones.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la (las) Srta(s).
DAISSY GUADALUPE QUISHPE CHIMARRO y **MAGALY POLETH QUISHPE CHIMARRO** como requerimiento parcial a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**

Sangolquí, 7 de noviembre del 2011

Dr. Ing. Roberto Aguiar

Director de Tesis

Ing. Blanca Chávez

Codirector de Tesis

REVISADO POR

Ing. Jorge Zúñiga

Director de la Carrera de Ingeniería Civil

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis está dedicado a Dios y a mi papá Segundo, por su infinito amor.

Daissy Guadalupe Quishpe Chimarro

DEDICATORIA

Mi tesis dedico con mucho cariño principalmente a Dios que me dio la oportunidad de vivir junto a todas estas personas maravillosas que día a día me enseñan nuevas cosas. A mi familia, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora, en especial a mi PADRE que con sus virtudes, actitudes positivas, persistencia y lucha insaciable por cada uno de sus sueños ha hecho de él un gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general. A ti papá, que me enseñaste a no esperar a que algo o alguien me levante, sino a levantarme y seguir tras mis sueños.

A ellos este proyecto, que sin ellos, no hubiese podido ser.

Magaly Poleth Quishpe Chimarro

AGRADECIMIENTO

A mi padre por apoyarme siempre y ser ejemplo de vida.

A mi abuelita María que formó un padre ejemplar para mí.

A mi director de Tesis Dr. Roberto Aguiar por sus valiosos conocimientos y su paciencia en la realización de este proyecto de tesis.

A mi codirectora de Tesis Ing. Banca Chávez por su desinteresada colaboración en la realización de este proyecto de tesis.

A todos mis verdaderos amigos y en especial a ti Carlitos porque aunque te hayas ido tan súbitamente a mejor vida siempre te recordaré.

Y de manera especial a la Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Civil y el Centro de Investigaciones Científicas CEINCI-ESPE.

Daissy Guadalupe Quishpe Chimarro

AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradezco a nuestro director de tesis, Dr. Roberto Aguiar Falconí, quien a lo largo de este tiempo ha puesto a prueba nuestras capacidades y conocimientos en el desarrollo de este nuevo estudio, el cual ha finalizado llenando todas nuestras expectativas. A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mi en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza. Un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad, la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Y no puedo culminar sin antes decirles, que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tanta desveladas sirvieron de algo. Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a mi vida en el momento indicado y haber podido compartir momentos de alegría y tristeza. Momentos que me ayudaron a crecer y valorar la esencia de cada persona que llegó a mi vida.

Magaly Poleth Quishpe Chimarro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	II
CERTIFICACIÓN	III
DEDICATORIA.....	IV
Daissy Guadalupe Quishpe Chimarro	IV
DEDICATORIA.....	V
Magaly Poleth Quishpe Chimarro.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
Daissy Guadalupe Quishpe Chimarro	VI
AGRADECIMIENTO	VII
Magaly Poleth Quishpe Chimarro.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
LISTADO DE TABLAS	XIV
LISTADO DE FIGURAS.....	XVI
LISTADO DE ANEXOS.....	XXIII
1. SISMICIDAD HISTÓRICA DE QUITO.....	2
1.1 Sismos Históricos registrados antes de 1900.....	2
1.1.1 Sismo de 1541	2
1.1.2 Sismo de 1587	2
1.1.3 Sismo de 1660	3
1.1.4 Sismo de 1797	3
1.1.1 Sismo de 1868.....	4

1.2	Sismos Asociados a fallas Superficiales.....	5
1.2.1	Sismo de 1938.....	5
1.2.2	Sismos de 1998.....	7
1.3	Sismos de Subducción que pueden afectar a Quito.....	9
1.3.1	Sismo de 1942.....	9
1.3.2	Sismo del 2011.....	10
1.4	Relación de los sismos con fallas de: Quito y Nanegalito.....	11
2.	COMPLETITUD DE LA INFORMACIÓN SÍSMICA	13
2.1	Planteamiento del problema.....	13
2.2	Zonas Fuentes.....	16
2.2.1	Sismos Corticales o Cordilleranos.....	17
2.2.2	Sismos de Subducción o Interplaca.....	18
2.3	Método Gráfico.....	19
2.3.1	Descripción del Método Gráfico.....	19
2.3.2	Aplicación al Catálogo Sísmico del CEINCI-ESPE.....	20
2.3.3	Resultados del estudio de Completitud.....	25
2.4	Método Stepp.....	26
2.4.1	Descripción del Método Stepp.....	26
2.4.2	Aplicación al Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE.....	28
2.4.3	Resultados del estudio de Completitud.....	32
2.5	Ventanas de Tiempo.....	33
3.	RELACIONES DE RECURRENCIA.....	36

3.1	Relación de Gutenberg y Richter.....	36
3.2	Relación de Cornell y Vanmarcke.	41
3.2.1	Aplicación de la relación Cornell y Vanmarcke para Sismos Corticales o Cordilleranos.	42
3.2.3	Aplicación de la relación Cornell y Vanmarcke para Sismos de Subducción o Interplaca.	43
3.3	Relación de Wesnousky.	44
3.3.1	Aplicación de la relación de Wesnousky para Sismos Corticales o Cordilleranos.	45
3.3.2	Aplicación de la relación de Wesnousky para Sismos de Subducción o Interplaca.	45
3.4	Relación de Zoller.....	46
3.4.1	Aplicación de la relación de Zoller para Sismos Corticales o Cordilleranos.	47
3.4.2	Aplicación de la relación de Zoller para Sismos de Subducción o Interplaca.....	48
4.	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE QUITO	51
4.1	Estudio realizado en 1994	51
4.2	Estudio realizado en 2002	57
4.3	Quebradas de Quito.	59
4.4	Zonas de Inundaciones.	60
4.5	Zonas de Licuefacción.....	62
5.	FALLAS GEOLÓGICAS QUE PUEDEN AFECTAR A QUITO.....	65

5.1	Descripción de las Fallas Geológicas.....	65
5.1.1	Elementos.....	65
5.1.2	Características.....	66
5.1.3	Principales tipos de fallas.....	66
5.2	Fallas Ciegas de Quito.....	69
5.2.1	Falla de Quito.....	69
5.3	Fallas en el Campo Cercano.....	73
5.3.1	Falla de Nanegalito.....	73
5.3.2	Falla el Cinto.....	76
6.	OBTENCIÓN DE ESPECTROS.....	78
6.1	Método de Abrahamson y Silva.....	78
6.1.1	Base de Datos.....	78
6.1.2	Formulario.....	81
6.2	Método de Campbell y Bozorgnia.....	91
6.2.1	Base de Datos.....	91
6.2.2	Formulario.....	93
6.3	Aplicación del Método de Abrahamson y Silva a la Falla de La Cal.....	99
6.3.1	Falla de La Cal.....	99
6.3.1	Datos.....	101
6.3.2	Resultados.....	102
6.4	Aplicación del Método de Campbell y Bozorgnia a La Falla de La Cal....	103
6.4.1	Datos.....	103

6.4.2	Resultados	103
7.	ESPECTROS PARA QUITO	108
7.1	Espectros asociados a Falla de Quito.	108
7.1.1	Espectro Elástico, CEC-2000.....	108
7.1.2	Datos para la obtención de espectros asociados a la Falla de Quito... ..	110
7.1.2.1	Magnitud.	111
7.1.2.2	Clasificación de los tipos de suelo.	113
7.1.2.3	Ztor para Falla de Quito 31 a.	114
7.1.2.4	Ztor para Falla de Quito 31 b.	116
7.1.3	Resultados.	123
7.1.3.1	Resultados para período de retorno de 475 años, con Ztor 5km.	123
7.1.3.2	Resultados para período de retorno de 72 años, con Ztor 5km	132
7.2	Espectros asociados a Falla de Nanegalito.....	140
7.2.1	Espectro Elástico, NEC-11, primera versión.	140
7.2.2	Datos para la obtención de espectros asociados a la Falla de Nanegalito.	141
7.2.2.1	Magnitud.	141
7.2.2.2	Clasificación de los tipos de suelo.	142
7.2.2.1	Ztor.	146
7.2.3	Resultados.	150
7.2.3.1	Resultados para período de retorno de 475 años, con Ztor 0km.	150
7.2.3.2	Resultados para período de retorno de 72 años, con Ztor 0km	155

8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	159
8.1	Conclusiones.....	159
8.2	Recomendaciones.....	163
8.3	Bibliografía.....	165

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1: Resultados del estudio de completitud por el Método Gráfico.	25
Tabla 2.2: Resultados del estudio de completitud por el Método de Stepp.....	32
Tabla 2.3: Resultados hallados con Método Gráfico y de Stepp.....	33
Tabla 2.4: Ventanas de tiempo que se deben considerar para estudios de Peligrosidad Sísmica.	34
Tabla 3.1: Cálculo de los parámetros a, b de la ley de recurrencia de Richter.	38
Tabla 3.2: Valores de a y b para cada Zona Fuente.	49
Tabla 4.1: Velocidad de la Onda de Corte a distintas profundidades.....	55
Tabla 4.2: Períodos de vibración en cada zona de suelo.....	56
Tabla 6.1: Base de datos utilizada por Abrahamson y Silva (2008).....	79
Tabla 6.2: Períodos independientes, constantes medias para el movimiento del suelo.	83
Tabla 6.3: Coeficientes para la media del movimiento del suelo con los cuales se halla espectro	84
Tabla 6.4: Coeficientes para la media del movimiento del suelo.	86
Tabla 6.5: Base de datos considerada por Campbell y Bozorgnia.....	91
Tabla 6.6: Coeficientes para calcular funciones de magnitud, distancia y de tipo de falla.	95
Tabla 6.7: Coeficientes para función de: sitio y sedimento	96
Tabla 6.8: Valores límites de las variables predictivas en el modelo Campbell y Bozorgnia	99
Tabla 6.9: Datos complementarios para hallar espectros en diferentes zonas.....	101
Tabla 7.1: Recomendaciones para valores de α	109

Tabla 7.2: Parámetros que definen el espectro elástico (CEC-2000)	109
Tabla 7.3: Parámetros de los cuatro perfiles de suelo del CEC-2000.....	109
Tabla 7.4: Características de los suelos tipo S3.	110
Tabla 7.5: Período de recurrencia, para sismo de análisis.	111
Tabla 7.6: Magnitud máxima, según el sismo de análisis para la Zona Fuente 4.	112
Tabla 7.7: Magnitud máxima esperada en cada Zona Fuente para un sismo raro.	112
Tabla 7.8: Resultados, clasificación de los tipos de suelo, para varias zonas del Distrito Metropolitano de Quito	113
Tabla 7.9: Valores Velocidad de la Onda de Corte.	114
Tabla 7.10: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para M=6.7.....	120
Tabla 7.11: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para M=5.85.....	120
Tabla 7.12: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.	141
Tabla 7.13: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a , zona períodos cortos (NEC-11)	143
Tabla 7.14: Tipo de suelo y Factores de sitio F_v , zona de periodos intermedios (NEC-11).....	143
Tabla 7.15: Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s (NEC-11)	144
Tabla 7.16: Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-11)	144
Tabla 7.17: Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo tipos C, D o E (NEC-11)	145
Tabla 7.18: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para M=7.2.....	149
Tabla 7.19: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para M=5.85.....	150

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1: Isosistas del sismo del 1797 (Barahona, 2002)	3
Figura 1.2: Isosistas Sismo del 1868 (Observatorio Astronómico, 1960)	4
Figura 1.3: Sismos históricos registrados antes de 1900.	5
Figura 1.4: Consecuencias del Sismo de 1938 (El Comercio, 1938).....	6
Figura 1.5: Isosistas Sismo de 1938 (Egred A, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional)	7
Figura 1.6: Sismicidad registrada en 1998, asociada a las fallas de Quito.....	8
Figura 1.7: Isosistas Sismo de Manabí 1942 (Observatorio Astronómico)	10
Figura 1.8: Localización del epicentro del Sismo de Pucallpa, Perú (Google Maps)	11
Figura 1.9: Sismicidad registrada entre 1990 y 2011	12
Figura 2.1: Sismos registrados en el Ecuador entre 1541 y 2011	14
Figura 2.2: Anillo de Fuego del Pacífico (bbc.co.uk).....	15
Figura 2.3: Geodinámica de la Peligrosidad Sísmica del Ecuador (Toulkeridis, 2009).....	17
Figura 2.4: Zonas Fuentes asociadas a sismos corticales (Gallego & Aguiar, 2010)	18
Figura 2.5: Zonas Fuentes asociadas a sismos de subducción (Gallego & Aguiar, 2010).....	19
Figura 2.6: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.0 – 4.5)	20
Figura 2.7: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.5 – 5.0)	21
Figura 2.8: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.0 – 5.5)	21
Figura 2.9: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.5 – 6.0)	21
Figura 2.10: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.0 – 6.5)	22
Figura 2.11: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.5 – 7.0)	22

Figura 2.12: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (7.0 – 7.5)	22
Figura 2.13: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (7.5 – 8.0)	23
Figura 2.14: Completitud Zona Fuente 1	23
Figura 2.15: Completitud Zona Fuente 6	24
Figura 2.16: Completitud Zona Fuente 14	24
Figura 2.17: Completitud Zona Fuente 16	25
Figura 2.18: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.0 –4.5)	29
Figura 2.19: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.5 –5.0)	29
Figura 2.20: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.0 –5.5)	30
Figura 2.21: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.5 –6.0)	30
Figura 2.22: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.0 –6.5)	31
Figura 2.23: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.5 –7.0)	31
Figura 2.24: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (7.5 –8.0)	32
Figura 3.1: Relación de Cornell y Vanmarcke aplicada a la Zona Fuente 2	43
Figura 3.2: Relación de Cornell y Vanmarcke aplicado a la Zona Fuente 14	44
Figura 3.3: Modelo de Wesnousky (1994)	44
Figura 3.4: Relación de Wesnousky aplicado a la Zona Fuente 2	45
Figura 3.5: Relación de Wesnousky aplicado a la Zona Fuente 14	46
Figura 3.6: Modelo de Zöller (Figueroa, 2009)	47
Figura 3.7: Relación de Zöller aplicado a la Zona Fuente 2	47
Figura 3.8: Relación de Zöller aplicado a la Zona Fuente 14	48
Figura 3.9: Relación de Zöller, Wesnousky, Cornell y Vanmercke aplicado a la Zona Fuente 2	49
Figura 4.1: Zonificación básica de los suelos de Quito. EPN et al. (1994)	51
Figura 4.2: Zonificación de los suelos de Quito. EPN et al. (1994).....	52
Figura 4.3: Zonas de suelo similares. EPN <i>et al.</i> (1994).....	53

Figura 4.4: Áreas de estudio de los trabajos realizados por la EPN en 1994 y 2002.....	57
Figura 4.5: Clasificación de los suelos de Quito. Trabajo de Valverde <i>et al.</i> (2002).....	59
Figura 4.6: Quebradas en el Centro Norte de Quito.	60
Figura 4.7: Vía inundada (el tiempo.com).....	61
Figura 4.8: Trolebús en sector inundado (el universo.com).....	62
Figura 4.9: Zonas susceptibles a licuefacción e inundaciones. (Trémolières, 2002).....	63
Figura 4.10: Licuefacción del suelo a causa del terremoto ocurrido en Niigata, Japón en 1964 (scribd.com).....	64
Figura 4.11: Estructuras hundidas por licuefacción, Japón 11 marzo 2011 (Scott Ashford, Oregón State University).....	64
Figura 5.1: Elementos de una falla (slideshare.net).....	65
Figura 5.2: Características de una falla (recursos.cnice.mec.es).....	66
Figura 5.3: Falla normal (cuedelcivil).....	67
Figura 5.4: Falla inversa (cuedelcivil).....	67
Figura 5.5: Falla transcurrente (cuedelcivil).....	68
Figura 5.7: Sistema de fallas de Quito (PNA, 2009).....	70
Figura 5.9: Cuarcita con espejos de falla, margen derecho Q. Bellavista, UTM: 770131E/19374N (Echeverría et al., 2011).....	73
Figura 5.10: Arenisca de aporte volcánico muy fracturada, margen izquierdo Q. Bellavista, UTM: 770199E/19409N (Echeverría et al., 2011).....	74
Figura 5.11: Elevaciones asociadas con la actividad de la Falla Nanegalito, UTM: 770501E/20293N (Echeverría et al., 2011).....	74

Figura 5.12: Metasedimentos de Pilatón fracturados, vía Pamplona, UTM: 773313E/26257N (Echeverría et al., 2011)	75
Figura 5.13: Elevaciones asociadas con la actividad de la Falla Nanegalito, UTM: 770501 E/ 20293 N (Echeverría et al., 2011).....	75
Figura 5.14: Falla de Nanegalito en la carretera Otavalo-Selva Alegre, UTM 776253 E/ 31027 N. (Echeverría et al., 2011)	76
Figura 5.15: Falla Nanegalito 29 y Falla El Cinto 30a y 30b	77
Figura 6.1: Variables que intervienen en el modelo.....	82
Figura 6.2: Bloque levantado o deprimido. (Yeats <i>et al.</i> , 1997).....	88
Figura 6.3: Medidas de distancia a la fuente finita más frecuentemente usadas en relaciones de atenuación.	98
Figura 6.4: Fallas sísmicamente activas que pueden afectar el Gran Mendoza, Argentina.	100
Figura 6.5: Traza de la falla La Cal y delimitación de distintas zonas próximas a la falla.....	102
Figura 6.6: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Hanging- Wall, para D=0, D=5	104
Figura 6.7: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Hanging- Wall, para D=10, D=15	105
Figura 6.8: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Footwall, para D=0, D=5.....	106
Figura 6.9: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Footwall, para D=10, D=15	107
Figura 7.1: Espectro Elástico (CEC-2000).....	108
Figura 7.2: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 a, vista en plata.	115

Figura 7.3: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 a, vista en perfil.	116
Figura 7.4: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 b, vista en plata.	117
Figura 7.5: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 b, vista en perfil.	118
Figura 7.6: Zonificación en la Falla de Quito.	119
Figura 7.7: Puentes sobre los ríos: San Pedro (SP) y Chiche (CH).....	121
Figura 7.8: Velocidad de la onda de corte y perfil de suelo en puente sobre el río San Pedro.....	122
Figura 7.9: Velocidad de la onda de corte y perfil de suelo en puente sobre el río Chiche.	122
Figura 7.10: Espectros para perfil de suelo S1 en Hanging Wall. Período de retorno 475 años.	124
Figura 7.11: Espectros para perfil de suelo S1 en Foot Wall. Período de retorno 475 años.	125
Figura 7.12: Espectros para perfil de suelo S2 en Hanging Wall. Período de retorno 475 años.	126
Figura 7.13: Espectros para perfil de suelo S2 en Foot Wall. Período de retorno 475 años.	127
Figura 7.14: Espectros para perfil de suelo S3 Cohesivo en Hanging Wall. Período de retorno 475 años.....	128
Figura 7.15: Espectros para perfil de suelo S3 Cohesivo en Foot Wall. Período de retorno 475 años.....	129
Figura 7.16: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Hanging Wall. Período de retorno 475 años.....	130

Figura 7.17: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Foot Wall. Período de retorno 475 años.....	131
Figura 7.18: Espectros para perfil de suelo S1 en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.	132
Figura 7.19: Espectros para perfil de suelo S1 en Foot Wall. Período de retorno 72 años.	133
Figura 7.20: Espectros para perfil de suelo S2 en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.	134
Figura 7.21: Espectros para perfil de suelo S2 en Foot Wall. Período de retorno 72 años.	135
Figura 7.22: Espectro para perfil de suelo S3 Cohesivo en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.....	136
Figura 7.23: Espectro para perfil de suelo S3 Cohesivo en Foot Wall. Período de retorno 72 años.....	137
Figura 7.24: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.....	138
Figura 7.25: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Foot Wall. Período de retorno 72 años.....	139
Figura 7.26: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (NEC-11)	140
Figura 7.27: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC-11)	141
Figura 7.28: Magnitud Máxima Zona Fuente 4, Cornell y Vanmarcke.....	142
Figura 7.29: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Nanegalito, vista en plata.	147

Figura 7.30: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Nanegalito, vista en perfil.	148
Figura 7.31: Zonificación en la Falla de Nanegalito	149
Figura 7.32: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 1, para sismo raro.	151
Figura 7.33: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 2, para sismo raro.	152
Figura 7.34: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 1, para sismo raro.	153
Figura 7.35: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 2, para sismo raro.	154
Figura 7.36: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 1, para sismo ocasional.....	155
Figura 7.37: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 2, para sismo ocasional.....	156
Figura 7.38: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 1, para sismo ocasional.....	157
Figura 7.39: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 2, para sismo ocasional.....	158

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A: COMPLETITUD MÉTODO GRÁFICO	172
ANEXO B: COMPLETITUD MÉTODO STEPP.....	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO C: RELACIONES DE RECURRENCIA	¡Error! Marcador no definido.

1. SISMICIDAD HISTÓRICA DE QUITO

1.1 Sismos Históricos registrados antes de 1900

En los siguientes párrafos se describe algunos sismos históricos que afectaron a Quito. La información proviene de textos escritos, a consecuencia de los efectos y daños ocasionados, por cada uno de estos sismos. Hay que recalcar que para los sismos la investigación nunca termina, debido que nueva documentación puede cambiar algunos o todos los parámetros como son la intensidad, magnitud o localización epicentral del sismo.

1.1.1 Sismo de 1541

Es el primer evento del que se posee información en el Catálogo Sísmico del CEINCI-ESPE. En el año de 1541 se produjo un terremoto muy fuerte que afectó a la provincia de Quijos, en las cercanías del Antisana (Wolf, 1892). Según el CERESIS (1985) la intensidad en sitio fue de IX grados en escala MKS (1964). Por lo que en Quito la intensidad puede haber llegado a VII grados en escala MKS (1964). (Del Pino y Yepes, 1990)

1.1.2 Sismo de 1587

Según Del Pino y Yepes, 1990 la intensidad de este evento pudo haber llegado a Quito con VIII grados MKS (1964). Se reportaron numerosos daños en

las iglesias como San Agustín, San Francisco, la Merced, y el colapso de la iglesia de Santo Domingo. Se cree que la falla activa de Quito fue la responsable de este terremoto.

1.1.3 Sismo de 1660

En el Boletín de la Academia Nacional de Historia (1964) se menciona que luego de la conclusión de la construcción de la Iglesia de la Compañía de Jesús vino el terremoto de 1660 que causó daños en iglesias y conventos de Quito. Se cree que la intensidad máxima en Quito fue de VII grados MKS (1964).

1.1.4 Sismo de 1797

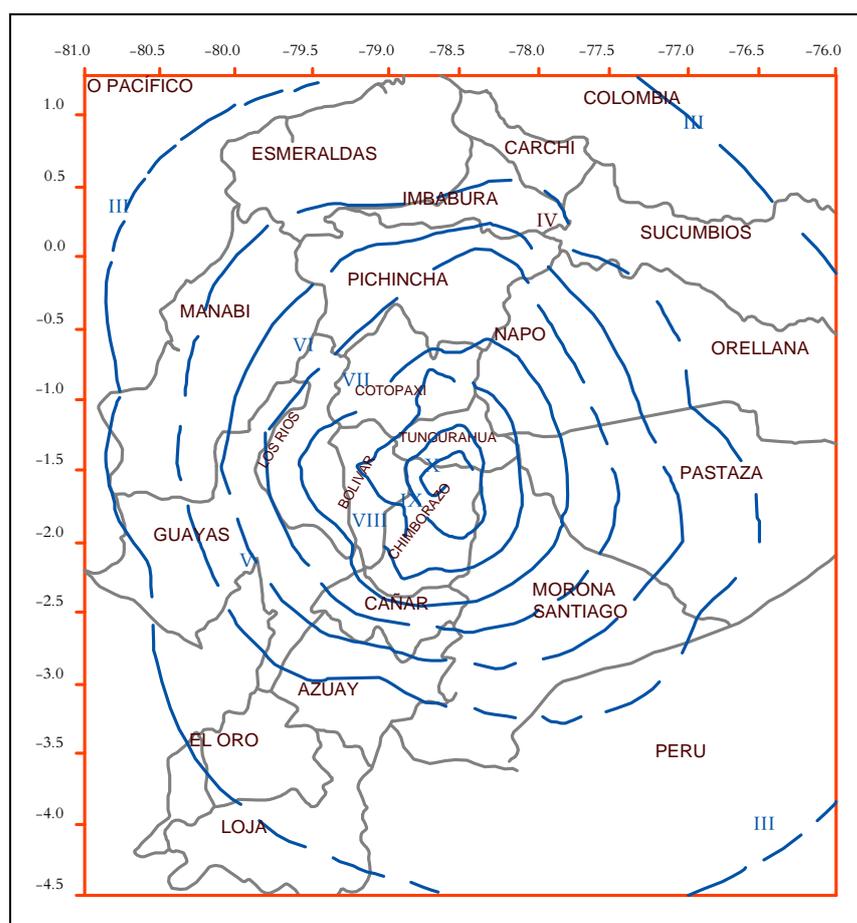


Figura 1.1: Isosistas del sismo del 1797 (Barahona, 2002)

Éste sismo ocurrido el 4 de febrero de 1797, alcanzó una intensidad de XI grados MKS (1964), en la zona epicentral alrededor de la ciudad de Riobamba Antigua según el CERESIS (1985). La magnitud inferida es de 8.1, según el NEIC.

Éste sismo ocasionó grandes daños a los valles de los ríos Patate, Chambo y Pastaza. El epicentro del sismo se localizó aproximadamente a 170km al sur de la ciudad de Quito, donde ocasionó 40 000 muertos; daños como la caída parcial de la torre de Santo Domingo y de la Capilla del Robo. Estudios estiman que en Quito la intensidad fue de VII a VIII grados MKS (1964). En la Figura 1.1 se observa las intensidades de éste sismo.

1.1.1 Sismo de 1868

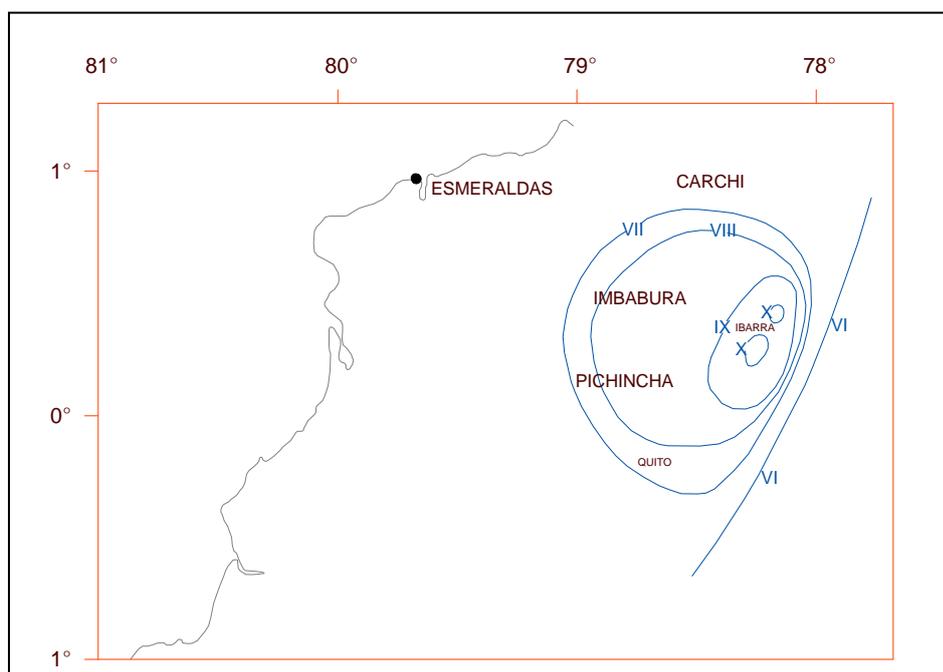


Figura 1.2: Isosistas Sismo del 1868 (Observatorio Astronómico, 1960)

Este sismo acaecido el 16 de agosto de 1868, es más conocido como el sismo de Ibarra. La magnitud inferida por el NEIC fue de $M_w = 7.7$ Este sismo indica, intensidades de hasta X grados MKS. En la Figura 1.2 se puede observar áreas con intensidades de VI, VII, VIII y IX grados MKS.

En la Figura 1.3 se graficó los algunos sismos históricos que posee el Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE.

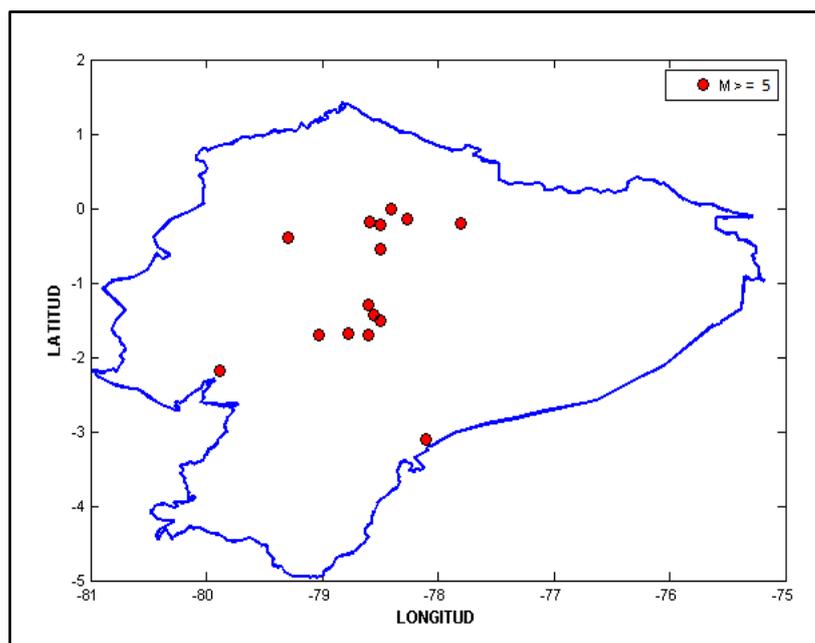


Figura 1.3: Sismos históricos registrados antes de 1900.

1.2 Sismos Asociados a fallas Superficiales.

1.2.1 Sismo de 1938

Pese a ser un sismo superficial, no se ha determinado un rasgo geomorfológico que atribuya su origen. Se lo menciona, debido a la expansión urbana de la ciudad de Quito hacia el Valle de los Chillos.

El 9 de agosto de 1938, el Observatorio Astronómico registró un sismo de magnitud 7.10 El epicentro fue localizado en las cercanías de Alangasí y El Tingo. Aproximadamente a 15 Km de la ciudad de Quito.

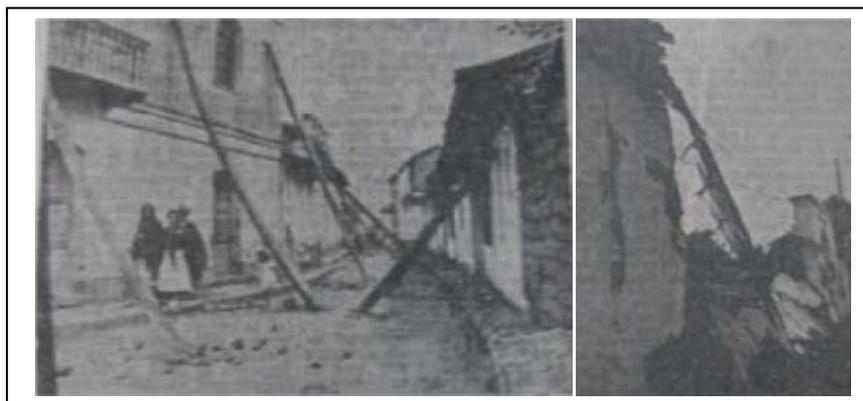


Figura 1.4: Consecuencias del Sismo de 1938 (El Comercio, 1938)

El sismo destruyó por completo las poblaciones de Alangasí y El Tingo. También se reportaron daños en Conocoto y Sangolquí, en ésta última se derrumbaron algunos edificios y edificaciones de adobe. Además acaeció el levantamiento vertical del terreno, con la aparición de grietas en sentido Norte-sur y deslizamiento de taludes. El colapso de la torre de la Iglesia Matriz. Los barrios afectados de Sangolquí fueron: San Rafael, Selva Alegre, Inchalillo, Jatunpungo, La Tola y San Pedro de Taboada. Éste sismo también se sintió en Quito, Tumbaco.

En la Figura 1.5 se muestra los niveles de intensidad del sismo mediante el mapa de isosistas. En escala Medvedev-Sponheuer-Karnik, o MSK. A pesar que el sismo fue en la noche del 9 de agosto, existieron réplicas sísmicas el 10 de agosto, que afectaron a Sangolquí, de intensidad VII en escala MSK.

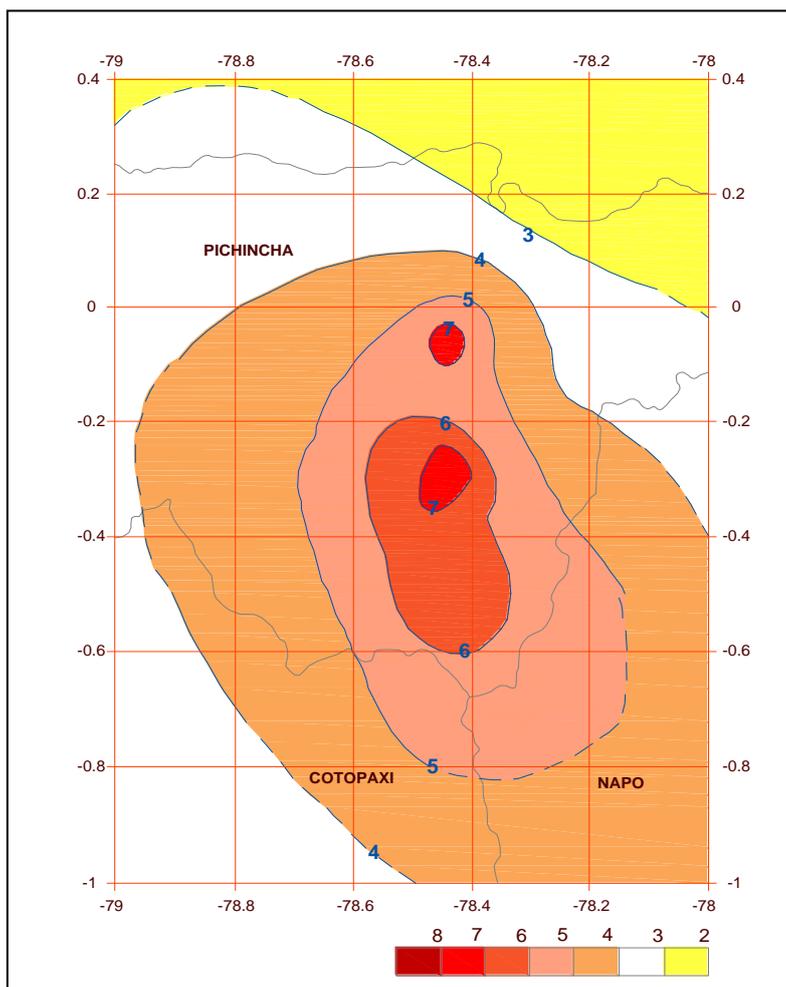


Figura 1.5: Isosistas Sismo de 1938 (Egred A, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional)

1.2.2 Sismos de 1998

La población de Quito en 1998 se mostro preocupada por la gran actividad del volcán Guagua Pichincha, aproximadamente a inicios de 1990; con una cantidad considerable de sismos y por la caída de ceniza. Todo ello llevó a la Ex Defensa Civil declare, el 1 de octubre la alerta amarilla. La Ex Defensa Civil no le dio mayor importancia a 12 sismos superficiales con magnitud entre 4 y 5, que se registraron en la ciudad y están asociados a las Fallas de Quito.

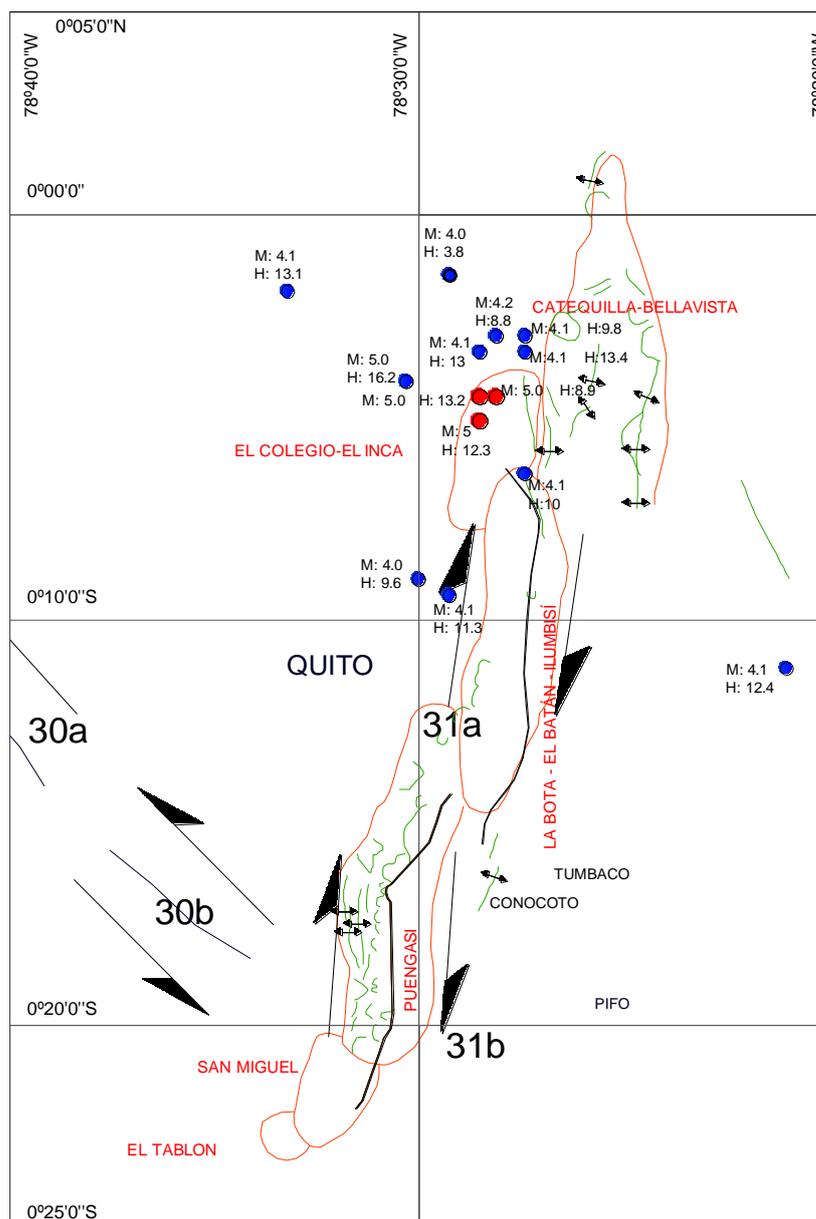


Figura 1.6: Sismicidad registrada en 1998, asociada a las fallas de Quito.

Fue el Instituto Geofísico de la Politécnica Nacional, que le dio importancia a estos sismos registrados; a los cuales consideró como premonitores de un gran sismo que a lo mejor se registraba. Pese a que esto no llegó a suceder la población de Quito y sus alrededores siguió preocupada por la actividad del volcán Guagua Pichincha la misma que se extendió hasta el 2000. Los sismos registrados en 1998, están asociados a la Falla de Quito, se indica en la Figura 1.6

1.3 Sismos de Subducción que pueden afectar a Quito

Algunos sismos de subducción cuyo epicentro está localizado a varios kilómetros del Distrito Metropolitano de Quito, pueden llagar a sentirse como son los siguientes sismos:

1.3.1 Sismo de 1942

Éste sismo de subducción ocurrió frente a las costas de Manabí, el 13 de mayo de 1942; con una magnitud de 7.9 a una profundidad focal de 50Km las coordenadas del epicentro indicadas por el NEIC son: latitud -0.01S y longitud -81.12W

Aunque este sismo no ocasionó daños de relevancia en Quito, produjo grandes daños en Guayaquil; en estructuras de 4 y 5 pisos denominadas “rasca nubes” por su altura. Por los daños causados por éste sismo se llegó a pensar que el Hormigón Armado no es un buen material para ser usado como material de construcción en zonas sísmicas. Pero el daño en las estructuras anteriormente mencionadas se debió a que se cimentaron en los primeros estratos de suelos. En la actualidad éstas estructuras se asientan sobre pilotes, haciéndose merecedores del nombre de “rasca lodos” (Astudillo, 1942). Estudios creen que debido al daño registrado en las estructuras, influyó en la asignación de la intensidad de VIII, en la escala de Mercalli.

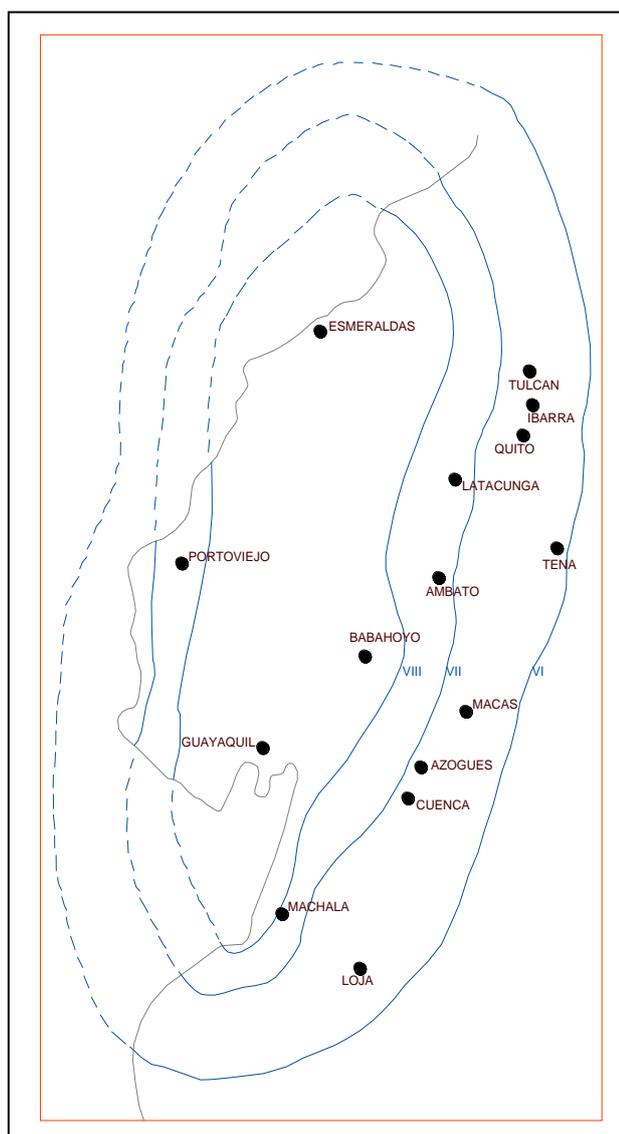


Figura 1.7: Isosistas Sismo de Manabí 1942 (Observatorio Astronómico)

1.3.2 Sismo del 2011

El 24 de agosto del 2011 al sureste de la ciudad de Lima aproximadamente a 540km de ésta, cerca de la ciudad de Pucallpa aconteció un sismo de subducción, de magnitud 6.9 Su epicentro ocurrió a 145,2km de profundidad, según el Centro Sismológico de Estados Unidos. Minutos después del sismo principal se produjo una réplica de magnitud 5.2 grados.

Como consecuencia dejó 20 heridos leves en Perú, pero fue sentido en Ecuador, Brasil y Bolivia. En el Ecuador el sismo se sintió, especialmente en edificios altos.



Figura 1.8: Localización del epicentro del Sismo de Pucallpa, Perú (Google Maps)

1.4 Relación de los sismos con fallas de: Quito y Nanegalito.

Los epicentros de los sismos registrados entre 1990 y 2011, se presentan en la Figura 1.9 la cantidad que se indica corresponde a la profundidad focal. Todos estos sismos están asociados a las Fallas de Quito, las magnitudes varían entre 3.0 y 5.0. Todo esto demuestra que son fallas activas. Es importante destacar que la mayor parte de los epicentros indicados en la Figura 1.9 se encuentran sobre la ciudad de Quito.

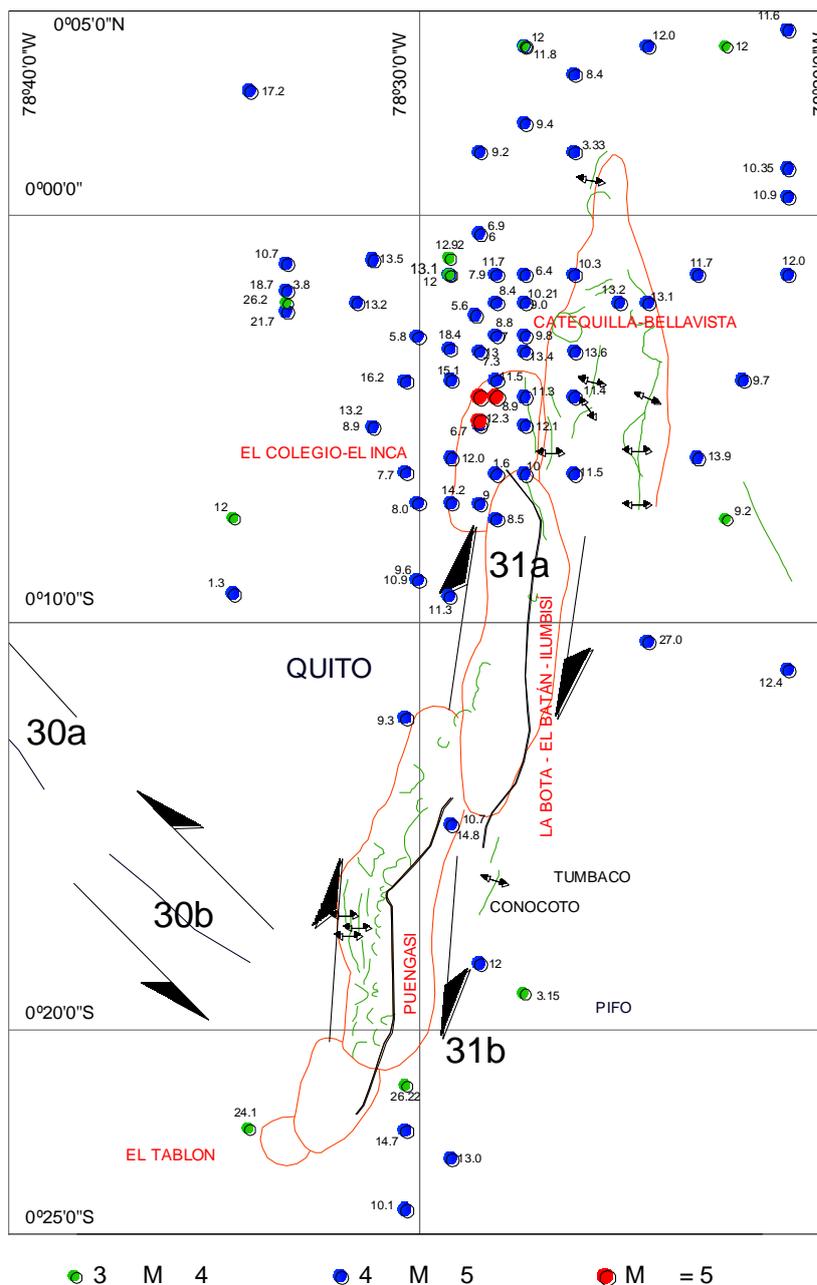


Figura 1.9: Sismicidad registrada entre 1990 y 2011

2. COMPLETITUD DE LA INFORMACIÓN SÍSMICA

2.1 Planteamiento del problema.

Para la confección del Catálogo Sísmico del Centro de Investigaciones Científicas, (CEINCI) de la Politécnica del Ejército, (ESPE) se realizó la recopilación de información de los sismos reportados por los catálogos nacionales y extranjeros como:

- National Earthquake Information Center, (NEIC).
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, (IGEPN).
- Instituto Geofísico Nacional del Perú, (IGNP).
- Instituto Colombiano de Geología y Minería, (INGEOMINAS).
- Matsushiro, Honshu, Japón, (MAT).
- Pasadena, California, (PAS).
- Observatorio Astronómico de Quito, (OAQ).

De la información recopilada se seleccionó todos los sismos comprendidos entre las latitudes 4°N, 6°S, y longitudes 82°W, 74°W. Así, en agosto del 2011 el Catálogo Sísmico del CEINCI-ESPE posee 8298 eventos de magnitud mayor o igual a 4.0. El primer registro corresponde a un sismo registrado en 1541, por NEIC y el último a septiembre del 2011 registrado por el IGEPN.

Es conveniente mencionar que el Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE se lo actualiza continuamente con los nuevos eventos sísmicos. Por ello se puede decir que no es estático. Además se lo complementa con nueva información, que se encuentra a nivel mundial de sismos registrados principalmente entre 1900 y 1980. Con precaución de no duplicar los eventos sísmicos.

Ya que, con continuidad se estudian los parámetros sísmicos de eventos importantes, como los sismos de: 1942 y 1906 se va modificando sus coordenadas epicentrales, profundidad focal siempre y cuando se tenga un respaldo sólido.

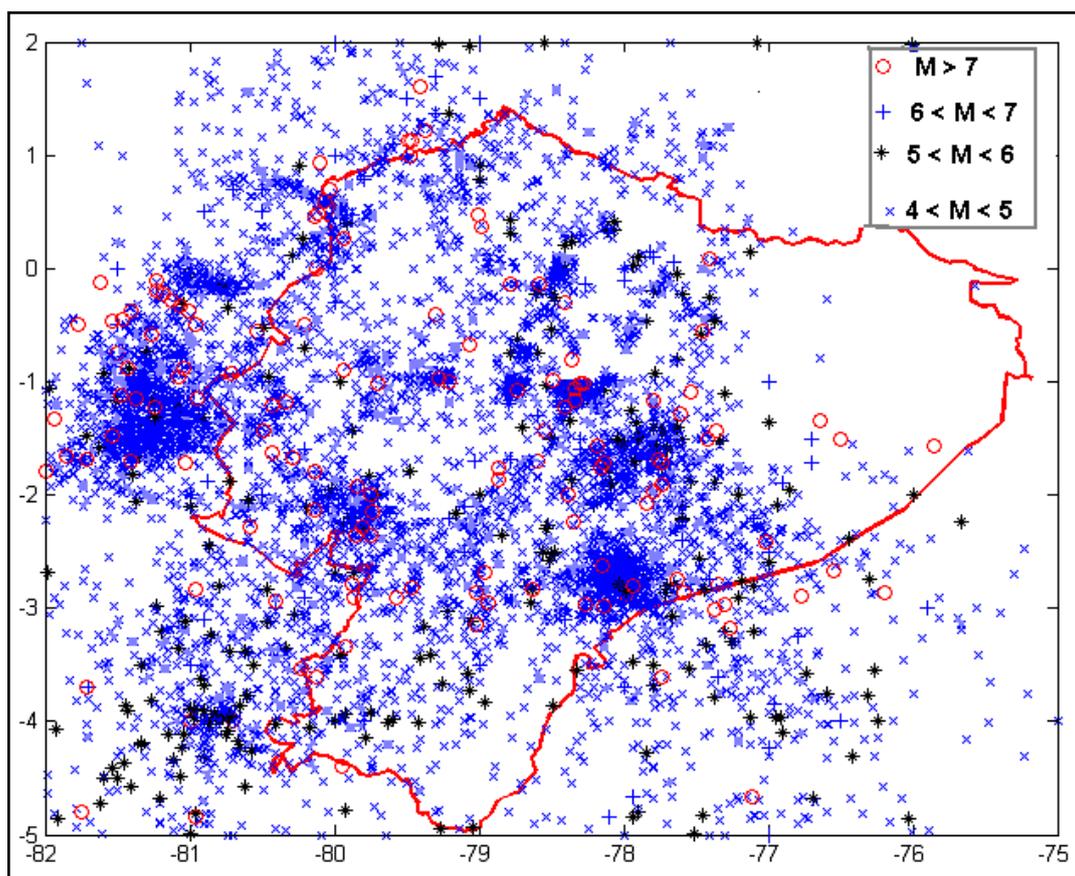


Figura 2.1: Sismos registrados en el Ecuador entre 1541 y 2011

Con el Catálogo Sísmico del CEINCI-ESPE se obtuvo la Figura 2.1, que muestra la sismicidad total del Ecuador de eventos con profundidad focal menor a 300 km. Como era de esperarse en la mayor parte del territorio nacional se han registrado sismos, por lo que se tiene una gran peligrosidad sísmica. Cabe mencionar que el Ecuador se encuentra ubicado en el “Cinturón de Fuego del Pacífico o Anillo de Fuego del Pacífico”, zona de gran actividad sísmica y volcánica. Donde se concentran algunos procesos de subducción.



Figura 2.2: Anillo de Fuego del Pacífico (bbc.co.uk)

Desde 1541 hasta 1960 el Catálogo Sísmico del CEINCI-ESPE posee 88 eventos y hasta 1980 posee 914 eventos sísmicos. Algo similar sucede con la mayor parte de catálogos sísmicos del mundo. Esto es justificable ya que las redes sísmicas empezaron a implementarse desde 1940 en algunos países y a partir 1960 en otros. *De tal manera que en ciertas ventanas de tiempo la información sísmica no es completa*, esto se evidencia no solo en el número de

sismos registrados sino también en que existen rangos de magnitudes que no han sido registrados o no han sido registrados apropiadamente.

En estudios de Peligrosidad Sísmica se considera que lo sucedido en el pasado con probabilidad vuelva a suceder en el futuro, por ello se obtiene la tasa anual de sismos registrados en cada una de las zonas fuentes con la información disponible. Recordemos que la tasa anual depende de la ventana de tiempo considerada. (Aguiar 1982, Cornell 1969, Quijada *et al* 1993).

Para cubrir el inconveniente de que la información sísmica no es completa, se presentan dos métodos para encontrar las ventanas de tiempo; el primer método es gráfico y el otro método es el propuesto por Stepp (1973). Los dos métodos consideran los diferentes rangos de magnitud de cada una de las Zonas Fuentes del Ecuador.

2.2 Zonas Fuentes.

Las Zonas Fuentes son volúmenes de litósfera en los que se producen sismos asociados a un grupo de fallas geológicas similares o asociados a un proceso de subducción particular.

Para un mejor entendimiento del proceso de subducción en Ecuador, se presenta la Figura 2.3. En el Ecuador existen tres ángulos de subducción: en el sur la pendiente es más pronunciada; en el centro se tiene la menor pendiente debido a la presencia de la Cordillera de Carnegie y en el norte la pendiente es menor que la del Sur pero mayor que la del Centro, (Toulkeridis, 2009). En el Ecuador la velocidad de aproximación entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana es de 5cm por año.

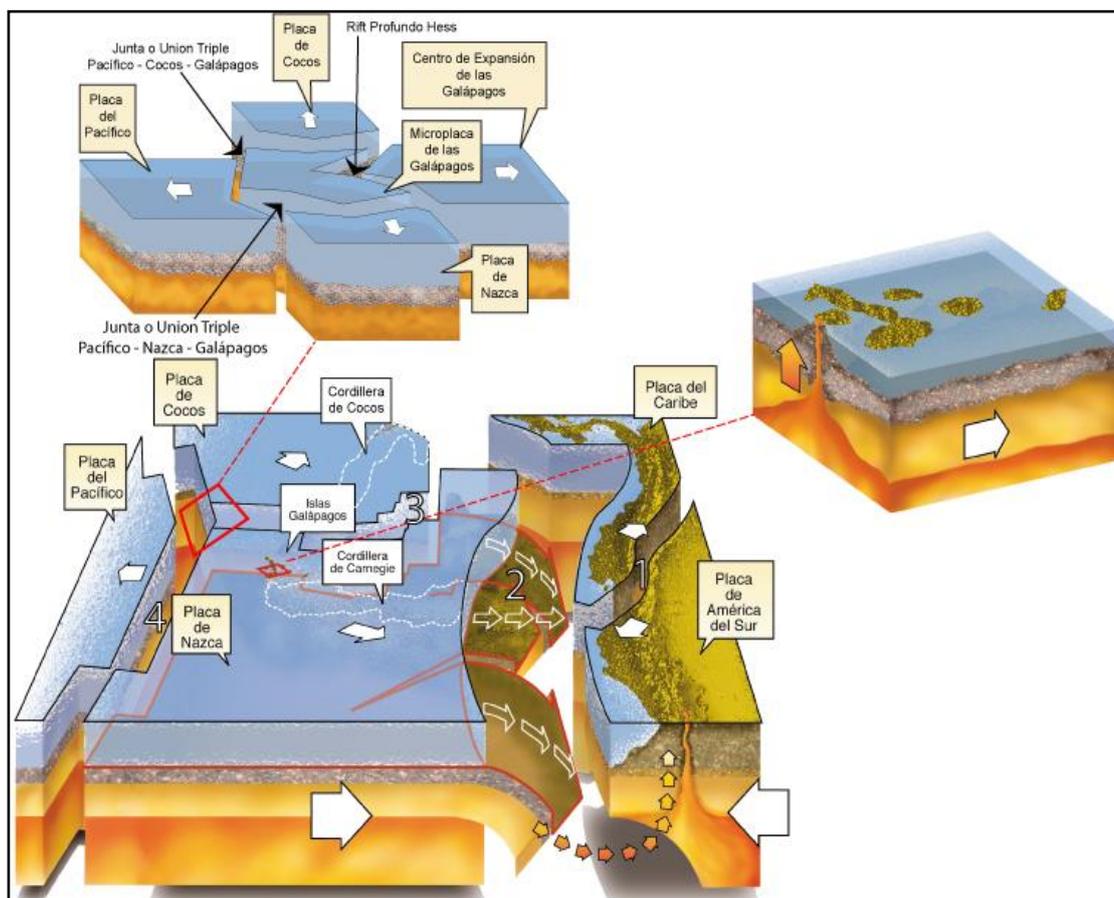


Figura 2.3: Geodinámica de la Peligrosidad Sísmica del Ecuador (Toulkeridis, 2009)

En forma general se describirá los sismos corticales, los sismos de subducción y algunas consideraciones tomadas en cuenta para la elaboración del Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE.

2.2.1 Sismos Corticales o Cordilleranos

Son sismos superficiales que se producen en el interior de la placa Sudamericana. Para este tipo de sismos se consideró las Zonas Fuentes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 19 y 21.

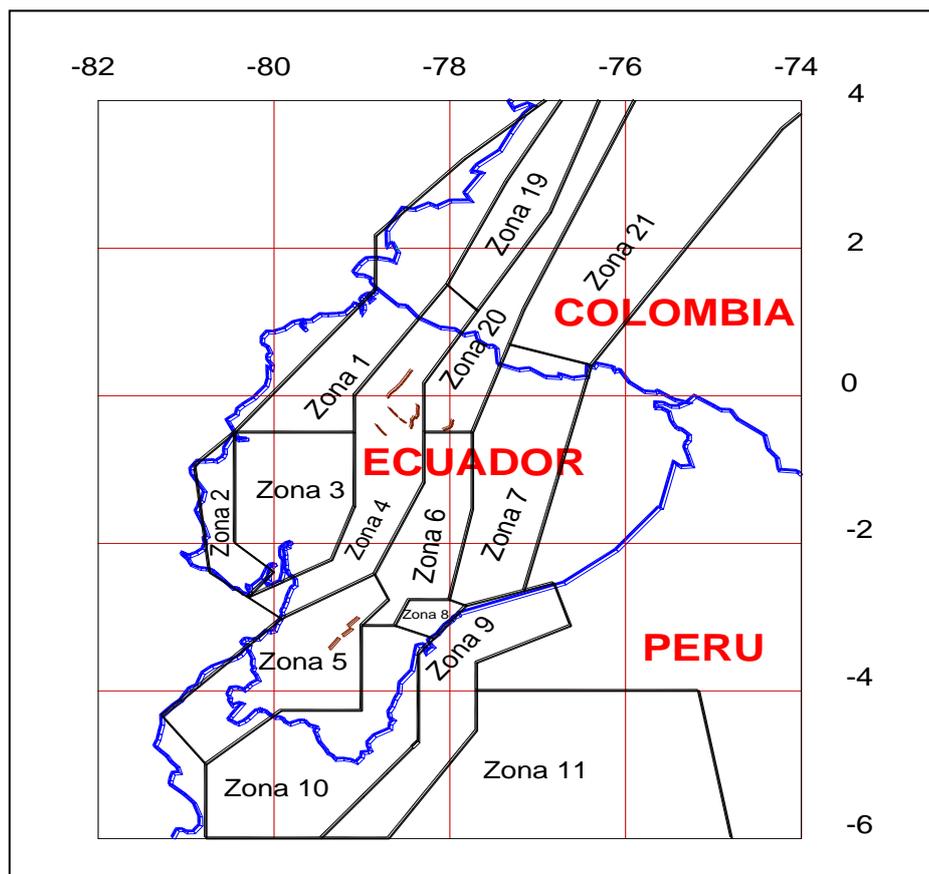


Figura 2.4: Zonas Fuentes asociadas a sismos corticales (Gallego & Aguiar, 2010)

2.2.2 Sismos de Subducción o Interplaca

Este tipo de sismicidad ocurre en la zona de contacto entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, presenta epicentros en el interior del continente, son sismos costeros; la mayoría de sismos corresponden a éste. En estos sismos se consideró las Zonas Fuentes 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 23.

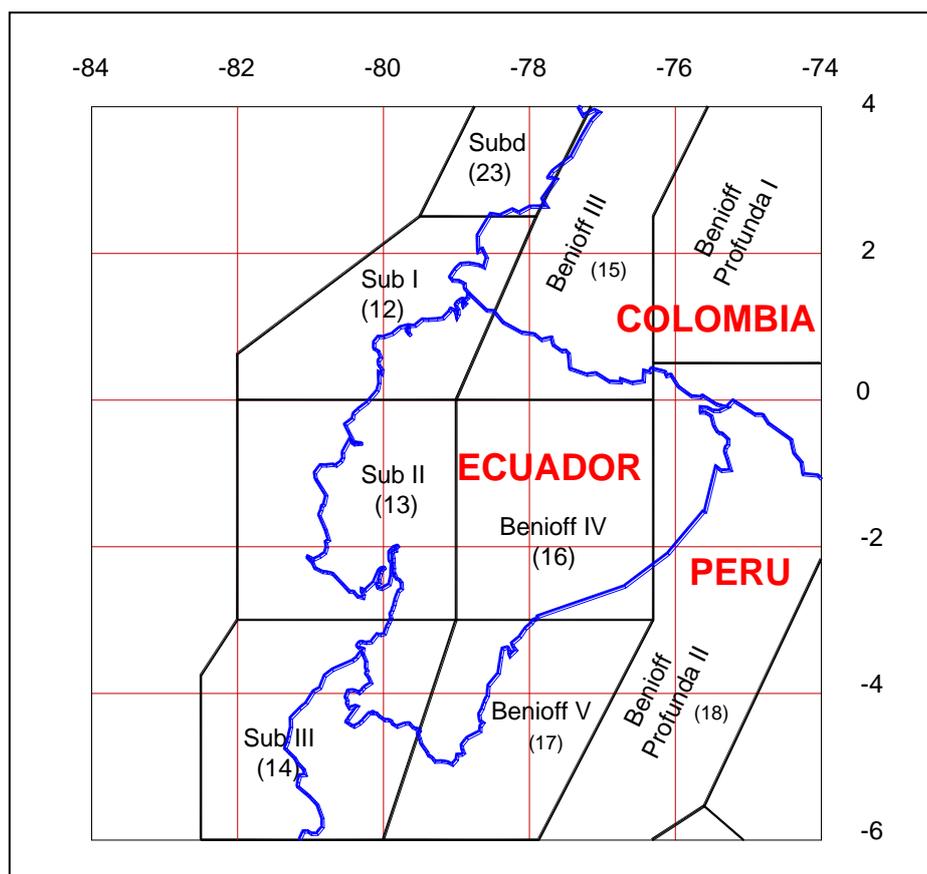


Figura 2.5: Zonas Fuentes asociadas a sismos de subducción (Gallego & Aguiar, 2010)

2.3 Método Gráfico.

El Método gráfico que se describe a continuación fue utilizado por Molina *et al.*, (2008) en el proyecto “Evaluación Regional de la Amenaza Sísmica de Centro América”. En este proyecto participaron investigadores de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Noruega y España.

2.3.1 Descripción del Método Gráfico

El método consiste en separar los sismos por cada zona fuente. Seguidamente, en cada zona fuente, se separan los sismos por intervalos de magnitud. A continuación, se contabiliza el número de sismos registrados en

forma acumulada, por cada año, con respecto al total de sismos de ese intervalo, de tal manera que en el último año el valor vale la unidad. Finalmente en el eje de las abscisas se dibujan el tiempo en años y en el eje de las ordenadas el factor normalizado a la unidad, como máximo.

2.3.2 Aplicación al Catálogo Sísmico del CEINCI-ESPE

Al aplicar el método gráfico a la zona fuente 1 mediante la elaboración de subrutinas en Matlab, se obtuvieron las figuras mostradas a continuación. En la Figura 2.6 se observa la completitud en el intervalo 4.0 a 4.5

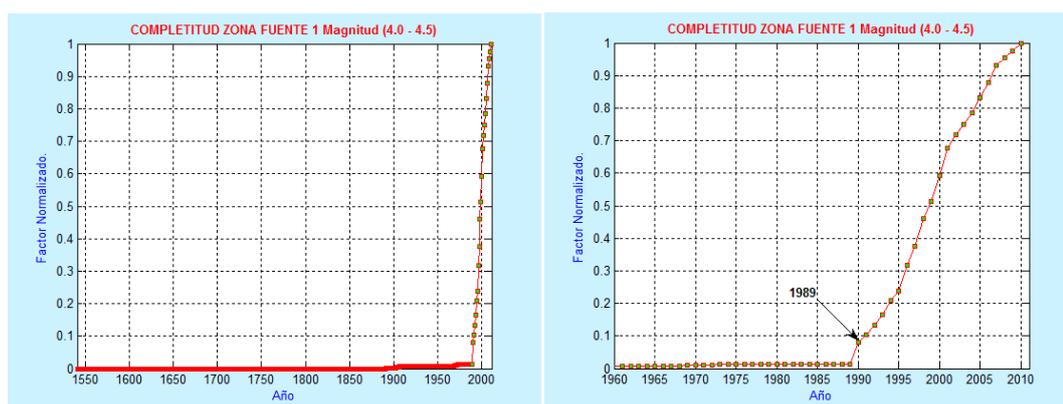


Figura 2.6: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.0 – 4.5)

Mediante un análisis visual la completitud para la zona fuente 1 del intervalo de magnitud 4.0 a 4.5 inicia en el año de 1989 debido que a partir de ese año se observa que las inflexiones presentan una tendencia de la pendiente.

Es decir el inicio del año a partir del cual la muestra se considera estable es aquel, en que la pendiente de la curva es la misma. Las curvas muestran uno o varios puntos de inflexión y habrá que seleccionar con el mejor criterio el punto a partir del cual se considera que la pendiente es constante para el rango de

magnitud y zona fuente seleccionada. Se realiza el mismo análisis visual para los demás rangos de magnitud.

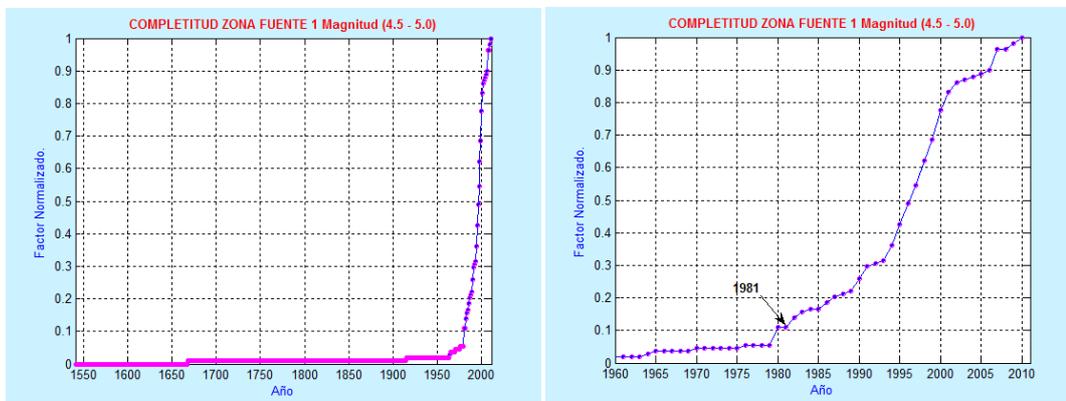


Figura 2.7: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.5 – 5.0)

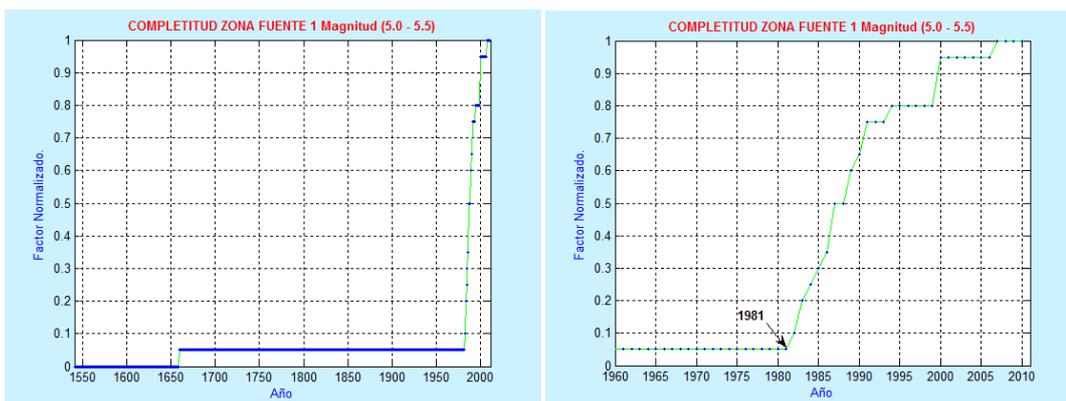


Figura 2.8: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.0 – 5.5)

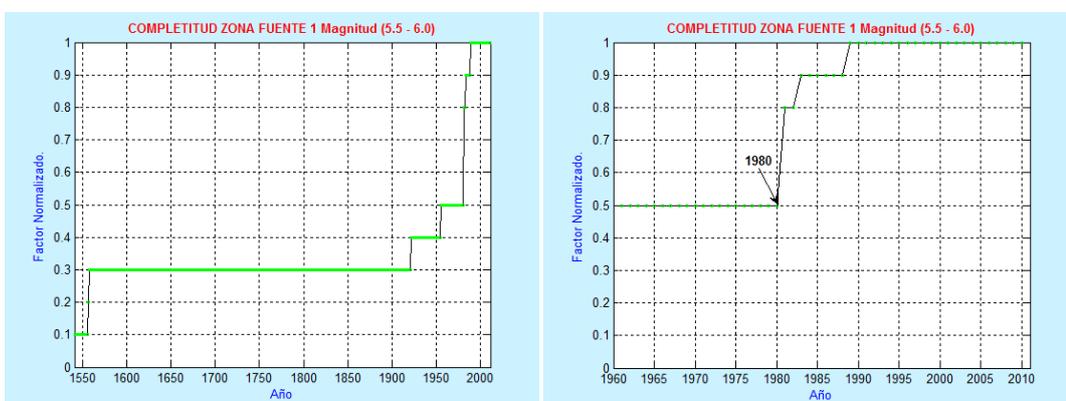


Figura 2.9: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.5 – 6.0)

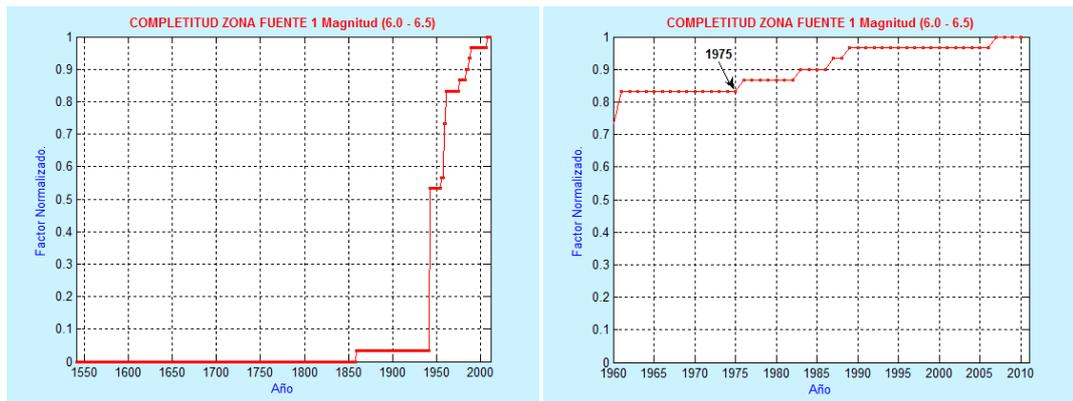


Figura 2.10: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.0 – 6.5)

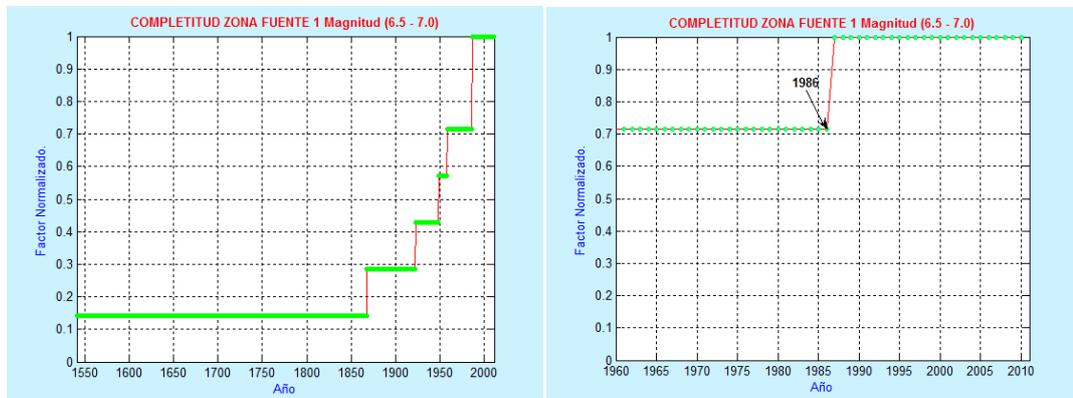


Figura 2.11: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.5 – 7.0)

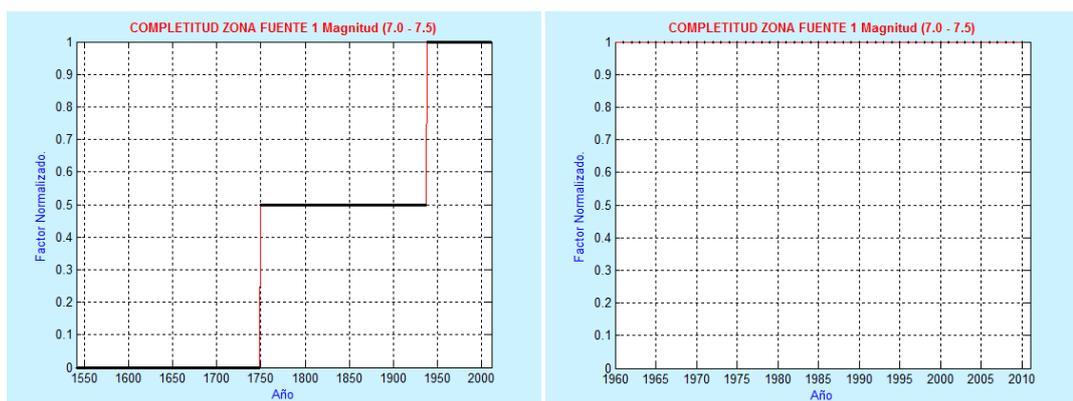


Figura 2.12: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (7.0 – 7.5)

En la figura 2.12 se observa que no hay año de completitud, debido a que el período de completitud va marcado por una inflexión.

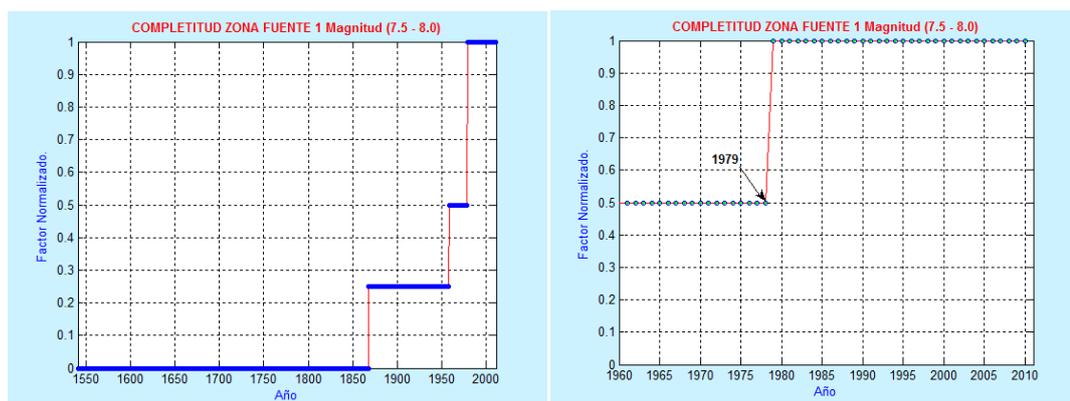


Figura 2.13: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (7.5 – 8.0)

En las figuras 2.14 y 2.15 se presenta el número de sismos acumulados y normalizados versus el tiempo desde 1550 al 2011 para fuentes asociadas a sismos corticales.

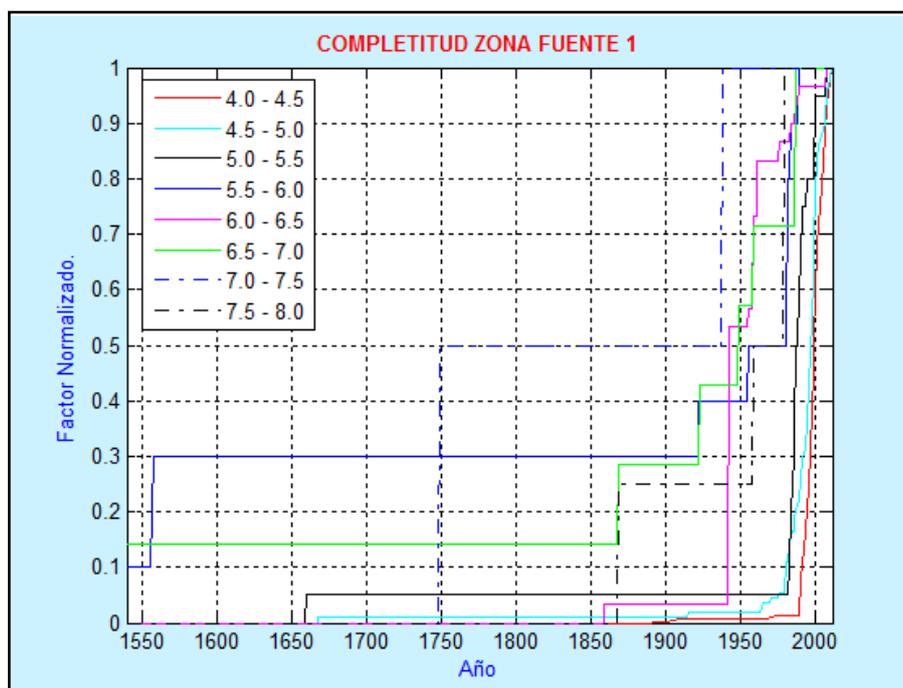


Figura 2.14: Completitud Zona Fuente 1

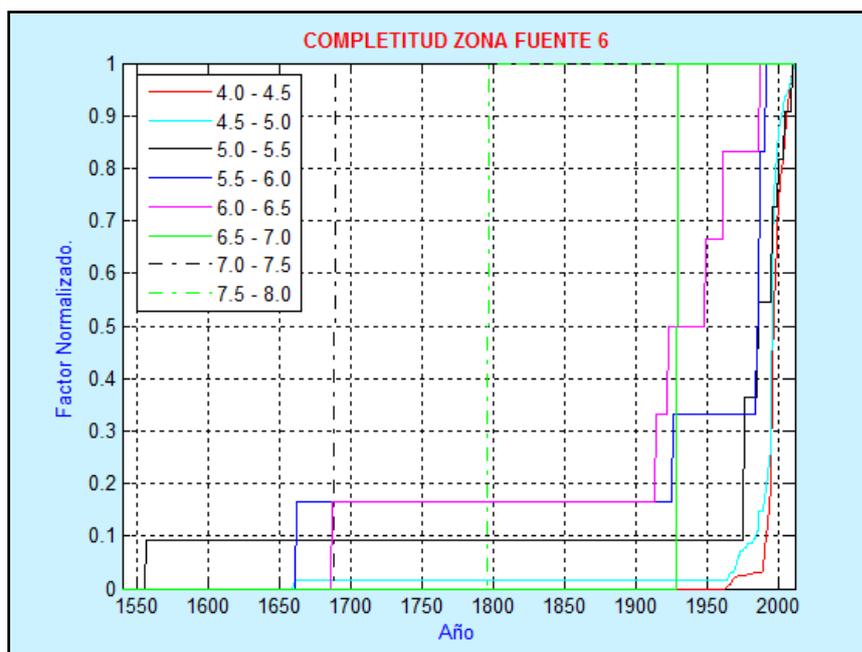


Figura 2.15: Completitud Zona Fuente 6

En las figuras 2.16 y 2.17 se presenta el número de sismos acumulados y normalizados versus el tiempo desde 1550 al 2011 para fuentes asociadas a sismos de subducción.

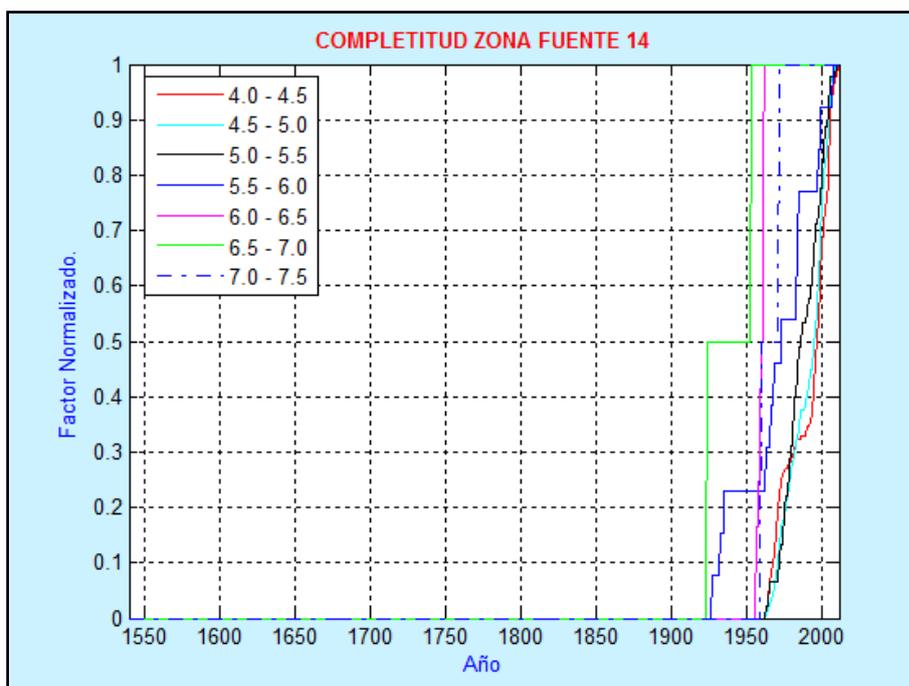


Figura 2.16: Completitud Zona Fuente 14

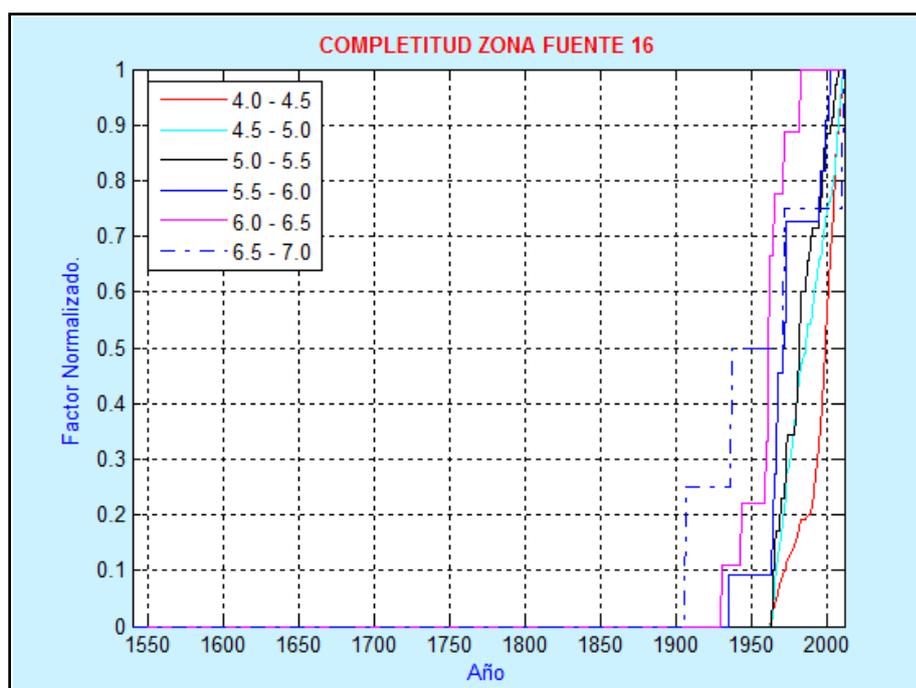


Figura 2.17: Completitud Zona Fuente 16

2.3.3 Resultados del estudio de Completitud

En la tabla 2.1 se muestran los resultados para cada una de las 21 zonas fuentes consideradas con sus respectivos intervalos de magnitud obtenidos luego de realizar la completitud por el Método gráfico. Es importante recalcar que la tendencia es que a medida que el rango de magnitud aumenta también aumenta el número de años.

Tabla 2.1: Resultados del estudio de completitud por el Método Gráfico.

Zona Fuente	MAGNITUD									
	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
1	1989	1981	1981	1980	1975	1986		1979		
2	1989	1997	2004	1979						
3	1989	1993	2003	1979						
4	1990	1976		1995	1960					
5	1993	1990	1992	1994	1969			1969		
6	1990	1997	1984	1983	1986					
7	1996	2003	1990			1994				



Zona Fuente	MAGNITUD									
	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
8	2000	2005	1994							
9	1995	2000	1987	1989	1991					
10	1998	1974	1994	1973						
11	1992	1987	2005	1995	1967					
12	1992	1990	2004	1999			1997			1906
13	2004	2004	2004	2004	1980					
14	1993	1993	1970	1996			1970			
15	1998	1995	1995	2000	1996					
16	1990	1965	1986	1994	1981		2009			
17	1994	1993	1997	1983	1994	1982				
18	2007	1994	2002	2009						
19	2005	1997	1999			1994				
20	2007	1994								
21	2001	1999	2009	2007						

2.4 Método Stepp.

2.4.1 Descripción del Método Stepp

El Procedimiento de Stepp, para determinar la completitud de la información sísmica es un método estadístico, basado en el criterio de estabilidad de la tasa de recurrencia para diferentes rangos de magnitud. A continuación se describe el procedimiento de cálculo:

- Se agrupa la información sísmica por rangos de magnitudes.
- Para cada rango de magnitud, se encuentra el número de sismos en diferentes ventanas de tiempo pero empezando siempre por la correspondiente al último año de datos sísmicos. Sea K_i el número total de sismos encontrados en la ventana de tiempo T_i . Por ejemplo, el número de sismos entre 4.0 y 4.5 de magnitud, entre 2009 y 2010 es 20. En este caso K_i es 20 y T_i es 2 años.

- Se halla la media R_i con la siguiente ecuación:

$$R_i = \frac{K_i}{T_i} \quad (2-1)$$

- Se halla la varianza S_R^2 con la siguiente ecuación:

$$S_R^2 = \frac{R_i}{T_i} \quad (2-2)$$

- Se encuentra la desviación estándar S_R

$$S_R = \frac{\sqrt{R_i}}{\sqrt{T_i}} \quad (2-3)$$

- Se dibuja el intervalo de tiempo de la ventana con la desviación estándar pero en escala log-log (en base 10). Es $\log(T_i)$ en las abscisas y $\log(S_R)$ en las ordenadas.
- Se dibuja en la escala log-log la recta $\frac{1}{\sqrt{T_i}}$ y mediante una recta paralela se la lleva hasta encontrar el mejor ajuste que se tiene con los datos dibujados en el paso anterior. Dicha recta paralela implica multiplicar por una constante a , a la recta $\frac{1}{\sqrt{T_i}}$ la misma que varía para cada rango de magnitud. Entonces la recta es de la forma $\frac{a}{\sqrt{T_i}}$
- En forma visual se determina el rango a partir del cual la muestra es constante.

El procedimiento indicado está detallado con ejemplos en Aguiar (1982), Silva (2008).

En resumen, el Método de Stepp considera completa la muestra en cada rango de magnitud, específicamente en una determinada ventana de tiempo. Cuando el valor medio R_i es constante y no depende del tiempo entonces la curva es de la forma $\frac{1}{\sqrt{T_i}}$. A forma anteriormente mencionada se la multiplica por el valor α para ajustar los puntos encontrados.

2.4.2 Aplicación al Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE

Al aplicar el Método Stepp a la zona fuente 1 mediante la elaboración de subrutinas en Matlab se obtuvieron las figuras mostradas a continuación. En cada figura, se dibujó en la parte superior la desviación versus el tiempo en años en escala normal. Mientras que en la parte inferior se dibujó lo anterior en escala logarítmica.

En escala log-log la relación entre el tiempo versus la desviación estándar tiende a ser una recta que es paralela a la recta $1/\sqrt{T_i}$ que está multiplicada por un valor α que cambia de acuerdo a los datos y es el valor con el que se obtiene mejor ajuste. A continuación se muestran las figuras que indican lo expuesto.

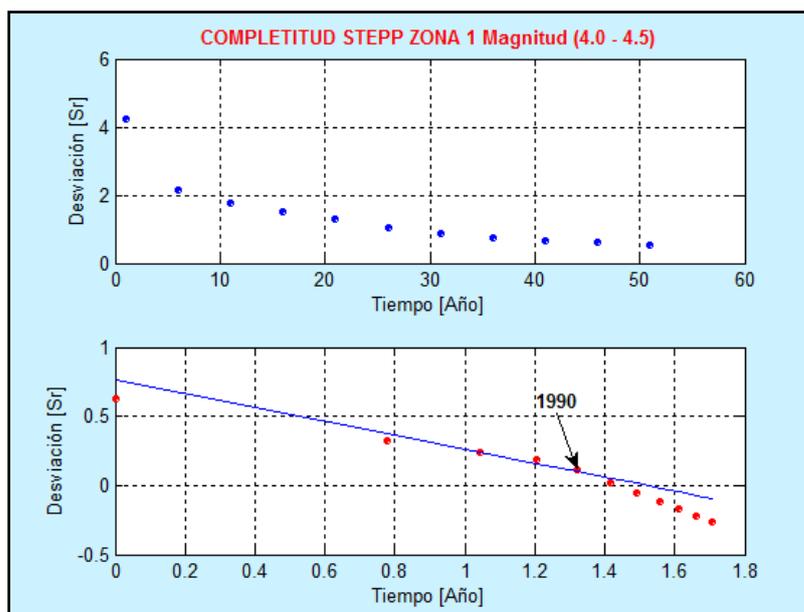


Figura 2.18: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.0 –4.5)

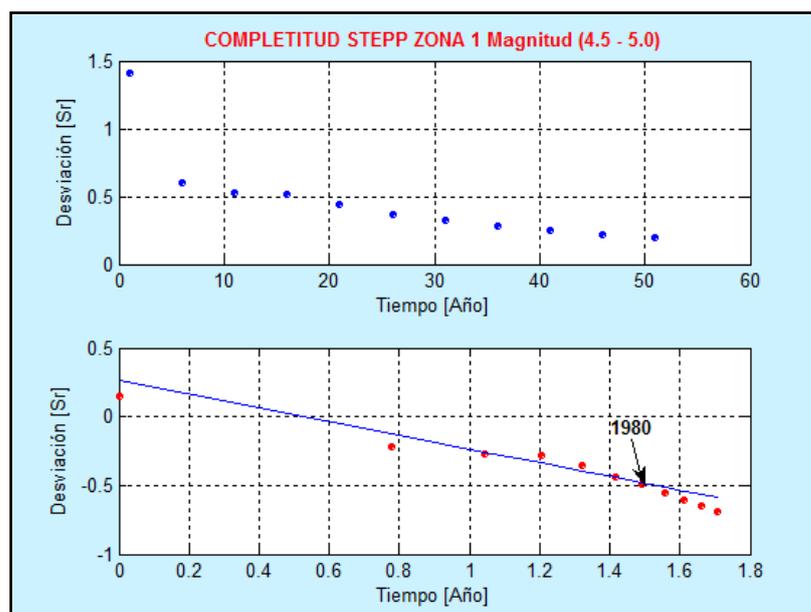


Figura 2.19: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (4.5 –5.0)

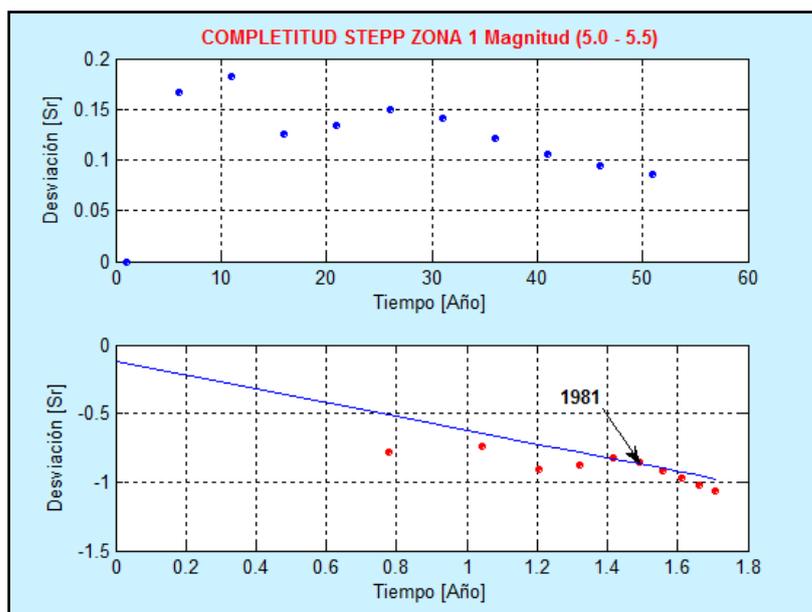


Figura 2.20: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.0 –5.5)

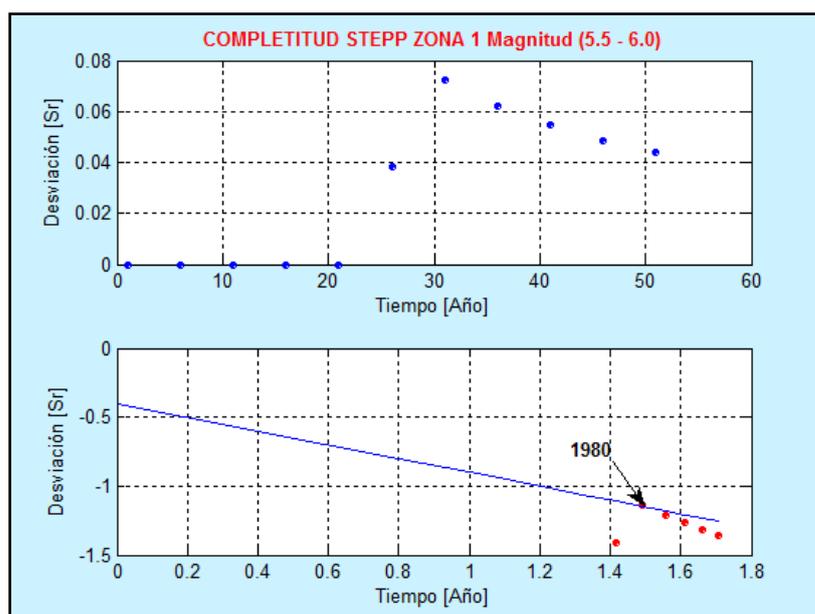


Figura 2.21: Completitud Zona Fuente 1 Magnitud (5.5 –6.0)

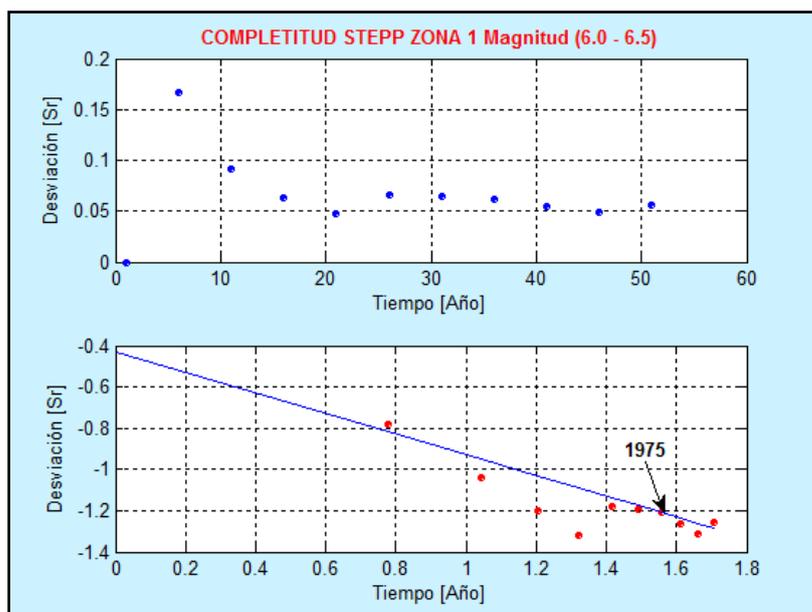


Figura 2.22: Complettitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.0 –6.5)

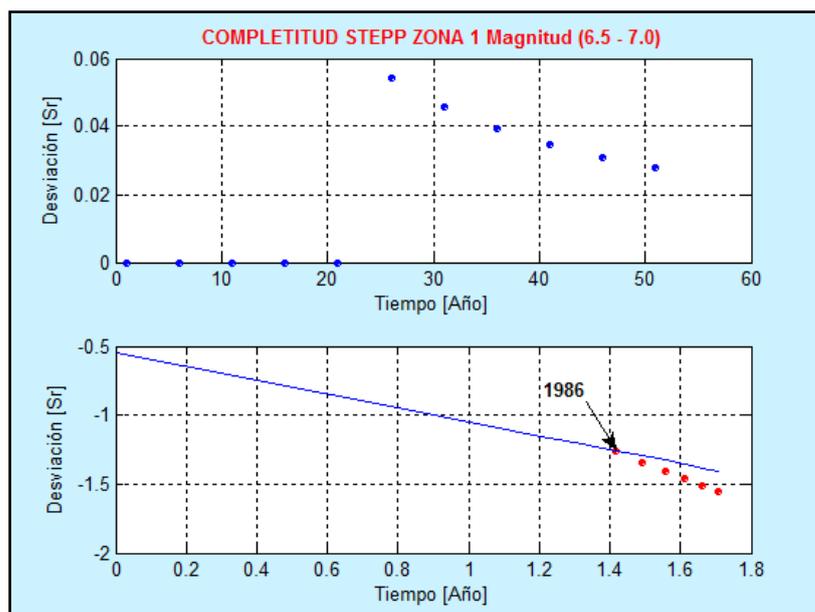


Figura 2.23: Complettitud Zona Fuente 1 Magnitud (6.5 –7.0)

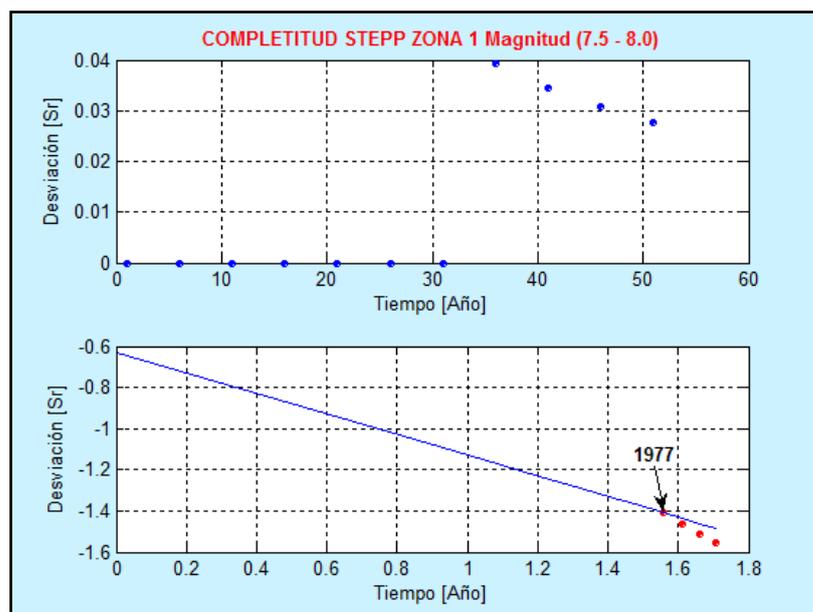


Figura 2.24: Compleitud Zona Fuente 1 Magnitud (7.5 –8.0)

2.4.3 Resultados del estudio de Compleitud

En la Tabla 2.2 se presentan los resultados para cada una de las 21 zonas fuentes consideradas con sus respectivos intervalos de magnitud obtenidos luego de realizar la completitud por el Método Stepp.

Tabla 2.2: Resultados del estudio de completitud por el Método de Stepp.

Zona Fuente	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
1	1990	1980	1981	1980	1975	1986		1977		
2	1990	1996	2002	1980						
3	1990	1992	1990	1980						
4	1990	1995		1995						
5	1994	1990	1991	1995	1970			1970		
6	1992	1995	1982	1982	1986					
7	1996	1999	1993			1995				
8	1998	1995	1995							
9	1995	1998	1986	1989	1990					
10	1999	1990	1995	1972						
11	1992	1986	2005	1995	1967					
12	1991	1990	1995	2000			1996			1906
13	2004	1994	2005	2002	1980					
14	1992	1993	1971	1996			1970			
15	1997	1995	1995	1990	1996					
16	1993	1965	1983	1995	1980		2007			



Zona Fuente	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
17	1995	1992	1996	1982	1995	1981				
18	1996	1995	2001	1972						
19	2005	1996	2000			1995				
20	2006	1995								
21	2001	1995	2005	2006						

2.5 Ventanas de Tiempo.

En la Tabla 2.3 se presentan los resultados encontrados por el Método Gráfico en la parte superior de la celda y los resultados encontrados por el Método de Stepp en la parte inferior de la celda de forma conjunta para poder compararlos.

Tabla 2.3: Resultados hallados con Método Gráfico y de Stepp.

Zona Fuente	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
1	1989	1981	1981	1980	1975	1986		1979		
	1990	1980	1981	1980	1975	1986		1977		
2	1989	1997	2004	1979						
	1990	1996	2002	1980						
3	1989	1993	1990	1979						
	1990	1992	1990	1980						
4	1990	1995		1995						
	1990	1995		1995						
5	1993	1990	1992	1994	1969			1969		
	1994	1990	1991	1995	1970			1970		
6	1990	1997	1984	1983	1986					
	1992	1995	1982	1982	1986					
7	1996	2003	1990			1994				
	1996	1999	1993			1995				
8	2000	1994	1994							
	1998	1995	1995							
9	1995	2000	1987	1989	1991					
	1995	1998	1986	1989	1990					
10	1998	1990	1994	1973						
	1999	1990	1995	1972						
11	1992	1987	2005	1995	1967					
	1992	1986	2005	1995	1967					



Zona Fuente	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
12	1992 1991	1990 1990	1995 1995	1999 2000			1997 1996			1906 1906
13	2004 2004	1993 1994	2004 2005	2004 2002	1980 1980					
14	1993 1992	1993 1993	1970 1971	1996 1996			1970 1970			
15	1998 1997	1995 1995	1995 1995	1990 1990	1996 1996					
16	1990 1993	1965 1965	1986 1983	1994 1995	1981 1980		2009 2007			
17	1994 1995	1993 1992	1997 1996	1983 1982	1994 1995	1982 1981				
18	1996 1996	1994 1995	2002 2001	1970 1972						
19	2005 2005	1997 1996	1999 2000			1994 1995				
20	2007 2006	1994 1995								
21	2001 2001	1999 1995	2009 2005	2007 2006						

Al comparar los dos métodos se puede observar una diferencia de uno o dos años. Esto era de esperarse puesto que el Método Gráfico es una variación del Método de Stepp. Por ello para las ventanas de tiempo se consideró los resultados obtenidos por el Método de Stepp.

En la Tabla 2.4 se presentan las ventanas de tiempo consideradas, con el criterio de que a medida que el rango de magnitud aumenta también debe aumentar la ventana de tiempo para que la muestra sea estable.

Tabla 2.4: Ventanas de tiempo que se deben considerar para estudios de Peligrosidad Sísmica.

Zona Fuente	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
1	20 1990	30 1980	30 1980	30 1980	35 1975	35 1975		35 1975		



Zona Fuente	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	5.0 - 5.5	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	6.5 - 7.0	7.0 - 7.5	7.5 - 8.0	8.0 - 8.5	8.5 - 9.0
2	20 1990	20 1990	20 1990	30 1980						
3	20 1990	20 1990	20 1990	30 1980						
4	20 1990	20 1990		20 1990						
5	16 1994	20 1990	20 1990	20 1990	40 1970			40 1970		
6	18 1992	18 1992	28 1982	28 1982	28 1982					
7	14 1996	14 1996	17 1993			17 1993				
8	12 1998	15 1995	15 1995							
9	15 1995	15 1995	24 1986	24 1986	24 1986					
10	11 1999	20 1990	20 1990	38 1972						
11	18 1992	24 1986	24 1986	24 1986	43 1967					
12	19 1991	20 1990	20 1990	20 1990			20 1990			104 1906
13	6 2004	16 1994	16 1994	16 1994	30 1980					
14	18 1992	18 1992	39 1971	39 1971			40 1970			
15	13 1997	15 1995	15 1995	20 1990	20 1990					
16	17 1993	25 1985	27 1983	27 1983	30 1980		30 1980			
17	15 1995	18 1992	18 1992	28 1982	28 1982	29 1981				
18	14 1996	15 1995	15 1995	38 1972						
19	5 2005	14 1996	14 1996			15 1995				
20	4 2006	15 1995								
21	9 2001	15 1995	15 1995	25 1995						

3. RELACIONES DE RECURRENCIA

En cada zona fuente se generan la variación del tamaño de los eventos sísmicos, para conocer ésta variación es necesario establecer la recurrencia sísmica de estas zonas fuentes; donde la recurrencia sísmica simboliza el número de eventos sísmicos mayores o iguales a cierta magnitud dentro de la zona fuente. Para conocer la relación de recurrencia de la actividad sísmica de cada una de las 21 zonas fuentes en estudio, se utilizó cuatro métodos descritos a continuación:

3.1 Relación de Gutenberg y Richter.

La relación de recurrencia de la actividad sísmica, propuesta independientemente por Ishimoto-Ida en 1939 y Gutenberg-Richter en 1944. Tiene la siguiente forma. (Richter, 1958)

$$\log N(M) = a - bM \quad (3-1)$$

Donde $N(M)$ es el número de sismos con magnitud igual o mayor que M ; a, b son parámetros que se obtienen en cada zona fuente aplicando regresión lineal; a es igual al logaritmo del número de sismos de magnitud mayor o igual que cero y b es la proporción de sismos de una cierta magnitud. (Aguilar, 2001). De la ecuación (3-1) y aplicando las propiedades de los logaritmos se determina:

$$\begin{aligned} N(M) &= 10^{(a-bM)} \\ \ln(N(M)) &= (a - bM) * \ln(10) \\ \ln(N(M)) &= a \ln(10) - b \ln(10) M \end{aligned}$$

Sean:

$$\begin{aligned}\alpha &= a \ln(10) \\ \beta &= b \ln(10)\end{aligned}\quad (3-2)$$

Entonces:

$$\ln(N(M)) = \alpha - \beta M \quad (3-3)$$

Sea λ_0 el número de sismos de magnitud mayor o igual a M_0 generados en promedio en una determinada área fuente en un tiempo t y sea $\lambda(M)$ el número de sismos de magnitud mayor a M en la misma fuente y en el mismo tiempo; de la ecuación (3-3) se tiene:

$$\begin{aligned}\ln(\lambda_0) &= \alpha - \beta M_0 \\ \ln(\lambda(M)) &= \alpha - \beta M\end{aligned}$$

Si se resta las ecuaciones anteriores:

$$\ln(\lambda_0) - \ln(\lambda(M)) = -\beta M_0 + \beta M$$

Al factorar y cambiar de signo en el lado derecho obtenemos:

$$\ln\left(\frac{\lambda(M)}{\lambda_0}\right) = -\beta (M - M_0)$$

Donde:

$$\lambda(M) = \lambda_0 e^{-\beta(M-M_0)} \quad (3-4)$$

La ecuación (3-4) no tiene ningún límite superior para la magnitud máxima M_U .

La Tabla 3.1 se presenta el cálculo de los parámetros a, b , de la ecuación (3-1), con los datos sísmicos de la zona fuente 2 hasta septiembre del 2011 para el ajuste se considera que la Magnitud es la variable X y que el número de sismos

de un determinado rango de magnitud dividido para la longitud de la ventana de tiempo es la variable Y.

Tabla 3.1: Cálculo de los parámetros a, b de la ley de recurrencia de Richter.

N	Magnitud	M_w	Ventanas T (años)	Número de sismos (NS)	$Y=NS/T$	Log Y	$X*\log Y$	X^2
1	4.0-4.5	4.0	20	158	7.900	0.898	3.591	16.00
2	4.5-5.0	4.5	20	25	1.250	0.097	0.436	20.25
3	5.0-5.5	5.0	20	6	0.300	-0.523	-2.614	25.00
4	5.5-6.0	5.5	30	2	0.067	-1.176	-6.469	30.25
Sumatoria		19		191	9.517	-0.533	-5.056	91.50

Las ecuaciones con las cuales se obtienen los parámetros a, b , son las siguientes (Ajuste de rectas por mínimos cuadrados).

$$\begin{aligned} \sum \log y &= N a + b \sum x \\ \sum x \log y &= a \sum x + b \sum x^2 \end{aligned} \quad (3-5)$$

Al reemplazar los datos de la Tabla 3.1, en la ecuación (3-5) se hallan: $a = 6.3228$, $b = 1.3682$. Ahora bien si se grafica la ecuación (3-1) con los valores a, b encontrados se obtendrá una recta.

La magnitud máxima registrada en una fuente no necesariamente se encuentra dentro de la ventana de tiempo considerada o puede ser que la magnitud máxima esperada en la fuente sea mayor a la magnitud máxima registrada.

Para modelar la sismicidad en una determinada área fuente, se utilizó un Proceso Estocástico de Poisson, también conocido como “Ley de los sucesos raros”, que consiste en contar los eventos raros que ocurren a lo largo del tiempo.

Se consideró como eventos raros los sismos que pueden tener diferentes magnitudes y pueden ocurrir en cualquier instante de tiempo.

El modelo de Poisson es un modelo sin memoria, puesto que no existe una dependencia temporal o espacial entre los eventos sísmicos. Es decir, los eventos sísmicos son independientes. Por ejemplo si ocurre un sismo el 1 de noviembre de 2011, en una determinada área fuente no tiene ningún efecto sobre el número de sismos que pueden ocurrir durante todo el mes de noviembre de 2011. El número total de sismos que se registren en el mes es aleatorio y este valor mensual se considera constante durante todo el año. En los modelos con memoria si influye el hecho de que se registro un sismo el 1 de noviembre de 2011, en el cálculo del número total de sismos mensual y anual. En efecto, con el modelo de Poisson, no se altera la evaluación de la Peligrosidad Sísmica, si se tiene un largo período de tiempo sin sismos.

La función de distribución del modelo de Poisson, está definida por la ecuación (3-6)

$$P(n \geq M) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad (3-6)$$

Donde $P(n \geq M)$ es la probabilidad de que en una determinada área fuente ocurran n sismos con magnitud mayor o igual a M en el intervalo de tiempo $(0, t)$; $\lambda(M)$ es el número medio de temblores con magnitud mayor o igual a M , que pueden registrarse en esa fuente.

El proceso de Poisson debe satisfacer las siguientes hipótesis. (Ruiz, 1985).

- **Independencia.**- El número de eventos en cualquier intervalo de tiempo es independiente del número de eventos en cualquier otro intervalo de tiempo.
- **Estacionariedad.**- La probabilidad de un evento en un intervalo corto de tiempo $(t, t + \Delta t)$ es aproximadamente $\lambda \Delta t$ para cualquier t . Entonces no importa qué tiempo t se elige para hacer la estimación.
- **No multiplicidad.**- La probabilidad de 2 o más eventos en un intervalo corto de tiempo es despreciable comparando con $\lambda \Delta t$.

La distribución de Poisson es una función asimétrica en la cual el valor medio es λ y la desviación estándar $\sigma = \sqrt{\lambda}$. Si $n = 0$ (Probabilidad de no ocurrencia de sismos) se tiene la ecuación (3-7), al reemplazar en la ecuación (3-6)

$$P(0) = e^{-\lambda t} \quad (3-7)$$

Donde $P(0)$ es la probabilidad de no tener sismos de magnitud mayor o igual a M , en el intervalo de tiempo t . Por lo tanto, la probabilidad de que ocurran sismos con magnitud mayor o igual a M en el intervalo de tiempo t , es:

$$P(n) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3-8)$$

En las ecuaciones (3-7) y (3-8) se colocó λ_M en lugar de λ , debido a que se halla la probabilidad de no tener o de tener sismos con magnitud mayor o igual a M .

Si T es la variable aleatoria del tiempo en que ocurre un sismo de magnitud M . Entonces la probabilidad de que T exceda algún valor de t es igual a la que

no ocurran sismos en el intervalo de tiempo t , o sea es igual a $1 - P_T(t) = P(0)$. De donde:

$$P_T(t) = 1 - \exp(-\lambda_M t) \quad t \geq 0 \quad (3-9)$$

Al derivar $P_T(t)$ con respecto al tiempo se halla la función de densidad de probabilidad $f_T(t)$, es:

$$f_T(t) = \frac{dP_T(t)}{dt} = \lambda_M \exp(-\lambda_M t) \quad (3-10)$$

Donde t es el tiempo entre sismos con magnitud mayor o igual que M y λ_M es la tasa de excedencia de la magnitud M . Luego el período de retorno T_R (tiempo esperado entre sismos de magnitud M) es:

$$T_R = \frac{1}{\lambda_M} \quad (3-11)$$

3.2 Relación de Cornell y Vanmarcke.

Cornell y Vanmarcke (1969) presentan un modelo más realista para encontrar $\lambda(M)$:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_U}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_U}} \quad (3-12)$$

La ecuación (3-12) se utiliza en algunos programas para evaluar peligrosidad sísmica, como en el Programa CRISIS, en sus distintas versiones. Ordaz *et al.* (2007), cuando se utiliza la función de distribución de Poisson. Si se dibuja la ecuación (3-12) en papel semilogarítmico se verá que para magnitudes pequeñas es una recta con una pendiente igual a $-\beta$ lo que está en concordancia con lo observado por Gutenberg y Richter (1944); para magnitudes altas la recta se transforma en una curva cóncava hacia abajo y, $\lambda(M) = 0$ para magnitudes mayores a M_U .

El cálculo de los parámetros λ_0 , β , M_U se lo realiza en base a los datos del Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE, y se toma en cuenta el problema de la completitud de la información sísmica. Además es importante tener en cuenta las siguientes observaciones. Ordaz (2002).

- El tiempo de observación de sismos instrumentales es muy limitado. En el caso de Ecuador, las redes sísmicas empezaron a funcionar en el período 1980-2000.
- Existe incertidumbre en la ubicación de los epicentros, profundidad focal y magnitud con respecto a lo que proporciona el USGS, para algunos eventos sísmicos.
- Los catálogos sísmicos vienen en varias escalas de magnitud; M_L para los sismos registrados antes de 1960; M_b , M_s para los sismos registrados entre 1960 y el 2000; M_w para los sismos posteriores al 2000. Donde:
 - M_L es Magnitud Local.
 - M_b es Magnitud de Ondas de Cuerpo.
 - M_s es Magnitud de Ondas Superficiales.
 - M_w es la Magnitud de Momento.

3.2.1 Aplicación de la relación Cornell y Vanmarcke para Sismos Corticales o Cordilleranos.

3.2.2 Para aplicar el criterio de Cornell y Vanmarcke (1969) indicado en la ecuación (3-12) se debe encontrar el valor de λ_0 que es el número

de sismos con magnitud mayor a 4.0, al año. Para ello se debe obtener:

$$\alpha = a * \ln(10) = 14.5588;$$

$$\beta = b * \ln(10) = 3.1504;$$

$$\lambda_0 = \exp(\alpha - \beta M_0) = 7.0800$$

A continuación se dibuja en las abscisas la magnitud sísmica versus λ en escala logarítmica, con la aplicación de la relación de Cornell y Vanmarcke para una zona fuente.

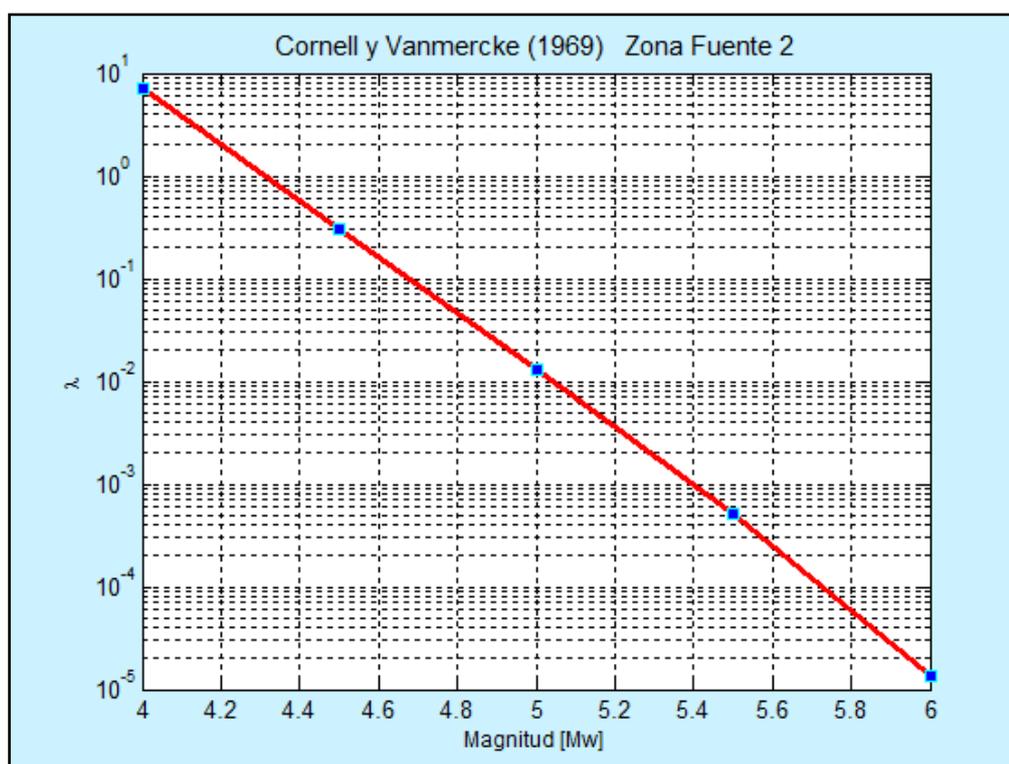


Figura 3.1: Relación de Cornell y Vanmarcke aplicada a la Zona Fuente 2

3.2.3 Aplicación de la relación Cornell y Vanmarcke para Sismos de Subducción o Interplaca.

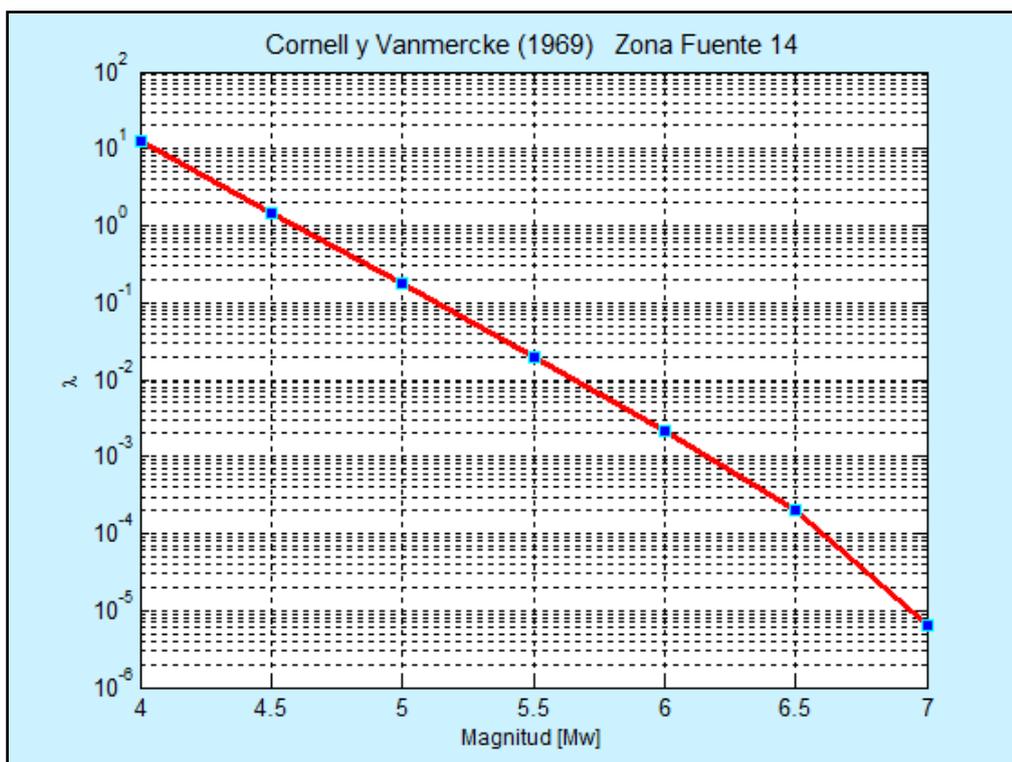


Figura 3.2: Relación de Cornell y Vanmarcke aplicado a la Zona Fuente 14

3.3 Relación de Wesnousky.

Wesnousky se basa en el criterio a partir de la recta que se obtiene de la ecuación (3-1) se traza una línea horizontal hasta el punto de corte con una recta perpendicular a la magnitud máxima Wesnousky (1994) Esta es otra forma de verificar que Gutenberg-Richter es adecuado para magnitudes medias y bajas. La forma de escalamiento para magnitudes altas debe considerar la recta paralela, ver Figura 3.3

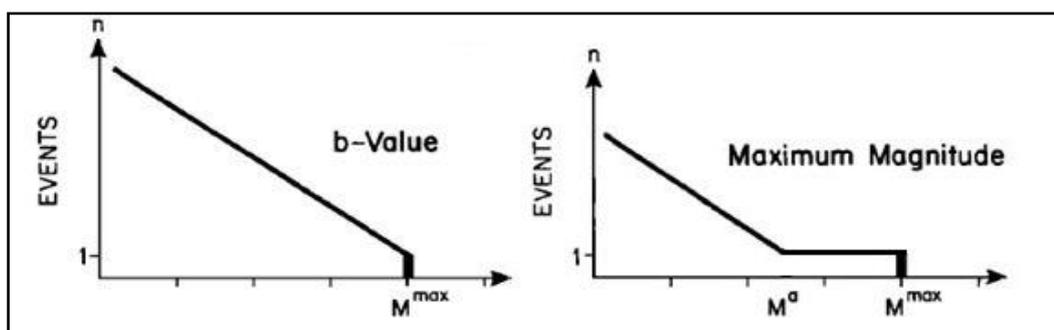


Figura 3.3: Modelo de Wesnousky (1994)

3.3.1 Aplicación de la relación de Wesnousky para Sismos Corticales o Cordilleranos.

A continuación se muestra una aplicación de la relación de Wesnousky; la recta de color rojo corresponde a la relación de Gutenberg-Richter y la recta de color azul corresponde al modelo de Wesnousky (1994). Ver Figura 3.4

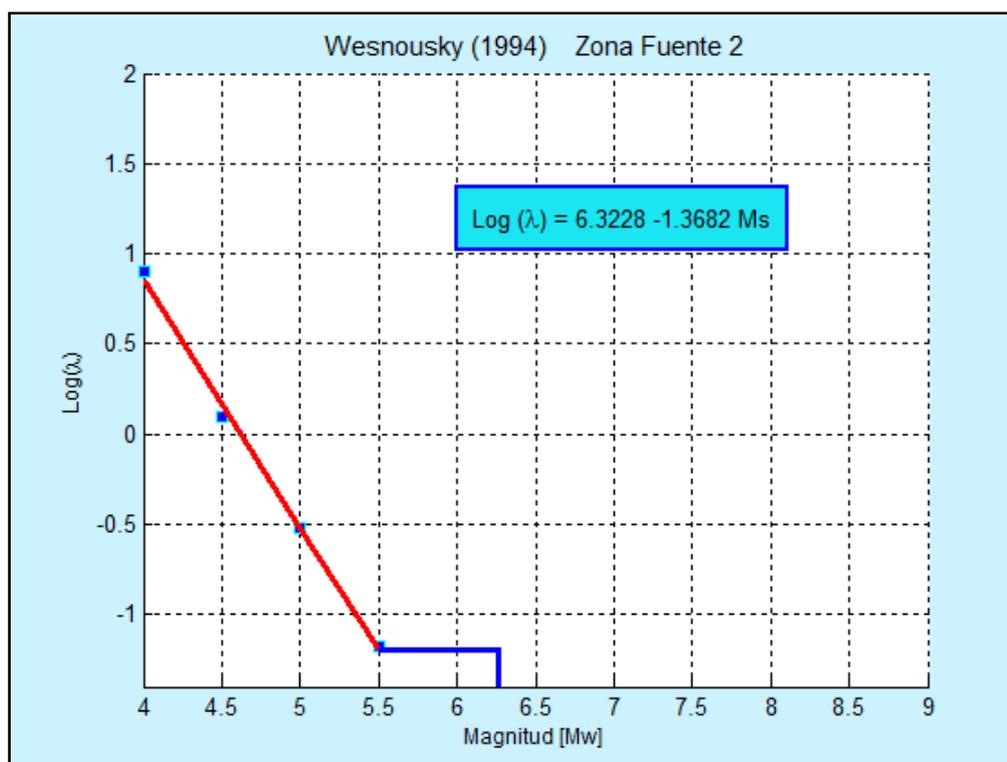


Figura 3.4: Relación de Wesnousky aplicado a la Zona Fuente 2

3.3.2 Aplicación de la relación de Wesnousky para Sismos de Subducción o Interplaca.

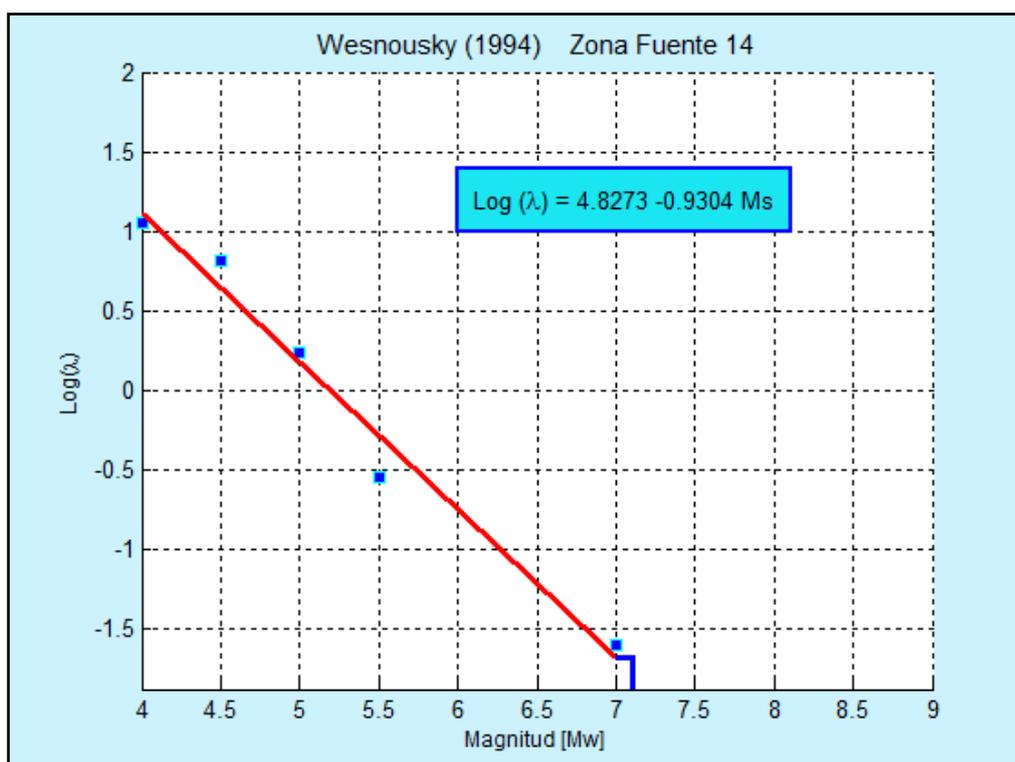


Figura 3.5: Relación de Wesnousky aplicado a la Zona Fuente 14

3.4 Relación de Zoller.

Un nuevo modelo es propuesto por Zöller et al (2008) se fundamenta en que los eventos sísmicos de menor magnitud están relacionados a un proceso estocástico, y los eventos de mayor magnitud están relacionados al umbral dinámico del proceso de generación de sismos.

El modelo utiliza la relación de Gutenberg-Richter para sismos de bajas magnitudes m_{\min} o magnitudes intermedias m_{\max} . Mientras que para sismos de grandes magnitudes m_m se ajusta haciendo una extrapolación de la recta de Gutenberg-Richter.

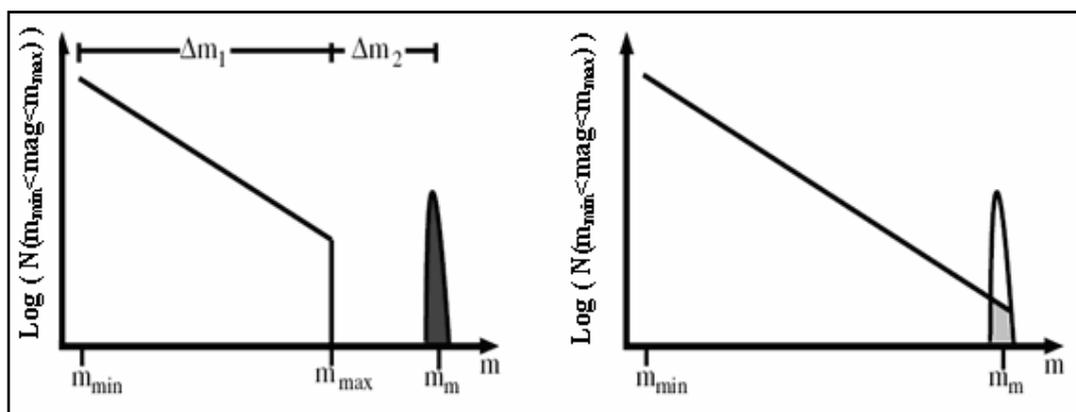


Figura 3.6: Modelo de Zöller (Figuroa, 2009)

3.4.1 Aplicación de la relación de Zoller para Sismos Corticales o Cordilleranos.

A continuación se muestra una aplicación la recta de color rojo corresponde a la relación de Gutenberg-Richter y la recta de color azul corresponde a la extrapolación de la misma aplicando la relación de Zöller (2008). Ver Figura 3.7

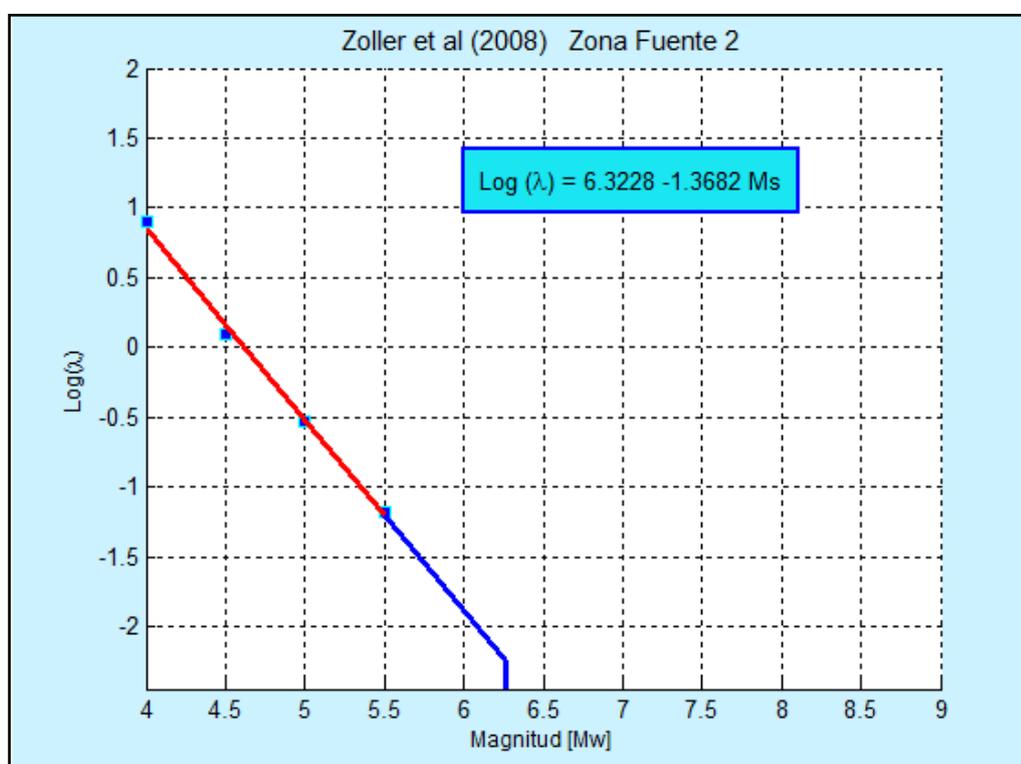


Figura 3.7: Relación de Zöller aplicado a la Zona Fuente 2

3.4.2 Aplicación de la relación de Zoller para Sismos de Subducción o Interplaca.

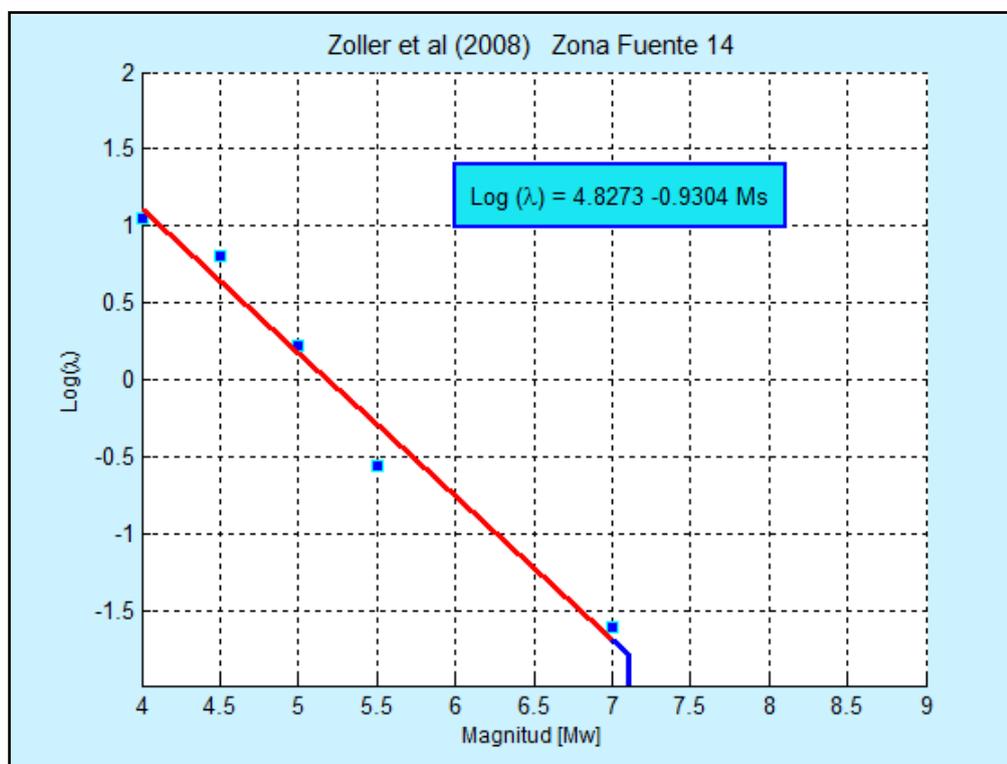


Figura 3.8: Relación de Zöller aplicado a la Zona Fuente 14

En la Figura 3.9 se presentan las relaciones de recurrencia aplicando los tres criterios, primero el criterio de Zoller et al. (2008), segundo el criterio de Wesnousky (1994) y tercero el criterio de Cornell y Vanmarcke (1969) todos estos métodos aplicados a la zona fuente 2.

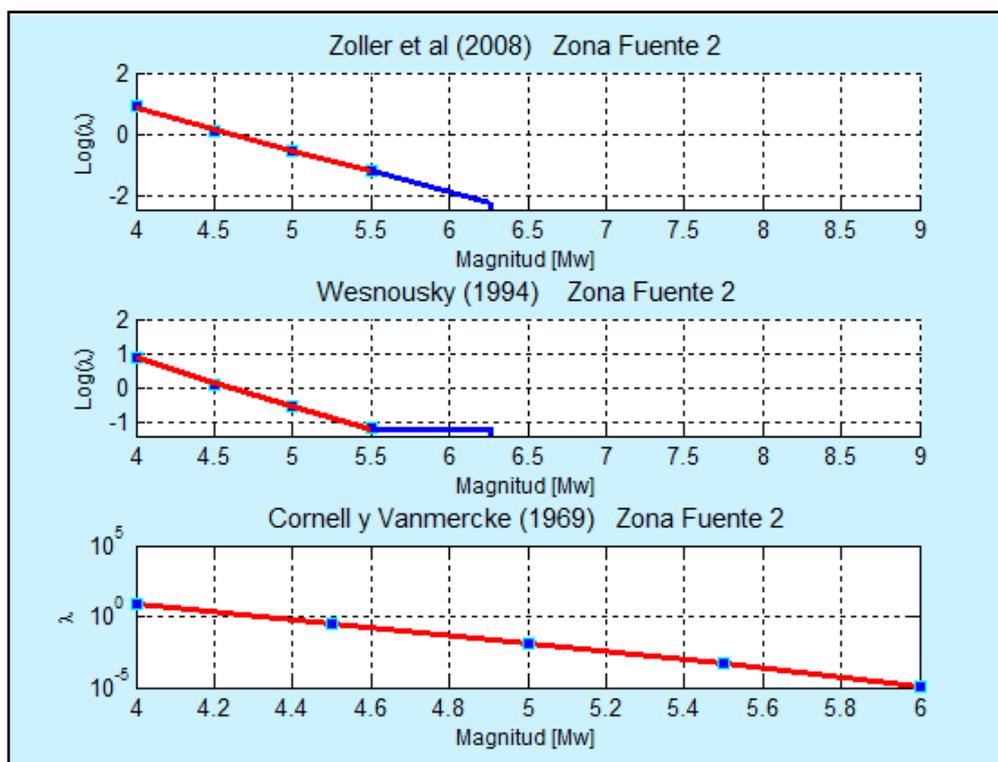


Figura 3.9: Relación de Zöller, Wesnousky, Cornell y Vanmercke aplicado a la Zona Fuente 2

En el Anexo C se indican las figuras con las relaciones de Zöller, Wesnousky, Cornell & Vanmercke para las 21 zonas fuentes estudiadas. Además en la Tabla 3.2 se indican los valores considerados en el cálculo de las relaciones de recurrencia para las 21 zonas fuentes.

Tabla 3.2: Valores de a y b para cada Zona Fuente.

ZONA	a	b	λ_0	β
1	4.3337	-0.7914	14.7220	1.8224
2	6.3228	-1.3682	7.0800	3.1504
3	7.5921	-1.6139	13.6975	3.7160
4	7.5086	-1.6028	12.5141	3.6906
5	3.9545	-0.8027	5.5439	1.8482
6	7.8123	-1.5444	43.1030	3.5562
7	3.7863	-0.7980	3.9295	1.8374
8	7.3192	-1.6088	7.6564	3.7044
9	6.3532	-1.2900	15.6001	2.9704
10	3.9829	-0.9128	2.1463	2.1018
11	3.8205	-0.8989	1.6781	2.0698



ZONA	a	b	λ_0	β
12	3.8428	-0.7271	8.5980	1.6743
13	8.3077	-1.6253	64.0725	3.7423
14	4.8273	-0.9304	12.7558	2.1423
15	3.5094	-0.7370	3.6431	1.6970
16	4.8112	-0.9499	10.2669	2.1873
17	2.2473	-0.5106	1.6021	1.1758
18	1.5484	-0.4429	0.5984	1.0197
19	1.5398	-0.4502	0.5482	1.0367
20	7.8727	-1.9439	1.2500	4.4761
21	6.3446	-1.3849	6.3817	3.1889

4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DE QUITO

4.1 Estudio realizado en 1994

El Proyecto denominado: “Manejo del Riesgo Sísmico para Quito-Ecuador” se inició en 1992 y concluyó en 1994. Su aspecto más relevante fue la obtención de 20 zonas de acuerdo al tipo de suelo, las mismas que se indican en la Figura 4.2. EPN et al. (1994). Se aprecian tres depósitos de suelos y son los indicados en la Figura 4.1

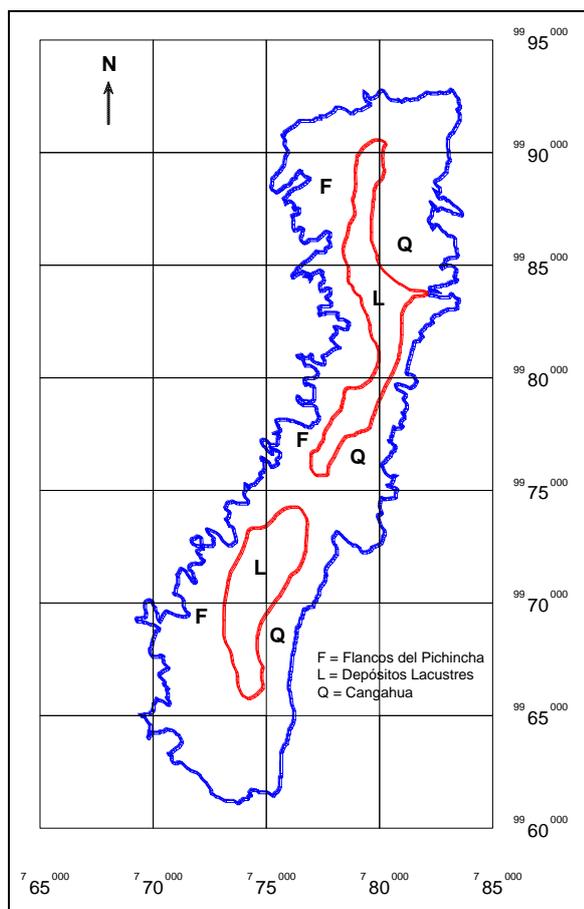


Figura 4.1: Zonificación básica de los suelos de Quito. EPN et al. (1994)

- Flancos orientales del Pichincha (F) conformados por cenizas volcánicas y depósitos de cangahua.
- Depósitos lacustres superficiales y ceniza volcánica en la depresión central de la ciudad (L)
- Formaciones de cangahua y ceniza volcánica (Q) ubicados al este de Quito.

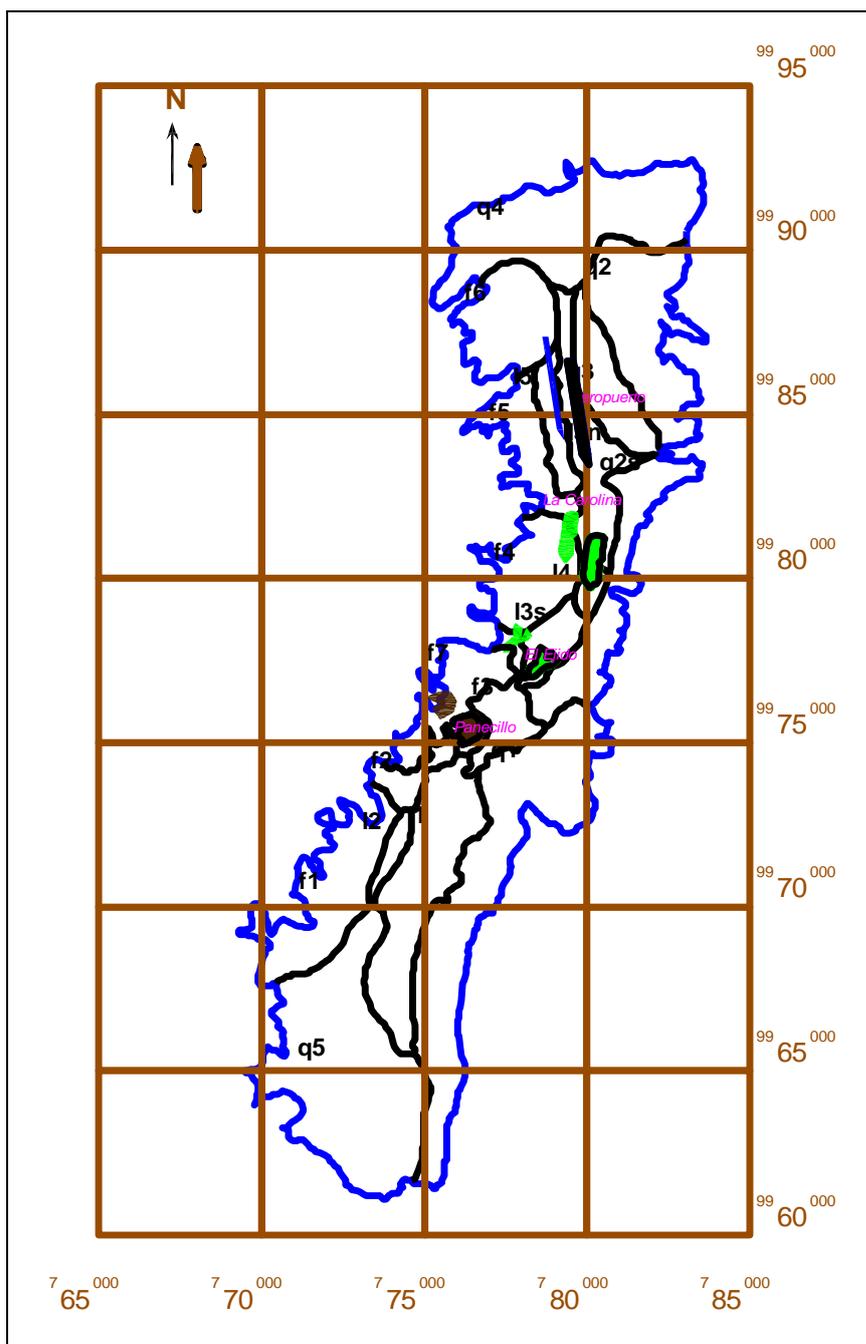


Figura 4.2: Zonificación de los suelos de Quito. EPN et al. (1994)

En la Figura 4.2 se tienen 7 zonas de tipo F, 6 zonas de tipo L y 6 zonas de tipo Q y la zona donde se encuentra el Panecillo que es de origen volcánico y como referencia se ha dibujado los parques de El Ejido que se halla en la zona I3s; La Carolina que se encuentra en las zonas I4 y I3n. Se ha dibujado también el Aeropuerto de Quito que se encuentra en la zona I3n y el Panecillo.

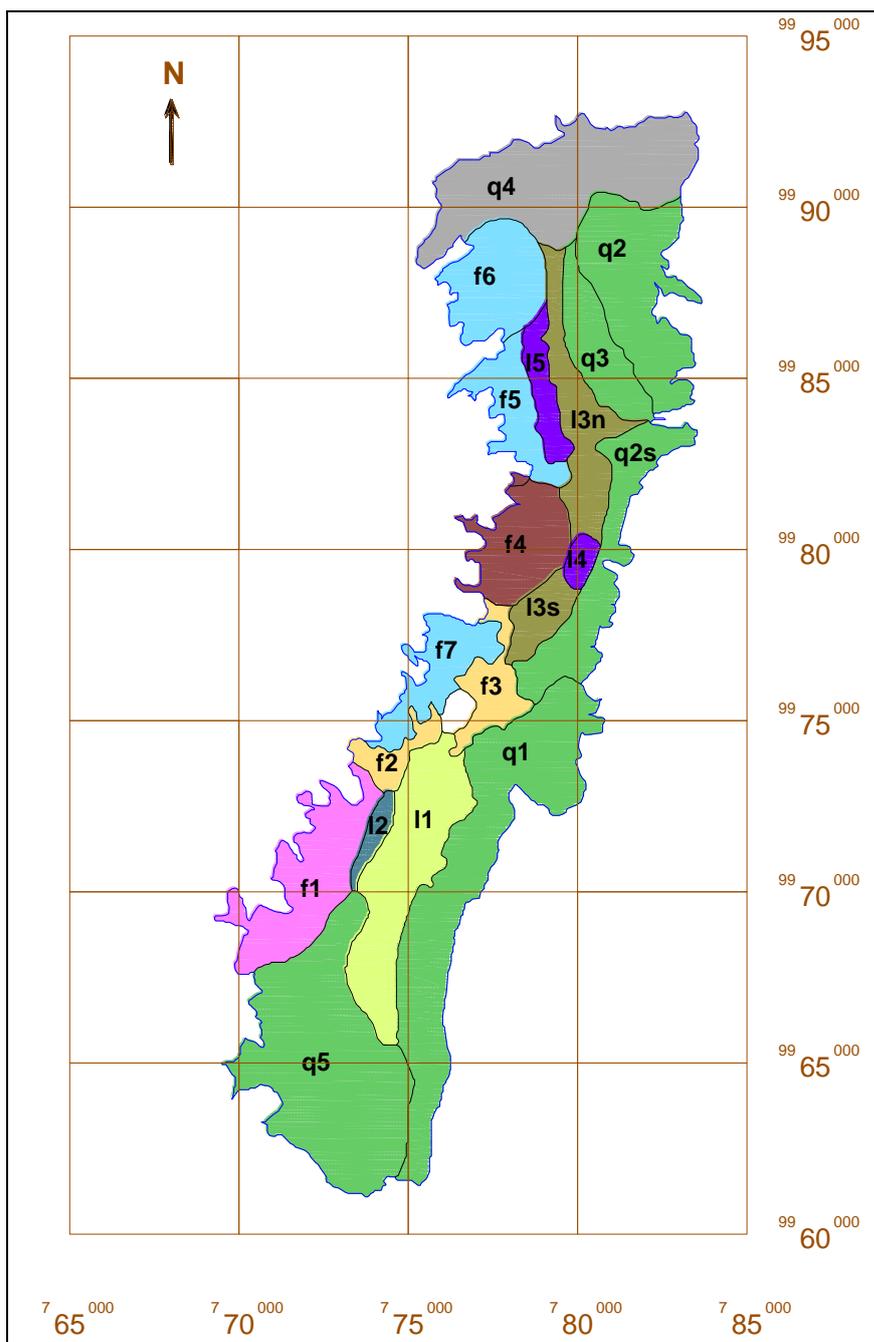


Figura 4.3: Zonas de suelo similares. EPN *et al.* (1994)

Las zonas tipo **f** están formadas por depósitos aluviales, principalmente de cangahua y cenizas volcánicas. Hay que recalcar que la mayor concentración de la población se tiene en la zona **I** que está cubierta por suelos lacustres asentados muy probablemente sobre depósitos de Cangahua. Las zonas tipo **q** están formadas por Cangahua.

Con relación a los flancos del Pichincha, la EPN *et al.* (1994) observó que la zona **f1** está conformada por material coluvial cubierto de depósitos de cangahua recientes. Las zonas **f2**, **f3**, presentan características similares, son cangahuas cubiertas por diferentes tipos de suelo. Para las zonas **f5**, **f6** y **f7** pueden ser compatibles. Por este motivo se han diferenciado estos dos grupos de los demás en la Figura 4.3

Con relación a los suelos lacustres se menciona que la zona **I1** son depósitos lacustres con formaciones de cangahua. La zona **I2** es una formación de la zona **f1** cubierta por la zona **I1** en capas superficiales. La zona **I3** corresponde a depósitos lacustres superficiales. La zona **I4** corresponde al sector del Parque la Carolina, donde el nivel freático es alto y los primeros estratos de suelo son de gran espesor y de poca resistencia; algunos especialistas de suelos manifiestan que en la Carolina existía un gran lago, otros descartan esta hipótesis en función del suelo encontrado en la zona. La zona **I5** está cubierta por material aluvial de la zona **f5**. Por sus características se puede decir que las zonas **I4** e **I5** son similares.

En la Figura 4.3 los colores representan la similitud de suelos. Entonces queda de manifiesto que los suelos de las zonas: **q1**, **q2**, **q3** y **q5** son muy

similares. La zona **q4** es una cangahua recubierta con arena volcánica de poca resistencia. EPN *et al.* (1994)

El trabajo realizado por la EPN *et al.* (1994) en cada zona de suelo, presenta un suelo tipo representativo de cada uno. En base a esta información se obtuvo las velocidades de la onda de corte V_s considerando 5, 10, 15, 20 y 25 m., de suelo, para lo que se utilizó la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{Si}} = \frac{H}{V_s} \quad (4-1)$$

Donde n es el número de estratos de suelo considerados; h_i, V_{Si} altura y velocidad de la onda de corte del estrato i ; H es la altura total del suelo considerado; V_s es la velocidad de la onda de corte hallado hasta el sitio de interés.

Tabla 4.1: Velocidad de la Onda de Corte a distintas profundidades.

Zona	Vs ₅ [m/s]	Vs ₁₀ [m/s]	Vs ₁₅ [m/s]	Vs ₂₀ [m/s]	Vs ₂₅ [m/s]
F1	302.00	303.11	337.75		
F2	243.00	251.16	279.31	304.23	323.35
F3	194.00	219.65	241.18	264.81	
F4	280.47	329.73			
F5	302.95	345.43			
F6	294.43	318.98	334.54		
F7	295.54				
L1	216.00	255.61	257.75	284.98	310.19
L2	266.19	280.80	292.38	325.27	348.82
L3	216.48	246.13	267.36	288.84	308.51
L4	226.00	261.60	298.02		
L5	230.02	271.00			
Q1	240.00	284.75	302.23	317.17	334.98
Q2n	344.99	344.73			
Q2s	344.99	344.73	366.38	378.26	
Q3	221.22	266.24	303.07		
Q4	313.24				
Q5	302.00	332.96	327.99	329.64	346.04

De los resultados que presenta la Tabla 4.1, lo que más se puede concluir es que en 6 zonas se obtuvieron muestras de suelo hasta 25 m., de profundidad y en 2 hasta 20 m, los restantes son a menores profundidades, esta es una debilidad del estudio y merece que se haga una nueva microzonificación de los suelos de Quito pero con ensayos a mayores profundidades.

En la Tabla 4.1 se aprecia que en los primeros 5 m, los suelos tienen bajas velocidades de la onda de corte y conforme aumenta la profundidad los valores de V_s se incrementan (en la mayor parte de los casos). En base a los suelo tipo de cada una de las zonas, se encontró las funciones de transferencia al considerar como excitación sismos locales, los mismos que fueron normalizados a 0.4 g, 0.3 g, 0.2 g, 0.1 g Siendo g la aceleración de la gravedad, el módulo de corte G y el factor de amortiguamiento ξ , se asumen de acuerdo al tipo de material.

Las funciones de transferencia se encontraron con el programa Shake91 (Schnabel *et al.* 1992) y con esto se determinó el período de vibración de los suelos, los mismos que se indican en la Tabla 4.2. Los valores son bastante bajos y esto se debe a la altura de la columna de suelo considerada.

Tabla 4.2: Períodos de vibración en cada zona de suelo.

Zona	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	L1	L2
T	0.178	0.309	0.302	0.121	0.116	0.179	0.068	0.322	0.287
Zona	L3	L4	L5	Q1	Q2n	Q2s	Q3	Q4	Q5
T	0.324	0.201	0.148	0.299	0.116	0.211	0.198	0.064	0.289

4.2 Estudio realizado en 2002

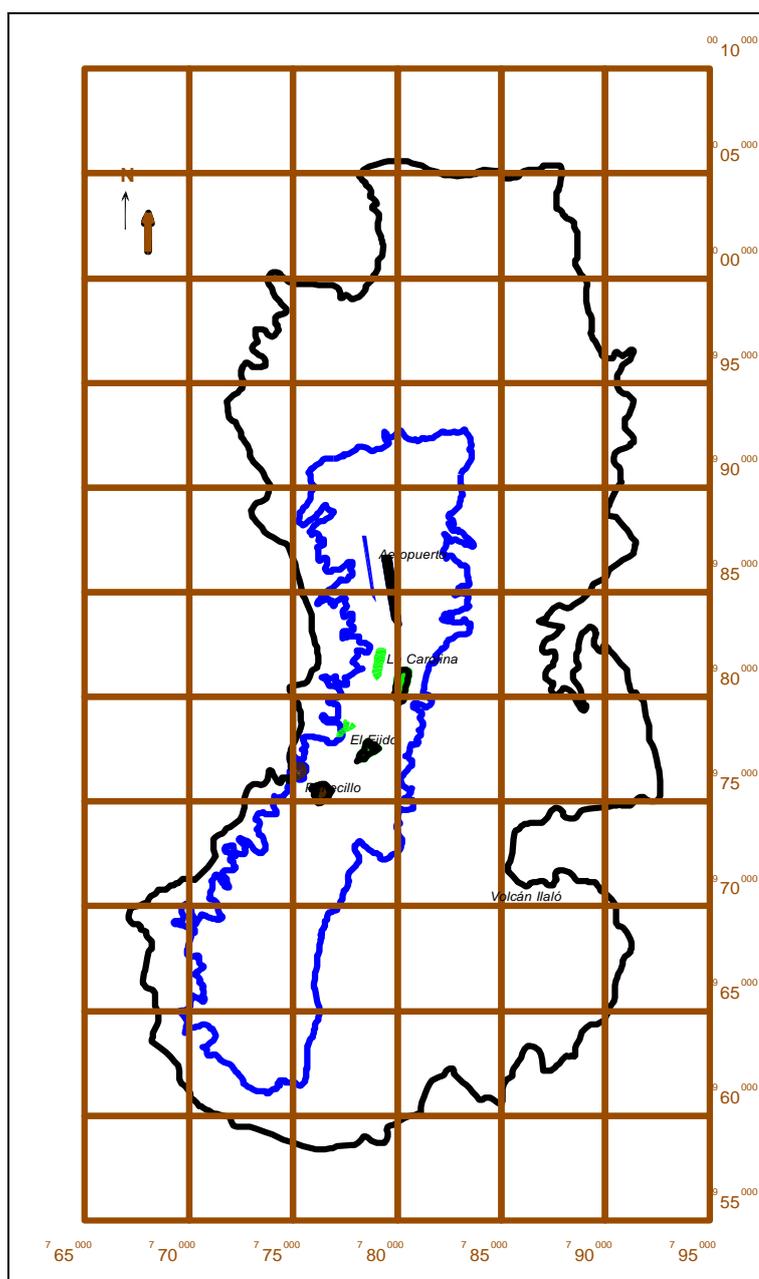


Figura 4.4: Áreas de estudio de los trabajos realizados por la EPN en 1994 y 2002.

En el trabajo realizado por Valverde et al. (2002) se amplía notablemente el área de estudio como se aprecia en la Figura 4.4, y basa su estudio en el trabajo realizado por la EPN et al. (1994) más trabajos complementarios como son la determinación de espectros de respuesta elástica.

La clasificación de los suelos de Quito, de acuerdo a los perfiles de suelo del CEC-2000, al que llegan Valverde *et al.* (2002) se presenta en la Figura 4.5. De acuerdo a este estudio no existe perfil de suelos S4. Esto se debe a que no consideraron la presencia de las quebradas, las mismas que en su mayor parte se rellenaron en forma anti técnica y porque piensan que en Quito no hay zonas de licuefacción. Además, en el perfil de suelo S3 incluyen las zonas de relleno de cauce de antiguas quebradas, de manera que Valverde *et al.* (2002) considera solo tres tipos de suelo S1 a S3.

Al margen del trabajo presentado por Valverde *et al.* (2002) se puede manifestar que los suelos de Quito son muy resistentes ya que se asientan sobre Cangahua. Únicamente en el Sur de Quito, en el sector de Turubamba los suelos tienen poca resistencia a la compresión, son suelos muy buenos para la Agricultura pero no para la construcción.

En el sector de Turubamba se han realizado planes habitacionales de uno y dos pisos que han presentado hundimientos de suelo, no en todo el plan pero si en algunas viviendas por lo que se considera muy adecuado que a esta zona se la considere como un perfil de suelo tipo S3 como se aprecia en la Figura 4.5.

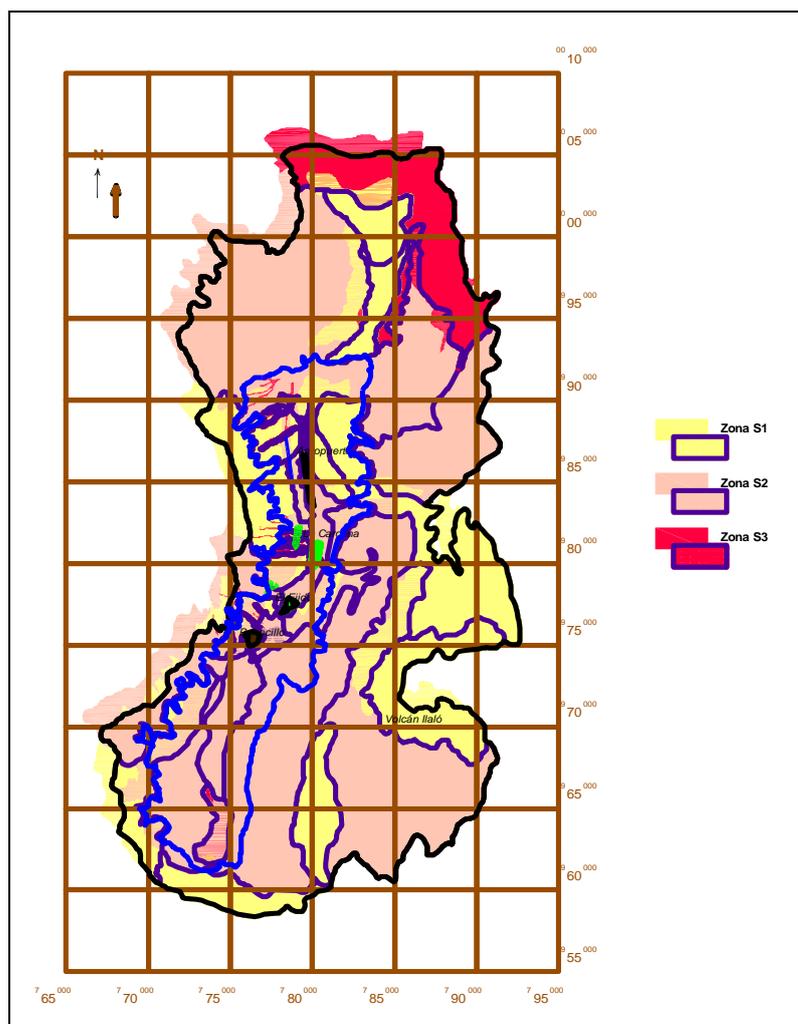


Figura 4.5: Clasificación de los suelos de Quito. Trabajo de Valverde *et al.* (2002)

4.3 Quebradas de Quito.

La mayor parte de las Quebradas que llegan a Quito, provienen del Pichincha y son los cauces por los cuales fluyen las aguas. Con el paso del tiempo estas quebradas han sido rellenadas, no en forma técnica pero, con el paso del tiempo, se han ido consolidando.

Es importante conocer los sitios donde se encuentran las quebradas y de acuerdo a la normativa del CEC-2000 corresponden a un suelo tipo S4. Con este antecedente en la Figura 4.6 se presentan las quebradas de Quito, comprendidas

entre las latitudes: $99^{\circ}85'00''$ (Aeropuerto) y $99^{\circ}75'00''$ (Panecillo) y entre las longitudes $77^{\circ}50'00''$ y $77^{\circ}30'00''$, con el propósito de visualizar el Centro Norte de Quito.

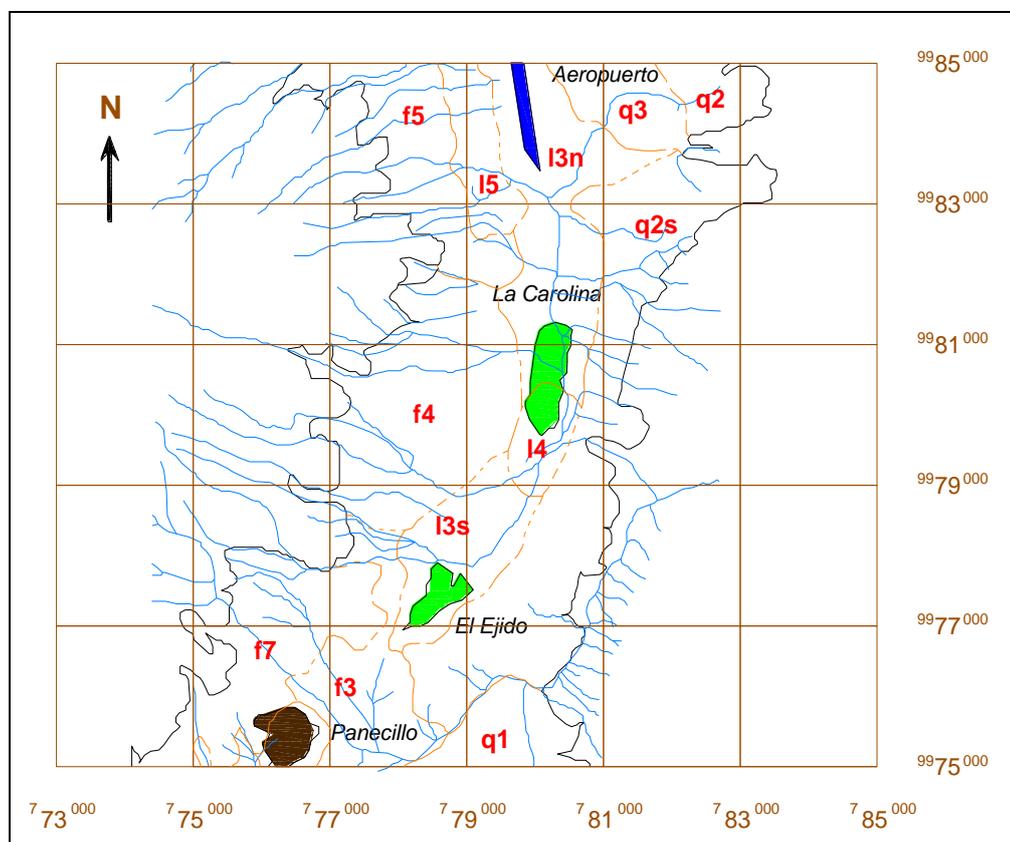


Figura 4.6: Quebradas en el Centro Norte de Quito.

4.4 Zonas de Inundaciones.

En la Figura 4.7 se puede apreciar una de las zonas susceptibles a inundaciones como el sector de la Mariscal y La Carolina. Es de vital importancia considerar las inundaciones puesto que conjuntamente con suelos de material granular y ondas sísmicas constituyen el fenómeno conocido como licuefacción.

Con frecuencia la Prensa trae títulos como el siguiente: “Taponamiento de Quebradas causó inundaciones en Quito”. El Telégrafo, (2011) y hace referencia al taponamiento de las quebradas Chibichaba y Caicedo de las faldas del

Pichincha (A la altura del Quito Tennis) lo que ocasionó inundaciones en varias vías y viviendas de Quito durante la fuerte lluvia del 16 de abril de 2011. Titulares como “Inundaciones en Quito por lluvias”. El Tiempo, (2011) que hace referencia a la fuerte lluvia, acompañada de tormenta eléctrica y granizo. Como consecuencia varias vías inundadas, vehículos atrapados como dos trolebuses que quedaron atrapados en el sector conocido como La Y.



Figura 4.7: Vía inundada (eltiempo.com)

“Lluvias hacen que Quito colapse por los deslaves e inundaciones”. El Universo, (2011) la noticia hace referencia a la explosión de un colector que recorre parte de la avenida Occidental y baja por la Granda Centeno. Ésta explosión ocasionó inundaciones en el tramo de la ruta trolebús donde dos unidades quedaron atrapadas con sus pasajeros.



Figura 4.8: Trolebús en sector inundado (eluniverso.com)

4.5 Zonas de Licuefacción.

La licuefacción es considerada como un fenómeno, en el cual por acción de las ondas sísmicas en áreas donde el material granular no consolidado está saturado; se produce la reducción de la resistencia y rigidez del suelo debido al aumento de la presión de poros.

Algunos especialistas de suelos, indican que en Quito no existen zonas de licuefacción pero existe un trabajo publicado en el 2002 en el que se muestra las zonas de riesgo por inundación y licuefacción de los suelos de Quito (Trémolières, 2002), el mismo que se presenta en la Figura 4.9.

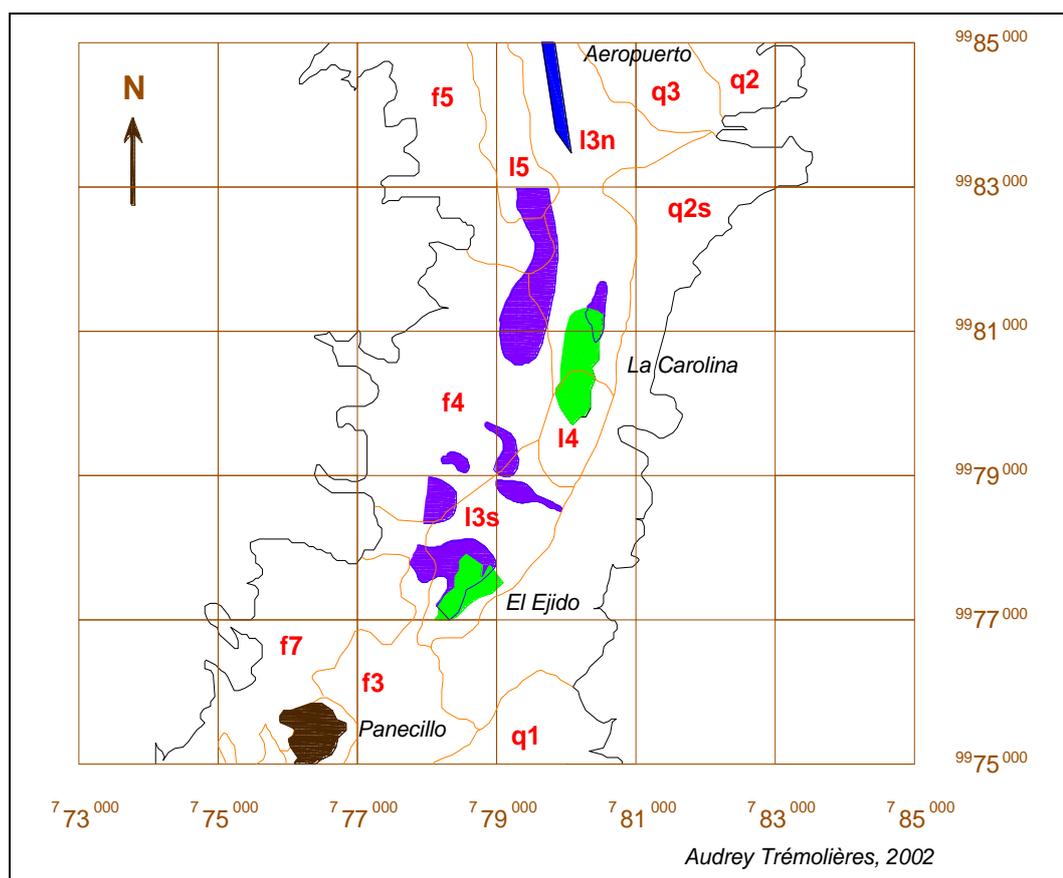


Figura 4.9: Zonas susceptibles a licuefacción e inundaciones.
(Trémolières, 2002)

Antes que descartar el peligro de licuefacción de los suelos de Quito es conveniente estudiar con más detenimiento los sitios indicados en la Figura 4.9, ya que este tipo de suelos durante un sismo pierden su capacidad al corte y las estructuras se vuelcan; numerosos son los casos de colapsos de estructuras por este motivo, por ejemplo dos casos recientes son el sismo de Perú de 2007 y Chile de 2010 en los cuales se produjeron dichos colapsos. Tavera *et al.* (2008), Sarrazín (2010).



Figura 4.10: Licuefacción del suelo a causa del terremoto ocurrido en Niigata, Japón en 1964 (scribd.com)

Otra consecuencia de la licuefacción además de los volcamientos, es que los objetos situados bajo tierra, pueden flotar literalmente hacia la superficie, mientras las estructuras superficiales pueden hundirse (Tarbuck y Lutgens, 2000).



Figura 4.11: Estructuras hundidas por licuefacción, Japón 11 marzo 2011 (Scott Ashford, Oregon State University)

5. FALLAS GEOLÓGICAS QUE PUEDEN AFECTAR A QUITO

5.1 Descripción de las Fallas Geológicas.

Una falla geológica es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido desplazamiento relativo de los bloques paralelo a la fractura (Bates y Jackson, 1980) Es además una superficie de discontinuidad sobre la cual ha ocurrido desplazamiento de cizalla (Keary, 1993).

5.1.1 Elementos.

Una falla está compuesta de los siguientes elementos:

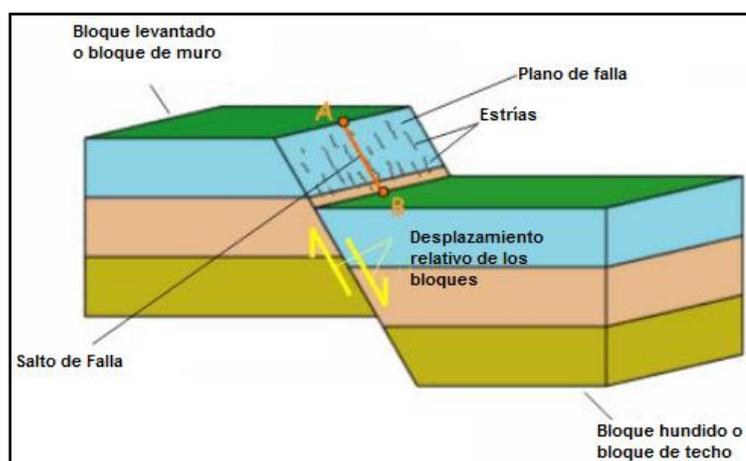


Figura 5.1: Elementos de una falla (slideshare.net)

- *Bloque levantado o bloque superior.* es el bloque que queda encima del plano de falla.

- *Bloque hundido o bloque inferior*: es el bloque que queda debajo del plano de falla.
- *Plano de falla*: es la superficie a lo largo de la cual se desplazan los bloques que se separan de la falla. Debido a este roce presentan estrías.

5.1.2 Características.

- *Buzamiento*: ángulo que forma el plano de falla con la horizontal.
- *Dirección*: ángulo que forma una línea horizontal contenida en el plano de falla con el eje norte-sur.
- *Salto de falla*: distancia vertical, medida entre los bordes del bloque levantado y el hundido.

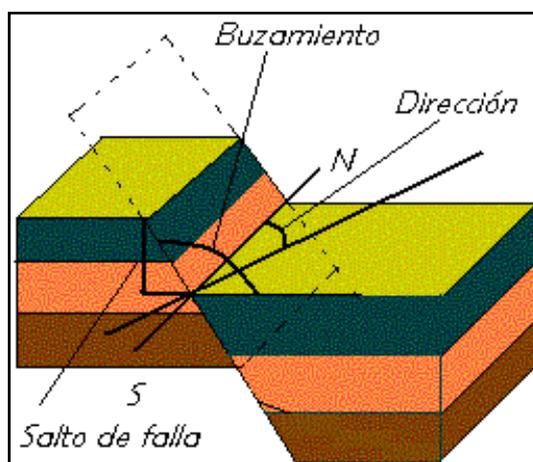


Figura 5.2: Características de una falla (recursos.cnice.mec.es)

5.1.3 Principales tipos de fallas.

A continuación se describe los principales tipos de fallas.

Falla normal o Falla con movimiento normal (Normal fault). En la cual uno de los bloques se mueve hacia abajo con respecto al otro bloque. El

desplazamiento es vertical. Este tipo de falla se produce por esfuerzos de tensión, ver Figura 5.3

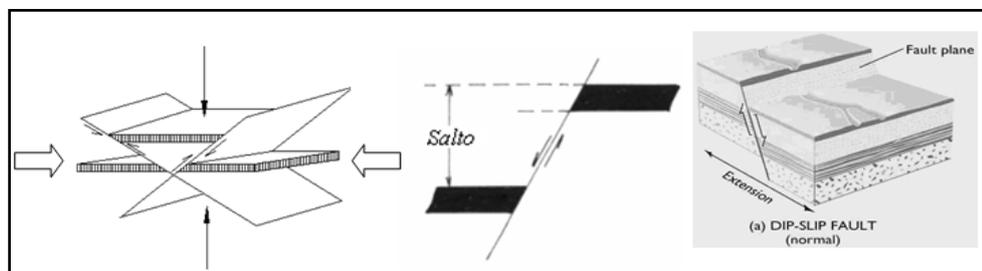


Figura 5.3: Falla normal (cuevadelcivil)

Falla inversas o falla con movimiento inverso (Reverse fault). El desplazamiento es vertical y el bloque levantado se mueve hacia arriba con respecto al otro bloque. Son fallas que se producen por esfuerzos de compresión. El resultado es un acortamiento de los materiales por buzamiento del plano de falla hacia el bloque superior. Cuando estas fallas tienen buzamientos inferiores a 45° se llaman cabalgamientos.

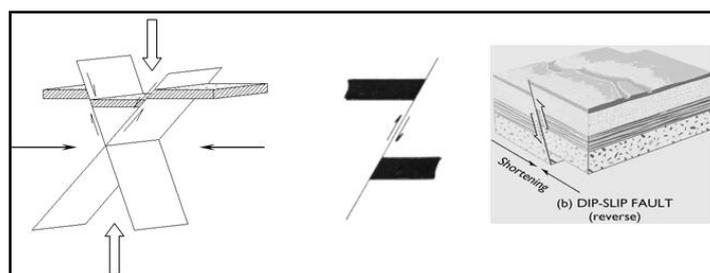


Figura 5.4: Falla inversa (cuevadelcivil)

Falla transcurrente o falla de rumbo (Strike-slip fault). El desplazamiento es paralelo al rumbo de falla. Se presenta cuando solo hay desplazamiento en sentido horizontal.

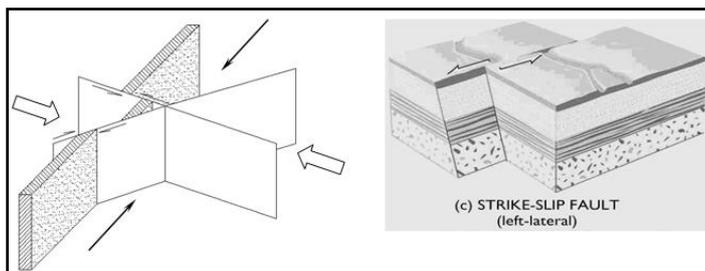


Figura 5.5: Falla transcurrente (cuevadelcivil)

Falla ciega (Blind fault). Falla que no alcanza la superficie terrestre. Usualmente termina hacia arriba en la región axial de un anticlinal (Yeats et al., 1997). Es visible en la superficie en forma de pliegue y escarpe de flexura o escarpe monoclinal. Si el ángulo de la falla inversa es menor que 45° es un corrimiento ciego.

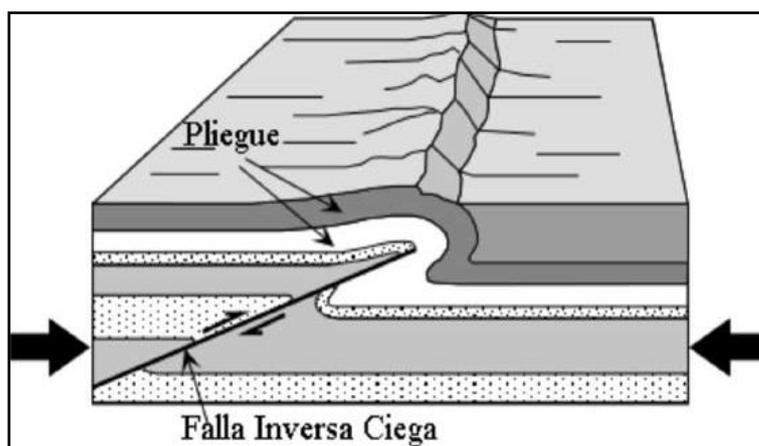


Figura 5.6: Falla Ciega (earthquake.usgs.gov)

Fallas activa (Active fault). Es una falla que ha tenido suficiente desplazamiento reciente y que, en la opinión de expertos, es probable que pueda tener más desplazamientos en el futuro (Yeats et al., 1997).

5.2 Fallas Ciegas de Quito.

5.2.1 Falla de Quito

El sistema de fallas de Quito está localizado al oriente de la Cordillera Occidental, en el callejón interandino y se extiende aproximadamente entre las latitudes $0^{\circ}0'0''$ a $0^{\circ}25'0''S$ y longitudes $78^{\circ}20'0''W$ a $78^{\circ}40'0''W$, con una dirección promedio NNE, en una longitud aproximada de 45 km. PGM (2009).

Debido a que son fallas inversas, las cuencas de Quito y San Antonio se levantaron del resto del callejón interandino en una altura que está entre los 400 y 500 m. Consecuencia de este levantamiento se tiene material lacustre, palustre y fluviales dentro de las cuencas, se identificó con la letra **(L)** en la Figura 4.1 intercalados con ceniza volcánica y pómez fruto de las erupciones de los volcanes Guagua Pichincha, Cotopaxi, Pululahua, Ninahuilca y Quilotoa. Alvarado (1996).

En la Figura 5.7 se indica este sistema de fallas ciegas en unas partes o que tienen un ligero afloramiento en otras. Las líneas entrecortadas limitan las zonas de pliegue y dentro de ellas se observan las zonas de: deslizamiento; eje anticlinal; falla inversa. Morfológicamente el sistema de fallas de Quito, está compuesto por las siguientes colinas alargadas: El Tablón; San Miguel; Puengasi; La Bota - El Batán - Ilumbisi; El Colegio – El Inca; Catequilla – Bellavista. (PGM (2009), Alvarado)

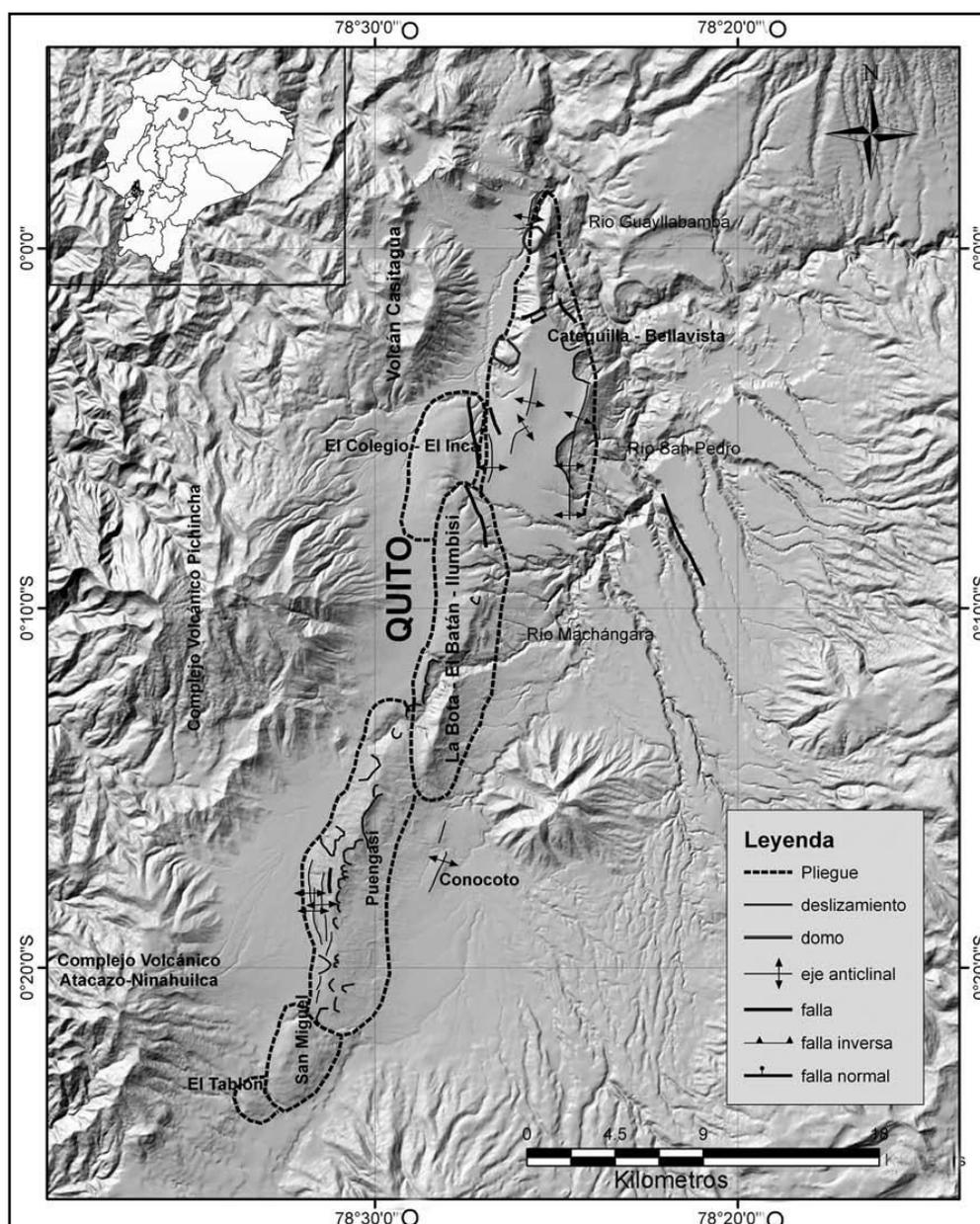


Figura 5.7: Sistema de fallas de Quito (PNA, 2009)

El Sistema de Fallas **31 a** es una **Falla Inversa con componente Dextral** que tiene un ángulo de buzamiento medio de 60° hacia el Oeste, con una dirección media $N 4^{\circ} E \mp 22^{\circ}$; con una tasa de movimiento de 0.2 a 1.0 mm/año y que ha presentado actividad en los últimos 15000 años; la longitud estimada de esta falla es 18.5 Km. Eguez *et al.* (2003).

El sistema de fallas **31 b** es una **Falla Inversa Dextral** con una longitud estimada de 15.7 km.; con un ángulo de buzamiento medio de 60° hacia el Oeste, con una dirección media $N 16^{\circ} E \mp 19^{\circ}$, con una tasa de movimiento de 0.2 a 1.0 mm/año y que ha presentado actividad en los últimos 15000 años. Eguez et al. (2003).

La velocidad de, desplazamiento discontinuo de este sistema de fallas varía de 0.5 a 1 mm/año y se interpreta a este sistema como parte del sistema mayor Dextral. Soulas *et al.* (1991)

Lavenu (1994) es más explícito y manifiesta que el sistema de fallas de Quito como los ubicados en la zona Ambato-Pastocalle, corresponden a la zona de transición del Sistema Mayor Dextral que se inicia en la Falla de Pallatanga al Sur, que tiene un rumbo NE – SO y que continúa luego del Sistema Quito con la Falla Chingual al Norte que tiene un rumbo NNE – SSO.

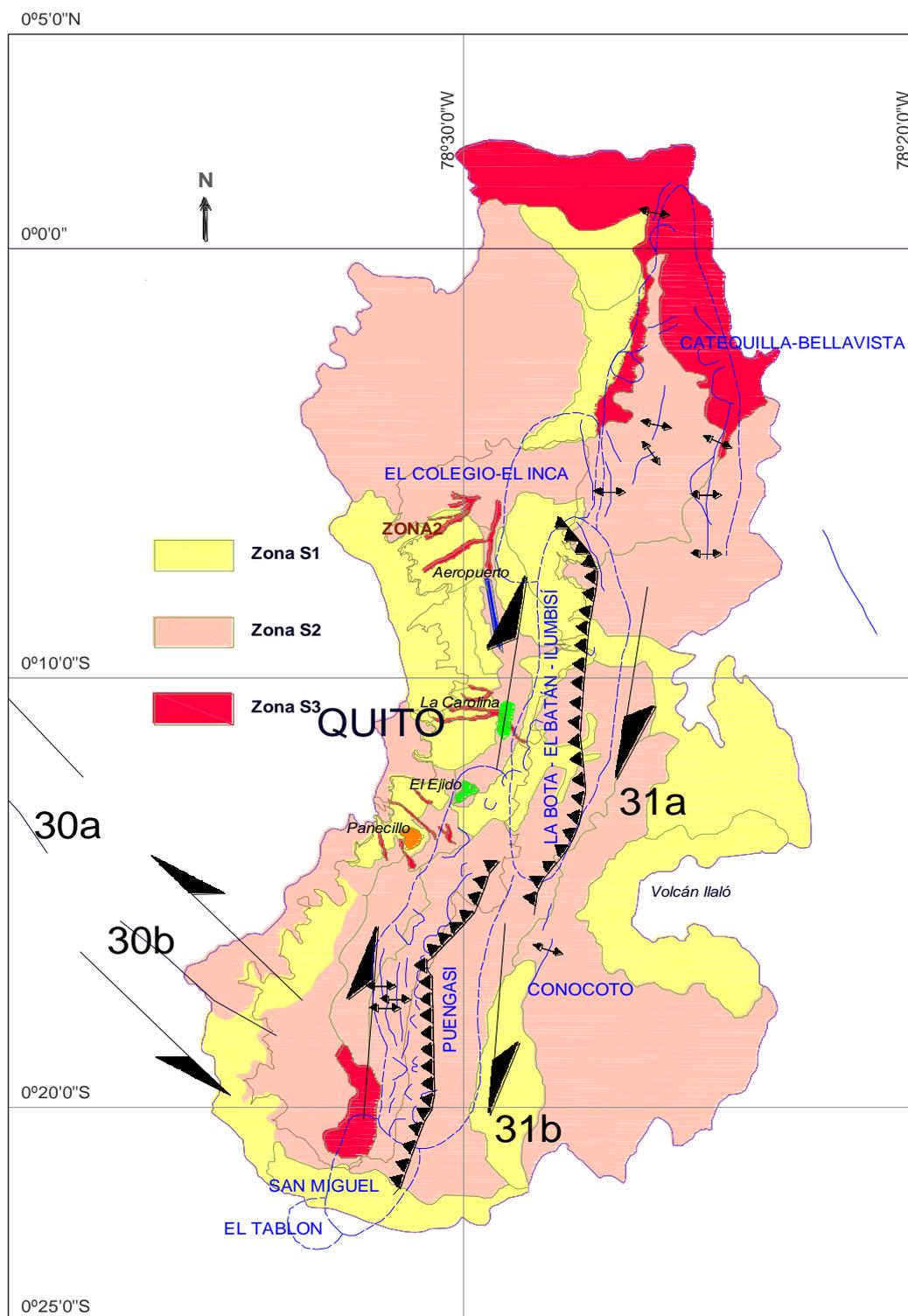


Figura 5.8: Sistema de fallas de Quito y Clasificación de suelos del 2002.

5.3 Fallas en el Campo Cercano.

Se consideró dos fallas para el campo cercano, la Falla de Nanegalito y la Falla El Cinto.

5.3.1 Falla de Nanegalito.

La falla de Nanegalito se encuentra ubicada al Noroeste del Distrito Metropolitano de Quito. Aproximadamente entre las latitudes $0^{\circ}5'0''N$ y $0^{\circ}1'0''S$ y longitudes $78^{\circ}45'0''W$ y $78^{\circ}30'0''W$. Con una longitud de 43.6 Km el movimiento es Dextral. (Eguez *et al.*, 2003) Es una falla activa con un desplazamiento estimado en 1 a 5 mm/año en sentido horizontal y ± 1.5 mm/año en sentido vertical. (Lara *et al.*, 2011)

En los márgenes de la quebrada Bellavista es posible observar espejos de la falla de Nanegalito. También a lo largo de esta quebrada se observa afloramientos de cuarcitas fracturadas (Figura 5.9) y microconglomerados fracturados alterados (Figura 5.10)

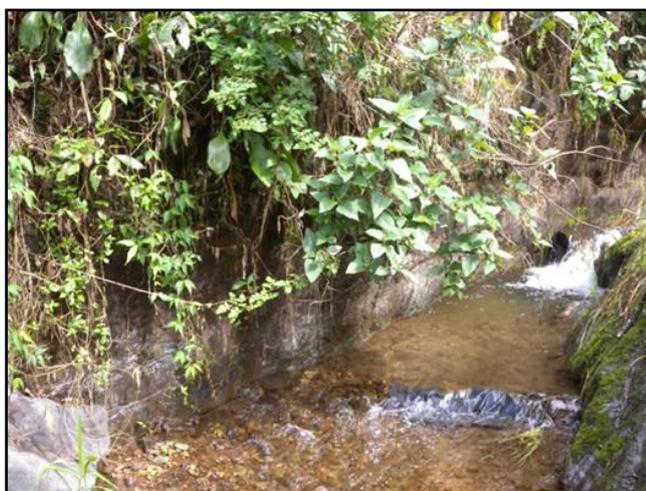


Figura 5.9: Cuarcita con espejos de falla, margen derecho Q. Bellavista, UTM: 770131E/19374N (Echeverría *et al.*, 2011)



Figura 5.10: Arenisca de aporte volcánico muy fracturada, margen izquierdo Q. Bellavista, UTM: 770199E/19409N (Echeverría et al., 2011)

Debido a la actividad de la falla es posible observar elevaciones de poca altura, como crestas de 20m de alto y 2m de ancho (Figura 5.11)



Figura 5.11: Elevaciones asociadas con la actividad de la Falla Nanegalito, UTM: 770501E/20293N (Echeverría et al., 2011)

En el poblado de Pamplona la Falla de Nanegalito ha producido dos efectos: fracturación en la formación Pilatón, UTM: 773313 E/26257 N; indicados en la Figura 5.12 y formación de pliegues anticlinales en la formación Silante. Este comportamiento denota fragilidad en las rocas de Pilatón y ductilidad en Silante. (Echeverría *et al.*, 2011)



Figura 5.12: Metasedimentos de Pilatón fracturados, vía Pamplona, UTM: 773313E/26257N (Echeverría et al., 2011)

Es observable el trazo de la Falla de Nanegalito en la carretera Otavalo-Selva Alegre en el sector Río Quinde, indicado Figura 5.13



Figura 5.13: Elevaciones asociadas con la actividad de la Falla Nanegalito, UTM: 770501 E/ 20293 N (Echeverría et al., 2011)

En la Figura 5.14 se observa como en un sector de la falla, la misma levanta el bloque este con respecto al bloque oeste. (Echeverría et al., 2011)



Figura 5.14: Falla de Nanegalito en la carretera Otavalo-Selva Alegre, UTM 776253 E/ 31027 N. (Echeverría et al., 2011)

5.3.2 Falla el Cinto.

La falla del Cinto se encuentra ubicada al suroeste del Distrito Metropolitano de Quito. En la Figura 5.15 se muestra la ubicación de la falla y las dos secciones 30a y 30b que presenta la falla El Cinto. Su longitud aproximada es de 24.4Km. (Eguez *et al.*, 2003) La falla El Cinto afecta algunos depósitos volcánicos del cuaternario como de los volcanes Atacazo y Pichincha.

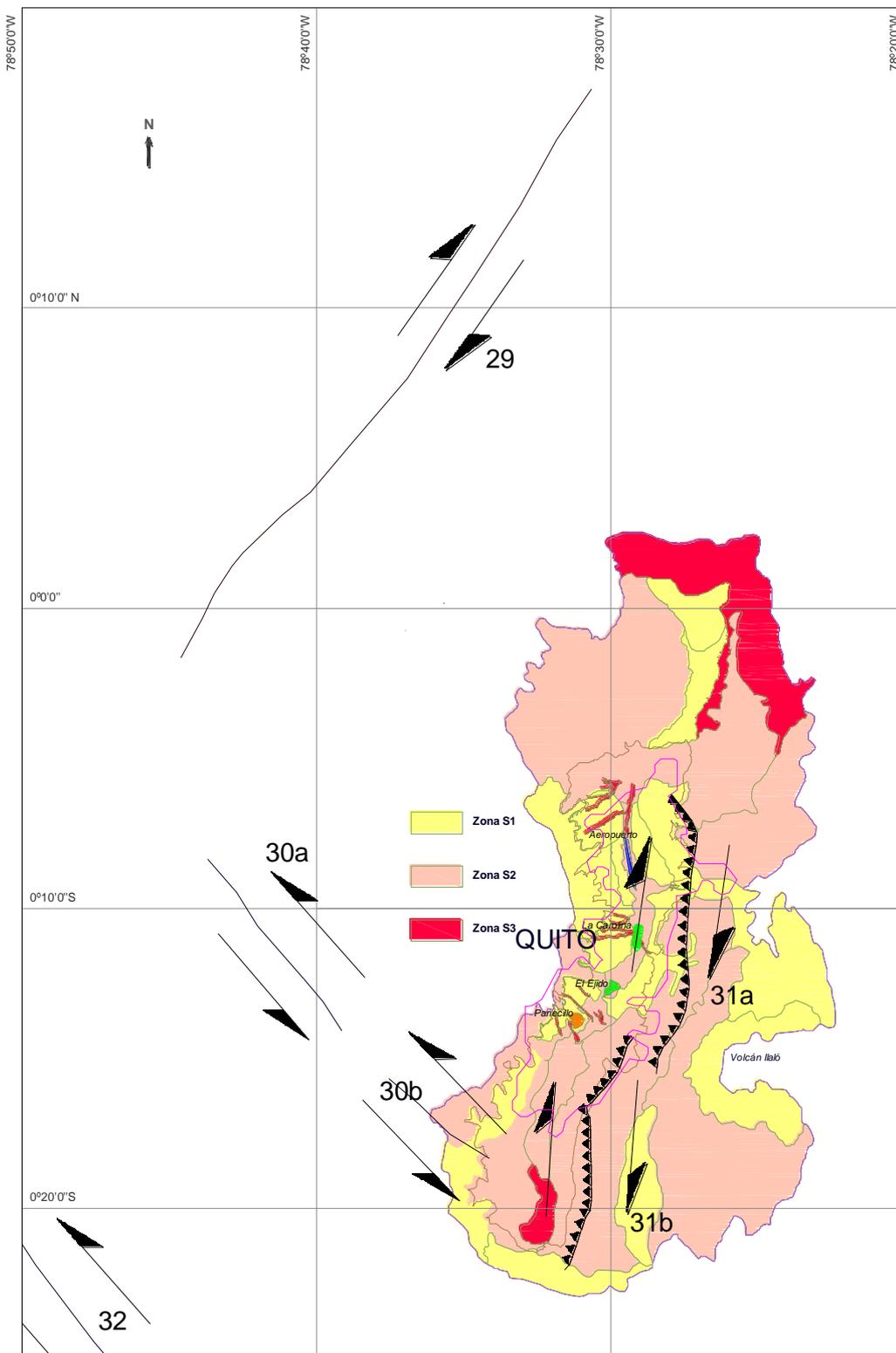


Figura 5.15: Falla Nanegalito 29 y Falla El Cinto 30a y 30b

6. OBTENCIÓN DE ESPECTROS

6.1 Método de Abrahamson y Silva.

6.1.1 Base de Datos.

Para determinar las leyes de atenuación por el método de Abrahamson y Silva se utilizó la base de datos que se indican en la tabla 6.1. La primera columna corresponde a la identificación de cada uno de los sismos del Programa NGA; la segunda y tercera columna al nombre y región donde se registró el terremoto, la mayor parte corresponde al área de California (CA) sin embargo, hay un número importante de registros sísmicos ocurridos en otras regiones del mundo. Llama la atención que en la base de datos no se informen eventos sísmicos que hayan ocurrido en América del Sur.

La última columna de la Tabla 6.1, muestra si son registros del evento principal, premonitores o réplicas. La magnitud de los sismos principales, en la mayor parte de los casos, es superior a $M_w = 5.0$ aunque existe un sismo de magnitud $M_w = 4.27$ registrado en California en el año 2002. En esta gran base de datos los sismos están asociados a fallas corticales transcurrentes, inversas, normales o una combinación de las transcurrentes con las otras dos.

Tabla 6.1: Base de datos utilizada por Abrahamson y Silva (2008)

EQ	Nombre del Terremoto	Evento Región	Año	Mag	Número Registros	Réplicas de evento
12	Kern County	CA	1952	7.36	1	Sismo Principal
20	San Francisco	CA	1957	5.28	1	Sismo Principal
25	Parkfield	CA	1966	6.19	4	Sismo Principal
28	Borrego Mtn	CA	1968	6.63	1	Sismo Principal
29	Lytle Creek	CA	1970	5.33	10	Sismo Principal
30	San Fernando	CA	1971	6.61	35	Sismo Principal
31	Managua, Nicaragua-01	Otro	1972	6.24	1	Sismo Principal
32	Managua, Nicaragua-02	Otro	1972	5.2	1	Réplicas
33	Point Mugu	CA	1973	5.65	1	Sismo Principal
34	Hollister-03	CA	1974	5.14	2	Sismo Principal
35	Northern Calif-07	CA	1975	5.2	5	Sismo Principal
36	Oroville-01	CA	1975	5.89	1	Sismo Principal
37	Oroville-02	CA	1975	4.79	2	Réplicas
38	Oroville-04	CA	1975	4.37	3	Réplicas
39	Oroville-03	CA	1975	4.7	9	Réplicas
40	Friuli, Italia-01	Otro	1976	6.5	4	Sismo Principal
41	Gazli, USSR	Otro	1976	6.8	1	Sismo Principal
42	Friuli, Italia-03	Otro	1976	5.5	3	Réplicas
43	Friuli, Italia-02	Otro	1976	5.91	4	Réplicas
45	Santa Barbara	CA	1978	5.92	1	Sismo Principal
46	Tabas, Irán	Otro	1978	7.35	4	Sismo Principal
47	Dursunbey, Turquía	Otro	1979	5.34	1	Sismo Principal
48	Lago Coyote	CA	1979	5.74	10	Sismo Principal
49	Norcia, Italia	Otro	1979	5.9	2	Sismo Principal
50	Valle Imperial-06	CA	1979	6.53	33	Sismo Principal
51	Valle Imperial-07	CA	1979	5.01	16	Réplicas
52	Valle Imperial-08	CA	1979	5.62	1	Réplicas
53	Livermore-01	CA	1980	5.8	6	Sismo Principal
54	Livermore-02	CA	1980	5.42	7	Réplicas
55	Anza (Horse Canyon)-01	CA	1980	5.19	5	Sismo Principal
56	Lago Mammoth-01	CA	1980	6.06	3	Swarm
57	Lago Mammoth-02	CA	1980	5.69	3	Swarm
58	Lago Mammoth-03	CA	1980	5.91	4	Swarm
59	Lago Mammoth-04	CA	1980	5.7	3	Swarm
60	Lago Mammoth-05	CA	1980	5.7	2	Swarm
61	Lago Mammoth-06	CA	1980	5.94	5	Swarm
62	Lago Mammoth-07	CA	1980	4.73	6	Réplicas
63	Lago Mammoth-08	CA	1980	4.8	7	Réplicas
64	Victoria, Mexico	CA	1980	6.33	4	Sismo Principal
65	Lago Mammoth-09	CA	1980	4.85	9	Réplicas
68	Irpinia, Italia-01	Otro	1980	6.9	12	Sismo Principal
69	Irpinia, Italia-02	Otro	1980	6.2	10	Réplicas
70	Irpinia, Italia-03	Otro	1981	4.7	1	Réplicas
71	Taiwan SMART1(5)	Otro	1981	5.9	7	Sismo Principal
72	Corinth, Grecia	Otro	1981	6.6	1	Sismo Principal
73	Westmorland	CA	1981	5.9	6	Sismo Principal
74	Lago Mammoth-10	CA	1983	5.34	1	Réplicas
75	Lago Mammoth-11	CA	1983	5.31	1	Réplicas
76	Coalinga-01	CA	1983	6.36	45	Sismo Principal
77	Coalinga-02	CA	1983	5.09	20	Réplicas
78	Coalinga-03	CA	1983	5.38	3	Réplicas
79	Coalinga-04	CA	1983	5.18	11	Réplicas
80	Coalinga-05	CA	1983	5.77	9	Réplicas
81	Coalinga-06	CA	1983	4.89	2	Réplicas
82	Coalinga-07	CA	1983	5.21	2	Réplicas
83	Ierissos, Grecia	Otro	1983	6.7	1	Sismo Principal



EQ	Nombre del Terremoto	Evento Región	Año	Mag	Número Registros	Réplicas de evento
84	Trinidad offshore	CA	1983	5.7	2	Sismo Principal
85	Coalinga-08	CA	1983	5.23	2	Réplicas
86	Taiwan SMART1(25)	Otro	1983	6.5	9	Sismo Principal
87	Pico Borah, ID-01	WUS	1983	6.88	2	Sismo Principal
88	Pico Borah, ID-02	WUS	1983	5.1	3	Réplicas
90	Morgan Hill	CA	1984	6.19	27	Sismo Principal
91	Lazio-Abruzzo, Italia	Otro	1984	5.8	5	Sismo Principal
94	Bishop (Rnd Val)	CA	1984	5.82	1	Sismo Principal
95	Taiwan SMART1(33)	Otro	1985	5.8	7	Sismo Principal
96	Drama, Grecia	Otro	1985	5.2	1	Sismo Principal
97	Nahanni, Canadá	Otro	1985	6.76	3	Sismo Principal
98	Hollister-04	CA	1986	5.45	3	Sismo Principal
99	Monte Lewis	CA	1986	5.6	1	Sismo Principal
100	Taiwan SMART1(40)	Otro	1986	6.32	8	Sismo Principal
101	N. Palm Springs	CA	1986	6.06	32	Sismo Principal
102	Valle Chalfant-01	CA	1986	5.77	5	Premonitores
103	Valle Chalfant-02	CA	1986	6.19	11	Sismo Principal
104	Valle Chalfant-03	CA	1986	5.65	3	Réplicas
105	Valle Chalfant-04	CA	1986	5.44	2	Réplicas
108	San Salvador	Otro	1986	5.8	2	Sismo Principal
111	Nueva Zelanda-02	Otro	1987	6.6	2	Sismo Principal
113	Whittier Narrows-01	CA	1987	5.99	108	Sismo Principal
114	Whittier Narrows-02	CA	1987	5.27	9	Réplicas
115	Superstition Hills-01	CA	1987	6.22	1	Premonitores
116	Superstition Hills-02	CA	1987	6.54	11	Sismo Principal
117	Spitak, Armenia	Otro	1988	6.77	1	Sismo Principal
118	Loma Prieta	CA	1989	6.93	77	Sismo Principal
119	Griva, Grecia	Otro	1990	6.1	1	Sismo Principal
120	Georgia, USSR	Otro	1991	6.2	5	Sismo Principal
121	Erzican, Turquía Roermond,	Otro	1992	6.69	1	Sismo Principal
122	Netherlands	Otro	1992	5.3	2	Sismo Principal
123	Cape Mendocino	CA	1992	7.01	6	Sismo Principal
125	Landers	CA	1992	7.28	68	Sismo Principal
126	Big Bear-01	CA	1992	6.46	38	Sismo Principal
127	Northridge-01	CA	1994	6.69	155	Sismo Principal
128	Double Springs	CA	1994	5.9	1	Sismo Principal
129	Kobe, Japón	Otro	1995	6.9	20	Sismo Principal
130	Kozani, Grecia-01	Otro	1995	6.4	3	Sismo Principal
131	Kozani, Grecia-02	Otro	1995	5.1	2	Réplicas
132	Kozani, Grecia-03	Otro	1995	5.3	2	Réplicas
133	Kozani, Grecia-04	Otro	1995	5.1	2	Réplicas
134	Dinar, Turquía	Otro	1995	6.4	2	Sismo Principal
136	Kocaeli, Turquía	Otro	1999	7.51	17	Sismo Principal
137	Chi-Chi, Taiwan	Otro	1999	7.62	318	Sismo Principal
138	Duzce, Turquía	Otro	1999	7.14	13	Réplicas
139	Stone Canyon	CA	1972	4.81	3	Sismo Principal
140	Sitka, Alaska	WUS	1972	7.68	1	Sismo Principal
141	Caldlrán, Turquía	Otro	1976	7.21	1	Sismo Principal
143	Upland	CA	1990	5.63	3	Sismo Principal
144	Manjil, Irán	Otro	1990	7.37	5	Sismo Principal
145	Sierra Madre	CA	1991	5.61	9	Sismo Principal
147	Northridge-02	CA	1994	6.05	15	Réplicas
148	Northridge-03	CA	1994	5.2	7	Réplicas
149	Northridge-04	CA	1994	5.93	7	Réplicas
150	Northridge-05	CA	1994	5.13	8	Réplicas
151	Northridge-06	CA	1994	5.28	48	Réplicas
152	Little Skull Mtn,NV	CA	1992	5.65	8	Sismo Principal
153	Noreste de China-01	Otro	1997	5.9	2	Swarm

EQ	Nombre del Terremoto	Evento Región	Año	Mag	Número Registros	Réplicas de evento
154	Noreste de China-02	Otro	1997	5.93	2	Swarm
155	Noreste de China-03	Otro	1997	6.1	1	Swarm
156	Noreste de China-04	Otro	1997	5.8	2	Swarm
157	San Juan Bautista	CA	1998	5.17	1	Sismo Principal
158	Hector Mine	CA	1999	7.13	79	Sismo Principal
160	Yountville	CA	2000	5	24	Sismo Principal
161	Big Bear	CA	2001	4.53	42	Sismo Principal
162	Mohawk Val, Portola	CA	2001	5.17	6	Sismo Principal
163	Anza-02	CA	2001	4.92	72	Sismo Principal
164	Gulf of California	CA	2001	5.7	11	Sismo Principal
165	CA-Baja Border Area	CA	2002	5.31	9	Sismo Principal
166	Gilroy	CA	2002	4.9	34	Sismo Principal
167	Yorba Linda Nenana Mountain,	CA	2002	4.27	12	Sismo Principal
168	Alaska	WUS	2002	6.7	5	Premonitores
169	Denali, Alaska	WUS	2002	7.9	9	Sismo Principal
170	Big Bear City	CA	2003	4.92	35	Sismo Principal
171	Chi-Chi, Taiwan-02	Otro	1999	5.9	195	Réplicas
172	Chi-Chi, Taiwan-03	Otro	1999	6.2	189	Réplicas
173	Chi-Chi, Taiwan-04	Otro	1999	6.2	202	Réplicas
174	Chi-Chi, Taiwan-05	Otro	1999	6.2	166	Réplicas
175	Chi-Chi, Taiwan-06	Otro	1999	6.3	188	Réplicas

Con esta base de datos, es posible determinar espectros para un sismo principal, una réplica o un premonitor. Por otro lado, con la base de datos es posible establecer rangos mínimos y máximos de la magnitud.

6.1.2 Formulario

Para utilizar el espectro de aceleración como una fracción de la gravedad $Sa(g)$ Abrahamson y Silva proponen la ecuación (6-1).

$$\ln Sa(g) = f_1(M, R_{rup}) + a_{12}F_{RV} + a_{13}F_{NM} + a_{15}F_{AS} + f_5(P\hat{G}A_{1100}, V_{S30}) + F_{HW}f_4(R_{jb}, R_{rup}, R_x, W, \delta, Z_{TOR}, M) + f_6(Z_{TOR}) + f_8(R_{rup}, M) + f_{10}(Z_{1.0}, V_{S30}) \quad (6-1)$$

Donde:

- $f_1(M, R_{rup})$. es una función que depende de la magnitud y la distancia del sismo.

Para $M \leq c_1$

$$f_1(M, R_{rup}) = a_1 + a_4(M - c_1) + a_8(8.5 - M)^2 + [a_2 + a_3(M - c_1)] \ln(R) \quad (6-2)$$

Para $M > c_1$

$$f_1(M, R_{rup}) = a_1 + a_5(M - c_1) + a_8(8.5 - M)^2 + [a_2 + a_3(M - c_1)] \ln(R) \quad (6-3)$$

$$R = \sqrt{R_{rup}^2 + c_4^2} \quad (6-4)$$

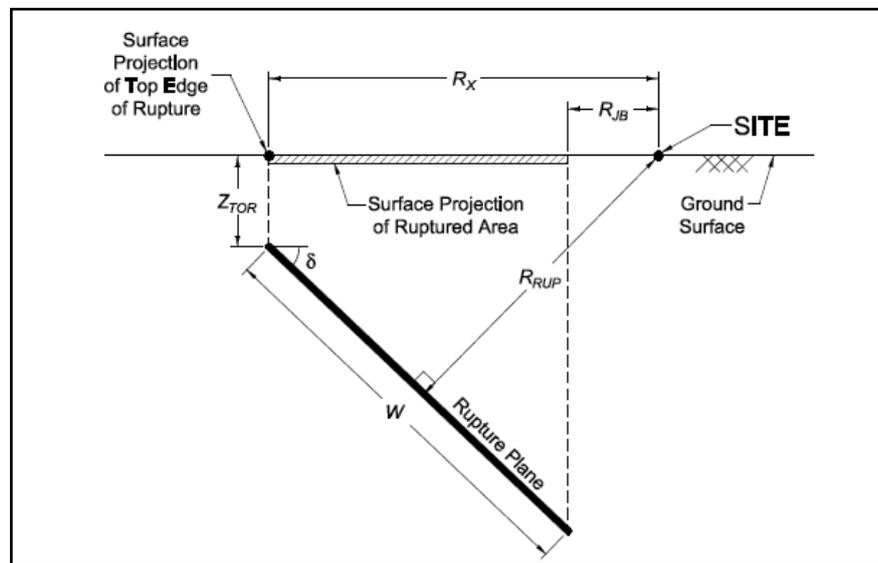


Figura 6.1: Variables que intervienen en el modelo.

Las variables que intervienen en el cálculo están descritas en la Figura 6.1 y son: R_{jb} que es la distancia mínima horizontal a la superficie de la proyección de ruptura en km.; R_{rup} que es la distancia más cercana al plano de ruptura en km.; R_x es la distancia horizontal desde el borde de la ruptura al sitio de interés; Z_{TOR} es la profundidad desde el borde de la ruptura. W es la longitud inclinada del ancho de la ruptura; M es el Momento de magnitud.

Donde c_1 es una constante de interrupción del rango de magnitud que vale 6.75, c_4 es una profundidad ficticia estimada por regresión para los datos del valor máximo de la aceleración PGA, ver Tabla 6.2, PGA es la aceleración en roca la cual se obtiene del modelo al aplicarle VS=1100 m/s, a_1 es un parámetro que define la forma del espectro, está indicado en la Tabla 6.3, a_2 es la distancia de inclinación, estimada por regresión, se indica en la Tabla 6.3, a_3 es un parámetro que se relaciona con la magnitud, ver Tabla 6.2, a_4 es un factor indicado en la Tabla 6.2 para magnitud, $M < c_1$, a_5 similar a a_4 pero para magnitud $M \geq c_1$, se indica en la Tabla 6.2, a_8 es un factor que afecta a la magnitud al cuadrado y está indicado en la Tabla 6.3

Tabla 6.2: Períodos independientes, constantes medias para el movimiento del suelo.

c_1	c_4	a_3	a_4	a_5	N	c	c_2
6.75	4.5	0.265	-0.231	-0.398	1.18	1.88	50

- F_{RV} Variable indicadora que representa fallas inversas e inversas oblicuas con ángulo Rake entre 30 y 150 grados. El ángulo Rake (λ) es el ángulo entre la dirección del vector de deslizamiento sobre el plano de falla y el rumbo de la traza de la falla.

Se aprecia que F_{RV} en la ecuación (6-1) está multiplicado por el factor a_{12} el cual se indica en la Tabla 6.3. F_{RV} es cero si no es falla inversa o inversa oblicua caso contrario vale 1.

La falla inversa oblicua es aquella que tiene desplazamiento vertical y horizontal (Inversa-Transcurrente).

Tabla 6.3: Coeficientes para la media del movimiento del suelo con los cuales se halla espectro

Parámetro	V_{LIN}	b	a_1	a_2	a_8	a_{10}	a_{12}	a_{13}
PGA	865.1	-1.186	0.8040	-0.9679	-0.0372	0.9445	0.0000	-0.0600
SaT=0.010	865.1	-1.186	0.8110	-0.9679	-0.0372	0.9445	0.0000	-0.0600
SaT=0.020	865.1	-1.219	0.8550	-0.9774	-0.0372	0.9834	0.0000	-0.0600
SaT=0.030	907.8	-1.273	0.9620	-1.0024	-0.0372	1.0471	0.0000	-0.0600
SaT=0.040	994.5	-1.308	1.0370	-1.0289	-0.0315	1.0884	0.0000	-0.0600
SaT=0.050	1053.5	-1.346	1.1330	-1.0508	-0.0271	1.1333	0.0000	-0.0600
SaT=0.075	1085.7	-1.471	1.3750	-1.0810	-0.0191	1.2808	0.0000	-0.0600
SaT=0.10	1032.5	-1.624	1.5630	-1.0833	-0.0166	1.4613	0.0000	-0.0600
SaT=0.15	877.6	-1.931	1.7160	-1.0357	-0.0254	1.8071	0.0181	-0.0600
SaT=0.20	748.2	-2.188	1.6870	-0.9700	-0.0396	2.0773	0.0309	-0.0600
SaT=0.25	654.3	-2.381	1.6460	-0.9202	-0.0539	2.2794	0.0409	-0.0600
SaT=0.30	587.1	-2.518	1.6010	-0.8974	-0.0656	2.4201	0.0491	-0.0600
SaT=0.40	503.0	-2.657	1.5110	-0.8677	-0.0807	2.5510	0.0619	-0.0600
SaT=0.50	456.6	-2.669	1.3970	-0.8475	-0.0924	2.5395	0.0719	-0.0600
SaT=0.75	410.5	-2.401	1.1370	-0.8206	-0.1137	2.1493	0.0800	-0.0600
SaT=1.0	400.0	-1.955	0.9150	-0.8088	-0.1289	1.5705	0.0800	-0.0600
SaT=1.5	400.0	-1.025	0.5100	-0.7995	-0.1534	0.3991	0.0800	-0.0600
SaT=2.0	400.0	-0.299	0.1920	-0.7960	-0.1708	-0.6072	0.0800	-0.0600
SaT=3.0	400.0	0.0000	-0.280	-0.7960	-0.1954	-0.9600	0.0800	-0.0600
SaT=4.0	400.0	0.0000	-0.639	-0.7960	-0.2128	-0.9600	0.0800	-0.0600
SaT=5.0	400.0	0.0000	-0.936	-0.7960	-0.2263	-0.9208	0.0800	-0.0600
SaT=7.5	400.0	0.0000	-1.527	-0.7960	-0.2509	-0.7700	0.0800	-0.0600
SaT=10.0	400.0	0.0000	-1.993	-0.7960	-0.2683	-0.6630	0.0800	-0.0600
PGV	400.0	-1.955	5.7578	-0.9046	-0.1200	1.5390	0.0800	-0.0600

- F_{NM} Variable indicadora para fallas normales y normales oblicuas con ángulo Rake entre -150° y -30° . Si es cualquiera de las dos fallas vale 1,

caso contrario vale 0. El valor de F_{NM} está multiplicado por el coeficiente a_{13} que está indicado en la Tabla 6.3

- F_{AS} Indicador de una réplica o del evento sísmico principal. Si es réplica vale 1 caso contrario vale 0. Este Indicador está multiplicado por el factor de réplica a_{15} que se indica en la Tabla 6.4
- $f_5(P\hat{G}A_{1100}, V_{S30})$. Es una función que toma en cuenta las condiciones lineales y no lineales del suelo superficial. Los autores adoptaron el modelo de comportamiento no lineal propuesto por Walling *et al.* (2008).

Las principales variables involucradas son: $P\hat{G}A_{1100}$, que es la aceleración máxima del suelo en roca con $V_{S30} = 1100 \frac{m}{s}$; V_{S30} es la velocidad media de la onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad del sitio de interés y expresada en m/s.

Para $V_{S30} < V_{LIN}$

$$f_5(P\hat{G}A_{1100}, V_{S30}^*) = a_{10} * \ln\left(\frac{V_{S30}^*}{V_{LIN}}\right) - b * \ln(P\hat{G}A_{1100} + c) + b * \ln\left(P\hat{G}A_{1100} + c \left(\frac{V_{S30}^*}{V_{LIN}}\right)^n\right) \quad (6-5)$$

Para $V_{S30} \geq V_{LIN}$

$$f_5(P\hat{G}A_{1100}, V_{S30}^*) = a_{10} + b * n * \ln\left(\frac{V_{S30}^*}{V_{LIN}}\right) \quad (6-6)$$

Donde V_{LIM} es un coeficiente del modelo que depende del período y está indicado en la Tabla 6.3; a_{10} coeficiente que depende del período, indicado en la Tabla 6.3; b es un parámetro hallado en la simulación no lineal del suelo en una dimensión, en la Tabla 6.3; c, n son términos de la respuesta no lineal del suelo encontrados en el modelo de una dimensión, indicados en la Tabla 6.2

Para $V_{S30} < V_1$ $V^*_{S30} = V_{S30}$

Para $V_{S30} \geq V_1$ $V^*_{S30} = V_1$

Para $T \leq 0.50 \text{ seg}$ $V_1 = 1500 \text{ m/s}$

Para $0.50 \text{ seg} < T \leq 1.0 \text{ seg}$ $V_1 = \exp\left[8.0 - 0.795 \ln\left(\frac{T}{0.21}\right)\right]$

Para $1.0 \text{ seg} < T < 2.0 \text{ seg}$ $V_1 = \exp[6.76 - 0.297 \ln(T)]$

Para $T \geq 2.0 \text{ seg}$ $V_1 = 700 \text{ m/s}$

Para PGV $V_1 = 862 \text{ m/s}$

Tabla 6.4: Coeficientes para la media del movimiento del suelo.

Parámetro	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{18}
PGA	1.0800	-0.3500	0.9000	-0.0067
SaT=0.010	1.0800	-0.3500	0.9000	-0.0067
SaT=0.020	1.0800	-0.3500	0.9000	-0.0067
SaT=0.030	1.1331	-0.3500	0.9000	-0.0067
SaT=0.040	1.1708	-0.3500	0.9000	-0.0067
SaT=0.050	1.2000	-0.3500	0.9000	-0.0076

Parámetro	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{18}
SaT=0.075	1.2000	-0.3500	0.9000	-0.0093
SaT=0.10	1.2000	-0.3500	0.9000	-0.0093
SaT=0.15	1.1683	-0.3500	0.9000	-0.0093
SaT=0.20	1.1274	-0.3500	0.9000	-0.0083
SaT=0.25	1.0956	-0.3500	0.9000	-0.0069
SaT=0.30	1.0697	-0.3500	0.9000	-0.0057
SaT=0.40	1.0288	-0.3500	0.8423	-0.0039
SaT=0.50	0.9971	-0.3191	0.7458	-0.0025
SaT=0.75	0.9395	-0.2629	0.5704	0.0000
SaT=1.0	0.8985	-0.2230	0.4460	0.0000
SaT=1.5	0.8409	-0.1668	0.2707	0.0000
SaT=2.0	0.8000	-0.1270	0.1463	0.0000
SaT=3.0	0.4793	-0.0708	-0.0291	0.0000
SaT=4.0	0.2518	-0.0309	-0.1535	0.0000
SaT=5.0	0.0754	0.0000	-0.2500	0.0000
SaT=7.5	0.0000	0.0000	-0.2500	0.0000
SaT=10.0	0.0000	0.0000	-0.2500	0.0000
PGV	0.7000	-0.3900	0.6300	0.0000

- $f_4(\mathbf{R}_{jb}, \mathbf{R}_{rup}, \mathbf{R}_x, \mathbf{W}, \delta, \mathbf{Z}_{TOR}, \mathbf{M})$. Es una función que toma en cuenta el efecto de *Hanging Wall*. Antes de describir la función es necesario indicar que la traducción de *Hanging Wall* es: Bloque levantado, Bloque alzado o Bloque Colgante. (PMA 2009). Corresponde a la ladera que está por encima de una falla inclinada. En contraste se tiene lo que se denomina Footwall cuya traducción es Bloque deprimido, Bloque Yacente o Bloque Hundido y corresponde a la ladera por debajo de la falla inclinada. En la Figura 6.2 se ilustran estos dos bloques y habrá

que ver la ubicación del sitio de interés si se encuentra en bloque levantado, en este caso $F_{HW} = 1$ y si se encuentra en bloque comprimido $F_{HW} = 0$. Si la falla tiene un ángulo de buzamiento $\delta = 90^\circ$ el valor de $F_{HW} = 0$; en la Figura 6.1 se identifica el ángulo δ .

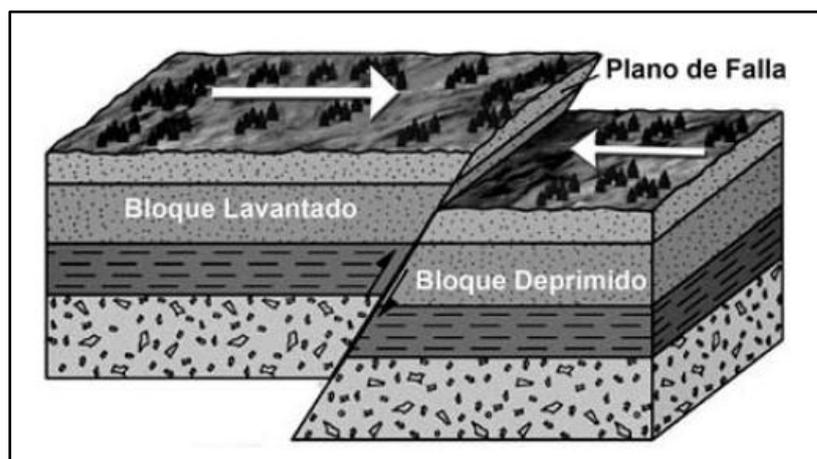


Figura 6.2: Bloque levantado o deprimido. (Yeats *et al.*, 1997)

La función f_4 viene representada por la ecuación (6-7).

$$f_4(R_{jb}, R_{rup}, \delta, Z_{TOR}, M, W) = a_{14} * T_1 * T_2 * T_3 * T_4 * T_5 \quad (6-7)$$

Para $R_{jb} < 30 \text{ km}$	$T_1 = 1 - \frac{R_{jb}}{30}$
Para $R_{jb} \geq 30 \text{ km}$	$T_1 = 0$
Para $R_X \leq W \cos(\delta)$	$T_2 = 0.5 + \frac{R_X}{2W \cos(\delta)}$
Para $R_X > W \cos(\delta)$ o $\delta = 90^\circ$	$T_2 = 1$
Para $R_X \geq Z_{TOR}$	$T_3 = 1$
Para $R_X < Z_{TOR}$	$T_3 = \frac{R_X}{Z_{TOR}}$
Para $M \leq 6$	$T_4 = 0$
Para $6 < M < 7$	$T_4 = M - 6$
Para $M \geq 7$	$T_4 = 1$

Para $\delta \geq 70$ $T_5 = 1.0 - \frac{\delta - 70}{20}$

Para $\delta < 70$ $T_5 = 1$

El factor a_{14} está indicado en la Tabla 6.4 y ha sido obtenido por regresión.

- $f_6(Z_{TOR})$ Factor que toma en cuenta la profundidad desde el borde hasta la cima, ver Figura 6.1 Viene expresada en la ecuación (6-8) o (6-9), depende del valor de Z_{TOR}

Para $Z_{TOR} < 10km$

$$f_6(Z_{TOR}) = \frac{a_{16} * Z_{TOR}}{10} \quad (6-8)$$

Para $Z_{TOR} \geq 10km$

$$f_6(Z_{TOR}) = a_{16} \quad (6-9)$$

Donde a_{16} es el factor de amplificación de la profundidad hasta la cima, hallado por regresión, ver Tabla 6.4 El valor de Z_{TOR} se indica en km.

- $f_8(R_{rup}, M)$, es una función de escalamiento, para grandes distancias al lugar de ubicación de la falla.

Para $R_{rup} < 100 km$

$$f_8(R_{rup}, M) = 0 \quad (6-10)$$

Para $R_{rup} \geq 100 km$

$$f_8(R_{rup}, M) = a_{18}(R_{rup} - 100)T_6 \quad (6-11)$$

Para $M < 5.5$ $T_6 = 1$

Para $5.5 < M < 6.5$ $T_6 = 0.5(6.5 - M) + 0.5$

Para $M > 6.5$

$$T_6 = 0.5$$

Donde a_{18} es el factor de escalamiento definido en la Tabla 6.4

- $f_{10}(Z_{1.0}, V_{S30})$. Es un factor que toma en cuenta el tipo de suelo del sitio de interés. Donde $Z_{1.0}$ es la profundidad en la cual se tiene una velocidad de onda de corte de $V_S = 1000 \text{ m/s}$; V_{S30} es la velocidad media en los primeros 30 m., de profundidad.

Para $Z_{1.0} \geq 200$

$$f_{10}(Z_{1.0}, V_{S30}) = a_{21} \ln\left(\frac{Z_{1.0} + c_2}{\hat{Z}_{1.0}(V_{S30}) + c_2}\right) + a_{22} \ln\left(\frac{Z_{1.0}}{200}\right) \quad (6-12)$$

Para $Z_{1.0} < 200$

$$f_{10}(Z_{1.0}, V_{S30}) = a_{21} \ln\left(\frac{Z_{1.0} + c_2}{\hat{Z}_{1.0}(V_{S30}) + c_2}\right) \quad (6-13)$$

Para $V_{S30} < 180 \text{ m/s}$

$$\ln(\hat{Z}_{1.0}(V_{S30})) = 6.745$$

Para $180 \text{ m/s} \leq V_{S30} \leq 500 \text{ m/s}$

$$\ln(\hat{Z}_{1.0}(V_{S30})) = 6.745 - 1.35 \ln\left(\frac{V_{S30}}{180}\right)$$

Para $V_{S30} > 500 \text{ m/s}$

$$\ln(\hat{Z}_{1.0}(V_{S30})) = 5.394 - 4.48 \ln\left(\frac{V_{S30}}{500}\right)$$

Para $T < 0.35 \text{ seg}$ o $V_{S30} > 1000$

$$e_2 = 0$$

Para $0.35 \text{ seg} \leq T \leq 2.0 \text{ seg}$

$$e_2 = -0.25 \ln\left(\frac{V_{S30}}{1000}\right) \ln\left(\frac{T}{0.35}\right)$$

Para $T > 2.0 \text{ seg}$

$$e_2 = -0.25 \ln\left(\frac{V_{S30}}{1000}\right) \ln\left(\frac{2}{0.35}\right)$$

Para $V_{S30} \geq 1000 \text{ m/s}$

$$a_{21} = 0$$

$$\text{Para } (a_{10} + b * n) \ln\left(\frac{V_{S30}}{\min(V_1, 1000)}\right) + e_2 \ln\left(\frac{Z_{1.0} + c_2}{\hat{Z}_{1.0} + c_2}\right) < 0 \quad a_{21} = \frac{-(a_{10} + b * n) \ln\left(\frac{V_{S30}}{\min(V_1, 1000)}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{1.0} + c_2}{\hat{Z}_{1.0} + c_2}\right)}$$

Cualquier otro caso	$a_{21} = e_2$
Para $T < 2.0 \text{ seg}$	$a_{22} = 0$
Para $T \geq 2.0 \text{ seg}$	$a_{22} = 0.0625 (T - 2)$

Donde a_{21} es el factor de amplificación de la profundidad, en suelo poco profundo. Limitado por la simulación 1-D del sitio; a_{22} es el factor de ampliación de profundidad, en suelo profundo. Limitado por 3-D cuenca de simulación; c_2 es el término de escalamiento de la profundidad, suelo poco profundo. Limitado por la simulación 1-D del sitio. Ver Tabla 6.2

6.2 Método de Campbell y Bozorgnia.

6.2.1 Base de Datos.

La base de datos considerada por Campbell y Bozorgnia (C-B), (2008) se presenta en la Tabla 6.5. En su mayor parte, corresponden a los registros de la Tabla 6.1 pero consideran solo el evento principal.

En la Tabla 6.5 se indica el tipo de falla generadora del sismo y los valores mínimos y máximos del R_{RUP} . La magnitud máxima de los datos es de 7.68 y corresponde al sismo de Alaska de 1972.

Tabla 6.5: Base de datos considerada por Campbell y Bozorgnia

EQ	Nombre del Terremoto	Año	M	Tipo de Falla	Número Registros	R_{RUP} (km)	
						Min	Max
12	Kern County, California.	1952	7.36	Inversa	1	117.75	117.75
25	Parkfield, California.	1966	6.19	Despl. rumbo	4	9.58	17.64
29	Little Creek, California.	1970	5.33	Inversa	10	15.27	106.63
30	San Fernando, California.	1971	6.61	Inversa	33	19.3	193.91
31	Managua, Nicaragua.	1972	6.24	Despl. rumbo	1	4.06	4.06



EQ	Nombre del Terremoto	Año	M	Tipo de Falla	Número Registros	R _{Rup} (km)	
						Min	Max
140	Sitka, Alaska	1972	7.68	Despl. rumbo	1	34.61	34.61
40	Friuli, Italia.	1976	6.5	Inversa	5	15.82	102.16
41	Gazli, USSR	1976	6.8	Inversa	1	5.46	5.46
141	Caldiran, Turquía.	1976	7.21	Despl. rumbo	1	50.82	50.82
46	Tabas, Irán.	1978	7.35	Inversa	7	2.05	194.55
48	Lago Coyote, California	1979	5.74	Despl. rumbo	10	3.11	33.83
49	Norcia, Italia.	1979	5.9	Normal	3	7.37	36.47
50	Valle Imperial, California.	1979	6.53	Despl. rumbo	33	0.07	50.1
142	St Elias, Alaska.	1979	7.54	Inversa	2	26.46	80
53	Livermore, California.	1980	5.8	Despl. rumbo	5	20.53	57.38
55	Anza (Horse Canyon), California.	1980	5.19	Despl. rumbo	5	15.57	43.44
56	Lago Mammoth, California.	1980	6.06	Normal	3	4.67	15.46
64	Victoria, México	1980	6.33	Despl. rumbo	4	7.27	39.3
68	Irpinia, Italia.	1980	6.9	Normal	12	8.18	59.63
2	Corinth, Grecia.	1981	6.6	Normal	1	10.27	10.27
73	Westmorland, California.	1981	5.9	Desplazamiento rumbo	6	6.5	19.37
76	Coalinga, California.	1983	6.36	Inversa	45	8.41	55.77
87	Borah Peak, Idaho.	1983	6.88	Normal	2	83	84.8
90	Morgan Hill, California.	1984	6.19	Despl. rumbo	27	0.53	70.93
91	Lazio-Abruzzo, Italia.	1984	5.8	Normal	5	18.89	51.29
97	Nahanni, Canadá.	1985	6.76	Inversa	3	4.93	9.6
98	Hollister, California.	1986	5.45	Despl. rumbo	3	14.31	17.14
101	N. Palm Springs, California.	1986	6.06	Inversa	31	4.04	78.09
102	Valle Chalfant #01, California.	1986	5.77	Despl. rumbo	5	6.39	24.45
103	Valle Chalfant #02, California.	1986	6.19	Despl. rumbo	11	7.58	51.98
111	Nueva Zelanda	1987	6.6	Normal	2	16.09	68.74
113	Whittier Narrows #1, California.	1987	5.99	Inversa	109	14.5	103.9
114	Whittier Narrows #2, California.	1987	5.27	Inversa	10	14.02	27.8
115	Elmore Ranch, California.	1987	6.22	Desplazamiento rumbo	1	17.59	17.59
116	Superstition Hills, California.	1987	6.54	Desplazamiento rumbo	11	0.95	27
118	Loma Prieta, California.	1989	6.93	Inversa	77	3.85	117.08
119	Griva, Grecia.	1990	6.1	Normal	1	29.2	29.2
143	Upland, California.	1990	5.63	Despl. rumbo	3	11.71	75.46
144	Manjil, Irán.	1990	7.37	Despl. rumbo	7	12.56	174.55
145	Sierra Madre, California.	1991	5.61	Inversa	8	10.36	39.81
121	Erzican, Turquía.	1992	6.69	Despl. rumbo	1	4.38	4.38
123	Cape Mendocino, California.	1992	7.01	Inversa	6	6.96	41.97
125	Landers, California.	1992	7.28	Despl. rumbo	67	2.19	190.05

EQ	Nombre del Terremoto	Año	M	Tipo de Falla	Número Registros	R _{Rup} (km)	
						Min	Max
126	Big Bear, California.	1992	6.46	Despl. rumbo	38	8.4	147.9
152	Little Skull Mtn., Nevada.	1992	5.65	Normal	8	16.06	100.16
127	Northridge, California.	1994	6.69	Inversa	149	5.19	147.55
129	Kobe, Japón.	1995	6.9	Despl. rumbo	22	0.27	158.61
130	Kozani, Grecia.	1995	6.4	Normal	3	19.54	79.38
134	Dinar, Turquía.	1995	6.4	Normal	2	3.36	44.15
136	Kocaeli, Turquía.	1999	7.51	Despl. rumbo	22	4.83	180.24
137	Chi-Chi, Taiwán.	1999	7.62	Inversa	381	0.32	169.9
138	Duzce, Turquía.	1999	7.14	Despl. rumbo	14	6.58	188.7
158	Hector Mine, California.	1999	7.13	Despl. rumbo	78	11.66	198.13
160	Yountville, California.	2000	5	Despl. rumbo	24	14.15	96.2
161	Big Bear, California.	2001	4.53	Despl. rumbo	43	24.32	92.73
162	Valle Mohawk, California.	2001	5.17	Despl. rumbo	6	68.66	127.29
163	Anza, California.	2001	4.92	Despl. rumbo	72	18.45	134.2
164	Golfo de California, México.	2001	5.7	Despl. rumbo	11	77.33	134.43
165	Baja California, México.	2002	5.31	Despl. rumbo	9	42.79	99.68
166	Gilroy, California.	2002	4.9	Despl. rumbo	34	10.51	131.53
167	Yorba Linda, California.	2002	4.27	Despl. rumbo	12	14.6	38.29
168	Nenana Mtn., Alaska	2002	6.7	Despl. rumbo	5	104.73	199.27
169	Denali, Alaska	2002	7.9	Despl. rumbo	9	2.74	164.66
170	Big Bear City, California.	2003	4.92	Despl. rumbo	36	25.58	147.08

6.2.2 Formulario.

La ecuación propuesta por Campbell y Bozorgnia (2008) para hallar $Sa(g)$ es la siguiente:

$$\ln Sa(g) = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{set} \quad (6-14)$$

f_{mag} es la función dependiente de la magnitud y está dada por:

$$f_{mag} = \begin{cases} c_0 + c_1 * M & M \leq 5.5 \\ c_0 + c_1 * M + c_2 * (M - 5.5) & 5.5 < M \leq 6.5 \\ c_0 + c_1 * M + c_2 * (M - 5.5) + c_3 * (M - 6.5) & M > 6.5 \end{cases} \quad (6-15)$$

Donde los coeficientes c_0, c_1, c_2, c_3 fueron hallados por regresión y están indicados en la Tabla 6.6, M es el momento de magnitud.

f_{dis} , es la función dependiente de la distancia de la fuente al sitio que viene dada por:

$$f_{dis} = (c_4 + c_5 * M) \ln \left(\sqrt{R_{RUP}^2 + c_6^2} \right) \quad (6-16)$$

Donde los coeficientes c_4, c_5, c_6 se los resenta en la Tabla 6.5 En la Figura 6.1 se indica en forma gráfica el significado de R_{RUP}

f_{flt} , es la función dependiente del tipo de falla y está representada por:

$$f_{flt} = c_7 * F_{RV} * f_{flt,Z} + c_8 * F_{NM} \quad (6-17)$$

Los coeficientes c_7, c_8 están en la Tabla 6.6. La variable indicadora $F_{RV} = 1$ para fallas inversas e inversas oblicuas (inversa transcurrente) con ángulo Rake entre 30° y 150° ; para otro tipo de falla vale 0.

Por otro lado la variable indicadora $F_{NM} = 1$ para fallas normales y normales oblicuas (normal transcurrente) con ángulo Rake entre -150° y -30° .

$f_{flt,Z}$ se obtiene de la siguiente condición.

$$f_{flt,Z} = \begin{cases} Z_{TOR}; & Z_{TOR} < 1 \\ 1; & Z_{TOR} \geq 1 \end{cases} \quad (6-18)$$

- f_{hng} , la función dependiente del efecto *hanging wall* y está dada por:

$$f_{hng} = c_9 * f_{hng,R} * f_{hng,M} * f_{hng,Z} * f_{hng,\delta} \quad (6-19)$$

$$f_{hng,R} = \begin{cases} 1; & R_{JB} = 0 \\ \left[\frac{\max(R_{RUP}, \sqrt{R_{JB}^2 + 1}) - R_{JB}}{\max(R_{RUP}, \sqrt{R_{JB}^2 + 1})} \right] & R_{JB} > 0, Z_{TOR} < 1 \\ (R_{RUP} - R_{JB})/R_{RUP}; & R_{JB} > 0, Z_{TOR} \geq 1 \end{cases} \quad (6-20)$$

$$f_{hng,M} = \begin{cases} 0; & M \leq 6.0 \\ 2(M - 6.0) & 6.0 < M < 6.5 \\ 1; & M \geq 6.5 \end{cases} \quad (6-21)$$

$$f_{hng,Z} = \begin{cases} 0; & Z_{TOR} \geq 20 \\ (20 - Z_{TOR}/20) & 0 \leq Z_{TOR} < 20 \end{cases} \quad (6-22)$$

$$f_{hng,\delta} = \begin{cases} 1; & \delta \leq 70 \\ (90 - \delta/20) & \delta > 70 \end{cases} \quad (6-23)$$

Tabla 6.6: Coeficientes para calcular funciones de magnitud, distancia y de tipo de falla.

T (s)	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉
0.010	-1,715	0,500	-0,530	-0,262	-2,118	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490
0.020	-1,680	0,500	-0,530	-0,262	-2,123	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490
0.030	-1,552	0,500	-0,530	-0,262	-2,145	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490
0.050	-1,209	0,500	-0,530	-0,267	-2,199	0,170	5,74	0,280	-0,120	0,490
0.075	-0,657	0,500	-0,530	-0,302	-2,277	0,170	7,09	0,280	-0,120	0,490
0,10	-0,314	0,500	-0,530	-0,324	-2,318	0,170	8,05	0,280	-0,099	0,490
0,15	-0,133	0,500	-0,530	-0,339	-2,309	0,170	8,79	0,280	-0,048	0,490
0,20	-0,486	0,500	-0,446	-0,398	-2,220	0,170	7,60	0,280	-0,012	0,490
0,25	-0,890	0,500	-0,362	-0,458	-2,146	0,170	6,58	0,280	0,000	0,490
0,30	-1,171	0,500	-0,294	-0,511	-2,095	0,170	6,04	0,280	0,000	0,490
0,40	-1,466	0,500	-0,186	-0,592	-2,066	0,170	5,30	0,280	0,000	0,490
0,50	-2,569	0,656	-0,304	-0,536	-2,041	0,170	4,73	0,280	0,000	0,490
0,75	-4,844	0,972	-0,578	-0,406	-2,000	0,170	4,00	0,280	0,000	0,490
1,0	-6,406	1,196	-0,772	-0,314	-2,000	0,170	4,00	0,255	0,000	0,490
1,5	-8,692	1,513	-1,046	-0,185	-2,000	0,170	4,00	0,161	0,000	0,490
2,0	-9,701	1,600	-0,978	-0,236	-2,000	0,170	4,00	0,094	0,000	0,371
3,0	-10,556	1,600	-0,638	-0,491	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,154
4,0	-11,212	1,600	-0,316	-0,770	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000
5,0	-11,684	1,600	-0,070	-0,986	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000
7,5	-12,505	1,600	-0,070	-0,656	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000
10,0	-13,087	1,600	-0,070	-0,422	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000
PGA	-1,715	0,500	-0,530	-0,262	-2,118	0,170	5,60	0,280	-0,120	0,490
PGV	0,954	0,696	-0,309	-0,019	-2,016	0,170	4,00	0,245	0,000	0,358
PGD	-5,270	1,600	-0,070	0,000	-2,000	0,170	4,00	0,000	0,000	0,000

f_{site} , es la función dependiente de las condiciones lineales y no lineales del suelo superficial y viene dada por:

$$f_{site} = \begin{cases} c_{10} \ln(V_{S30}/K_1) + K_2 \{ \ln[A_{1100} + c(V_{S30}/K_1)^n] - \ln[A_{1100} + c] \} & V_{S30} < K_1 \\ (c_{10} + K_2 n) \ln(V_{S30}/K_1) & K_1 \leq V_{S30} \leq 1100 \\ (c_{10} + K_2 n) \ln[1100/K_1] & V_{S30} \geq 1100 \end{cases} \quad (6-24)$$

Donde los coeficientes c_{10}, k_1, k_2, c se presentan en la Tabla 6.7. A_{1100} , es la aceleración máxima del suelo sobre roca con $V_S = 1100 \text{ m/s}$. Finalmente V_{S30} es la velocidad media de la onda de corte a los 30 m.

- f_{sed} , La función es dependiente del sedimento superficial y efecto de cuenca 3D y está dada por:

$$f_{sed} = \begin{cases} c_{11}(Z_{25} - 1); & Z_{25} < 1 \\ 0; & 1 \leq Z_{25} \leq 3 \\ c_{12}K_3 e^{-0.75} [1 - e^{-0.25(Z_{25}-3)}] & Z_{25} > 3 \end{cases} \quad (6-25)$$

Tabla 6.7: Coeficientes para función de: sitio y sedimento

T (s)	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	k ₁	k ₂	k ₃	c	n
0.010	1,058	0,040	0,610	865	-1,186	1,839	1,88	1,18
0.020	1,102	0,040	0,610	865	-1,219	1,840	1,88	1,18
0,030	1,174	0,040	0,610	908	-1,273	1,841	1,88	1,18
0,050	1,272	0,040	0,610	1054	-1,346	1,843	1,88	1,18
0,075	1,438	0,040	0,610	1086	-1,471	1,845	1,88	1,18
0,10	1,604	0,040	0,610	1032	-1,624	1,847	1,88	1,18
0,15	1,928	0,040	0,610	878	-1,931	1,852	1,88	1,18
0,20	2,194	0,040	0,610	748	-2,188	1,856	1,88	1,18
0,25	2,351	0,040	0,700	654	-2,381	1,861	1,88	1,18
0,30	2,460	0,040	0,750	587	-2,518	1,865	1,88	1,18
0,40	2,587	0,040	0,850	503	-2,657	1,874	1,88	1,18
0,50	2,544	0,040	0,883	457	-2,669	1,883	1,88	1,18
0,75	2,133	0,077	1,000	410	-2,401	1,906	1,88	1,18
1,0	1,571	0,150	1,000	400	-1,955	1,929	1,88	1,18
1,5	0,406	0,253	1,000	400	-1,025	1,974	1,88	1,18
2,0	-0,456	0,300	1,000	400	-0,299	2,019	1,88	1,18
3,0	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,110	1,88	1,18
4,0	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,200	1,88	1,18
5,0	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,291	1,88	1,18
7,5	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,517	1,88	1,18
10,0	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,744	1,88	1,18
PGA	1,058	0,040	0,610	865	-1,186	1,839	1,88	1,18
PGV	1,694	0,092	1,000	400	-1,955	1,929	1,88	1,18
PGD	-0,820	0,300	1,000	400	0,000	2,744	1,88	1,18

En la ecuación (6-14) o en la ecuación (6-1) en lugar de $Sa(g)$ se podría haber escrito \check{Y} . En esta caso $\ln \check{Y}$ representa el logaritmo natural de la media geométrica de la aceleración máxima horizontal del suelo (PGA) en unidades de g , de la máxima velocidad horizontal del suelo (PGV) en cm/s , del máximo desplazamiento horizontal del suelo (PGD) en cm , o el espectro de pseudo-aceleración absoluta horizontal para el 5% de amortiguamiento (Sa en unidades de g). Todos estos valores expresados en términos de la media geométrica según Boore et al. (2006).

En la Figura 6.3 se ha denominado d_{rup} a la variable Z_{TOR} . El δ es el ángulo de inclinación o buzamiento medio del plano de ruptura en grados.

Finalmente las distancias consideradas en la Figura 6.3 son las siguientes:

- a) Sitio próximo a falla con inclinación de 90° (plano de falla vertical),
- b) Sitio ubicado en el foot-wall de falla inversa,
- c) Sitio sobre la proyección del plano de falla
- d) Sitio en el *hanging-wall* de falla inversa y fuera de la proyección del plano de falla.

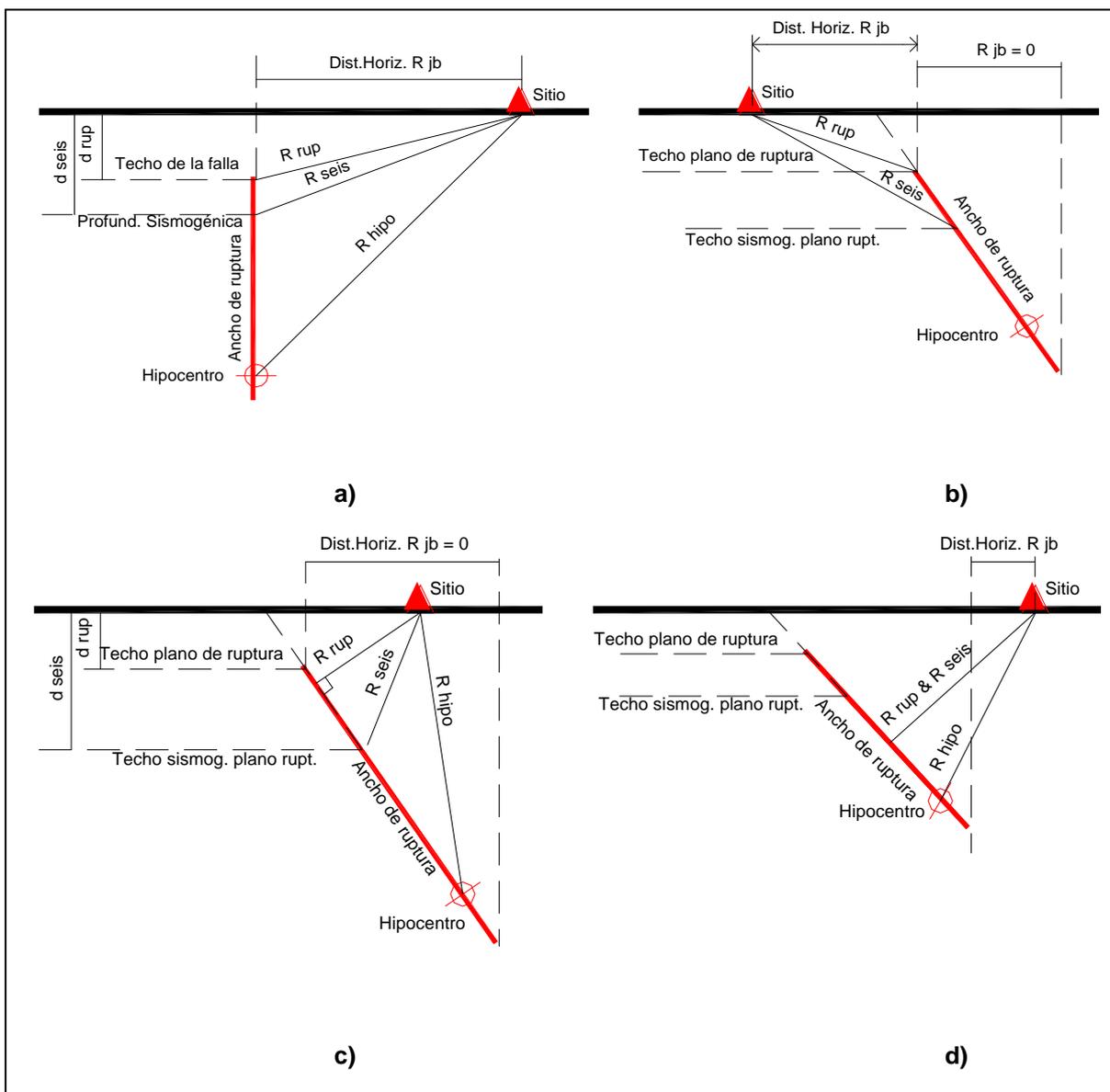


Figura 6.3: Medidas de distancia a la fuente finita más frecuentemente usadas en relaciones de atenuación.

La validez del modelo contempla límites en los valores que toman las variables predictivas, estos límites los encontramos Tabla 6.8. Frau (2009)

Tabla 6.8: Valores límites de las variables predictivas en el modelo Campbell y Bozorgnia

Variable Predictiva	Límite de Aplicación	Observaciones
Magnitud	4.0 a 8.5	Fallas transcurrentes
	4.0 a 8.0	Fallas Inversas
	4.0 a 7.5	Fallas Normales
Distancia al plano de ruptura	0 a 200 km	R_{rup} ó r_{rup}
Velocidad de onda de Corte	180 a 1500 m/s	V_{S30} NEHRP B,C y D
Profundidad. al techo de la ruptura.	0 a 20 km	Z_{TOR}
Profundidad horizonte a la roca	0 a 6 km	$Z_{2.5}$
Inclinación al plano de falla	15° a 90°	δ

Tanto en el trabajo de Abrahamson y Silva, como en el de Campbell y Bozorgnia se debe encontrar en primer lugar el PGA sobre roca para un valor de $V_s = 1100 \text{ m/s}$. Para el modelo de Abrahamson y Silva se deben utilizar los factores indicados en la primera fila de las Tablas 6.3 y 6.4. Los valores para el modelo de Campbell y Bozorgnia están en las Tablas 6.6 y 6.7 para $T = 0$.

Una vez obtenidos los valores de PGA es posible determinar los espectros para el sitio de interés con el respectivo valor de V_s que se tenga.

6.3 Aplicación del Método de Abrahamson y Silva a la Falla de La Cal

6.3.1 Falla de La Cal.

En la Figura 6.4 se presentan tres de las cinco Fallas sísmicamente activas que pueden afectar el Gran Mendoza, Argentina. Ellas son: La Falla del Cerro de La Cal identificada con la número 1; la Falla del Cerro de la Gloria y del Cerro el Cristo, con el número 2; la Falla de Salagasta –Los Cerrillos, identificada con el

número 5. Existen otras Fallas en la región tales como la de Melocotón y Barrancas que no se indican en la citada Figura 6.4 (Tornello y Frau, 2010).

Estudios previos indican que en dicha La falla de La Cal, se originó el sismo de 1861 con una magnitud de 7.0 y causó gran destrucción en la ciudad de Mendoza, Argentina.

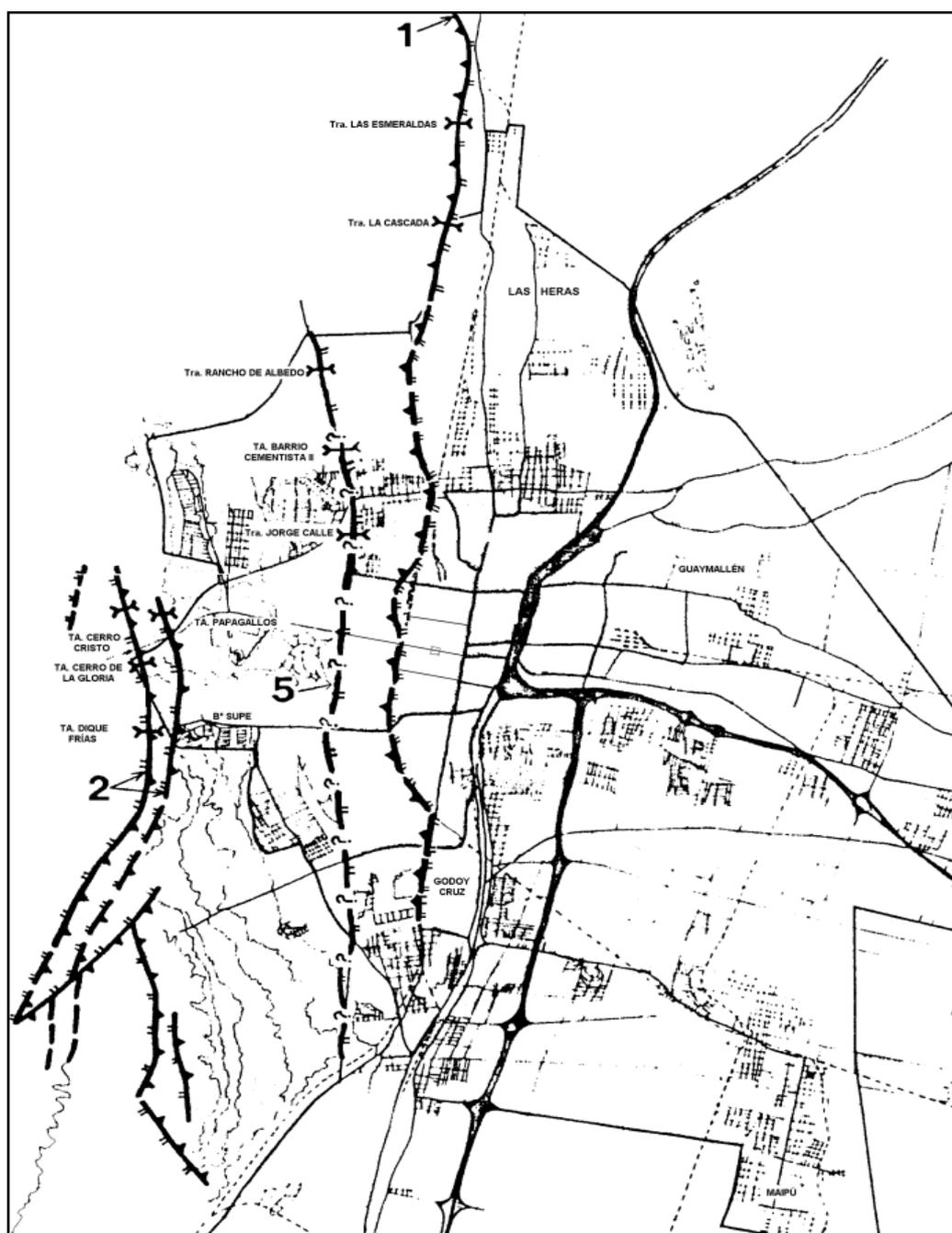


Figura 6.4: Fallas sísmicamente activas que pueden afectar el Gran Mendoza, Argentina.

6.3.1 Datos.

La longitud de esta *Falla Inversa* es de 30.7 km. Mingorance (2001). El ancho de ruptura de la falla es de 15.4 km.; la inclinación del plano de ruptura es 45° W. Otros datos necesarios para emplear los modelos descritos son los siguientes: $F_{RV} = 1$; $F_{NM} = 0$; $Z_{TOR} = 0.5 \text{ km}$; $Z_{2.5} = 0.2 \text{ km}$; $Z_{0.1} = 0.2 \text{ km}$.

En la Figura 6.5 se presenta en la parte superior la sección transversal y en la parte inferior la traza de la Falla La Cal y distintos contornos, en los que se ha graduado las zonas cercanas a la fuente sísmica. Frau (2009). En la Tabla 6.9, se indican los datos adicionales que se requieren para encontrar los espectros para los diferentes zonas; se ha identificado con D=0 los puntos sobre la traza de la falla; D=5 corresponde a los sitios sobre las líneas que separa las áreas S1 y S2; D=10 a sitios sobre las líneas que separa las áreas S2 y S3; D=15 sobre el borde extremo de las áreas S3.

Tabla 6.9: Datos complementarios para hallar espectros en diferentes zonas.

D (km)	Hanging Wall				Footwall			
	D=0	D=5	D=10	D=15	D=0	D=5	D=10	D=15
PGA (g) Abrahamson	0.756	0.498	0.331	0.229	0.445	0.297	0.194	0.142
PGA (g) Campbell	0.508	0.331	0.234	0.180	0.633	0.360	0.244	0.180
R_{RUP} (km)	7.06	10.60	14.14	17.74	0.71	5.52	10.51	15.51
R_{JB} (km)	0.00	3.61	8.61	13.61	0.50	5.50	10.50	15.50

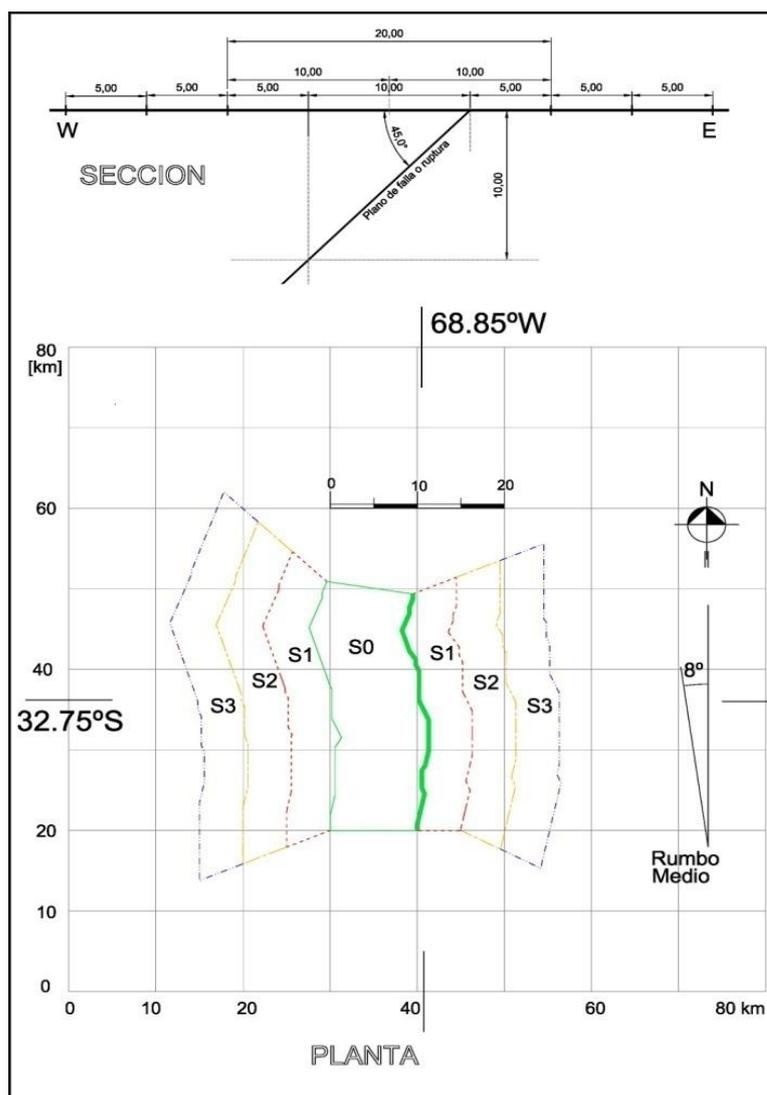


Figura 6.5: Traza de la falla La Cal y delimitación de distintas zonas próximas a la falla.

El valor de R_x se halla de la siguiente manera: $R_x = 10.89 + R_{JB}$. La cantidad indicada es el valor de la proyección del ancho de ruptura en la superficie.

6.3.2 Resultados.

Con el propósito de comparar los espectros obtenidos por el Método de Abrahamson & Silva y el Método de Campbell & Bozorgnia, se presentan los resultados superpuestos en las Figura 6.6 y Figura 6.7

6.4 Aplicación del Método de Campbell y Bozorgnia a La Falla de La Cal.

6.4.1 Datos.

Se considera los mismos datos usados por Abrahamson y Silva pero en el caso del PGA se toma en cuenta los datos de Tabla 6.9 y las Tablas aplicables al método mencionado.

6.4.2 Resultados

Se presentan los espectros encontrados en la Figura 6.6 y Figura 6.7 para los sitios que se encuentran en el bloque levantado (Hanging Wall) y en la Figura 6.8 y Figura 6.9 para los puntos que se encuentran sobre el bloque deprimido (Footwall). En las figuras se han graficado para las distancias $D=0$, $D=5$, $D=10$ y $D=15$ (km) utilizando tanto el Método de Abrahamson y Silva como el Método de Campbell y Bozorgnia.

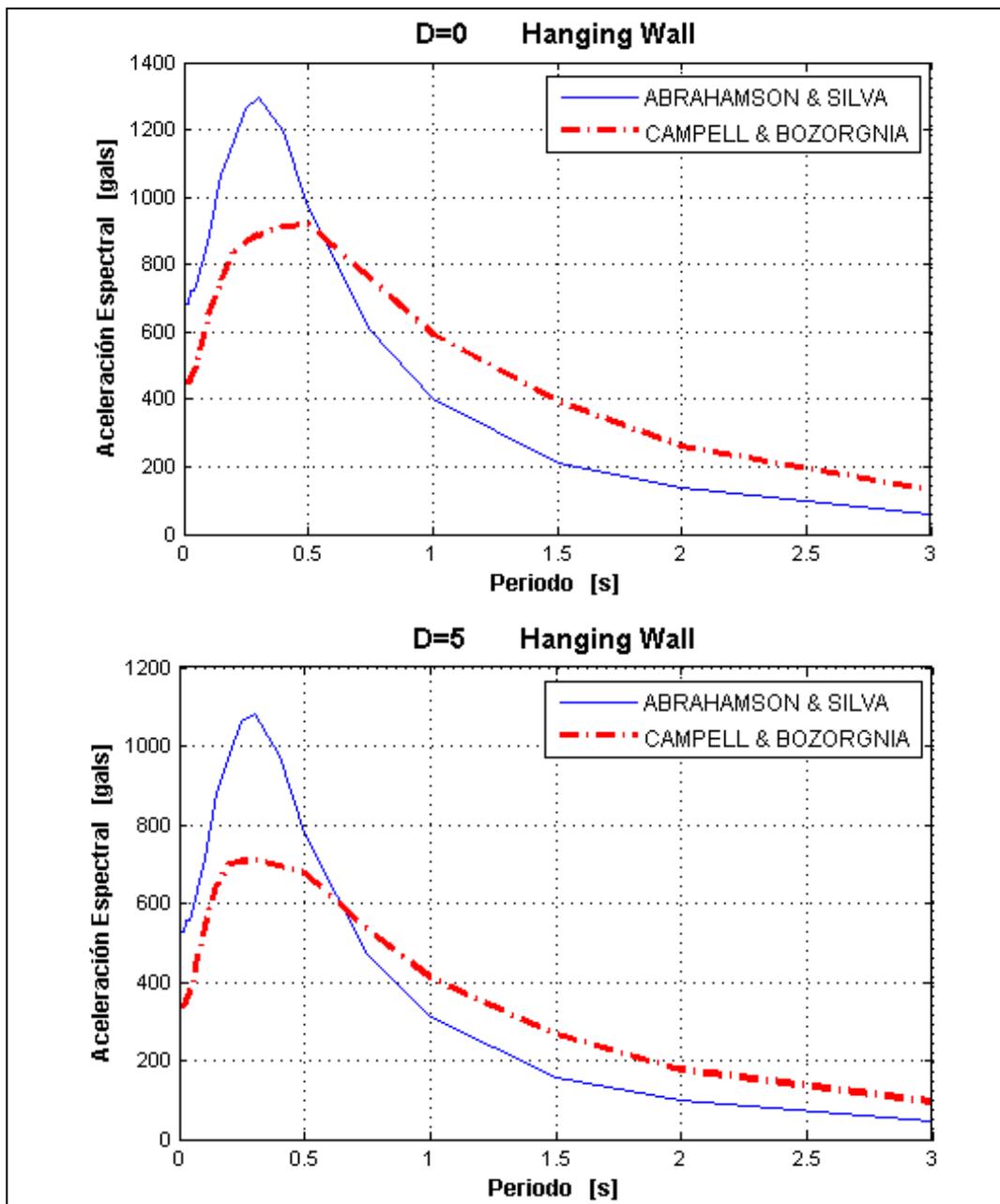


Figura 6.6: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Hanging-Wall, para D=0, D=5

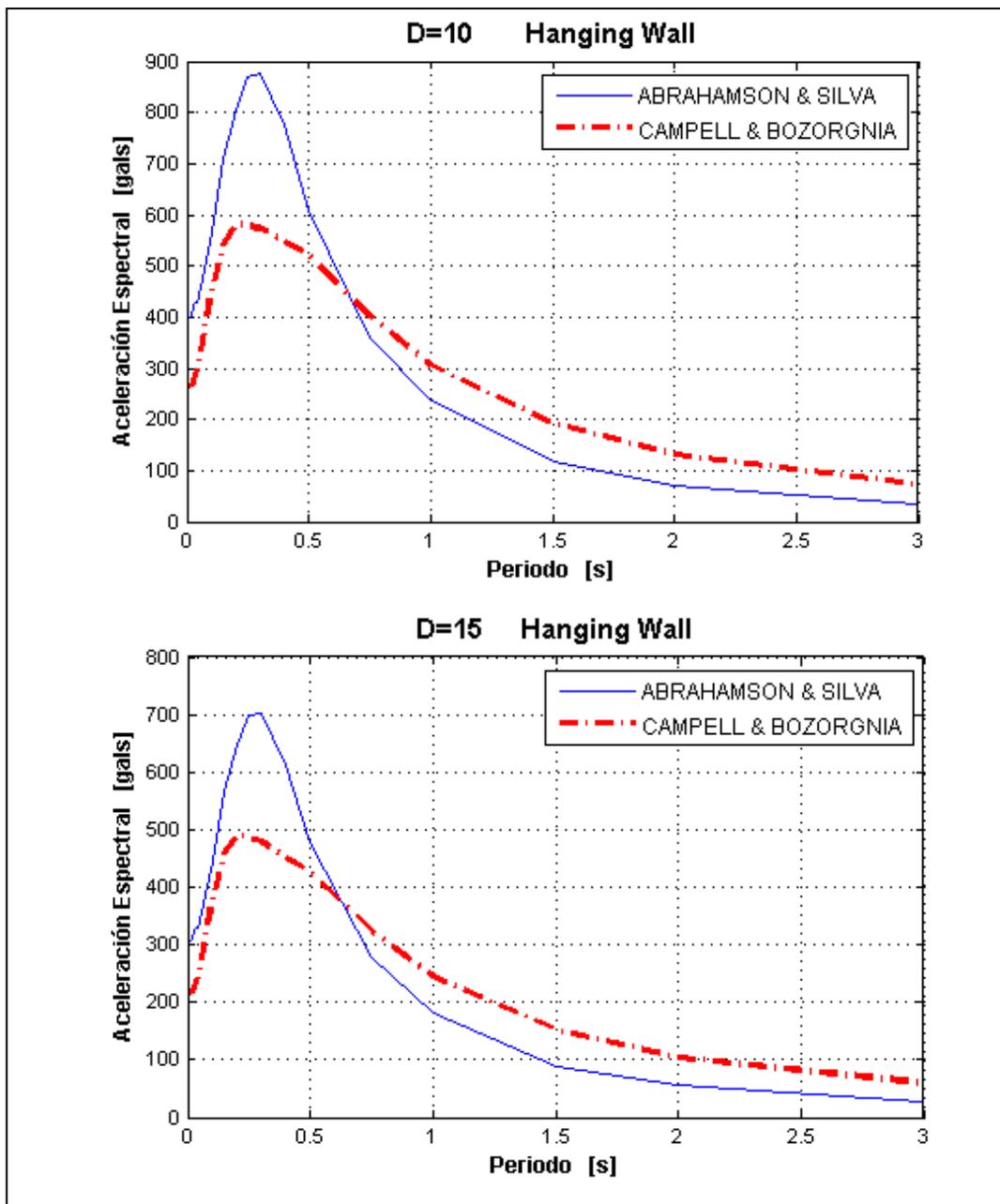


Figura 6.7: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Hanging-Wall, para D=10, D=15

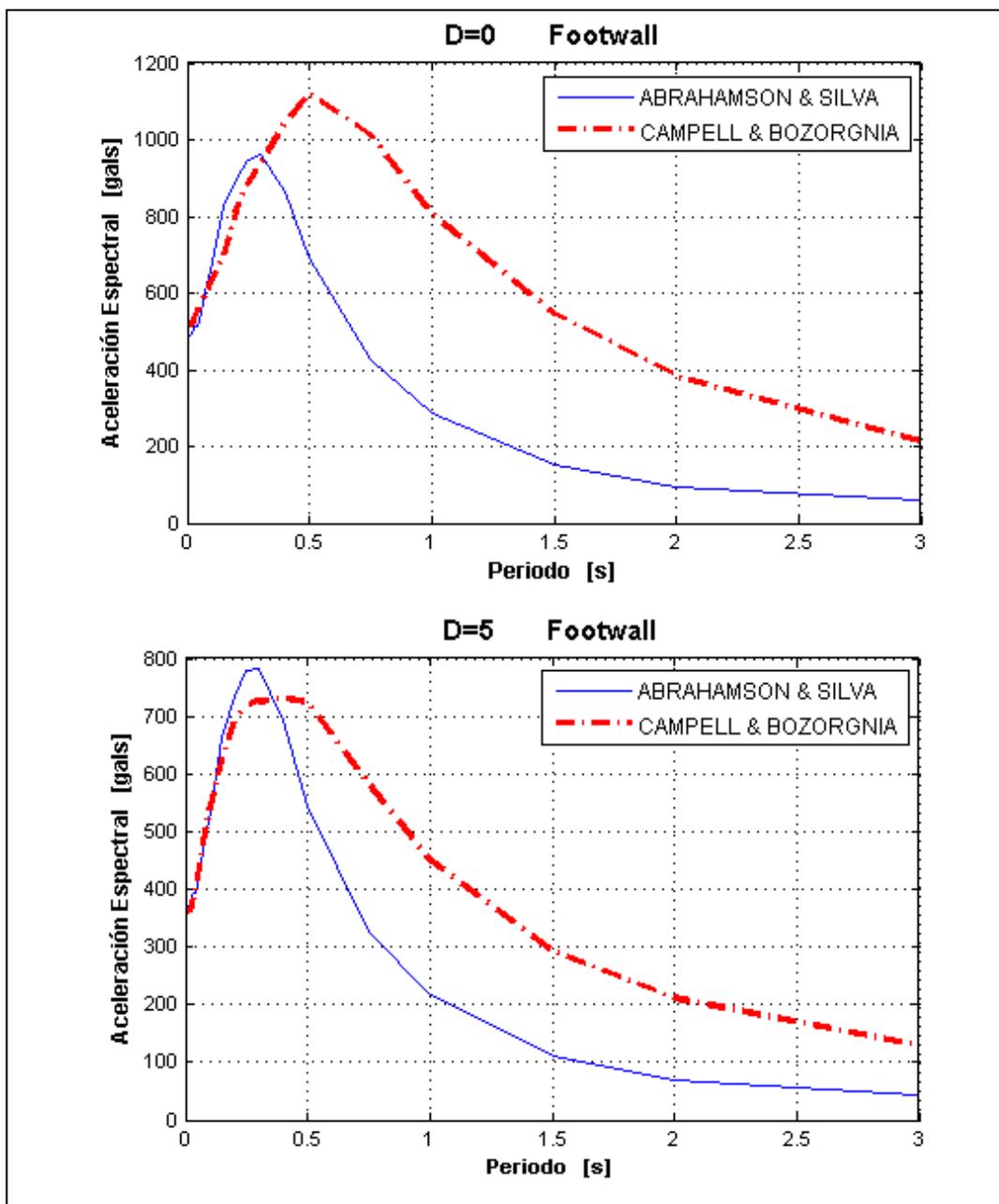


Figura 6.8: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Footwall, para D=0, D=5

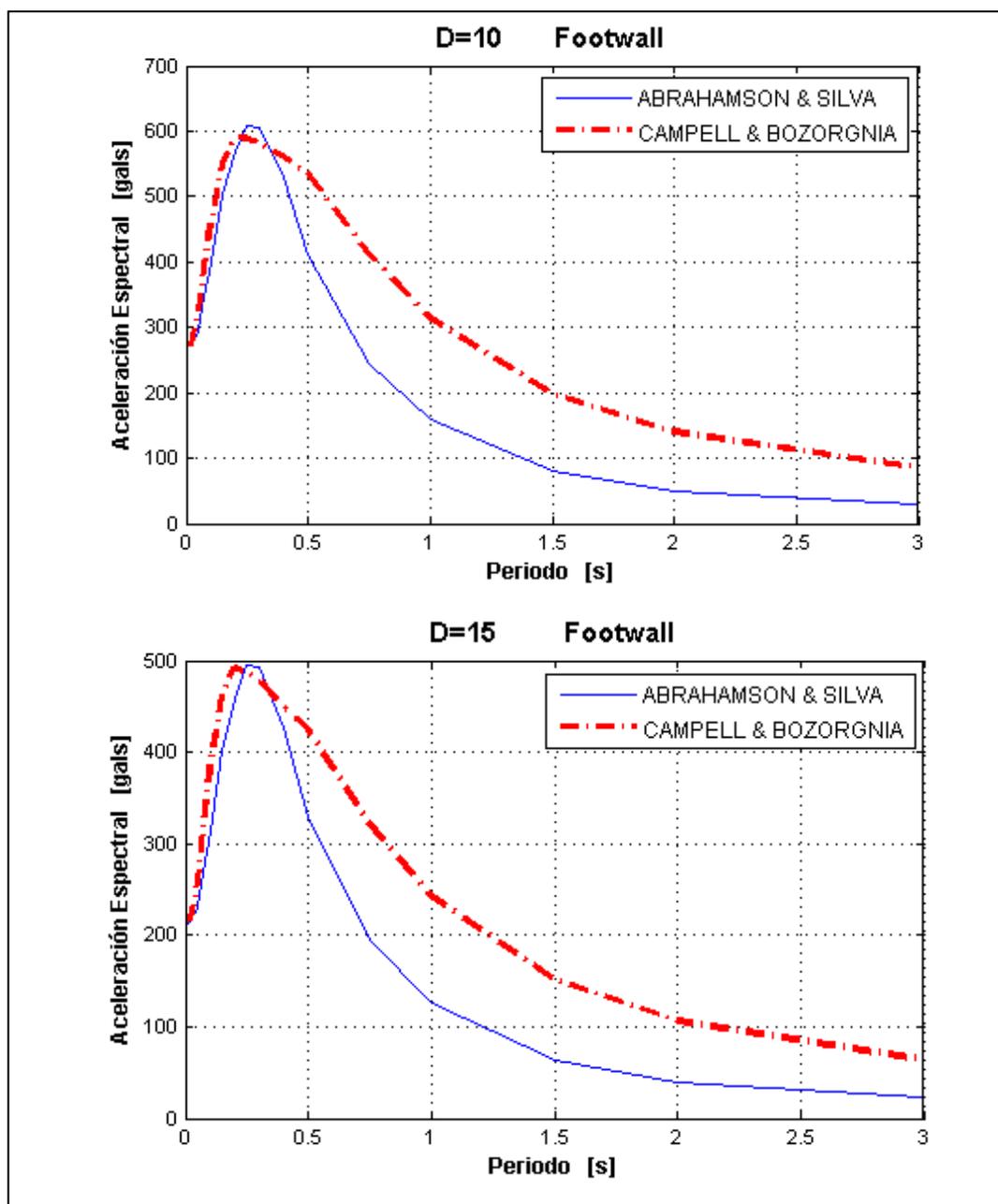


Figura 6.9: Espectros hallados para sitios que se encuentran en Footwall, para D=10, D=15

7. ESPECTROS PARA QUITO

7.1 Espectros asociados a Falla de Quito.

7.1.1 Espectro Elástico, CEC-2000.

Para la forma del Espectro se trabajó con el Espectro Elástico que presenta el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000, (ver Figura 7.1)

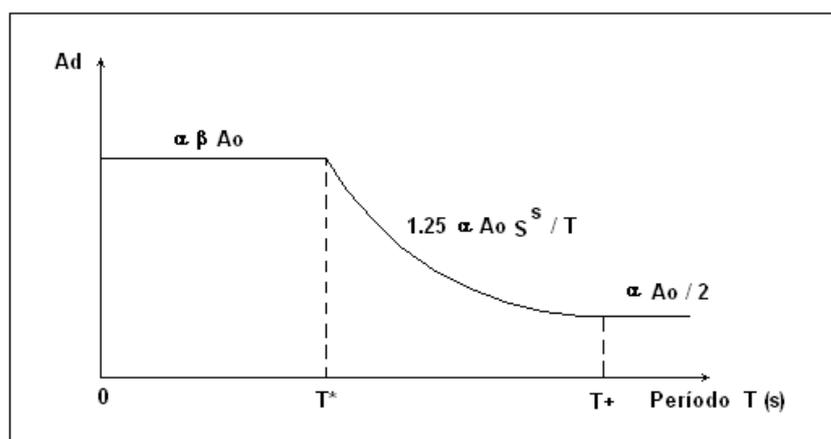


Figura 7.1: Espectro Elástico (CEC-2000)

$$T < T^* \quad A_d = \alpha \beta A_o \quad (7-1)$$

$$T^* < T < T^+ \quad A_d = \frac{1.25 \alpha A_o S^S}{T} \quad (7-2)$$

$$T > T^+ \quad A_d = \frac{\alpha A_o}{2} \quad (7-3)$$

Donde, α : Coeficiente de importancia de la estructura, (ver recomendaciones Tabla 7.1) β , T^* , T^+ , S : Parámetros que dependen del perfil de suelo, (ver Tabla 7.2) A_o : Aceleración máxima del suelo, definida en el mapa

de peligrosidad sísmica del Ecuador, ver CEC-2000. T : Período de vibración de la estructura.

Tabla 7.1: Recomendaciones para valores de α

CEC-2000	α
oficinas y viviendas	1
edificaciones esenciales como hospitales	1.5
edificaciones con ocupación especial como escuelas o locales que albergan más de 5000 personas	1.3
Aguir, 2008	α
edificaciones esenciales como hospitales	1.3
edificaciones con ocupación especial	1.15

Tabla 7.2: Parámetros que definen el espectro elástico (CEC-2000)

Perfil de suelo	T^* (s)	T^+ (s)	β	S
S1	0.50	2.50	2.5	1.0
S2	0.52	3.11	3.0	1.2
S3	0.82	4.59	2.8	1.5
S4	2.00	10.00	2.5	2.0

Tabla 7.3: Parámetros de los cuatro perfiles de suelo del CEC-2000

PERFIL	CARACTERÍSTICAS
S1	Suelos cuya velocidad de onda de corte, V_s es mayor a 750 m/s, con período de vibración menor a 0.2 s
	Roca sana o parcialmente alterada, con resistencia a la compresión no confinada mayor o igual a 500 KPa = 5 Kg/cm ² .
	Gravas arenosas, limosas o arcillas densas o secas.
	Suelos cohesivos duros con resistencia al corte en condiciones no drenadas mayores a 100 KPa, con espesores menores a 20 m., y que se encuentran sobre roca u otro material cuyo V_s es mayor a 750 m/s.
	Arenas densas con número de golpes del SPT: $N > 50$ con espesores menores a 20 m., y que se encuentren sobre roca u otro material cuyo V_s es mayor a 750 m/s
	Suelos y depósitos de origen volcánico firmemente cementados, tobas y conglomerados con número de golpes del SPT: $N > 50$

PERFIL	CARACTERÍSTICAS
S2	Suelos con características intermedias entre los suelos S1 y S3
S3	El período fundamental es mayor a 0.6 s En la Tabla 7.4 se indican las características de los suelos blandos o estratos de gran espesor considerados S3
S4	Suelos con alto potencial de licuación, susceptibles de colapso y sensitivos
	Turbas, lodos y suelos orgánicos
	Rellenos colocados sin control técnico
	Arcillas y limos de alta plasticidad ($IP > 75$)
	Arcillas suaves y medio duras con espesor mayor a 30 m

En suelos de propiedades desconocidas se puede considerar como perfil de suelo S3. Los perfiles S4 se incluyen a suelos particulares altamente compresibles, con condiciones geológicas y/o topográficas desfavorables.

Tabla 7.4: Características de los suelos tipo S3.

Suelos Cohesivos	V_s (m/s)	Resistencia al corte no drenada S_u	Espesor del Estrato
Blandos	< 200	< 25 KPa	> 20 m.
Semiblandos	200 – 400	25 KPa – 50 KPa	> 25 m.
Duros	400 – 750	50 KPa – 100 KPa	> 40 m.
Muy duros	> 750	100 KPa – 200 KPa	> 60 m.
Suelos Granulares	V_s (m/s)	Valores N del SPT	Espesor del Estrato
Sueltos	< 200	4 – 10	> 40 m.
Semidensos	200 – 750	10 – 30	> 45 m.
Densos	> 750	> 30	> 100 m.

7.1.2 Datos para la obtención de espectros asociados a la Falla de Quito.

Para aplicar el Método de Campbell y Bozorgnia y el Método de Abrahamson y Silva descritos en el Capítulo 6, necesitamos los siguientes datos:

7.1.2.1 Magnitud.

Para establecer la magnitud máxima esperada se procedió de dos formas:

- a) En resumen del Capítulo 3, de la Tabla 3.2 se toman los valores de la Zona Fuente 4, puesto que Quito se encuentra en esta zona; zona asociada a sismos corticales $a=7.5086$, $b=-1.6028$ valores que se calcularon con la ecuación (3-1) y $M_{max}=6.34$ para un Sismo Raro.

Para encontrar el valor de N , que interviene en la ecuación (3-1) procedemos de la siguiente manera. En base a la vida útil de la estructura y con una probabilidad de excedencia del 10% se encuentra el período de recurrencia Tr , indicada en la ecuación (7-4); que representa el tiempo promedio transcurrido entre dos movimientos sísmicos que tienen la misma aceleración.

$$Tr = \frac{1}{1-(1-p)^{\frac{1}{t}}} \quad (7-4)$$

Donde t es el tiempo de vida útil de la estructura y p es la probabilidad de no excedencia. Si reemplazamos $t=50$ y $p=0.10$ encontramos $Tr= 475$ años, procedemos de igual forma para, el Sismo Frecuente y el Sismo Ocasional, resultados que se muestran en la Tabla 7.5

Tabla 7.5: Período de recurrencia, para sismo de análisis.

Sismo de Análisis	Vida útil de la estructura	Período de recurrencia, Tr en años
Sismo Frecuente	30	43
Sismo Ocasional	50	72
Sismo Raro	50	475

De la ecuación (7-5) despejamos N y obtenemos los valores de N, para los diferentes sismos de análisis. De la Tabla 3.2 para la Zona Fuente 4 los valores de $a=7.5086$, $b=-1.6028$ y con los valores de N se reemplaza en la ecuación (3-1) y se obtiene la Magnitud máxima para los sismos de análisis, los resultados se muestran en la Tabla 7.6

$$Tr = \frac{1}{N} \tag{7-5}$$

Tabla 7.6: Magnitud máxima, según el sismo de análisis para la Zona Fuente 4.

Sismo de Análisis	N	LogN	Mmax
Sismo Frecuente	0.02326	-1.63	5.71
Sismo Ocasional	0.01389	-1.86	5.85
Sismo Raro	0.00211	-2.68	6.35

Se procede de igual forma para las 21 Zonas Fuentes, los resultados para un Sismo Raro se indican en la Tabla 7.7

Tabla 7.7: Magnitud máxima esperada en cada Zona Fuente para un sismo raro.

ZONA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Mmax	7.7	6.3	5.8	6.3	7.6	6.4	6.9	6.2	6.1	5.7	6.4	8.8	6.4	7.1	6.5	7.5	6.7	6.0	6.6	5.0	5.7

b) Se graficó los sismos registrados, en la zona que se encuentra ubicada la falla, ver Figura 1.9

Las dos formas de cálculo reportaron sismos muy bajos, incluso para un sismo raro $M_{max}=6.35$, en la zona de estudio, razón por la cual se procede a tomar $M_{max}=6.7$ valor recomendado por Yopez et al (2011)

7.1.2.2 Clasificación de los tipos de suelo.

Para realizar la clasificación de los tipos de suelo, se utilizó la velocidad de onda de corte mediante recopilación de información de los diferentes ensayos de suelo, realizados en el Distrito Metropolitano de Quito. Los resultados, se presentan en la Tabla 7.8

Tabla 7.8: Resultados, clasificación de los tipos de suelo, para varias zonas del Distrito Metropolitano de Quito

Ubicación	Vs (m/s)	Perfil
El Bosque 22	263.50	S3
Carolina 3	190.23	S3
Las Casas 45	234.52	S3
C. Histórico 21	236.51	S3
C. histórico 23	249.10	S3
Pinar 40	256.67	S3
El Pinar 2	245.08	S3
Mariscal	253.71	S3
Mariscal 30	283.74	S3
Floresta 35	227.37	S3
Floresta 32	208.37	S3
Quitumbe 19	134.33	S3
Quitumbe 28	228.59	S3
San Bartolo 38	188.41	S3
Garrochal 4	132.93	S3

Como se puede observar en la Tabla 7.8 la velocidad de onda de corte es muy baja y todos los suelos son S3; pero esto no refleja la realidad por lo que se procedió a utilizar la microzonificación mostrada en la Figura 4.5, en el Capítulo 4 y para la velocidad de la onda de corte se toman los valores máximos del CEC-2000, ver Tabla 7.9

Tabla 7.9: Valores Velocidad de la Onda de Corte.

PERFIL	Vs (m/s)	Tipo de Suelo
S1	> 750	
S2	500	
S3	200	Granular
S3	300	Cohesivo

7.1.2.3 Ztor para Falla de Quito 31 a.

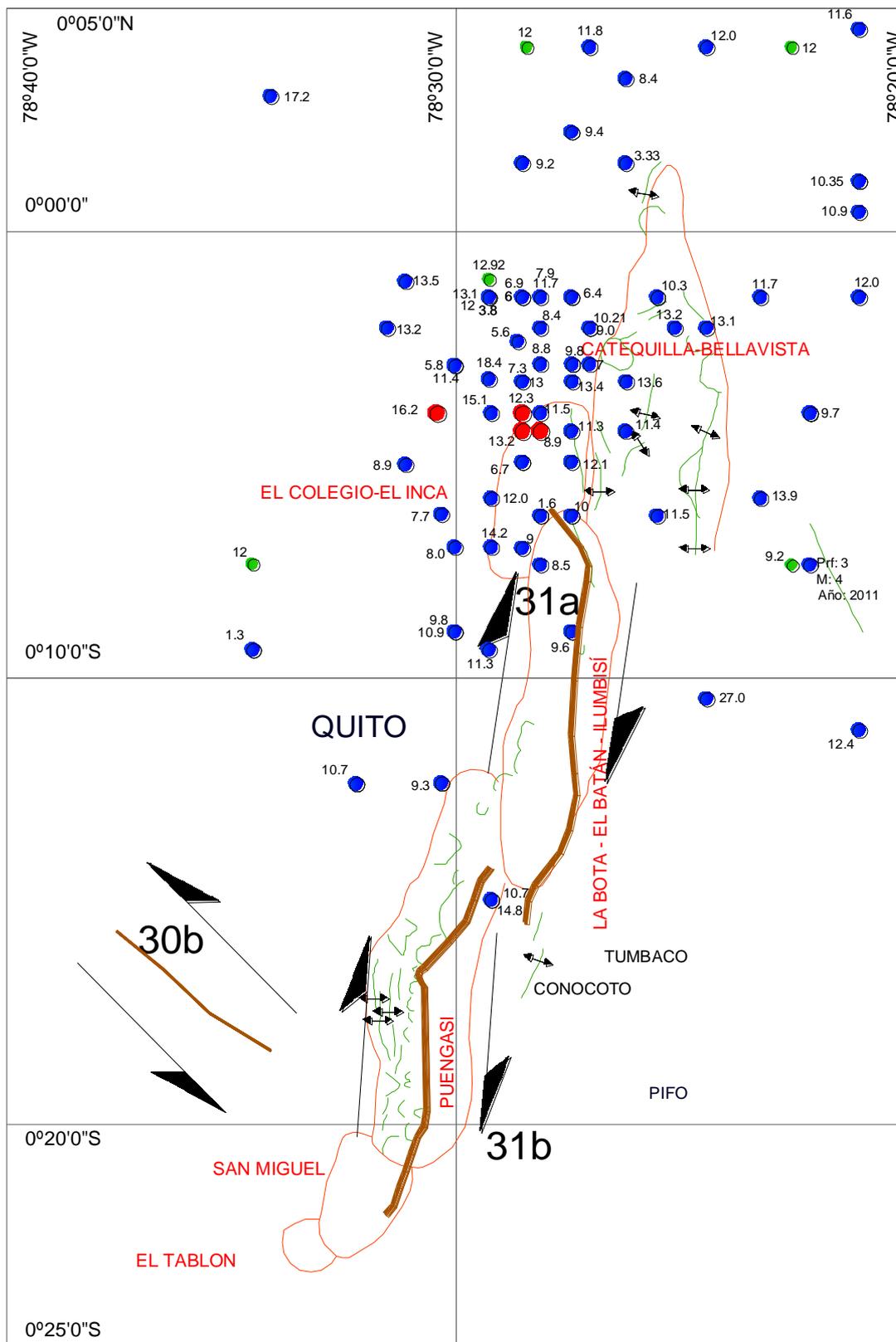


Figura 7.2: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 a, vista en plata.

Para conocer la profundidad desde el borde de la ruptura y la tendencia de la falla, se realizó la grafica de la profundidad focal de los diferentes sismos cercanos a la Falla de Quito 31 a, indicados en las Figuras 7.2 y 7.3

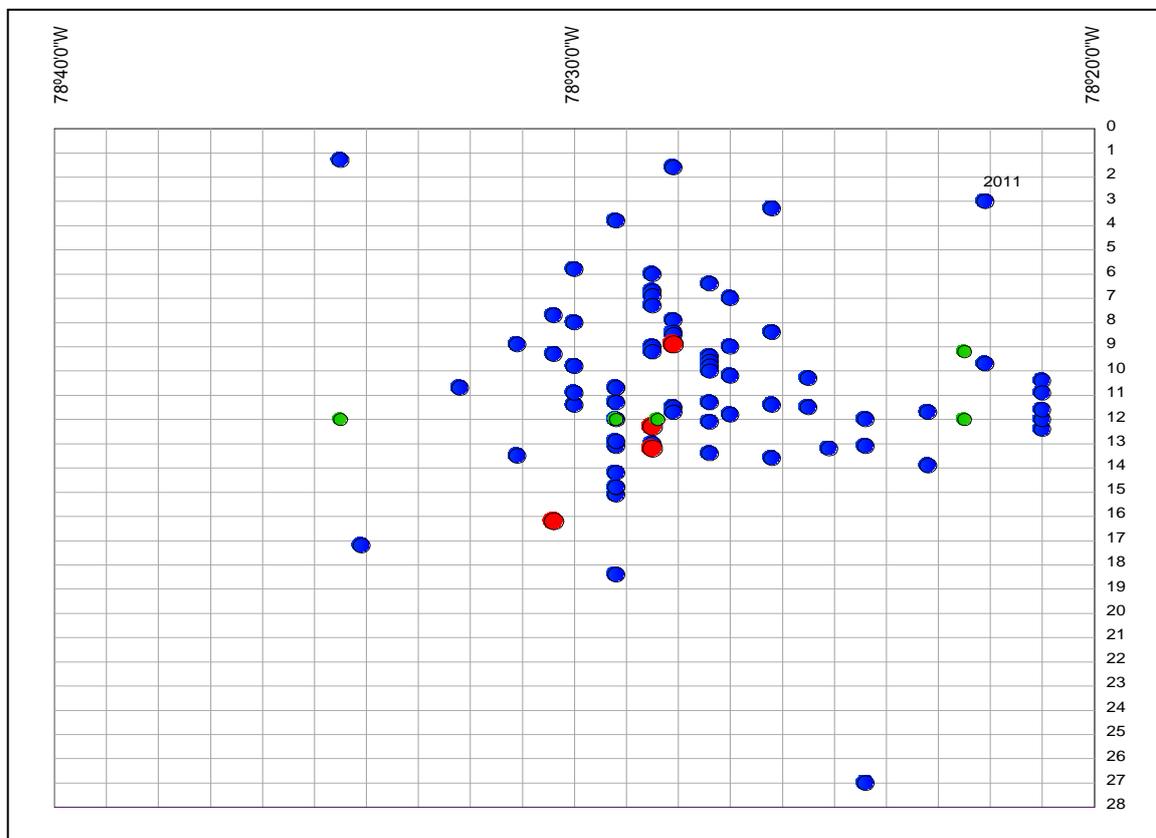


Figura 7.3: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 a, vista en perfil.

7.1.2.4 Ztor para Falla de Quito 31 b.

Para conocer la profundidad desde el borde de la ruptura, se realizó gráficas de la profundidad focal de los diferentes sismos cercanos a la Falla de Quito 31 b, indicados en la Figura 7.4 y Figura 7.5

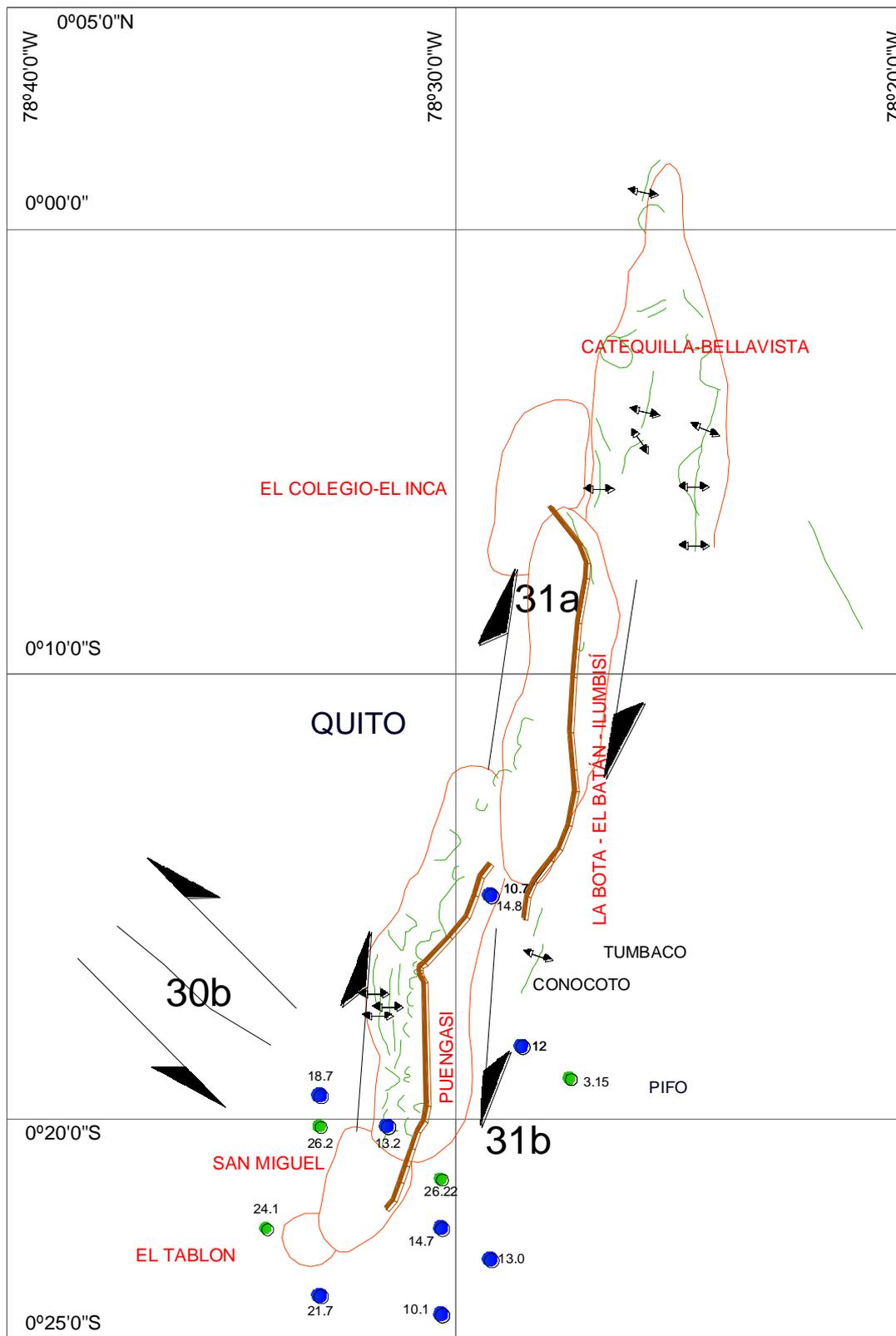


Figura 7.4: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 b, vista en plata.

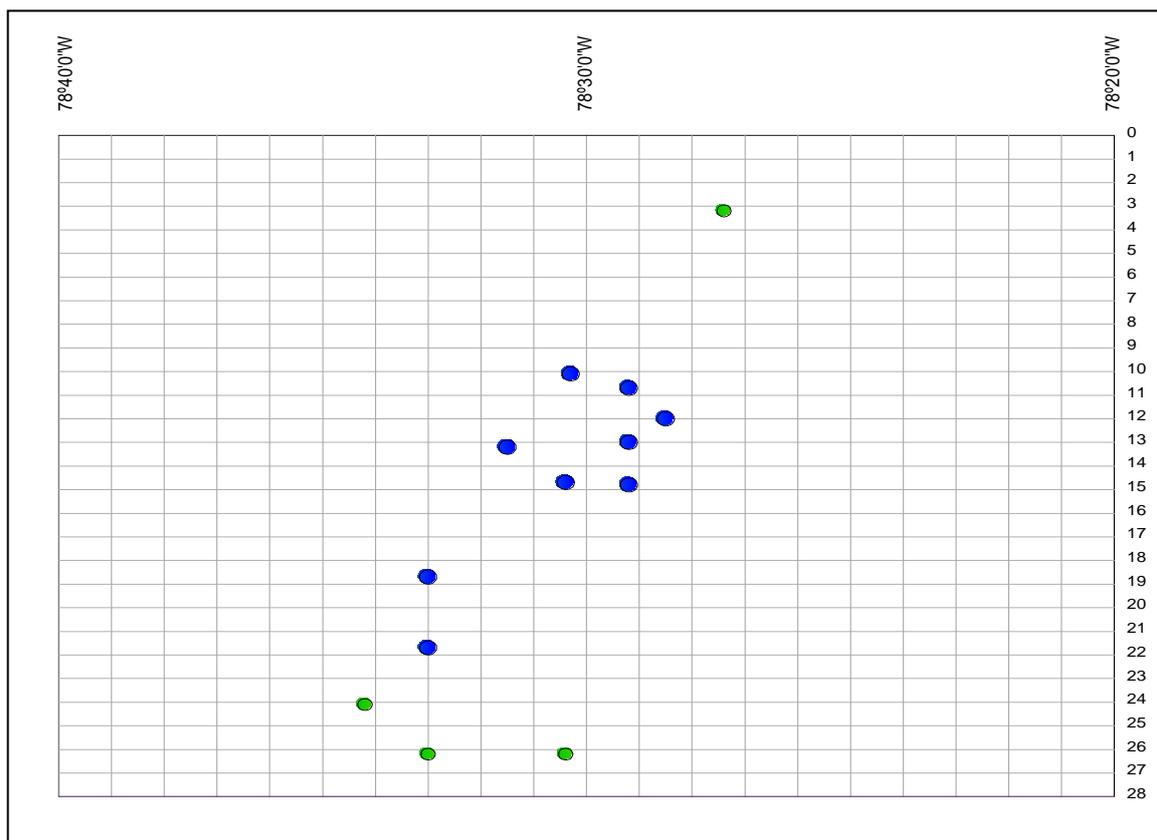


Figura 7.5: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Quito 31 b, vista en perfil.

Para obtener los espectros se realiza una zonificación en el área de la falla (ver, Figura 7.6) La zona 1 presenta una distancia de 3.5 km y la zona 2 una distancia de 5km. En las subrutinas en Matlab se utilizó $D=1.75$ para la zona 1 que es la mitad de la distancia que posee ésta zona y $D=6$ para la zona 2 que es la mitad de la zona 2 mas la distancia de la zona1.

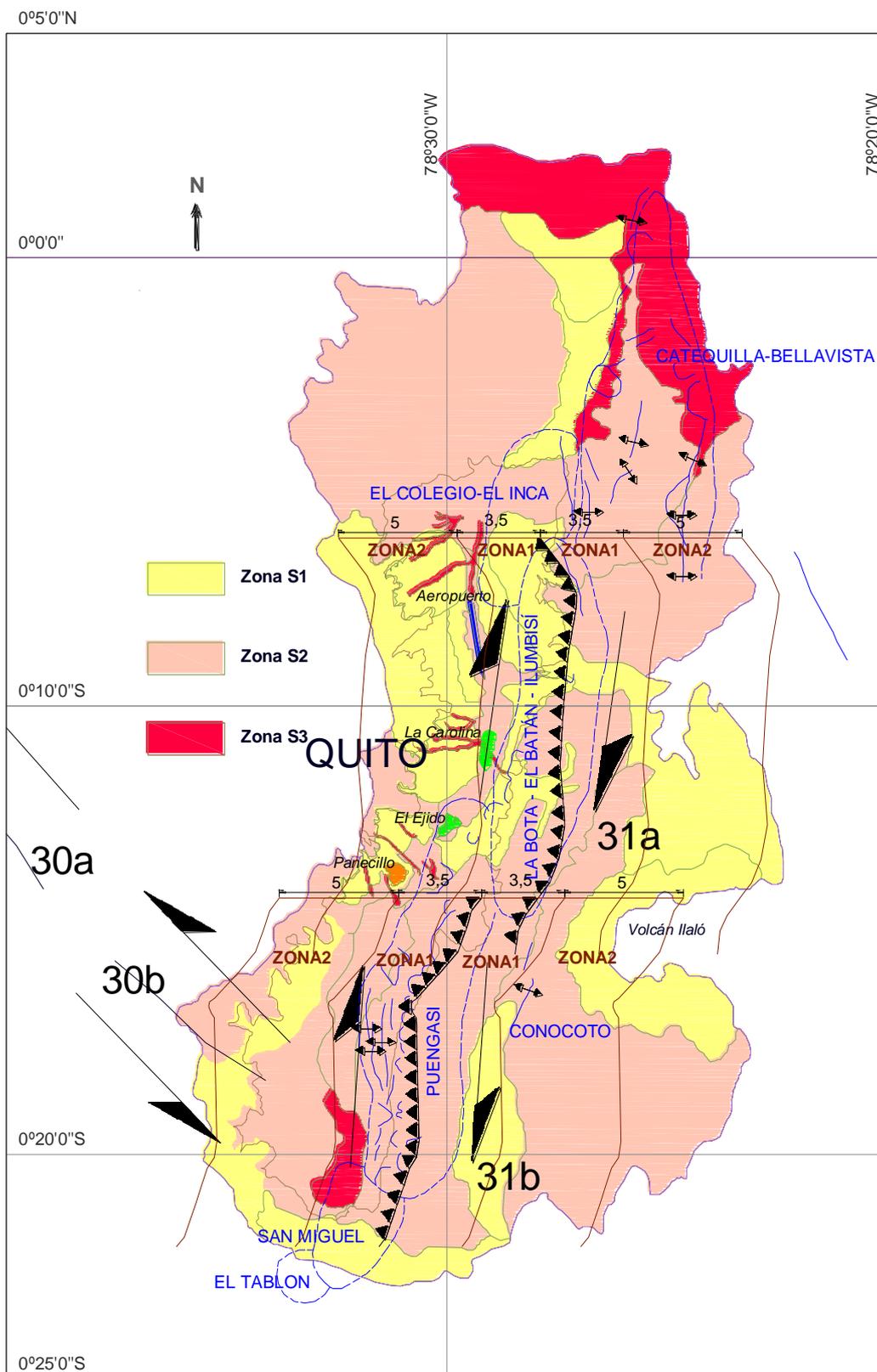


Figura 7.6: Zonificación en la Falla de Quito.

Rx, Rjb y PGA se obtienen como se describe en el Capítulo 6; para la Falla de Quito; sus resultados se muestran en la Tablas 7.10 y 7.11 tanto para un sismo raro como un ocasional.

Tabla 7.10: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para M=6.7

W	Z tor		Hanging Wall		Foot Wall	
			D=1.75	D=6	D=1.75	D=6
10	10	PGA (g) Abrahamson	0.833	0.649	0.290	0.241
		PGA (g) Campbell	0.406	0.323	0.208	0.170
		Rrup	8.309	11.314	15.429	18.868
		Rjb	0.000	0.000	11.750	16.000
		Rx	7.071	7.071	18.821	23.071
	6	PGA (g) Abrahamson	0.725	0.525	0.299	0.229
		PGA (g) Campbell	0.447	0.326	0.304	0.229
		Rrup	8.309	11.314	9.801	13.416
		Rjb	0.000	2.929	7.750	12.000
		Rx	7.071	10.000	14.821	19.071
	5	PGA (g) Abrahamson	0.662	0.468	0.309	0.229
		PGA (g) Campbell	0.458	0.322	0.339	0.248
		Rrup	8.309	11.314	8.400	12.083
		Rjb	0.000	3.929	6.750	11.000
		Rx	7.071	11.000	13.821	18.071

Tabla 7.11: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para M=5.85

W	Z tor		Hanging Wall		Foot Wall	
			D=1.75	D=6	D=1.75	D=6
10	10	PGA (g) Abrahamson	0.311	0.229	0.164	0.131
		PGA (g) Campbell	0.246	0.190	0.141	0.115
		Rrup	8.309	11.314	15.429	18.868
		Rjb	0.000	0.000	11.750	16.000
		Rx	7.071	7.071	18.821	23.071
	6	PGA (g) Abrahamson	0.217	0.160	0.185	0.133
		PGA (g) Campbell	0.246	0.190	0.215	0.162
		Rrup	8.309	11.314	9.801	13.416
		Rjb	0.000	2.929	7.750	12.000
		Rx	7.071	10.000	14.821	19.071
	5	PGA (g) Abrahamson	0.198	0.146	0.196	0.136
		PGA (g) Campbell	0.246	0.190	0.244	0.179
		Rrup	8.309	11.314	8.400	12.083
		Rjb	0.000	3.929	6.750	11.000
		Rx	7.071	11.000	13.821	18.071

En la Figura 7.6 se presenta la ubicación de los puentes sobre los ríos: San Pedro (SP) y Chiche (CH) de los cuales se cuenta con estudios de suelos, con ellos se puede inferir la profundidad a la cual se encuentra la roca en Quito, por ser estudios de sitios muy cercanos a la Capital; como dato adicional el puente sobre el río San Pedro se encuentra en el borde de la falla de Quito.

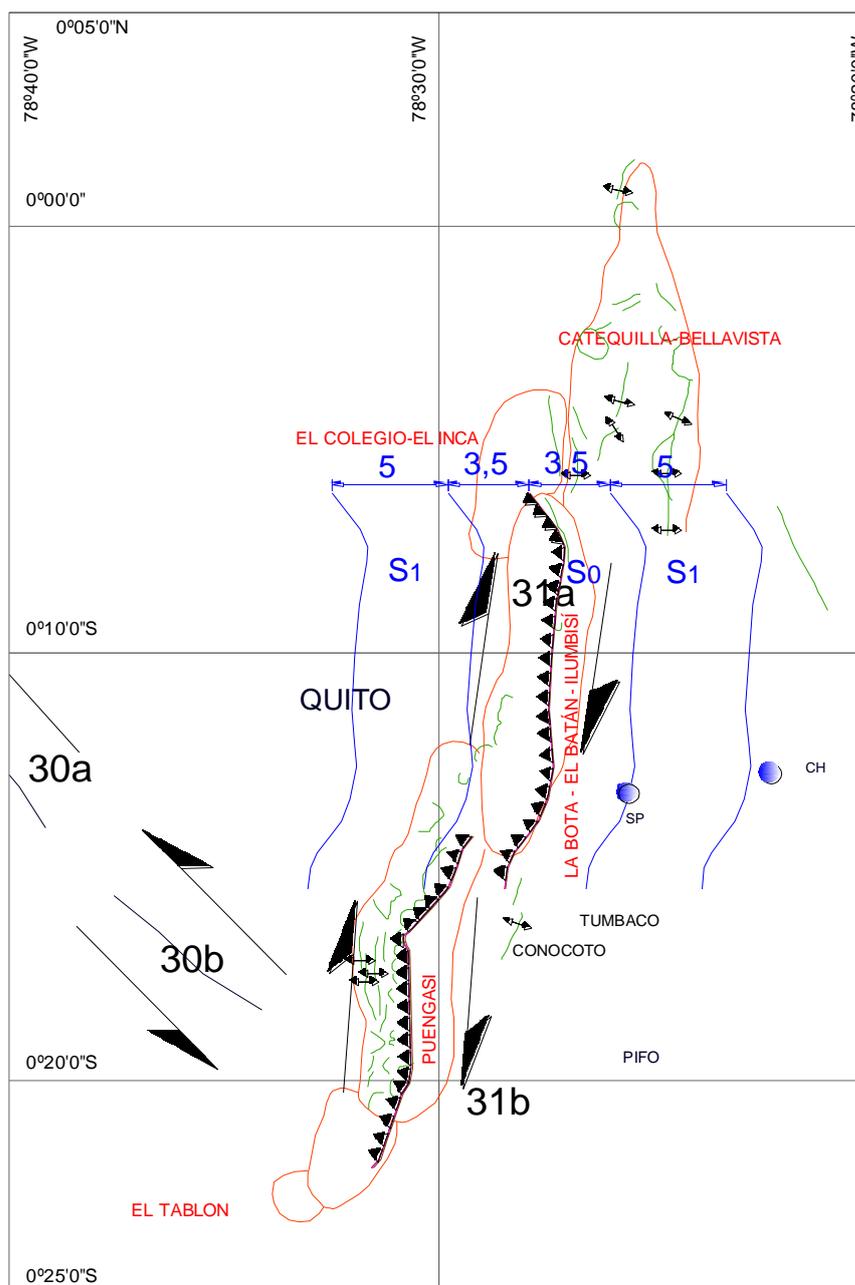


Figura 7.7: Puentes sobre los ríos: San Pedro (SP) y Chiche (CH)

En las Figuras 7.8 y 7.9 se presentan dos perfiles de suelo, en las laderas de los ríos: San Pedro y Chiche. Se observa que la velocidad de la onda de corte de 1000 m/seg, se encuentra entre 20 y 50 m de profundidad. De igual forma la velocidad de onda de corte de 2500 m/seg se produce a una profundidad de 100 m.

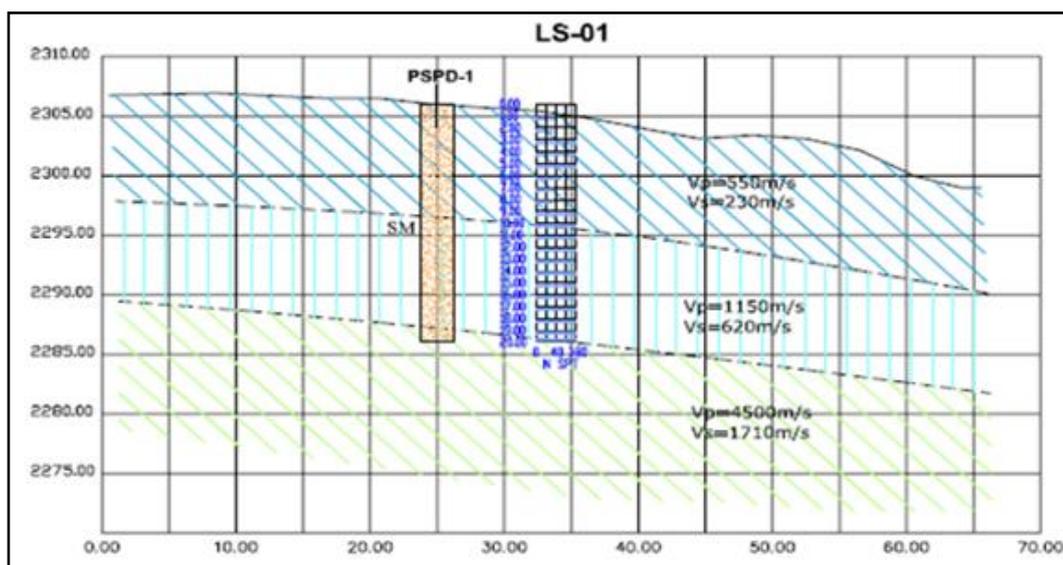


Figura 7.8: Velocidad de la onda de corte y perfil de suelo en puente sobre el río San Pedro

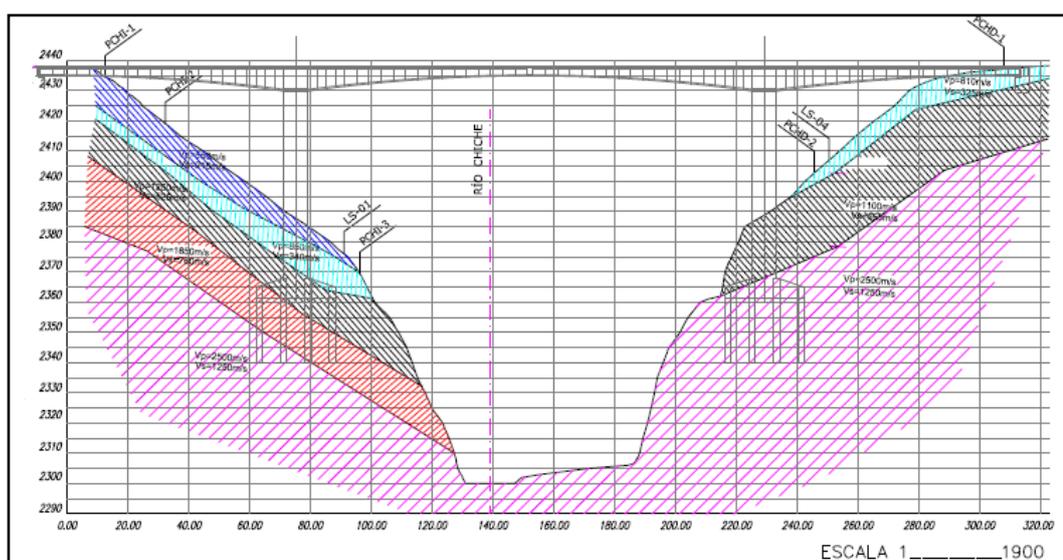


Figura 7.9: Velocidad de la onda de corte y perfil de suelo en puente sobre el río Chiche.



Sean Z_{10} y Z_{25} las profundidades donde se encuentran velocidades de la onda de corte de 1000 y 2500 m/seg., respectivamente. Entonces:

$$Z_{10} = 20 - 50 \text{ m.}$$

$$Z_{25} = 100 \text{ m.}$$

7.1.3 Resultados.

Para encontrar los Espectros Elásticos asociados a la Falla de Quito, se realizan varias subrutinas en Matlab. Los resultados se muestran a continuación.

7.1.3.1 Resultados para período de retorno de 475 años, con Ztor 5km

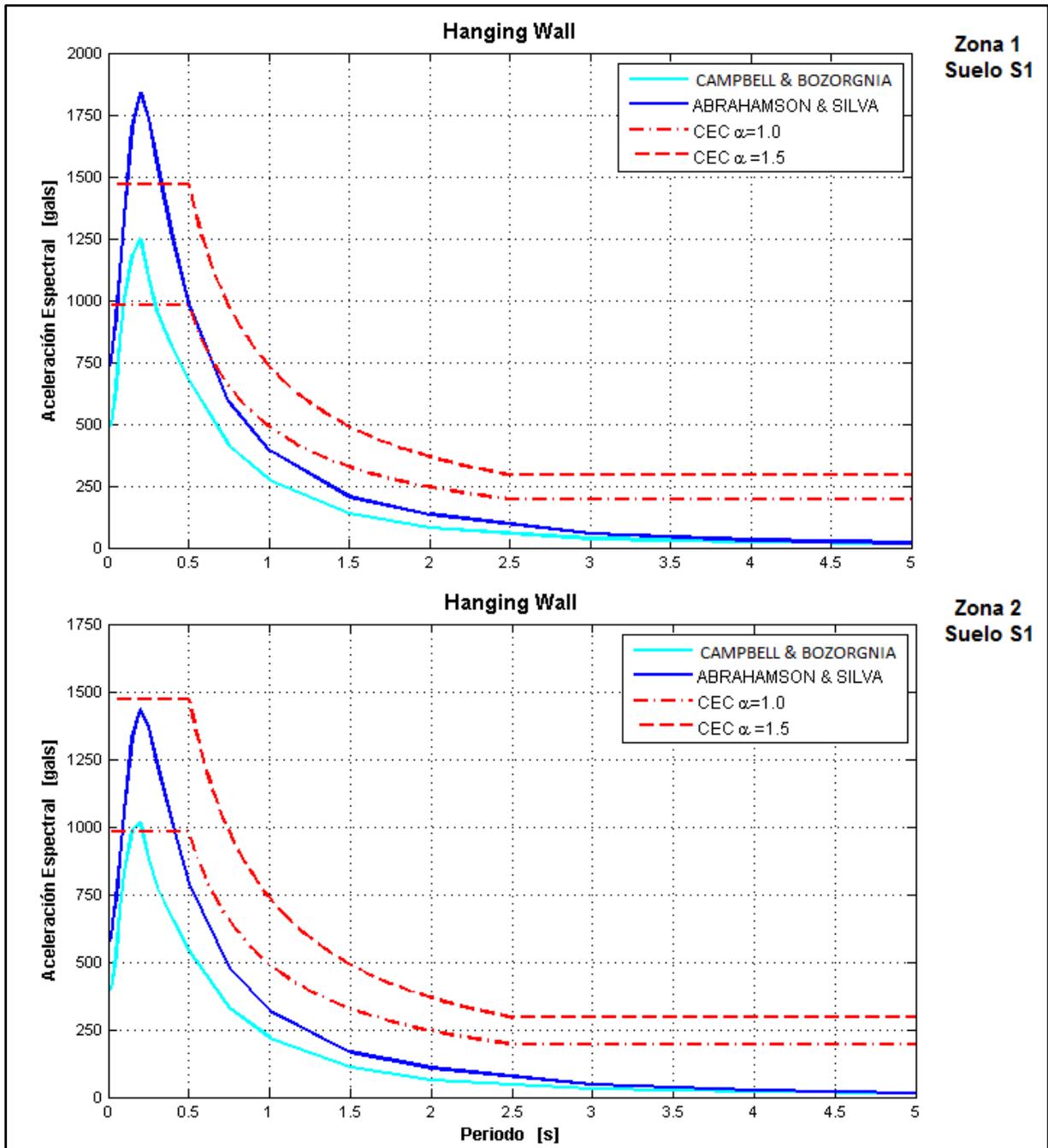


Figura 7.10: Espectros para perfil de suelo S1 en Hanging Wall.
Período de retorno 475 años.

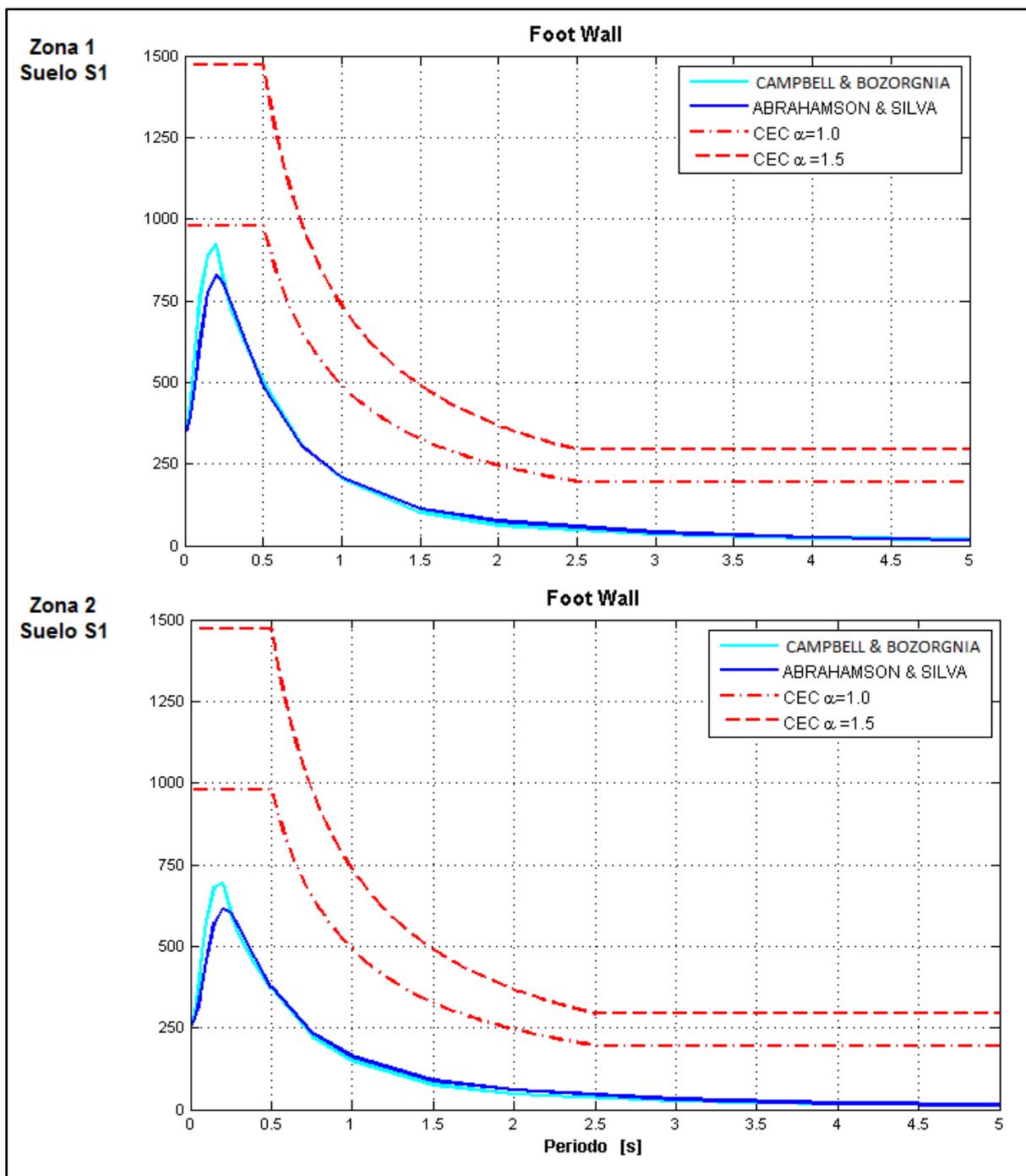


Figura 7.11: Espectros para perfil de suelo S1 en Foot Wall. Período de retorno 475 años.

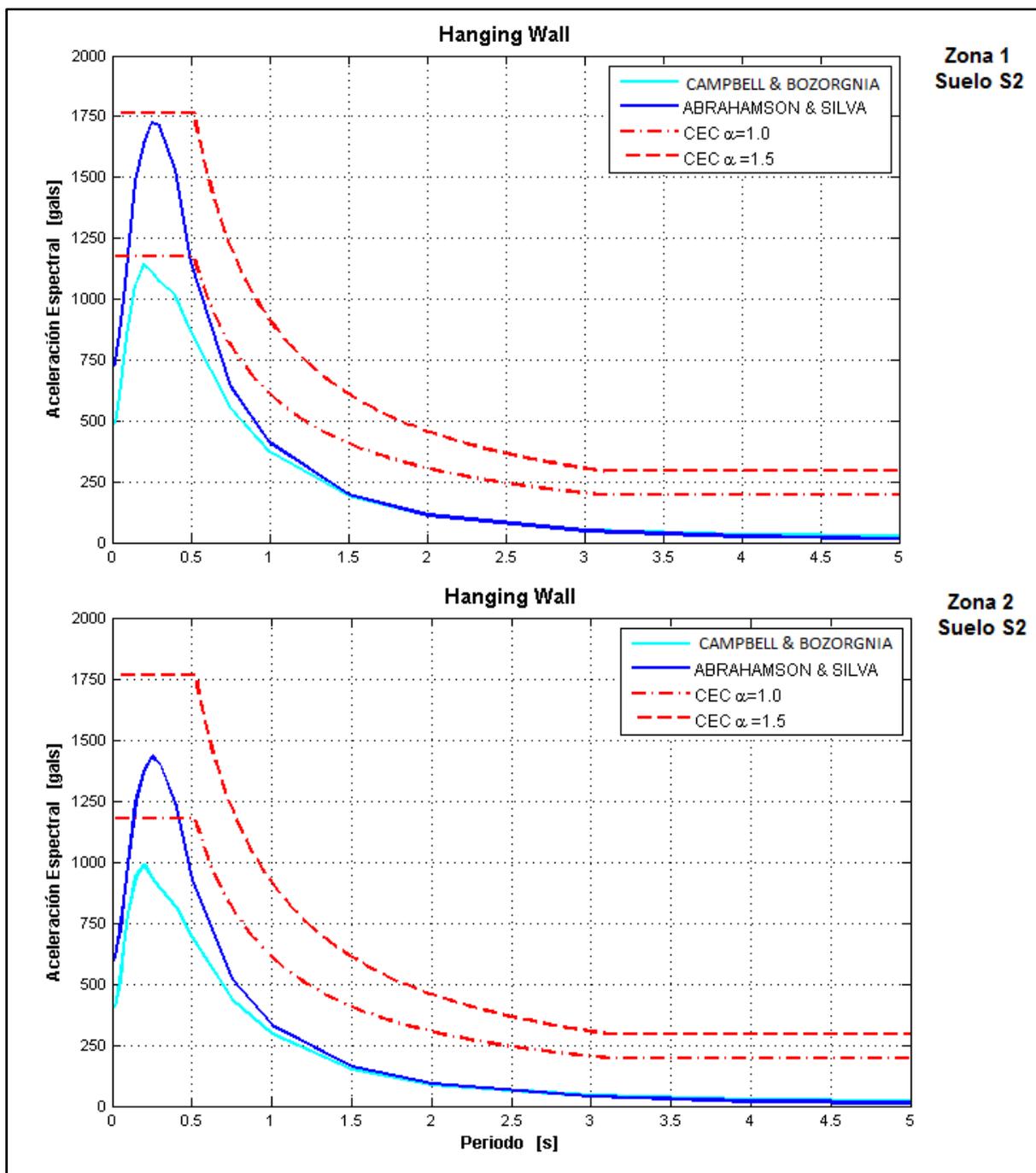


Figura 7.12: Espectros para perfil de suelo S2 en Hanging Wall.
Período de retorno 475 años.

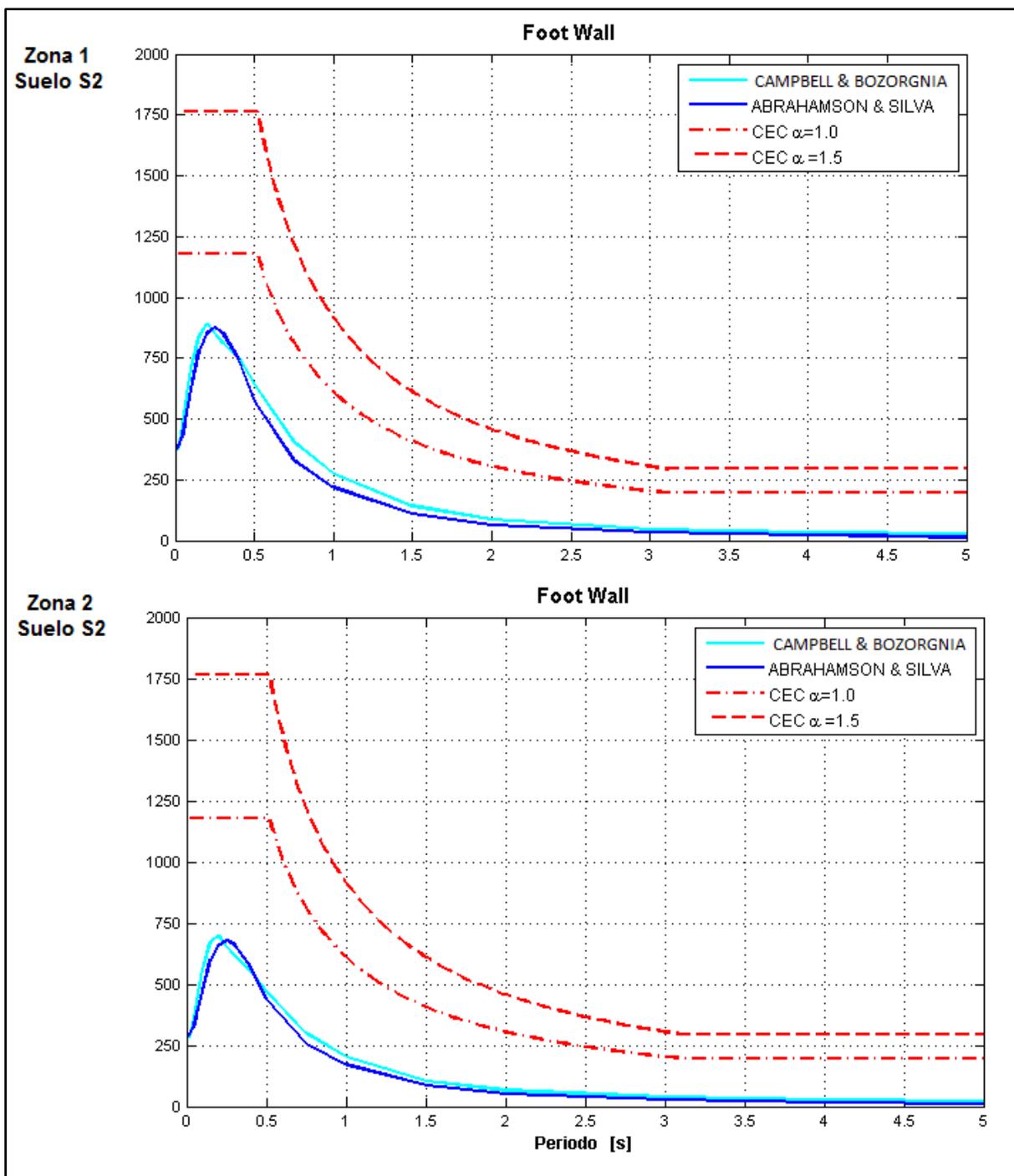


Figura 7.13: Espectros para perfil de suelo S2 en Foot Wall. Período de retorno 475 años.

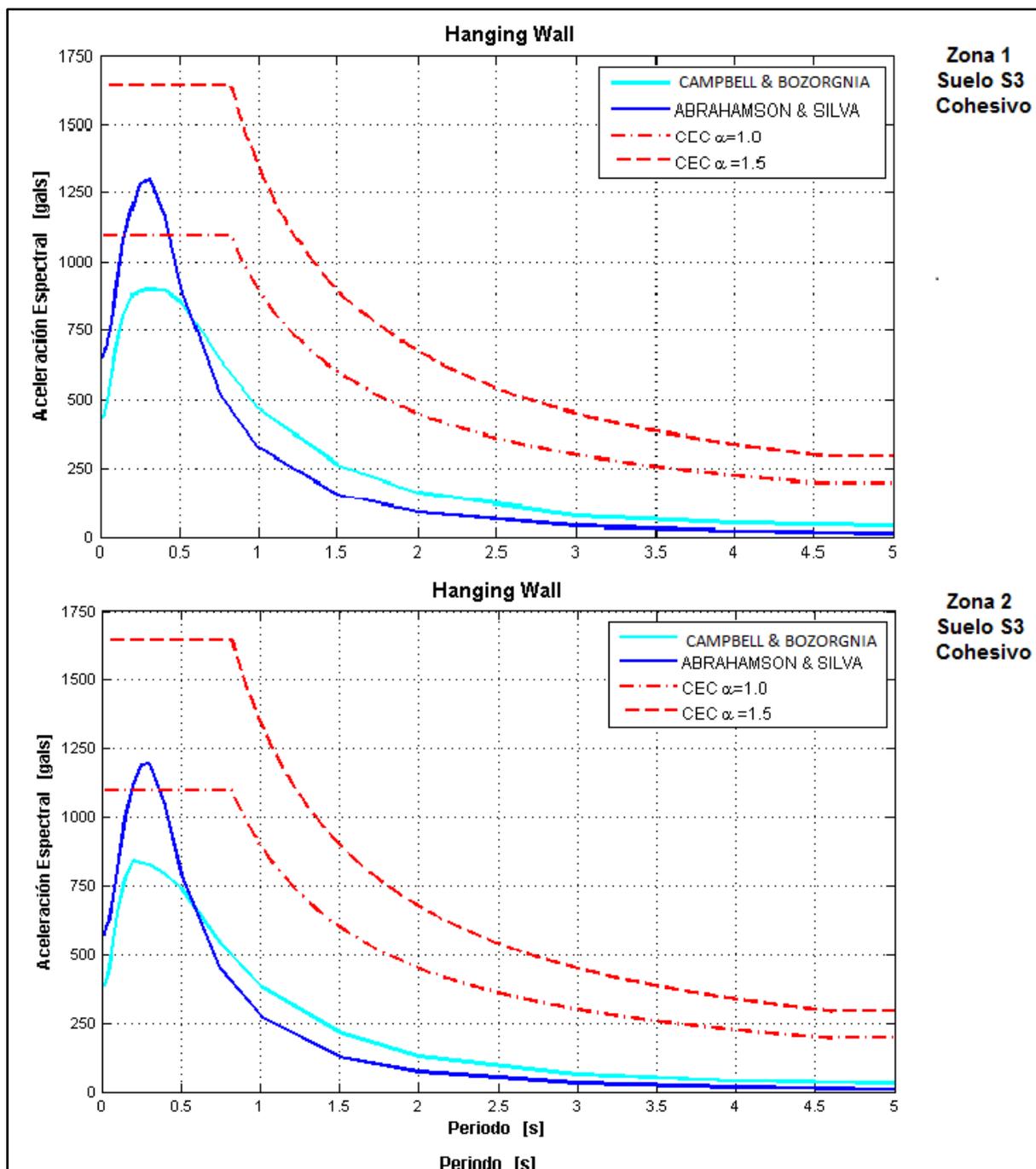


Figura 7.14: Espectros para perfil de suelo S3 Cohesivo en Hanging Wall. Período de retorno 475 años.

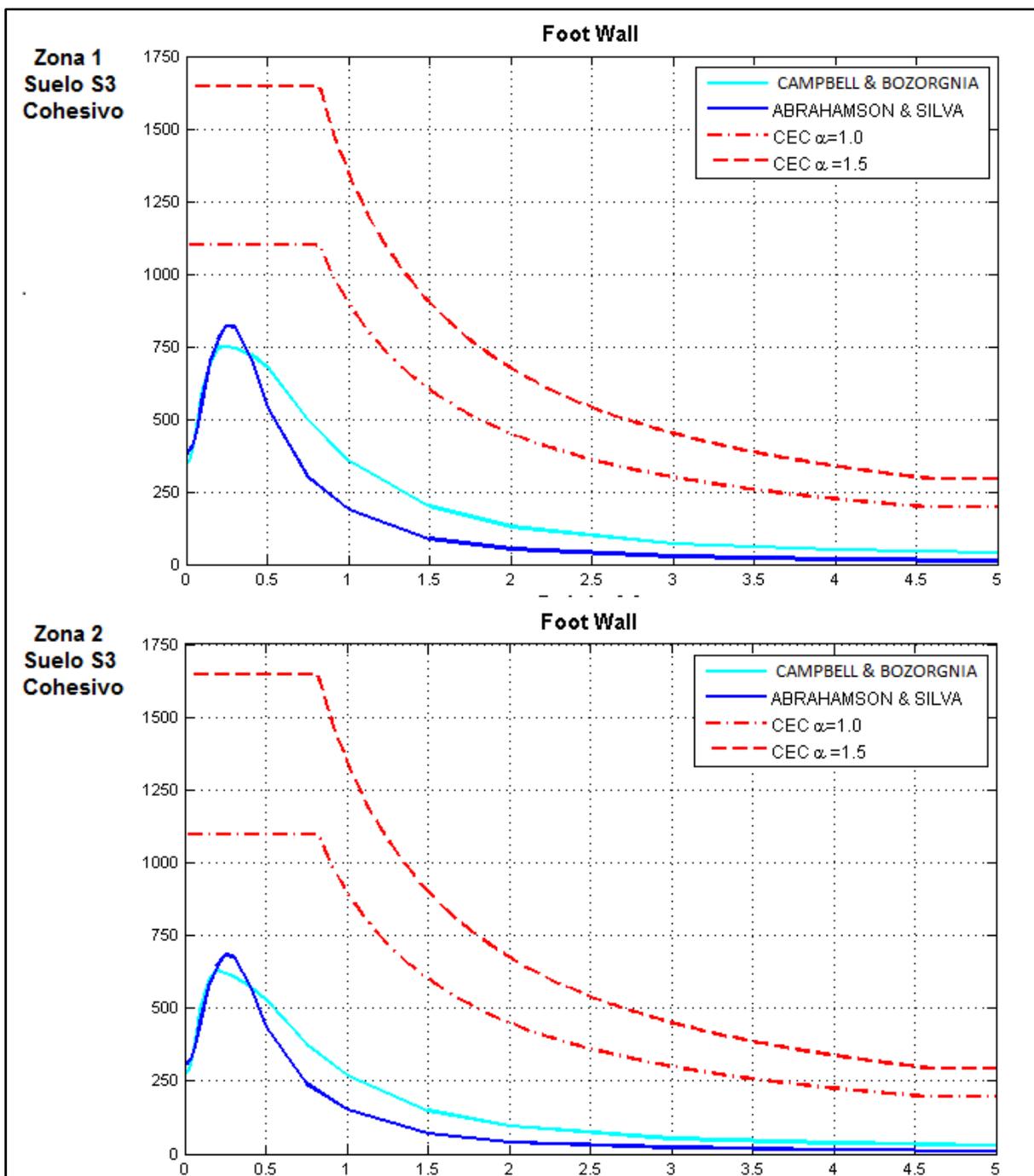


Figura 7.15: Espectros para perfil de suelo S3 Cohesivo en Foot Wall.
Período de retorno 475 años.

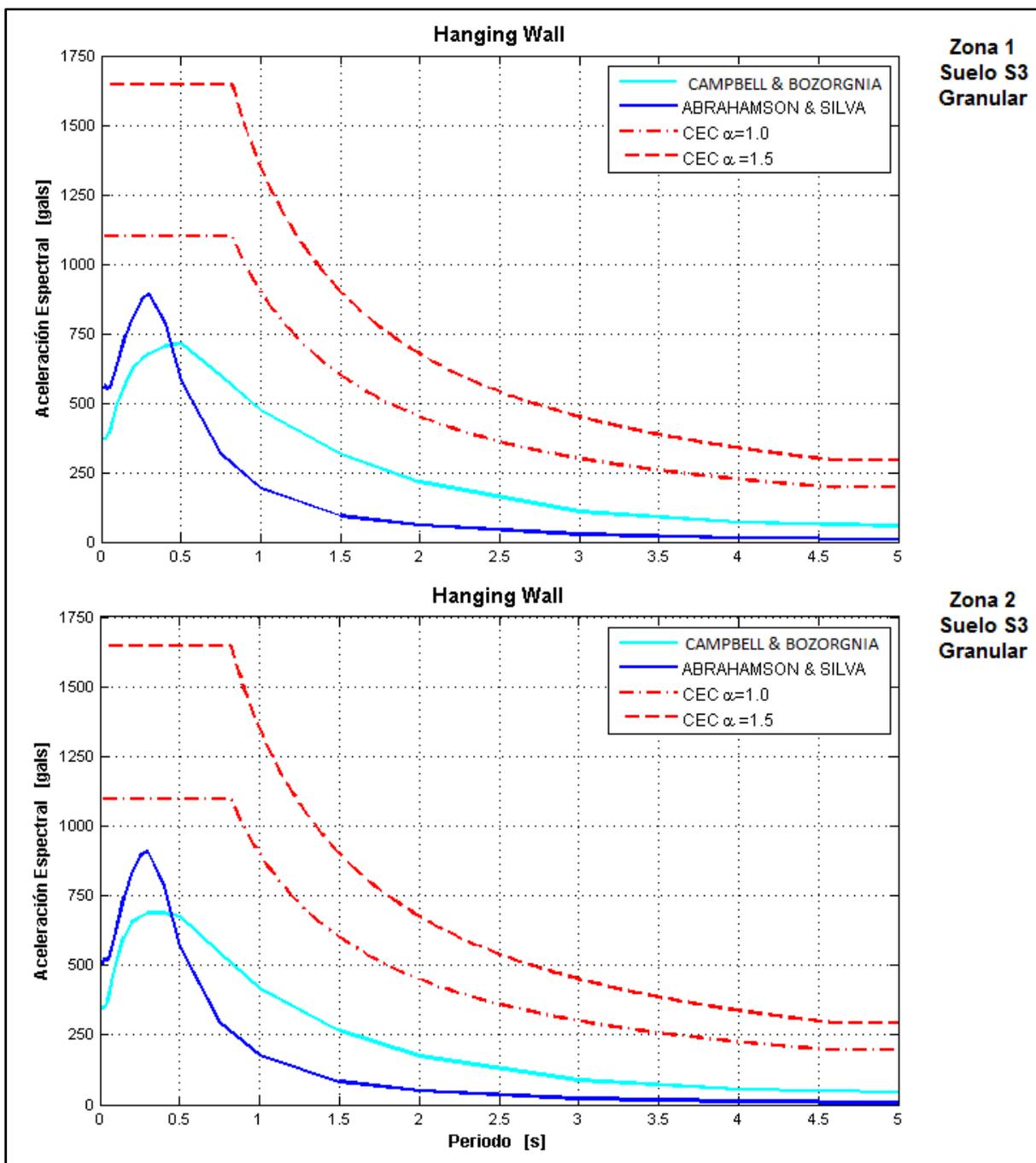


Figura 7.16: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Hanging Wall. Período de retorno 475 años.

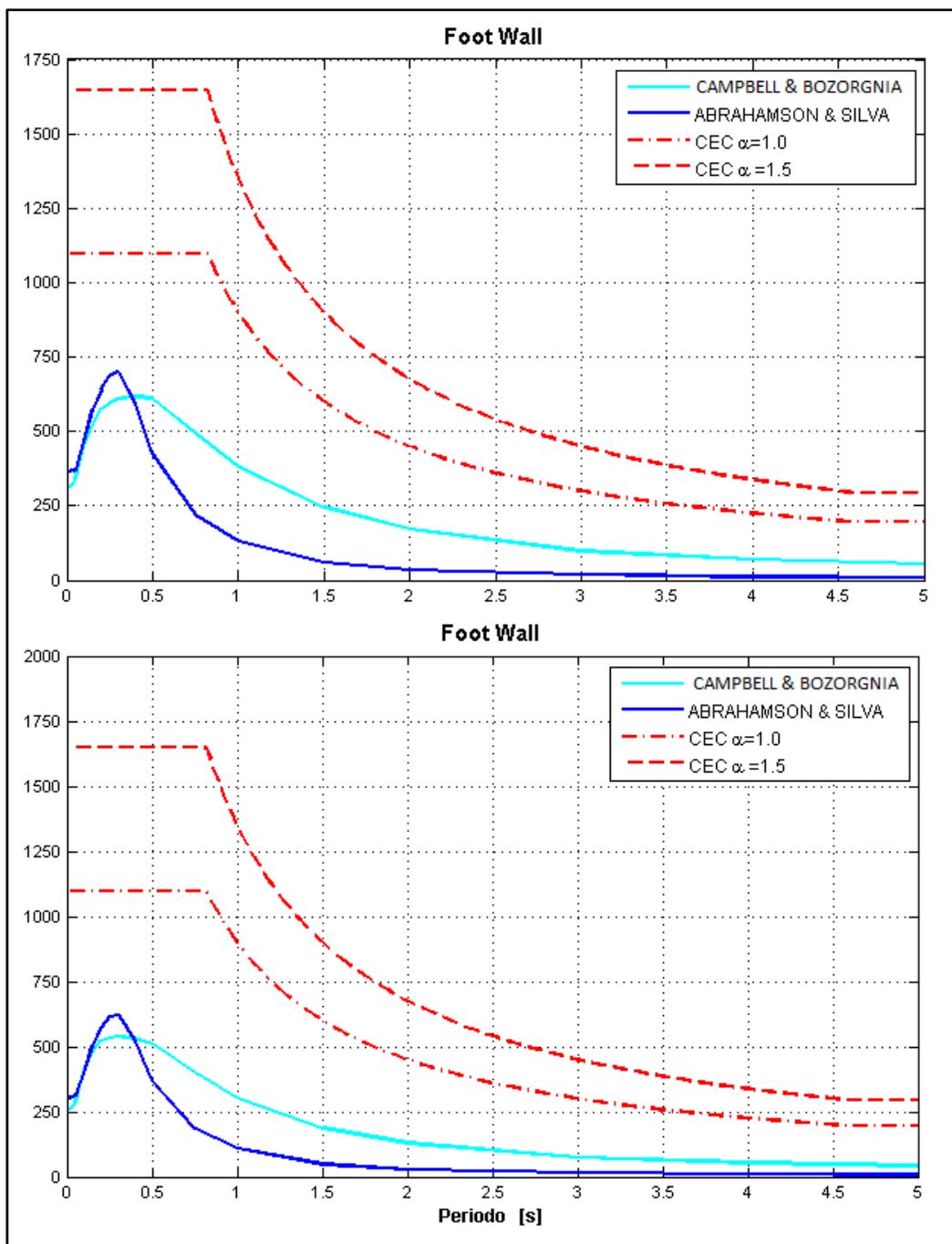


Figura 7.17: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Foot Wall.
Período de retorno 475 años.

7.1.3.2 Resultados para período de retorno de 72 años, con Ztor

5km

En las Figuras 7.17 a 7.24 se presentan los espectros para un período de retorno de 72 años, para perfiles de suelo S1, S2, S3 cohesivo y S3 granular.

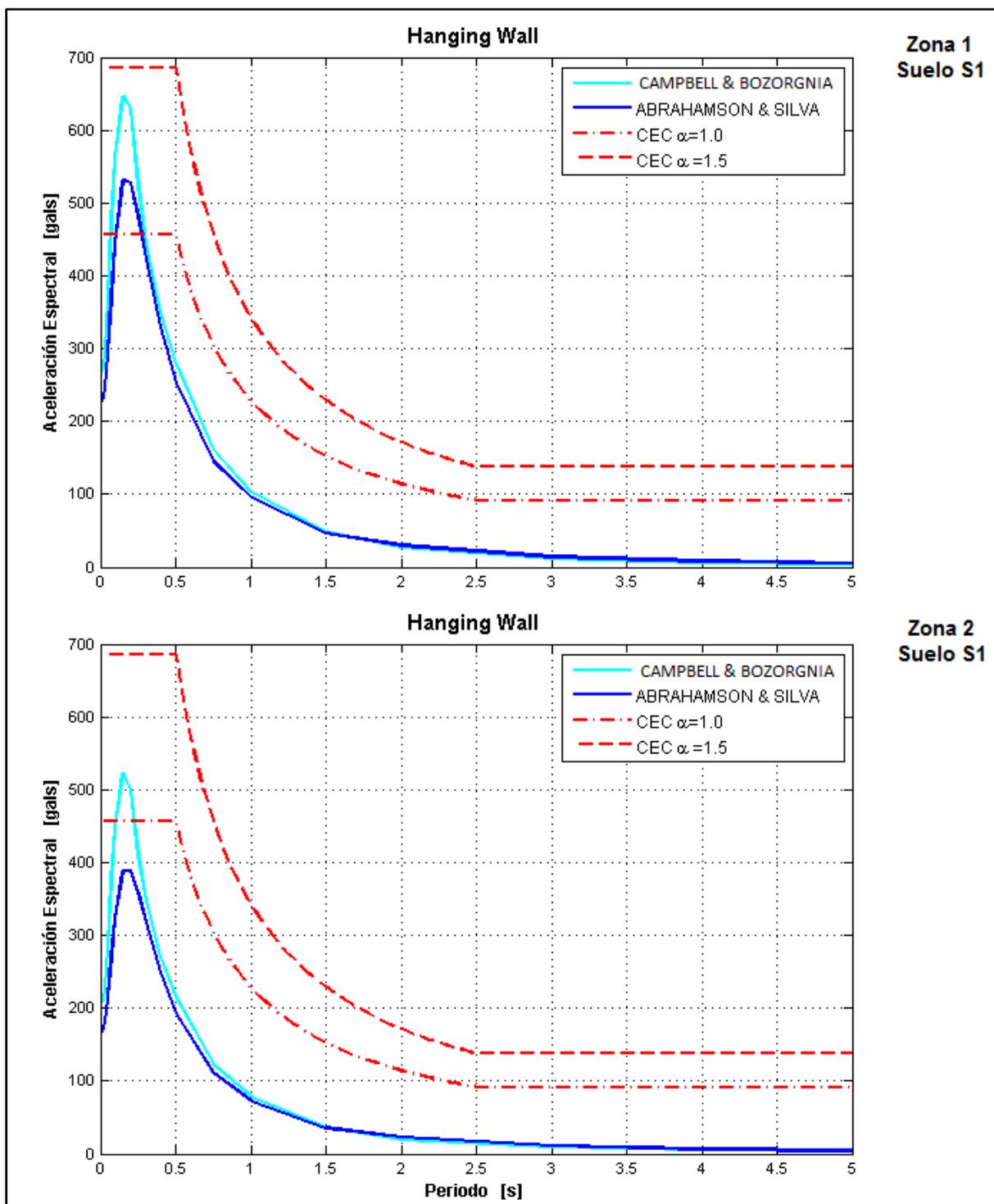


Figura 7.18: Espectros para perfil de suelo S1 en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.

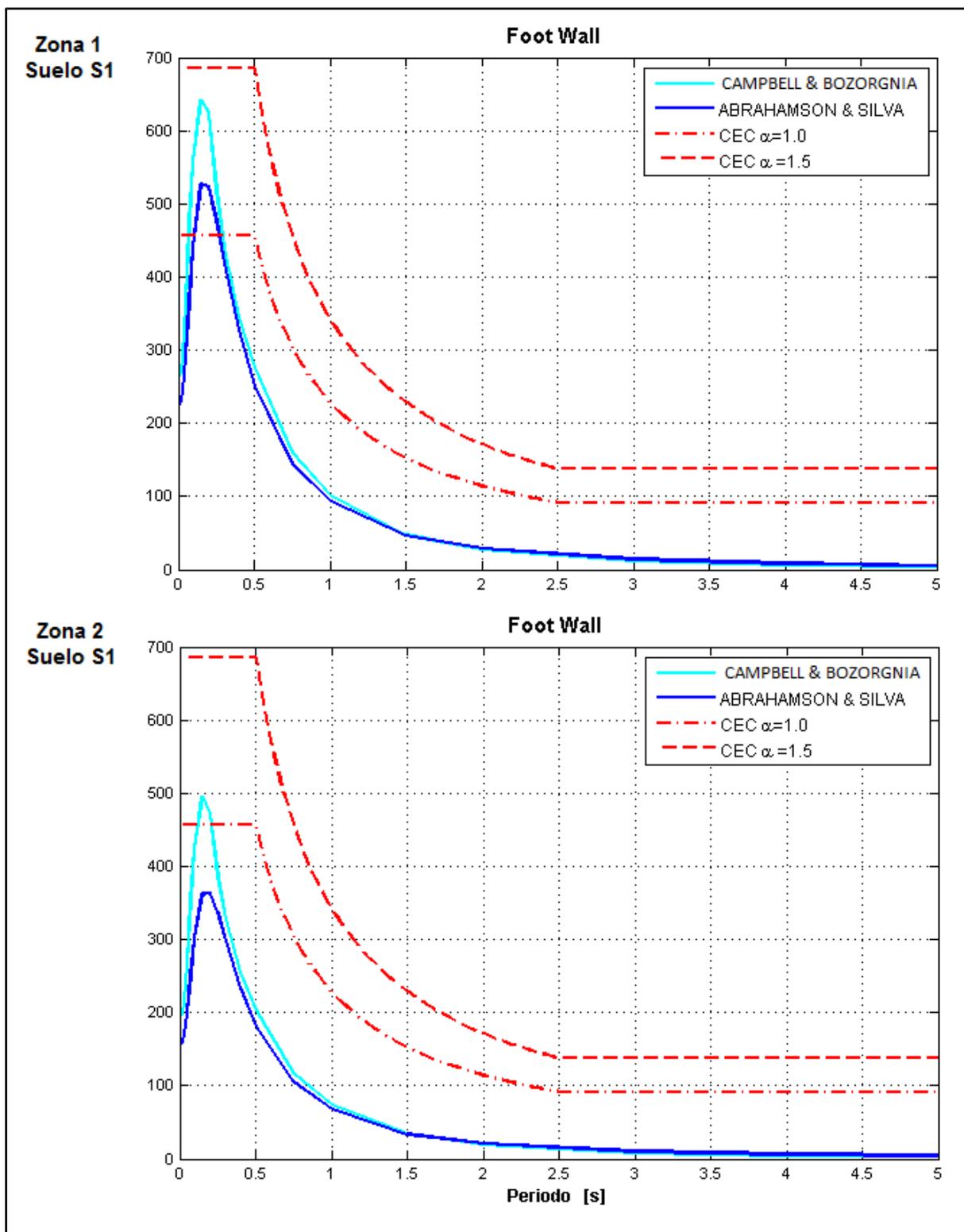


Figura 7.19: Espectros para perfil de suelo S1 en Foot Wall. Período de retorno 72 años.

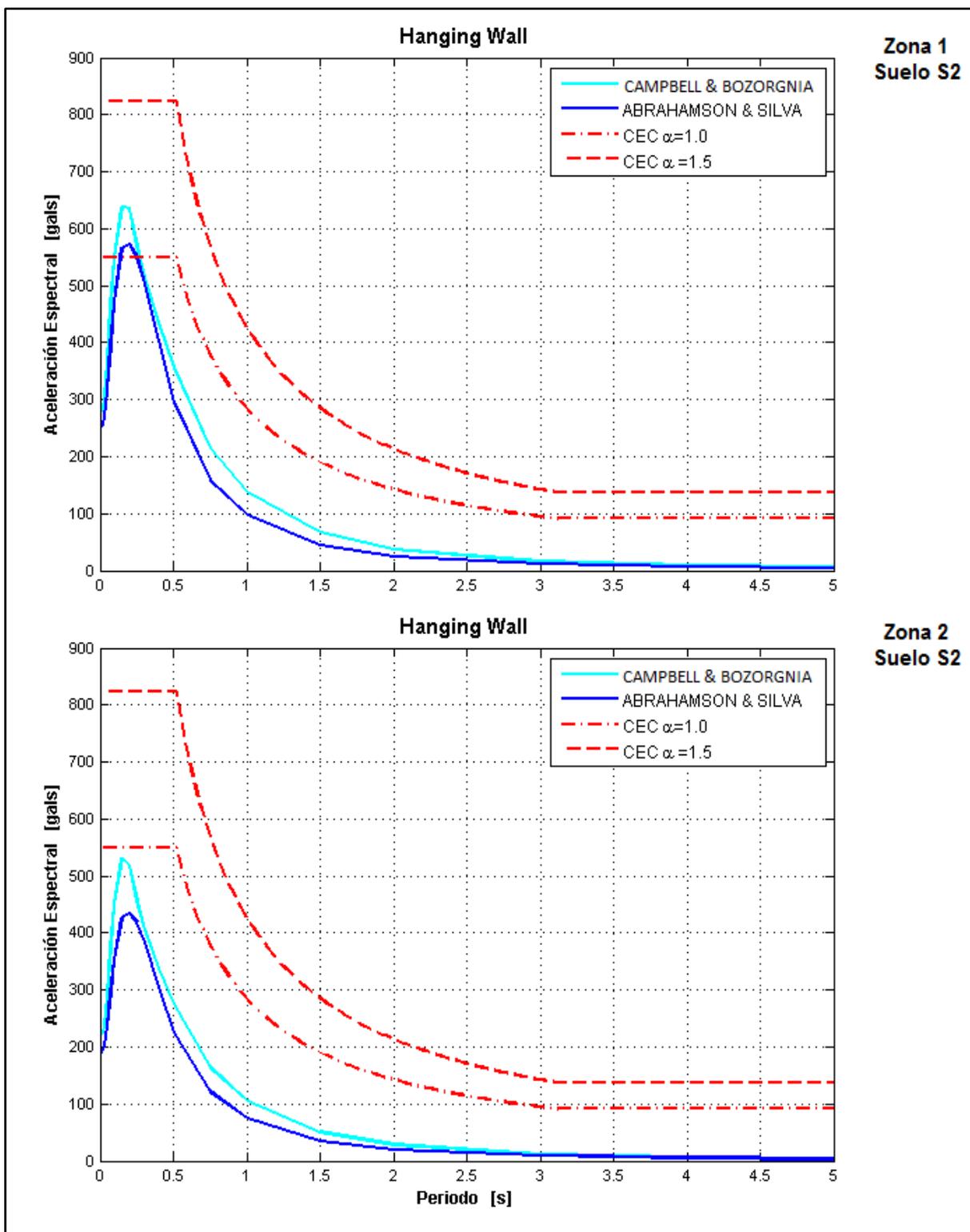


Figura 7.20: Espectros para perfil de suelo S2 en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.

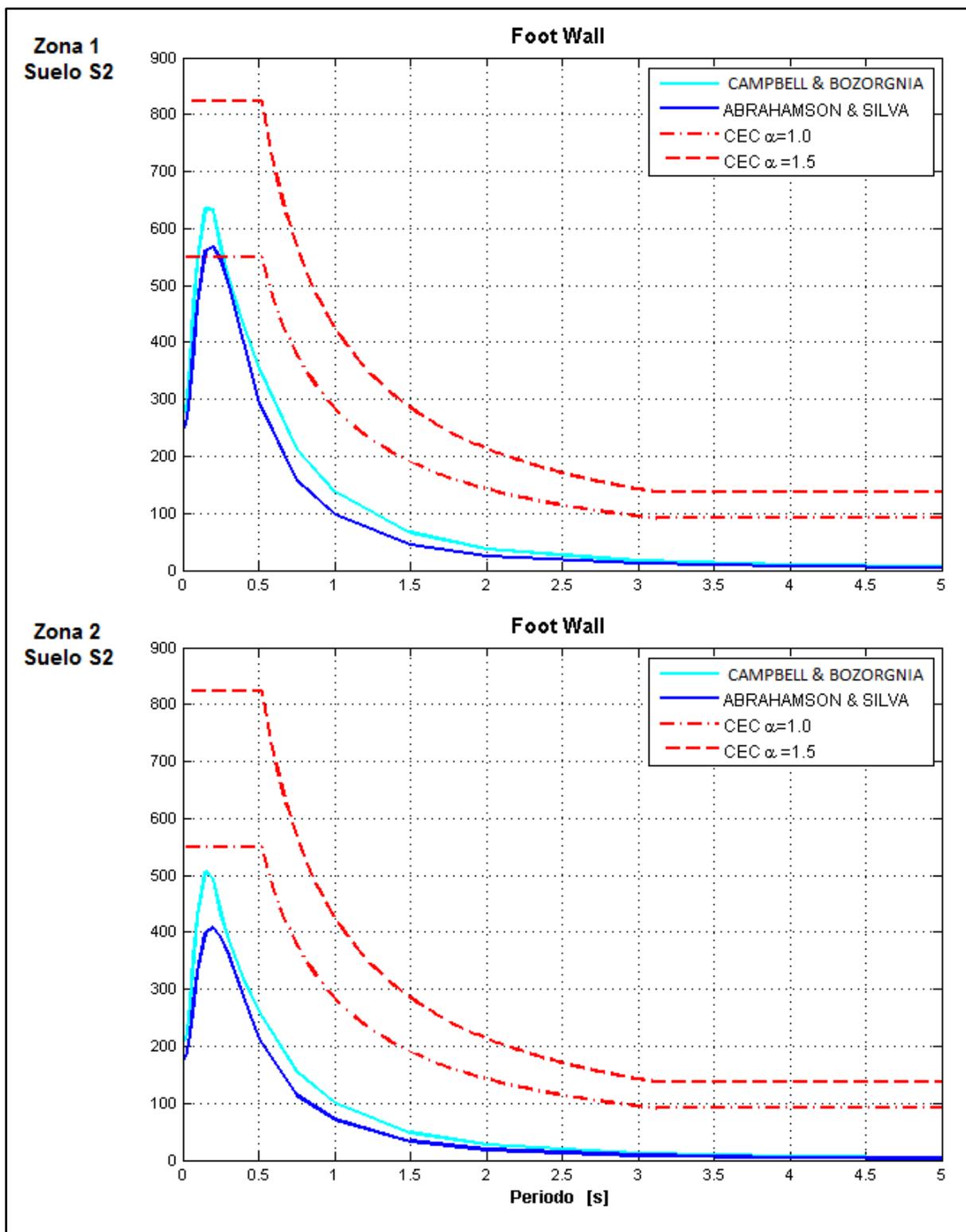


Figura 7.21: Espectros para perfil de suelo S2 en Foot Wall. Período de retorno 72 años.

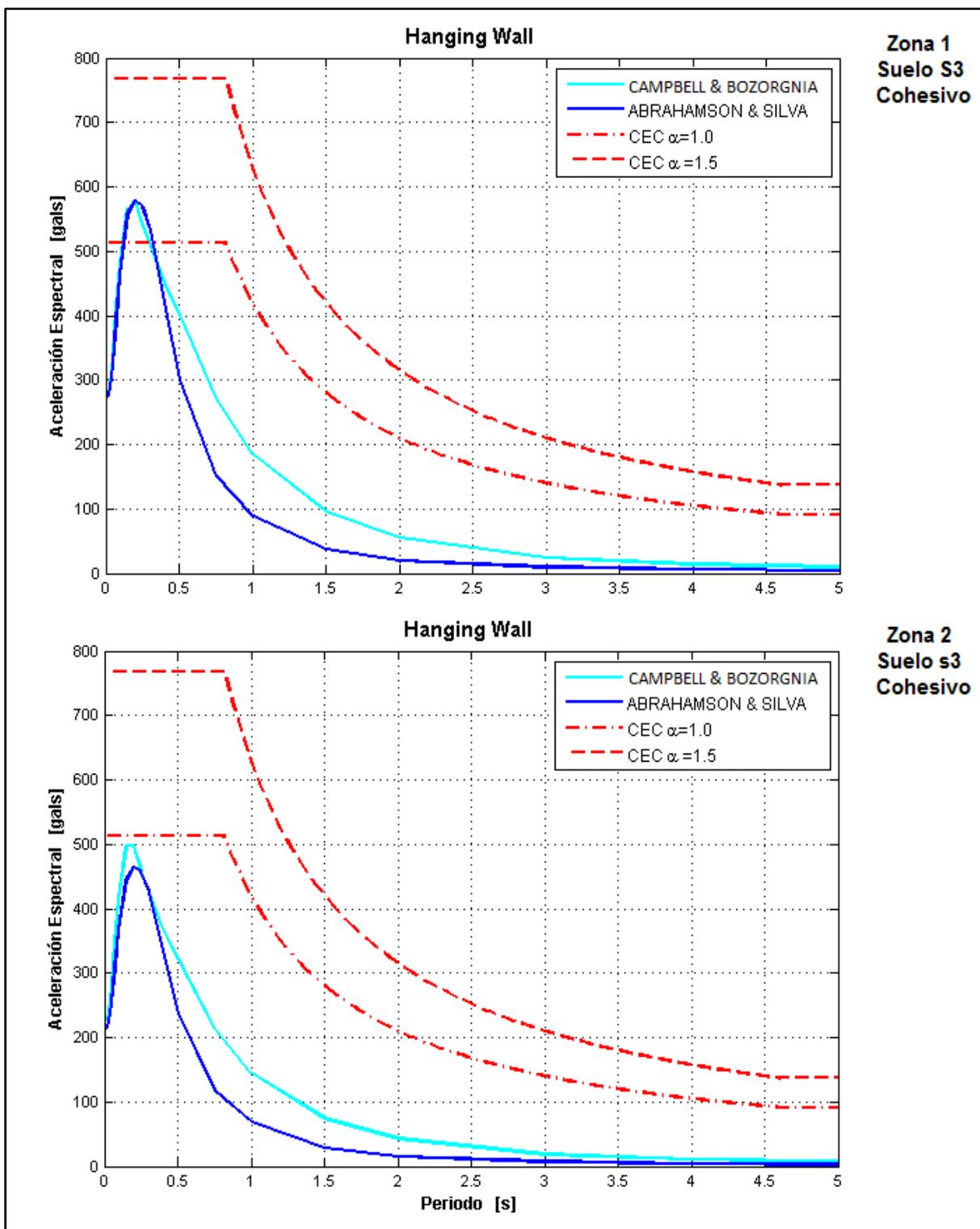


Figura 7.22: Espectro para perfil de suelo S3 Cohesivo en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.

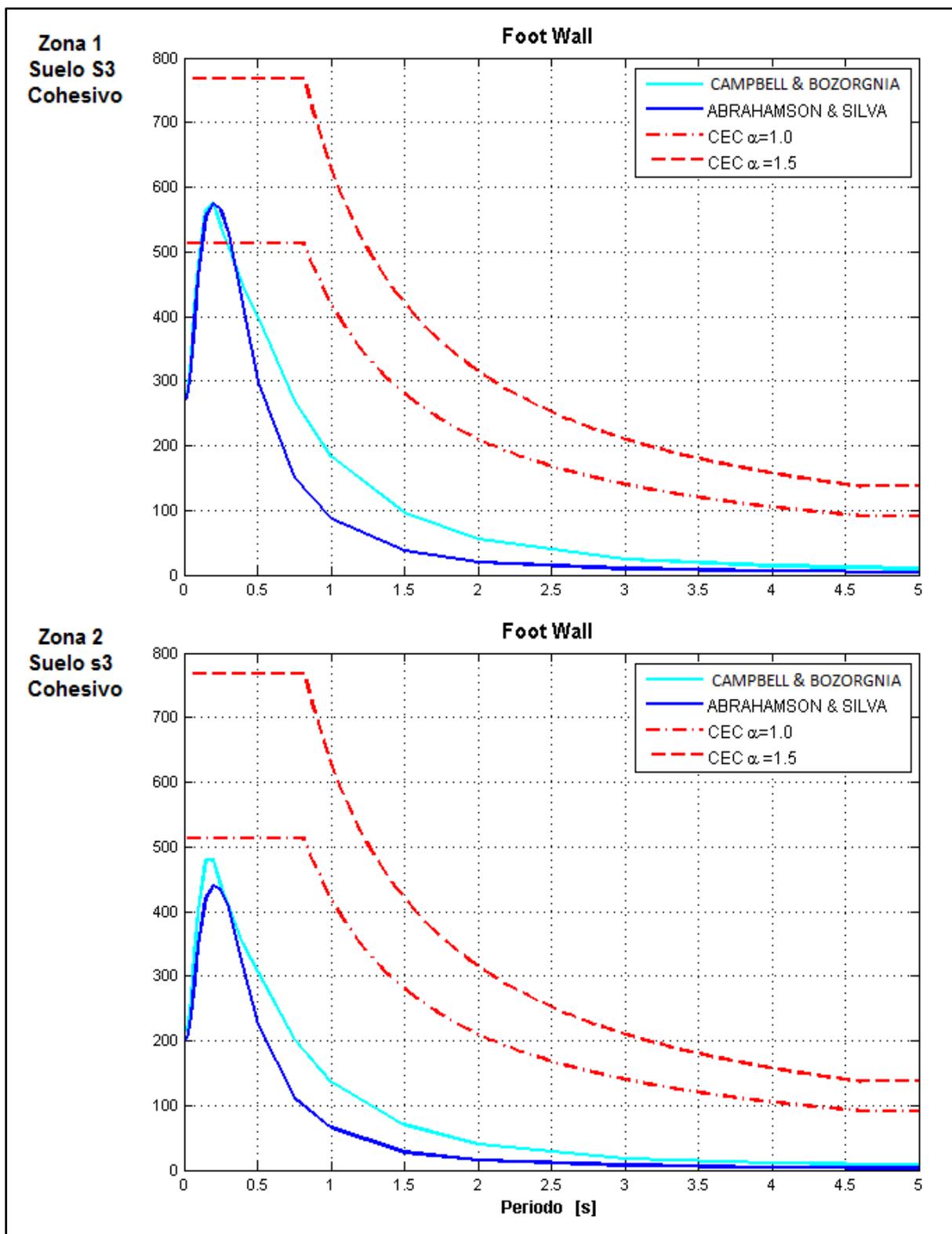


Figura 7.23: Espectro para perfil de suelo S3 Cohesivo en Foot Wall.
Período de retorno 72 años.

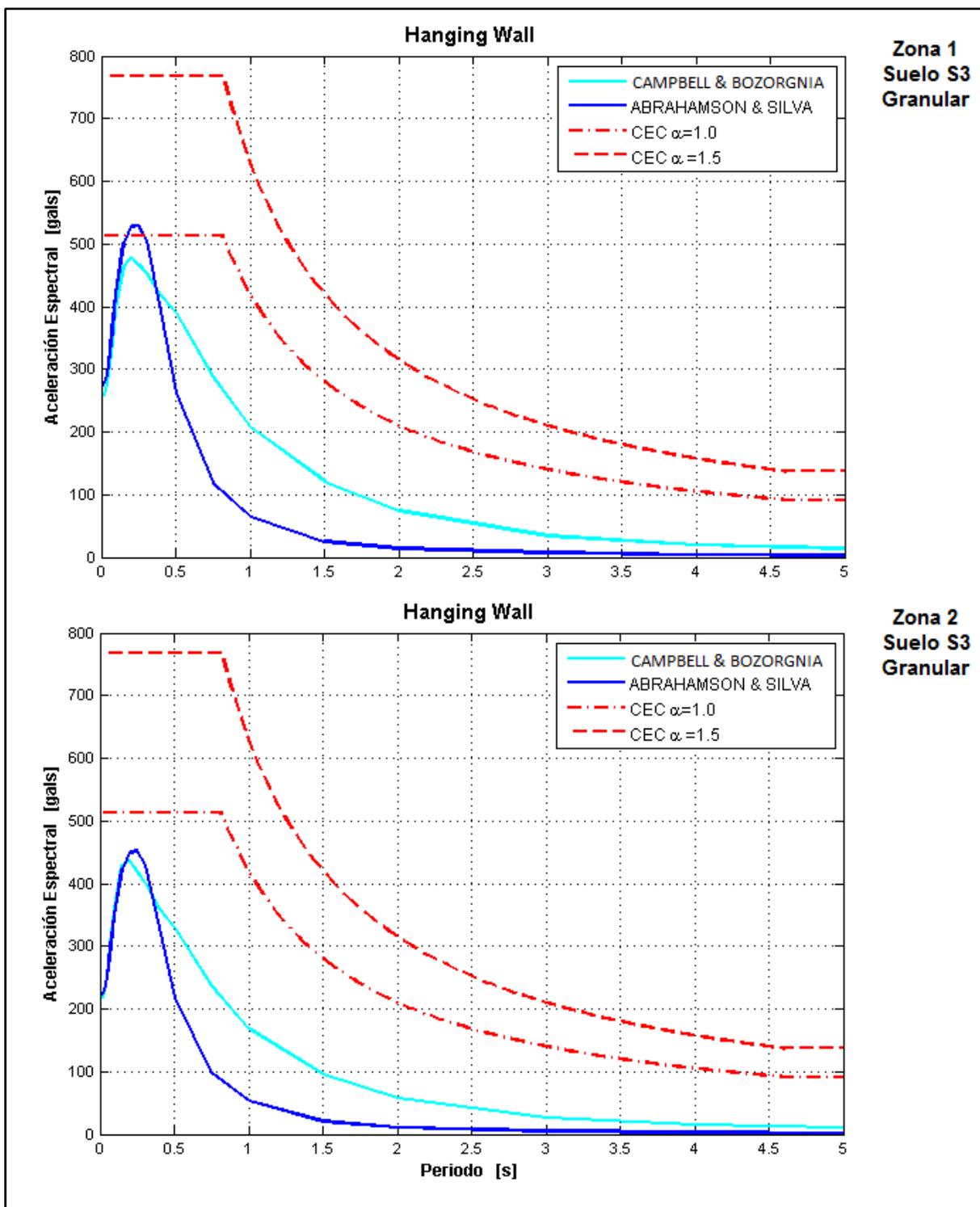


Figura 7.24: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Hanging Wall. Período de retorno 72 años.

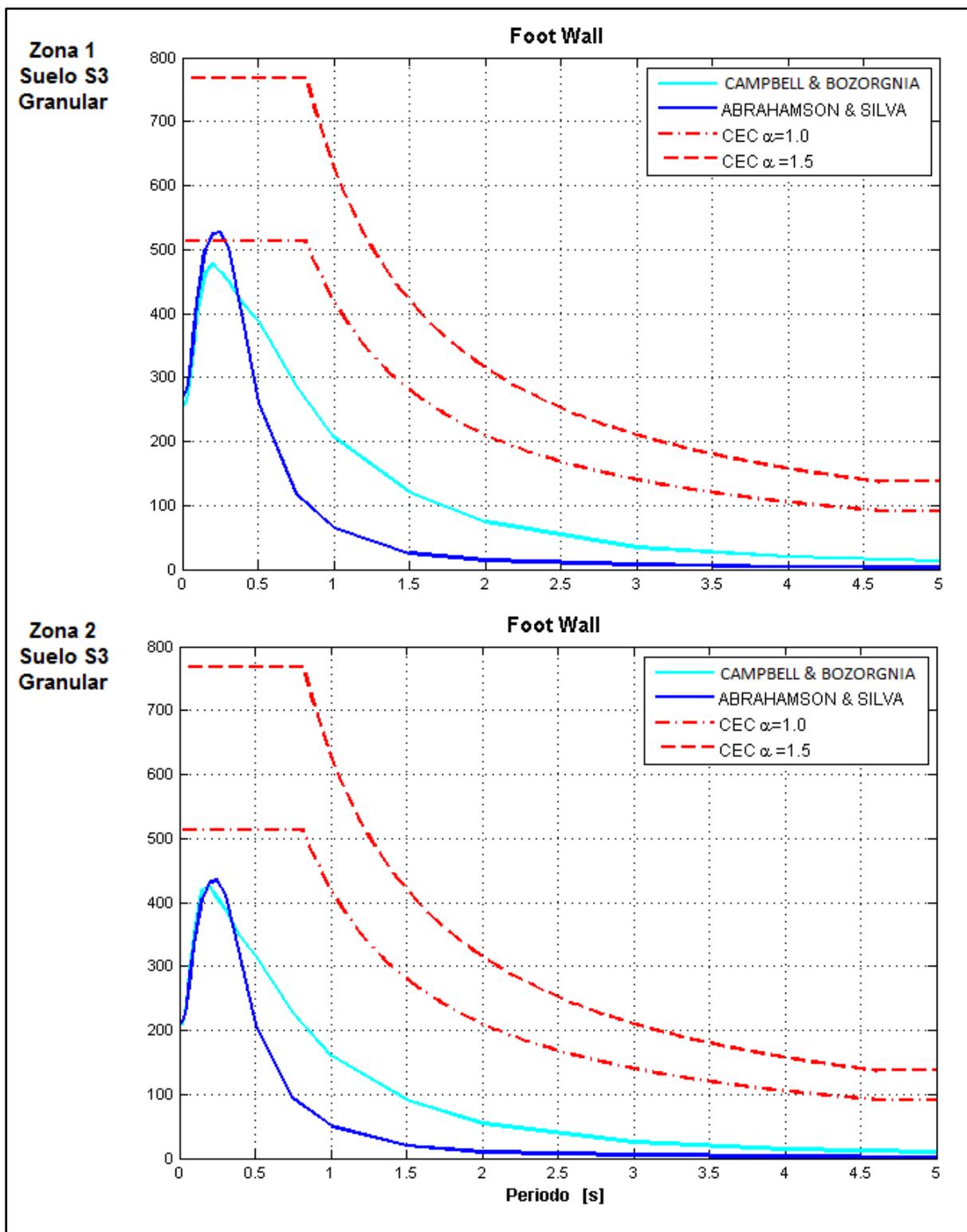


Figura 7.25: Espectros para perfil de suelo S3 Granular en Foot Wall. Período de retorno 72 años.

7.2 Espectros asociados a Falla de Nanegalito

7.2.1 Espectro Elástico, NEC-11, primera versión.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, para la forma del Espectro Elástico, establece la Figura 7.26

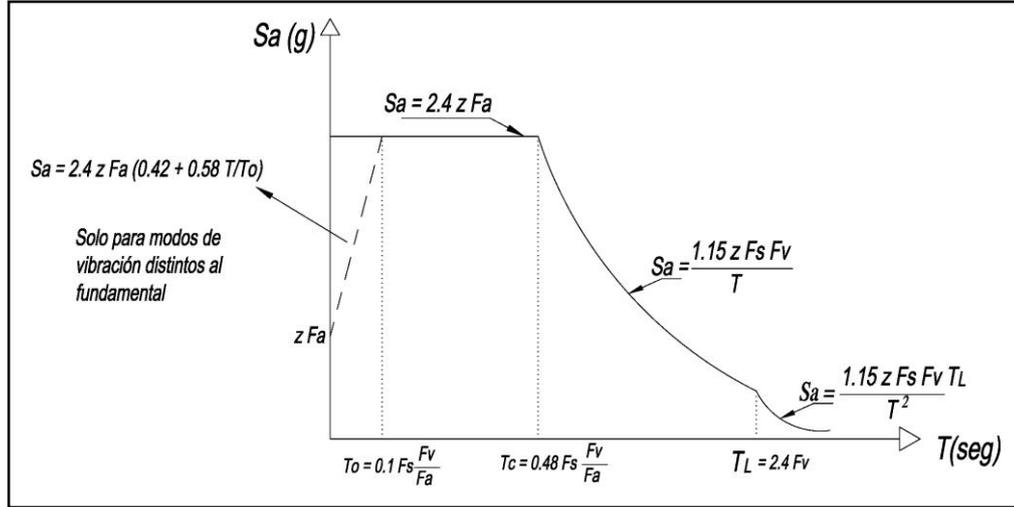


Figura 7.26: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (NEC-11)

$$S_a = 2.4 Z F_a \quad \text{para} \quad 0 \leq T \leq T_c \quad (7-6)$$

$$S_a = \frac{1.15 Z F_v F_s}{T} \quad \text{para} \quad T_c < T \leq T_L \quad (7-7)$$

$$S_a = \frac{1.15 Z F_v F_s T_L}{T^2} \quad \text{para} \quad T > T_L \quad (7-8)$$

$$T_c = 0.48 F_s \frac{F_v}{F_a} \quad (7-9)$$

$$T_L = 2.4 F_v \quad (7-10)$$

Donde, $T_L = 4s$ para perfiles de suelo D y E. Para Z o factor de zona sísmica, ver Figura 7.26 y Tabla 7.12 Los factores de sitio, F_a y F_v , indicados en la Tabla 7.13 y Tabla 7.14 amplifican las ordenadas del espectro elástico de respuesta para el diseño en roca. El factor de sitio, F_s indicados en la Tabla 7.15

considera el comportamiento no lineal de los suelos. T: periodo de vibración de la estructura.

Tabla 7.12: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

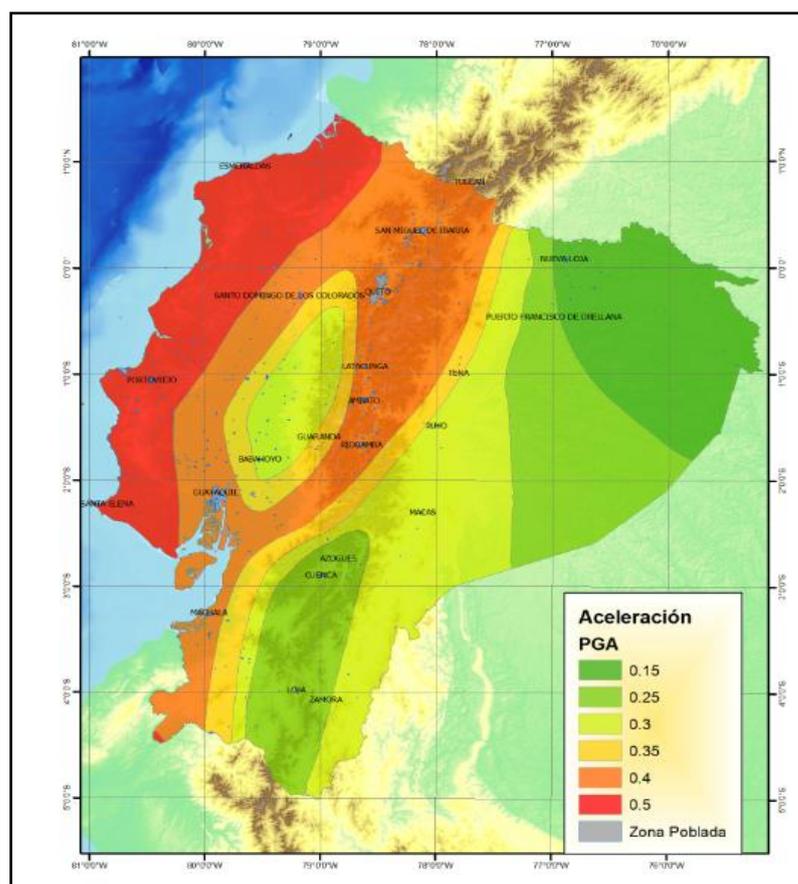


Figura 7.27: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC-11)

7.2.2 Datos para la obtención de espectros asociados a la Falla de Nanegalito.

7.2.2.1 Magnitud.

Para encontrar la magnitud aplicamos la ecuación (3-12) de Cornell y Vanmarcke, para la Zona Fuente 4.

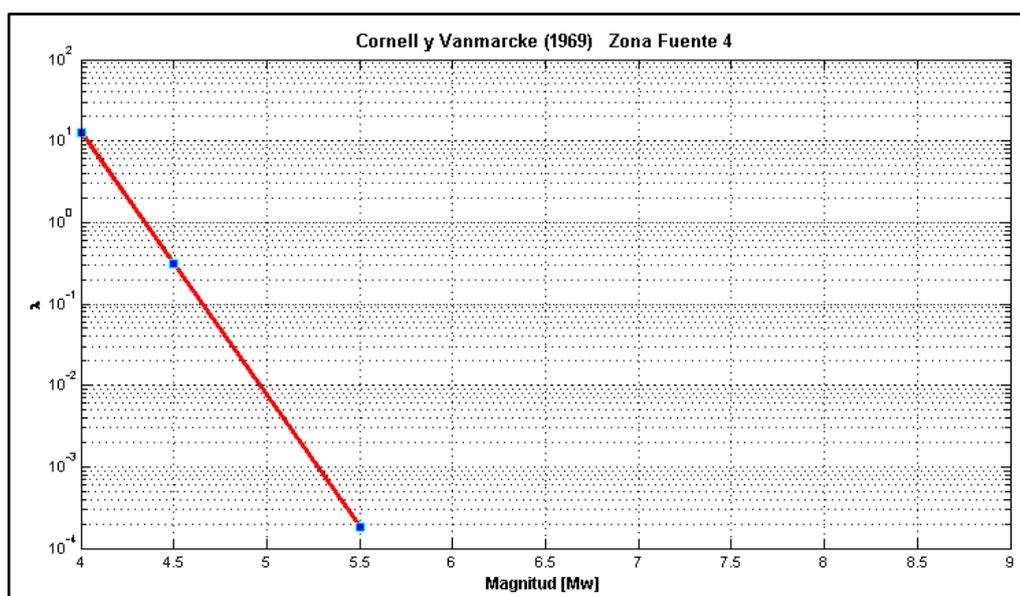


Figura 7.28: Magnitud Máxima Zona Fuente 4, Cornell y Vanmarcke.

El valor de magnitud máxima calculada para la Zona Fuente 4 es de 6, pero como este valor es muy bajo, se recomienda utilizar como magnitud máxima $M_{max}=7.2$, valor establecido en los Estudios Ambientales-Línea Base; fase de Transporte, Almacenamiento y Obras Civiles. OCP Ecuador 2001. Donde para establecer la magnitud máxima trabajaron con regresiones de Slemmons, 1982 y Bonilla et al, 1984.

7.2.2.2 Clasificación de los tipos de suelo.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11), establece los parámetros que se deben tomar en cuenta para definir el perfil tipo de suelo en base a los 30m superiores y ensayos realizados cada 1.5m de espesor, del suelo. Los parámetros establecidos por la norma NEC-11 son: la velocidad media de la onda de corte V_s y el número medio de golpes del ensayo de penetración estándar N60 a lo largo del perfil. Según la norma NEC-11 al considerar por separado estratos cohesivos y no cohesivos del perfil; se determina que para estratos no cohesivos se trabajará con el número medio de golpes del ensayo de

penetración estándar N_{ch} ; para estratos cohesivos se debe utilizar la resistencia media al corte, valor resultante del ensayo para determinar su resistencia no drenada S_u , el índice de plasticidad IP y el contenido de humedad $\%w$

En dependencia de los parámetros encontrados se clasificarán los perfiles de suelo, como se muestra en la Tabla 7.16. Además se indican las Tablas 7.13, 7.14 y 7.16 que corresponden a los diferentes factores a usar, dependiendo del tipo de suelo.

Tabla 7.13: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a , zona períodos cortos (NEC-11)

zona sísmica		I	II	III	IV
valor Z (aceleración esperada en roca)		0.15	0.25	0.3	0.4
Tipo de perfil de suelo	A	0.9	0.9	0.9	0.9
	B	1	1	1	1
	C	1.4	1.3	1.3	1.3
	D	1.8	1.4	1.3	1.2
	E	2.2	1.5	1.4	1.17
	F	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla 7.14: Tipo de suelo y Factores de sitio F_v , zona de períodos intermedios (NEC-11)

zona sísmica		I	II	III	IV
valor Z (aceleración esperada en roca)		0.15	0.25	0.3	0.4
Tipo de perfil de suelo	A	0.9	0.9	0.9	0.9
	B	1	1	1	1
	C	1.6	1.5	1.4	1.35
	D	2	1.8	1.7	1.55
	E	3.2	2.8	2.6	2.4
	F	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla 7.15: Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s (NEC-11)

zona sísmica		I	II	III	IV
valor Z (aceleración esperada en roca)		0.15	0.25	0.3	0.4
Tipo de perfil de suelo	A	1	1	1	1
	B	1	1	1	1
	C	1.15	1.25	1.3	1.4
	D	1.2	1.3	1.5	1.6
	E	1.35	1.5	1.7	1.7
	F	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Nota: Los valores de los perfiles de suelo F no son colocados como valores fijos en las tablas, pues requieren estudios especiales, como lo indica la norma NEC-11 en la sección 2.5.4.9

Tabla 7.16: Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-11)

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500m/s$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500m/s > \bar{V}_s \geq 760m/s$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760m/s > \bar{V}_s \geq 360m/s$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50.0$ $\bar{S}_u \geq 100KPa(\approx 1kgf/cm^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360m/s > \bar{V}_s \geq 180m/s$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50.0 > \bar{N} \geq 15.0$ $100kPa(\approx 1kgf/cm^2) > \bar{S}_u \geq 50kPa(\approx 0.5kgf/cm^2)$
	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$\bar{V}_s < 180m/s$

Tipo de perfil	Descripción	Definición
E	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $\bar{S}_u < 50kPa (\approx 0.5kgf/cm^2)$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)</p> <p>F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)</p> <p>F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.</p> <p>F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.</p>	

En los casos donde V_s , N o N_{ch} en los estratos de suelo existentes en los 30m superiores clasificados como no cohesivos si $IP < 20$ o suelos cohesivos si $IP > 20$ la norma NEC-11 recomienda el uso de la Tabla 7.17

Tabla 7.17: Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo tipos C, D o E (NEC-11)

Tipo de perfil	\bar{V}_s	\bar{N} o \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u
C	entre 360 y 760 m/s	mayor que 50	mayor que 100 kPa ($\approx 1 kgf/cm^2$)
D	entre 180 y 360 m/s	entre 15 y 50	entre 100 y 50 kPa (0.5 a 1 kgf/cm^2)
E	menor de 180 m/s	menor de 15	menor de 50 kPa ($\approx 0.5 kgf/cm^2$)

Para la clasificación del tipo de suelo se trabaja con la Tabla 7.9 ya que se cuenta con $V_s=850\text{m/s}$ que corresponden a perfil de suelo S1 y $V_s=581.56\text{m/s}$ que corresponde a perfil de suelo S2.

7.2.2.1 Ztor.

Se establece $Z_{tor}=0$ ya que existen afloramientos de la falla como se indica en la Figura 5.11 Además para conocer la profundidad y la tendencia de la falla de Nanegalito se realizó la gráfica de profundidad focal de los diferentes sismos cercanos a la falla de Nanegalito, indicados en las Figuras 7.28 y 7.29 por lo cual se establece Z_{tor} máximo de 2km

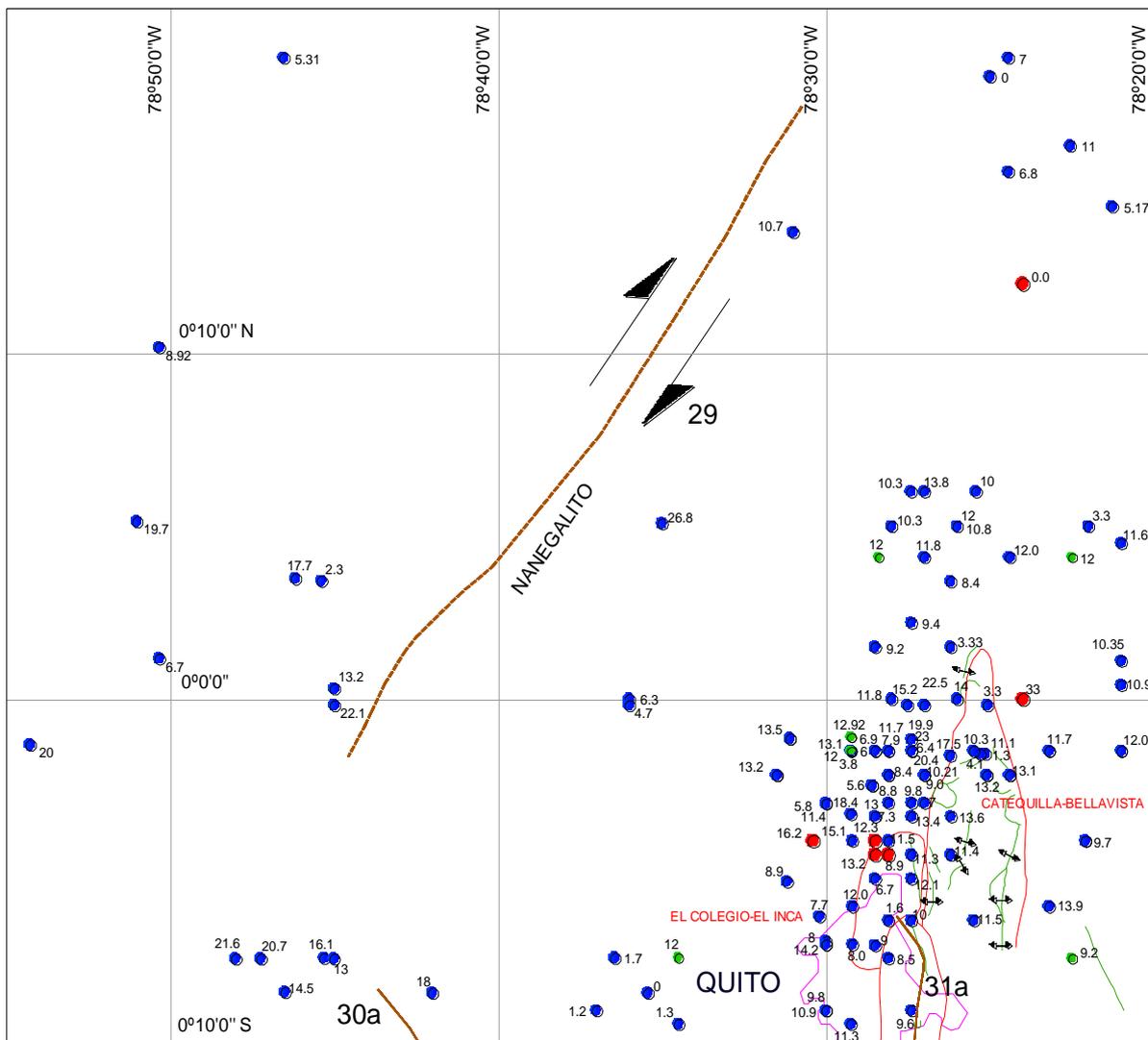


Figura 7.29: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Nanegalito, vista en plata.

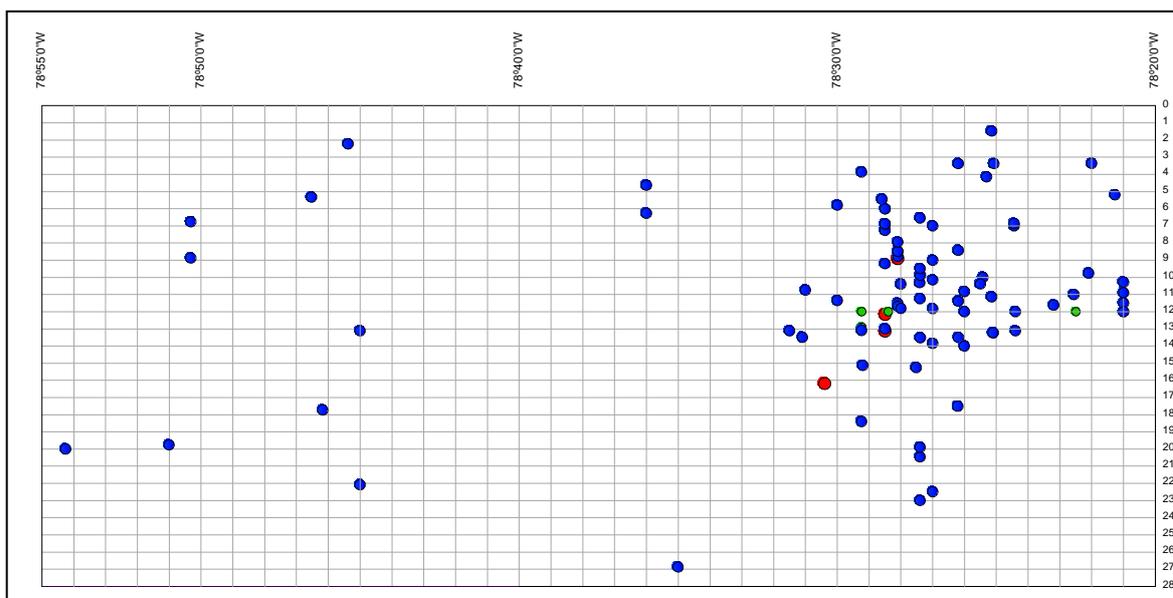


Figura 7.30: Profundidad Focal de los sismos cercanos a la Falla de Nanegalito, vista en perfil.

Para obtener los espectros asociados a la Falla de Nanegalito, se realiza una zonificación en el área de la falla (ver, Figura 7.30) La zona 1 presenta una distancia de 3.5 km y la zona 2 una distancia de 5km. En las subrutinas en Matlab se utilizó $D=1.75$ para la zona 1 que es la mitad de la distancia que posee ésta zona y $D=6$ para la zona 2 que es la mitad de la zona 2 mas la distancia de la zona1.

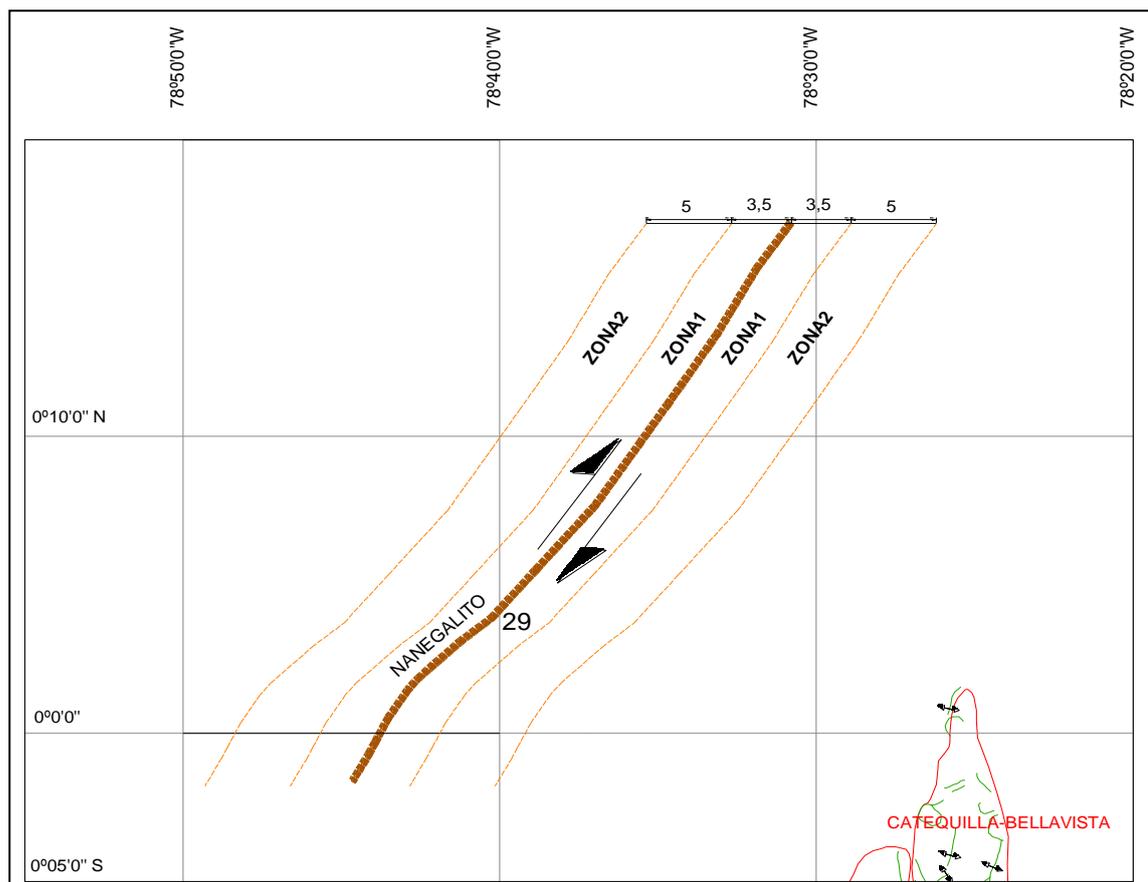


Figura 7.31: Zonificación en la Falla de Nanegalito

R_x, R_{jb} y PGA se obtienen como se describe en el Capítulo 6, para la Falla de Nanegalito, los valores se encuentran en las Tablas 7.18 y 7.19 para un sismo raro y un sismo ocasional.

Tabla 7.18: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para M=7.2

	Hanging Wall		Foot Wall	
	D=1.75	D=6	D=1.75	D=6
PGA (g) Abrahamson	0.527	0.351	0.413	0.284
PGA (g) Campbell	0.459	0.315	0.413	0.301
R_{rup}	1.743	5.977	1.750	6.000
R_{jb}	0.0000	3.821	1.75	6
R_x	1.75	6.00	3.929	8.1789

Tabla 7.19: Valores de Hanging Wall y Foot Wall, para $M=5.85$

	Hanging Wall		Foot Wall	
	D=1.75	D=6	D=1.75	D=6
PGA (g) Abrahamson	0.284	0.168	0.284	0.167
PGA (g) Campbell	0.339	0.233	0.339	0.232
R rup	1.743	5.977	1.750	6.000
R jb	0.0	3.821	1.75	6
R x	1.75	6.00	3.929	8.1789

7.2.3 Resultados.

En las Figuras 7.32 a 7.31 se indican las gráficas de los espectros correspondientes a la Falla de Nanegalito, por los métodos de Abrahamson & Silva, Campbell & Bozorgnia y finalmente por el CEC 2000. En la parte superior de la gráfica corresponde a Hanging wall y en la parte inferior para Foot wall.

7.2.3.1 Resultados para período de retorno de 475 años, con Ztor 0km

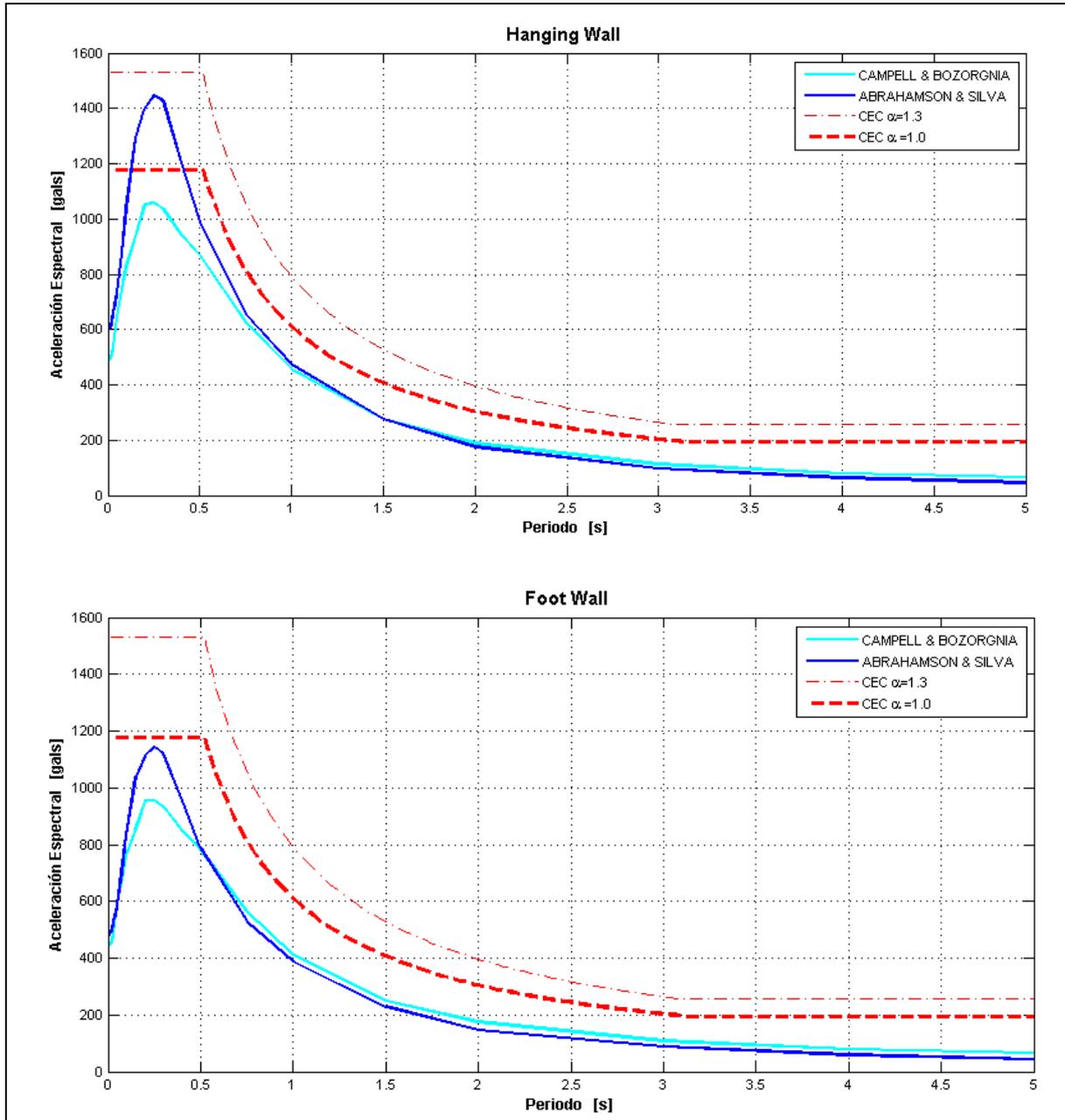


Figura 7.32: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 1, para sismo raro.

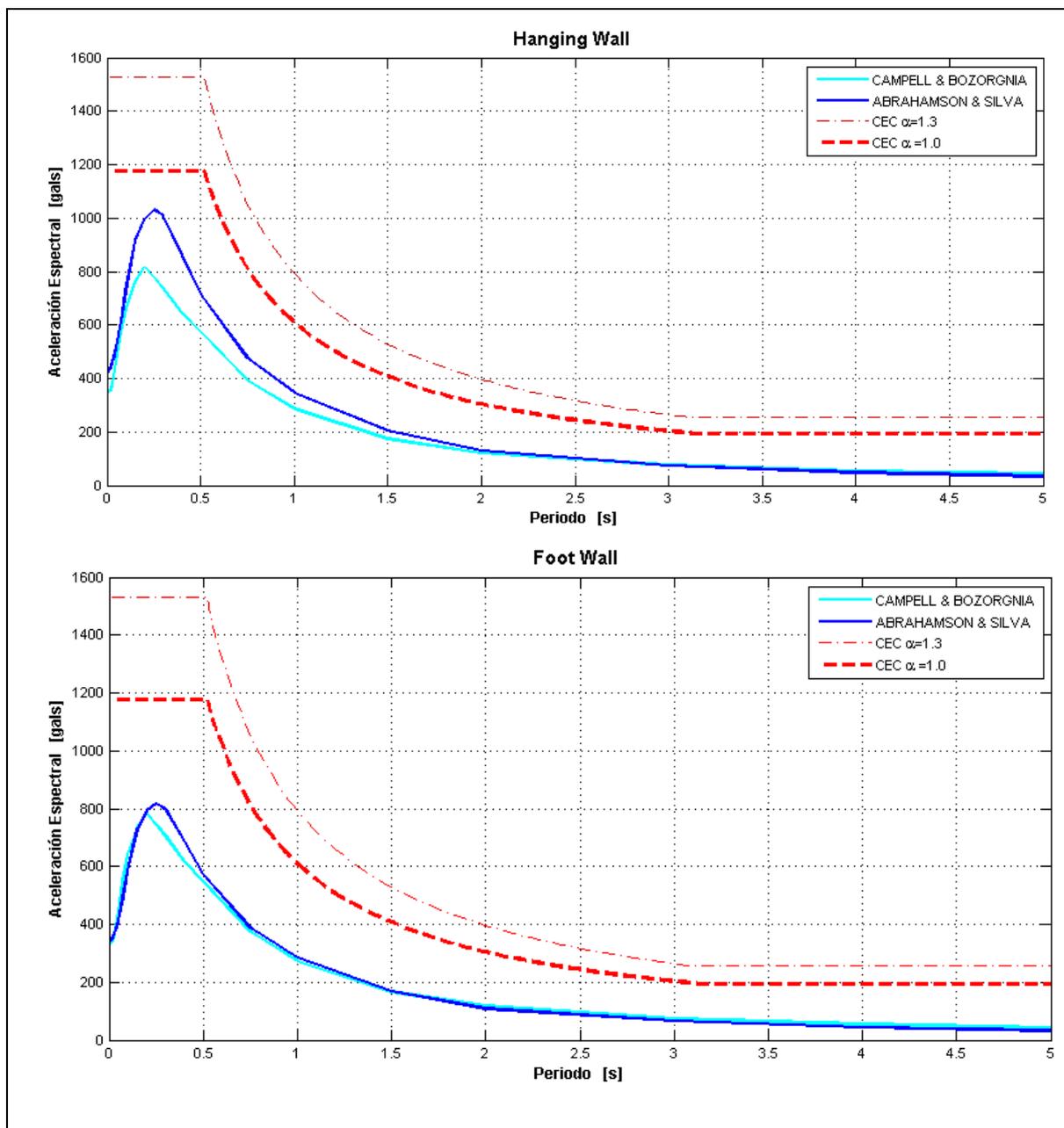


Figura 7.33: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 2, para sismo raro.

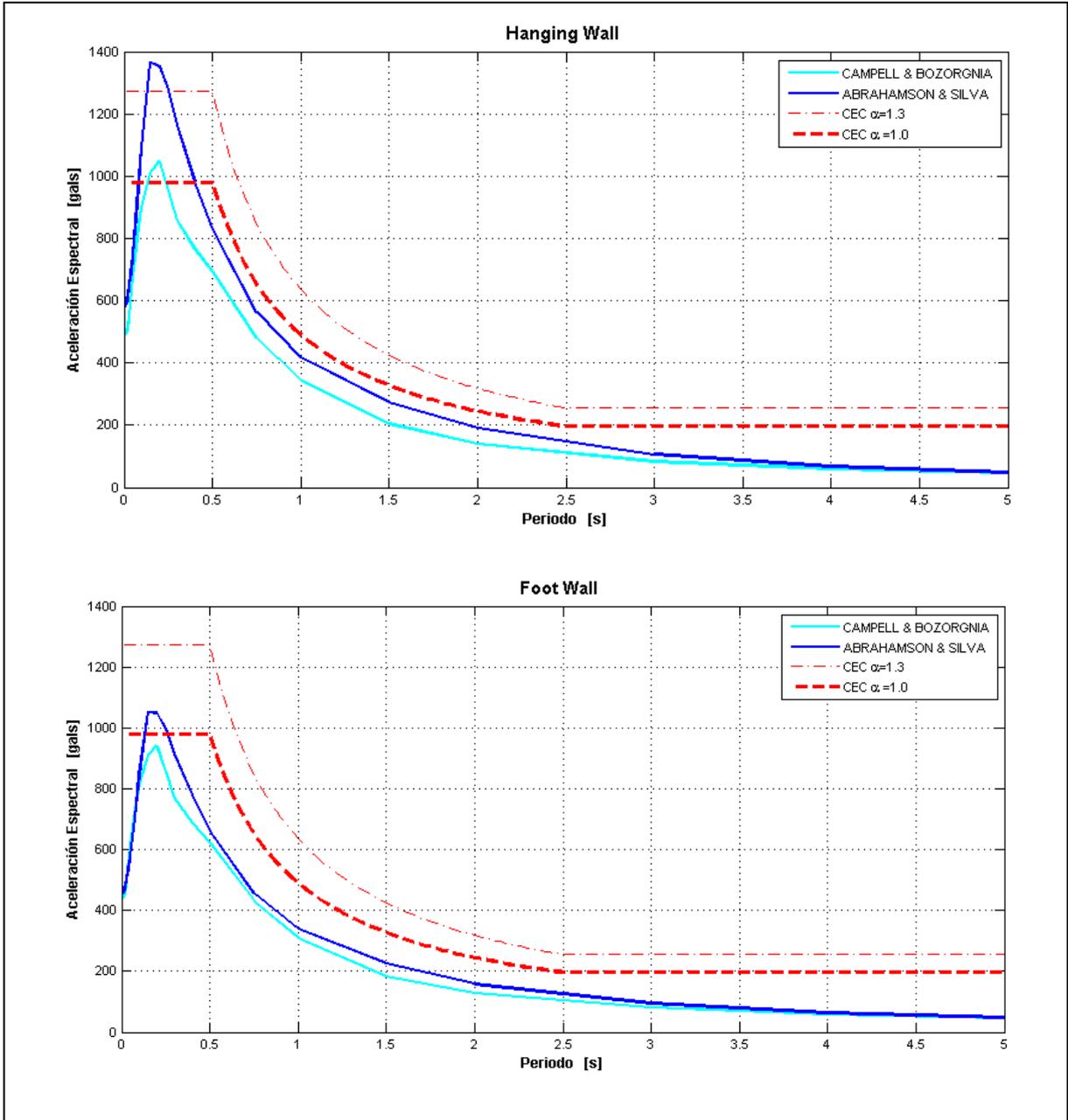


Figura 7.34: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 1, para sismo raro.

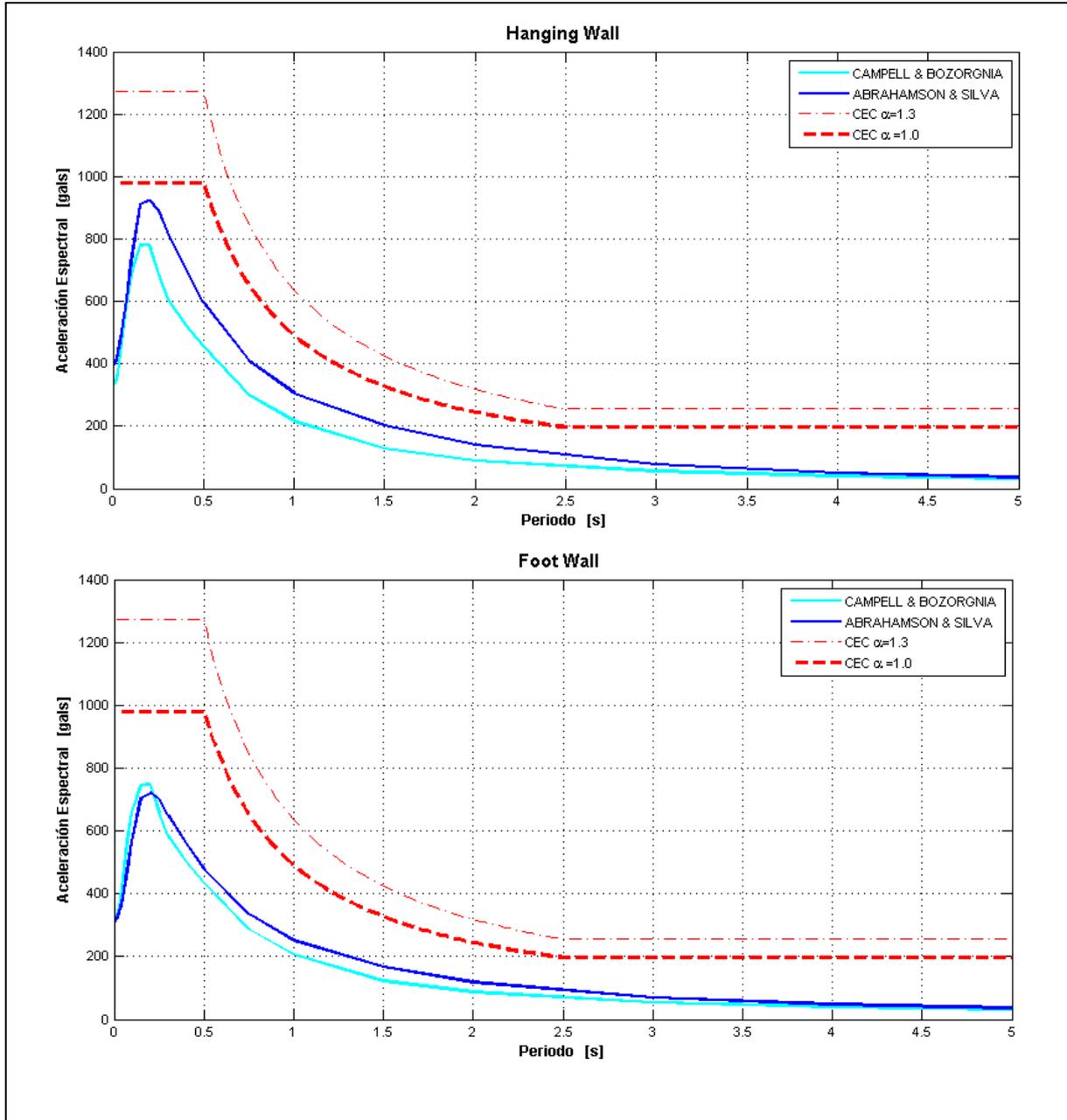


Figura 7.35: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 2, para sismo raro.

7.2.3.2 Resultados para período de retorno de 72 años, con Ztor

0km

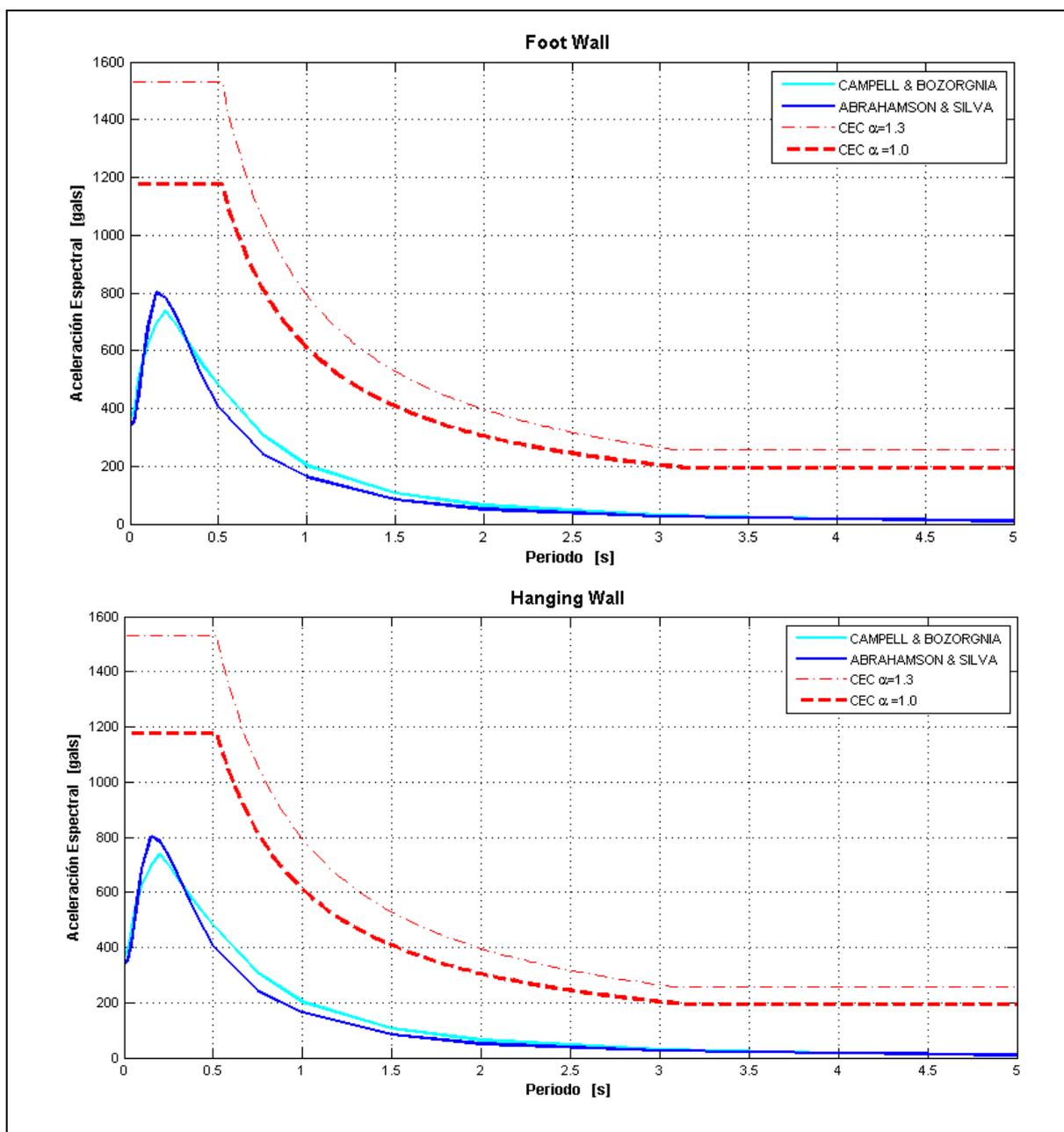


Figura 7.36: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 1, para sismo ocasional.

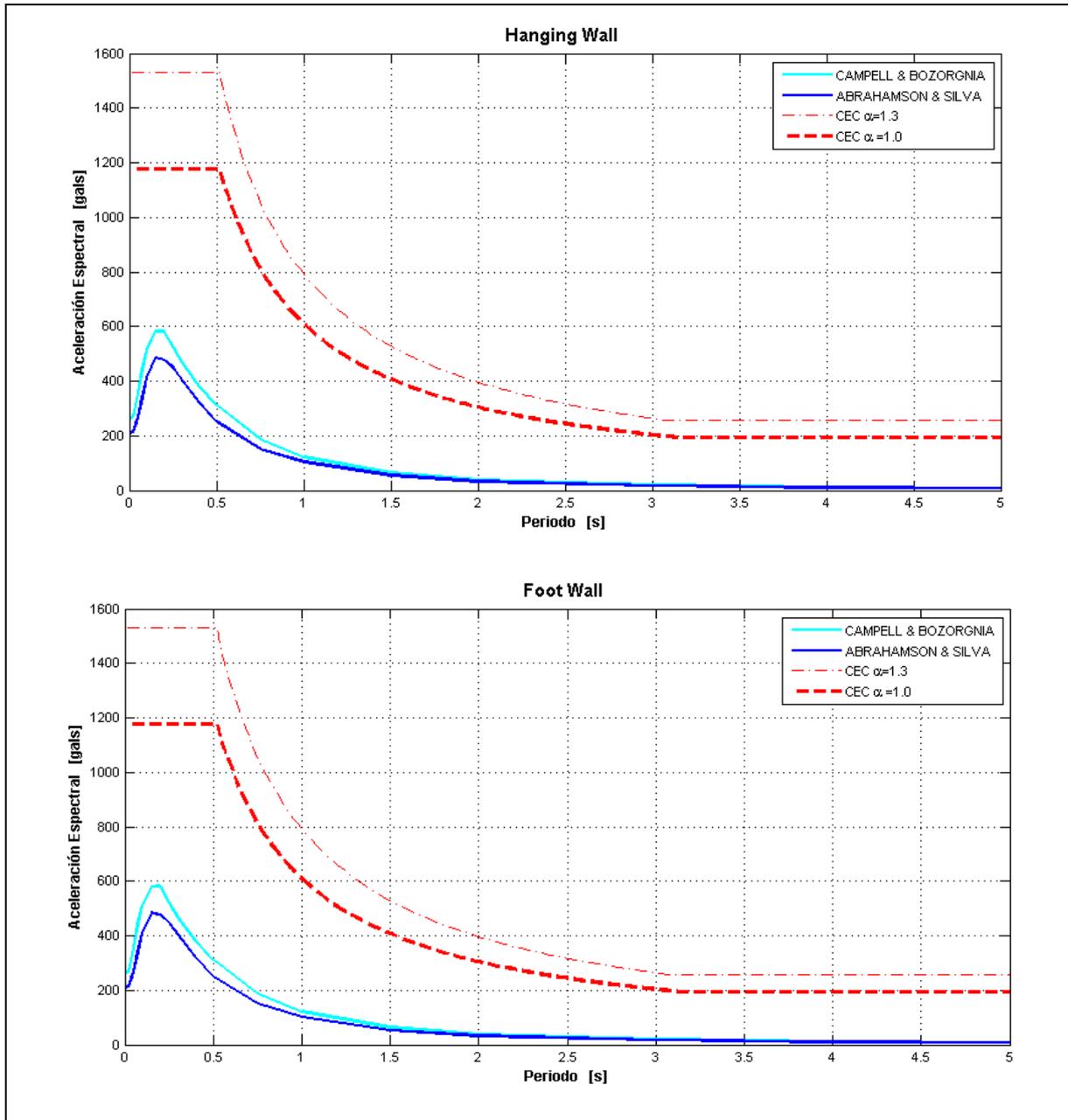


Figura 7.37: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S2, zona 2, para sismo ocasional.

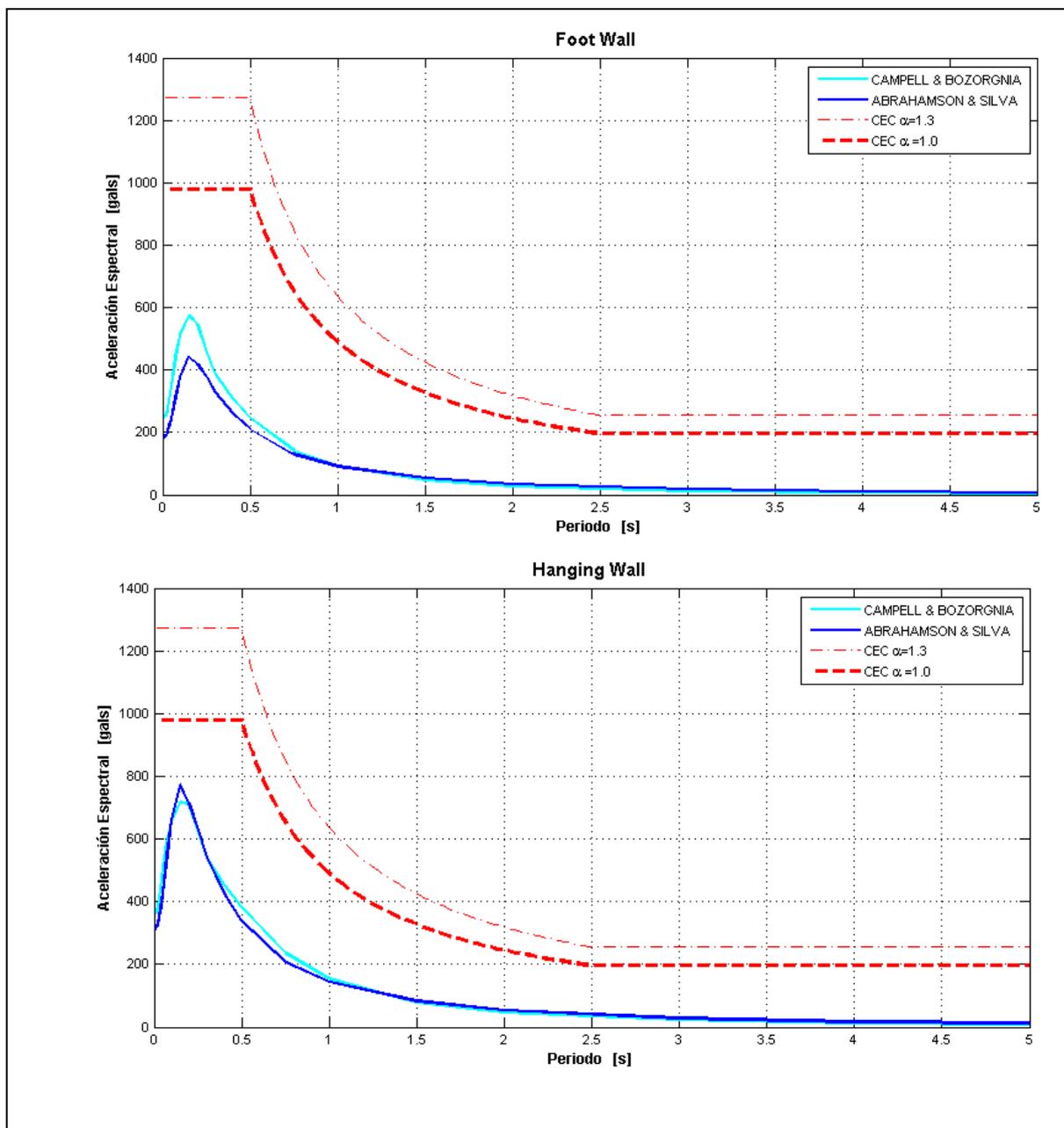


Figura 7.38: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 1, para sismo ocasional.

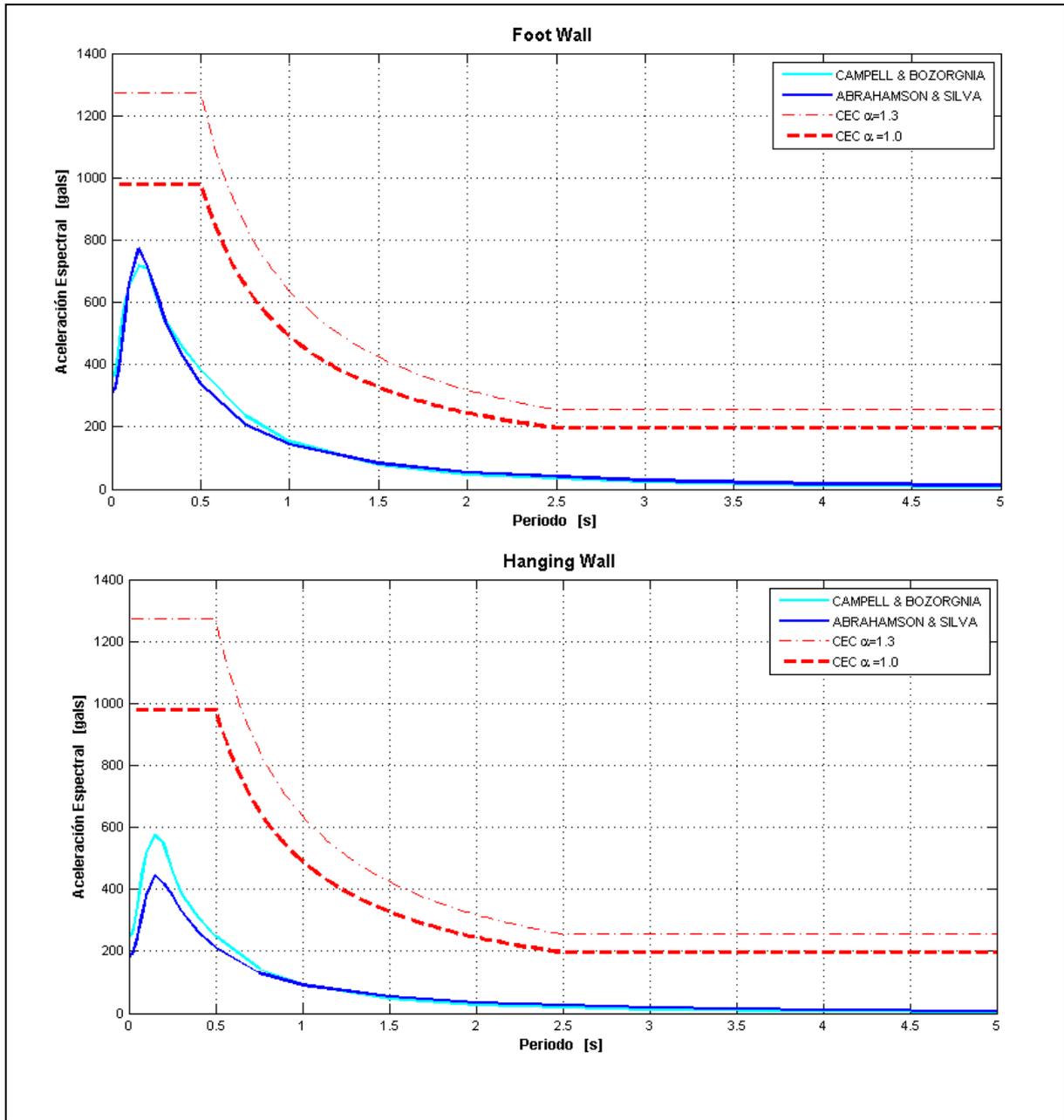


Figura 7.39: Espectros asociados a la Falla de Nanegalito, perfil de suelo S1, zona 2, para sismo ocasional.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones.

Del capítulo de Sismicidad Histórica de Quito.

- Se determina que aún no es posible identificar uno o varios sismos de subducción de gran magnitud, ya sean estos sismos históricos o sismos instrumentales cuyos epicentros se encuentren ubicados sobre el Distrito Metropolitano de Quito. Un sismo de estos ocasionaría la liberación de gran cantidad de energía y por el tipo de ondas sería muy peligroso para las edificaciones existentes y más aun si las condiciones de suelo presentes en las mismas son críticas.
- La mayor cantidad de sismos superficiales ocurridos en el Distrito Metropolitano de Quito se originan en el Sistema de Fallas Quito, sean éstas la 31a o 31b, como se indica en las Figura 1.9
- Algunos sismos que se originaron a varios kilómetros del Distrito Metropolitano de Quito fueron sentidos en diferentes intensidades como son el sismo de 1541 sentido con intensidad de VII grados MKS, el sismo de 1660 sentido con intensidad VII grados MKS, el sismo de 1797 sentido con intensidad VII grados MKS.
- Lo más importante de este capítulo de Sismicidad Histórica de Quito es que la comunidad conozca que vive en una zona alta de peligrosidad sísmica y que tome acciones de mantenimiento en obras importantes como

puentes, represas, hospitales, etc, y que además se concencie a los profesionales para que los edificaciones sean diseñadas con los requerimientos que garanticen la seguridad y soporte de un sismo de gran magnitud.

Del capítulo de Completitud.

- Al aplicar los dos métodos sea el Método Gráfico o el Método de Stepp para la completitud del Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE se determinó las ventanas de tiempo mostrados en la Tabla 2.3 de donde se puede concluir que los registros sísmicos considerados son estables y el Catálogo Sísmico CEINCI-ESPE se lo puede utilizar para estudios de recurrencia.

Del capítulo de Relaciones de Recurrencia

- En cada zona fuente se puede generar la variación del tamaño de los eventos sísmicos, para conocer esta variación es necesario establecer la recurrencia sísmica de las zonas fuentes. Donde la recurrencia sísmica simboliza el número de eventos sísmicos mayores o iguales a cierta magnitud dentro de la zona fuente, para conocer esta recurrencia se utilizan cuatro métodos como Gutenberg y Richter, Cornell & Vanmarcke (1969), Wesnousky et al. (1994) y Zoller et al. (2008)
- La relación de Gutenberg y Richter es válido para magnitudes bajas e intermedia, mientras que las propuestas de Cornell & Vanmarcke (1969), Wesnousky et al. (1994) y Zoller et al. (2008) son validas para magnitudes grandes.

Del capítulo de Fallas Geológicas que pueden afectar a Quito.

- La clasificación más común de las fallas es por el tipo de desplazamiento que presentan los bloques; si el desplazamiento es vertical son fallas normales y fallas inversas. Si el desplazamiento es horizontal son fallas transformantes.
- El sistema de Fallas de Quito es un sistema de fallas activas morfológicamente compuesta por colinas alargadas como: El Tablón; San Miguel; Puengasi; La Bota - El Batán - Ilumbisi; El Colegio – El Inca; Catequilla – Bellavista. Para el diseño se considera la Falla de Quito con dos secciones 31a o sección del norte y 31b o sección del sur.
- La Falla de Nanegalito es una falla activa, con un movimiento transcurrente dextral inverso. Es posible observar el levantamiento del bloque este con respecto al bloque oeste de la Falla de Nanegalito en la carretera Otavalo-Selva Alegre.

Del capítulo de Obtención de Espectros.

- El Método de Abrahamson & Silva trabaja con una base de datos que incluye premonitores, réplicas y sismos principales; mientras que el Método de Campbell & Bozorgnia solo trabaja con sismos principales., siendo más confiable emplear el primer método.
- Para el modelo de Campbell & Bozorgnia aplicado a la Falla La Cal los resultados muestran que para periodos mayores a 0.5 seg., las ordenadas de aceleración espectral del modelo de Campbell & Bozorgnia son mayores en relación con el modelo de Abrahamson & Silva. Por seguridad se debe emplear el que mayor espectro presente,

cabe recalcar que al emplear este modelo los costos en la obra aumentan.

- De igual manera se observa que si existe una diferencia significativa en los valores PGA (aceleración máxima horizontal del suelo) de cada uno de los modelos que se emplea para modelar los espectros; las gráficas de los espectros también son distintos.
- Por otro lado cuando los valores de PGA de cada uno de los modelos son similares, las dos curvas de los espectros que se obtiene por los modelos tienden a ser similares.
- Finalmente se debe indicar que los espectros en las zonas que se encuentran en Hangin Wall presenta aceleraciones espectrales más altas que las encontradas para las zonas de Foot Wall. Por lo que en el ámbito de la construcción es más económico y seguro realizar una obra en la zona de Foot Wall.

Del capítulo de Espectros para el Distrito Metropolitano de Quito.

- Para la zona 1 con suelo S1, las ordenadas de la aceleración espectral halladas a partir de la generación de un espectro asociadas a las fallas de Quito, es mayor a las que reporta el CEC-2000, para un coeficiente de importancia de 1.5. Esto se debe porque el punto de estudio se encuentra cercano a la falla, por lo que las aceleraciones espectrales son mayores a medida que acercan a la falla. En el ámbito constructivo se debe utilizar para el diseño el espectro que presente un mayor valor, para dar a la estructura su debida seguridad ante un futuro sismo.
- Para perfil de suelo S3, los espectros que se hallan a partir de un sismo asociado a las fallas de Quito son menores o similares a los que reporta

el CEC-2000 para un coeficiente de importancia de 1. Para el diseño se debe emplear el modelo que presente mayor aceleración espectral.

- De los espectros que se obtiene del modelaje para las zonas 1 y 2 cercanas a la falla de Nanegalito se concluye que por ser una falla inversa superficial (se observa afloramientos de la falla desde algunos puntos en la carretera a Selva Alegre) esta presenta valores de aceleración espectral altos, debido a que existe una relación inversamente proporcional entre la profundidad de la falla y su aceleración máxima horizontal del suelo. Por lo que se debe tener en cuenta para todas las obras que se construirán en esta zona no solo el espectro de diseño del código CEC200, sino también los espectros obtenidos por otros modelos que tienen en cuenta las características físicas y morfológicas de la falla.
- Cuando los espectros que se obtiene por los modelos de Campbell & Bozorgnia y Abrahamson & Silva son muy pequeños, se deberá utilizar el espectro de CEC200, para cada uno de los casos.

8.2 Recomendaciones.

Del capítulo de Sismicidad Histórica de Quito.

- Debido a que algunos o todos los parámetros de los eventos sísmicos pueden cambiar, con las nuevas investigaciones, es imprescindible buscar esa nueva información.

Del capítulo de Relaciones de Recurrencia.



- Es recomendable trabajar con subrutinas en Matlab, debido a que se trabaja con alrededor de 8000 eventos sísmicos e introducir la información y correr los datos en un programa uno por uno sería demasiado largo, costoso e infructuoso.

Del capítulo de Fallas Geológicas que pueden afectar a Quito.

- Se recomienda para los mapas, trabajar con las mismas coordenadas sean estas Coordenadas Geográficas o Coordenadas UTM, porque de lo contrario se debe utilizar un convertidor de unidades sean de geográficas a UTM o viceversa. Por la facilidad se utilizan coordenadas Geográficas.

Del capítulo de Espectros para el Distrito Metropolitano de Quito.

- Es recomendable familiarizarse con el uso de la nueva clasificación de los perfiles de suelo establecidos por la norma NEC-11, ya que van desde el perfil A hasta el perfil F y en la norma del CEC los perfiles del suelo son S1, S2, S3 para cohesivo y S3 para granular.

8.3 Bibliografía.

1. Abrahamson N., Silva W., (2008). "Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion relations", *Earthquake Spectra, EERI*, 24 (1), 67-97p.
2. ADEC, (2005). *Estudio de mecánica de suelos para las fundaciones de las rampas y parqueaderos de Almacenes "Rose"*. Quito.
3. Aguiar R. (2011,2). *Espectros elásticos para el diseño de los puentes sobre los ríos: San Pedro y Chiche de la ruta Sur al nuevo aeropuerto de Quito*, Estudio de Peligrosidad Sísmica realizado para Fernando Romo Consultores. Quito.
4. Aguiar R., (2010). *Estudio de Peligrosidad Sísmica y Espectro de Diseño de la Presa Chontal*, Consultora ASTEC GEODATA, 30 p., Quito.
5. Aguiar R., (1982). *Cuantificación de la amenaza sísmica del Ecuador en términos probabilísticos y mapa de zonificación*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Central de Venezuela, 179 p., más planos. Caracas.
6. Aguiar R., (1982). *Evaluación de la amenaza sísmica del Ecuador en términos probabilísticos y mapa de Zonificación*, Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Central de Venezuela, 178 p. Caracas.
7. Aguiar R., (2003). *Análisis sísmico por desempeño*, Centro de Investigaciones Científicas. Politécnica del Ejército, 340 p. Quito.
8. Aguiar R., (2010,2). "Estudio de Peligrosidad sísmica y espectro de diseño de la Presa: Minas-La Unión-Pitahuiña", ASTEC, 32 p. Quito.
9. Aguiar R., (2011). *El Mega Sismo de Chile de 2010 y lecciones para Ecuador*. Centro de Investigaciones Científicas, CEINCI-ESPE. Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH., 184 p. Quito.
10. Aguiar R., Castro C., (2009). "Zonas fuentes para estudios de peligrosidad sísmica en el Ecuador", *Antología Científica de Ingeniería Estructural y Sísmica en Países Andinos. Consulado del Perú en el Ecuador.*, 87-111. Guayaquil.
11. Aguiar R., Trémolières A., (2002). "Vulnerabilidad sísmica de los cuatro centros de Quito", *Revista Ciencia. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército*, 5 (2), 191-221. Sangolquí, Ecuador.

12. Aguilar A., (2001). *CRISIS 99.1 Sistema de computo para el cálculo de Peligro Sísmico*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México., 96 p. México, D.F.
13. Aguinaga G., (1996). *Estimación del período de vibración de los suelos de Quito en función de las condiciones locales del suelo*, Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
14. Alvarado A., (1996). *Evolución Geológica cuaternaria y paleosismicidad de la cuenca de Quito, Ecuador*. Tesis de Grado de Ingeniería. Facultad de Geología Minas y Petróleo. Escuela Politécnica Nacional, 380 p. Quito.
15. Bonifaz H., (1992). *Propiedades de la Cangahua en condiciones dinámicas*, Tesis de grado para obtener título de Ingeniero Civil. Especialista en Geotecnia. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
16. Bonifaz H., (2011). Conversación personal sobre la Cangahua de Quito. *Laboratorio de suelos. Escuela Politécnica del Ejército*, Sangolquí, Ecuador.
17. Boore D., Watson-Lamprey J., Abrahamson N., (2006). "Orientation-independent measures of ground motion", *Bulletin of the Seismological Society America*, Vol 96 N.- 4 A., 1502-1511.
18. Campbell K., Bozorgnia Y., (2008). "NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped linear elastic response spectra for periods ranking from 0.01 to 10 s.", *Earthquake Spectra, EERI*, 24 (1), 139-171.
19. CEC-2000. "Código Ecuatoriano de la Construcción", *XIII Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Pontificia Universidad Católica del Ecuador*, 325-350p. Quito.
20. Cornell C., Vanmarcke E., (1969). "The mayor influence on seismic risk", *Proc., 4 WCEE*, Vol I, A-1, 69-83. Santiago de Chile.
21. Echeverría M., (2011). Conversación personal sobre la Falla de Nanegalito. Sangolquí, Ecuador.
22. Eguez A., Alvarado A., Yepes H., Machette M., Costa C., Dart R., (2003). *Database and map of Quaternary faults and Folds of Ecuador and its offshore regions*, U.S. Geological Survey, Open-File Report 03-289, 77 p.
23. El Comercio, (2011). "Un muerto en un deslizamiento de tierra en el Sur de Quito", *Redacción de Quito*.

24. El Telégrafo, (2010). "Taponamiento de quebradas causó inundaciones en Quito", *Redacción Actualidad*.
25. Escuela Politécnica Nacional, Geohazards International, Ilustre Municipio de Quito, Orstom, Oyo Corporation, (1994). "The Quito-Ecuador, Earthquake Risk Management Project", *Geohazards International Publication*, Quito.
26. Frau C., (2010). *Demanda sísmica incluyendo efectos de directividad en zonas near-fault de Argentina*, Tesis para obtener el título de Doctor. Universidad Tecnológica Nacional, Regional Mendoza, 371 p., Mendoza.
27. GEOSUELOS, (2008), *Informe del Estudio de Mecánica de Suelos Casas Modelo Terranova 3 PY-2521 Sector Quitumbe*. Quito.
28. GEOSUELOS, (2008), *Informe del Estudio de Mecánica de Suelos Terranova Mz7 PY-2669 Garrochal*, Quito.
29. GEOSUELOS, (2010). *Informe del Estudio de Mecánica de Suelos Edificio El Bosque Alonso de Torres y Beck Roll PY-2988 Secto Centro Comercial el Bosque*, Quito.
30. GEOSUELOS, (2011,1). *Líneas sísmicas para el Puente sobre el río San Pedro*. 4 Líneas Sísmicas.
31. GEOSUELOS, (2011,2). *Informe del estudio Geotécnico Geofísico Puente río Chiche*. 132 p. Quito.
32. González F., (2000). *Informe Técnico de Mecánica de Suelos Edificio de estacionamientos: Museo de la ciudad (Calle Morales entre Garcia Moreno y Venezuela)*. Quito.
33. González F., (2006). *Informe Técnico de Mecánica de Suelos Nuevos Edificios Holcim planta Norte (Calle Manuel Zambrano entre 10 de Agosto y 6 de diciembre)*, Quito.
34. Gutenberg B., Richter C., (1944). "Frequency of Earthquake in California", *Bulletin of the Seismological Society of America*. BSSA, 34, 185-188.
35. HIREO SUELOS, (2005). *Diseño de cimentaciones y muros de sostenimiento EDIFICIO HER-SAN (Calle General Vicente Aguirre y Toribio Montes, centro norte de la ciudad, Las Casas Bajo)*. Quito.
36. Lavenu A., (1994). "La neotectónica ejemplos en el Ecuador", *Estudios de Geografía*, 6, 5-30.
37. Lecaro M., León F., Moyano C., (1987). *Zonificación de los suelos de Quito y correlación de los ensayos de penetración estándar con parámetros*

- dinámicos*” Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
38. Lomnitz C., (1988). “Las causas probables de la catástrofe sísmica del 19 de septiembre de 1985”, *Revista Ciencia y Desarrollo*, CONACYT, 16 (82), 4 p., México.
 39. Molina E., Marroquín G., Escobar J., Talavera E., Rojas W., Camacho E., Lindholm C., Gaspar J., Marcía M. J., Pérez M., Rivas A., García R., (2008). *Evaluación regional de la amenaza sísmica en Centro América*, Universidad Politécnica de Madrid. Proyecto con América Latina 2008, AL08-PID-038, Informe Final, 86 p. Madrid.
 40. Núñez C., (2011). “Geología del cuaternario y geomorfología tectónica entre Villadora y Bellavista, río Guayllabamba”, Tesis para obtener el título de Ingeniero Geólogo. Escuela Politécnica Nacional. Quito.
 41. Norma Ecuatoriana de la construcción (2011). *Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente*, 11-52p.
 42. Norma de Aislación (2001). *Proposición de código para el análisis y diseño de edificios con aislación sísmica*, Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Sísmica. Achisina, 70 p. Santiago de Chile.
 43. Norma NCh 433. Of 96 (1996), *Diseño Sísmico de Edificios*, Instituto de Normalización, INN-Chile, 42 p. Santiago de Chile.
 44. Ordaz M., (2002). “Sismicidad y Riesgo Sísmico”, *Curso sobre Diseño y Construcción Sismorresistente de Estructuras*. CENAPRED. JICA, 19-38. México D.F.
 45. P.G.M. (2009). *Atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes*. Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las comunidades Andinas. Sistema Quito, Alexandra Alvarado, 294-299.
 46. PMA (2009). *Atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes*. Proyecto Multinacional Andino: Geociencia para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional N.- 7. 311p. Canadá.
 47. Quijada P., Gajardo E., Franke M., Kozuch J., Grases J., (1993). “Análisis de amenaza sísmica de Venezuela para el nuevo mapa de zonificación con fines de Ingeniería”, *Memorias del VIII Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo Resistente*. Mérida, Venezuela.
 48. Richter C., (1958). *Elementary Seismology*, Freeman, San Francisco.

49. Ruiz S., (1985). "Conceptos fundamentales de la Teoría de Probabilidades para análisis de riesgo sísmico", *XI Curso Internacional de Ingeniería Sísmica. Análisis de Riesgo Sísmico. Universidad Nacional Autónoma de México*, 20 p. México D.F.
50. Salvador R., (1998). *Informe Técnico Estudio de Mecánica de Suelos de la Torre de la Iglesia de la Compañía de Jesús*. Quito.
51. Sarrazín M., (2010). "Terremoto de Chile del 27 de febrero de 2010. Aspectos generales, comportamiento de estructuras y deficiencias de las normas", *Conferencia Magistral en XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*. San Juan, Argentina.
52. Schnabel, Lysmer, Seed, (1992). *User's manual for Shake91*, Center for Geotechnical Modeling. Department of Civil Engineering. California.
53. Seed H., Romo M., Sun J., Jaime A., Lysmer J., (1987). *Relationships between soil conditions and earthquake ground motions in Mexico City in the earthquake of Sep. 19, 1985*, Earthquake Engineering Reserch Center, UCB-EERC-87/15, 112 p.
54. Silva N., (2008). *Caracterización y determinación del peligro sísmico en la Región Metropolitana*, Tesis de Grado para obtener título de Ing. Civil. Universidad de Chile, 155 p. Santiago de Chile.
55. Soulas J-P., Eguez A., Yepes H., Perez H., (1991). "Tectónica activa y riesgo sísmico en los Andes Ecuatorianos y el extremo sur de Colombia", *Boletín Geológico Ecuatoriano*, 2 (3), 3-11.
56. Stepp J.C., (1973). *Analysis of complétense of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area, in contributions to seismic Sonic*, NOAA Tech. Report, ERL 267-ESL30. Washington, D.C.
57. Tavera H., Bernal J., Salas H., (2008). "El terremoto de Pisco del 15 e agosto de 2007: Aspectos sismológicos", *Libro: El sismo de Pisco de 2007. Editor H. Tavera, Instituto Geofísico del Perú*, 13-22. Lima.
58. Tornello M., Frau C., (2010). "Experiencias sobre aislamiento sísmico en Mendoza, Argentina. Diseño, Modelación y Construcción", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 15 (1), 1-47.
59. Toulkeridis T., (2009). "Geodinámica y Vulcanología del Ecuador (Continental e Insular) Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgos", Encuentro Internacional sobre

- gestión del Riesgo Natural con énfasis en el Sector Eléctrico. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
60. UCR (2011). “Sismo de Nueva Zelanda, del 21 de febrero de 2011”, Universidad de Costa Rica, Artículo 214. <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=214>.
61. Valverde J., (2002). *Estudio de Suelos para el diseño de la cimentación de tres bloques de cinco plantas ubicados en el Sector de el Pinar*. Quito.
62. Valverde J., (2003). *Estudio de Suelos para el diseño de la cimentación de un edificio de cuatro plantas y un subsuelo de propiedad del Sr. Eduardo Borja Maruri en el Sector de la Floresta*. Quito.
63. Valverde J., (2003). *Estudio de Suelos para el diseño de la cimentación del Conjunto Habitacional Ubicado en San Bartolo*. Quito.
64. Valverde J., (2003). *Estudio de Suelos para el diseño de las cimentaciones de un edificio de cuatro plantas y un subsuelo de propiedad del Sr. Enrique Barboto en el Sector de la Floresta*. Quito.
65. Valverde J., (2003). *Estudio de Suelos para el diseño de las cimentaciones del conjunto Habitacional ubicado en El Pinar*. Quito.
66. Valverde J., (2003), *Estudio Geotectónicos para el diseño de Plan Masa del Proyecto Habitacional ubicado en Quitumbe*, Quito.
67. Valverde J., (2011). *Estudio de Suelos para el diseño y construcción de una estructura de ocho plantas y cuatro subsuelos ubicada en el sector de la Carolina*. Quito.
68. Valverde J., Fernández J., Jiménez E., Vaca T., Alarcón F., (2002). *Microzonificación sísmica de los suelos del Distrito Metropolitano de la Ciudad de Quito*, Escuela Politécnica Nacional. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 146 p. más Anexos. Quito.
69. Wesnousky S., (1994). “The Gutenberg-Richter or characteristic earthquake distribution wick is it?”, *Bulletin of the Seismological Society of America*. BSSA, 84, 1940-1959.
70. Yeats R., Sieh K., Allen C., (1997). *The geology of earthquakes*. Oxford University Press. 499 p. New York.
71. Yepes H., (2011). Información suministrada en reunión efectuada el 29 de junio de 2011, en la Cámara de la Construcción de Pichincha. Quito.



72. Zöller, G., Hainzl, S. and Holschneider, M., 2008. "*Recurrent Large Earthquake in a Fault Region: What Can Be the Inferred from Small and Intermediate Events?*". Bulletin of the Seismological Society of America. 98. No. 6. 2641-2651.



ANEXOS

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

APELLIDOS: Quishpe Chimarro

NOMBRES: Daissy Guadalupe

FECHA DE NACIMIENTO: 11 de septiembre de 1986

ESTADO CIVIL: Soltera

EDAD: 25

DOMICILIO: Sangolquí, Urb. La Colina, Guayas y El Oro #383

TELEFONO: 022362565 - 098679796

EMAIL: daissy.quishpe@gmail.com

DISPONIBILIDAD: Tiempo Completo

ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA: Escuela Fiscal Mixta Remigio Crespo Toral.

SECUNDARIA: Unidad Educativa Salesiana Domingo Savio.

SUPERIOR: Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Ingeniería Civil.

IDIOMAS

Español e Ingles

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

APELLIDOS: Quishpe Chimarro

NOMBRES: Magaly Poleth

FECHA DE NACIMIENTO: 18 de noviembre de 1987

ESTADO CIVIL: Soltera

EDAD: 23

DOMICILIO: Sangolquí, Urb. La Colina, Guayas y El Oro #383

TELEFONO: 022362565 - 082782505

EMAIL: qmagy@hotmail.com

DISPONIBILIDAD: Tiempo Completo

ESTUDIOS REALIZADOS

PRIMARIA: Escuela Fiscal Mixta Remigio Crespo Toral.

SECUNDARIA: Unidad Educativa Salesiana Domingo Savio.

SUPERIOR: Escuela Politécnica del Ejército. Carrera de Ingeniería Civil.

IDIOMAS

Español e Ingles

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

ELABORADO POR:

Daissy Guadalupe Quishpe Chimarro

Magaly Poleth Quishpe Chimarro

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Ing. Jorge Zúñiga

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

Ing. Fanny Cevallos Ortega.

Lugar y fecha: _____