



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE ESPECTROS MEDIOS CONDICIONALES
UTILIZANDO LA BASE DE DATOS DE SISMOS CON MAGNITUD DE MOMENTO
IGUAL O SUPERIOR A 6.5 EN CHILE.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

IVÁN ALEJANDRO LÓPEZ JARA

PROFESOR GUÍA:
RUBÉN BOROSCHEK KRAUSKOPF

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FABIÁN ROJAS BARRALES
MAURICIO SARRAZÍN ARELLANO

SANTIAGO DE CHILE
2016

RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil con mención en Estructuras, Construcción y Geotecnia.

POR: Iván Alejandro López Jara.

FECHA: 06/10/2016

PROFESOR GUÍA: Rubén Boroschek Krauskopf.

ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE ESPECTROS MEDIOS CONDICIONALES UTILIZANDO LA BASE DE DATOS DE SISMOS CON MAGNITUD DE MOMENTO IGUAL O SUPERIOR A 6.5 EN CHILE.

En los estudios de amenaza sísmica probabilísticos se obtiene el Espectro de Amenaza Uniforme (UHS). Este espectro entrega las aceleraciones espectrales para distintos valores de periodo las cuales presentan la misma probabilidad de excedencia dado un periodo de retorno. Se ha propuesto como alternativa al uso del Espectro de Amenaza Uniforme un Espectro Medio Condicionado (CMS) el cual está ajustado a una aceleración espectral para un período en particular, determinando los valores en los otros períodos a través de factores de correlación. El CMS entrega una predicción más realista y menos conservadora de la respuesta del sistema ante un sismo, dado que el UHS no sería representativo de las aceleraciones espectrales en periodos alejados del periodo de interés. Los factores de correlación indican cómo se relacionan en distintos periodos las diferencias entre los valores de aceleración espectral dados por un modelo de atenuación y el espectro de respuesta de aceleración de cada registro. Los factores de correlación han sido evaluados para registros de aceleración de una base de datos mundial, donde las propiedades de subducción propias de Chile no han sido consideradas.

En este trabajo se determinan los factores de correlación necesarios para la generación de espectros medios condicionales a partir de 139 registros sísmicos de Chile, con Magnitud de Momento igual o superior a 6.5, desde el año 1995 al 2014. Los factores de correlación obtenidos se alejan de los propuestos considerando todos los registros de la base de datos, mientras que desagregando los resultados según tipo de suelo, mecanismo focal y rango del periodo máximo se obtienen valores y formas de las curvas cercanas a las propuestas por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) para eventos del tipo Intraplaca Superficial y por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para sismos en zonas de subducción.

Tabla de Contenido

Capítulo I: Introducción General	15
1.1. Introducción y motivación	15
1.2. Objetivos	17
Generales:	17
Específicos:	17
1.3. Metodología	17
1.4 Alcances	18
Capítulo II: Revisión bibliográfica	20
2.1 Amenaza sísmica	20
2.2 Espectro Medio Condicional (CMS).	22
2.3 Factores de Correlación	23
2.4 Amplificación en bajas frecuencias	26
Capítulo III: Selección de base de datos de registros sísmicos entre 1995-2014.....	29
3.1 Base de datos RENADIC	29
3.2 Variables consideradas en el análisis.....	30
3.3 Distribución de eventos de la base de datos.....	31
Fuente sismogénica	34
Cantidad de eventos	34
3.4 Estaciones de registro	34
3.5 Distribución de registros de la base de datos.	40
3.6 Determinación del área de ruptura y distancia usada para cada registro.....	49
3.7 Procesamiento de los registros	50
Capítulo IV: Obtención de los factores de correlación	54
4.1 Curvas de atenuación usadas.	56
4.2 Diferencias espectrales, ϵ	59
4.2.1 Modelo de Young et al., 1997 (Ref.34).....	61
4.2.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	65
4.2.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	73
4.2.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).....	77
4.2.5 Influencia del modelo de atenuación usado.....	85
4.3 Factores de correlación.	92

4.3.1 Modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).....	94
4.3.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35)	102
4.3.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	111
4.3.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).....	120
4.3.5 Influencia del modelo de atenuación.....	129
4.3.5.1 Caso Base	132
4.3.5.2 Registros en Roca.....	134
4.3.5.3 Registros en Suelo.....	136
4.3.5.4 Registros Interplaca.....	138
4.3.5.5 Registros Intraplaca.....	140
4.3.5.6 Registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$ (registros High $T_{amp1.5}$)	143
4.3.5.7 Registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ (registros Low $T_{amp1.5}$)	146
4.3.6 Ajuste en el rango de periodos.....	149
4.3.6.1 Modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	151
4.3.6.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref.35).....	153
4.3.6.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).....	155
4.3.6.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	157
4.3.7 Comparación con factores obtenidos en zonas de subducción (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20)	159
4.3.7.1 Modelo de Young et al, 1997 (Ref. 34)	160
4.3.7.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).....	161
4.3.7.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).....	162
4.3.7.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1)	163
Capítulo V: Cálculo del Espectro Medio Condicional.	165
5.1 Espectro de Amenaza Uniforme (UHS).	165
5.2 Modelos de atenuación para valores de M y R.....	166
5.2.1 $T^*=0.8$ s.....	167
5.2.2 $T^*=1.5$ s.....	169
5.3 Espectro Medio Condicional.....	171
5.3.1 $T^*=0.8$ s.....	171
Capítulo VI: Conclusiones y análisis de resultados.	176
BIBLIOGRAFÍA.	183
ANEXO A: BASE DE DATOS.....	186

ANEXO B: RAZÓN DE ESPECTROS H/V.....	192
ANEXO C: ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE RUPTURA.....	203
ANEXO D: PERIODOS DE CORTE CALCULADOS SEGÚN DESVIACIÓN ESTÁNDAR=0.5cm.....	216

Índice de Tablas

Tabla 1. Registros sísmicos procesados	29
Tabla 2: Eventos según magnitud de momento.	32
Tabla 3: Distribución de eventos por año.	32
Tabla 4: Distribución de eventos según fuente sismogénica.	34
Tabla 5: Ubicación de estaciones de registro.	35
Tabla 6: Clasificación del suelo para las estaciones de registro.	37
Tabla 7: Cantidad de registros por estación.	38
Tabla 8: Distribución de registros según magnitud de momento.	42
Tabla 9: Distribución de registros según año.	43
Tabla 10: Distribución de registros según aceleración máxima componente horizontal.	44
Tabla 11: Distribución de registros según aceleración máxima componente vertical.	45
Tabla 12: Distribución de la distancia más cercana a la ruptura.	46
Tabla 13: Distribución de clasificación de suelos para los registros estudiados.	48
Tabla 14: Distribución de registros según instrumento de la estación de registro.	51
Tabla 15: Periodo de corte en función del equipo de registro.	52
Tabla 16: Distribución de periodos de corte.	53
Tabla 17: Cantidad de registros usados con cada modelo de atenuación.	59
Tabla 18: Distribución de $T_{amp1.5}$ para los 139 registros.	149
Tabla 19: Rangos alto y bajo para $T_{amp1.5}$	149
Tabla A1: Eventos de la base de datos.	187
Tabla A2: Registros de la base de datos.	188
Tabla B1: Periodo natural de los suelos e intervalo establecido en Contreras, 2008 (Ref. 23).	193
Tabla B2: Tipos de suelo considerados con razones espectrales H/V..	202
Tabla C1: Áreas de ruptura.	204
Tabla C2: Áreas de ruptura calculadas en este estudio.	205
Tabla D1: Periodos de corte obtenidos para cada registro	217

Índice de Ilustraciones

Figura 1: Coeficientes de correlación obtenidos para zonas con sismos superficiales y para zonas de subducción.....	26
Figura 2: Ajuste propuesto por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20). Izquierda: Factores de correlación separados según rango alto y bajo de $T_{amp1.5}$ antes de realizar el ajuste. Derecha: Factores de Correlación separados por rango luego del ajuste.....	27
Figura 3: Histograma de eventos según magnitud de momento.....	32
Figura 4: Histograma de eventos según año.	33
Figura 5: Histograma de eventos según fuente sismogénica.....	34
Figura 6: Histograma de registros según magnitud de momento.	42
Figura 7: Histograma de registros según año.	44
Figura 8: Histograma de aceleraciones máximas (componente horizontal) para los registros estudiados.....	45
Figura 9: PGA horizontal vs Magnitud de Momento	45
Figura 10: Histograma de aceleraciones máximas (componente vertical) para los registros estudiados.....	46
Figura 11: PGA vertical vs Magnitud de Momento	46
Figura 12: Histograma de la distancia más cercana a la ruptura para los registros estudiados.....	47
Figura 13: Histograma de clasificación de suelos para los registros estudiados.....	48
Figura 14: Magnitud de Momento M_w vs Distancia más cercana a la ruptura.	50
Figura 15: Histograma de acelerógrafos para los registros estudiados. .	52
Figura 16: Histograma de periodos de corte para los registros estudiados.	53
Figura 17: Valores de ϵ para dos valores de periodo usando el modelo de atenuación de Boroschek y Contreras (2012, Ref. 16).	55
Figura 18: Casos analizados en la desagregación según tipo de suelo, según fuente sismogénica y según el rango de $T_{amp1.5}$ para cada modelo de atenuación.	60
Figura 19: Valores de ϵ para el Caso Base usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	61
Figura 20: Valores de ϵ para registros en Roca usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	61
Figura 21: Valores de ϵ para registros en Suelo usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	62
Figura 22: Valores de ϵ para registros de sismos interplaca usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	62

Figura 23: Valores de ϵ para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	63
Figura 24: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	63
Figura 25: Valores de ϵ para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	64
Figura 26: Valores de ϵ para el Caso Base usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	65
Figura 27: Valores de ϵ para registros en Roca usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	66
Figura 28: Valores de ϵ para registros en Suelo usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	67
Figura 29: Valores de ϵ para registros de sismos interplaca usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	68
Figura 30: Valores de ϵ para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	69
Figura 31: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	70
Figura 32: Valores de ϵ para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	71
Figura 33: Valores de ϵ para el Caso Base usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	73
Figura 34: Valores de ϵ para registros en Roca usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	73
Figura 35: Valores de ϵ para registros en Suelo usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	74
Figura 36: Valores de ϵ para registros de sismos interplaca usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	74
Figura 37: Valores de ϵ para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$	75

Figura 38: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 75

Figura 39: Valores de ϵ para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 76

Figura 40: Valores de ϵ para el Caso Base usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 77

Figura 41: Valores de ϵ para registros en Roca usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 78

Figura 42: Valores de ϵ para registros en Suelo usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 79

Figura 43: Valores de ϵ para registros de sismos interplaca usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 80

Figura 44: Valores de ϵ para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 81

Figura 45: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 82

Figura 46: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.s)$ vs $\epsilon(0.5s)$ 83

Figura 47: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) y por Boroschek y Contreras, 2012, (Ref. 16). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$ 86

Figura 48: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) y por Zhao, 2006 (Ref. 35). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$ 87

Figura 49: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) y por Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$ 88

Figura 50: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) y por Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$	89
Figura 51: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) y por Boroschek y Contreras, 2012 (Ref. 16). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$	90
Figura 52: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) y por Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$. Centro abajo: $\epsilon(5.0s)$	91
Figura 53: Factores de correlación propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) sobre ambas bandas de periodos.	93
Figura 54: Factores de correlación propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) usando distintos periodos fijos.	93
Figura 55: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	94
Figura 56: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	95
Figura 57: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	96
Figura 58: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	97
Figura 59: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	98
Figura 60: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	99
Figura 61: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).	100
Figura 62: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	102
Figura 63: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	103
Figura 64: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	104
Figura 65: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	105
Figura 66: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	106
Figura 67: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	107

Figura 68: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).	108
Figura 69: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	111
Figura 70: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	112
Figura 71: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	113
Figura 72: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	114
Figura 73: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	115
Figura 74: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	116
Figura 75: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16).	117
Figura 76: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	120
Figura 77: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	121
Figura 78: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	122
Figura 79: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	123
Figura 80: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	124
Figura 81: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	125
Figura 82: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).	126
Figura 83: Factores de correlación para el Caso Base para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.5$. Arriba derecha: $\rho=0.6$. Centro izquierda: $\rho=0.7$. Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$	132
Figura 84: Factores de correlación para el Caso Base con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$	133
Figura 85: Factores de correlación para registros en Roca para correlaciones de: Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$	134

Figura 86: Factores de correlación para registros en Roca con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$	135
Figura 87: Factores de correlación para registros en Suelo para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.5$. Arriba derecha: $\rho=0.6$. Centro izquierda: $\rho=0.7$. Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$	136
Figura 88: Factores de correlación para registros en Suelo con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$	137
Figura 89: Factores de correlación para registros Interplaca para correlaciones de: Arriba derecha: $\rho=0.6$. Centro izquierda: $\rho=0.7$. Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$	138
Figura 90: Factores de correlación para registros Interplaca con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$	139
Figura 91: Factores de correlación para registros Intraplaca para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.1$. Arriba derecha: $\rho=0.3$ Abajo izquierda: $\rho=0.5$. Abajo derecha: $\rho=0.6$	140
Figura 92: Factores de correlación para registros Intraplaca (continuación) para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.7$. Arriba derecha: $\rho=0.8$ Abajo: $\rho=0.9$	141
Figura 93: Factores de correlación para registros Intraplaca con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$	142
Figura 94: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.1$. Arriba derecha: $\rho=0.3$ Abajo izquierda: $\rho=0.5$. Abajo derecha: $\rho=0.6$	143
Figura 95: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ (continuación) para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.7$. Arriba derecha: $\rho=0.8$ Abajo: $\rho=0.9$	144
Figura 96: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$	145
Figura 97: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.1$. Arriba derecha: $\rho=0.3$ Abajo izquierda: $\rho=0.5$. Abajo derecha: $\rho=0.6$	146
Figura 98: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ (continuación) para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.7$. Arriba derecha: $\rho=0.8$ Abajo: $\rho=0.9$	147
Figura 99: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$	148
Figura 100: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$	

como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$ 151

Figura 101: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ Abajo: Comparación entre ambos rangos. 152

Figura 102: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$ 153

Figura 103: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Zhao et al., 2006 (Ref.35) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$. Abajo: Comparación entre ambos rangos. 154

Figura 104: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$ 155

Figura 105: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$. Abajo: Comparación entre ambos rangos. 156

Figura 106: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$. .. 157

Figura 107: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$. Abajo: Comparación entre ambos rangos. 158

Figura 108: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial. 160

Figura 109: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson,

2014 (Ref. 20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial.	161
Figura 110: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Boroschek and Contreras, 2012 (Ref. 16). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial.	162
Figura 111: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref.20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial.	163
Figura B1: Estación Copiapó Hospital. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.	183
Figura B2: Estación Pedro Fontova. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.	195
Figura B3: Estación Arica Chacalluta. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 4 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.	196
Figura B4: Estación Calama Hospital. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 4 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.	197
Figura B5: Estación Copiapó Hospital. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.	198
Figura B6: Estación Hospital Sotero del Río Puente Alto. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes del registro analizado, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo: Promedio de razones espectrales H/V.....	199
Figura B7: Estación Fuerte Baquedano. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 3 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V	

considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros. 200

Figura B8: Estación San Pedro de Atacama. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros..... 201

Figura C1: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.. 206

Figura C2: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS. 207

Figura C3: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.. 208

Figura C4: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS. 209

Figura C5: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.. 210

Figura C6: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS. 211

Figura C7: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.. 212

Figura C8: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS. 213

Figura C9: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.. 214

Figura C10: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.215

Capítulo I: Introducción General

1.1. Introducción y motivación

El tamaño de los sismos ocurridos en Chile y en el resto del mundo se puede cuantificar, desde el punto de vista ingenieril, a través de la medición de las aceleraciones del suelo registradas durante su ocurrencia. A partir de estos registros de aceleraciones es posible calcular la máxima aceleración que experimenta un oscilador de un grado de libertad durante el evento sísmico. La respuesta que presente este oscilador, haciendo variar su periodo natural, se denomina espectro de respuesta. En determinadas condiciones, tales como la ausencia de un marco normativo aplicable al caso de estudio o la necesidad de contar con una mejor estimación del espectro de respuesta, se puede realizar un estudio de amenaza sísmica el cual permita, dada la ubicación geográfica, las propiedades geotécnicas del lugar y las características sismológicas de las fuentes sísmicas consideradas, estimar la demanda sísmica en el sitio. Los estudios de amenaza sísmica permiten estimar el espectro de respuesta según distintos enfoques (determinístico o probabilístico) a través de leyes de atenuación y estimación empírica o probabilística de los datos geotécnicos y sismológicos.

A su vez, en el análisis estructural se puede obtener la respuesta del modelo a través de un análisis tiempo-historia, donde un registro de aceleraciones es aplicado sobre una estructura obteniendo su comportamiento durante y después de la aplicación de la carga. Además de utilizar registros sísmicos de algún interés particular, son seleccionados registros de aceleraciones cuyos espectros de respuesta coincidan con el espectro de diseño objetivo, o bien generando registros artificiales que cumplan lo anterior. En los estudios de amenaza sísmica probabilísticos es usual generar el Espectro de Amenaza Uniforme (UHS), el cual puede usarse como espectro objetivo en un análisis tiempo-historia (Baker and Cornell, 2006, Ref. 6). Este espectro entrega las aceleraciones espectrales para distintos valores de periodo las cuales presentan la misma probabilidad de excedencia, dado un periodo de retorno. Se ha propuesto como alternativa al uso del Espectro de Amenaza Uniforme un Espectro Medio Condicionado (CMS, por sus siglas en inglés) el cual está ajustado a una aceleración espectral para un período en particular, determinando las aceleraciones espectrales en los otros períodos a través de factores de correlación. Este espectro entrega una predicción más realista y menos conservadora de la respuesta del sistema ante un sismo, dado que el Espectro de Amenaza Uniforme no sería representativo de las

aceleraciones espectrales en periodos alejados del periodo de interés, puesto que representa la envolvente de distintos valores espectrales con idéntica probabilidad de excedencia, no informando de la probabilidad para un periodo en particular (Baker, 2011, Ref. 5)

Los factores de correlación indican cómo se relacionan en distintos periodos las diferencias entre los valores de aceleración espectral dados por un modelo de atenuación y el espectro de respuesta de aceleración de cada registro (Baker and Jayaram, 2008, Ref. 8). Los factores de correlación han sido evaluados para registros de aceleración de una base de datos mundial, donde las propiedades de subducción propias de Chile no han sido consideradas.

Este trabajo se centra en obtener los factores de correlación según la definición de Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) utilizando solo datos de sismos ocurridos en Chile desde el año 1995 al 2014 con Magnitud de Momento igual o superior a 6.5, para sismos con mecanismo focal del tipo Interplaca o Intraplaca. Para la obtención de los factores se utilizan cuatro modelos de atenuación validados para su aplicación en zonas de subducción: Young et al., 1997 (Ref. 34), Zhao et al., 2006 (Ref. 35), Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) y el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). El modelo de Boroschek et al. es de especial interés puesto que fue determinado solo con registros de aceleraciones chilenos. Se desagregan los resultados según si el suelo de fundación de la estación de registro corresponde a Roca o Suelo, y según mecanismo focal (Interplaca o Intraplaca). Adicionalmente, se presenta el ajuste propuesto por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para incluir el efecto de amplificación en altas frecuencias a través del parámetro $T_{amp1.5}$. Se incluye en la desagregación de resultados los rangos alto y bajo de $T_{amp1.5}$ de modo de identificar tendencias en los resultados predichas para este ajuste. Se comparan los factores obtenidos con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) y con los determinados por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para zonas de subducción.

1.2. Objetivos

Generales:

Obtención de los factores de correlación necesarios en la generación de espectros de respuesta medios condicionales para sismos en Chile y su comparación con los propuestos internacionalmente.

Específicos:

Corrección y mejoramiento de la base de datos de registros sísmicos con magnitud de momento superior o igual a 6.5 en Chile desde 1995 al 2014.

Obtención de los factores de correlación y establecer una comparación de estos con los propuestos para el caso internacional.

1.3. Metodología

- Revisión bibliográfica sobre métodos de procesamiento de acelerogramas y de cálculo de correlaciones estadísticas:

Se hace una revisión bibliográfica de distintas formas de procesamiento de los registros sísmicos, las cuales permiten mediante filtros la integración de los valores de aceleración en una banda amplia de periodos. Se escogen las metodologías que permita extender los espectros de respuesta hasta valores de período cercanos a los 10 segundos, con el fin de que los resultados analizados sean válidos para estructuras de mayor altura o muy flexibles.

- Selección de base de datos de registros sísmicos entre 1995-2014:

Existen aproximadamente 200 registros sísmicos en el rango de años establecido, para cada uno de ellos y de acuerdo a los parámetros necesarios para calcular el espectro medio condicional, es necesario contar con la magnitud, la distancia al área de ruptura y el área de ruptura involucrada. Adicionalmente se desea agregar datos de la zona sísmica, mecanismo focal (Interplaca o Intraplaca) y tipo de suelo.

- Cálculo de espectros en una banda amplia de periodos:

Se calculan los espectros de respuesta para la totalidad de los registros sísmicos .

- Cálculo de factores de correlación:

Se obtienen los factores de correlación ocupando la totalidad de los registros de aceleración y para cuatro modelos de atenuación (Young et al., 1997, Ref. 34, Zhao et al., 2006, Ref. 35, Boroschek and Contreras, 2012b, Ref. 16, Abrahamson et al., 2012, Ref. 1). Se desagregan los resultados que se obtienen ocupando solo registros de un determinado tipo de suelo de fundación de la estación de registro (Roca o Suelo), según el mecanismo focal del evento (Interplaca o Intraplaca) y según rangos alto y bajo de acuerdo a la clasificación por ajuste de periodo peak $T_{amp1.5}$ (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20).

- Comparación de los factores de correlación obtenidos con los propuestos a nivel internacional:

Se comparan los factores de correlación obtenidos con los determinados para una base de datos global con sismos con diferentes mecanismos focales (Baker and Jayaram, 2008, Ref. 8) y con los propuestos para zonas de subducción (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20).

1.4 Alcances

Los alcances por capítulo son los siguientes:

- **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL.**

En este capítulo se presenta la propuesta de título, determinando sus objetivos, metodología y alcances.

- **CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

En este capítulo se presentan las definiciones básicas necesarias para obtener los factores de correlación, se discuten los valores propuestos internacionalmente y su uso en la construcción de Espectros Medios Condicionales en estudios de amenaza sísmica.

- CAPÍTULO III: SELECCIÓN DE BASE DE DATOS DE REGISTROS SÍSMICOS ENTRE 1995 Y 2014.

En este capítulo se determinan los criterios que deben cumplir los registros sísmicos estudiados así como también las fuentes de estos datos. Se determina la cantidad de registros sísmicos que se utilizan en el estudio y la recopilación de datos geotécnicos y sismológicos asociados a cada registro y necesarios para la determinación de los factores de correlación.

- CAPÍTULO IV: CÁLCULO DE FACTORES DE CORRELACIÓN.

En este capítulo se obtienen los factores de correlación de acuerdo a las definiciones estudiadas en el Capítulo II, se presentan los valores de diferencias espectrales ϵ y se desagregan los resultados según modelo de atenuación usado, tipo de suelo, mecanismo focal de los registros considerados y según rangos altos y bajos del parámetro $T_{amp1.5}$.

- CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos para los factores de correlación y para las diferencias espectrales ϵ , determinando su comportamiento en relación a los modelos de correlación obtenidos con bases de datos globales y distintos mecanismos focales (Baker and Jayaram, 2008, Ref. 8) y con los valores determinados para zonas de subducción (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20). Se analiza el comportamiento del ajuste propuesto por los mismos autores para la amplificación a periodos bajos, utilizando el parámetro $T_{amp1.5}$.

Capítulo II: Revisión bibliográfica

En este capítulo se presentan los postulados sobre los cuales se construyen los estudios de amenaza sísmica, en particular los del enfoque probabilístico y la base teórica con la que se define el Espectro Medio Condicional, sus ventajas y desventajas en relación a un Espectro de Amenaza Uniforme y los parámetros necesarios para su determinación. A partir de este punto se abordan las diferencias espectrales ϵ y como a partir de ellas se obtienen los factores de correlación para bases de datos de eventos sísmicos globales (Baker and Jayaram, 2008, Ref. 8) y específicamente para zonas de subducción (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20). Posteriormente se discuten los ajustes para la amplificación en altas frecuencias propuestos por estos mismos autores a través del parámetro $T_{amp1.5}$.

2.1 Amenaza sísmica

Un estudio de amenaza sísmica permite estimar las aceleraciones máximas de un terreno (Peak Ground Acceleration, PGA) y las aceleraciones espectrales para un nivel de amortiguamiento dado, típicamente del 5%, a partir de modelos estimativos de dichas aceleraciones (modelos de atenuación), caracterización geotécnica del sitio en estudio y de la capacidad de generar sismos de determinada magnitud para las fuentes sísmicas conocidas en un área alrededor del punto de interés. Se distinguen dos enfoques, el determinístico, donde se asumen valores para los parámetros del escenario sísmico más desfavorable, y el enfoque probabilístico donde se consideran las incertezas del tamaño del sismo (magnitud), ubicación y probabilidad de excedencia dado un periodo de retorno (Kramer, 1996, Ref. 27). En los estudios probabilísticos de amenaza sísmica es posible obtener el Espectro de Amenaza Uniforme (Uniform Hazard Spectrum, UHS), el cual entrega aceleraciones espectrales tal que posean la misma probabilidad de excedencia dado un periodo de retorno para el escenario sísmico considerado.

En el análisis estructural es posible realizar un análisis tiempo-historia, donde se necesitan registros de aceleraciones de un sismo para determinar la respuesta del sistema durante y después de la aplicación de la carga. Para determinar qué registros de aceleraciones son los adecuados, usualmente se utiliza el Espectro de Amenaza Uniforme como espectro objetivo, es decir, se utilizan registros sísmicos cuya forma espectral (la de su espectro de respuesta de aceleraciones) coincida con la del Espectro de Amenaza Uniforme. Una alternativa es generar registros de aceleraciones artificiales, de modo de hacerlos calzar con una determinada forma espectral y ocupar estos en el análisis tiempo-historia, de modo de reducir la incertidumbre al incluir registros con distintos contenidos de frecuencia y, en consecuencia, distintas respuestas del sistema.

Ya sea para la generación de un espectro de respuesta de diseño o para la selección o generación de registros sísmicos (respuesta en el tiempo), se ha propuesto como alternativa al uso del Espectro de Amenaza Uniforme un Espectro Medio Condicional. Ocupando este modelo se obtienen resultados menos conservadores, ya sea con estimaciones más certeras de la respuesta estructural (Macedo, 2013, Ref. 28, Baker and Cornell, 2006b, Ref. 7) o logrando una menor probabilidad de colapso (Baker and Cornell, 2006b, Ref. 7). Baker, 2011 (Ref. 5) argumenta que el Espectro de Amenaza Uniforme está construido como la envolvente de valores espectrales que poseen la misma probabilidad de excedencia, sin embargo, no informa acerca de la probabilidad de exceder algún valor en particular. El Espectro de Amenaza uniforme entrega para los mayores valores de período (baja frecuencia) aceleraciones espectrales que pueden ser causadas por grandes sismos a distancias lejanas del sitio donde se está evaluando la amenaza sísmica, mientras que en periodos bajos (alta frecuencia) da valores espectrales causados por sismos de mediano tamaño, cercanos al área de estudio (Boomer et al., 2000, Ref. 11). En consecuencia, el Espectro de Amenaza Uniforme no informa de un único escenario sísmico sino que de una envolvente del escenario más conservador en cada caso. El Espectro Medio Condicional se basa en que la aceleración espectral para un periodo en particular estará mucho más relacionada (será parecida) con las aceleraciones espectrales de periodos cercanos a ella, y que dicha relación o semejanza de valores decae a medida que se aleja el par de valores de periodo que se están comparando (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20).

2.2 Espectro Medio Condicional (CMS).

La construcción del Espectro Medio Condicional está basada en algunas hipótesis básicas:

- Se asume como conocido un valor de aceleración espectral para un valor de período (Periodo Condicionante), obtenido directamente del Espectro de Amenaza Uniforme.
- Se escoge un modelo de atenuación a partir del cual se obtendrán los valores espectrales en periodos distintos al periodo condicionante.
- Se cuenta con un modelo estadístico (Coeficiente de Correlación de Pearson) que relacione las diferencias espectrales entre cada par de periodos del vector de periodos a evaluar. Este modelo corresponde a los Coeficientes de Correlación $\rho(T_i, T_j)$.

Por lo tanto, este espectro solo puede ser calculado si existe un estudio de amenaza sísmica el cual permita tener un Espectro de Amenaza Uniforme para obtener el valor de aceleración espectral en el periodo condicionante. Se presenta a continuación un breve resumen de los pasos necesarios para su obtención:

1. Se obtiene un Espectro de Amenaza Uniforme dada una probabilidad de excedencia, para obtener el valor de aceleración espectral en el periodo de interés (Periodo Condicionante, T^*).
2. Se desagregan los resultados de magnitud y distancia para el periodo de interés T^* , esto con el fin de obtener un valor de magnitud y de distancia representativos de la aceleración espectral en dicho periodo.
3. Usando un modelo de atenuación se obtiene un espectro de respuesta (Sa_{GMPE}) y una desviación estándar (σ , usualmente entregada en los modelos de atenuación) para todo el vector de periodos, usando los valores de magnitud y de distancia determinados en el punto 2.
4. Se calcula la diferencia espectral (parámetro épsilon, ε) entre el Espectro de Amenaza Uniforme (Sa_{UHS}) y el valor entregado por el modelo de atenuación (Sa_{GMPE}) en el periodo T^* :

$$\varepsilon(T^*) = \frac{Sa_{UHS}(T^*) - Sa_{GMPE}(T^*)}{\sigma(T^*)} \quad (2.1)$$

5. Se obtiene un valor promedio para ϵ :

$$\bar{\epsilon}(T_i) = \epsilon(T^*) \cdot \rho(T_i, T^*) \quad (2.2)$$

6. Se calcula el Espectro Medio Condicional (CMS) para todos los periodos:

$$CMS(T_i) = Sa_{GMPE} + \bar{\epsilon}(T_i) \cdot \sigma(T_i) \quad (2.3)$$

Usualmente se utiliza como valor de periodo condicionante el periodo fundamental de la estructura (Baker, 2011, Ref. 5), sin embargo, es posible considerar múltiples periodos fundamentales y generar un Espectro Medio Condicional a partir de un set de espectros CMS (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20). La consideración de distintos periodos fundamentales puede ser útil cuando se analizan parámetros como las aceleraciones de piso o el esfuerzo cortante en pisos superiores, los cuales pueden ser más sensibles a modos de vibrar mayores que el primero (Baker, 2011, Ref. 5). En este estudio no se detallan estas metodologías de abordar el Espectro Medio Condicional.

2.3 Factores de Correlación

Como se mencionó en la sección anterior, el comportamiento del Espectro Medio Condicional estará influenciado por los valores espectrales en otros periodos en relación al valor determinado para el periodo condicionante. Este comportamiento se puede modelar a través de un parámetro que pueda informar de los valores esperados en otro valor de periodo, considerando la aceleración espectral que se tiene en el periodo condicionante. Los valores esperados corresponden a las diferencias espectrales ϵ y los factores de correlación son el Coeficiente de Correlación de Pearson, parámetro estadístico que indica cómo se relacionan las diferencias espectrales entre distintos valores de periodo,

de modo que teniendo el valor de ϵ en el periodo condicionante, se puede obtener el valor en los otros periodos.

En el cálculo del Espectro Medio Condicional, se recomienda según distintos autores (Baker et al., 2011, Ref. 5, Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20) el uso de los factores de correlación determinados por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). En dicho estudio se ocupó una base de datos con más de 2500 registros alrededor de zonas sísmicas activas con procesos sismogénicos del tipo intraplaca superficial o corticales, ocupando 4 modelos de atenuación para eventos sísmicos de dicho tipo (Abrahamson and Silva, 2008, Ref. 2; Boore and Atkinson, 2008, Ref. 12; Campbell and Bozorgnia, 2008, Ref. 19; Chiou and Youngs, 2008, Ref. 22). Los autores ajustaron los valores obtenidos a un modelo, el cual se puede replicar en cualquier planilla de cálculo u ocupar las rutinas en Matlab preparadas por Baker (Ref. 4). El modelo presenta valores suavizados, razón por la cual se puede ajustar a un modelo simple. Un aspecto importante a destacar es que se hacen los cálculos con respecto a una diferencia espectral ϵ distinta a la presentada en la ecuación 2.1. La definición es más amplia y relaciona el valor de la media geométrica de un espectro de respuesta de aceleración con el valor predicho por un modelo de atenuación, tal como se presenta en la ecuación 2.4:

$$\epsilon(T_i) = \ln(\overline{Sa}(T_i)) - \ln(Sa_{GMPE}(T_i)) \quad (2.4)$$

Se argumenta que calculando las diferencias espectrales ya sea de este modo o con la definición que divide el valor de ϵ por la desviación estándar del modelo de atenuación, se obtienen los mismos resultados para los coeficientes de correlación, razón por la cual los resultados son válidos sin importar la definición de ϵ usada en el cálculo de las correlaciones (Baker and Jayaram, 2008, Ref. 8). La definición del Coeficiente de Correlación se presenta en la ecuación 2.5 y es la misma que se puede encontrar en planillas de cálculo o en Matlab, para distintos periodos T_1 y T_2 , y donde i es un subíndice que recorre la cantidad de registros usados para el cálculo del coeficiente en ese par de periodos. Los valores $\overline{\epsilon(T_1)}$ y $\overline{\epsilon(T_2)}$ corresponden a las diferencias espectrales promedio para esos periodos, es decir el valor medio reportado por los n registros.

$$\rho_{\varepsilon(T_1), \varepsilon(T_2)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i(T_1) - \overline{\varepsilon(T_1)}) \cdot (\varepsilon_i(T_2) - \overline{\varepsilon(T_2)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i(T_1) - \overline{\varepsilon(T_1)})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i(T_2) - \overline{\varepsilon(T_2)})^2}} \quad (2.5)$$

Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) comparan los valores obtenidos ocupando una base de datos de zonas de subducción ocupada por Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) en su modelo de atenuación, con los calculados según la base de datos usada en el modelo de atenuación de Abrahamson and Silva, 2008 (Ref. 2), los que se pueden obtener ocupando el modelo de Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Se obtienen diferencias en los resultados cuando se alejan los periodos de comparación en una proporción elevada, semejanza que se atribuye a los valores cercanos que ambos sets de datos tienen del parámetro $T_{amp1.5}$, definido como el primer periodo donde se alcanza una aceleración espectral igual a 1.5 veces el valor de la aceleración máxima del suelo (PGA). El set de datos de sismos intraplaca superficiales tiene un valor promedio de $T_{amp1.5}$ de 0.1 s, mientras que en zonas de subducción el valor promedio es de 0.08 s. En la Figura 1 se presentan los resultados de este estudio. No se cuenta con un modelo ajustado ni con software disponible para poder replicar los coeficientes de correlación determinados para zonas de subducción.

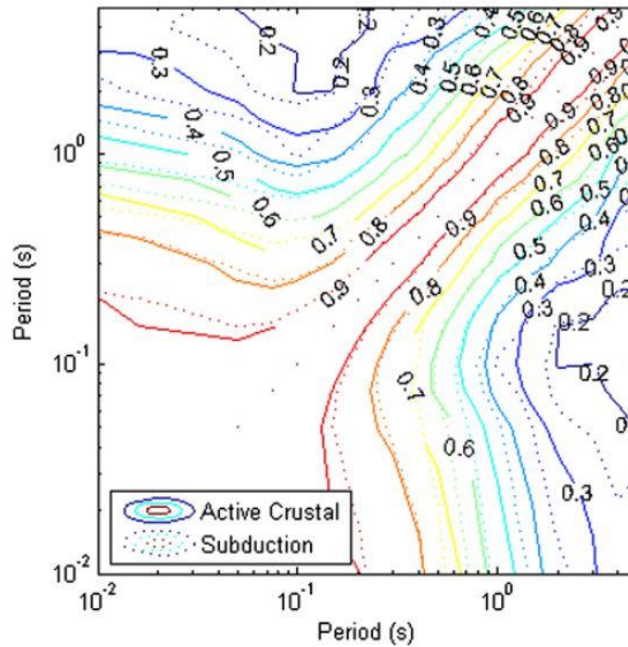


Figura 1: Coeficientes de correlación obtenidos para zonas con sismos superficiales y para zonas de subducción.

2.4 Amplificación en bajas frecuencias

Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) argumentan que es importante tener en cuenta los sets de datos con los que se trabaja cuando dichos registros sean mayoritariamente de roca, debido al contenido de frecuencias. En periodos bajos hay poca energía restante para entrar en resonancia, por lo que el oscilador sigue la respuesta del suelo y no la respuesta de un oscilador de 1 grado de libertad con su periodo natural. La respuesta en periodos cortos está controlada, por lo tanto, por el periodo que sea más afectado por el registro de aceleraciones, el cual es el periodo peak del espectro de respuesta. Esto lleva a que a periodos menores al periodo peak la respuesta (y en consecuencia los valores de ε) esté más correlacionada con el valor de ε en el periodo peak y con los vecinos a este. Este comportamiento se puede ver en las figuras de factores de correlación para periodos fijos como un aumento del valor de correlación en periodos bajos, aun cuando exista una gran diferencia de periodos. En las figuras de curvas de nivel con ambas bandas de periodo recorriendo valores, este comportamiento se muestra como un ensanchamiento de las curvas para periodos bajos. Debido a que el valor del periodo peak difiere para cada espectro, se debe tener en cuenta el efecto que este tiene sobre los resultados. Para esto los autores proponen como parámetro del periodo peak el valor $T_{amp1.5}$, definido como el primer periodo donde se alcance 1.5 veces el valor del PGA.

El ajuste propuesto corresponde a normalizar la banda de periodos de cada espectro usado en el cálculo de los posteriores coeficientes de correlación, por su valor de $T_{amp1.5,i}$, donde el subíndice i indica que corresponde a uno de los registros para el cual se obtiene el vector de ε en toda la banda de periodos normalizados ($T/T_{amp1.5}$). En consecuencia, los factores de correlación se compararán entre pares de valores adimensionales. De esta manera es posible corregir el comportamiento descrito para ε , puesto que en caso de no realizar el ajuste se sobreestiman los factores de correlación en periodos bajos para sitios de roca y se subestiman los valores en sitios de suelo blando. En la Figura 2 se presenta el ajuste propuesto, según las categorías definidas por los mismos autores, el rango alto de $T_{amp1.5}$, esto es, los registros cuyo valor de $T_{amp1.5}$ esté en el rango entre el valor medio de $T_{amp1.5}$ más una desviación estándar y el valor medio más dos veces la desviación estándar, tal como se presenta en la ecuación 2.6, y para el rango bajo de $T_{amp1.5}$ (ecuación 2.7).

$$[\overline{T_{amp1.5}} + \sigma_{T_{amp1.5}}, \overline{T_{amp1.5}} + 2 \cdot \sigma_{T_{amp1.5}}] \quad (2.6)$$

$$[\overline{T_{amp1.5}} - 2 \cdot \sigma_{T_{amp1.5}}, \overline{T_{amp1.5}} - \sigma_{T_{amp1.5}}] \quad (2.7)$$

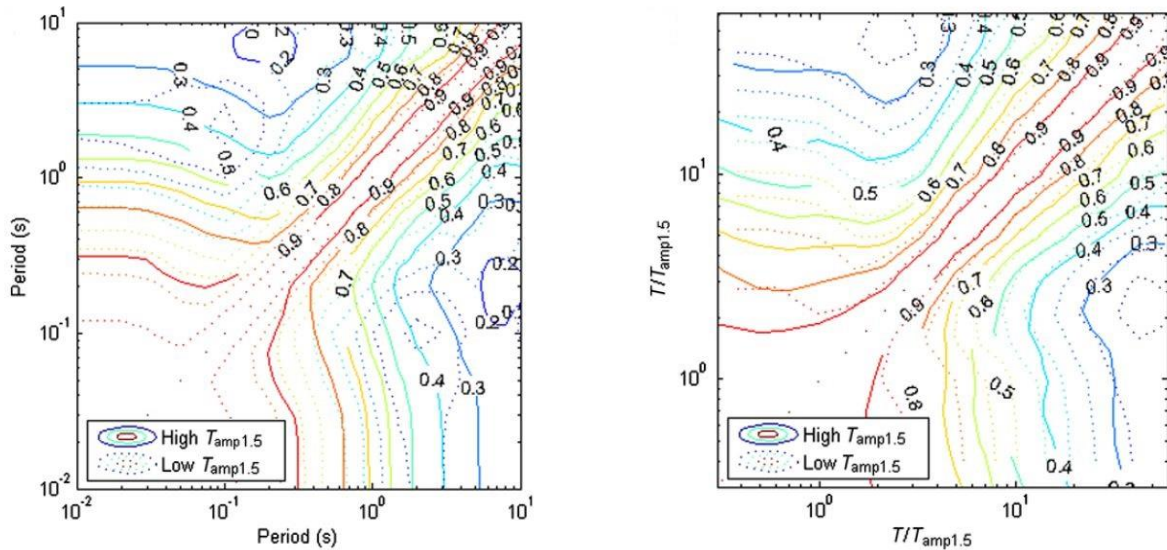


Figura 2: Ajuste propuesto por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20). Izquierda: Factores de correlación separados según rango alto y bajo de $T_{amp1.5}$ antes de realizar el ajuste. Derecha: Factores de Correlación separados por rango luego del ajuste.

Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) postulan que el parámetro que más parece influir en los valores de correlación obtenidos es la forma espectral, en lugar de la base de datos considerada o del modelo de atenuación usado para su determinación, la cual es posible aproximar por el parámetro $T_{amp1.5}$. Esto explica el hecho de que las correlaciones obtenidas para zonas de subducción sean muy similares, en la mayor parte de la banda de periodos, con las obtenidas con datos de registros de eventos del tipo Intraplaca Superficial. Mientras el set de datos de subducción tiene un valor promedio de $T_{amp1.5}$ de 0.08s, los datos de Abrahamson and Silva, 2008 (Ref. 2) tienen un valor promedio de 0.1s.

En los capítulos siguientes se presenta una base de datos robusta, con 139 registros de aceleración de sismos ocurridos en Chile desde 1995 con Magnitud de Momento igual o mayor a 6.5, a partir de los cuales se obtienen las diferencias espectrales y factores de correlación, con el fin de comparar dichos valores con los modelos descritos anteriormente.

Capítulo III: Selección de base de datos de registros sísmicos entre 1995-2014.

3.1 Base de datos RENADIC

Los registros considerados corresponden a 139 registros sísmicos con magnitud de momento reportada igual o superior a 6.5 desde el año 1995 en distintos sectores de Chile, pertenecientes a la Red Nacional de Acelerógrafos (RENADIC Ref.31). Para cada registro se cuenta con dos componentes de aceleración horizontales y una componente de aceleración vertical. En la Tabla 1 se presentan los eventos estudiados y la cantidad de registros asociados a cada uno.

Tabla 1. Registros sísmicos procesados

Fecha evento	Ubicación epicentro	Mw	Registros
30-07-1995	Antofagasta	8.0	1
14-10-1997	Punitaqui	7.1	2
30-11-1999	Mulluri	6.6	3
23-06-2001	Arequipa, Perú	8.4	5
07-07-2001	Cocachacra, Perú	7.6	1
13-06-2005	Iquique	7.8	12
14-11-2007	Tocopilla	7.7	16
15-11-2007	Tocopilla	6.8	1
16-12-2007	Tocopilla	6.7	5
13-11-2009	Pisagua	6.5	11
27-02-2010	Cobquecura	8.8	21
28-02-2010	Licantén	6.6	1
05-03-2010	Concepción	6.5	1
11-03-2010	Pichilemu	6.9	8
16-03-2010	Cobquecura	6.7	1
20-06-2011	Calama	6.5	7
25-03-2012	Constitución	7.0	5
17-04-2012	Maitencillo	6.7	5
31-10-2013	Tongoy	6.5	2
16-03-2014	Iquique	6.7	10
01-04-2014	Iquique	8.2	16
03-04-2014	Iquique	6.5	5
Total eventos			22
Total registros			139

3.2 Variables consideradas en el análisis

Se tienen todos los datos que los modelos de atenuación requieran como parámetro de entrada para obtener el espectro de respuesta de cada registro, siendo estos agrupados en dos categorías: datos geotécnicos tales como la clasificación sísmica del suelo y velocidad de ondas de corte promedio y datos sísmicos dependientes de cada evento y estación. En esta última categoría se encuentra la distancia a la ruptura, la Magnitud de Momento reportada, el mecanismo focal y la profundidad focal. Adicionalmente es necesario definir el vector de periodos a usar, el cual guarda relación con el equipo que registró los datos así como con las dos rutinas de procesamiento del mismo, PSSA 2015 y NGA (desarrolladas y programadas por Rubén Boroschek, Ref. 14).

Los datos recopilados para la base de datos seleccionada son:

- Magnitud de Momento, ubicación y profundidad del hipocentro:

Se obtienen directamente de los reportes generados por el Centro Sismológico Nacional (CSN, Ref.21) o del National Earthquake Information Center (NEIC, Ref.29). En el caso en que existe una diferencia de magnitud entre estas dos referencias se prefieren los datos reportados por CSN.

- Mecanismo focal:

La información de mecanismo focal de cada evento es determinada en función de la profundidad focal. Se establece que eventos con una profundidad del hipocentro mayor a 60 [km] corresponden al mecanismo de Intraplaca con profundidad intermedia. En caso de tener una profundidad menor a este valor límite se consideró el evento con mecanismo Interplaca (Ref.14).

- Ubicación estaciones:

Se determina a partir de la ubicación entregada por los mismos registros o de los datos informados por RENADIC en su última revisión de la ubicación de estaciones (RENADIC, 2012, Ref.32). Los datos son verificados entre los informados por esta fuente y los reportados por distintos estudios que han utilizado los mismos datos (Boroschek et.al ,2012a Ref.15; Contreras, 2008 Ref.23; Macedo, 2013 Ref.28).

- Clasificación del suelo:

Como primera opción se determina a partir de las referencias que han usado las mismas estaciones. Se pudo establecer así según la clasificación de suelos de la NCh433 Of. 1996 (Ref.26) el tipo de suelo para el 87 % de las estaciones. Para el 13% de estaciones cuyos tipo de suelo no estén descritos en las referencias investigadas o bien donde exista discordancia en la información disponible, se usa una metodología para determinar la calidad del suelo basada en la razón de espectros de componentes horizontales sobre la componente vertical (H/V), la que se detalla en el ANEXO B.

- Superficie de ruptura:

Se obtiene el área de ruptura para los eventos posteriores al sismo del Maule 2010. Para los eventos anteriores se utilizan los datos de área de ruptura de la bibliografía disponible. Se realiza un modelamiento del área de ruptura basado en las réplicas del evento principal durante un periodo de 6 meses y en un radio de 300 kilómetros. Se obtienen los datos de todos los eventos ocurridos en dicho lapso y rango de ubicación informados por el Centro Sismológico Nacional (CSN, Ref.21) con la información disponible desde el año 2004 y del National Earthquake Information Center (NEIC, Ref.29) en todos los casos. En el Anexo C se detalla este proceso.

- Periodo de corte

Se determina el periodo hasta el cual el espectro calculado se considera válido a través de la desviación estándar de los espectros de desplazamiento considerando las dos metodologías de procesamiento que se usan y a su vez en función del instrumento utilizado para el registro de los datos. Este proceso se detalla en la sección 3.7.

3.3 Distribución de eventos de la base de datos.

- Magnitud de Momento

En la Tabla 2 y en la Figura 3 se presenta la distribución de los eventos que se estudian de acuerdo a su Magnitud de Momento. Se trabaja con un total de 22 eventos. Los datos de ubicación hipocentral, profundidad focal, hora y fecha del evento y fuente sismogénica se presentan en el Anexo A.

Tabla 2: Eventos según magnitud de momento.

Magnitud Mw	Cantidad de eventos
[6.5 - 7.0)	13
[7.0-7.5)	2
[7.5-8.0)	3
[8.0-8.5)	3
≥ 8.5	1
Total eventos	22

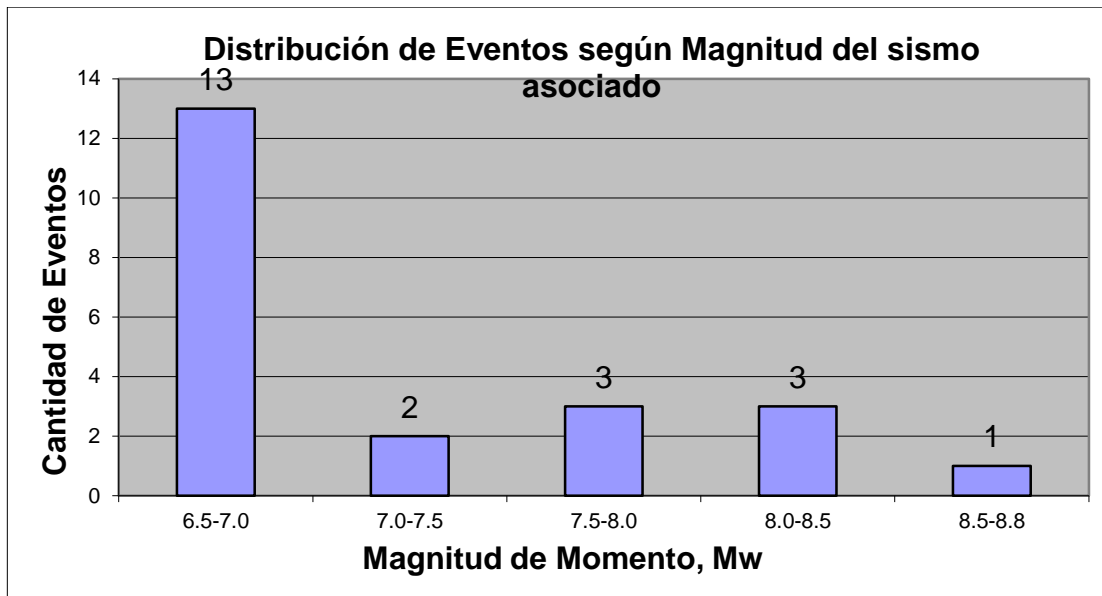


Figura 3: Histograma de eventos según magnitud de momento.

- Cantidad de eventos por año

En la Tabla 3 y en la Figura 4 se presenta la distribución de eventos por cada año del rango analizado.

Tabla 3: Distribución de eventos por año.

Año	Cantidad de eventos
1995	1
1997	1
1999	1
2001	2
2005	1

Año	Cantidad de eventos
2007	3
2009	1
2010	5
2011	1
2012	2
2013	1
2014	3
Total eventos	22

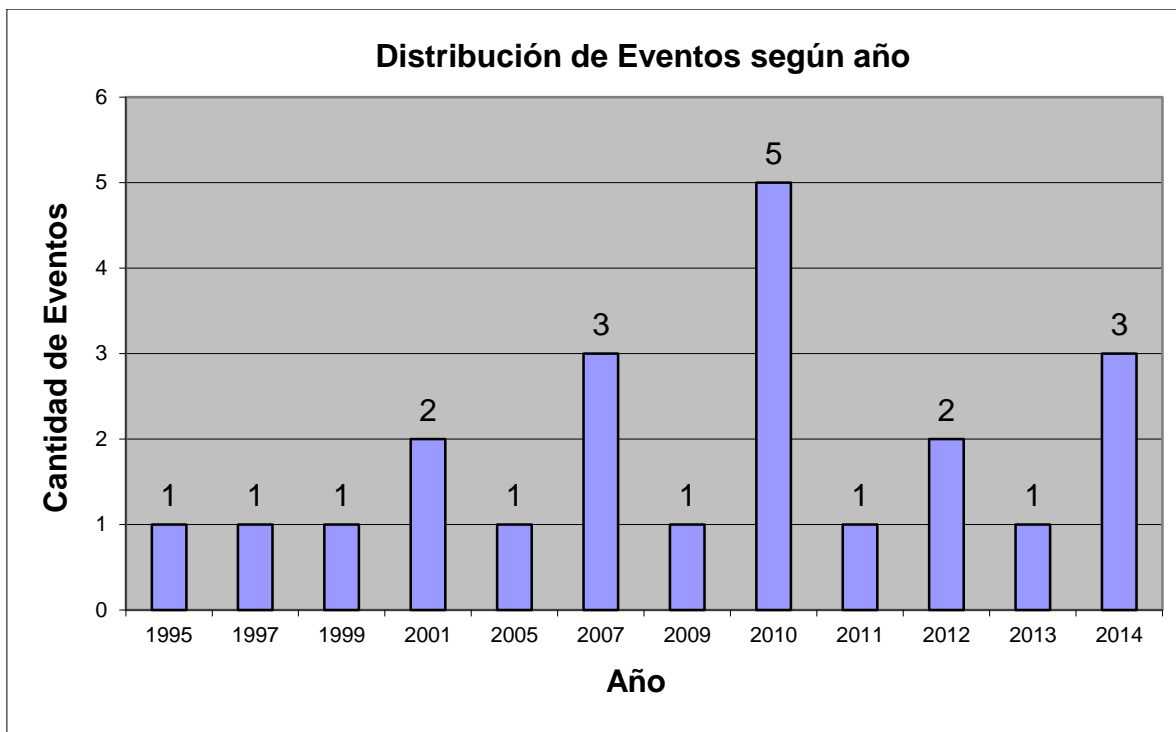


Figura 4: Histograma de eventos según año.

- Mecanismo focal

En la Tabla 4 y en la Figura 5 se presenta la distribución de eventos según su fuente sismogénica. Se estudian sismos de tipo Interplaca e Intraplaca de profundidad intermedia.

Tabla 4: Distribución de eventos según fuente sismogénica.

Fuente sismogénica	Cantidad de eventos
Subducción-Interplaca	18
Subducción-Intraplaca profundidad Intermedia	4
Total eventos	22

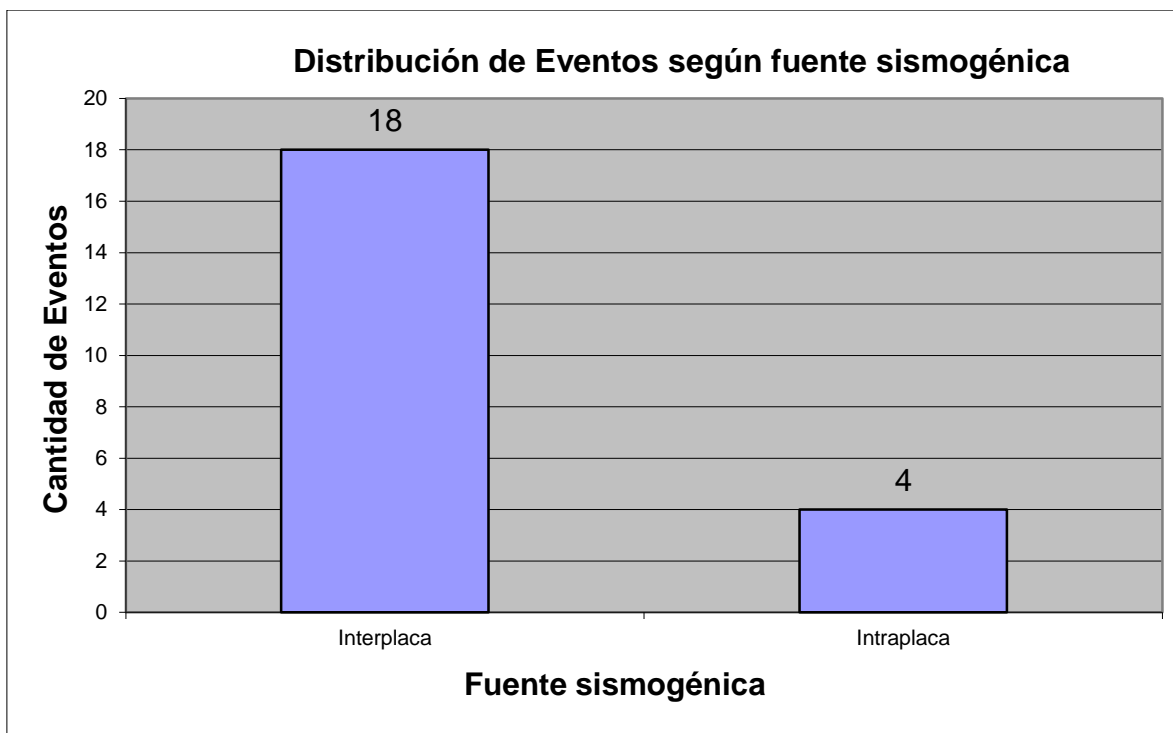


Figura 5: Histograma de eventos según fuente sismogénica.

3.4 Estaciones de registro

- Ubicación estaciones

Se trabaja sobre un total de 55 estaciones pertenecientes a la red RENADIC (Ref.31). La ubicación de estas estaciones se presenta en la Tabla 5. La ubicación se obtiene directamente del registro cuando dicha información se encuentra disponible o de la reportada por RENADIC en su revisión 2012 (RENADIC, 2012, Ref.32). Todas las ubicaciones se comparan con las reportadas según distintas referencias que han utilizado estos mismos datos (Macedo 2013, Ref.28; Boroschek et.al 2012a Ref.15 ; Contreras 2008 Ref.23).

Tabla 5: Ubicación de estaciones de registro.

Nº	Estación	Latitud	Longitud
1	Alto Hospicio	-20.277	-70.099
2	Angol-Hospital	-37.795	-72.706
3	Antofagasta-UCN	-23.681	-70.411
4	Arica-Hospital	-18.483	-70.314
5	Arica-Cementerio	-18.478	-70.308
6	Arica-Cerro La Cruz	-18.491	-70.311
7	Arica-Chacalluta	-18.315	-70.314
8	Arica-Costanera	-18.466	-70.306
9	Calama-Hospital	-22.459	-68.930
10	Concepción-Colegio San Pedro de la Paz	-36.844	-73.109
11	Concepción-Colegio Inmaculada Concepción	-36.828	-73.048
12	Constitución	-35.340	-72.406
13	Copiapó	-27.374	-70.322
14	Maipú-Centro de Referencia de Salud	-33.509	-70.772
15	Curicó	-34.990	-71.236
16	Cuya	-19.160	-70.180
17	El Loa	-21.424	-70.056
18	Santiago Centro-Conjunto Villa Andalucía	-33.467	-70.652
19	Santiago Hospital Luis Tisné Peñalolen	-33.501	-70.579
20	Santiago Hospital Sotero del Rio Puente Alto	-33.577	-70.581
21	Santiago estación Mirador Metro de Santiago	-33.514	-70.606
22	Santiago-Pedro Fontova Huechuraba	-33.365	-70.671
23	Fuerte Baquedano	-20.133	-69.751
24	Hospital Rancagua	-34.168	-70.727
25	Hualañe	-34.977	-71.805
26	Illapel	-31.627	-71.164
27	Iquique Escuela Chipana	-20.252	-70.125
28	Iquique Hospital	-20.214	-70.138
29	Iquique IDIEM	-20.220	-70.142
30	Iquique plaza	-20.213	-70.149
31	Llolleo	-33.616	-71.611
32	Viña del mar-Marga Marga 1	-33.048	-71.510

N°	Estación	Latitud	Longitud
33	Viña del mar-Marga Marga 2	-33.048	-71.510
34	Matanzas	-33.960	-71.873
35	Mejillones-Hospital	-23.103	-70.446
36	Mejillones-EDELNOR	-23.088	-70.411
37	Mejillones-Puerto	-23.076	-70.385
38	Michilla	-22.720	-70.280
39	Papudo	-32.507	-71.448
40	Punta Patache	-20.807	-70.194
41	Pichilemu	-34.388	-72.014
42	Pica	-20.492	-69.330
43	Pisagua	-19.598	-70.214
44	Poconchile	-18.452	-70.068
45	Putre-Retén	-18.195	-69.559
46	San Pedro de Atacama	-22.910	-68.200
47	La Serena-Universidad	-29.909	-71.246
48	Tocopilla-Puerto	-22.090	-70.200
49	Tocopilla-Gobernación	-22.093	-70.201
50	Talca	-35.430	-71.665
51	Valparaíso Almendral	-33.048	-71.604
52	Valparaíso UTFSM	-33.035	-71.596
53	Valdivia	-39.831	-73.239
54	Vallenar	-28.576	-70.755
55	Viña Centro	-33.025	-71.553

- Clasificación del suelo

En la Tabla 6 se presenta la clasificación del suelo de las estaciones de registro. La clasificación corresponde a la definida en NCh433 Of. 1996 (Ref.26) puesto que de acuerdo a la información recopilada no hay datos que permitan establecer una desagregación más completa de tipos de suelo, a excepción de las estaciones donde existen estudios específicos y que permiten asignar una clasificación geotécnica adicional a la que se presenta, tal como la clasificación propuesta por el National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, Ref. 17) o la del Decreto Supremo 61 (DS61, Ref.24)

Tabla 6: Clasificación del suelo para las estaciones de registro.

Nº	Estación	Tipo de Suelo NCh433 Of. 1996	Referencia
1	Alto Hospicio	II	23
2	Angol-Hospital	III	16,28
3	Antofagasta-UCN	I	23
4	Arica-Hospital	II	23
5	Arica-Cementerio	II	23
6	Arica-Cerro La Cruz	I	23
7	Arica-Chacalluta	II	23, Este estudio
8	Arica-Costanera	II	23
9	Calama-Hospital	IV	Este estudio
10	Concepción-Colegio San Pedro de la Paz	III	16
11	Concepción-Colegio Inmaculada Concepción	III	16,28
12	Constitución	III	16
13	Copiapó	II	16, Este estudio
14	Maipú-Centro de Referencia de Salud	III	16
15	Curicó	II	16
16	Cuya	II	23,28
17	El Loa	I	23,28
18	Santiago Centro-Conjunto Villa Andalucía	II	16
19	Santiago Hospital Luis Tisné Peñalolen	III	16
20	Santiago Hospital Sotero del Rio Puente Alto	II	16, Este estudio
21	Santiago estación Mirador Metro de Santiago	II	16
22	Santiago-Pedro Fontova Huechuraba	III	Este estudio
23	Fuerte Baquedano	II	23, Este estudio
24	Hospital Rancagua	II	23
25	Hualañe	II	16
26	Illapel	II	23
27	Iquique Escuela Chipana	III	14,25
28	Iquique Hospital	I	23

Nº	Estación	Tipo de Suelo NCh433 Of. 1996	Referencia
29	Iquique IDIEM	II	23,28
30	Iquique plaza	II	23,28
31	Llolleo	III	16
32	Viña del mar-Marga Marga 1	III	16
33	Viña del mar-Marga Marga 2	III	16
34	Matanzas	III	16
35	Mejillones-Hospital	III	23
36	Mejillones-EDELNOR	III	14,25
37	Mejillones-Puerto	II	23
38	Michilla	I	23
39	Papudo	II	16,28
40	Punta Patache	I	23
41	Pichilemu	II	23
42	Pica	II	23
43	Pisagua	I	23
44	Poconchile	II	23
45	Putre-Retén	II	23
46	San Pedro de Atacama	IV	Este estudio
47	La Serena-Universidad	II	23
48	Tocopilla-Puerto	I	23
49	Tocopilla-Gobernación	II	23
50	Talca	II	16
51	Valparaíso Almendral	III	16
52	Valparaíso UTFSM	I	16
53	Valdivia	III	16
54	Vallenar	II	16
55	Viña Centro	III	16

- Registros por estación

La cantidad de registros disponibles por estación se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Cantidad de registros por estación.

Nº	Estación	Cantidad registros
1	Alto Hospicio	4
2	Angol-Hospital	2
3	Antofagasta-UCN	1
4	Arica-Hospital	3
5	Arica-Cementerio	2

N°	Estación	Cantidad registros
6	Arica-Cerro La Cruz	4
7	Arica-Chacalluta	4
8	Arica-Costanera	2
9	Calama-Hospital	4
10	Concepción-Colegio San Pedro de la Paz	2
11	Concepción-Colegio Inmaculada Concepción	1
12	Constitución	1
13	Copiapó	2
14	Maipú-Centro de Referencia de Salud	2
15	Curicó	2
16	Cuya	1
17	El Loa	4
18	Santiago Centro-Conjunto Villa Andalucía	3
19	Santiago Hospital Luis Tisné Peñalolen	2
20	Santiago Hospital Sotero del Rio Puente Alto	1
21	Santiago estación mirador Metro de Santiago	4
22	Santiago-Pedro Fontova Huechuraba	2
23	Fuerte Baquedano	3
24	Hospital Rancagua	1
25	Hualañe	1
26	Illapel	1
27	Iquique Escuela Chipana	6
28	Iquique Hospital	6
29	Iquique IDIEM	3
30	Iquique plaza	1
31	Llolleo	1
32	Viña del mar-Marga Marga 1	5
33	Viña del mar-Marga Marga 2	3
34	Matanzas	1
35	Mejillones-Hospital	4
36	Mejillones-EDELNOR	1
37	Mejillones-Puerto	3
38	Michilla	2
39	Papudo	1
40	Punta Patache	5

N°	Estación	Cantidad registros
41	Pichilemu	1
42	Pica	7
43	Pisagua	4
44	Poconchile	6
45	Putre-Retén	3
46	San Pedro de Atacama	2
47	La Serena-Universidad	1
48	Tocopilla-Puerto	3
49	Tocopilla-Gobernación	4
50	Talca	1
51	Valparaíso Almendral	1
52	Valparaíso UTFSM	1
53	Valdivia	1
54	Vallenar	1
55	Viña Centro	2
Total registros		139

3.5 Distribución de registros de la base de datos.

En la Figura 6 y Figura 7 se muestran los 139 registros considerados en este estudio, distribuidos según magnitud de momento, distancia a la ruptura, aceleración máxima y tipo de suelo (NCh433 Of. 1996, Ref. 26). En las tablas y gráficos siguientes se detalla la distribución de los registros para estos parámetros.

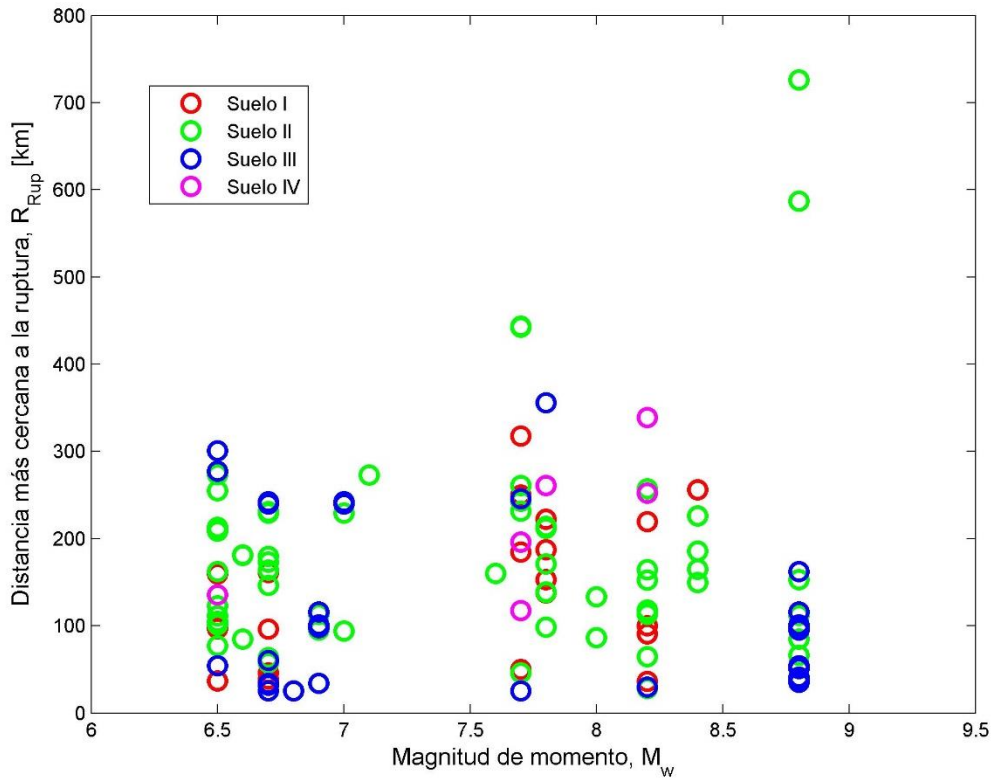


Figura 6: Distancia a la ruptura vs Magnitud de Momento para los 139 registros.

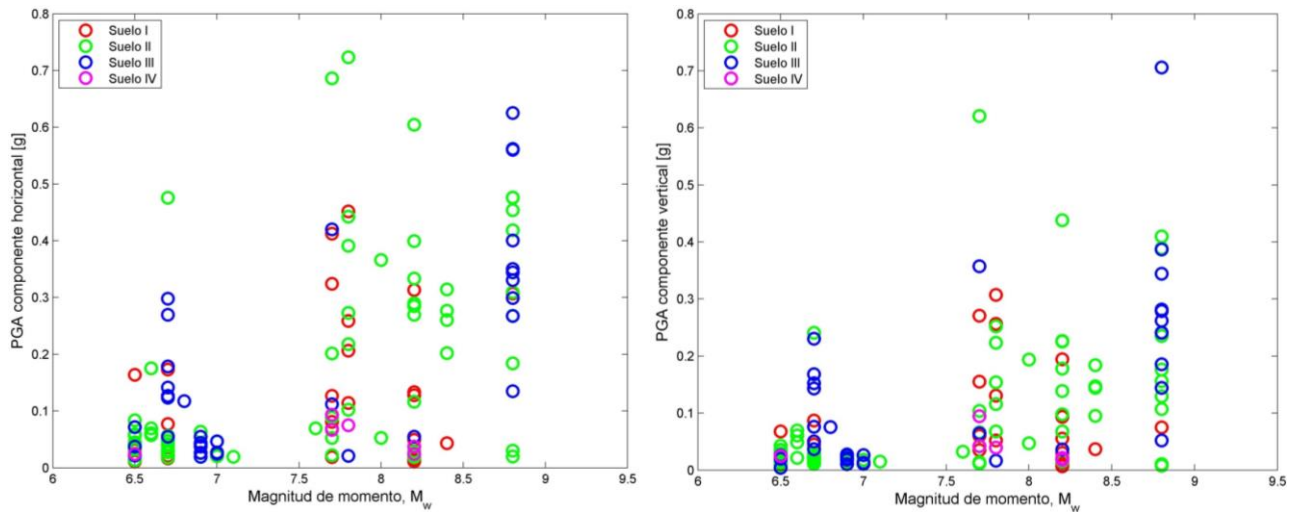


Figura 7: PGA vs Magnitud de Momento para los 139 registros. Izquierda: Máxima componente horizontal. Derecha: Componente vertical.

- Registros por magnitud

En la Tabla 8 y en la Figura 8 se presenta la distribución de registros de acuerdo a su Magnitud de Momento.

Tabla 8: Distribución de registros según magnitud de momento.

Magnitud de Momento Mw	Cantidad de registros
[6.5 - 7.0)	60
[7.0-7.5)	7
[7.5-8.0)	29
[8.0-8.5)	22
≥ 8.5	21
Total registros	139

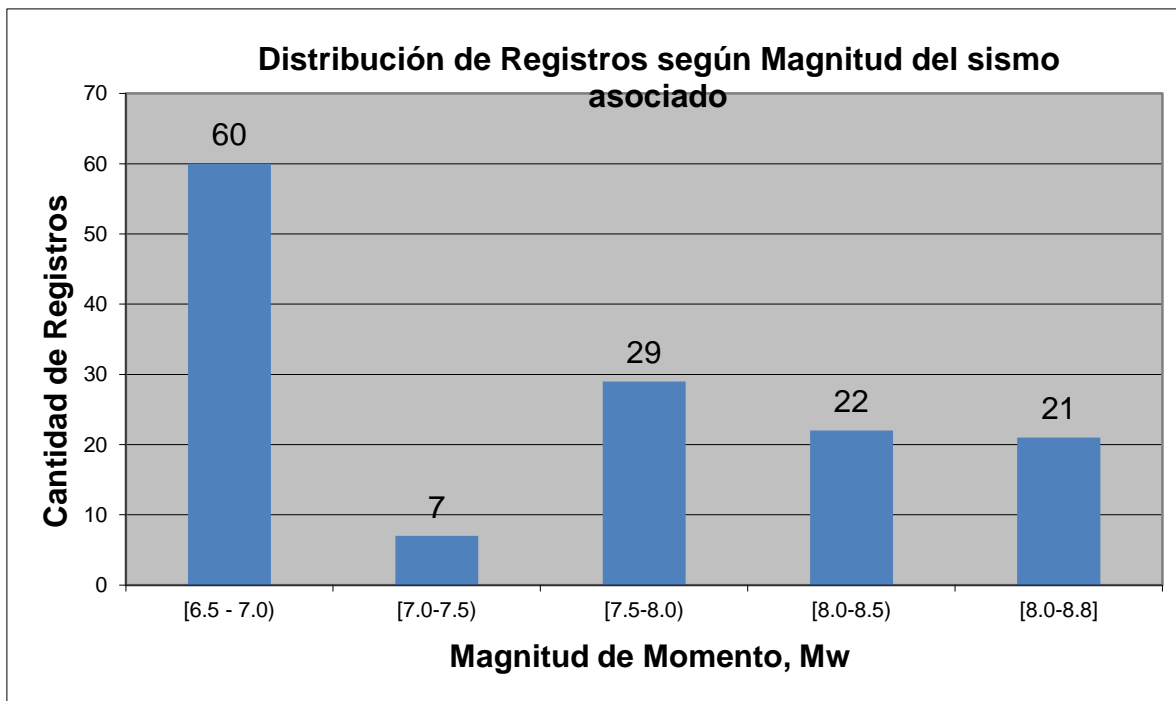


Figura 8: Histograma de registros según magnitud de momento.

- Cantidad de registros por año

En la Tabla 9 y en la Figura 9 se presenta la distribución de registros según el año del evento sísmico asociado.

Tabla 9: Distribución de registros según año.

Año	Cantidad de registros
1995	1
1997	2
1999	3
2001	6
2005	12
2007	22
2009	11
2010	32
2011	7
2012	10
2013	2
2014	31
Total eventos	139

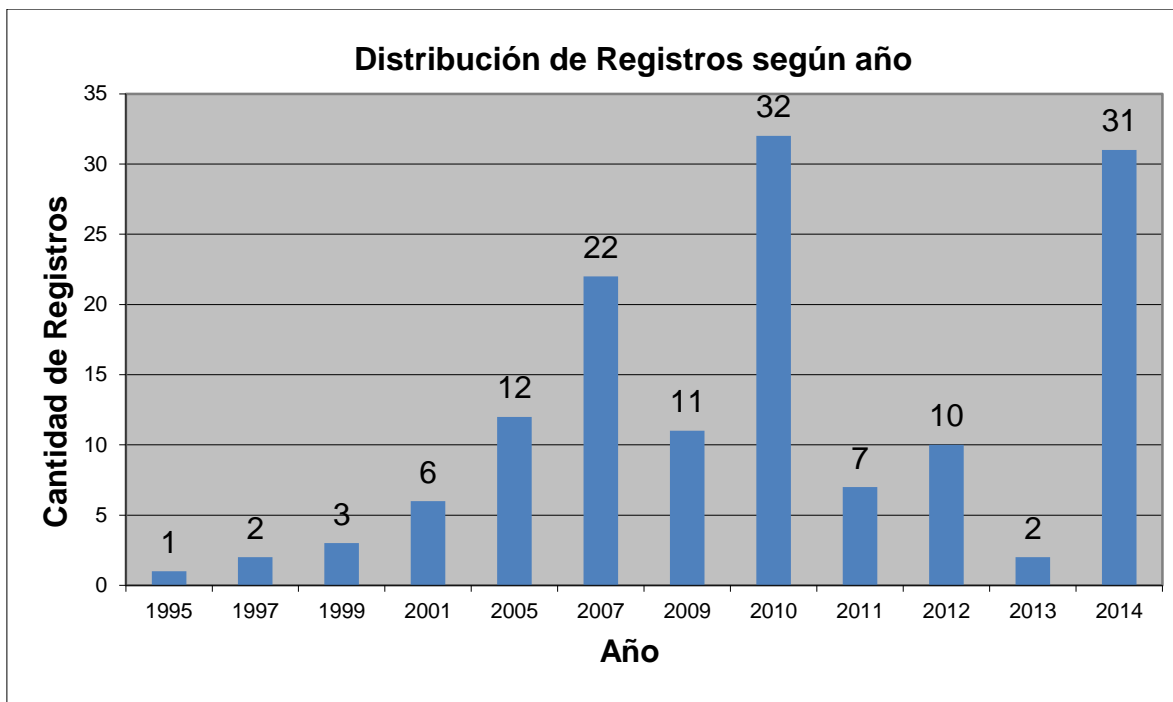


Figura 9: Histograma de registros según año.

- Peak Ground Acceleration, PGA (componente horizontal)

En la Tabla 10 y en la Figura 10 se presenta la distribución de registros según su aceleración máxima (Peak Ground Acceleration, PGA) para la componente horizontal. Se determinó el valor máximo de aceleración entre ambas componentes para cada registro. En la Peak Ground Acceleration, PGA (componente vertical)

se muestran los valores de PGA horizontal según la Magnitud de Momento reportada para cada registro.

Tabla 10: Distribución de registros según aceleración máxima componente horizontal.

PGA [g]	Cantidad de registros
[0.00-0.02)	12
[0.02-0.05)	40
[0.05-0.1)	25
[0.1-0.2)	17
[0.2-0.3)	16
[0.3-0.4)	12
[0.4-0.5)	10
[0.5-0.6)	2

PGA [g]	Cantidad de registros
[0.6-0.7)	3
[0.7-0.8)	1
[0.8-0.9)	0
[0.9-1)	1
Total registros	139

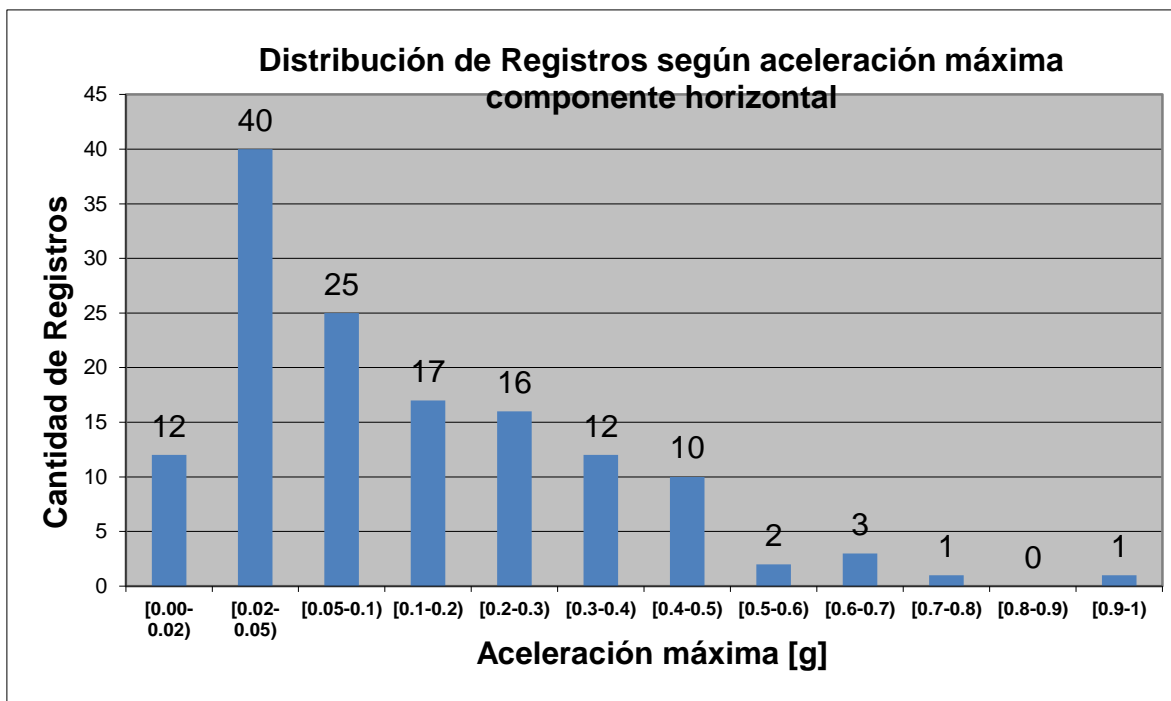


Figura 10: Histograma de aceleraciones máximas (componente horizontal) para los registros estudiados.

- Peak Ground Acceleration, PGA (componente vertical)

En la Tabla 11 y en la Figura 11 se presenta la distribución de registros según su aceleración máxima para la componente vertical. En la se muestran los valores de PGA vertical según la Magnitud de Momento reportada para cada registro.

Tabla 11: Distribución de registros según aceleración máxima componente vertical.

PGA [g]	Cantidad de registros
[0.00-0.02)	40
[0.02-0.05)	33
[0.05-0.1)	21
[0.1-0.2)	21
[0.2-0.3)	14

PGA [g]	Cantidad de registros
[0.3-0.4)	5
[0.4-0.5)	2
[0.5-0.6)	0
[0.6-0.7)	1
[0.7-0.8)	1
[0.8-0.9)	1
[0.9-1)	0
Total registros	139

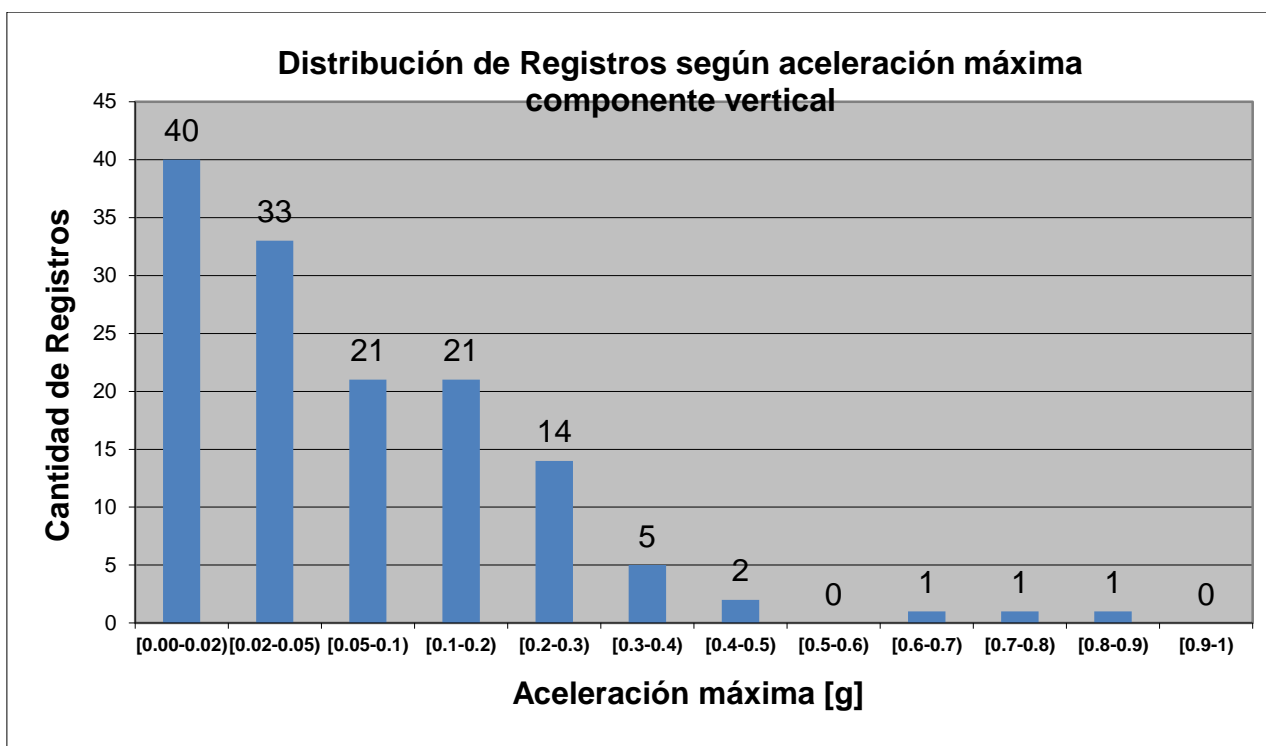


Figura 11: Histograma de aceleraciones máximas (componente vertical) para los registros estudiados.

- Registros según distancia a la ruptura

En la Tabla 12 y en la Figura 12 se presenta la distribución de la distancia más cercana a la ruptura para cada registro. En la siguiente sección se detalla cómo se determina este valor y en el Anexo C la correspondiente área de ruptura asociada.

Tabla 12: Distribución de la distancia más cercana a la ruptura.

Distancia más cercana a la ruptura, Druptura [km]	Cantidad de registros
Druptura < 25	0
$25 \leq$ Druptura < 50	23

Distancia más cercana a la ruptura, Druptura [km]	Cantidad de registros
$50 \leq \text{Druptura} < 100$	28
$100 \leq \text{Druptura} < 200$	50
$200 \leq \text{Druptura} < 300$	30
$300 \leq \text{Druptura} < 400$	4
$400 \leq \text{Druptura} < 500$	2
$500 \leq \text{Druptura} < 600$	1
$600 \leq \text{Druptura} < 700$	0
$700 \leq \text{Druptura} < 800$	1
Total registros	139

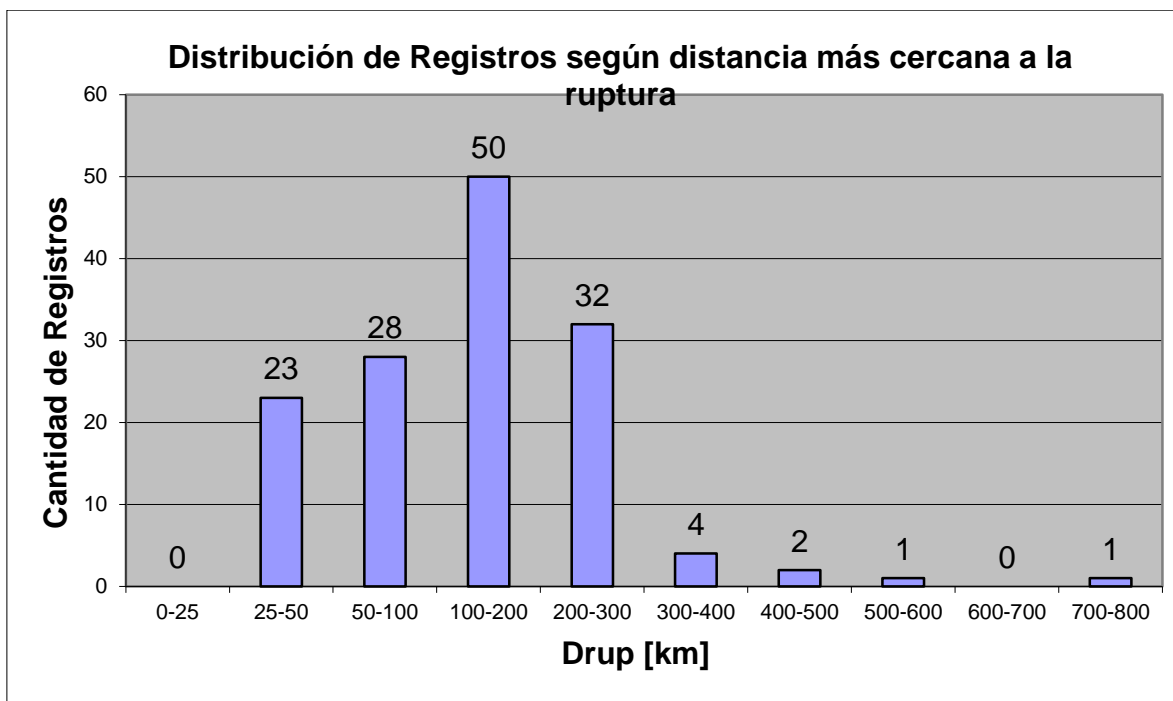


Figura 12: Histograma de la distancia más cercana a la ruptura para los registros estudiados.

- Registros según tipo de suelo

En la Tabla 13 y en la Figura 13 se muestra la distribución de la clasificación sísmica del suelo de cada estación y la cantidad de registros asociados a cada suelo.

Tabla 13: Distribución de clasificación de suelos para los registros estudiados.

Suelo NCh433 Of. 1996	Cantidad de registros
I	30
II	66
III	37
IV	6
Total registros	139

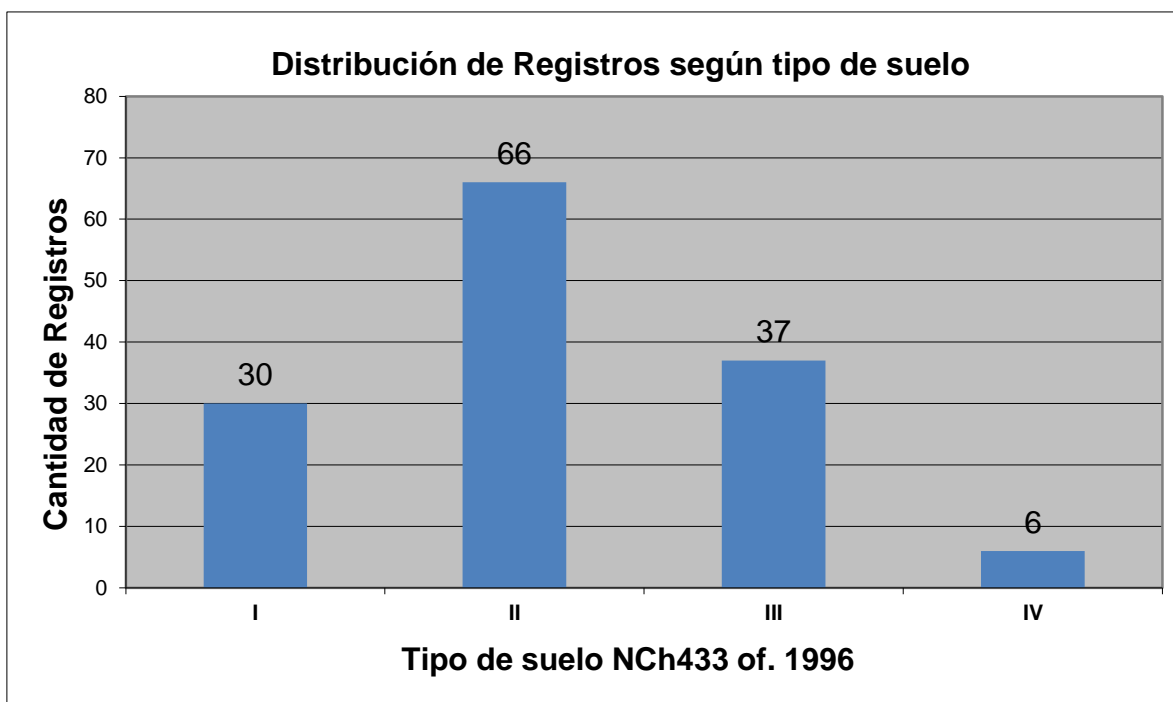


Figura 13: Histograma de clasificación de suelos para los registros estudiados.

3.6 Determinación del área de ruptura y distancia usada para cada registro.

Existen distintas definiciones de distancia a la ruptura, distinguiéndose principalmente las definiciones que miden la distancia entre la estación y un sitio puntual (hipocentro o epicentro), y aquellas que la miden con respecto a una superficie o plano de ruptura. Se presentan las mismas usadas en Contreras, 2008 (Ref.23).

- Distancia mínima a la ruptura r_{rup}
Es la menor distancia desde la estación de registro hasta el plano asociado al área de ruptura.
- Distancia hipocentral r_{hip}
Es la distancia desde la estación de registro hasta el inicio de la ruptura o hipocentro.
- Distancia epicentral r_{epi}
Es la distancia desde la estación de registro hasta la proyección del hipocentro en superficie.

De acuerdo a Contreras, 2008 (Ref.23), se determina el área de ruptura y mínima distancia desde la estación a ella sólo en los casos de sismos con Magnitud de Momento mayor o igual a 6.0. La base de datos seleccionada en este estudio solo cuenta con eventos con Magnitud de Momento mayor o igual a 6.5, por lo que se calcula la distancia mínima a la ruptura en todos los casos en que el evento o la estación no hayan sido estudiados en Contreras, 2008 (Ref.23). Dado que la distancia mínima a la ruptura r_{rup} está asociada a un área de ruptura es necesario modelar esta superficie. Para ello se obtienen los datos de réplicas de un sismo principal en un lapso de 6 meses y en un radio de 300 [km] alrededor del hipocentro. Se utilizan las rutinas computacionales entregadas por el mismo autor (Ref.23) y se determina el área de ruptura en superficie, siendo esta la circunscrita por todas las réplicas analizadas. Con los datos de profundidad de cada réplica se determina el área de ruptura en profundidad a través de 2 métodos, por mínimos cuadrados ajustando los datos a un plano o bien por una interpolación cúbica. Se obtiene la distancia desde la estación de registro hasta este plano o en su defecto hasta la superficie irregular generada por la interpolación cúbica. Por tratarse de un plano en profundidad y dado que las réplicas tienen distintos valores de profundidad focal se prefiere el valor entregado por

la distancia hasta la superficie irregular. No obstante los valores no difieren mayormente entre sí.

En el Anexo C se presenta el área de ruptura de cada evento así como la modelación de esta en superficie y en profundidad a través de los 2 métodos explicados anteriormente.

3.7 Procesamiento de los registros

Se trabaja con las metodologías propuestas por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER, Ref.30). El primer paso del procesamiento es la obtención de un registro en formato .V2 que pueda integrarse para el cálculo de espectros de respuesta para la aceleración, velocidad y desplazamiento, así como las series de tiempo para la aceleración, velocidad y desplazamiento. Adicionalmente, estas metodologías permiten llegar a valores más altos de periodo en el cálculo de espectros de respuesta con menores valores de dispersión entre los valores entregados para distintos periodos de corte (Akkar, 2012, Ref.13), lo que permite su aplicación en estructuras de mayor periodo natural de oscilación. El procesamiento se hace de acuerdo a dos rutinas, llamadas PSSA 2015 y NGA (desarrolladas y programadas por Rubén Boroschek, Ref. 14). El procesamiento por ambas puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Corrección del registro por línea base de modo de que esté centrado con respecto al nivel de aceleración nula.
2. Análisis del Espectro de Amplitud de Fourier para pre-seleccionar los límites de filtrado de acuerdo a la frecuencia mínima y máxima de cada canal de aceleración.
3. Filtrado del registro de acuerdo a los periodos seleccionados. Usando un filtro Butterworth acausal se hace de acuerdo a la frecuencia mínima escogida en el Espectro de Amplitud de Fourier para cada canal y de acuerdo a una frecuencia máxima única para todos los canales correspondiente a la mínima de las tres frecuencias máximas escogidas en el análisis del Espectro de Amplitud de Fourier. Adicionalmente, se

escoge el amortiguamiento deseado para el cálculo de los espectros de respuesta, el cual fue para todos los casos de un 5%.

Se obtiene la aceleración corregida y sus correspondientes espectros de desplazamiento para 8 valores de periodo (5s, 10s, 15s, 20s, 25s, 30s, 35s, 40s) para cada metodología, dando un total de 16 curvas de espectro de desplazamiento para cada registro, por canal. Una vez que se determinan estas 16 curvas se calcula el valor máximo de periodo hasta el cual es posible calcular el espectro con valores legítimos, por canal. Esto se hace a través de la desviación estándar de los distintos valores de desplazamiento entregados por el espectro, como medida de dispersión de los datos. Se establece como valor límite para la desviación estándar $\sigma_{sd} = 0.5$ [cm]. El algoritmo recorre todos los valores de periodo hasta encontrar el punto donde se superaba este valor de desviación estándar arrojando dicho periodo de corte para el canal analizado.

En la Tabla 14 y en la Figura 14 se muestra la distribución de los registros según el acelerógrafo que fue usado para su obtención. Esto se presenta puesto que dependiendo de la calidad del equipo se establece un valor de periodo de corte para la obtención de los distintos espectros en función del instrumento. Cualitativamente se determinó que los acelerógrafos SMA-1 corresponden a los de peor calidad y los equipos K2 se encuentran dentro de la mejor tecnología para el registro de aceleraciones disponibles en el mercado (Boroschek, 2016 ,Ref.14). En consecuencia los datos se presentan en orden creciente de calidad.

Tabla 14: Distribución de registros según instrumento de la estación de registro.

Instrumento	Cantidad de registros
SMA-1	25
QDR	32
CUSP-3A	5
SSA2	5
ETNA	66
K2	6
Total registros	139

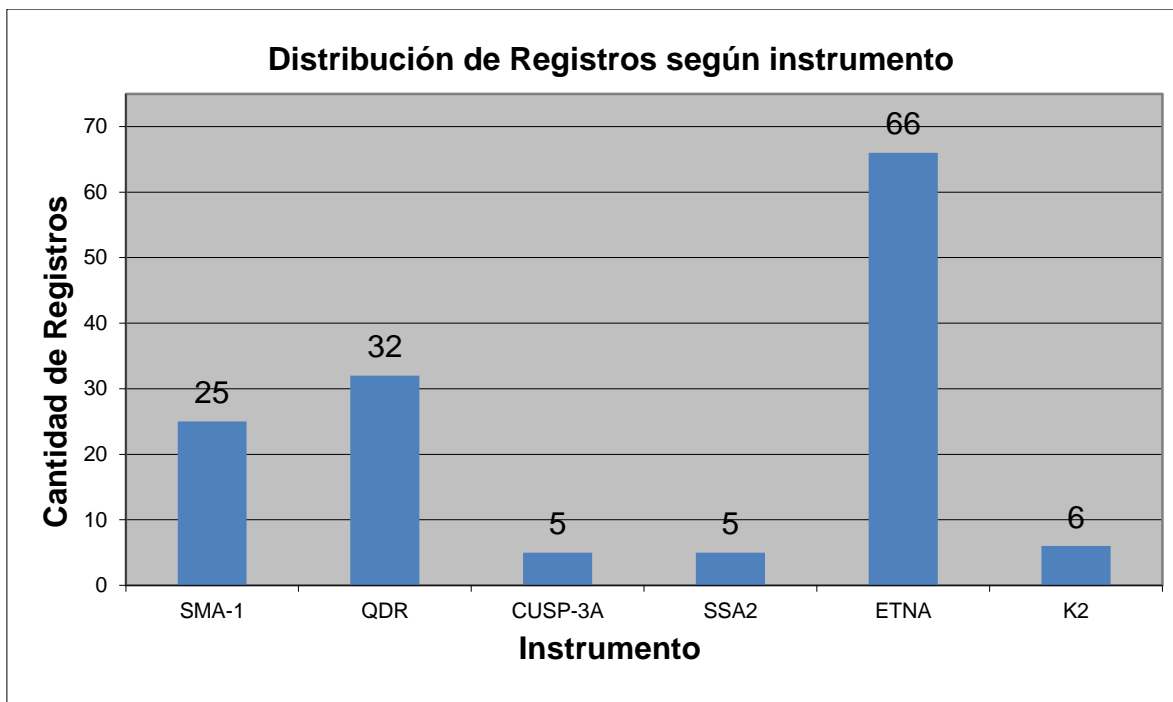


Figura 14: Histograma de acelerógrafos para los registros estudiados.

En la Tabla 15 se presenta el valor de periodo de corte establecido para cada instrumento (Boroschek, 2016, Ref.14).

Tabla 15: Periodo de corte en función del equipo de registro.

Equipo	Periodo de corte equipo [s]
SMA-1	4
QDR	8
CUSP-3A	8
SSA2	6
ETNA	10
K2	10

- Registros según periodo de corte

Con la información anterior se determina hasta qué valor se calculan los espectros de respuesta de aceleración necesarios para la obtención de los factores de correlación. Se establece para cada registro el valor mínimo entre el periodo de corte obtenido del procesamiento a través de la dispersión de los datos ($\sigma_{sd} = 0.5$ [cm]) y el periodo de corte asociado al instrumento que registró los datos de aceleración. Luego se establece como valor de periodo de corte el mínimo valor entre los 3 canales del registro.

En el Anexo D se muestran los distintos valores de periodo de corte que se obtienen para cada canal de cada registro. En la Tabla 16 y en la Figura 15 se presenta la distribución de los valores de corte finales para cada registro

Tabla 16: Distribución de periodos de corte.

Periodo de corte [s]	Cantidad de registros
[2-3)	5
[3-4)	6
[4-5)	22
[5-6)	1
[6-7)	7
[7-8)	1
[8-9)	31
[9-10)	0
10	66
Total registros	139

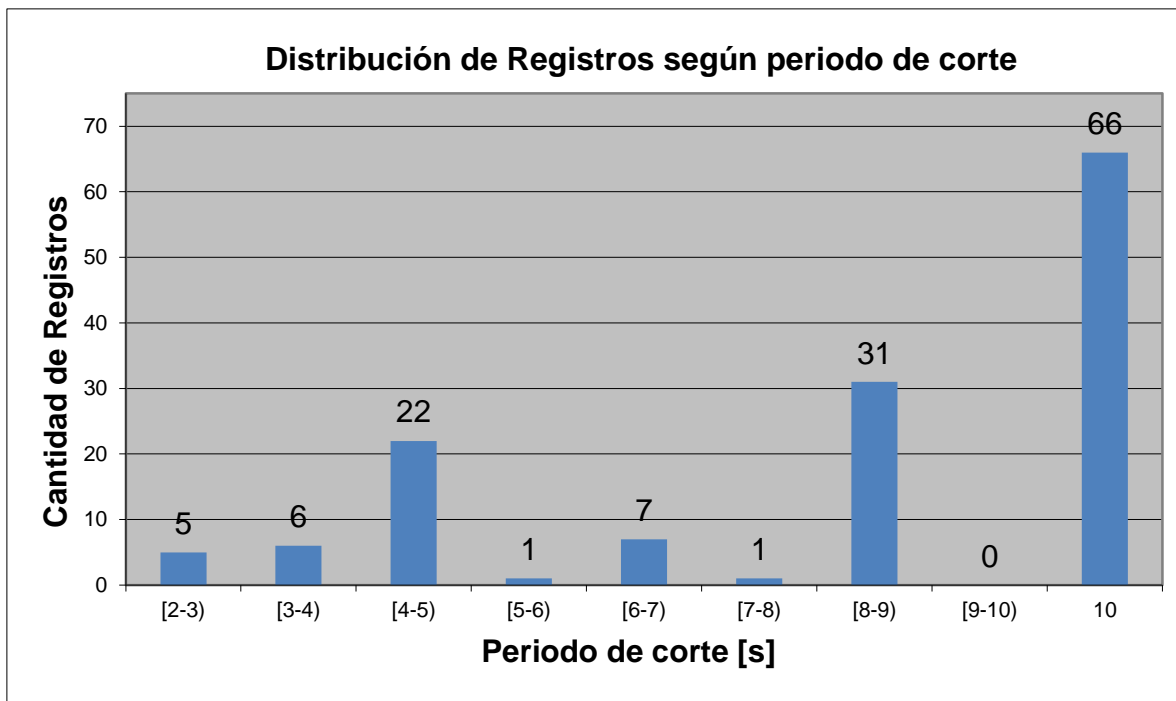


Figura 15: Histograma de periodos de corte para los registros estudiados.

Capítulo IV: Obtención de los factores de correlación

En el cálculo del Espectro Medio Condicional se necesita determinar los factores de correlación, los cuales son un parámetro estadístico (Coeficiente de Correlación de Pearson) para la diferencia de amplitud espectral entre el espectro de respuesta de aceleración para cada registro y el valor predicho por una curva de atenuación entre diferentes valores de periodo. Se puede fijar un periodo, lo que en el cálculo del Espectro Medio Condicional se llama periodo condicionante T^* o bien obtener los factores entre distintos pares de periodo e identificar curvas de nivel asociadas a un mismo valor de correlación. En este capítulo se presentan los factores de correlación que se obtienen a partir de los registros procesados presentados en el Capítulo III, para distintos modelos de atenuación, distintos valores de periodo condicionante y desagregando los resultados según fuente sismogénica (interplaca o intraplaca), tipo de suelo (roca o suelo) y según la distribución de los registros con respecto a su valor de $T_{amp\ 1.5}$, parámetro que se presenta en la sección 2.4. Se presentan los resultados de la corrección propuesta para zonas de subducción de acuerdo a su valor de $T_{amp\ 1.5}$ (Carlton, 2014, Ref. 20).

La diferencia de amplitud espectral para un período específico se define como la diferencia entre ordenadas espectrales logarítmicas de la media geométrica de ambas componentes horizontales de un registro de aceleraciones para un sismo dado y una estación en particular, y el valor predicho por un modelo de atenuación para la ubicación de la estación, sus características geotécnicas y los datos característicos propios del sismo asociado (Baker et. al, 2008, Ref. 8). La ecuación 4.1 muestra la definición de ε y en la Figura 16 se muestran los valores de ε obtenidos para dos valores de periodo en un registro de aceleraciones de Copiapó durante el sismo del 27 de Febrero de 2010, Mw 8.8, usando el modelo de atenuación de Boroschek y Contreras (2012b, Ref. 16). Se muestra el eje de las ordenadas espectrales en unidades de aceleración de la gravedad, g, y en términos del logaritmo natural de dicha aceleración espectral, de modo de ver el valor de épsilon directamente.

$$\varepsilon(T_i) = \ln(\overline{S\ddot{a}}(T_i)) - \ln(Sa_{GMPE}(T_i)) \quad (4.1)$$

Donde $\overline{S\ddot{a}}(T_i)$ corresponde a la media geométrica de la aceleración espectral de las componentes horizontales para el periodo T_i y $Sa_{GMPE}(T_i)$

es el valor predicho para la aceleración espectral dado un valor de periodo T_i .

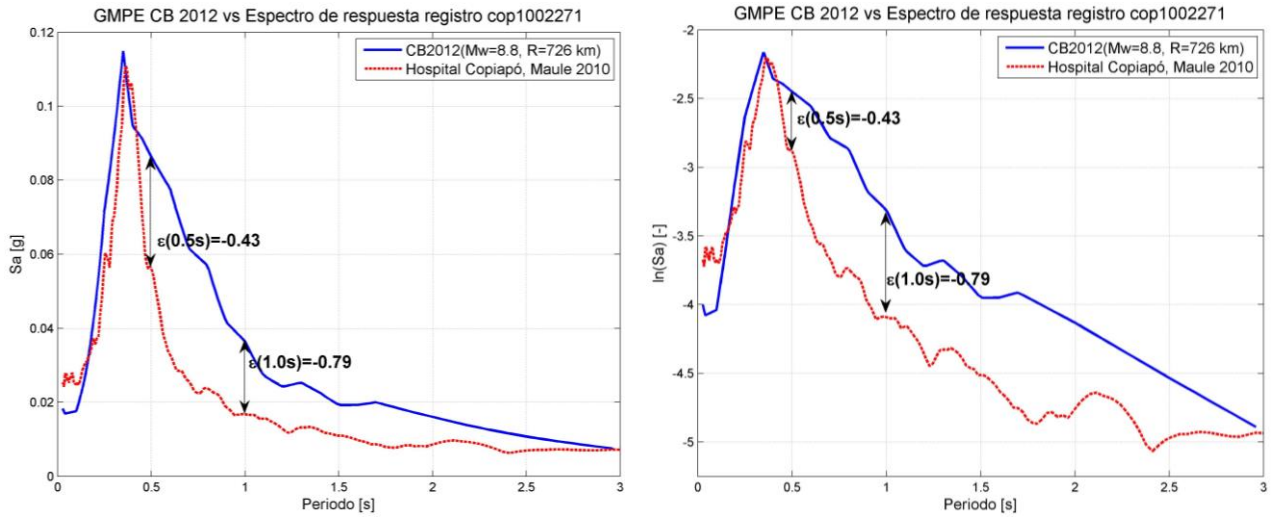


Figura 16: Valores de ε para dos valores de periodo usando el modelo de atenuación de Boroschek y Contreras (2012b, Ref. 16). Izquierda: Ordenadas en g. Derecha: Ordenadas en logaritmo natural del espectro, $\ln(Sa)$.

Se trabaja con la definición del Coeficiente de Correlación de Pearson presentada por Baker y Jayaram, 2008 (Ref. 8) para valores de ε en diferentes periodos T_1 y T_2 , i es un subíndice que recorre la cantidad de registros usados para el cálculo del coeficiente. En la ecuación 4.2 se muestra la definición empleada en este estudio.

$$\rho_{\varepsilon(T_1),\varepsilon(T_2)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i(T_1) - \overline{\varepsilon(T_1)}) \cdot (\varepsilon_i(T_2) - \overline{\varepsilon(T_2)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\varepsilon_i(T_1) - \overline{\varepsilon(T_1)})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i(T_2) - \overline{\varepsilon(T_2)})^2}} \quad (4.2)$$

4.1 Curvas de atenuación usadas.

Se obtuvieron las curvas de aceleración espectral para cada registro usando cuatro modelos de atenuación recopilados de la literatura para zonas de subducción. El modelo de atenuación de Young et. al (1997, Ref. 34), el cual ocupa una base de datos con 174 eventos en zonas de subducción tales como Alaska, Chile y México, el modelo de atenuación de Zhao et al (2006, Ref.35) , desarrollado con registros de aceleraciones de Japón hasta el sismo del 26 de Septiembre de 2003, Tokachi-Oki Mw 8.3 y sus réplicas. El modelo de atenuación de Boroschek y Contreras (2012b, Ref. 16), única relación de atenuación obtenida a partir de datos únicamente registrados en Chile, incluyendo el sismo del 27 de Febrero de 2010, Maule Mw 8.8, y el modelo de Abrahamson et. al (2012, Ref.1), calculado con datos para zonas de subducción alrededor de todo el mundo, incluyendo Chile.

A continuación se presentan los datos de entrada de cada modelo así como sus rangos de aplicación según los valores de periodo a usar y la magnitud máxima de cada estimación. Todos los modelos trabajan con datos asociados al evento sísmico (mecanismo focal, profundidad focal, magnitud reportada) y con información propia de la estación donde se registraron las aceleraciones (distancia más cercana a la fuente, tipo de suelo).

- Young et. al, 1997 (Ref.34)

Periodo de aplicación entre 0 y 3[s].

M_w : Magnitud de momento.

R_{rup} : Distancia más cercana a la ruptura [km].

H : Profundidad focal [km].

F : Mecanismo focal. Toma el valor 0 cuando el sismo es interplaca y el valor 1 cuando es del tipo intraplaca.

Suelo: Toma el valor 0 si es roca y el valor 1 si es otro tipo de suelo, según la clasificación de NCh433 Of. 1996 (Ref. 26).

Este modelo tiene una magnitud máxima posible de $M_w = 8.5$ en sismos interplaca y $M_w = 8.0$ en sismos intraplaca.

- Zhao et. al, 2006 (Ref.35)

Periodo de aplicación entre 0 y 5 [s].

M_w : Magnitud de momento.

R_{rup} : Distancia más cercana a la ruptura [km].

H : Profundidad focal [km].

S : Mecanismo focal. Toma el valor 'I' para sismos interplaca y 'S' para sismos del tipo intraplaca.

Suelo: Clasificación de suelos propuesta por el National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, Ref. 17).

Este modelo tiene una magnitud máxima posible de $M_w = 8.5$ en sismos interplaca y $M_w = 8.0$ en sismos intraplaca.

- Boroschek y Contreras, 2012b (Ref.16)

Periodo de aplicación entre 0 y 3 [s].

M_w : Magnitud de momento.

R_{rup} : Distancia más cercana a la ruptura [km].

H : Profundidad focal [km].

F : Mecanismo focal. Toma el valor 0 cuando el sismo es interplaca y el valor 1 cuando es del tipo intraplaca.

Suelo: Toma el valor 0 si es roca y el valor 1 si es otro tipo de suelo, según la clasificación de NCh433 Of. 1996 (Ref. 26).

Este modelo tiene una magnitud máxima posible de $M_w = 8.8$ en sismos interplaca y $M_w = 8.0$ en sismos intraplaca.

- Abrahamson et. al , 2012 (Ref.1)

Periodo de aplicación entre 0 y 10 [s].

M_w : Magnitud de momento.

Z_h : Profundidad focal [km]. Solo en sismos intraplaca.

R : Distancia más cercana a la ruptura en sismos interplaca [km], distancia hipocentral en sismos intraplaca [km].

F_{event} : Mecanismo focal. Toma el valor 0 cuando el sismo es interplaca y el valor 1 cuando es del tipo intraplaca.

F_{FABA} : Sitio antearco o trasarco. Toma el valor 0 si es antearco o desconocido y el valor 1 si es trasarco.

Velocidad de ondas de corte promedio en los primeros 30 m. Este modelo tiene una magnitud máxima posible de $M_w = 9.0$ en sismos interplaca y $M_w = 8.0$ en sismos intraplaca.

En consecuencia, fue necesario determinar los parámetros requeridos para la totalidad de los registros sísmicos, lo que se detalla en el Capítulo III. En el caso del modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref.1) fue necesario determinar el parámetro Vs_{30} , Velocidad de ondas de corte promedio en los primeros 30 m de profundidad. Este valor se obtuvo al momento de determinar la clasificación del suelo para un total de 25 estaciones (45% de las estaciones). Para las otras 30 estaciones se determina el valor de Vs_{30} como el promedio entre los valores extremos del rango de la clasificación propuesta por el National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, Ref.17). A partir de la información de período de corte (Anexo D) de cada registro y de acuerdo a su Magnitud de Momento reportada, se fue reduciendo la cantidad de registros usados en el cálculo de cada factor de correlación a medida que se aumentaba el periodo o si es que la magnitud fuese superior al máximo valor permitido por cada curva de atenuación. En la Tabla 17 se presenta la máxima y mínima cantidad de registros usados, valores asociados al mínimo y máximo periodo usado en la banda de periodos, respectivamente.

Tabla 17: Cantidad de registros usados con cada modelo de atenuación.

Modelo de atenuación	Máxima cantidad de registros usados	Mínima cantidad de registros usados
Young et al., 1997 (Ref. 34)	118	116
Zhao et al., 2006 (Ref. 35)	118	97
Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16)	139	134
Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1)	139	66

De este modo el cálculo de factores de correlación que en toda su banda de periodos ocupa la mayor cantidad de datos es el de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). A su vez el cálculo de los factores de correlación que en los últimos valores de la banda de periodos cuenta con menor cantidad de registros es el de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1), lo que se explica debido a que un porcentaje importante de los registros (53%) tiene un periodo de corte inferior a 10s.

4.2 Diferencias espectrales, ε

En las siguientes figuras se presentan los valores de ε entre distintos valores de periodo como primera aproximación a orientar los resultados de los factores de correlación. Estas figuras permiten identificar tendencias en los valores que indican correlaciones altas (cercanas a 1) o bajas (cercanas a 0) para distintos puntos de evaluación de ε . Se presenta en línea negra continua la recta asociada a la correlación entre ambos valores de periodo, de modo de identificar si la correlación es alta o baja. En línea segmentada se presenta la recta asociada a la identidad, esto es correlación igual a 1. Se desagregan los resultados en siete categorías para cada modelo de atenuación: Caso Base, solo considerando registros en Roca (Suelo I según la clasificación de la NCh433 Of. 1996, Ref.26), solo considerando registros en Suelo (Suelos II, III y IV según la misma clasificación anterior), solo considerando registros de eventos sísmicos del tipo interplaca, solo considerando registros de eventos del tipo intraplaca, solo registros en el rango alto de $T_{amp\ 1.5}$ y finalmente solo registros en el rango bajo de $T_{amp\ 1.5}$. La desagregación se presenta en la Figura 17.

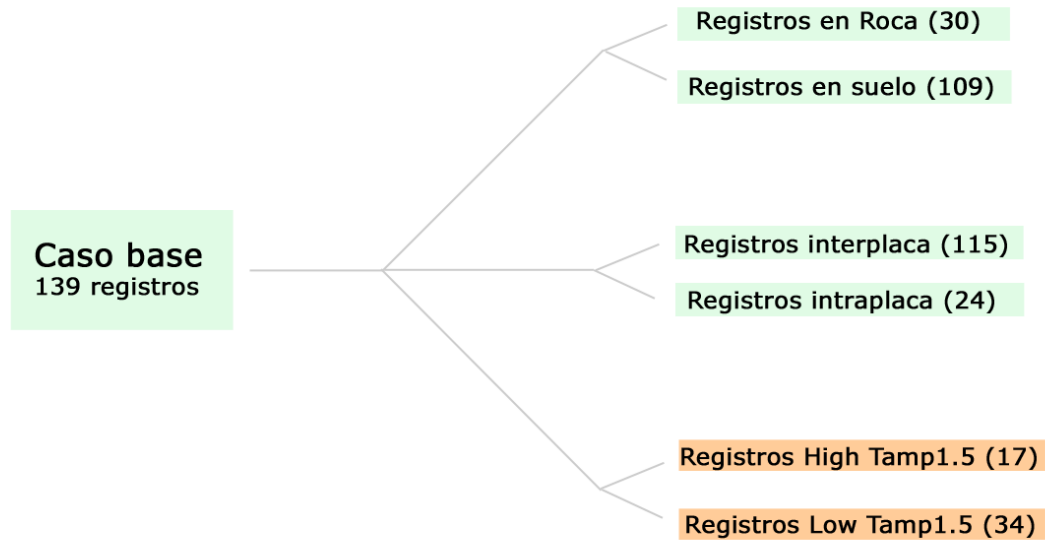


Figura 17: Casos analizados en la desagregación según tipo de suelo, según fuente sismogénica y según el rango de $T_{amp1.5}$ para cada modelo de atenuación.

En el caso de la desagregación por rango de $T_{amp1.5}$ existen menos registros analizados (51 registros) debido a la definición de los rangos altos y bajos para este parámetro, tal como se explica en la sección 2.4. Adicionalmente, este número disminuye aún más para los modelos de Young et al., 1997 (Ref. 34) y Zhao et al., 2006 (Ref. 35), debido a que limitan la máxima Magnitud de Momento de las aceleraciones que se intenta modelar. En consecuencia para estos dos modelos se cuenta con 10 registros para el rango alto de $T_{amp1.5}$ y con 33 registros para el rango bajo de este parámetro.

4.2.1 Modelo de Young et al., 1997 (Ref.34).

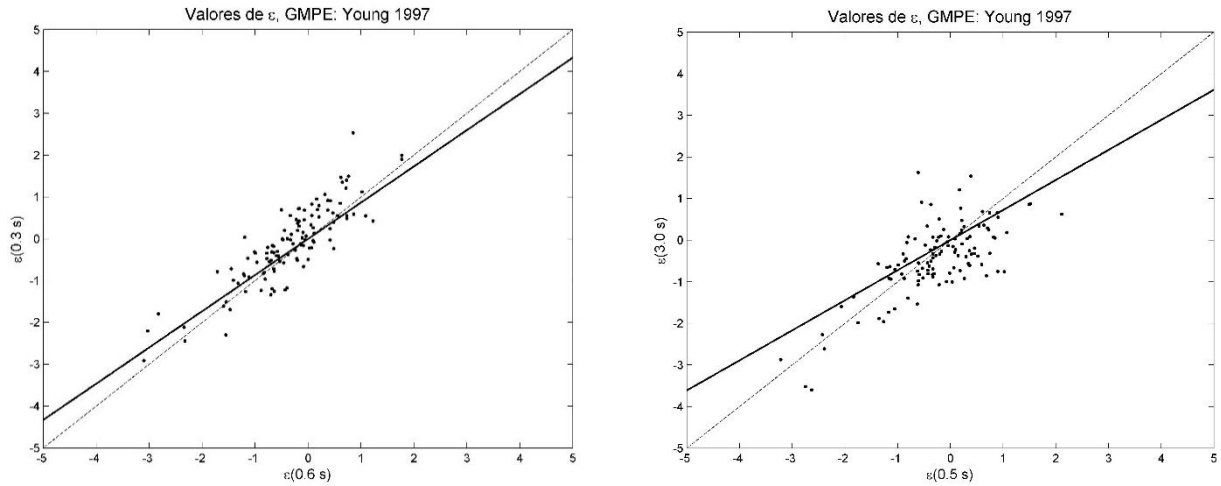


Figura 18: Valores de ε para el Caso Base usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\varepsilon(0.3\text{s})$ vs $\varepsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\varepsilon(3.0\text{s})$ vs $\varepsilon(0.5\text{s})$.

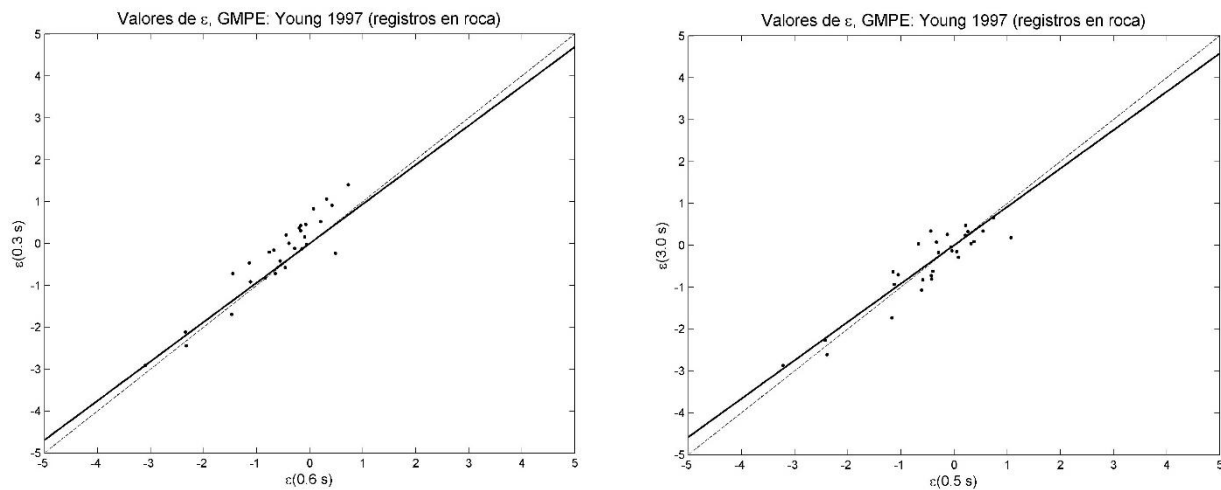


Figura 19: Valores de ε para registros en Roca usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\varepsilon(0.3\text{s})$ vs $\varepsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\varepsilon(3.0\text{s})$ vs $\varepsilon(0.5\text{s})$.

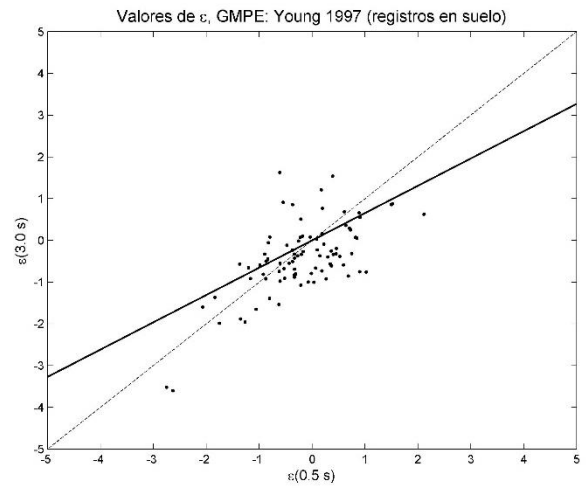
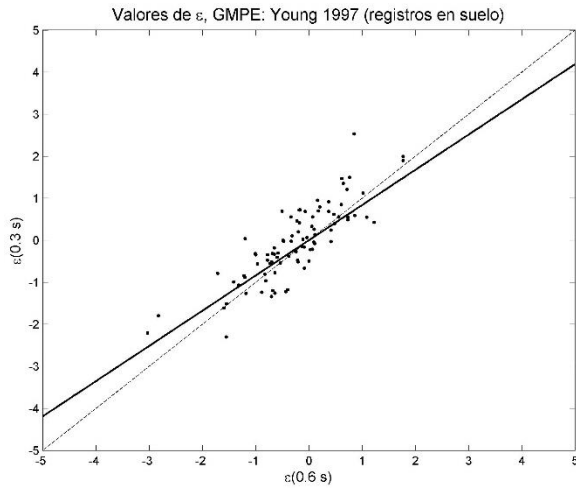


Figura 20: Valores de ϵ para registros en Suelo usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

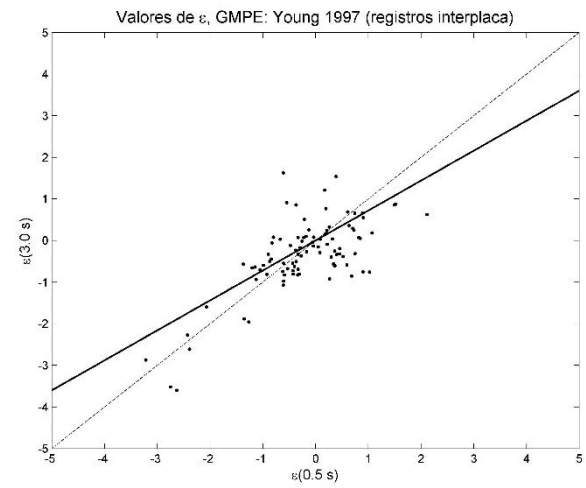
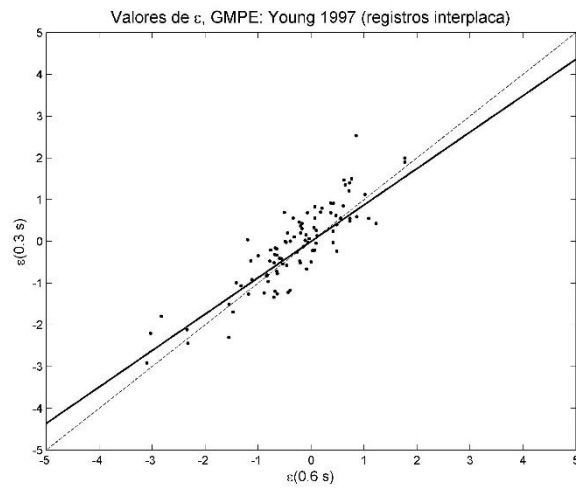


Figura 21: Valores de ϵ para registros de sismos interplaca usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

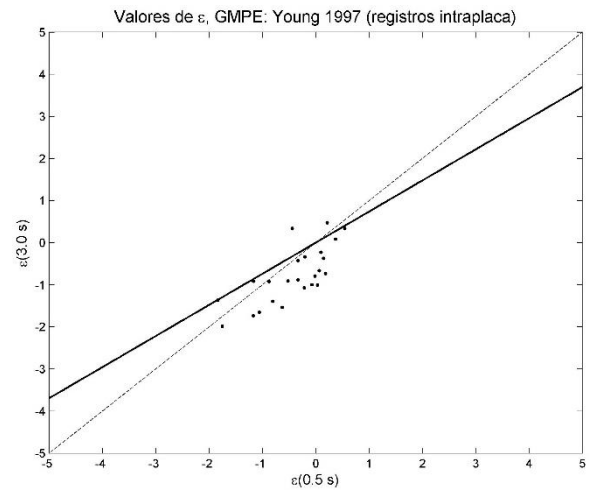
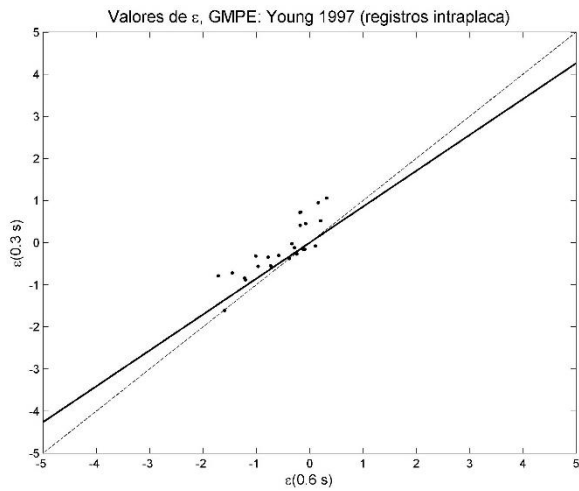


Figura 22: Valores de ε para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\varepsilon(0.3\text{s})$ vs $\varepsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\varepsilon(3.0\text{s})$ vs $\varepsilon(0.5\text{s})$.

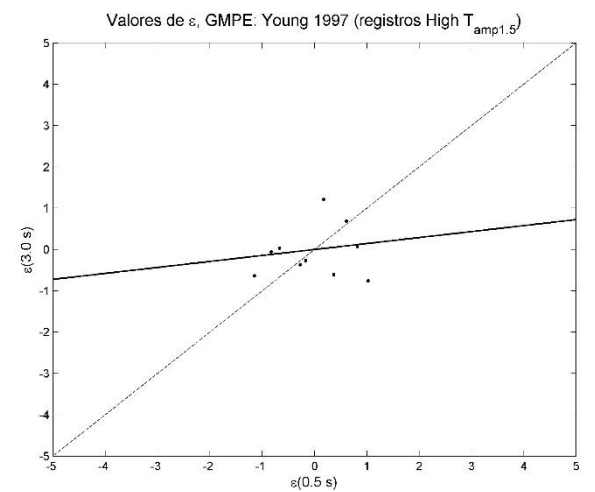
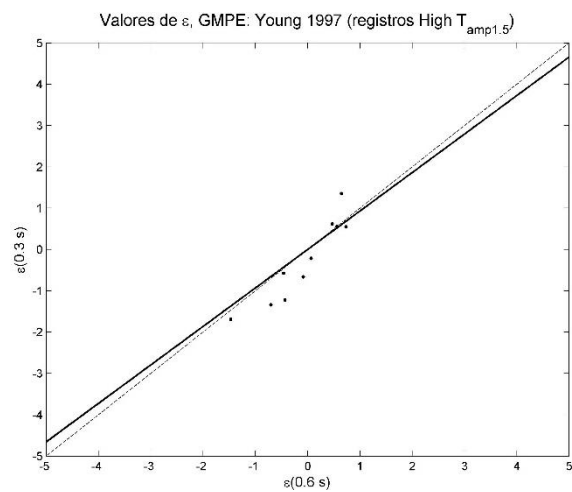


Figura 23: Valores de ε para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\varepsilon(0.3\text{s})$ vs $\varepsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\varepsilon(3.0\text{s})$ vs $\varepsilon(0.5\text{s})$.

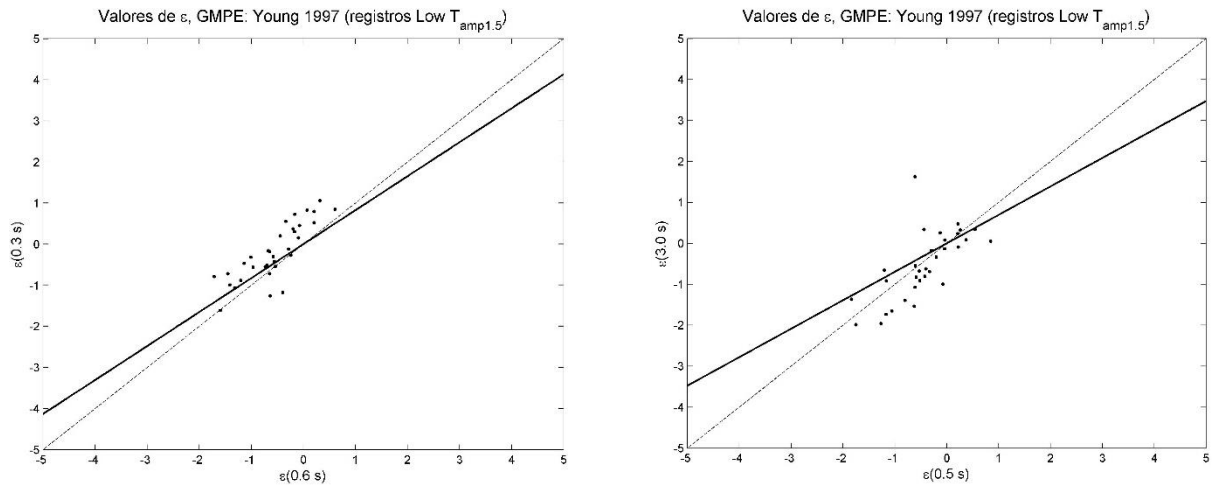


Figura 24: Valores de ϵ para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Young et. al., 1997 (Ref. 34). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

Para el caso base se muestran tendencias altas de correlación aun cuando la diferencia entre los periodos sea alta (3.0s vs 0.5s). Esta tendencia es aún mayor al considerar periodos cercanos (0.3s vs 0.6s). Al considerar solo los registros de estaciones en roca es claro que existen menos registros disponibles para su análisis y posterior cálculo de los factores de correlación, sin embargo, las tendencias de correlaciones altas se mantienen para ambos grupos de periodos a evaluar. Para los registros en suelo la tendencia en las correlaciones es menor al considerar periodos lejanos (3.0s vs 0.5s), mientras que en periodos bajos es alta. En registros de eventos del tipo Interplaca se marca una tendencia de alta correlación sin importar los periodos considerados. En las figuras para registros de eventos del tipo Intraplaca se cuenta con pocos registros por lo que el análisis de las tendencias es menos claro, sin embargo cuando los periodos se alejan entre si la correlación es menor que la presentada cuando estos son cercanos. En el rango alto del periodo peak $T_{amp1.5}$ existen apenas 10 registros, lo que se debe a que 7 de los registros de este rango no pueden ser incluidos al poseer una Magnitud de Momento mayor a la máxima para el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34), la cual es de 8.5. . Para los registros de este rango la tendencia es a presentar altas correlaciones, sin importar los periodos considerados. Finalmente para el rango bajo del periodo peak $T_{amp1.5}$ las diferencias espectrales ϵ presentan un alto valor de correlación para ambos grupos de periodos analizados.

4.2.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

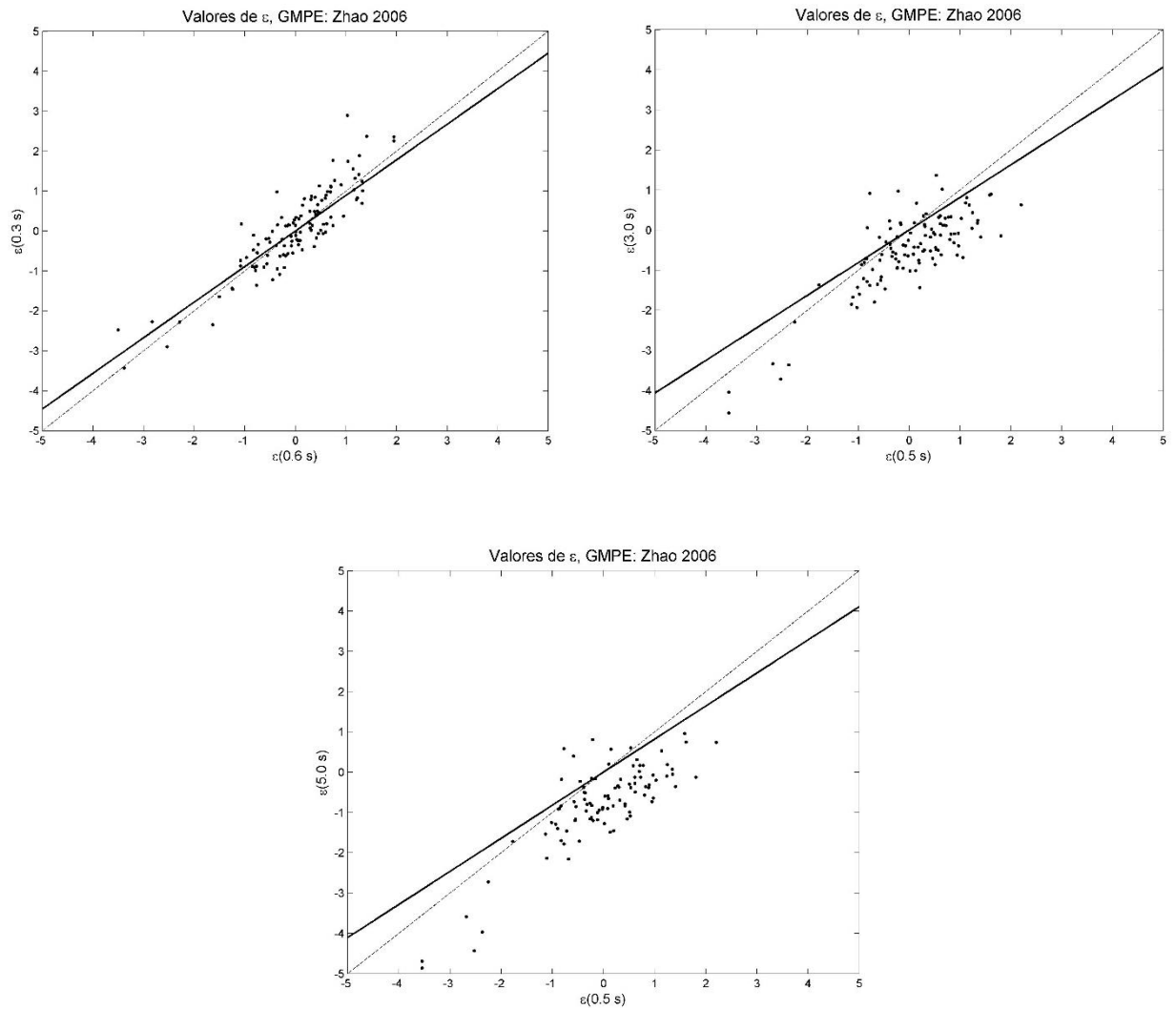


Figura 25: Valores de ε para el Caso Base usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Abajo: $\varepsilon(5.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

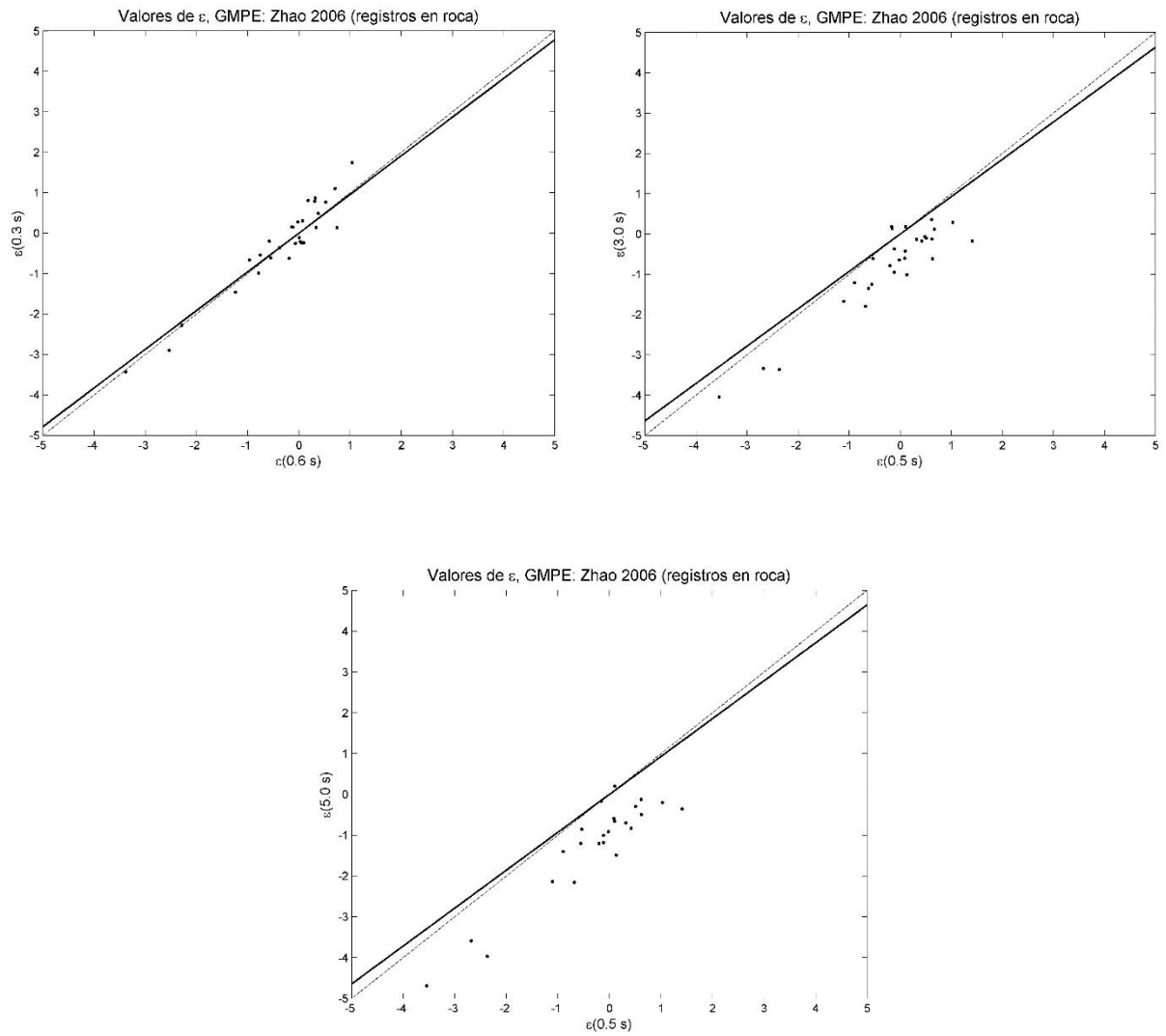


Figura 26: Valores de ε para registros en Roca usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\varepsilon(0.3\text{s})$ vs $\varepsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\varepsilon(3.0\text{s})$ vs $\varepsilon(0.5\text{s})$. Abajo: $\varepsilon(5.0\text{s})$ vs $\varepsilon(0.5\text{s})$.

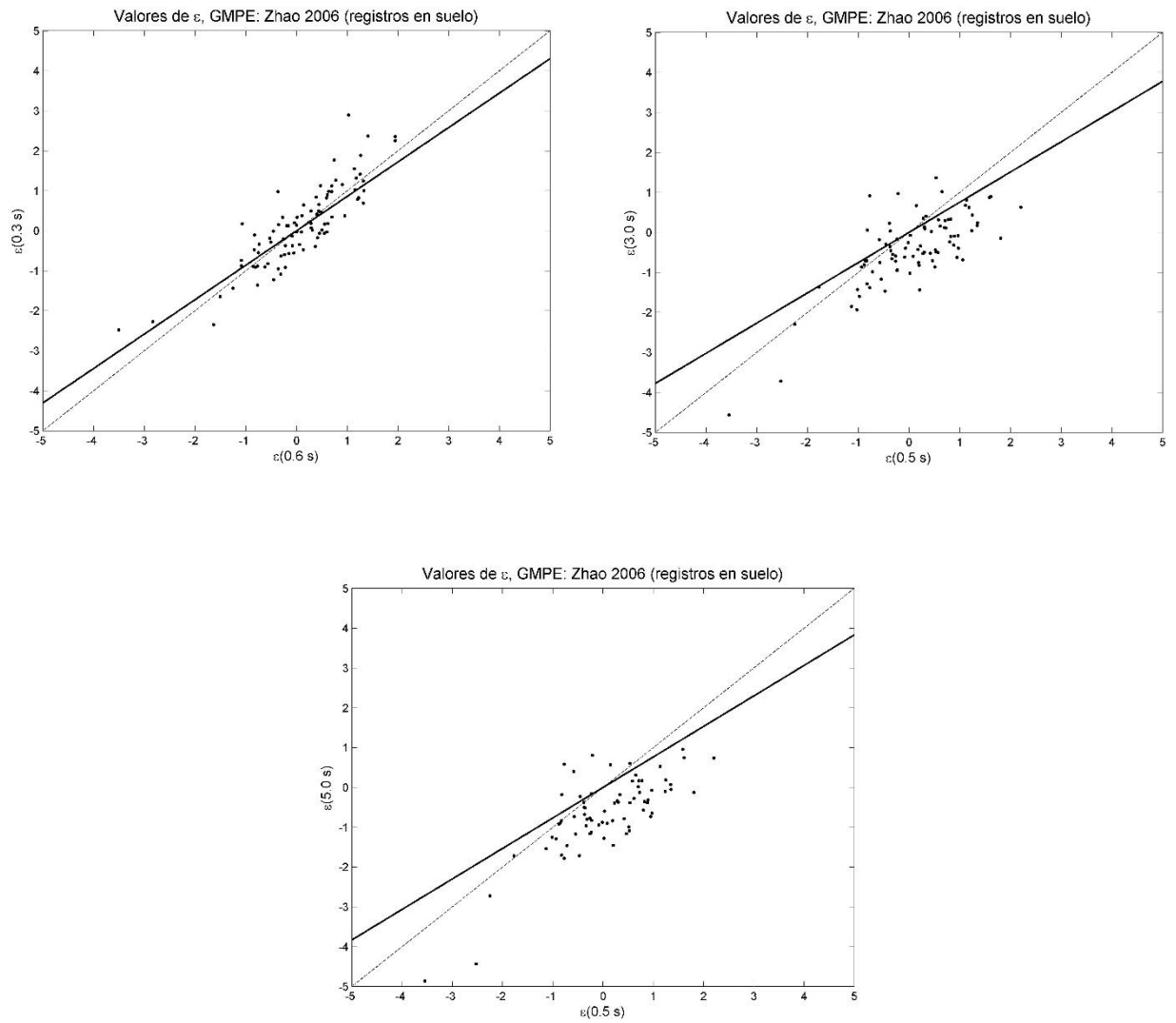


Figura 27: Valores de ε para registros en Suelo usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Abajo: $\varepsilon(5.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

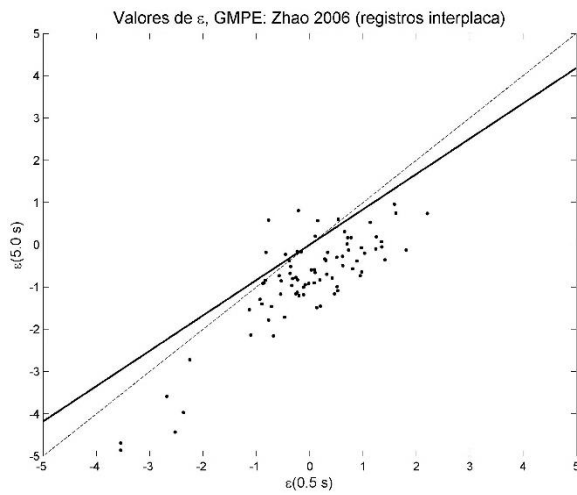
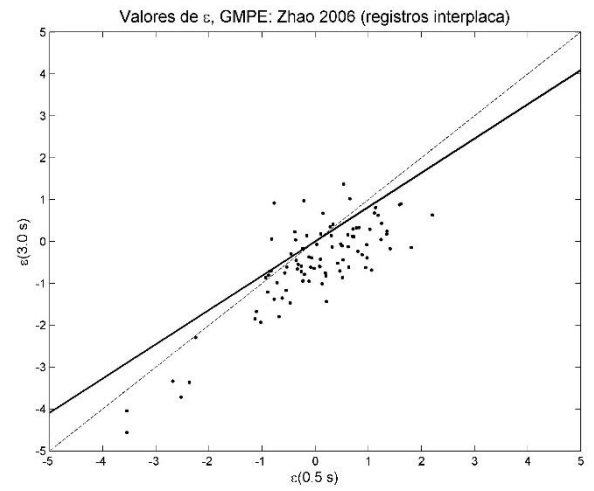
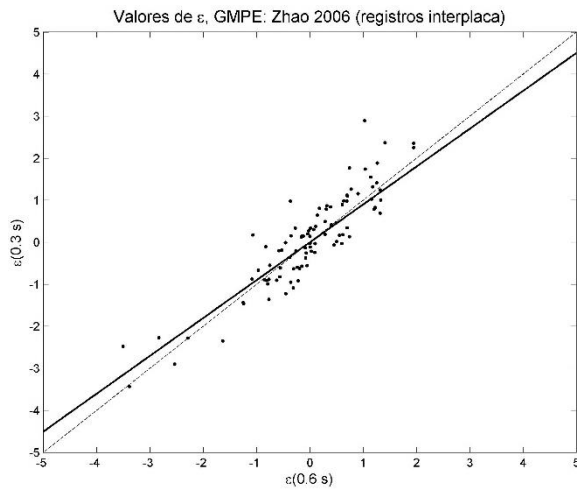


Figura 28: Valores de ϵ para registros de sismos interplaca usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

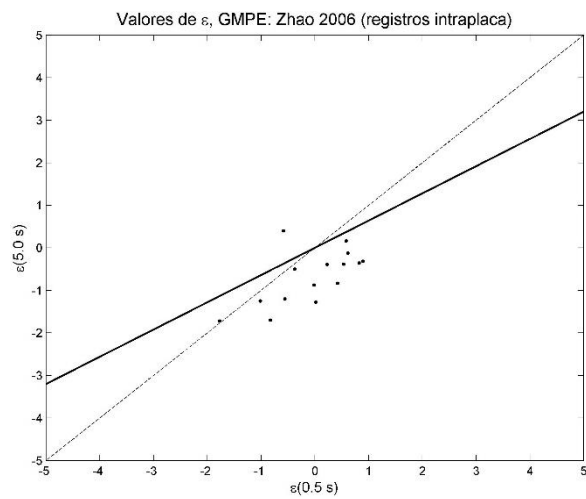
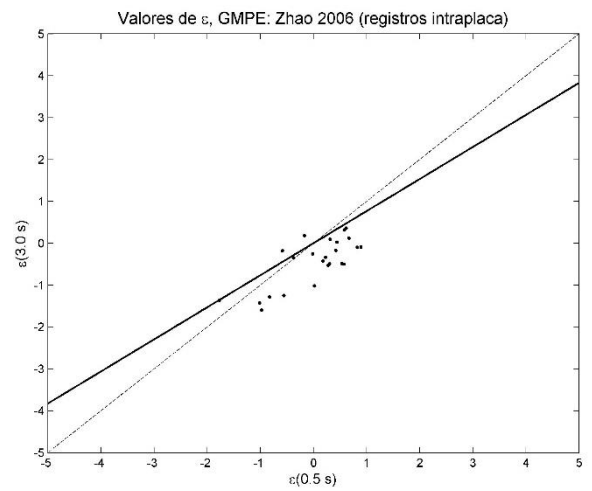
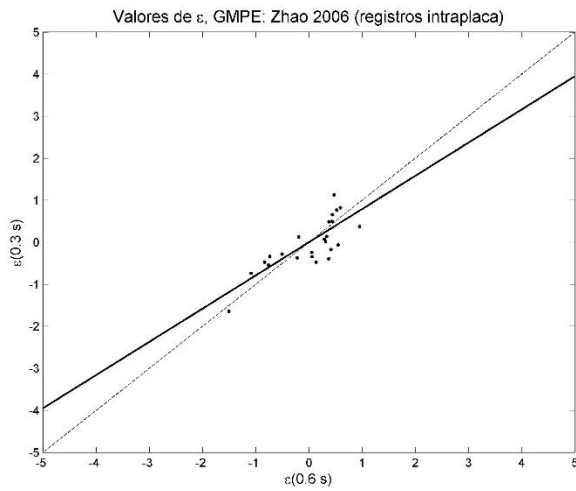


Figura 29: Valores de ϵ para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

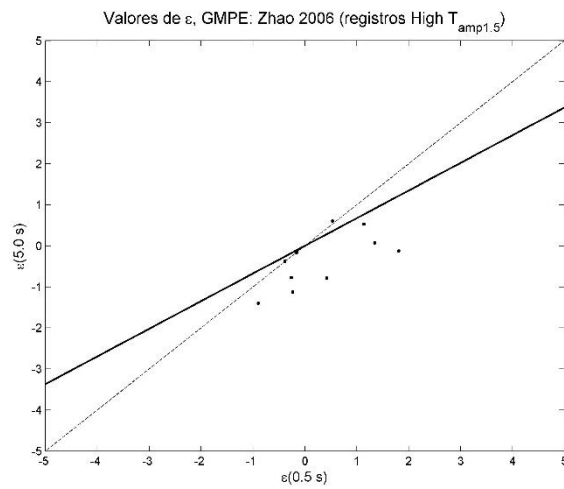
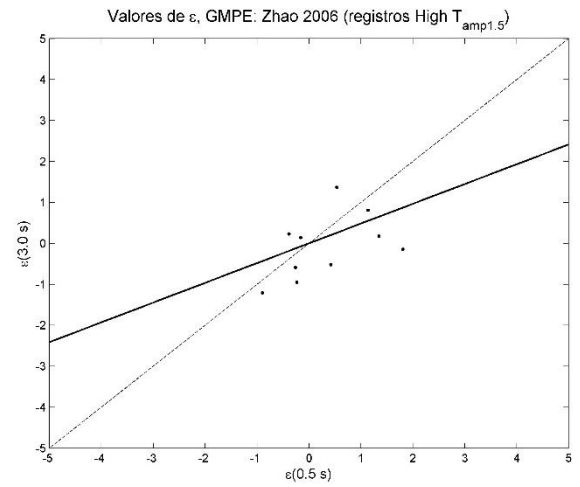
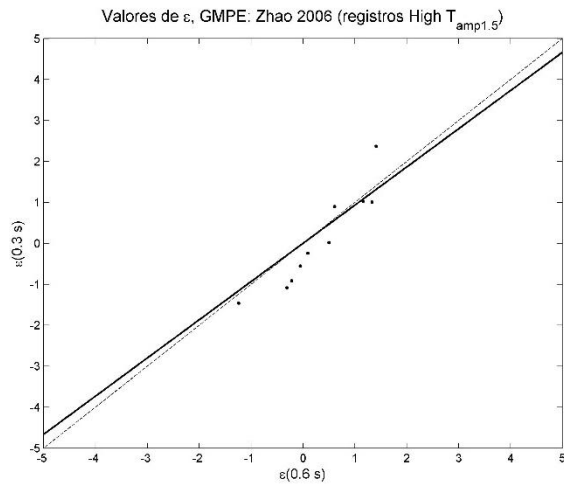


Figura 30: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

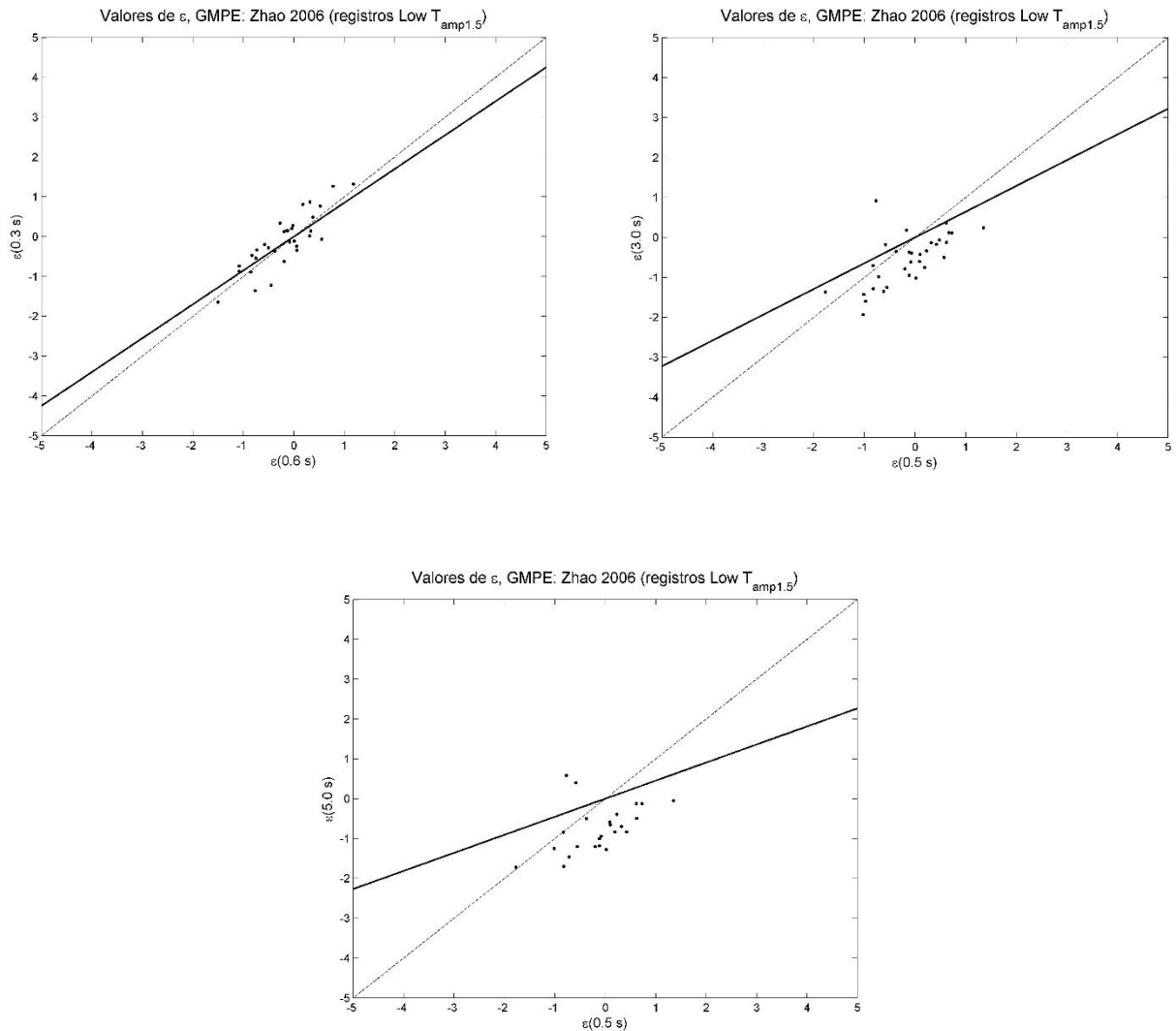


Figura 31: Valores de ϵ para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

Para los registros del caso base se muestra que la tendencia de correlación disminuye a medida que se aumenta la diferencia entre los valores de periodo, sin embargo a pesar de que los periodos estén distanciados la correlación no parece ser cercana a cero. Considerando solo los registros de estaciones en roca se ve una tendencia a correlaciones altas, mayores a las del caso base cuando la diferencia de periodos es grande (5.0s vs 0.5s). Al graficar los valores de ϵ para registros de estaciones en suelo se sigue una tendencia similar a la del caso base, con correlaciones disminuyendo a medida que se alejan los periodos, con pendiente menor a la obtenida para registros de estaciones en roca. Para las diferencias

espectrales de registros de eventos del tipo Interplaca los resultados son prácticamente idénticos a los presentados para estaciones en suelo y para el caso base. Los registros de eventos del tipo Intraplaca parecieran disminuir sus correlaciones de manera más brusca que los otros casos, al aumentar la diferencia entre periodos. Esta situación se repite para los registros del rango alto de $T_{amp1.5}$ pero con mayor gradualidad. Finalmente para los registros del rango bajo de $T_{amp1.5}$ las correlaciones disminuyen de manera similar al caso de registros de eventos Intraplaca, aunque la falta de registros en este rango para este modelo de atenuación no permite extrapolar este comportamiento de manera directa.

4.2.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

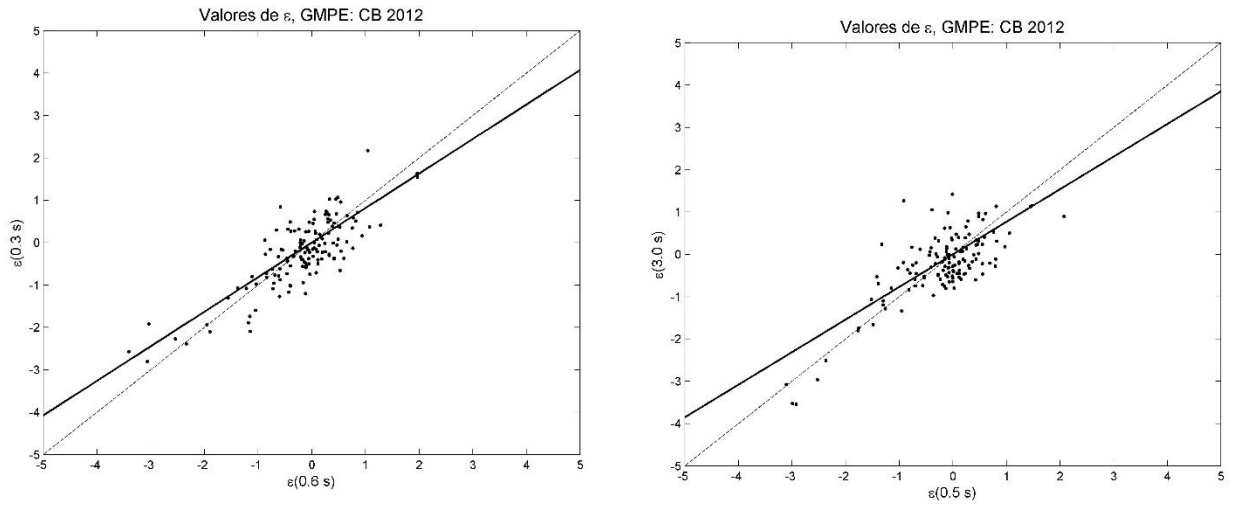


Figura 32: Valores de ε para el Caso Base usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

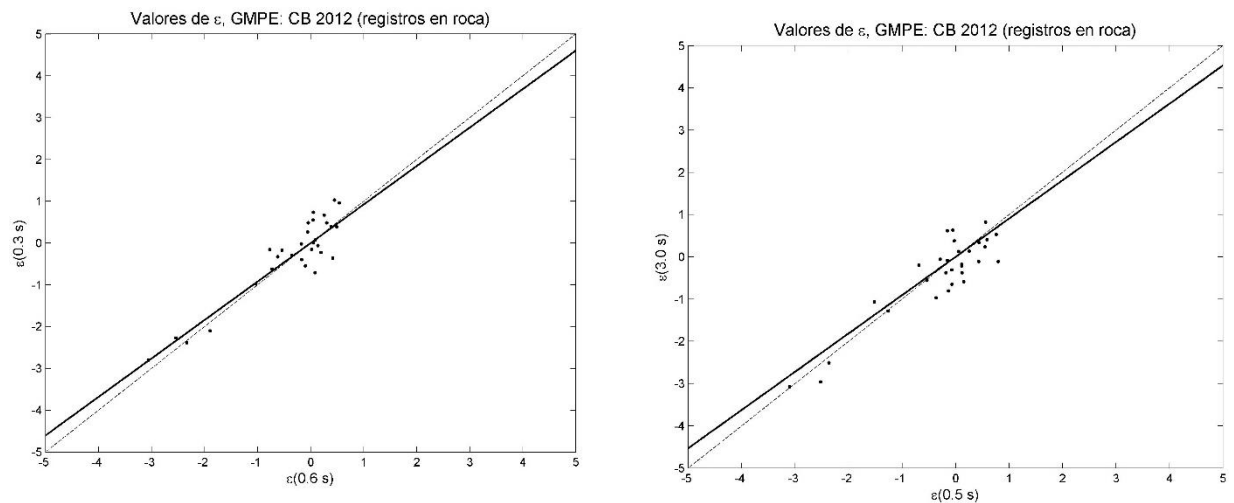


Figura 33: Valores de ε para registros en Roca usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

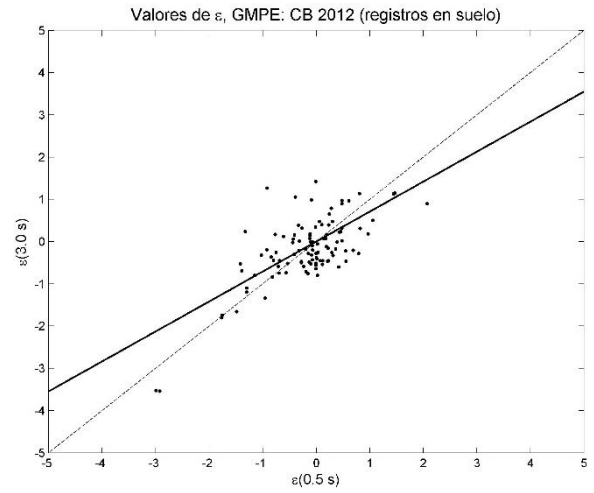
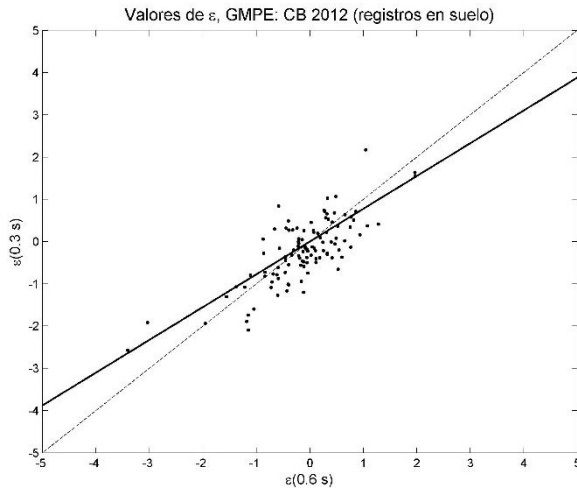


Figura 34: Valores de ϵ para registros en Suelo usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3\text{s})$ vs $\epsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\epsilon(3.0\text{s})$ vs $\epsilon(0.5\text{s})$.

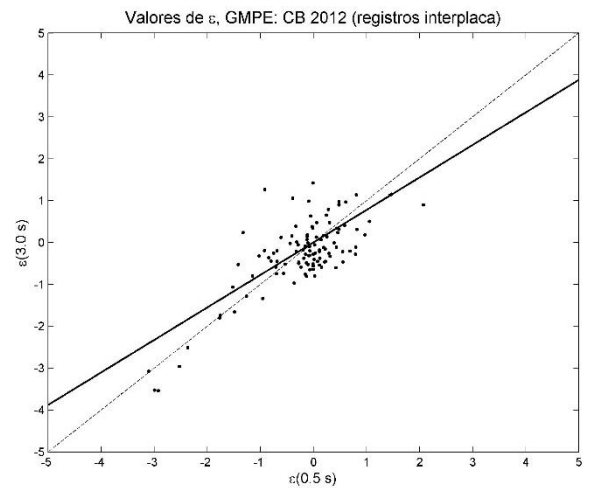
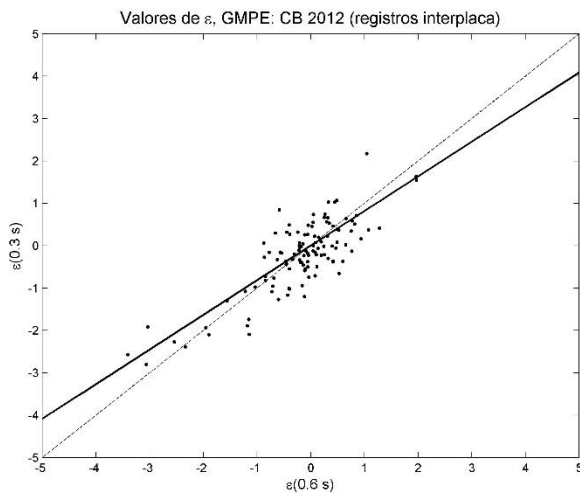


Figura 35: Valores de ϵ para registros de sismos interplaca usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3\text{s})$ vs $\epsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\epsilon(3.0\text{s})$ vs $\epsilon(0.5\text{s})$.

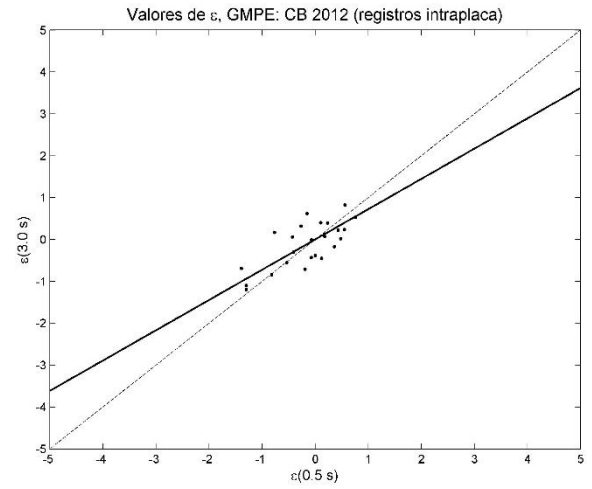
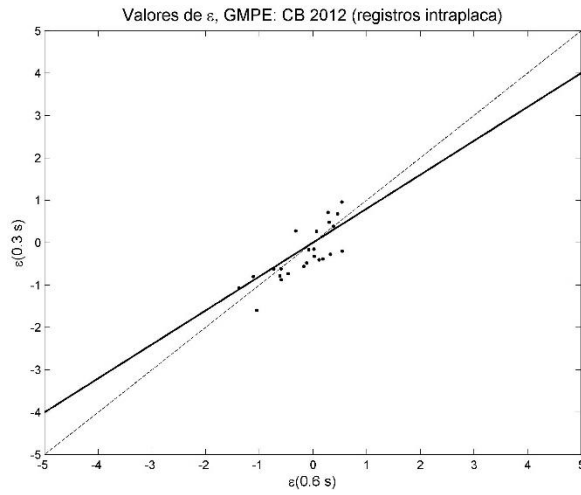


Figura 36: Valores de ϵ para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3\text{s})$ vs $\epsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\epsilon(3.0\text{s})$ vs $\epsilon(0.5\text{s})$.

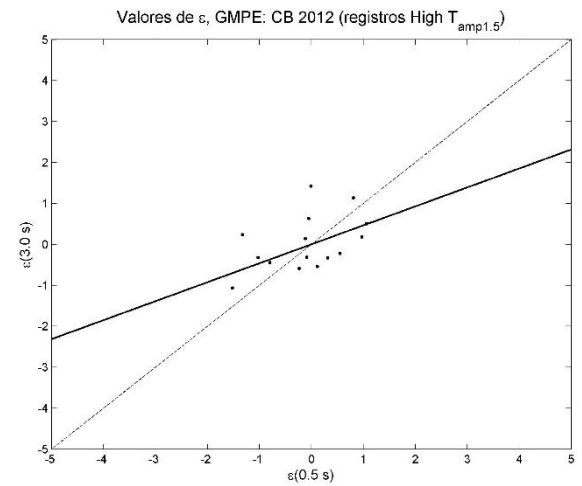
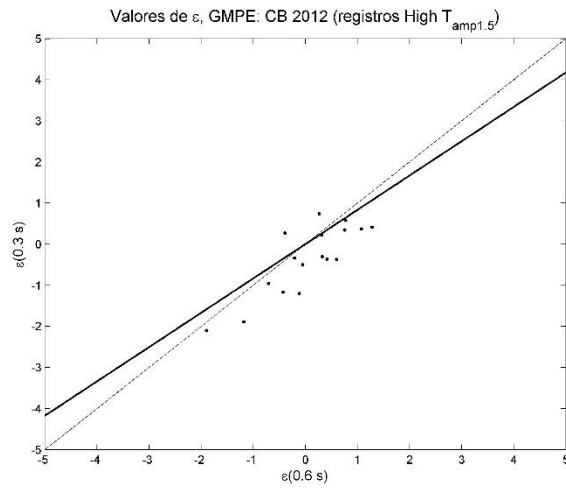


Figura 37: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda: $\epsilon(0.3\text{s})$ vs $\epsilon(0.6\text{s})$. Derecha: $\epsilon(3.0\text{s})$ vs $\epsilon(0.5\text{s})$.

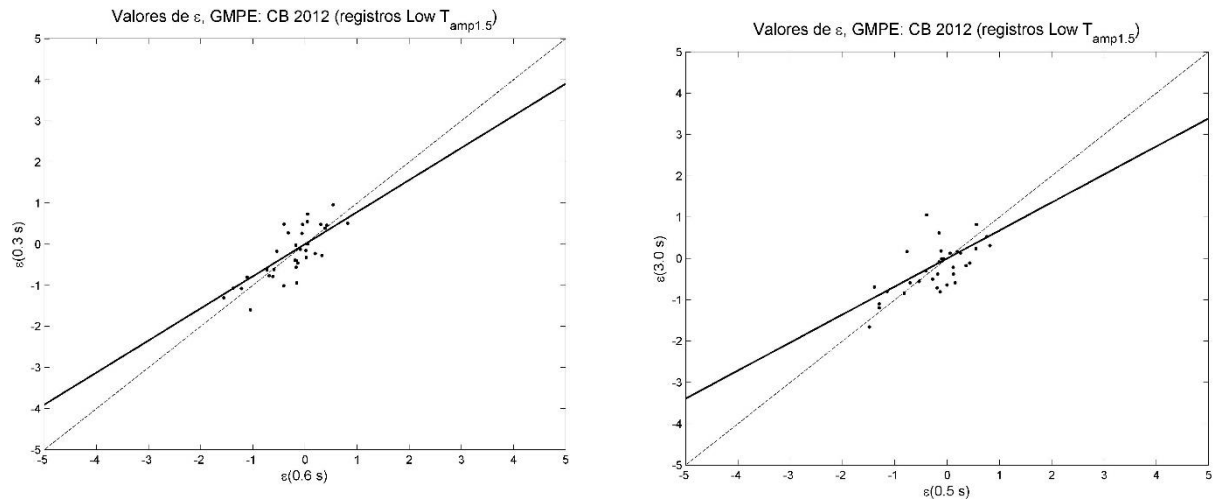


Figura 38: Valores de ε para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

Para los registros del caso base la tendencia es a presentar correlaciones altas entre los valores de ε a distintos periodos. Se ve que existe un cambio menor en la tendencia sin importar la distancia entre los periodos que se muestran. Este comportamiento se replica para los registros de estaciones en roca. Para los registros de estaciones en suelo existe una pequeña diferencia en la tendencia de las diferencias espectrales al comparar los casos de 0.3s vs 0.6s y 3.0s vs 0.5s, al presentar estas últimas una correlación menor. Para los registros de eventos del tipo Interplaca el comportamiento es prácticamente el mismo que el discutido para el caso base. En el caso de los registros de eventos del tipo Intraplaca existe una correlación menor al aumentar la distancia entre los periodos, en comparación a cuando estos se encuentran muy cercanos. Para los registros del rango alto del periodo peak $T_{amp1.5}$ la tendencia no es tan clara al poseer pocos datos (17 registros), sin embargo esta pareciera ser de correlaciones altas sin importar la diferencia de periodos. Finalmente para el rango bajo del periodo peak $T_{amp1.5}$ se presenta una correlación alta en ambos grupos de periodos analizados (0.3s vs 0.6s y 3.0s vs 0.5s).

4.2.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

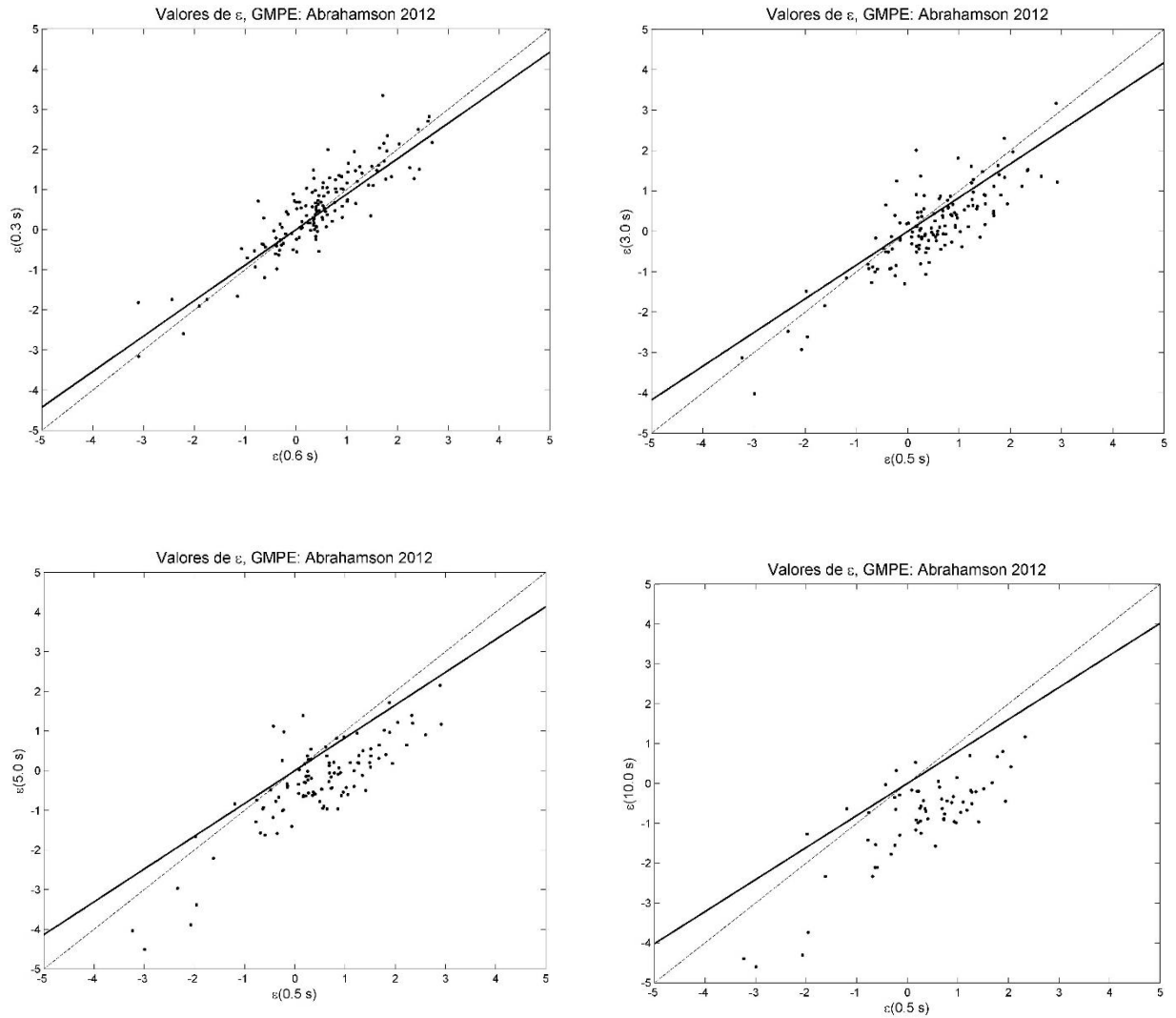


Figura 39: Valores de ε para el Caso Base usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\varepsilon(5.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\varepsilon(10.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

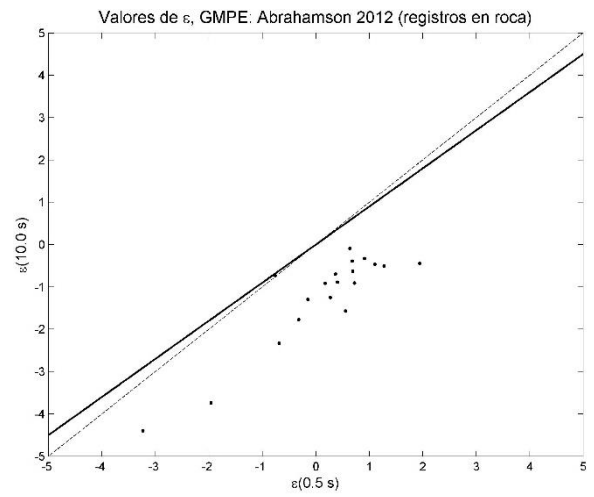
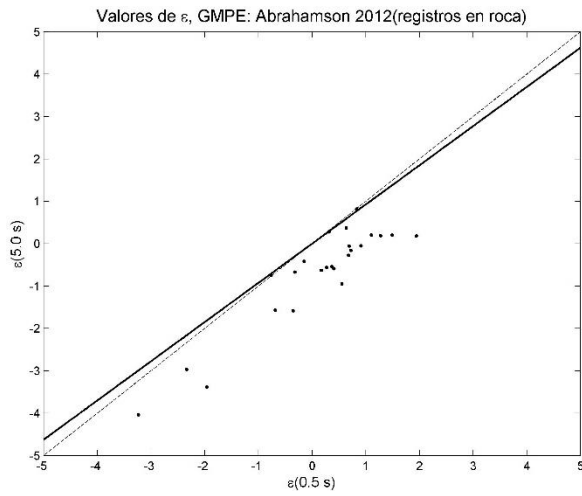
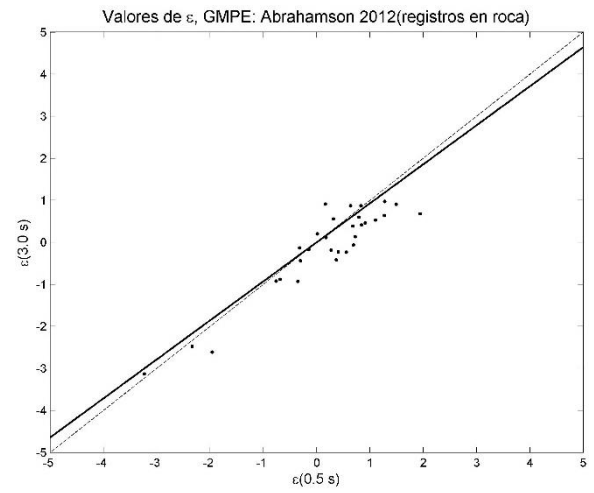
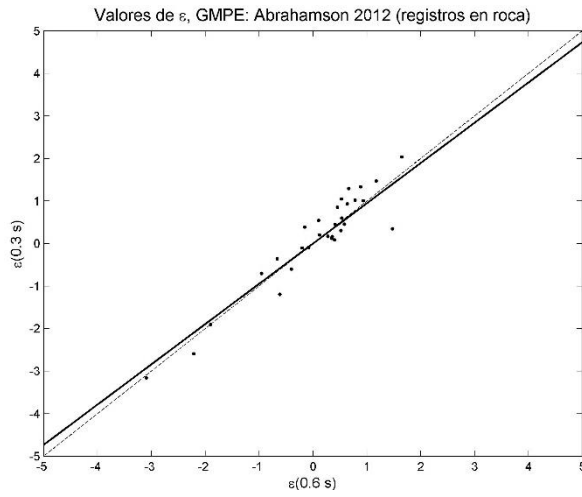


Figura 40: Valores de ϵ para registros en Roca usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

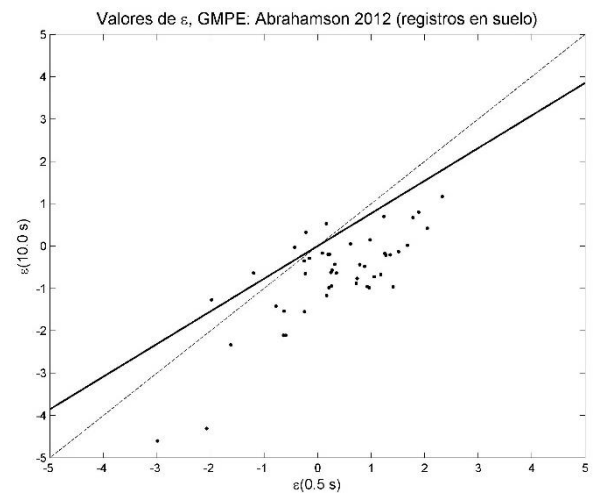
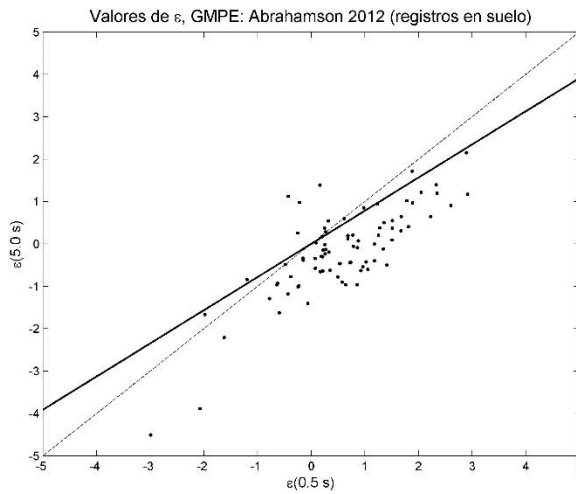
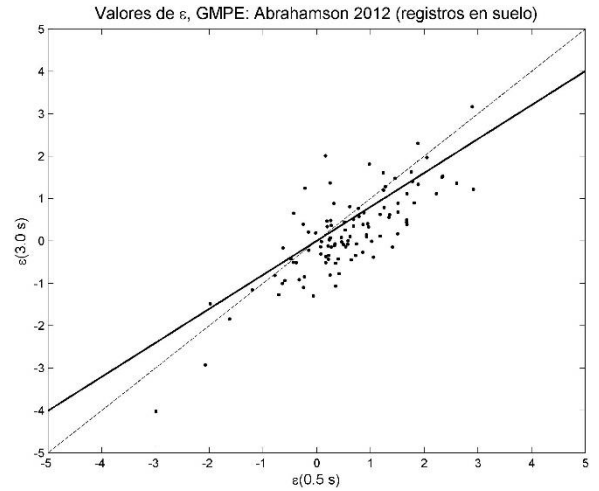
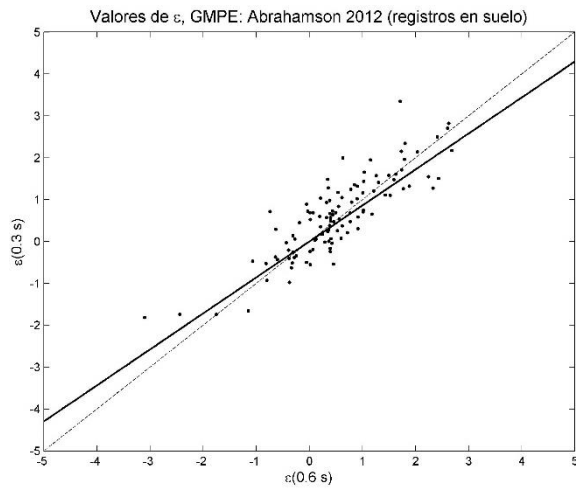


Figura 41: Valores de ε para registros en Suelo usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\varepsilon(5.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\varepsilon(10.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

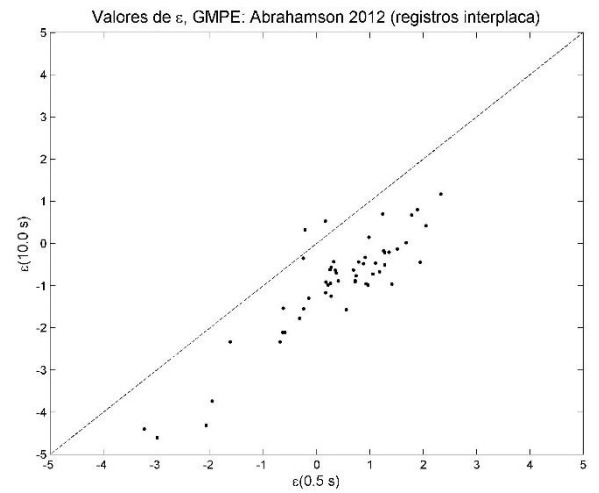
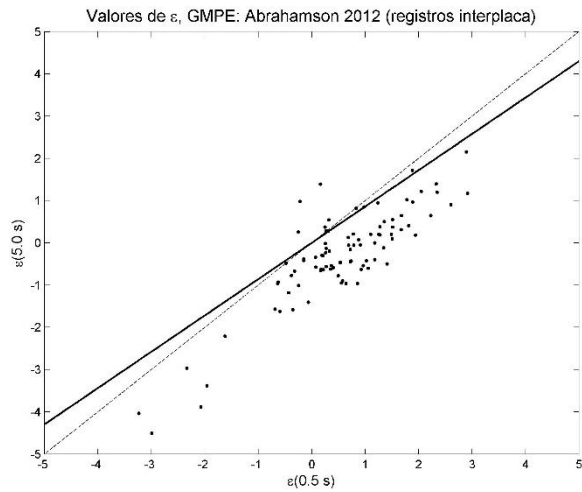
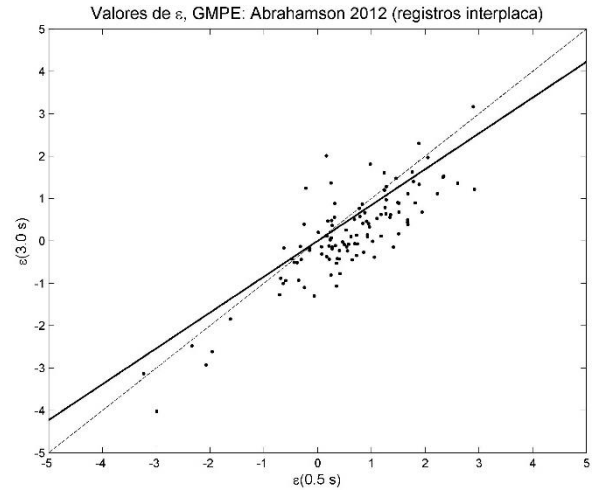
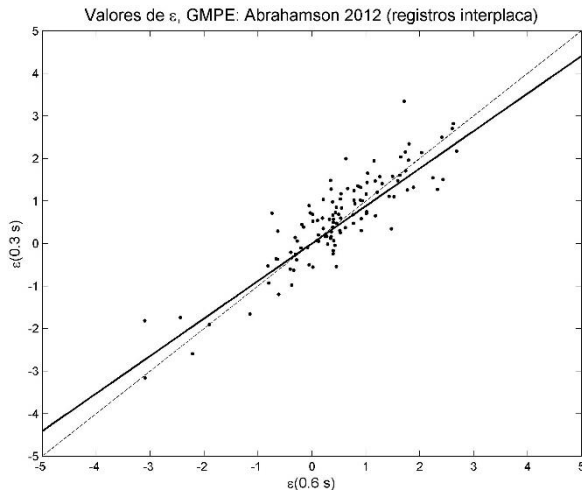


Figura 42: Valores de ε para registros de sismos interplaca usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\varepsilon(5.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\varepsilon(10.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$.

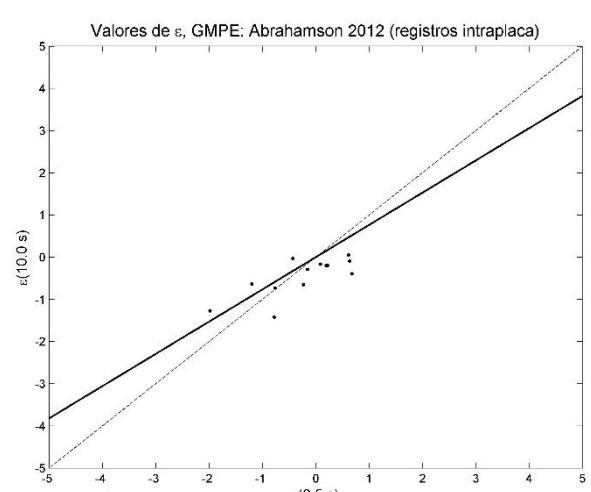
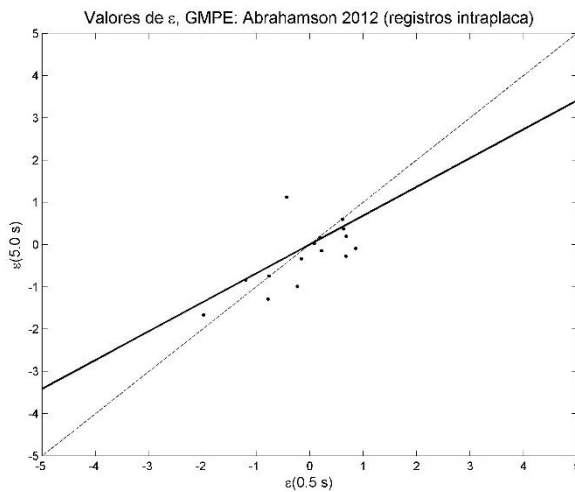
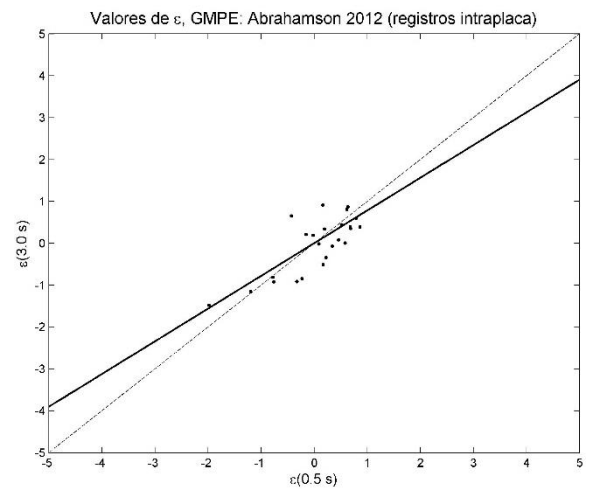
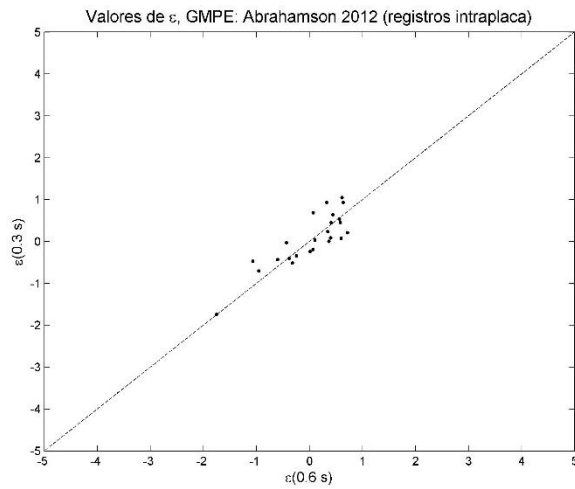


Figura 43: Valores de ϵ para registros de sismos intraplaca usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3\text{s})$ vs $\epsilon(0.6\text{s})$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0\text{s})$ vs $\epsilon(0.5\text{s})$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0\text{s})$ vs $\epsilon(0.5\text{s})$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0\text{s})$ vs $\epsilon(0.5\text{s})$.

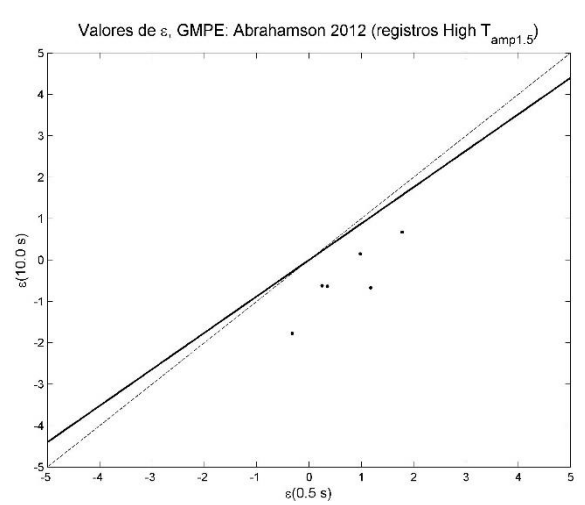
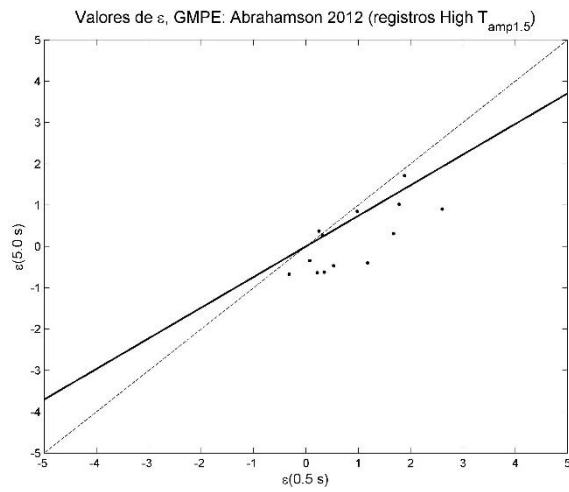
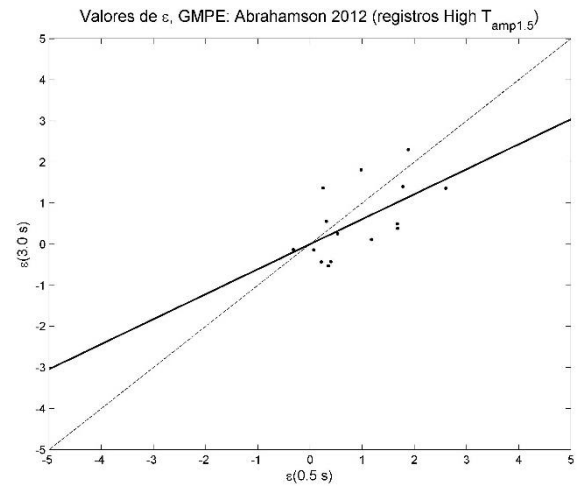
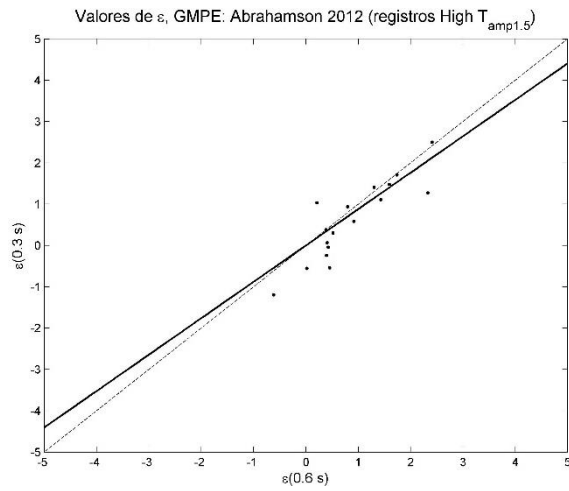


Figura 44: Valores de ε para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\varepsilon(0.3s)$ vs $\varepsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\varepsilon(3.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\varepsilon(5.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\varepsilon(10.0s)$ vs $\varepsilon(0.5s)$

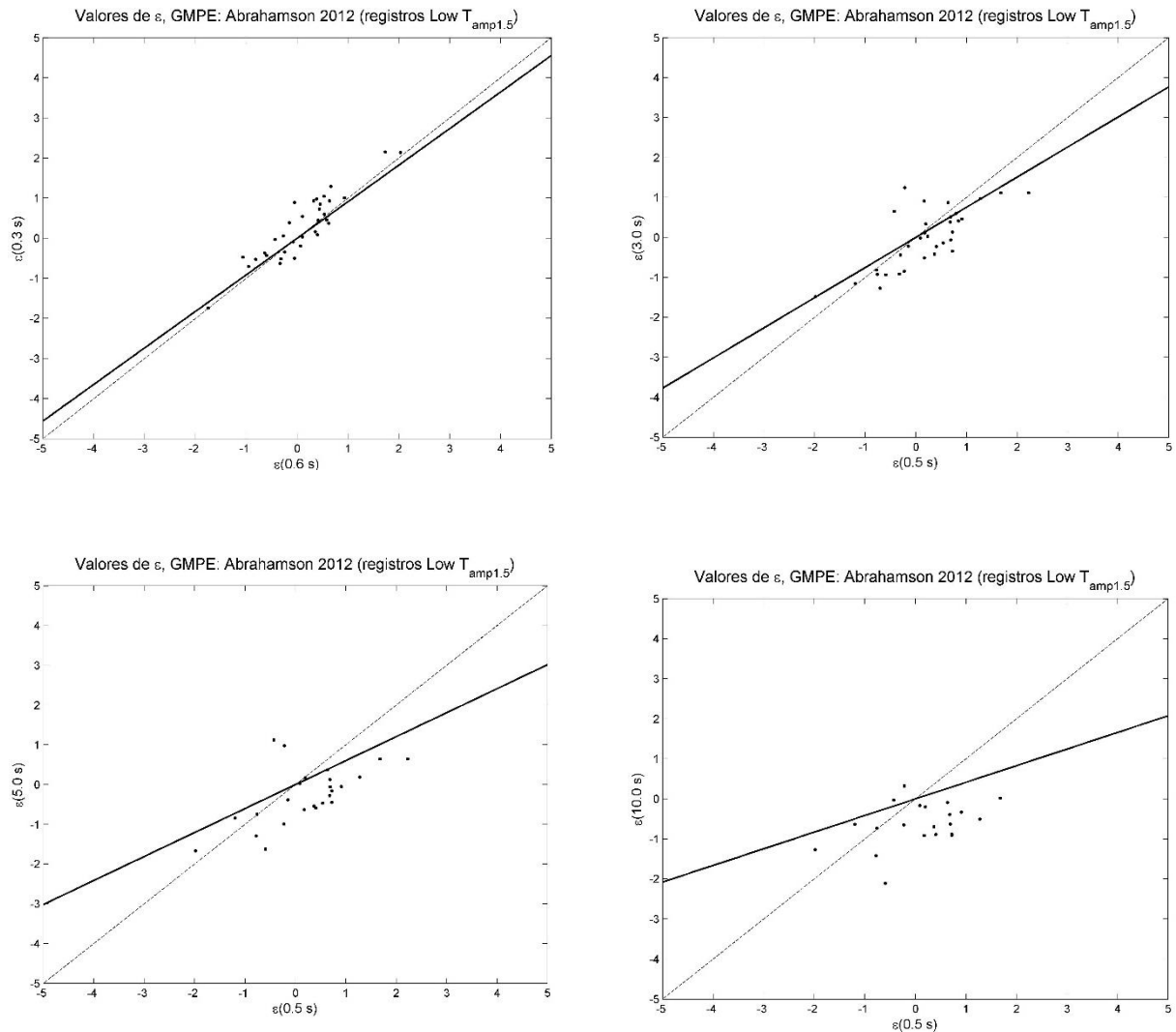


Figura 45: Valores de ϵ para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.3s)$ vs $\epsilon(0.6s)$. Derecha arriba: $\epsilon(3.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(5.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$. Derecha abajo: $\epsilon(10.0s)$ vs $\epsilon(0.5s)$.

Para el caso base se muestra claramente como las correlaciones disminuyen a medida que se aumenta la distancia entre periodos, lo que se hace más claro al mostrar los valores de ϵ para 10s y 0.5s. Graficando los resultados solo para registros de estaciones en roca la correlación se mantiene alta incluso para valores de periodo de 3.0s, sin embargo esta empieza a disminuir al aumentar la diferencia entre periodos. Para los registros de estaciones en suelo las correlaciones se mantienen altas hasta periodos de 3.0s, periodo a partir del cual empiezan a disminuir. Las diferencias espectrales para registros de eventos del tipo Interplaca siguen una tendencia muy similar al caso base, presentando correlaciones altas hasta 3.0s y disminuyendo gradualmente a medida

que se aumenta la diferencia entre periodos. Considerando solo registros de eventos del tipo Intraplaca se obtienen correlaciones altas hasta el caso de comparación de 3.0s vs 0.5s, las cuales disminuyen considerablemente al seguir aumentando la distancia entre periodos. Al graficar las diferencias espectrales para los registros del rango alto de $T_{amp1.5}$ se obtiene un comportamiento similar al de los registros de eventos Intraplaca, con correlaciones altas para el caso de comparación de 3.0s vs 0.5s (distribuidas equitativamente alrededor de la identidad) y disminuyendo al aumentar la distancia entre periodos. Finalmente para los registros del rango bajo de $T_{amp1.5}$ se obtienen correlaciones altas solo para el primer caso de comparación (0.3s vs 0.6s), las cuales tienden a disminuir al separar los periodos.

4.2.5 Influencia del modelo de atenuación usado

En las siguientes figuras se presentan los valores de ε comparados entre los distintos modelos de atenuación para el mismo valor de período. Las correlaciones que puedan detectarse en estas figuras informan acerca de la relación de las diferencias espectrales ε entre distintos modelos para el Caso Base, pero no guardan relación con los valores de los Coeficientes de Correlación, ya que estos siempre se obtienen para un solo modelo de atenuación a la vez.

Al comparar los modelos de Young et al., 1997 (Ref. 34) con el de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) se ve que los valores espectrales entregados por estos se empiezan a distanciar al aumentar el periodo de comparación más allá de 3.0s. Los modelos de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) y Young et al., 1997 (Ref. 34) muestran una tendencia a estar relacionados en toda la banda de periodos en sus diferencias espectrales, de acuerdo a los 4 valores de periodo que acá se analizan. Al graficar los resultados de ε para los modelos de Young y Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) se muestra una diferencia clara en los resultados, los que se alejan de la identidad incluso en periodos bajos. Esta diferencia aumenta a medida que se aumenta el periodo de comparación. Los valores de ε obtenidos con los modelos de Zhao y Boroschek and Contreras son cercanos dependiendo del periodo que se evalúa. Mientras los valores de ε en 0.01s y 1.0s tienden a estar cercanos, en 0.1s se alejan entre sí. Para los valores en 3.0s la dispersión es más evidente, lo que implica que los resultados finales entre estos dos modelos no debiesen ser cercanos para periodos cercanos a 3.0s. Las diferencias espectrales para los modelos de Boroschek and Contreras y Abrahamson se distribuyen en torno a la identidad para periodos de 0.01s y 0.1s, mientras que en 1.0s y 3.0s la dispersión entre los resultados es mayor. Finalmente al comparar los modelos de Abrahamson y Zhao se obtienen resultados similares para periodos de 0.01s, 0.1s y 1.0s, mientras que para 3.0s la dispersión de los resultados es mayor. Para 5.0s esta se hace aún más evidente, con muchos puntos alejados de la identidad.

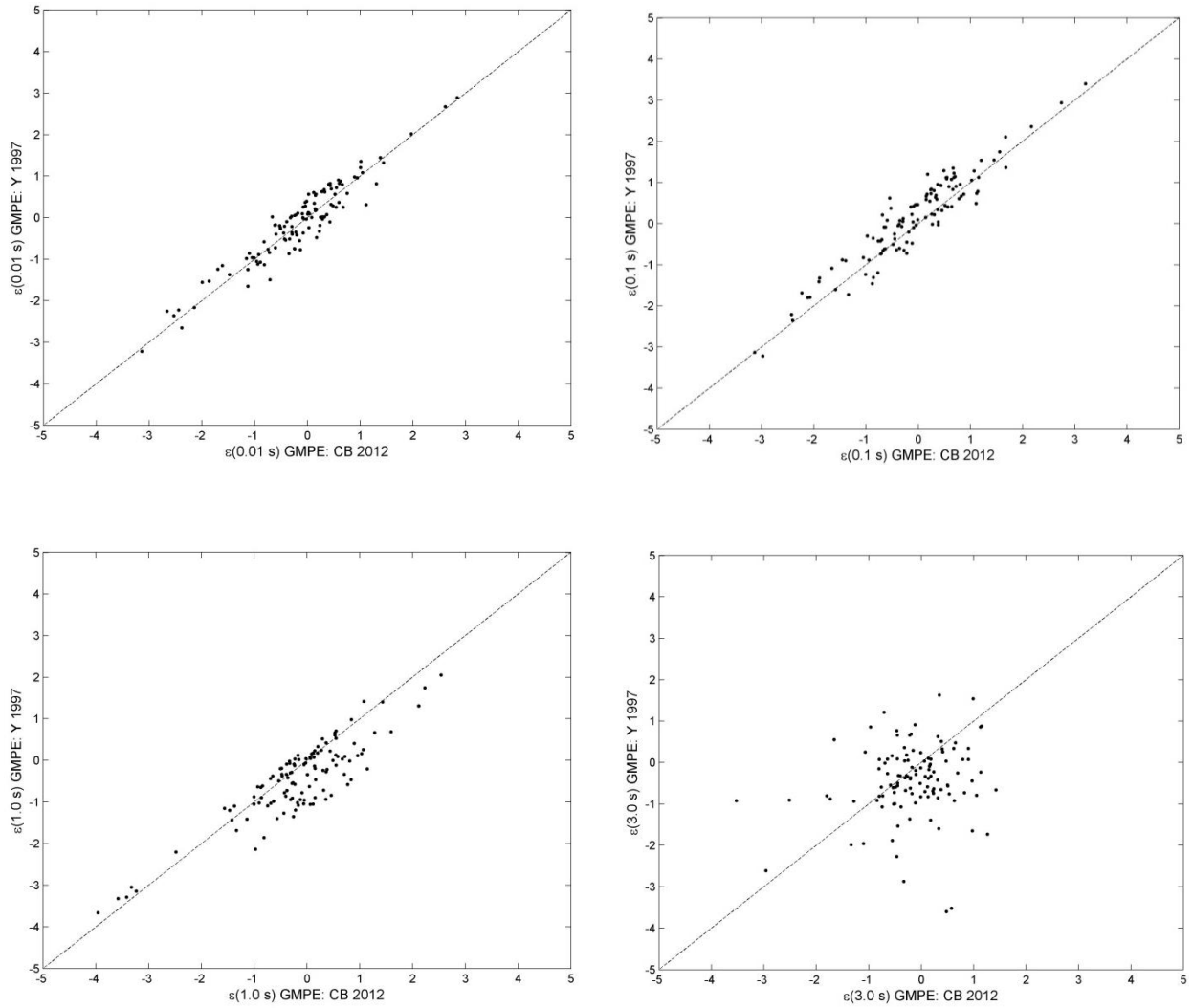


Figura 46: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) y por Boroschek y Contreras, 2012b, (Ref. 16). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01\text{s})$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1\text{s})$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0\text{s})$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0\text{s})$.

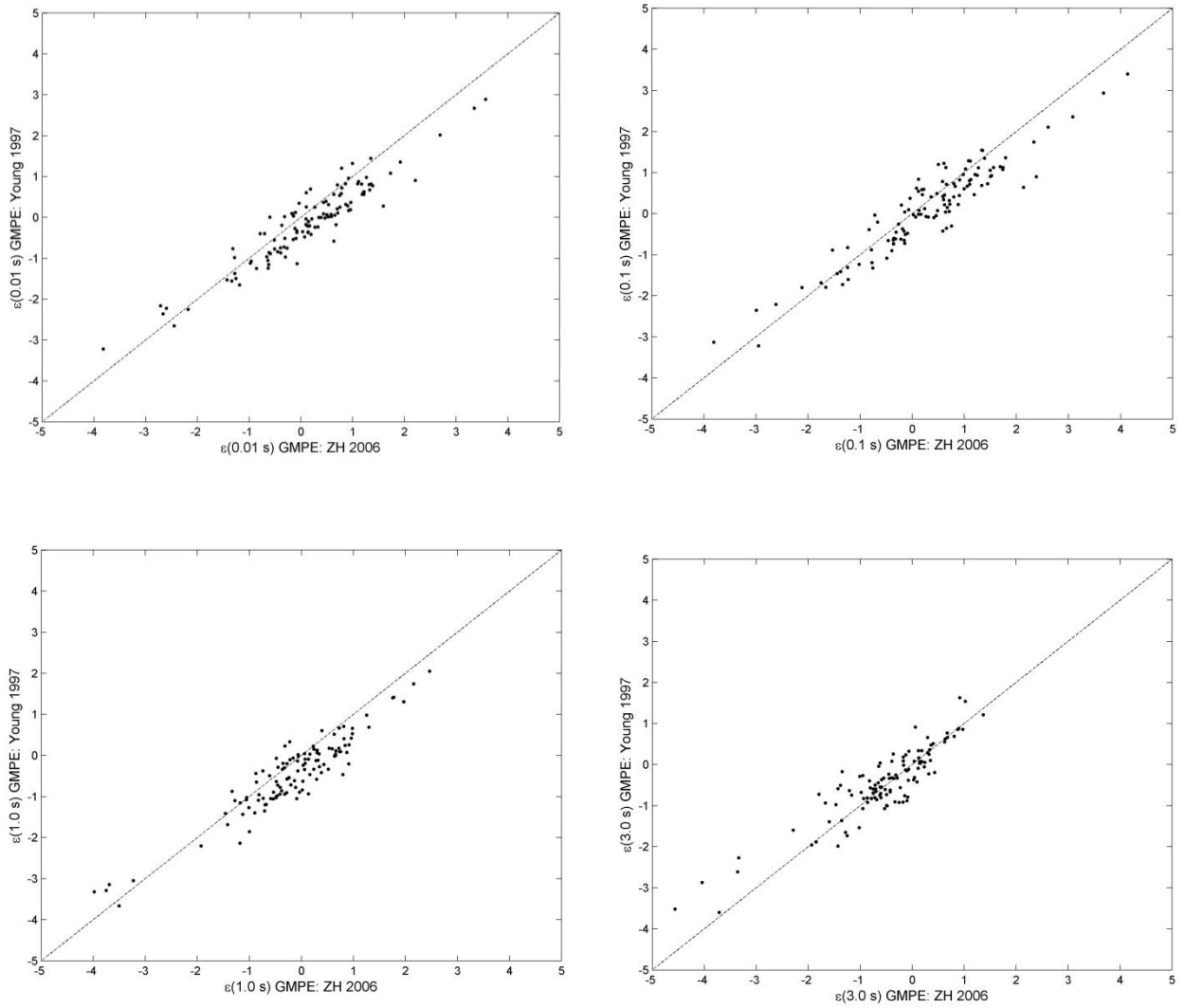


Figura 47: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) y por Zhao, 2006 (Ref. 35). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$.

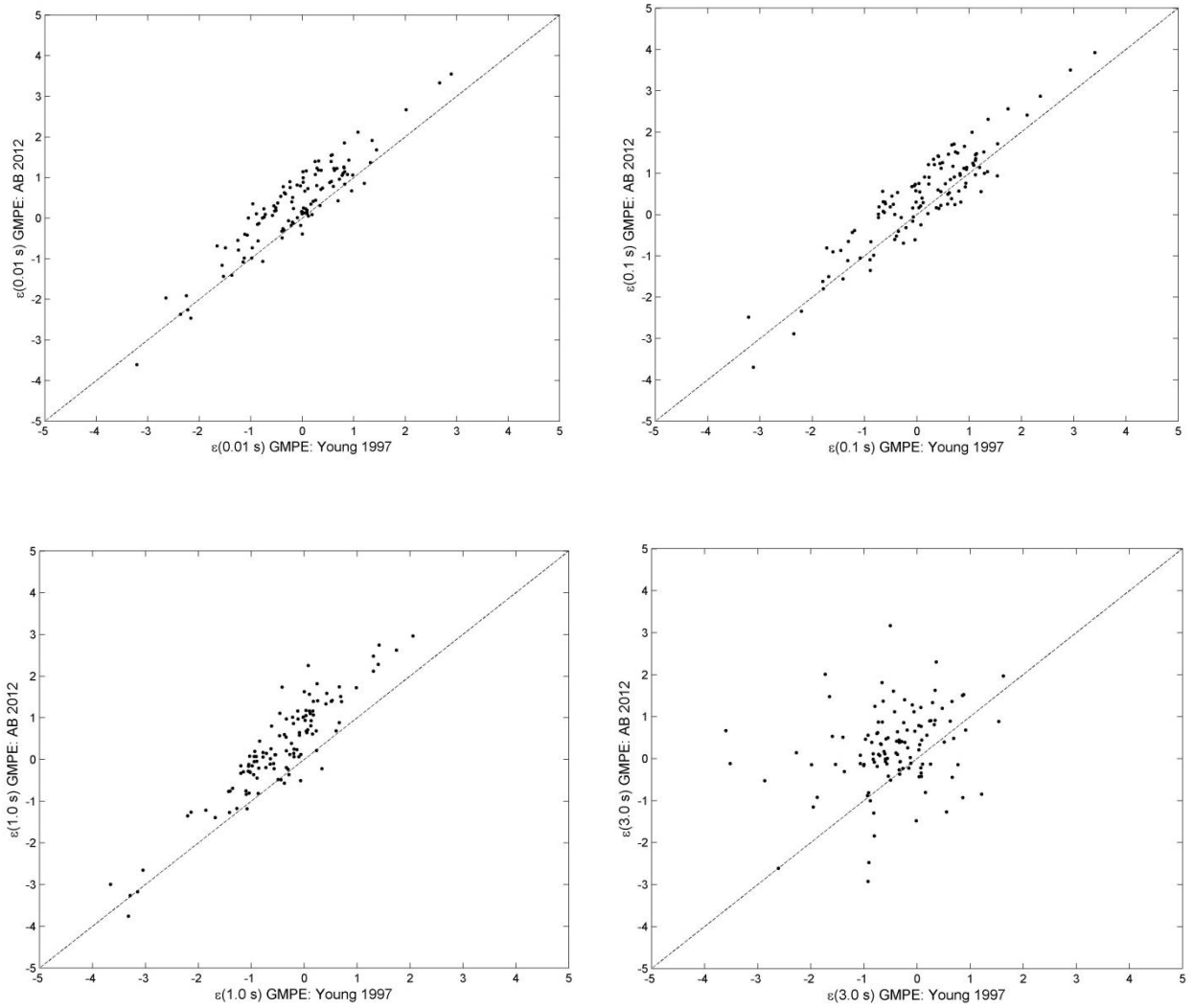


Figura 48: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) y por Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01\text{s})$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1\text{s})$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0\text{s})$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0\text{s})$.

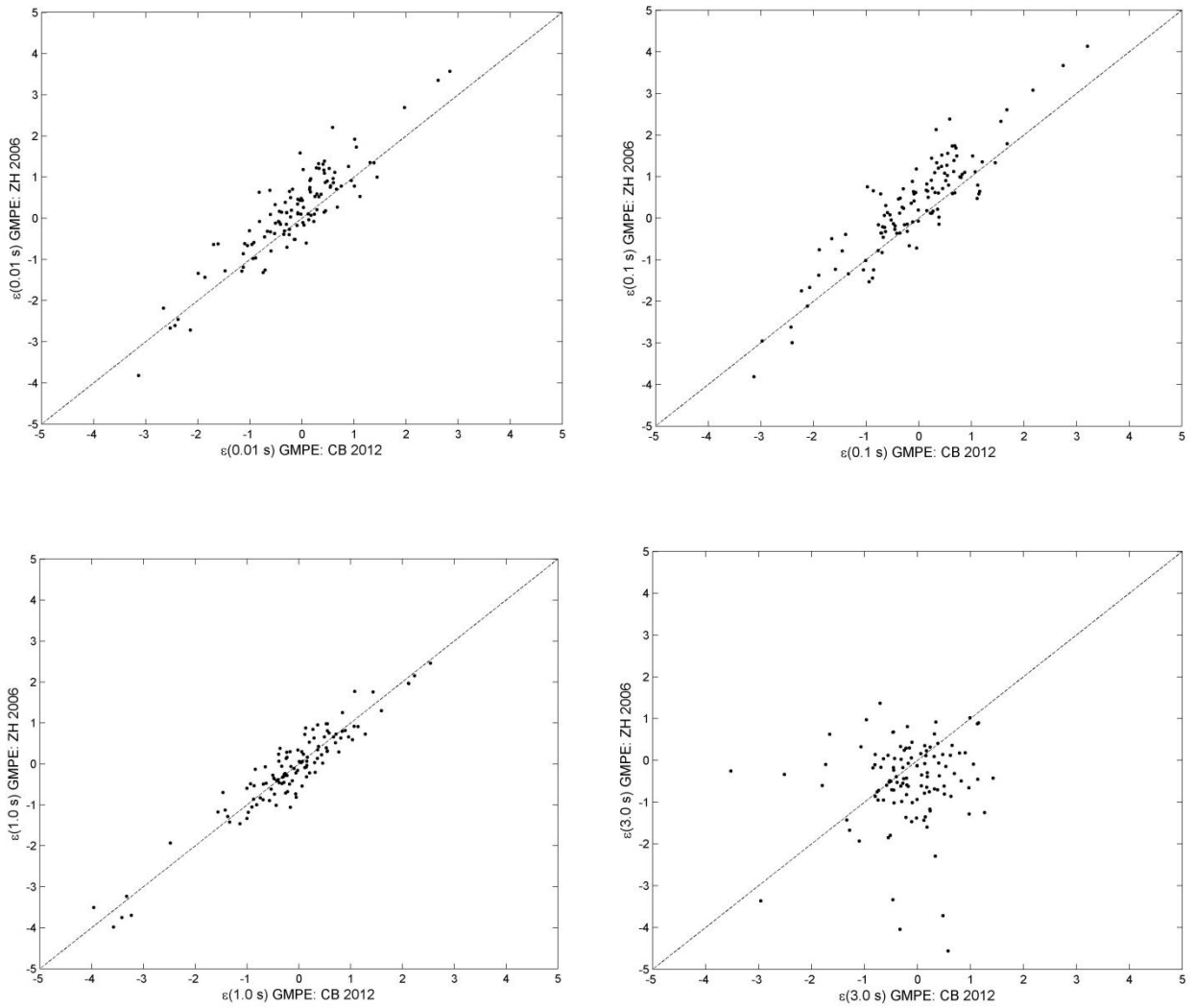


Figura 49: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) y por Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01\text{s})$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1\text{s})$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0\text{s})$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0\text{s})$.

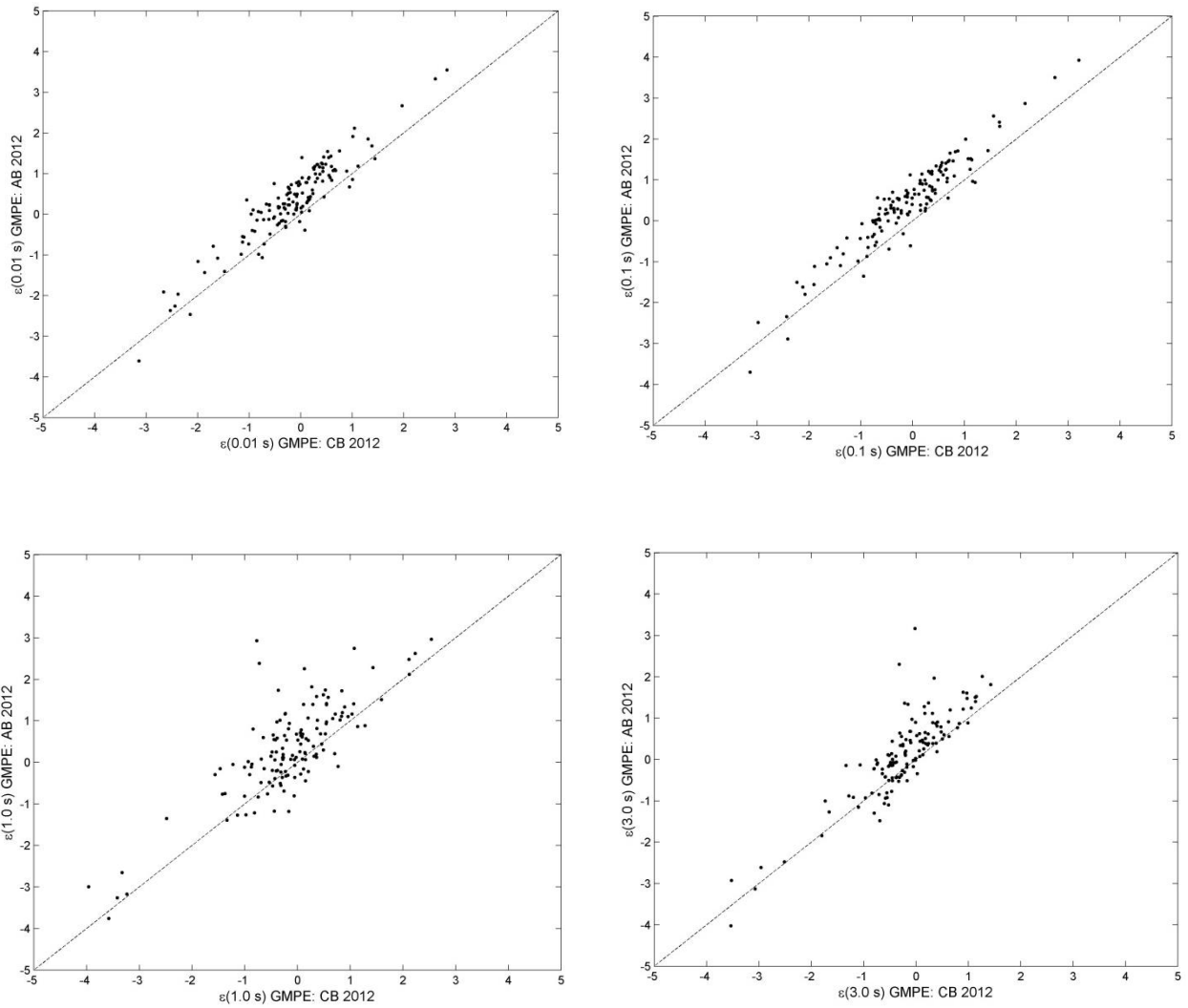


Figura 50: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) y por Boroschek y Contreras, 2012b (Ref. 16). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01s)$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1s)$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0s)$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0s)$.

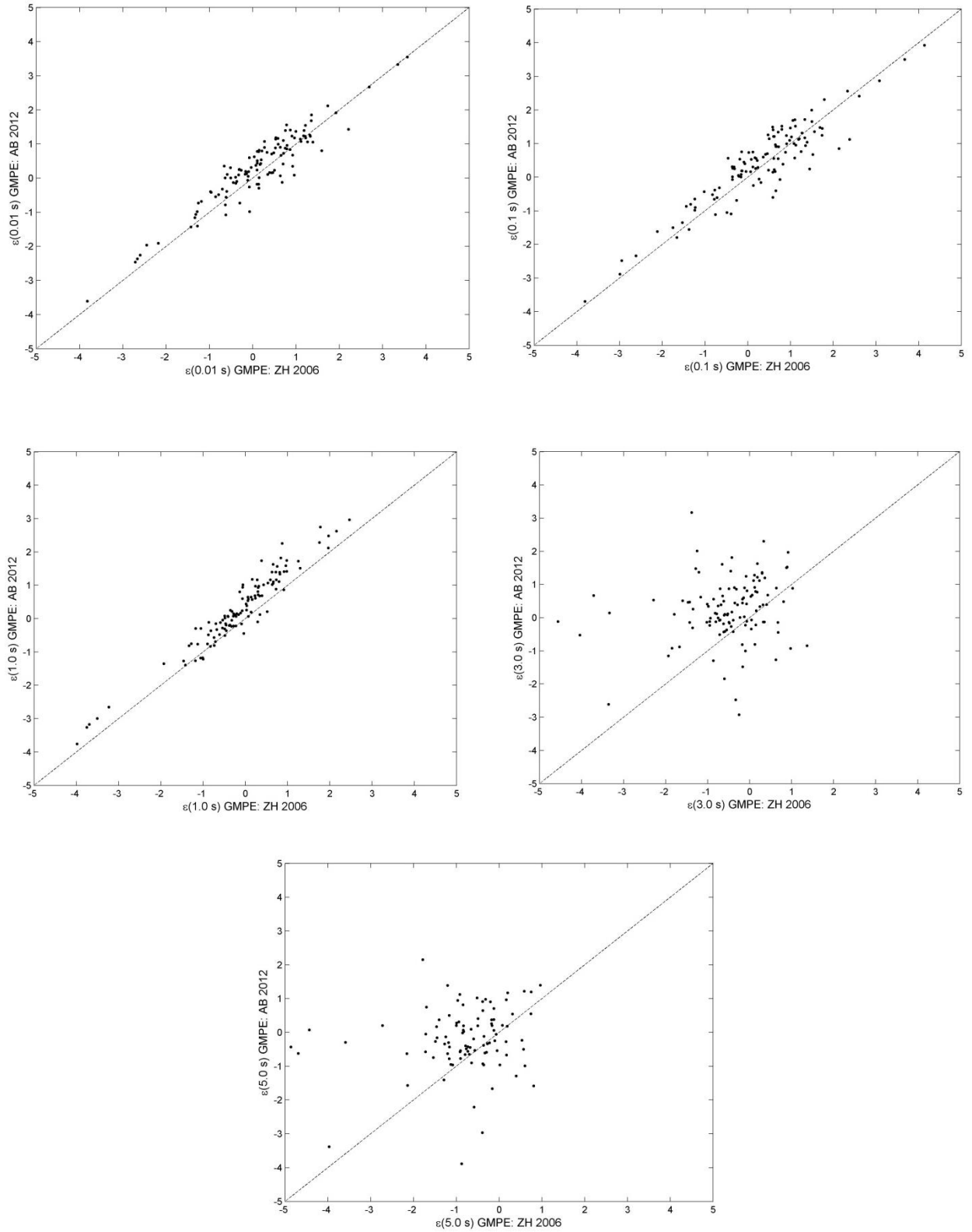


Figura 51: Valores de ϵ para el mismo valor de período obtenidos por el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) y por Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Izquierda arriba: $\epsilon(0.01\text{s})$. Derecha arriba: $\epsilon(0.1\text{s})$. Izquierda abajo: $\epsilon(1.0\text{s})$. Derecha abajo: $\epsilon(3.0\text{s})$. Centro abajo: $\epsilon(5.0\text{s})$.

4.3 Factores de correlación.

Se obtienen los factores de correlación usando los distintos modelos de atenuación. La banda de periodos queda determinada por el periodo hasta el cual sea posible calcular las aceleraciones espectrales con el modelo de atenuación correspondiente. De este modo los modelos de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref.16) y Young et al., 1997 (Ref.34) permiten obtener los factores de correlación entre bandas de periodo hasta 3s. El modelo de Zhao et al., 2006 (Ref.35) permite calcular los factores de correlación hasta 5s y el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref.1) hasta los 10s.

En las figuras siguientes se muestran los factores de correlación para cada modelo de atenuación de acuerdo a la misma desagregación de resultados mostrada para las diferencias espectrales ε en la sección 4.2 (Figura 17).

En la fila superior se muestran los factores de correlación como curvas de nivel sobre ambas bandas de periodos y como se comparan estos a los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8), los cuales se presentan en la Figura 52 y Figura 53. En la fila inferior se muestran estos mismos resultados fijando un valor de periodo y graficando los valores de correlación que se alcanzan. Se muestran los resultados para valores de periodo fijo de 0.05s, 0.1s, 0.2s, 0.5s, 2.0s y 3.0s. Se agregan los casos de periodo fijo igual a 5.0s y 10s cuando el modelo lo permita. El modelo de Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) no se desagrega según las categorías mencionadas anteriormente debido a que no se cuenta con la base de datos ocupada en su modelación, por lo que se muestran sus resultados solo para identificar tendencias entre los distintos set de datos

Los factores de correlación de Baker and Jayaram que se muestran corresponden a un modelo ajustado a datos empíricos de la NGA Ground Motion Library, base de datos administrada por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER, Ref. 30), correspondiente a más de 2500 registros alrededor de zonas sísmicas activas con procesos sismogénicos del tipo intraplaca superficial o corticales, ocupando 4 modelos de atenuación para eventos sísmicos de dicho tipo (Abrahamson and Silva, 2008, Ref. 2; Boore and Atkinson, 2008, Ref. 12; Campbell and Bozorgnia, 2008, Ref. 19; Chiou and Youngs, 2008, Ref. 22).

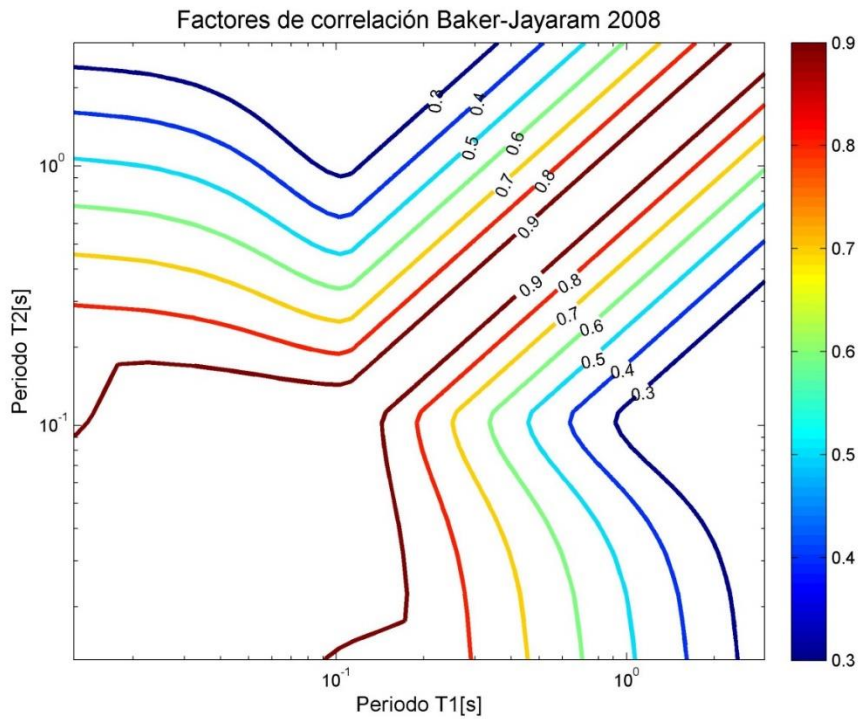


Figura 52: Factores de correlación propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) sobre ambas bandas de periodos.

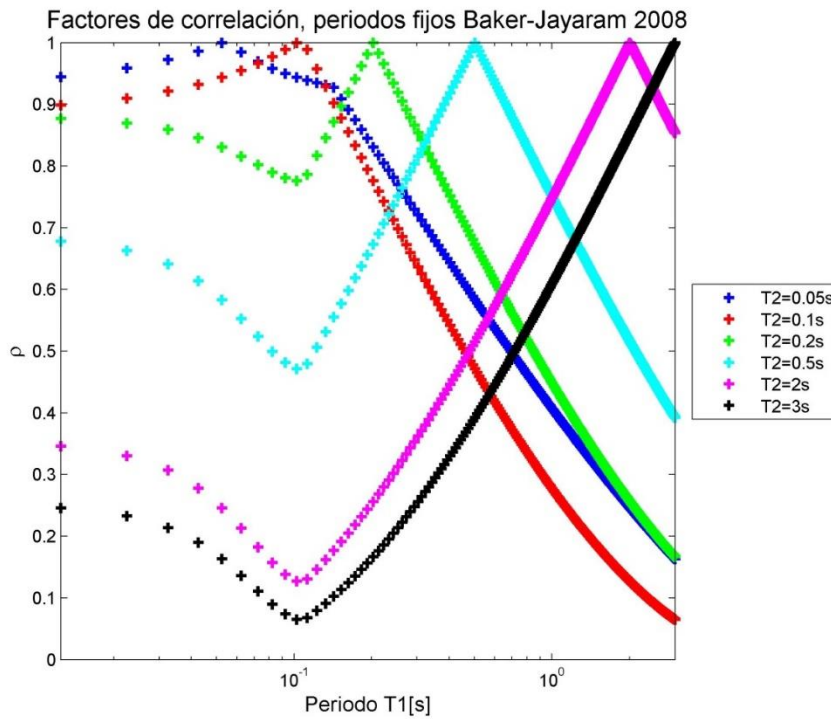


Figura 53: Factores de correlación propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) usando distintos periodos fijos.

4.3.1 Modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34)

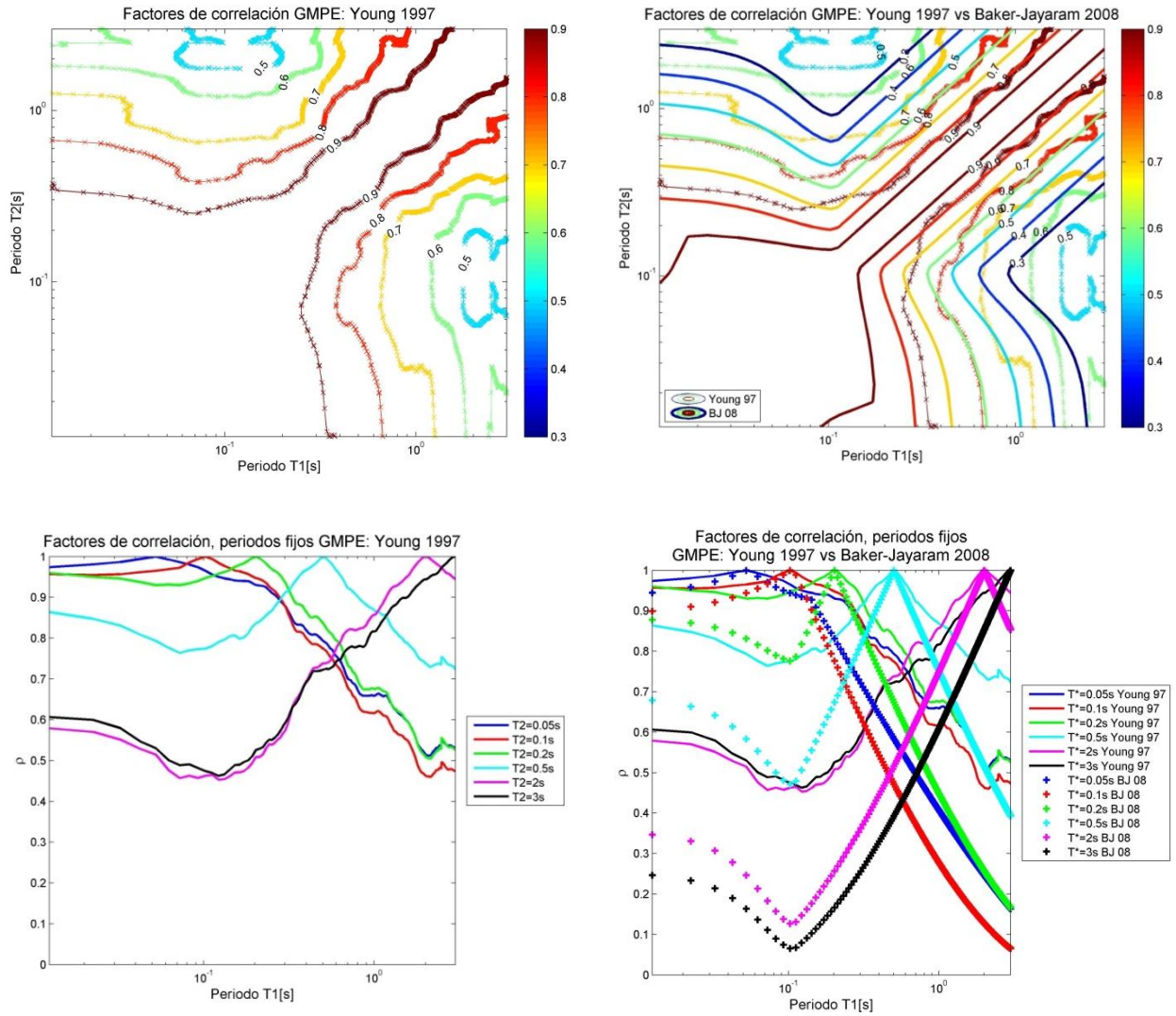


Figura 54: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

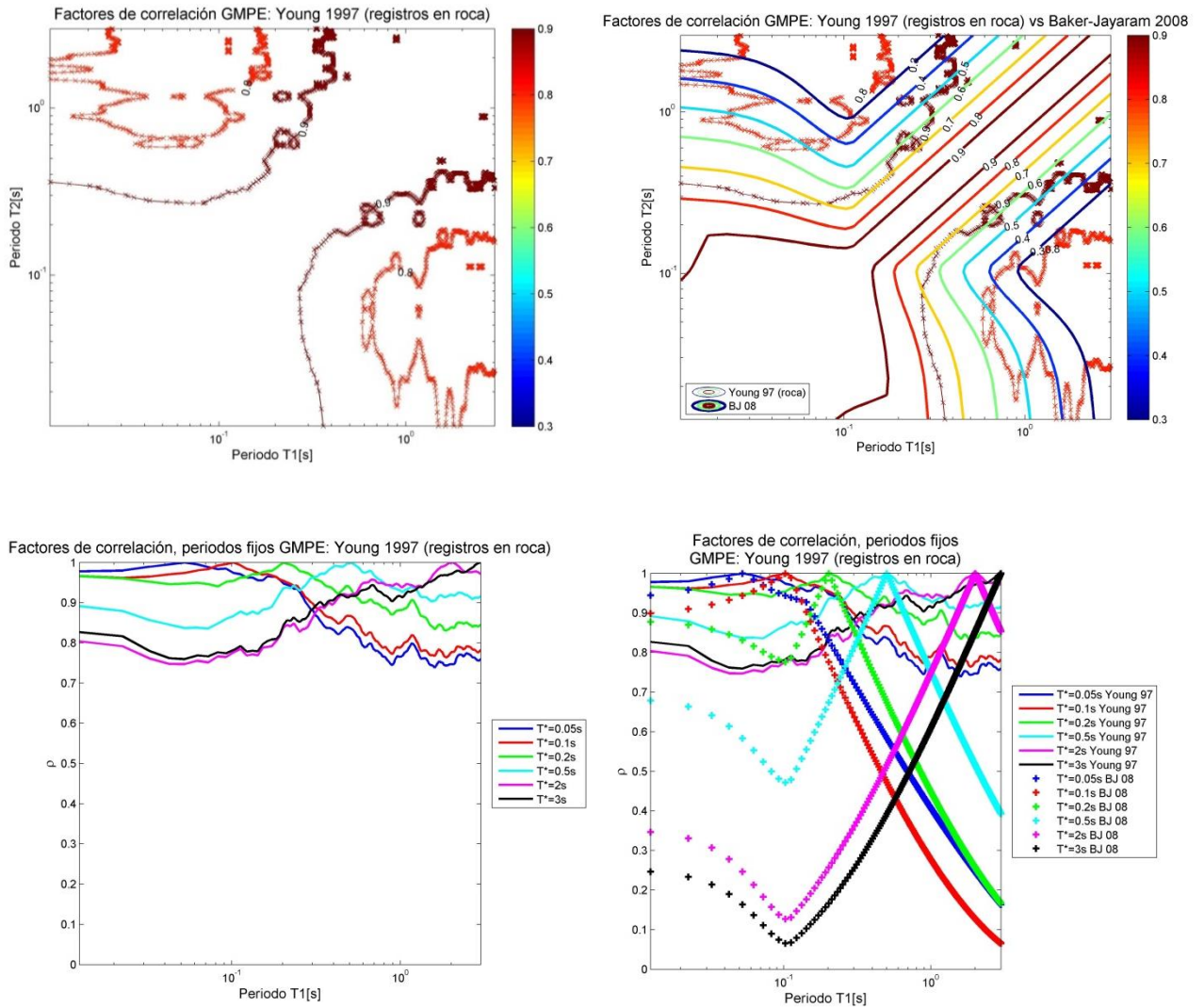


Figura 55: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

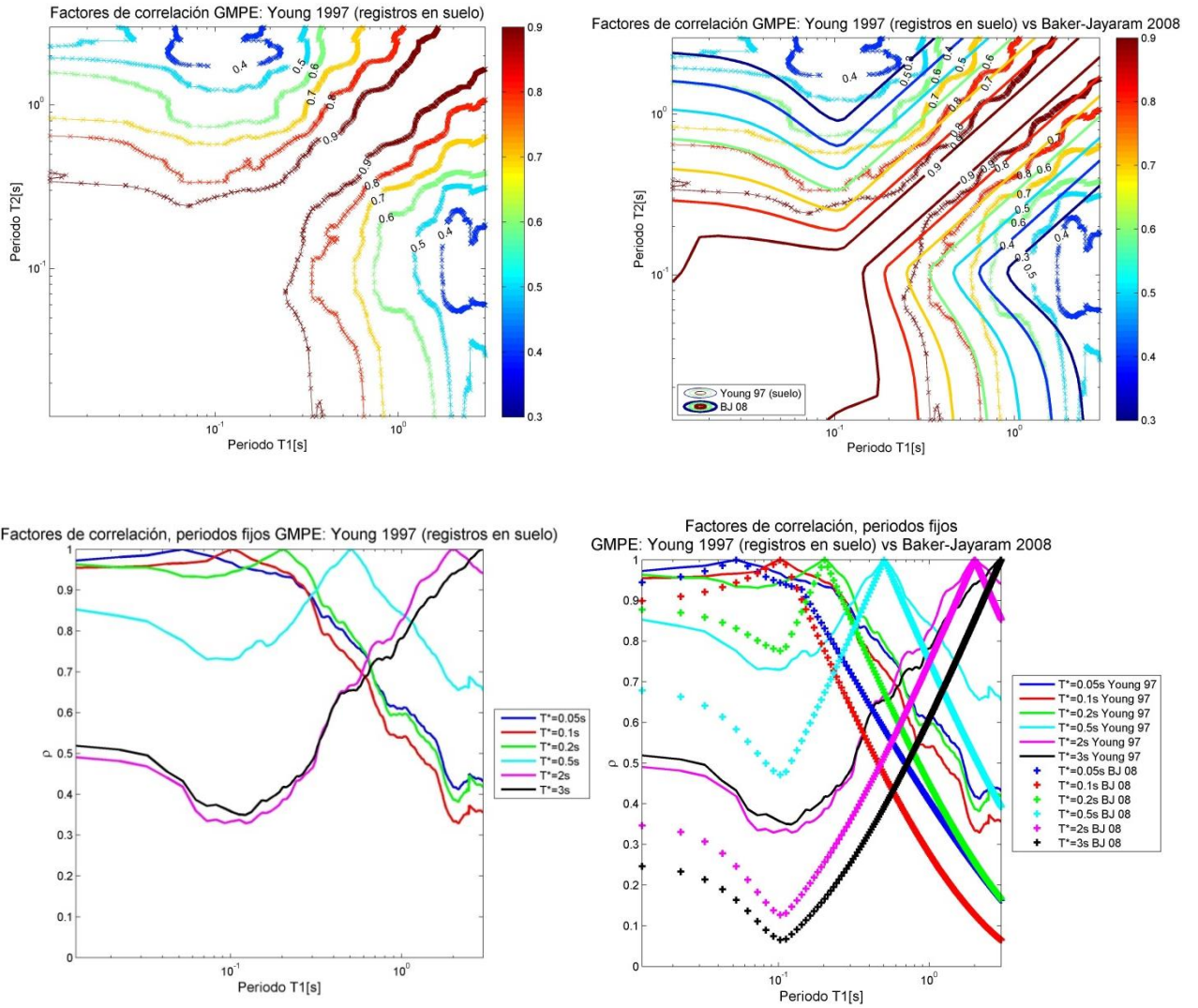


Figura 56: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

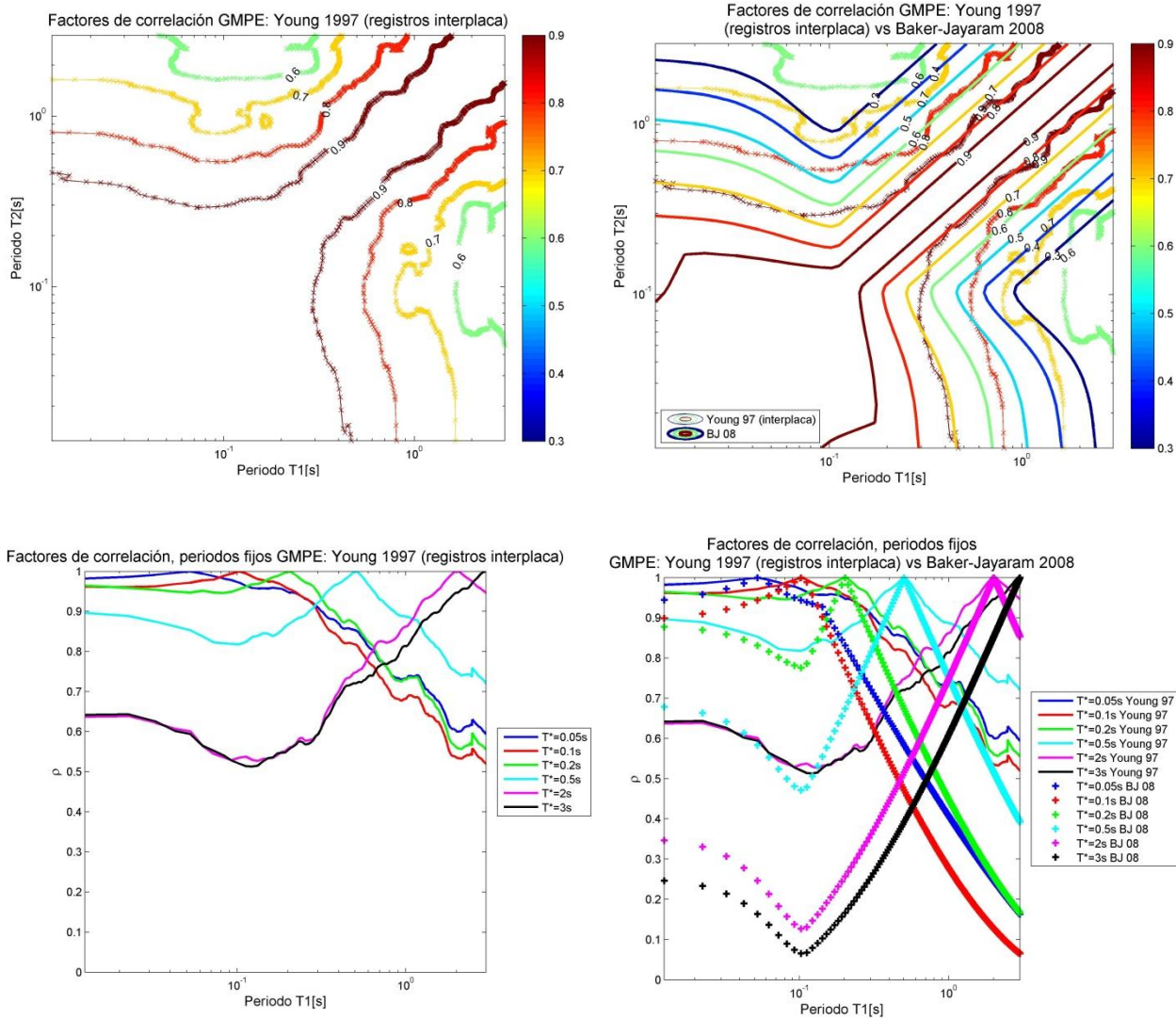


Figura 57: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

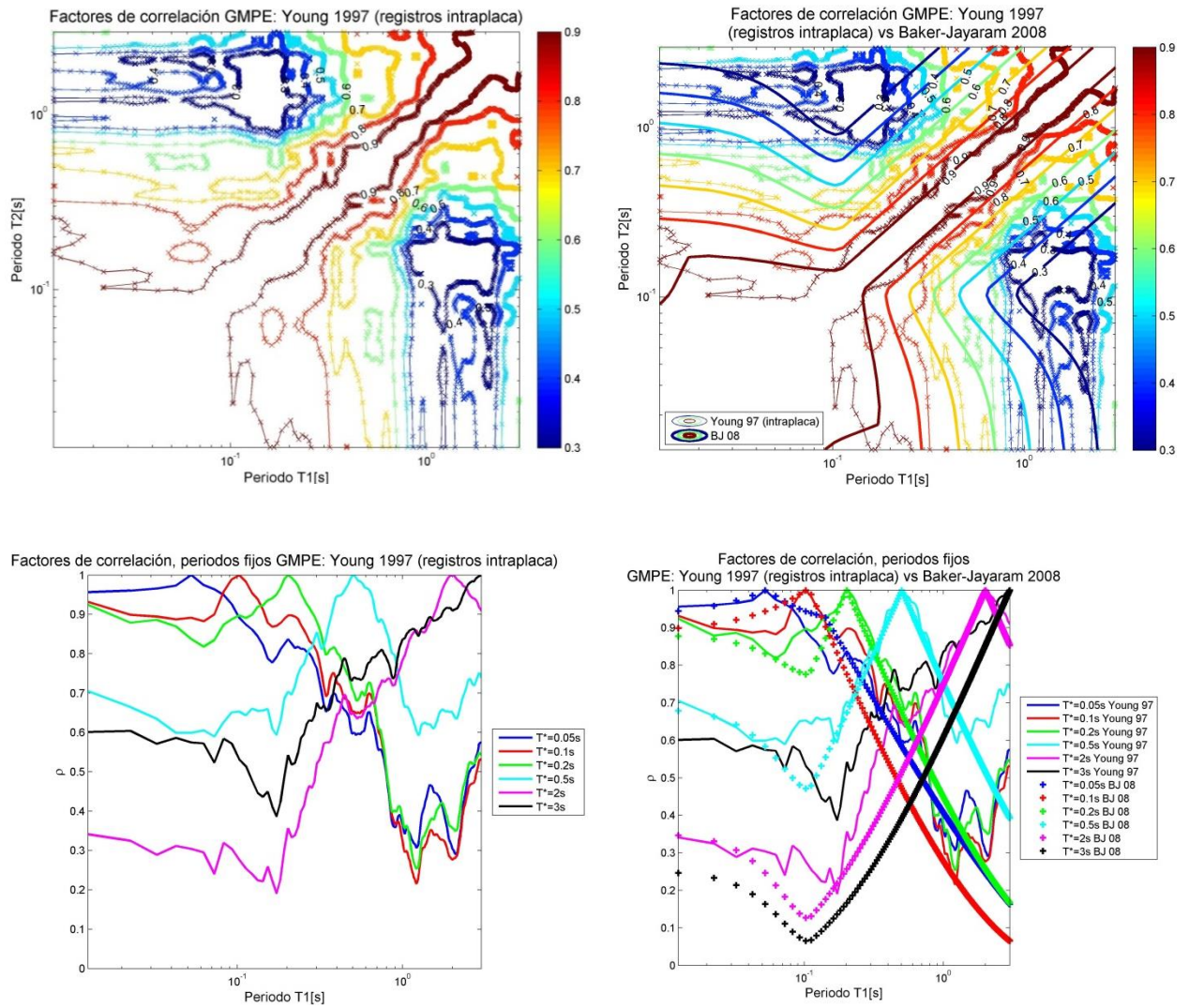


Figura 58: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

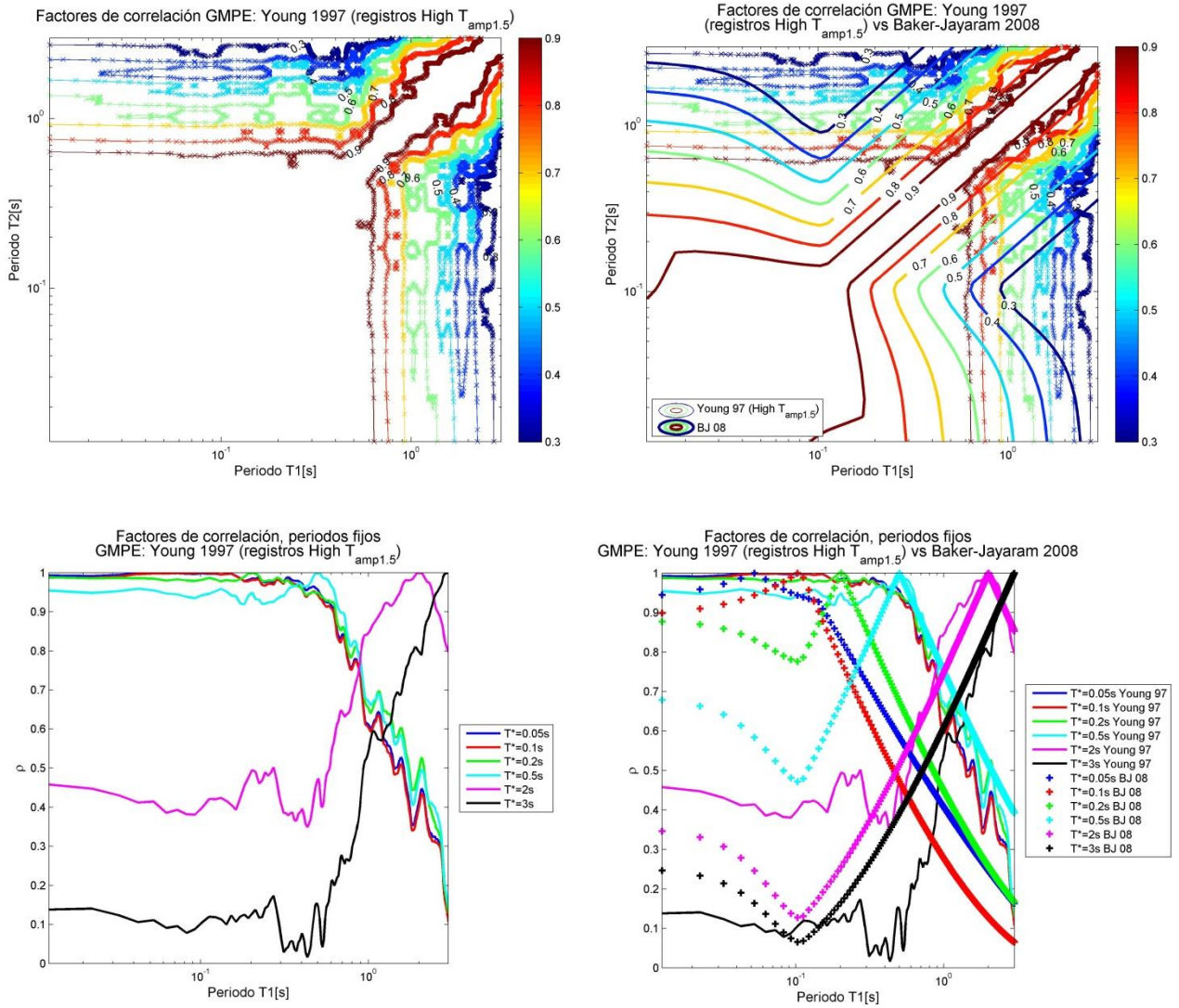


Figura 59: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

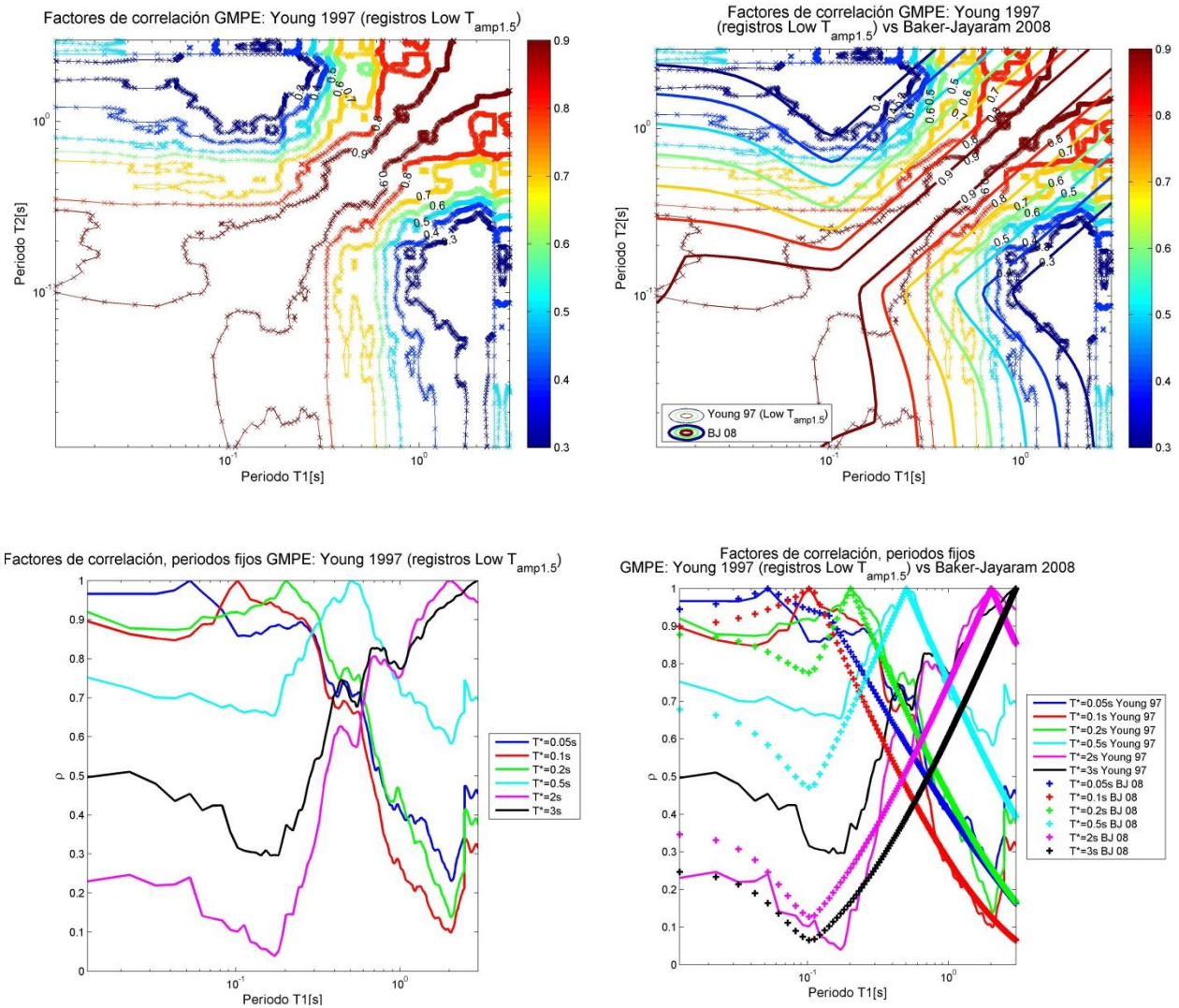


Figura 60: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

Para el caso base se tiene un valor mínimo de correlación de 0.5. Las figuras de curvas de nivel recorriendo ambas bandas de periodo entregan formas de los factores de correlación similares a las propuestas por Baker y Jayaram para correlaciones mayores a 0.8, mientras que para correlaciones menores las curvas se alejan de las propuestas por Baker and Jayaram. El valor de periodo donde se alcanzan las mínimas correlaciones con un periodo fijo es en torno a 0.1s y en una vecindad en torno a 2s. Obteniendo los factores de correlación solo con registros de estaciones en roca se obtienen correlaciones mínimas muy altas (mayores a 0.75), con curvas muy alejadas de las propuestas por Baker and Jayaram, y sin un rango o valor de periodo claro donde se alcancen los mínimos cuando se fija un periodo condicionante. Repitiendo la

desagregación pero calculando los factores de correlación solo con registros de estaciones en suelo se llega a correlaciones menores que las del caso base (se obtiene una correlación mínima de 0.35), con curvas similares a las de Baker and Jayaram para correlaciones mayores a 0.7, mientras que para valores menores de correlación las curvas se empiezan a alejar de las propuestas por Baker and Jayaram. Se marca un mínimo para las correlaciones de periodo fijo en torno a 0.1s y en torno a 2.0s. Calculando los factores solo con registros de eventos del tipo Interplaca se obtienen correlaciones mínimas de 0.6, con curvas muy similares a las presentadas para el caso base, cercanas a las propuestas por Baker and Jayaram solo en valores altos (correlaciones mayores a 0.9). Se repite la ubicación de las correlaciones mínimas para un periodo fijo en torno a 0.1s y 2.0s. Cuando se consideran solo los registros de eventos del tipo Intraplaca se obtienen factores de correlación muy similares a los de Baker and Jayaram, con un valor mínimo de correlación de 0.2. Las curvas son cercanas a las de Baker and Jayaram para cualquier valor de correlación excepto cuando uno de los periodos se acerque a 3s, donde los factores de correlación obtenidos con el modelo de atenuación de Young entregan valores mayores a los predichos por Baker and Jayaram. Existen claros puntos de la banda de periodos donde se alcanzan los mínimos valores de correlación dejando fijo un periodo condicionante, en torno a 0.2s y 1.2s. Para la desagregación según rango alto del periodo peak $T_{amp1.5}$ se obtienen factores de correlación mínimos cercanos a 0.1. Las curvas se acercan a las de Baker and Jayaram de manera muy similar a las obtenidas ocupando solo registros de eventos Intraplaca, sin embargo esto solo cuando ambos periodos son mayores a 0.8s. Para ambos periodos menores a 0.8s se obtienen curvas que se alejan de las propuestas por Baker and Jayaram, debido a que entregan el mismo valor de correlación dejando fijo un periodo y el otro aumentando. Esto se ve como una línea casi horizontal para los factores de correlación en las figuras de periodo fijo en distintos tramos de la banda de periodos, mientras que el modelo de Baker and Jayaram presenta un comportamiento ascendente o descendente continuo. Los valores mínimos de correlación en las figuras de periodo fijo se obtienen en una vecindad de 0.5s y en 3s. Finalmente para los factores de correlación obtenidos solo ocupando registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ se obtienen valores mínimos cercanos a 0.1 (al igual que en el caso anterior), y formas de las curvas de nivel cercanas a Baker and Jayaram para toda la banda de periodos. Se obtienen los valores más bajos de correlación en el caso de fijar un periodo condicionante en torno a 0.2s y 2.0s.

4.3.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35)

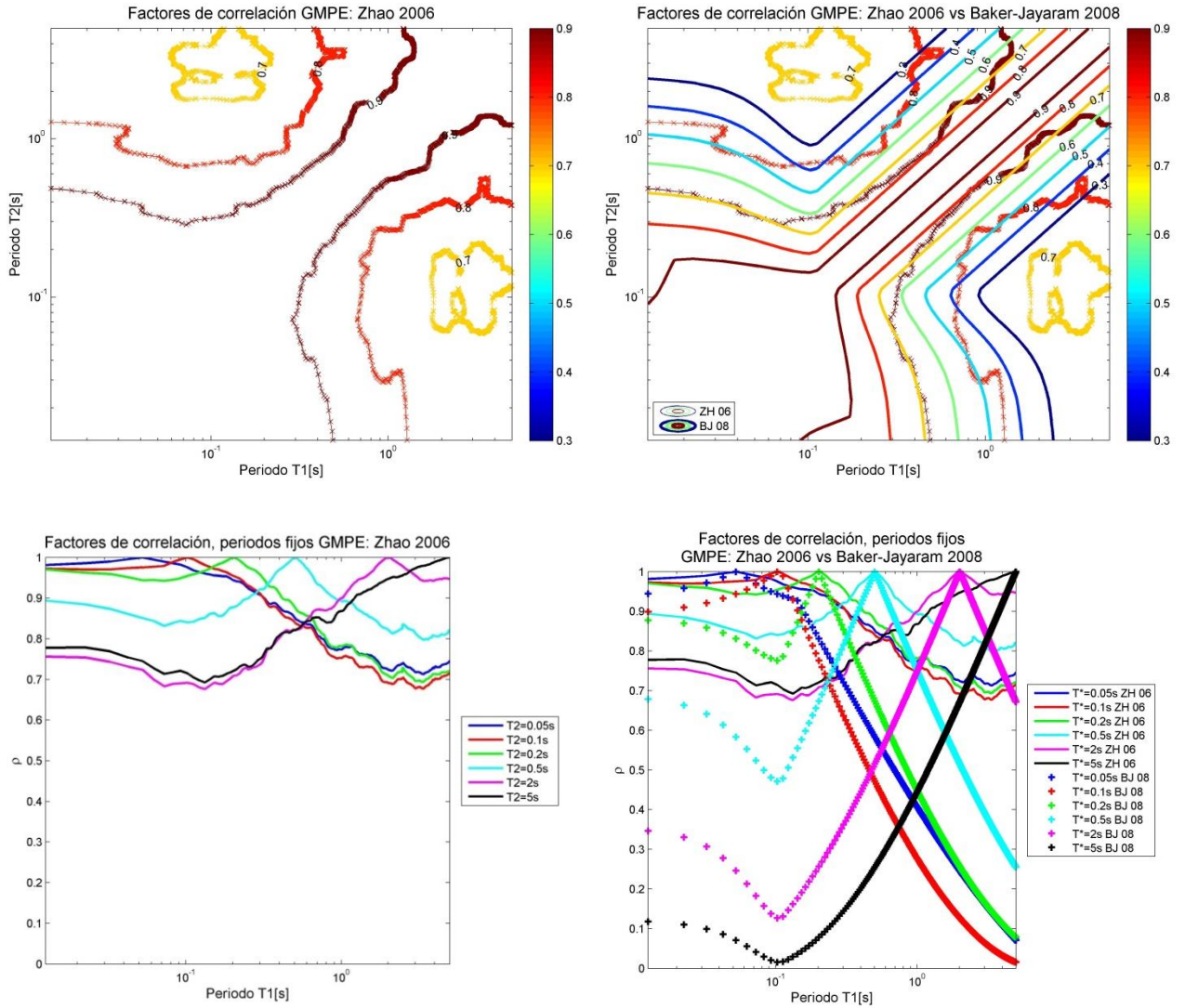


Figura 61: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

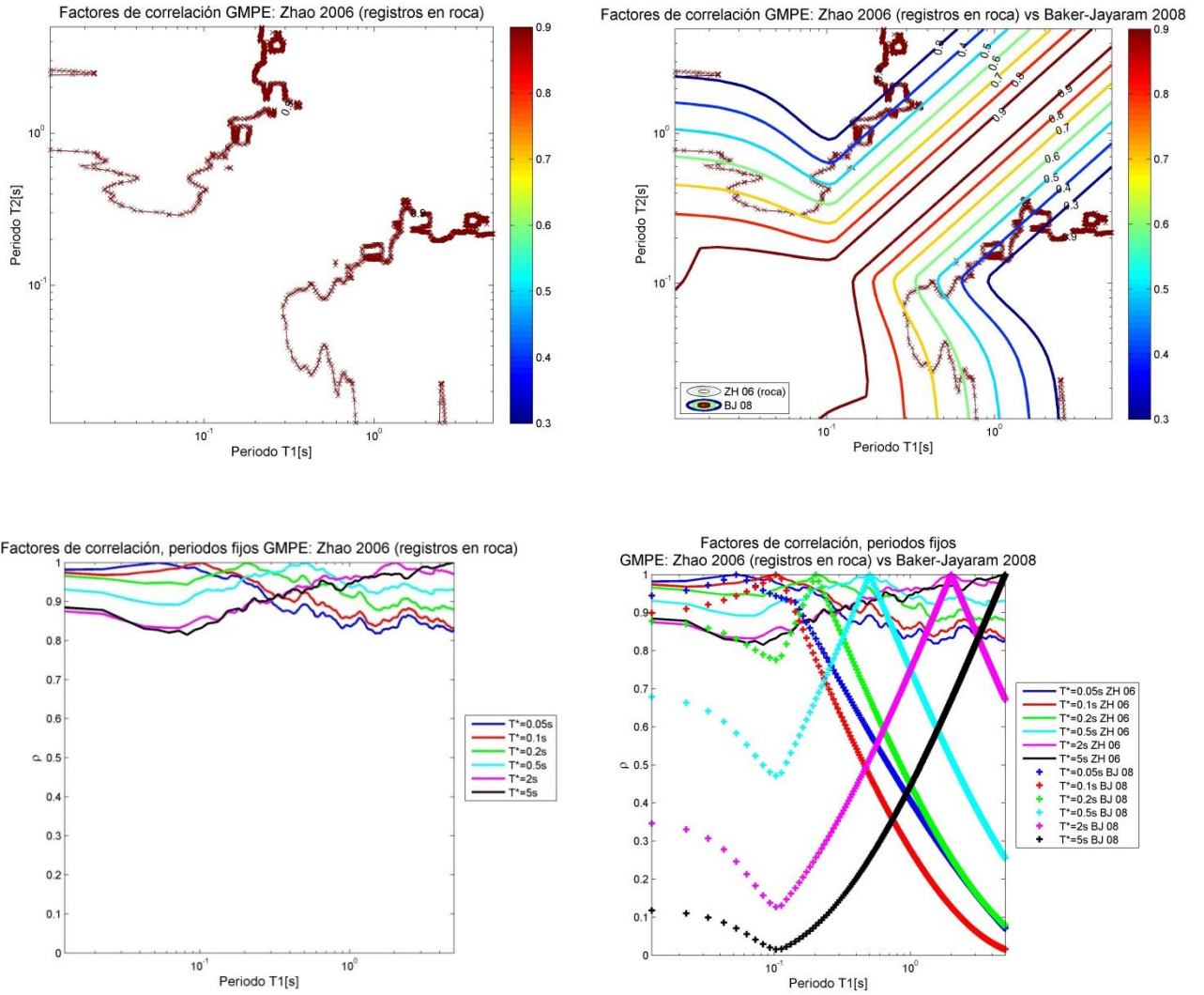


Figura 62: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

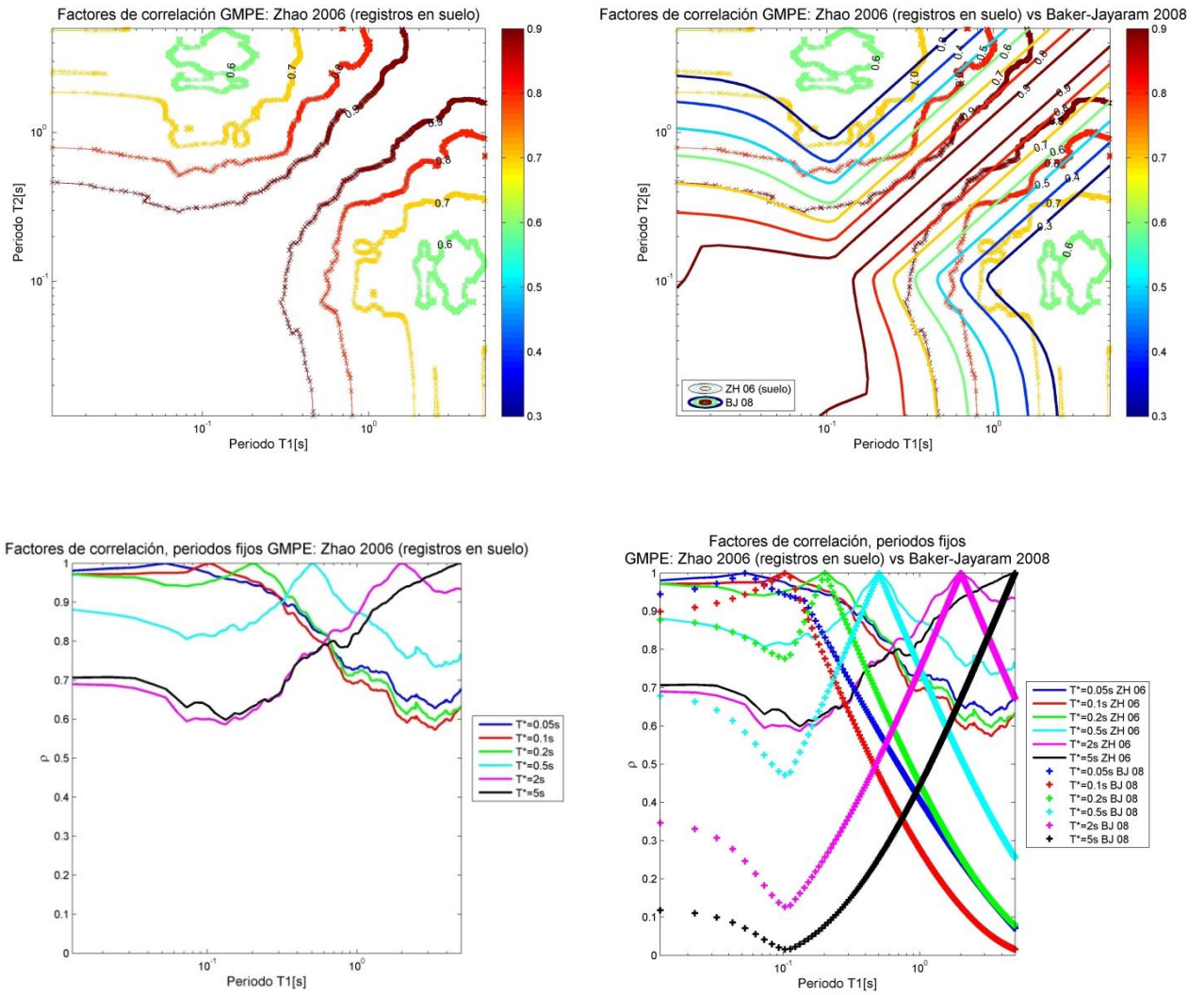


Figura 63: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

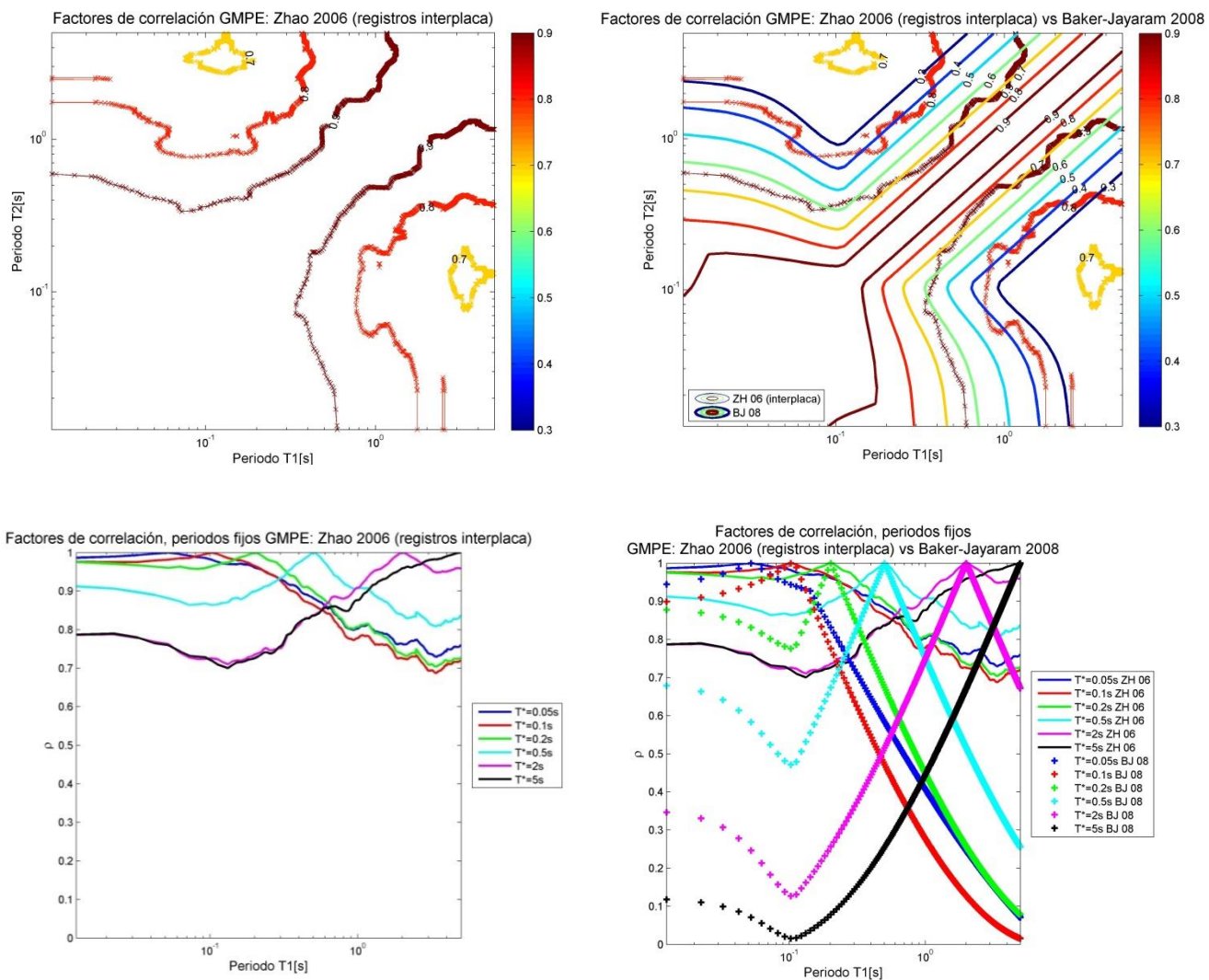


Figura 64: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

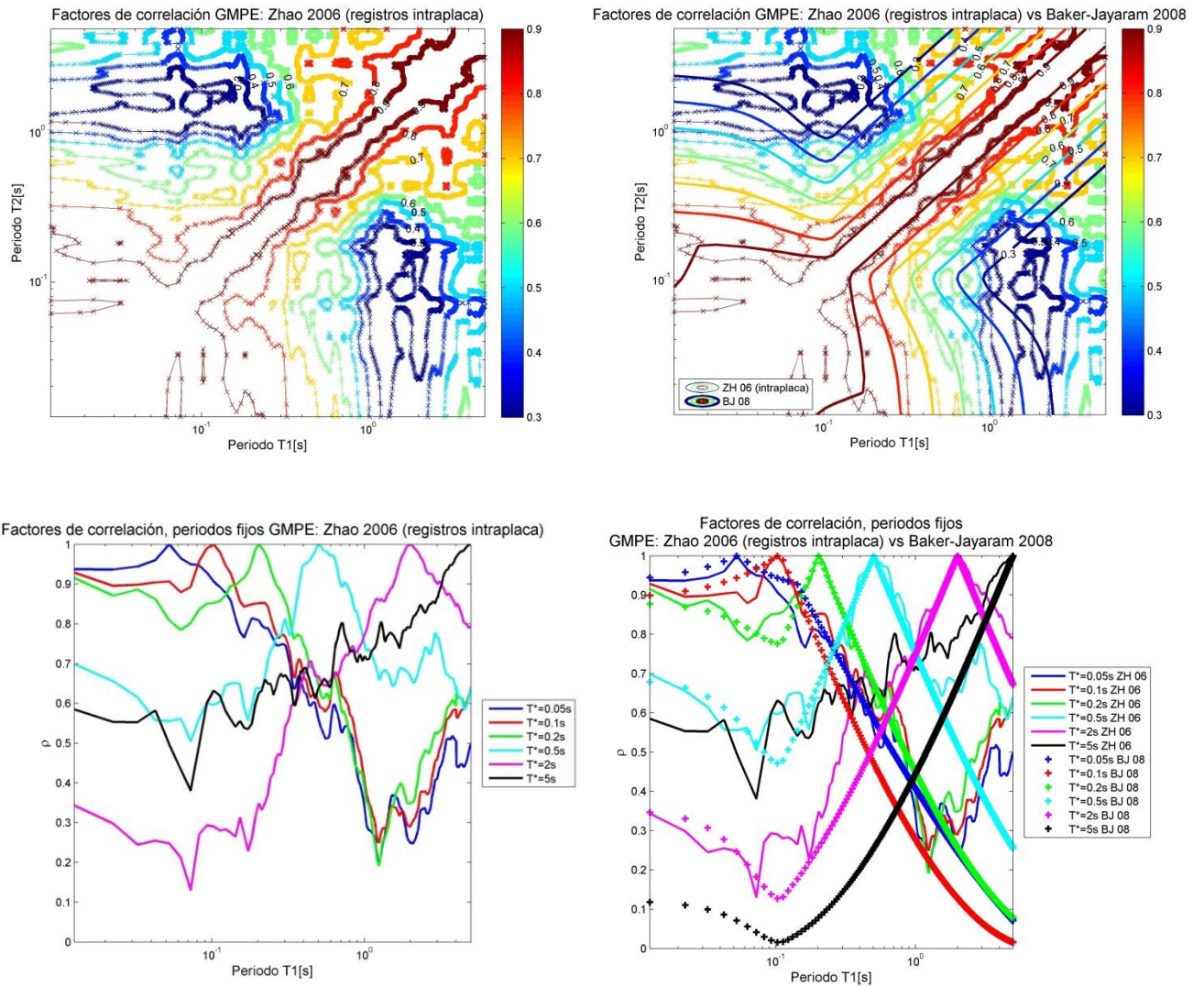


Figura 65: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

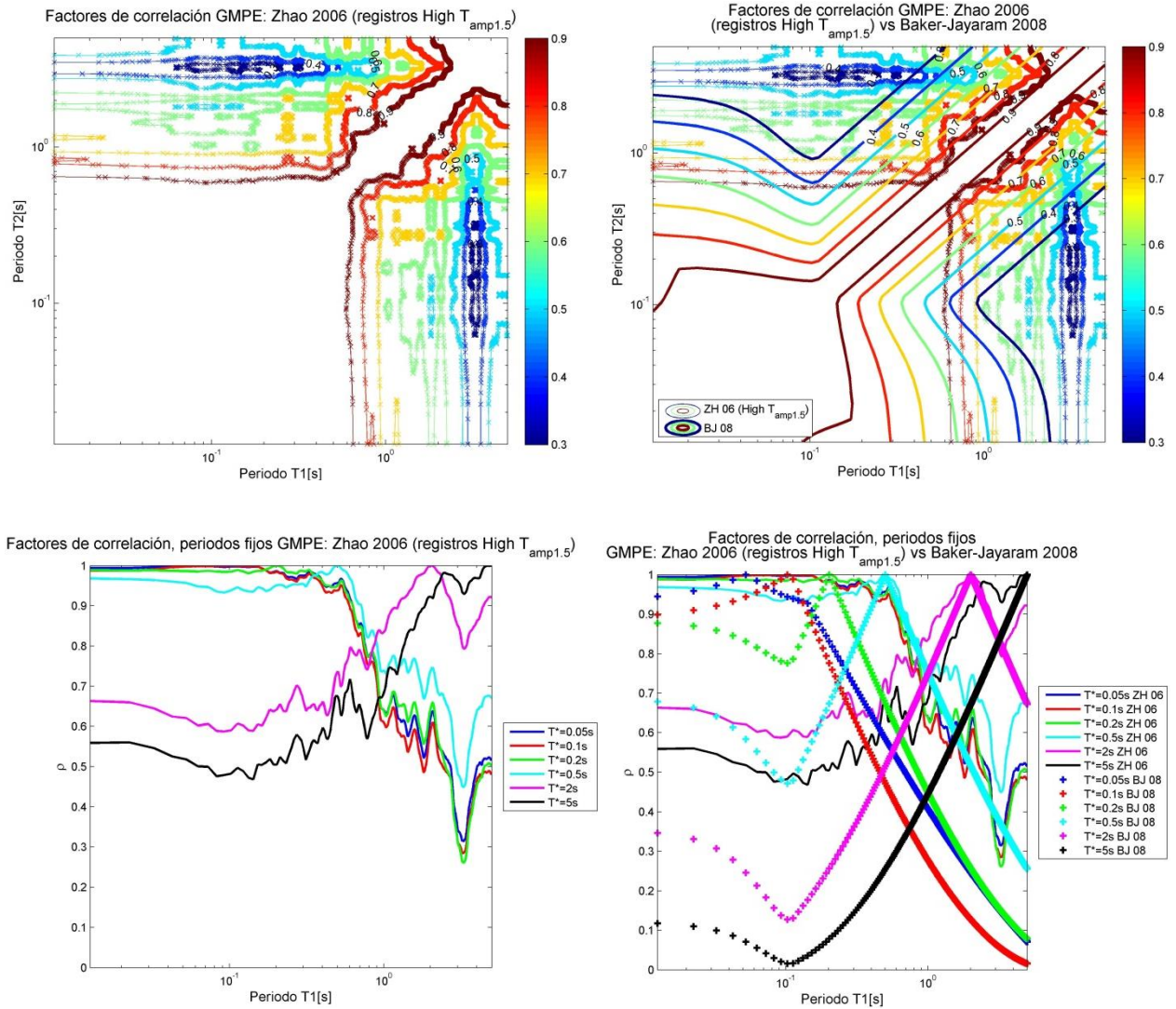


Figura 66: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

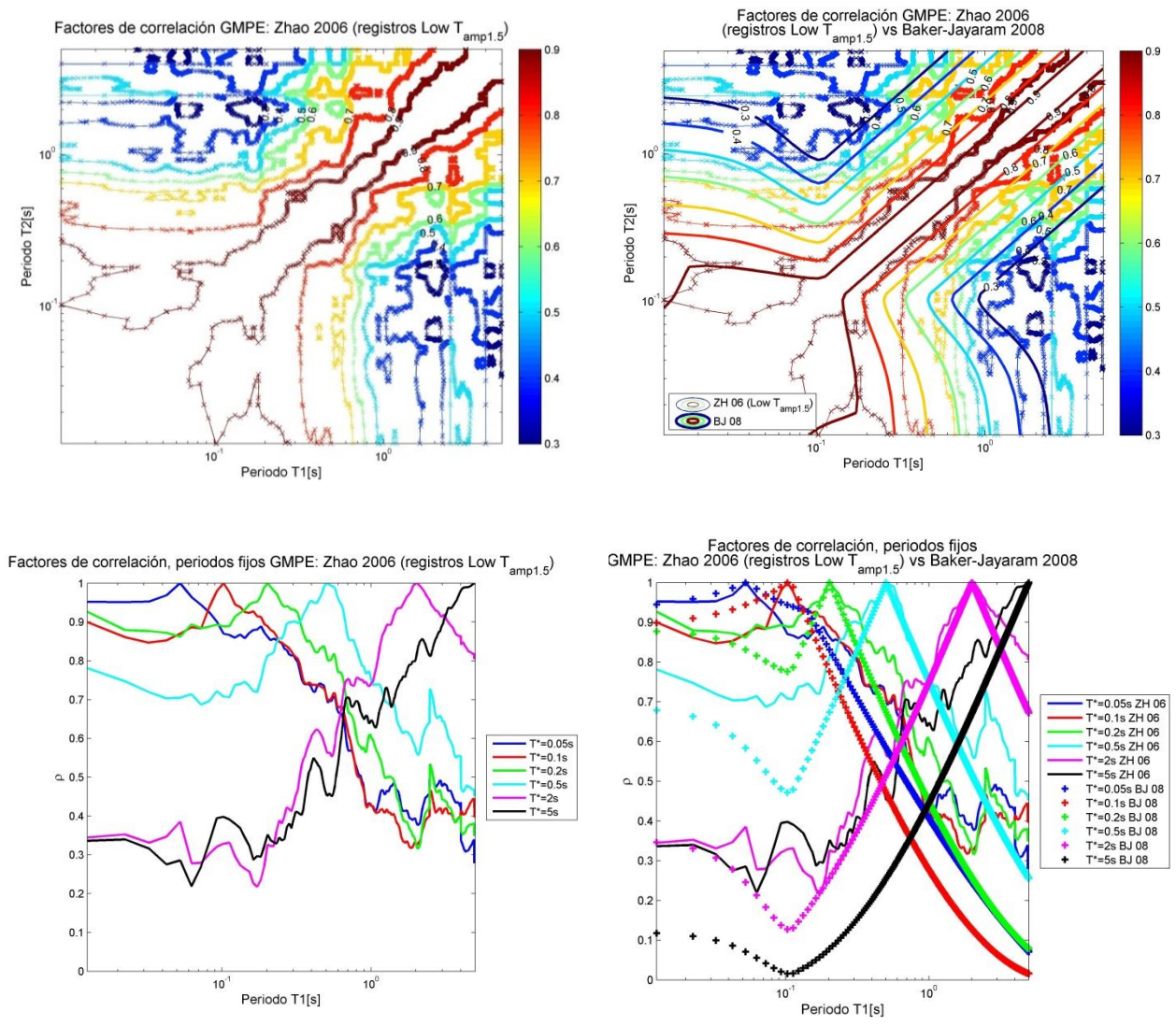


Figura 67: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35).

Para el caso base se tiene un valor mínimo de correlación de 0.7. Las figuras de curvas de nivel recorriendo ambas bandas de periodo entregan formas de los factores de correlación cercanas a las de Baker and Jayaram solo en correlaciones muy altas (superiores a 0.95), alejándose considerablemente a medida que se disminuyen los valores de correlación. No existe un único valor de periodo donde se alcancen los menores valores de correlación con un periodo fijo, sino que es un rango entre 0.08s y 0.15s, mientras que el segundo mínimo es más claro y se da en torno a 3s. Obteniendo los factores de correlación solo con registros de estaciones en roca se obtienen correlaciones mínimas muy altas (0.75), alejándose de las propuestas por Baker and Jayaram en toda la banda de periodos. En torno a 0.09s se obtienen los menores factores de

correlación al dejar un valor de periodo fijo, no existiendo un segundo valor de periodo o rango de estos donde se llegue a mínimos de correlación claros. Al obtener los factores de correlación solo con registros de estaciones en suelo se obtiene una correlación mínima de 0.6. Las curvas se acercan a las propuestas por Baker and Jayaram solo en correlaciones altas (mayores a 0.9), mientras que a medida que se disminuye el valor de correlación las curvas se alejan. En torno a 0.1s se obtienen las correlaciones menores al dejar un periodo fijo, mientras que el segundo valor de periodo donde esto se replica es en 3.0s. Calculando los factores solo con registros de eventos del tipo Interplaca se obtienen correlaciones mínimas de 0.7, con curvas de nivel sobre ambas bandas de periodo casi idénticas a las presentadas para el caso base, cercanas a las propuestas por Baker and Jayaram solo en correlaciones muy altas (mayores a 0.95). Se distingue un mínimo claro para las correlaciones en las figuras de periodo fijo en torno a 0.1s y 3.0s, al igual que en el caso base. Cuando se consideran solo los registros de eventos del tipo Intraplaca se obtienen correlaciones mínimas cercanas a 0.2. Las curvas son muy cercanas a las de Baker and Jayaram en toda la banda de periodos, a excepción de cuando un periodo se acerca a 5s, situación en la que los factores de correlación obtenidos con el modelo de atenuación de Zhao son mayores a los determinados por Baker and Jayaram. Al dejar un valor de periodo fijo y el otro recorriendo la banda de periodos, se obtienen los menores valores de correlación en torno a 0.08s y en 1.0s. Para la desagregación según rango alto del periodo peak $T_{amp1.5}$ se obtienen factores de correlación mínimos cercanos a 0.3. Las curvas obtenidas para estos registros se acercan a las de Baker and Jayaram solo cuando ambos valores de periodo son mayores a 0.9s, mientras que a valores menores a 0.9s las curvas tienden a entregar un mismo valor de correlación aunque el otro periodo aumente. Este comportamiento se replica en las figuras de periodo fijo como una línea horizontal para las correlaciones en distintos tramos de la banda de periodos, mientras que el modelo de Baker and Jayaram presenta un comportamiento ascendente o descendente continuo. No existe un periodo bajo donde se alcancen los mínimos valores de correlación, sin embargo este comportamiento se muestra claramente en torno a los 3.5s, donde todas los factores con periodos fijos mayores a 0.5s alcanzan su mínimo. Finalmente para los factores de correlación obtenidos ocupando solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ se obtienen valores mínimos cercanos a 0.3. Se repite el comportamiento descrito para los registros de eventos Intraplaca, es decir que se replica la tendencia y comportamiento mostrado por los coeficientes de correlación de Baker and Jayaram excepto cuando un periodo se acerca a 5s, donde los valores de correlación se alejan de los determinados por Baker and Jayaram a medida que el otro periodo disminuye, y entregando correlaciones más altas. Se obtienen los valores

más bajos de correlación en el caso de fijar un periodo condicionante en torno a 0.15s y 2.0s.

4.3.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

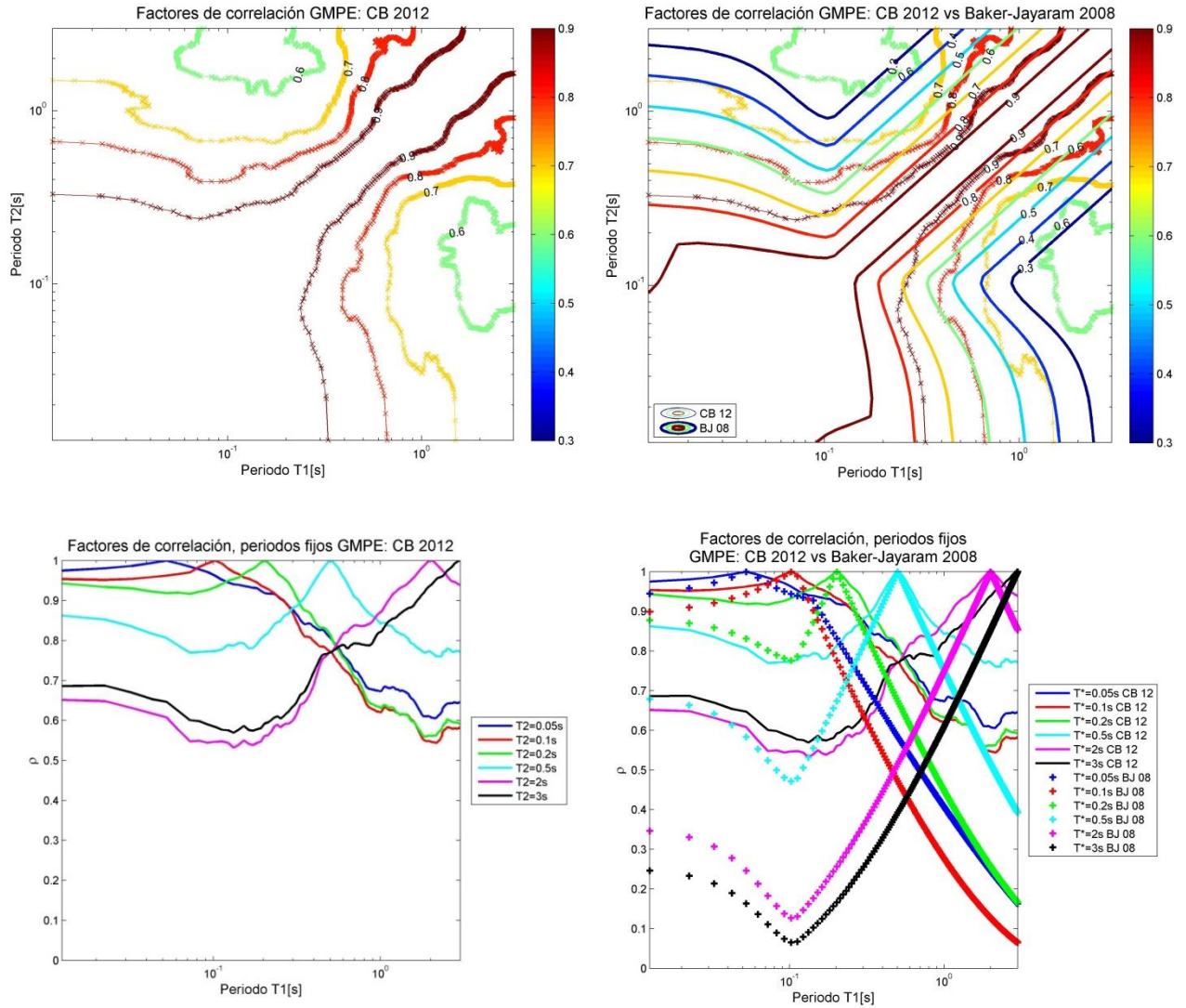


Figura 68: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

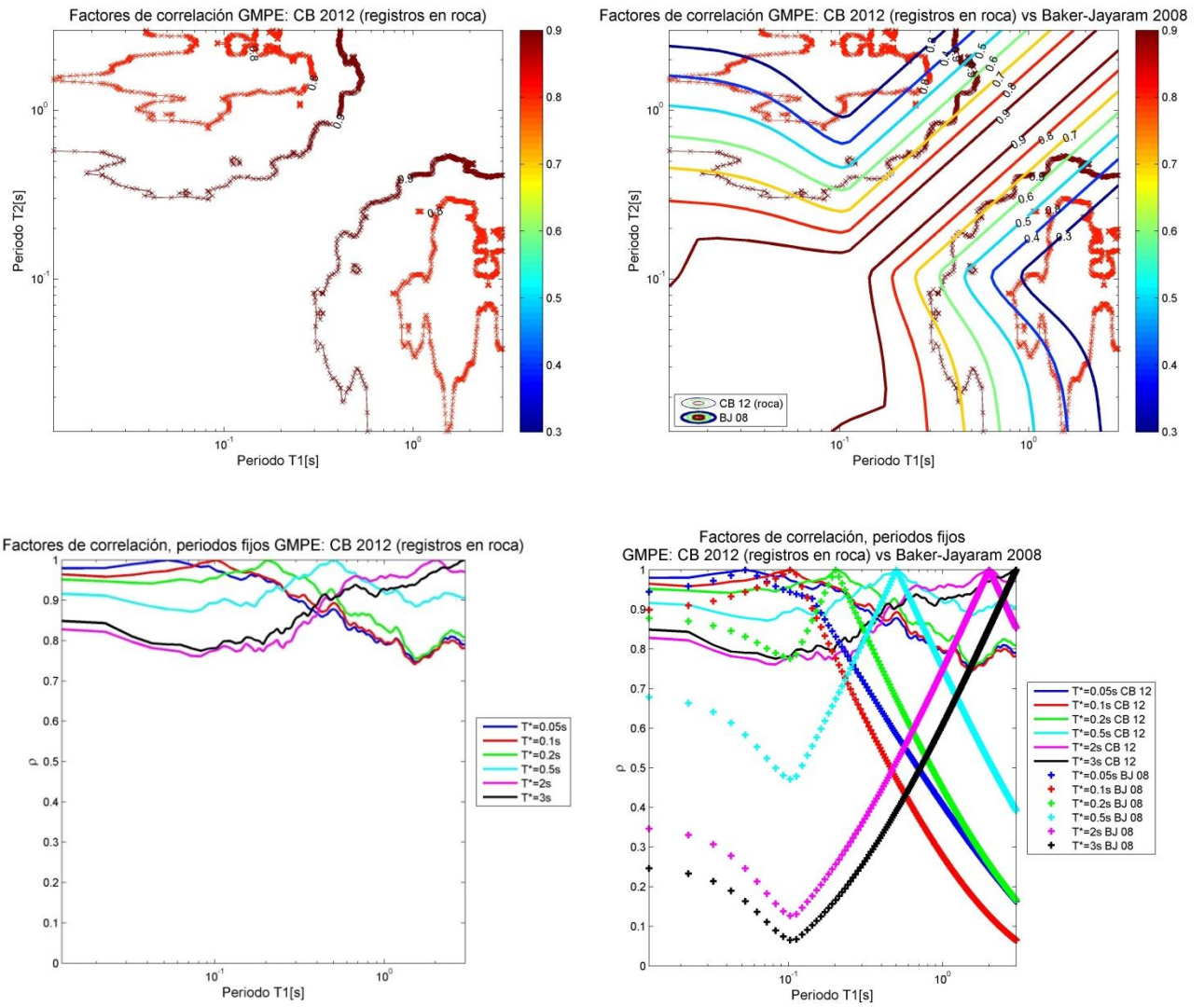


Figura 69: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Boroshek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

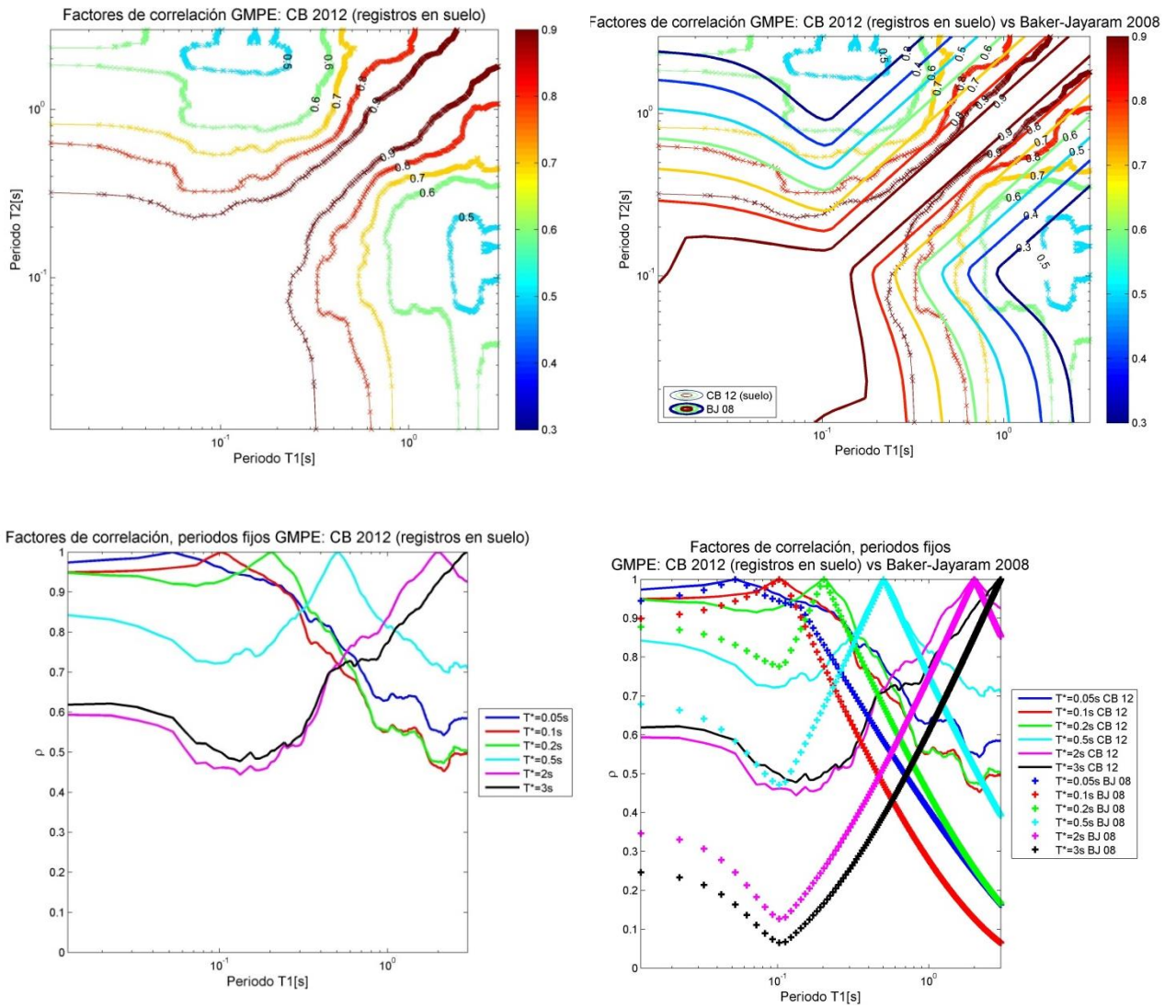


Figura 70: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Boroshek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

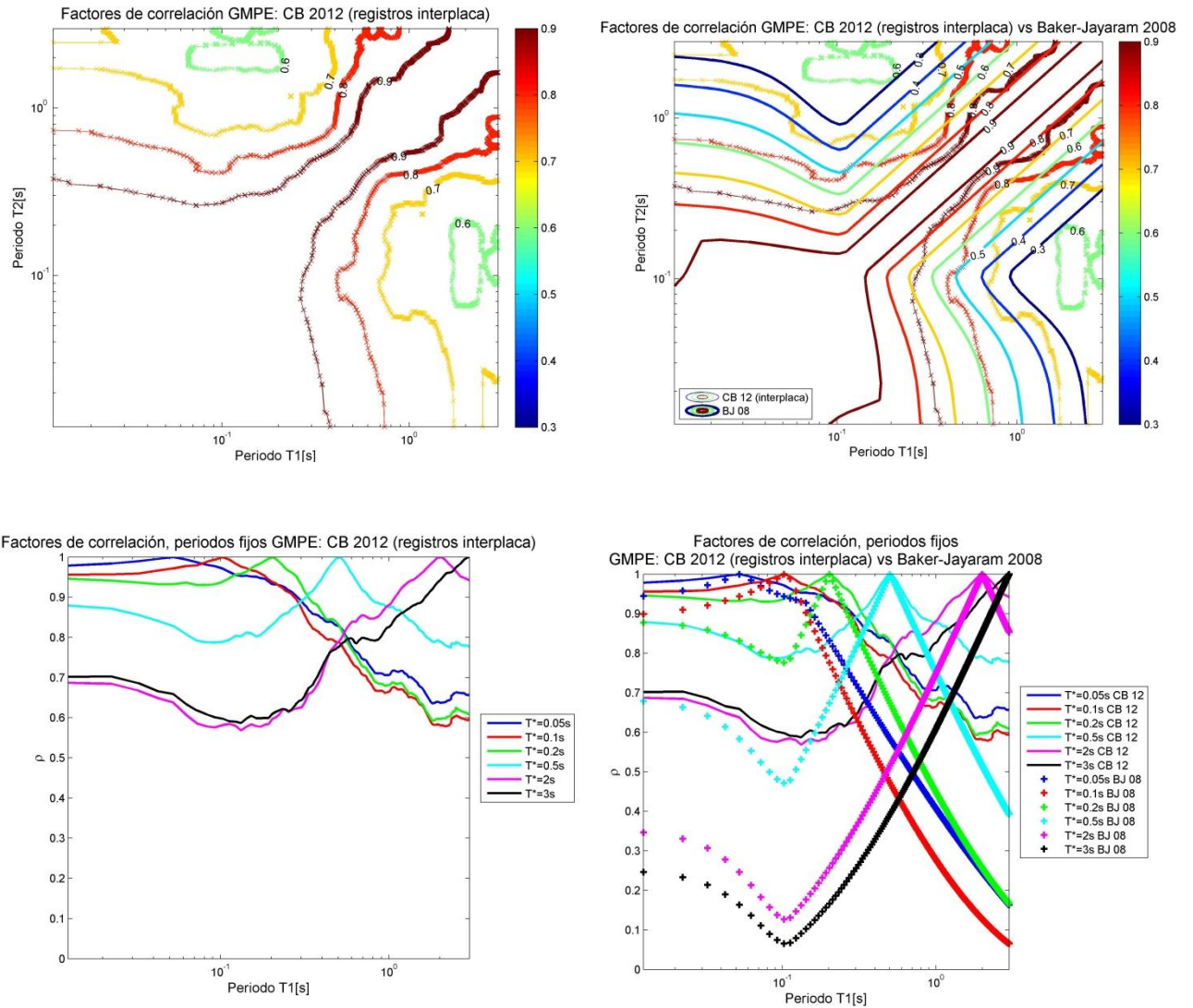


Figura 71: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

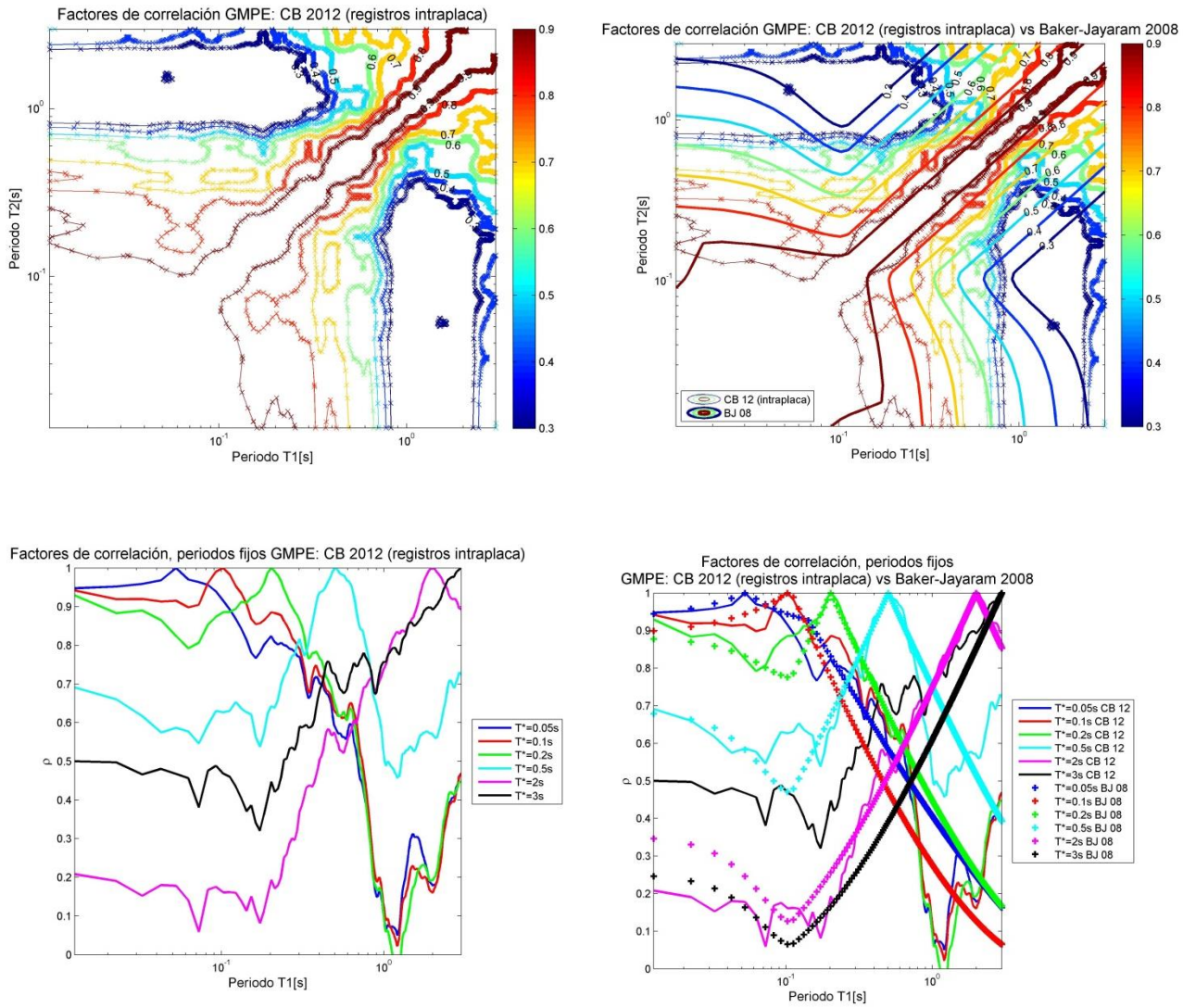


Figura 72: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

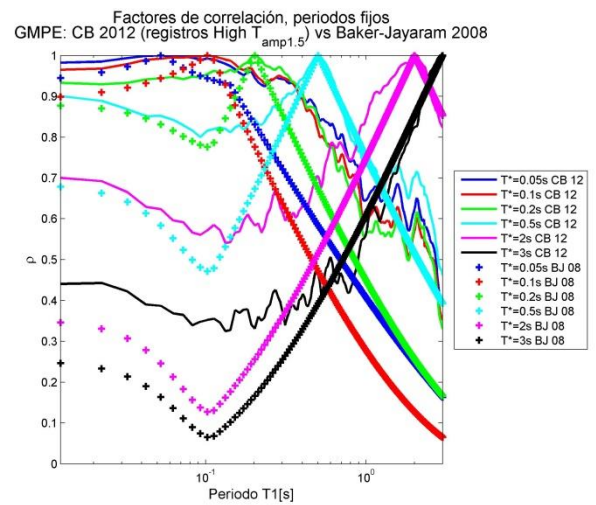
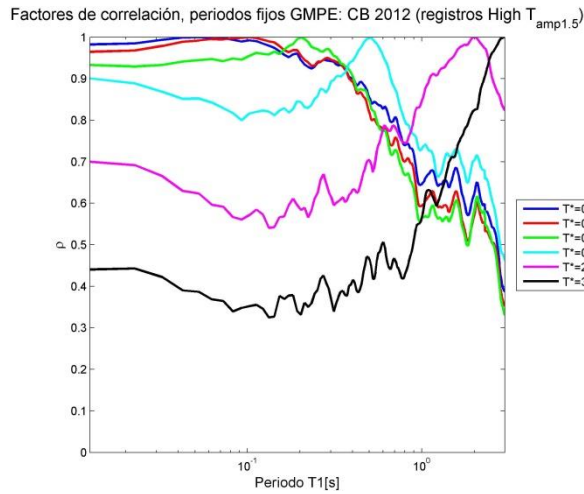
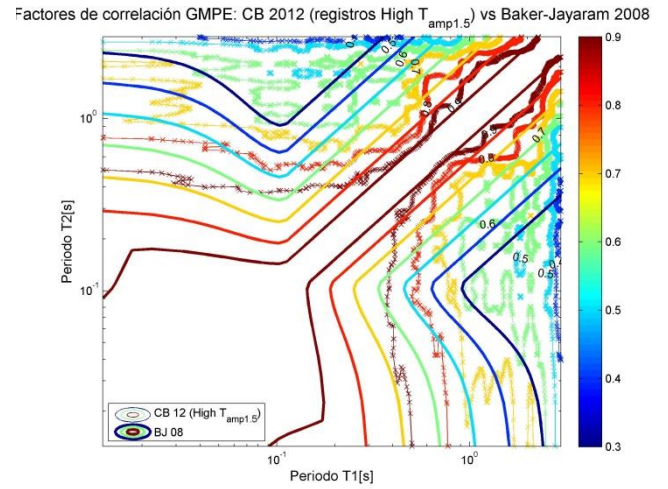
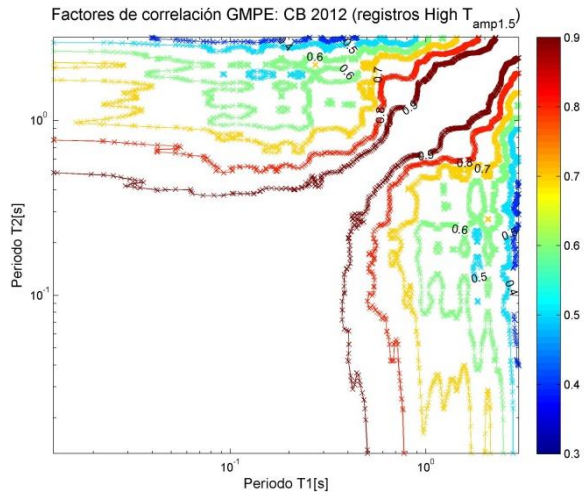


Figura 73: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

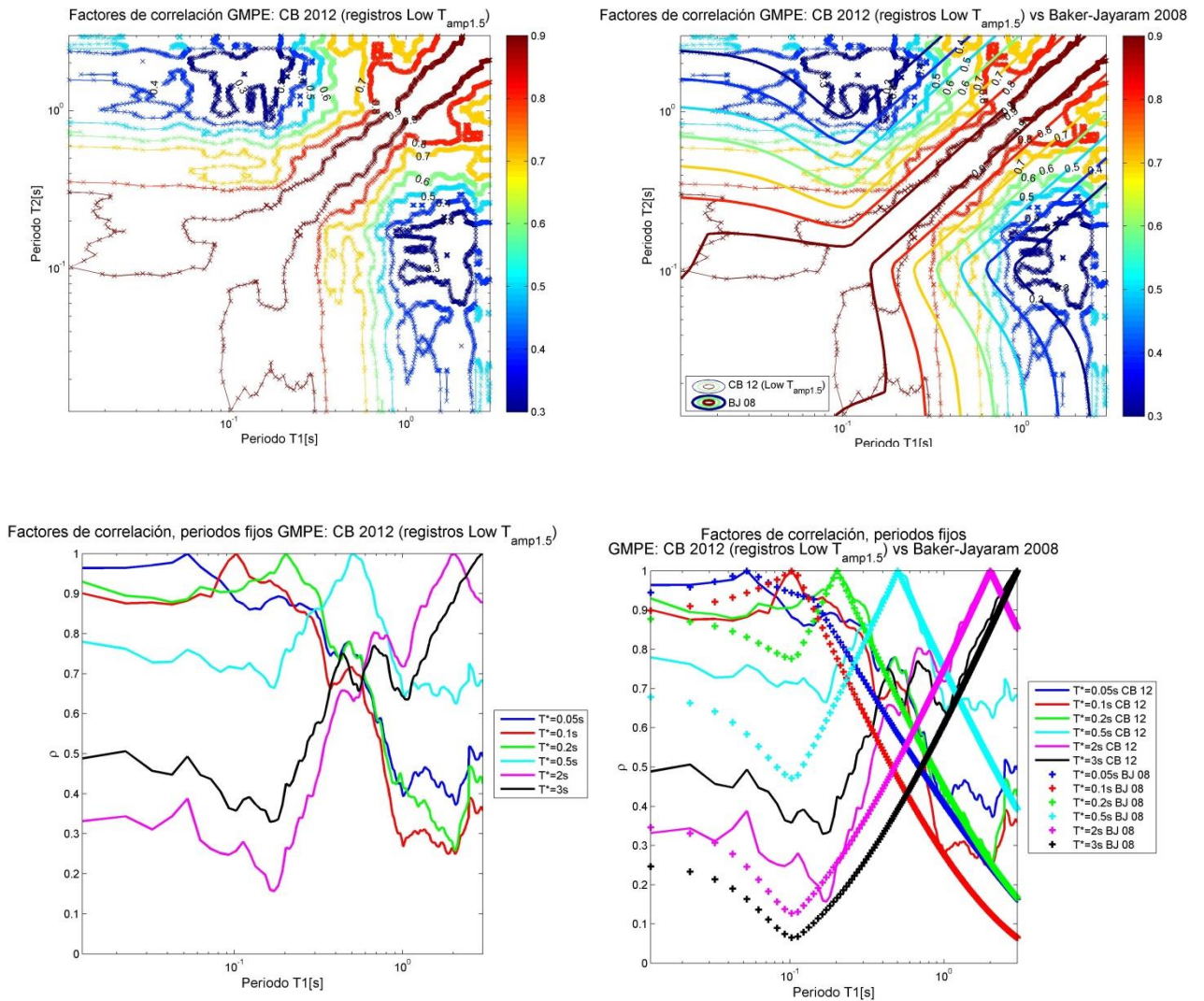


Figura 74: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

Para el caso base se tiene un valor mínimo de correlación de 0.55. Las figuras de curvas de nivel recorriendo ambas bandas de periodo entregan formas de los factores de correlación cercanas a las de Baker and Jayaram solo en correlaciones altas (superiores a 0.9), alejándose a medida que se disminuyen los valores de correlación. No existe un único valor de periodo donde se alcancen los menores valores de correlación con un periodo fijo, sino que es un rango en torno a 0.15s, mientras que el segundo mínimo es más claro y se da en torno a 2s. Obteniendo los factores de correlación solo con registros de estaciones en roca se obtienen correlaciones mínimas muy altas (0.8), alejándose de las propuestas por Baker and Jayaram en toda la banda de periodos. No existe un valor bajo de periodo donde se alcance el mínimo para los

factores de correlación al dejar un periodo fijo, sin embargo esto si se logra para periodos cercanos a 1.5s. Calculando los factores de correlación solo considerando estaciones en suelo se obtiene una correlación mínima de 0.45. Las curvas se acercan a las determinadas por Baker and Jayaram solo para correlaciones mayores a 0.7 y por tramos de la banda de periodos. En general el comportamiento de estos factores es muy similar al presentado por los calculados en el caso base. En 0.15s y 2.0s se alcanzan los mínimos para los factores de correlación dejando uno de los periodos fijos. Calculando los factores solo con registros de eventos del tipo Interplaca se obtienen correlaciones mínimas de 0.6, con curvas de nivel sobre ambas bandas de periodo muy similares a las obtenidas para la totalidad de los registros (caso base), cercanas a las propuestas por Baker and Jayaram para correlaciones altas (superiores a 0.9) y alejándose de estas a medida que se disminuyen los factores de correlación. No existe un valor claro en periodos bajos donde se produzca el mínimo para los factores obtenidos con un periodo fijo, mientras que el segundo mínimo (asociado a valores de periodo altos) se encuentra en torno a 2.0s. Calculando los factores de correlación solo con registros de eventos del tipo Intraplaca se obtienen valores mínimos cercanos a 0.1, siendo la desagregación de resultados que entrega curvas más cercanas a las predichas por Baker and Jayaram en toda la banda de periodos, a excepción de cuando un periodo se acerca a 3s y el otro se distancia de este hacia valores menores. En esta situación los factores obtenidos son mayores a los de Baker and Jayaram y se alejan de estos a medida que la diferencia entre los periodos aumenta. Los valores mínimos de correlación al fijar un periodo condicionante se obtienen en torno a 0.2s y 1.2s. Los factores de correlación determinados con los registros del rango alto de $T_{amp1.5}$ llegan a valores mínimos cercanos a 0.35 y se acercan a los de Baker and Jayaram solo en correlaciones superiores a 0.7 y con ambos periodos mayores a 1.0s. Para periodos menores se presenta un comportamiento distinto a los de Baker and Jayaram, ya que estos aumentan o disminuyen su valor al dejar un periodo fijo y hacer variar el otro mientras que los obtenidos para este caso presentan tramos (dado un periodo fijo) donde se mantienen constantes o con poca variación, lo que se muestra como una línea horizontal en las figuras de periodo fijo. El primer periodo donde se alcanza un mínimo para los factores con un periodo fijo es en torno a 0.1s, aunque este mínimo no es tan claro como el presentado para otros casos de la desagregación de resultados. El segundo mínimo se encuentra hacia el final de la banda de periodos en torno a 3.0s. Finalmente para los factores de correlación obtenidos ocupando solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ se obtienen valores mínimos de 0.15. Las curvas de nivel sobre ambas bandas de periodo se acercan a las de Baker and Jayaram en toda la banda de periodos, de manera similar a como sucede para los registros de eventos Intraplaca. Las correlaciones se alejan de los valores de Baker and Jayaram cuando

un periodo se acerca a 3s y el otro periodo es menor a 1s. Esta diferencia aumenta a medida que se alejan los periodos entre si. En las figuras de factores de correlación con periodo fijo se marcan dos puntos claros donde se alcanzan los valores mínimos de correlación, 0.2s y 2.0s.

4.3.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1)

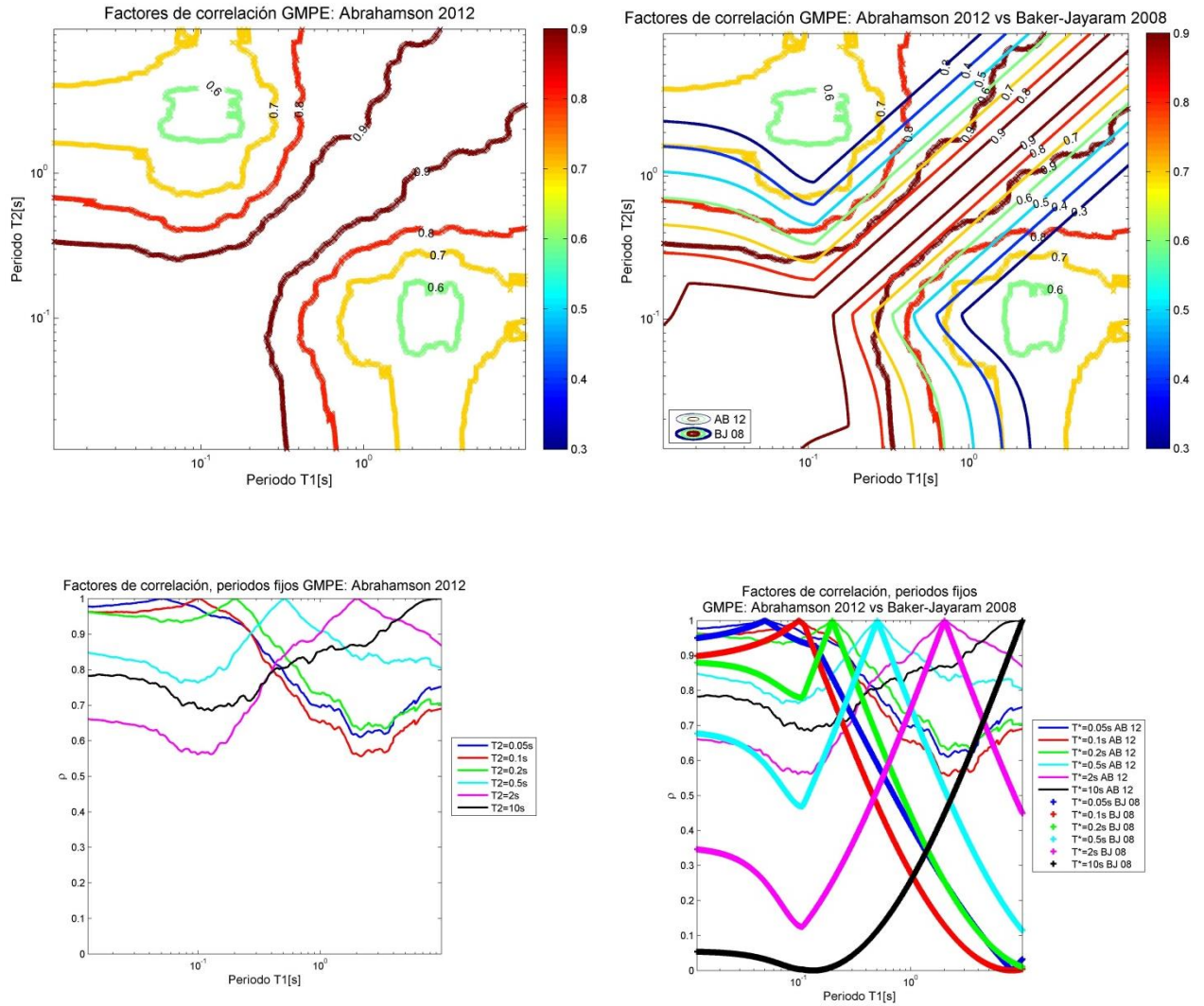


Figura 75: Factores de correlación para el Caso Base obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

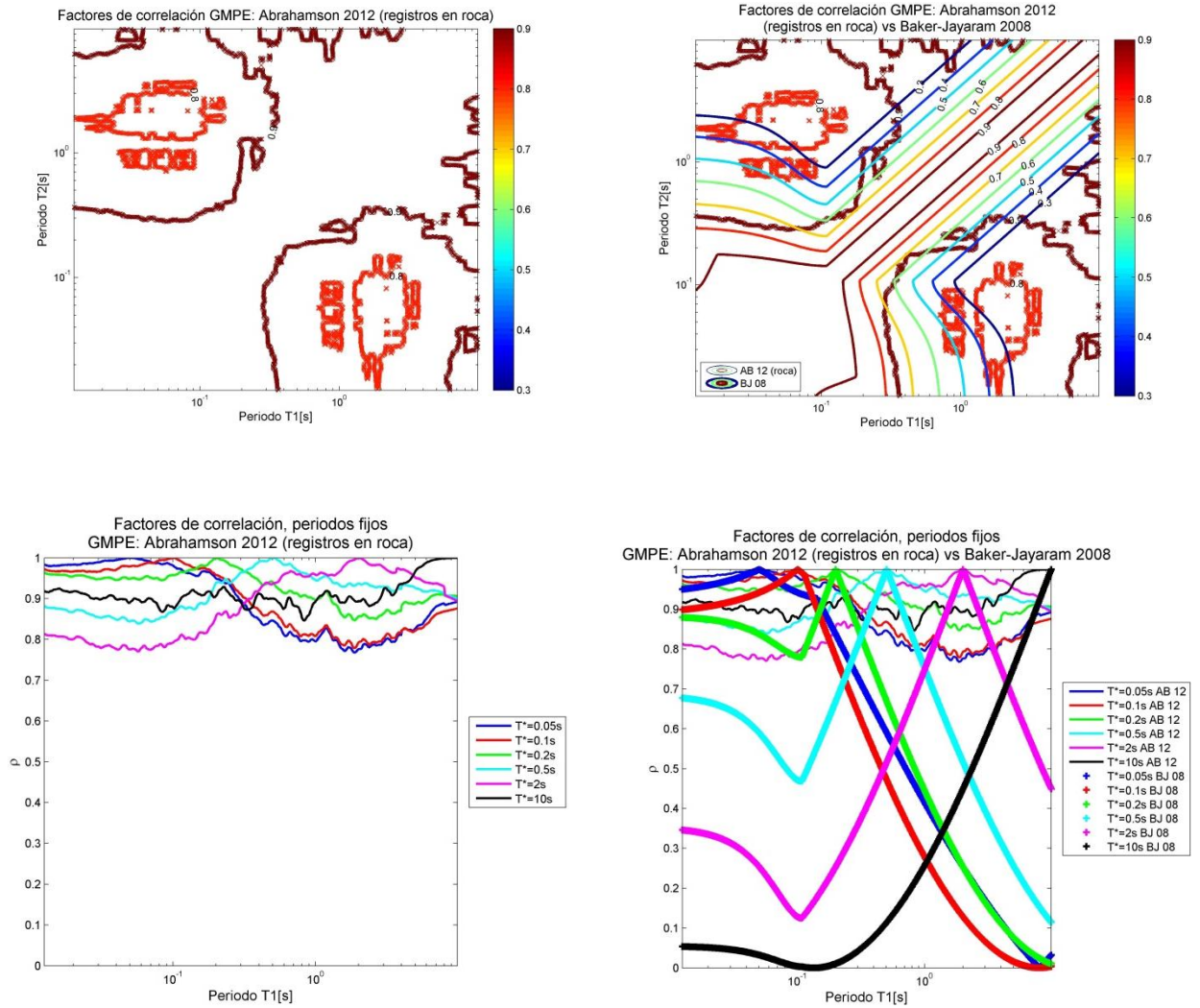


Figura 76: Factores de correlación para registros en Roca obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

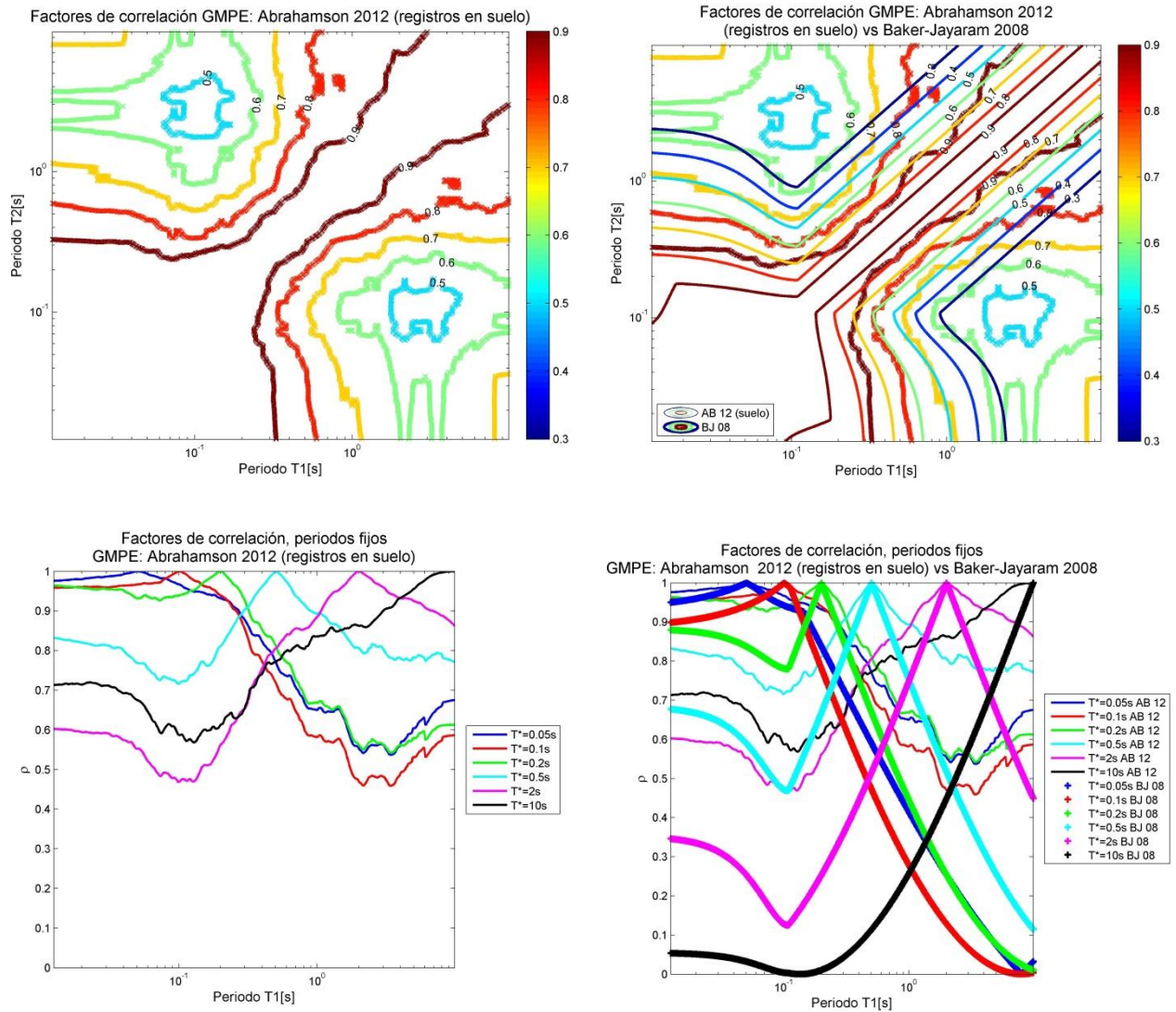


Figura 77: Factores de correlación para registros en Suelo obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

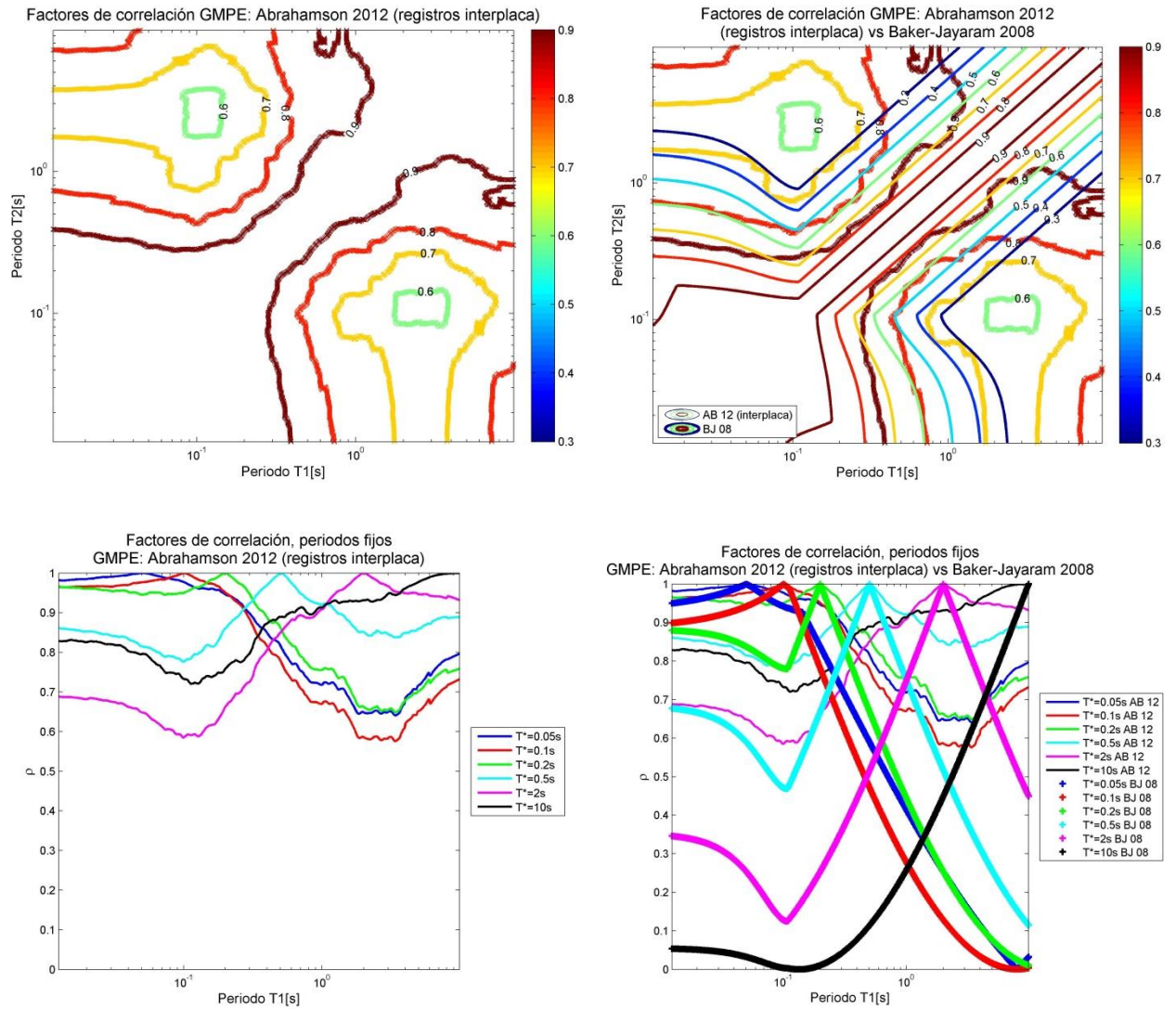


Figura 78: Factores de correlación para registros de sismos Interplaca obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

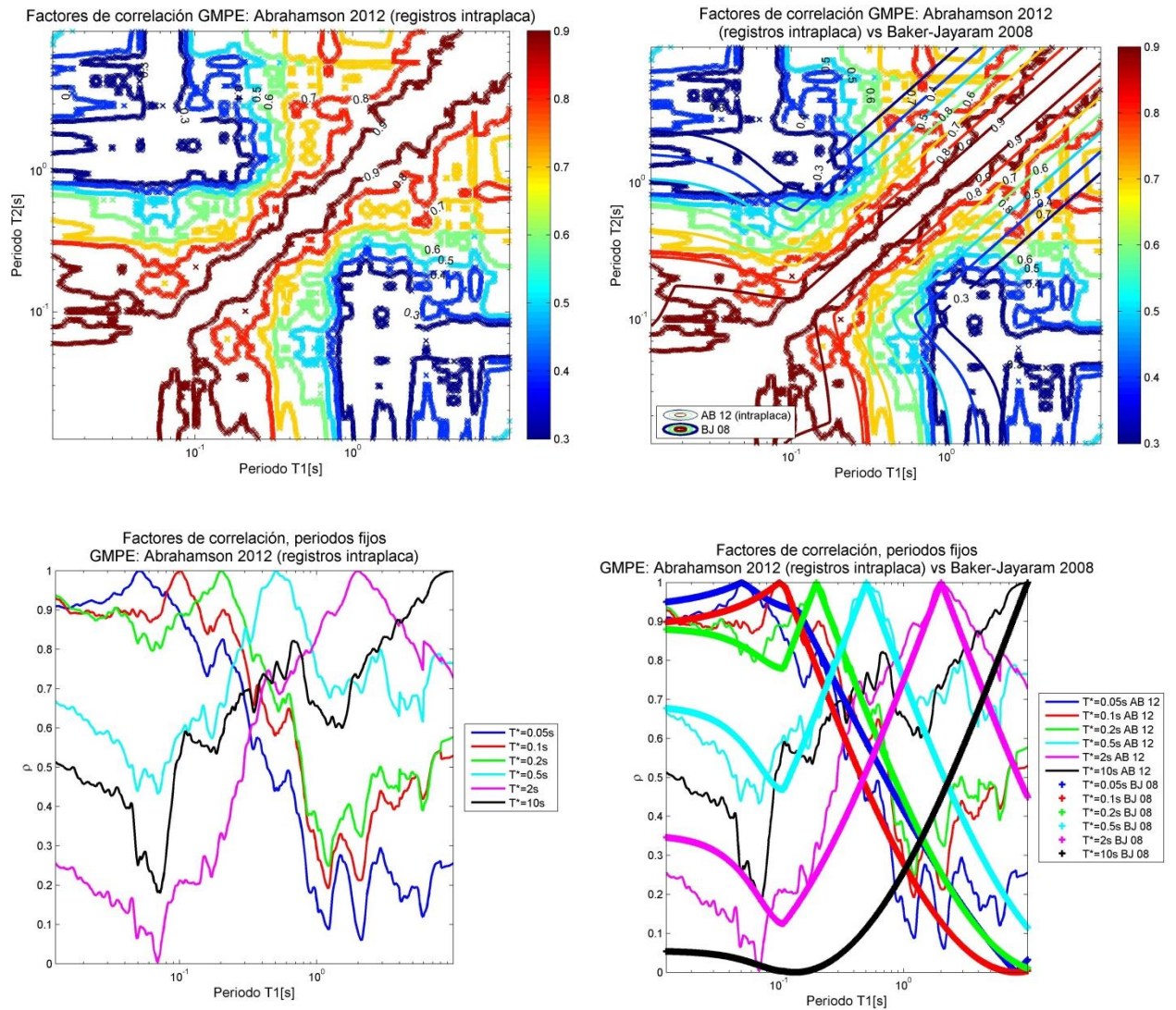


Figura 79: Factores de correlación para registros de sismos Intraplaca obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

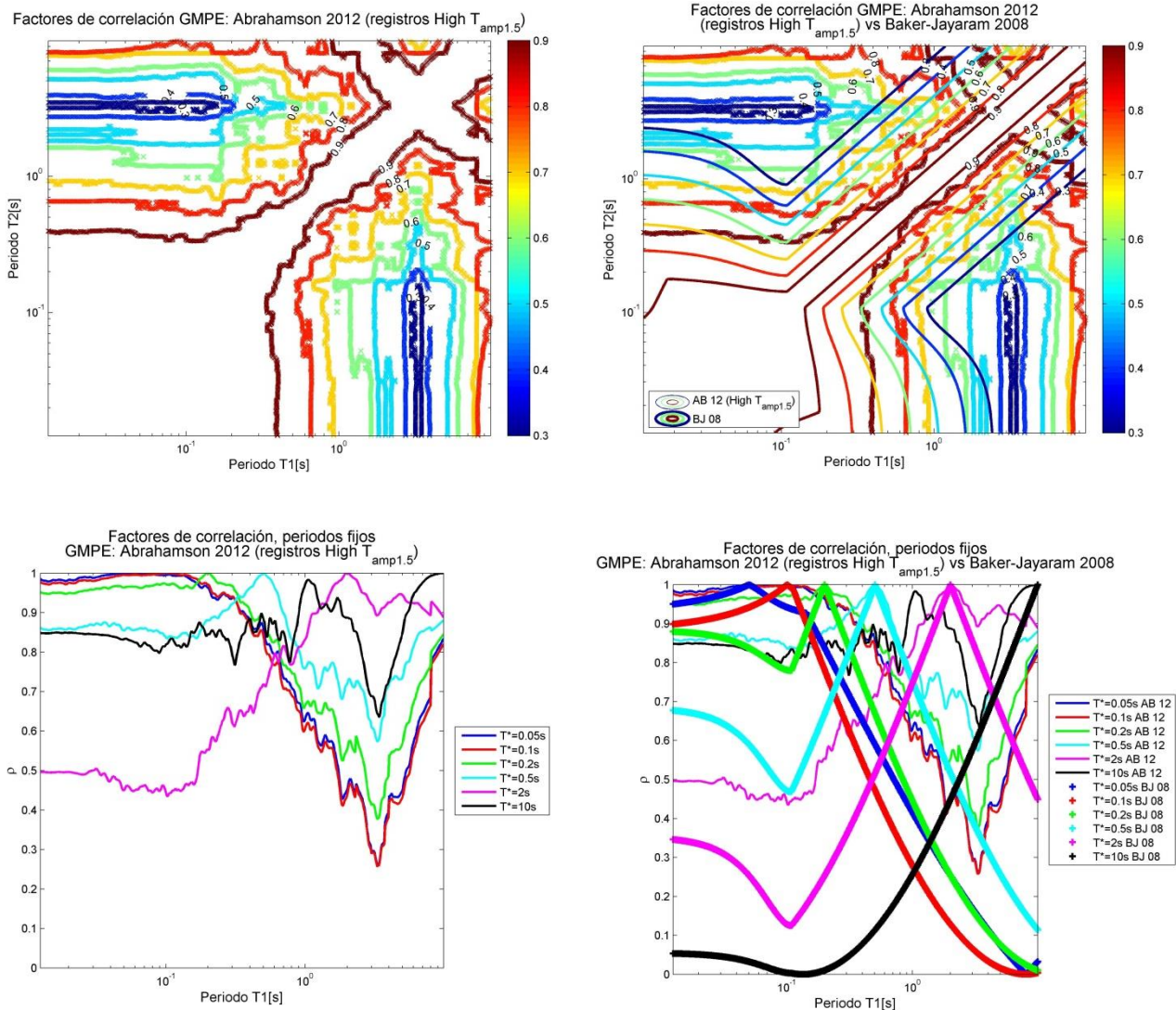


Figura 80: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

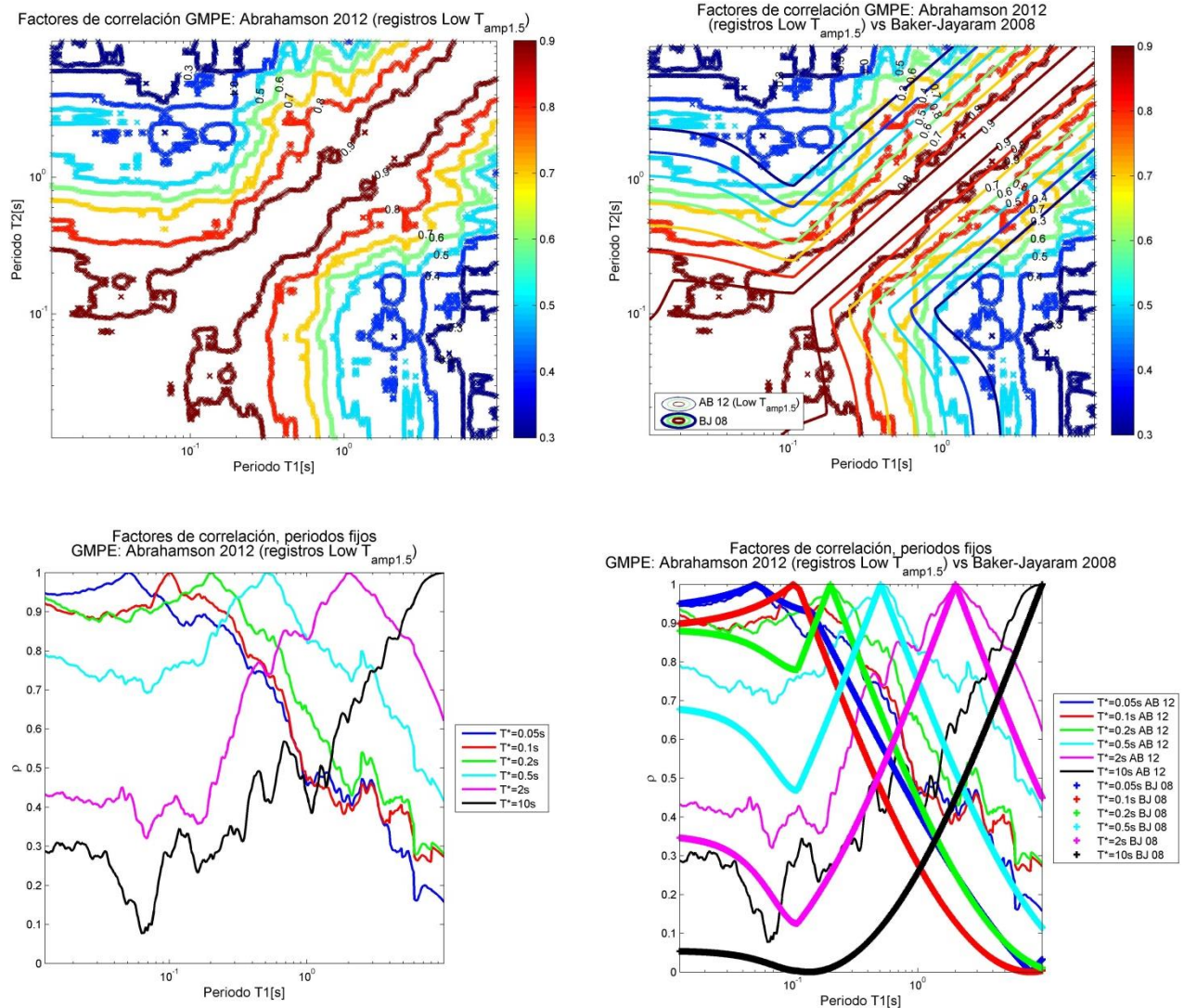


Figura 81: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ obtenidos usando el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

Para el caso base se tiene un valor mínimo de correlación de 0.6. Las figuras de curvas de nivel de los factores de correlación se alejan de las de Baker and Jayaram, siendo cercanas solo para correlaciones muy altas (mayores a 0.95). Los valores mínimos para los factores de correlación fijando un periodo condicionante se alcanzan en el rango 0.08s a 0.15s, mientras que el segundo mínimo se alcanza en el rango 2s-4s. Obteniendo los factores de correlación solo con registros de estaciones en roca se obtienen correlaciones mínimas altas (mayores a 0.8), con curvas muy alejadas de las de Baker and Jayaram en toda la banda de periodos e inclusive en correlaciones altas. No existen periodos donde se alcancen mínimos claros ya sea para valores bajos o altos de periodo. Calculando las correlaciones solo con registros de estaciones en suelo se llega a

factores de correlación mínimos en torno a 0.55. Las curvas se acercan a las de Baker and Jayaram solo en correlaciones altas (superiores a 0.9), mientras que a medida que se disminuyen las correlaciones las curvas se alejan considerablemente de las de Baker and Jayaram. Las curvas se acercan a las propuestas para el caso base en correlaciones mayores a 0.7. El primer periodo donde se alcanza un mínimo para los factores de correlación es en el tramo 0.1s-0.15s, mientras que el segundo mínimo se obtiene para periodos en el rango 1.5s-3.5s. Calculando los factores de correlación solo con registros de eventos del tipo Interplaca se obtienen valores mínimos de 0.6. Estas curvas se acercan a las propuestas para el caso base en toda la banda de periodos, por lo que se alejan de las propuestas por Baker and Jayaram incluso en correlaciones altas. En torno a 0.1s se obtienen los valores mínimos para factores de correlación con periodos fijos mayores a 0.5s, mientras que en el rango 1.5s-4.0s se obtienen los mínimos de factores de correlación con periodo fijo menor o igual a 0.2s. Determinando los factores de correlación solo con registros de eventos del tipo Intraplaca se obtienen valores mínimas cercanas a 0, al igual que los valores propuestos por Baker and Jayaram al considerar la banda de periodos hasta 10s. El modelo de atenuación de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) es el que considera el cálculo de aceleraciones espectrales hasta los mayores valores de periodo. En general las curvas de correlación obtenidas con este modelo se acercan a las de Baker and Jayaram en toda la banda de periodos y para todos los valores de correlación, a excepción de cuando un periodo se acerca a 10s, donde las correlaciones de este estudio son mayores a las predichas por Baker and Jayaram y dicha diferencia empieza a aumentar a medida que aumenta la diferencia de periodos. Los periodos donde se alcanzan los mínimos para factores de correlación de un periodo fijo se marcan claramente en 0.08s y en 2.0s. Calculando los factores de correlación solo con los registros del rango alto del periodo peak $T_{amp1.5}$ se llega a valores mínimos de 0.35. Las curvas en general se alejan de las propuestas por Baker and Jayaram para correlaciones menores a 0.8 y con ambos periodos menores a 1s. En particular al dejar un periodo fijo cercano a 10s los valores de este estudio coinciden con los de Baker and Jayaram hasta un segundo periodo mayor a 2s, punto a partir del cual la diferencia entre los valores aumenta a medida que se disminuye el periodo. No existe un periodo bajo claro donde se alcancen los mínimos para correlaciones de periodo fijo, mientras que esto si se logra para periodos cercanos a 3.5s. Finalmente para los factores de correlación obtenidos ocupando solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ se obtienen valores mínimos de 0.1, con curvas muy cercanas a las de Baker and Jayaram solo en correlaciones superiores a 0.7 y para ambos periodos mayores a 0.8s. Para correlaciones o periodos menores a estos las curvas se empiezan a alejar de las de Baker and Jayaram gradualmente. El primer punto donde se alcanzan valores mínimos para correlaciones con periodo

fijo mayor a 0.5s es en torno a 0.07s y en periodos cercanos a 10s para periodos fijos menores a 0.2.

4.3.5 Influencia del modelo de atenuación.

En las siguientes figuras se presentan los factores de correlación que se obtienen ocupando los cuatro modelos de atenuación descritos en la sección 4.1 y como se comparan con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8), desagregando los resultados según el esquema usado para las diferencias espectrales que se presenta en la sección 4.2 (Figura 17). Es importante destacar que los resultados de este estudio se muestran desagregados mientras que los valores de correlación dados por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) se mantienen constantes, esto debido a que no se cuenta con la base de datos usada por los autores sino que solamente con un modelo ajustado a los resultados de dicho estudio. Se presentan los resultados como curvas de nivel sobre ambos ejes recorriendo la banda de periodos de acuerdo a un mismo valor de correlación o de acuerdo a valores de periodo fijo específicos (0.05s, 0.5s, 2s, 3s y 5s cuando el modelo así lo permita). Se muestran resultados para un mismo valor de correlación siempre que exista al menos un modelo que entregue valores con ese resultado, esto puesto que no todos los modelos empleados permiten llegar a correlaciones en el rango de valores bajos (correlaciones cercanas a 0).

Para el caso base los 4 modelos tienden a coincidir en correlaciones altas (mayores a 0.9). A medida que se disminuyen las correlaciones los modelos se alejan entre sí. Para el mínimo valor de correlación en el caso base (0.5) solo el modelo de Young entrega resultados. En general el modelo de Zhao es el que más se aleja del propuesto por Baker and Jayaram, y a su vez de los otros 3 modelos. El modelo de Zhao desaparece para correlaciones menores o iguales a 0.6. El modelo que más se acerca al de Baker and Jayaram es el de Young y el de Boroschek and Contreras, compartiendo valores por tramos de periodo. Calculando los factores de correlación solo con registros de estaciones en roca se obtienen las curvas que más se alejan de las de Baker and Jayaram, incluso en correlaciones altas. Este grupo de correlaciones no entrega valores menores a 0.8. Existe poca variabilidad de los resultados entre los 4 modelos de atenuación, donde los modelos de Boroschek and Contreras, Young y Abrahamson son los que menos se alejan de Baker and Jayaram, y los factores obtenidos con Zhao son los que presentan una tendencia más alejada. Calculando las correlaciones solo con registros de estaciones en suelo se obtienen resultados muy similares a los del caso base, lo que se acentúa en correlaciones mayores a 0.7. La variabilidad entre los modelos

de atenuación sigue la misma tendencia que en el caso base, con el modelo de Boroschek and Contreras y el de Young con curvas cercanas a las de Baker and Jayaram. En correlaciones altas estos dos modelos tienden a coincidir con los valores entregados por Abrahamson, distancia que se hace mayor a medida que se disminuye la correlación. El modelo de Zhao es el que más se aleja tanto de Baker and Jayaram como de los otros 3 modelos de atenuación. Obteniendo los factores solo con registros de eventos del tipo Interplaca se obtienen resultados muy similares al caso base, con un valor mínimo de correlación cercano a 0.55 y con una variabilidad entre modelos de atenuación similar. Para ambos periodos cercanos o mayores a 2s los modelos de Zhao y Abrahamson coinciden, así como los modelos de Boroschek and Contreras con Young. Existe una variabilidad de los resultados entre estos dos grupos de modelos de atenuación, la que no es considerable. Analizando toda la banda de periodos los modelos de Abrahamson y de Boroschek and Contreras son los que tienden a entregar resultados más similares. Calculando los factores de correlación solo con registros de eventos del tipo Intraplaca se obtienen valores mínimos en torno a 0.1 para todos los modelos de atenuación, excepto para el modelo de Young que entrega factores mínimos de 0.3. Los factores obtenidos para este grupo de registros son los que más se acercan a los propuestos por Baker and Jayaram para toda la banda de periodos, con muy poca variabilidad entre los modelos de atenuación para correlaciones mayores a 0.7. El único caso donde se alejan los resultados de las correlaciones de Baker and Jayaram es cuando uno de los periodos sea mayor a 3s y el otro sea menor a 1.5s, donde los valores entregados por este estudio son mayores a los obtenidos por Baker and Jayaram. Obteniendo las correlaciones solo con registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$ se llega a valores mínimos de correlación en torno a 0.1 (solo con el modelo de Young), mientras que correlaciones mínimas de 0.3 son entregadas ocupando todos los modelos de atenuación a excepción de Boroschek and Contreras, el cual entrega una correlación mínima de 0.35. Para correlaciones mayores a 0.8 y con ambos periodos mayores a 0.8s los resultados se acercan a los valores propuestos por Baker and Jayaram. Los factores que más se acercan a los de Baker and Jayaram son los obtenidos con el modelo de Young. Para el rango en que las correlaciones se acercan a las de Baker and Jayaram la variabilidad entre los 4 modelos es mínima, situación que se revierte a medida que las curvas se alejan de Baker and Jayaram, donde los modelos de Zhao y de Boroschek and Contreras entregan resultados muy similares y alejados del modelo que se compara. Finalmente, calculando los factores de correlación solo con registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ se obtienen valores mínimos cercanos a 0.1, según el modelo de Young. A partir de correlaciones mayores a 0.3 se cuenta con todos los modelos de correlación. En general las curvas coinciden con las de Baker and Jayaram en correlaciones mayores a 0.8, y se acercan a estas en correlaciones

menores. Existe poca variabilidad entre los resultados de los 4 modelos de atenuación en toda la banda de periodos. Tanto la variabilidad como la forma de las curvas y sus resultados se asemejan mucho a lo obtenido para los registros de eventos del tipo Intraplaca.

4.3.5.1 Caso Base

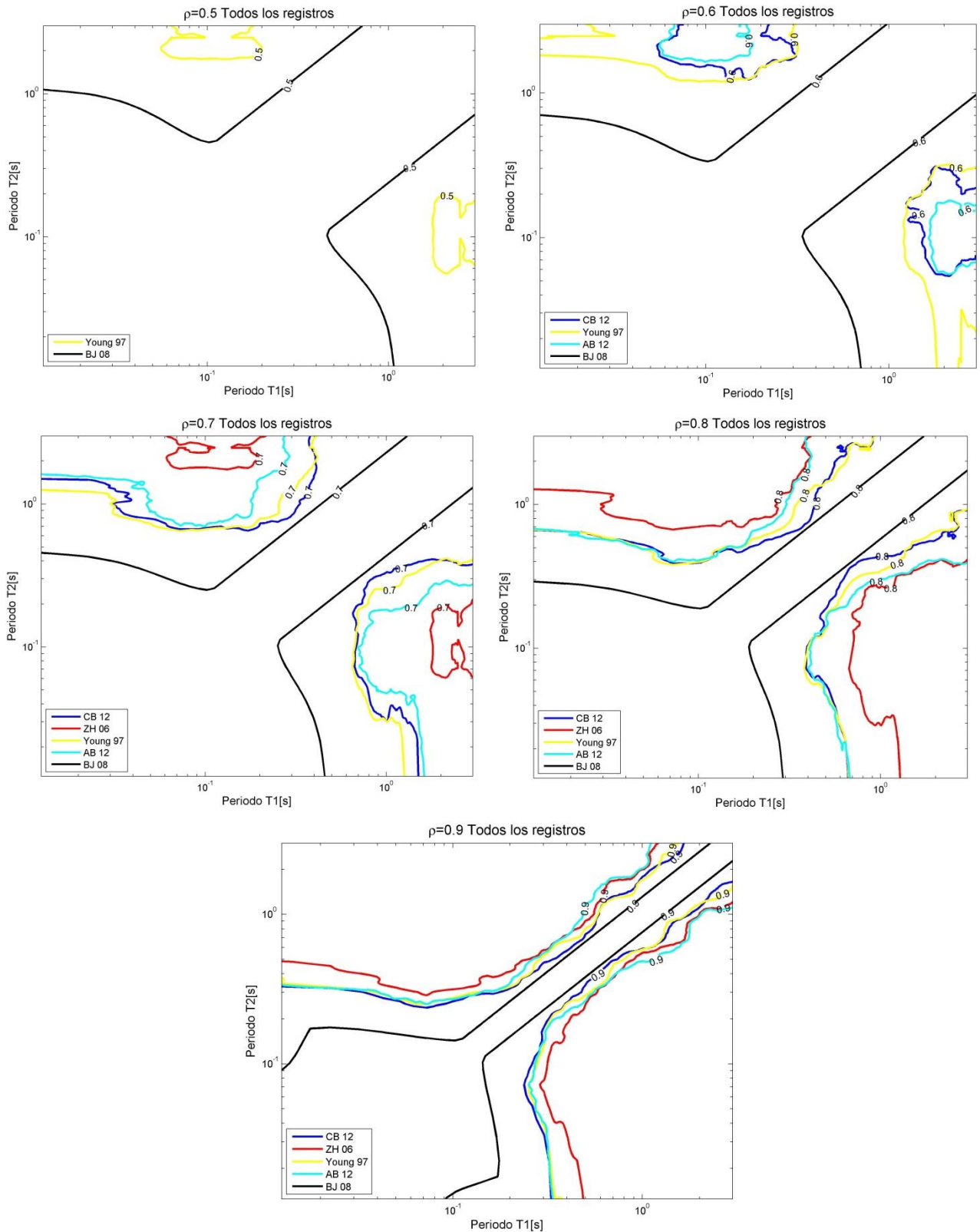


Figura 82: Factores de correlación para el Caso Base para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.5$. Arriba derecha: $\rho=0.6$. Centro izquierda: $\rho=0.7$. Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$.

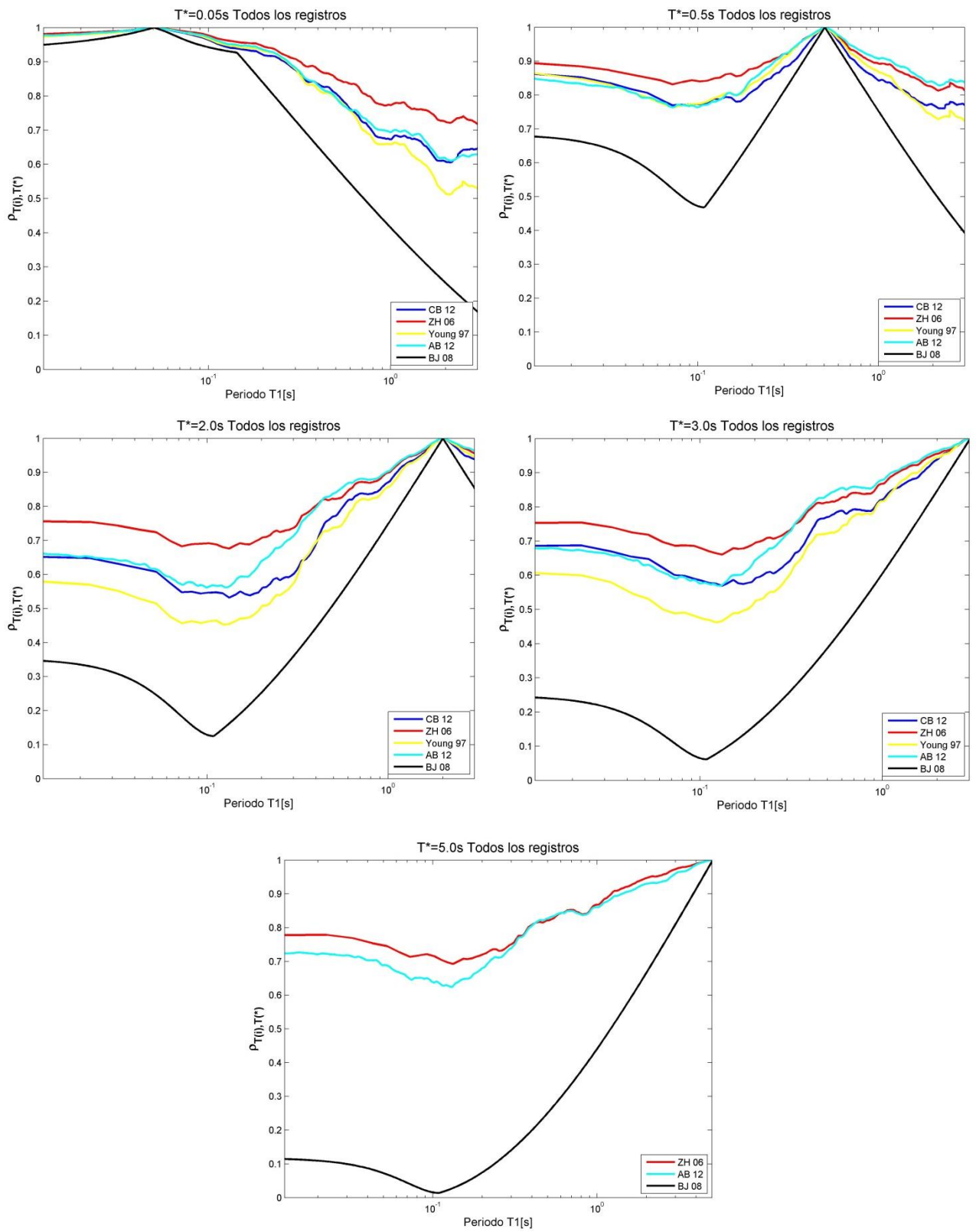


Figura 83: Factores de correlación para el Caso Base con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$.

4.3.5.2 Registros en Roca

[Sin correlaciones menores a 0.5]

[Sin correlaciones menores a 0.6]

[Sin correlaciones menores a 0.7]

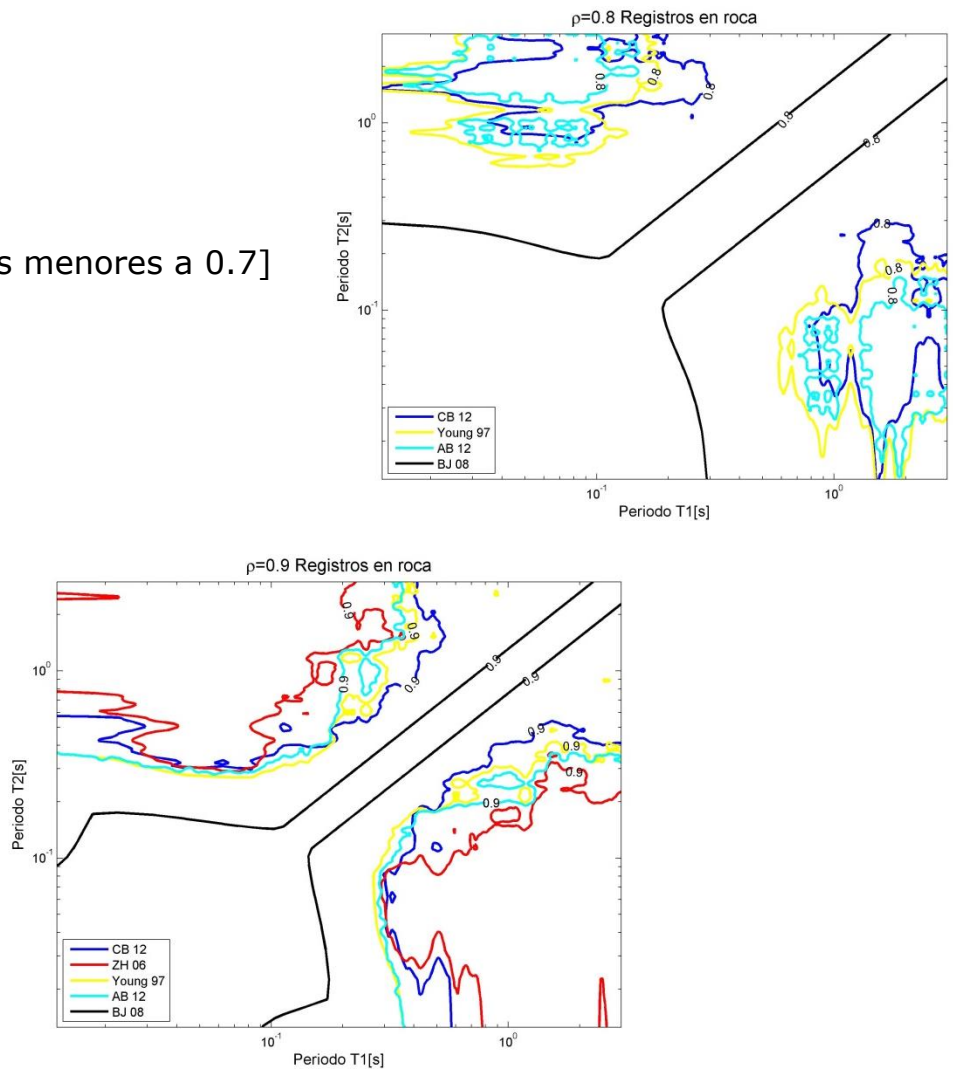


Figura 84: Factores de correlación para registros en Roca para correlaciones de: Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$.

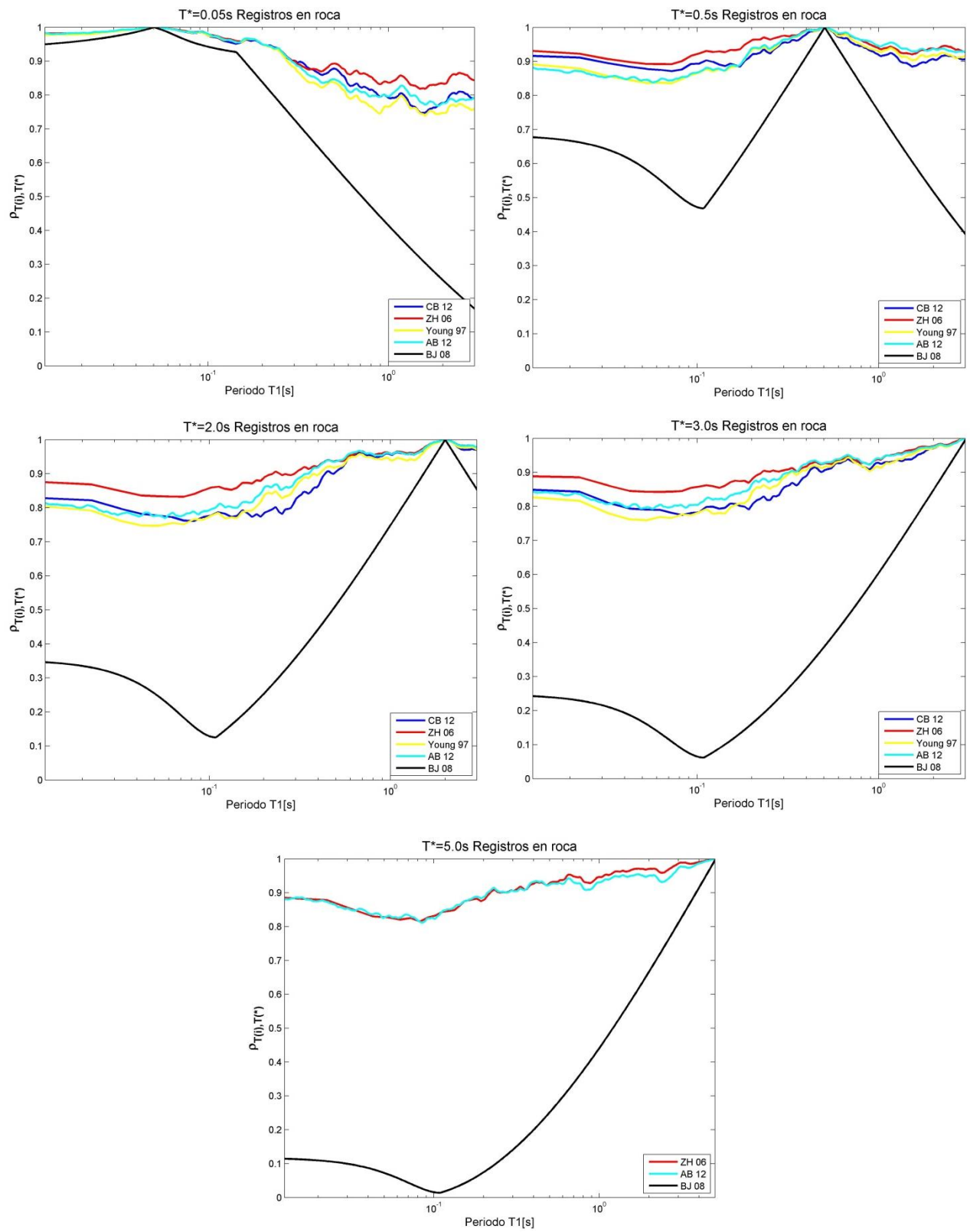


Figura 85: Factores de correlación para registros en Roca con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$.

4.3.5.3 Registros en Suelo

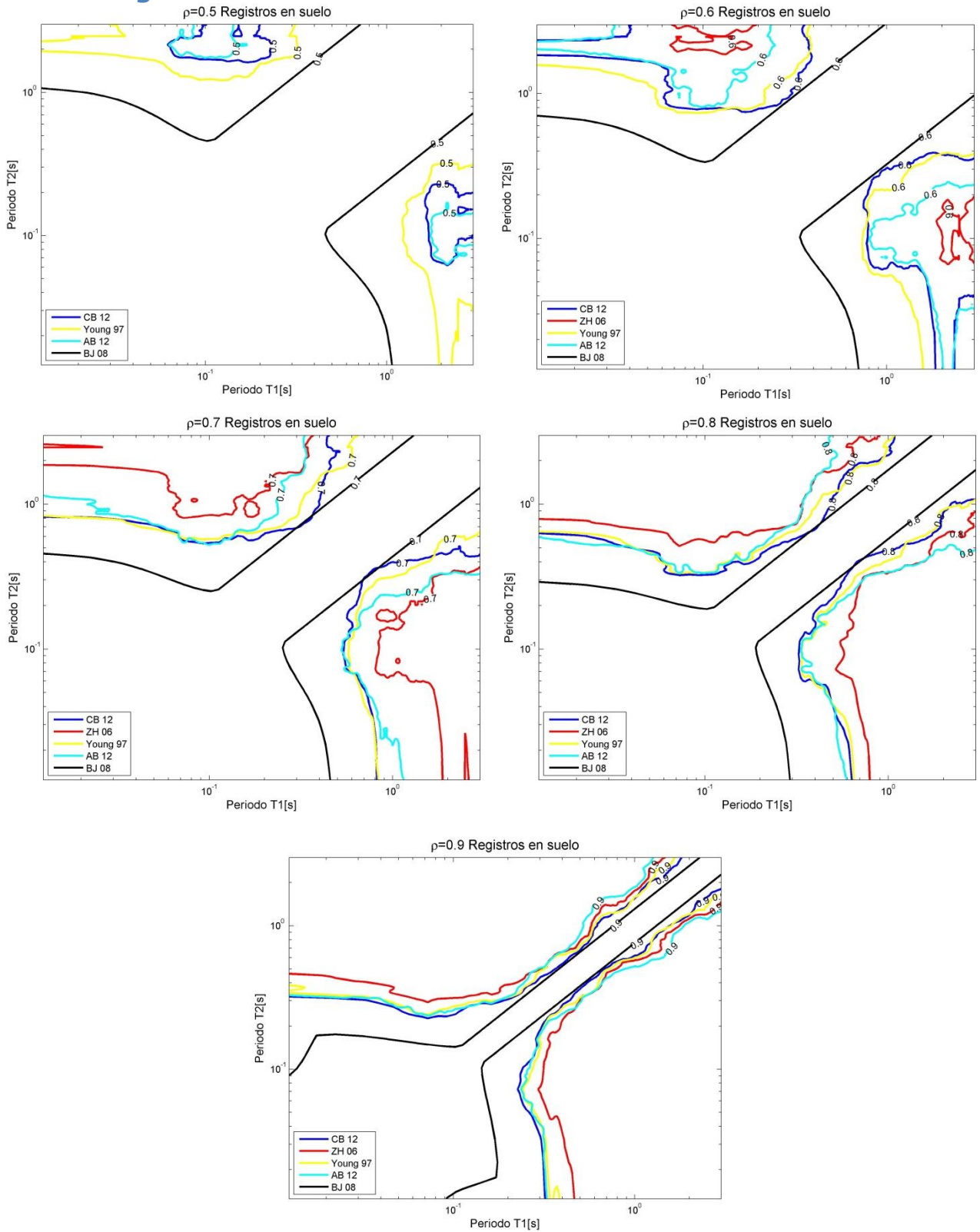


Figura 86: Factores de correlación para registros en Suelo para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.5$. Arriba derecha: $\rho=0.6$. Centro izquierda: $\rho=0.7$. Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$.

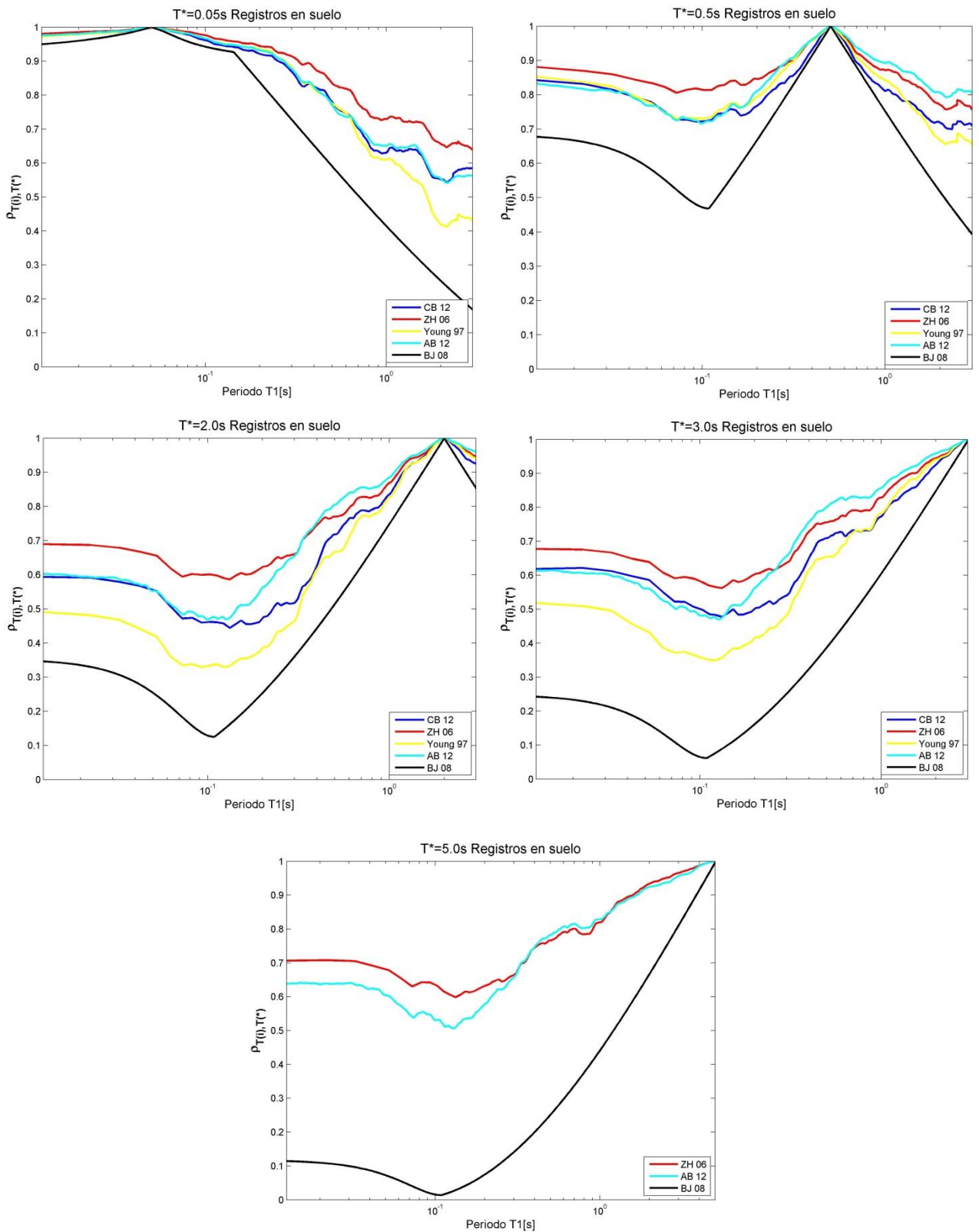


Figura 87: Factores de correlación para registros en Suelo con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$.

4.3.5.4 Registros Interplaca

[Sin correlaciones menores a 0.5]

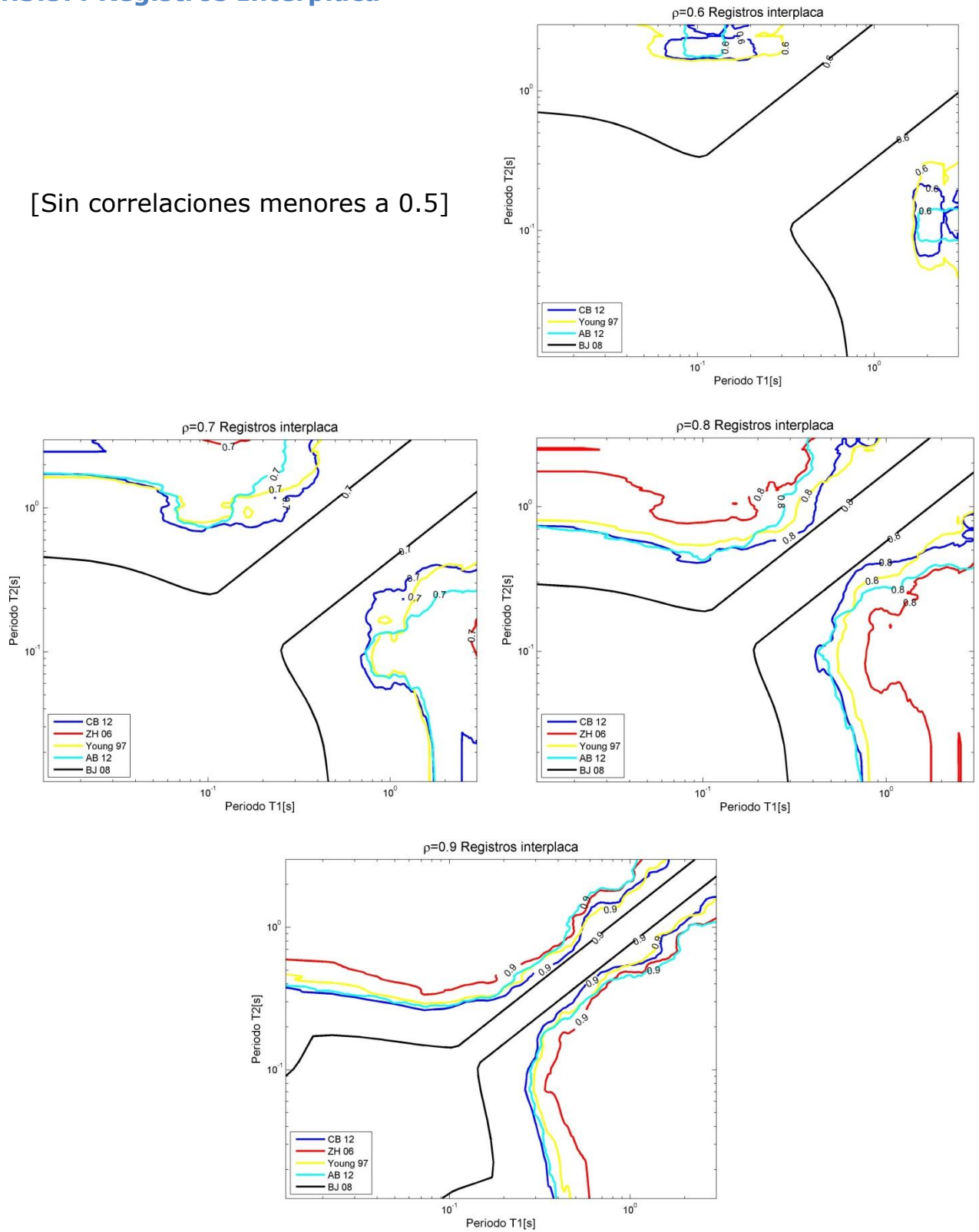


Figura 88: Factores de correlación para registros Interplaca para correlaciones de: Arriba derecha: $\rho=0.6$. Centro izquierda: $\rho=0.7$. Centro derecha: $\rho=0.8$. Abajo: $\rho=0.9$.

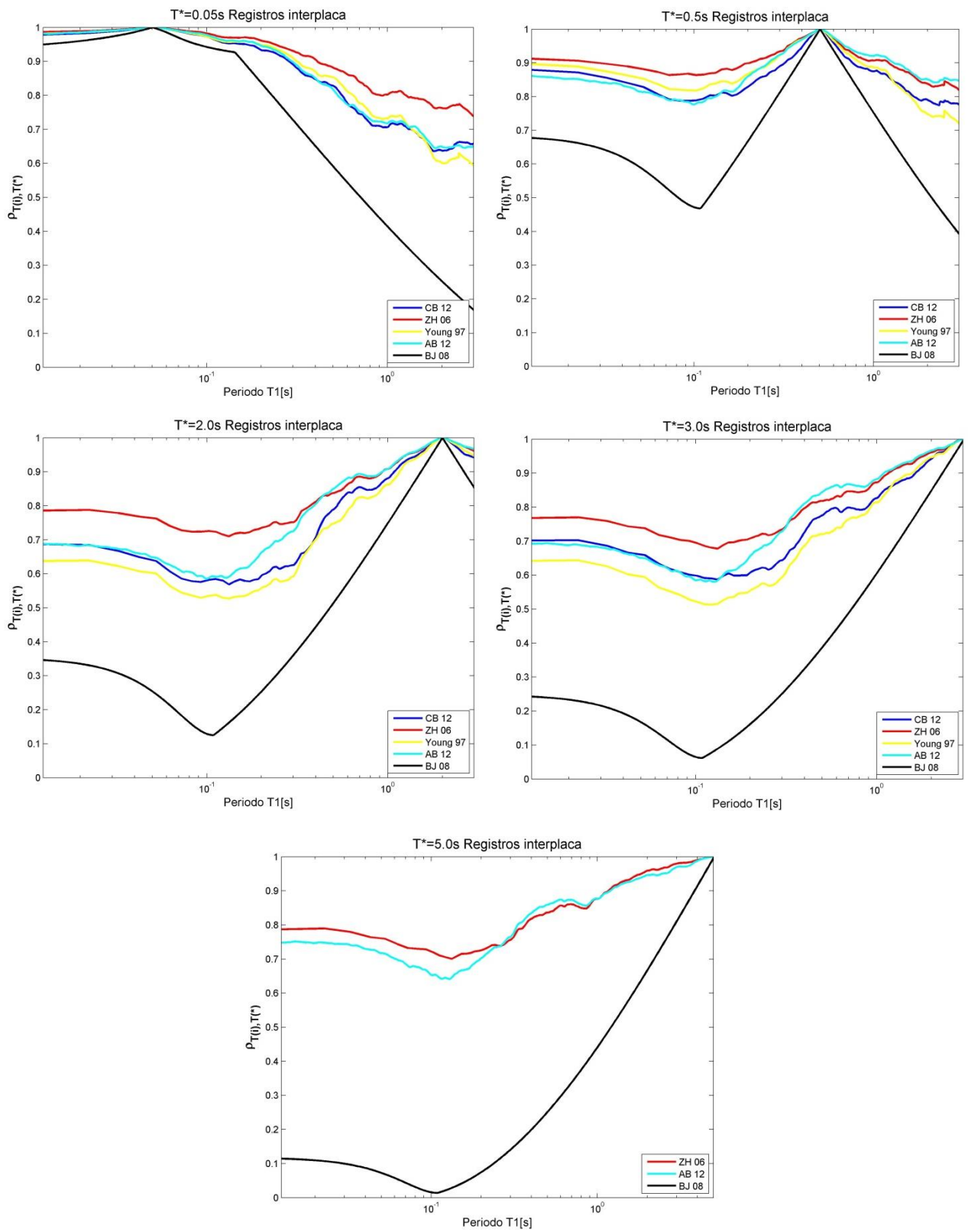


Figura 89: Factores de correlación para registros Interplaca con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$.

4.3.5.5 Registros Intraplaca

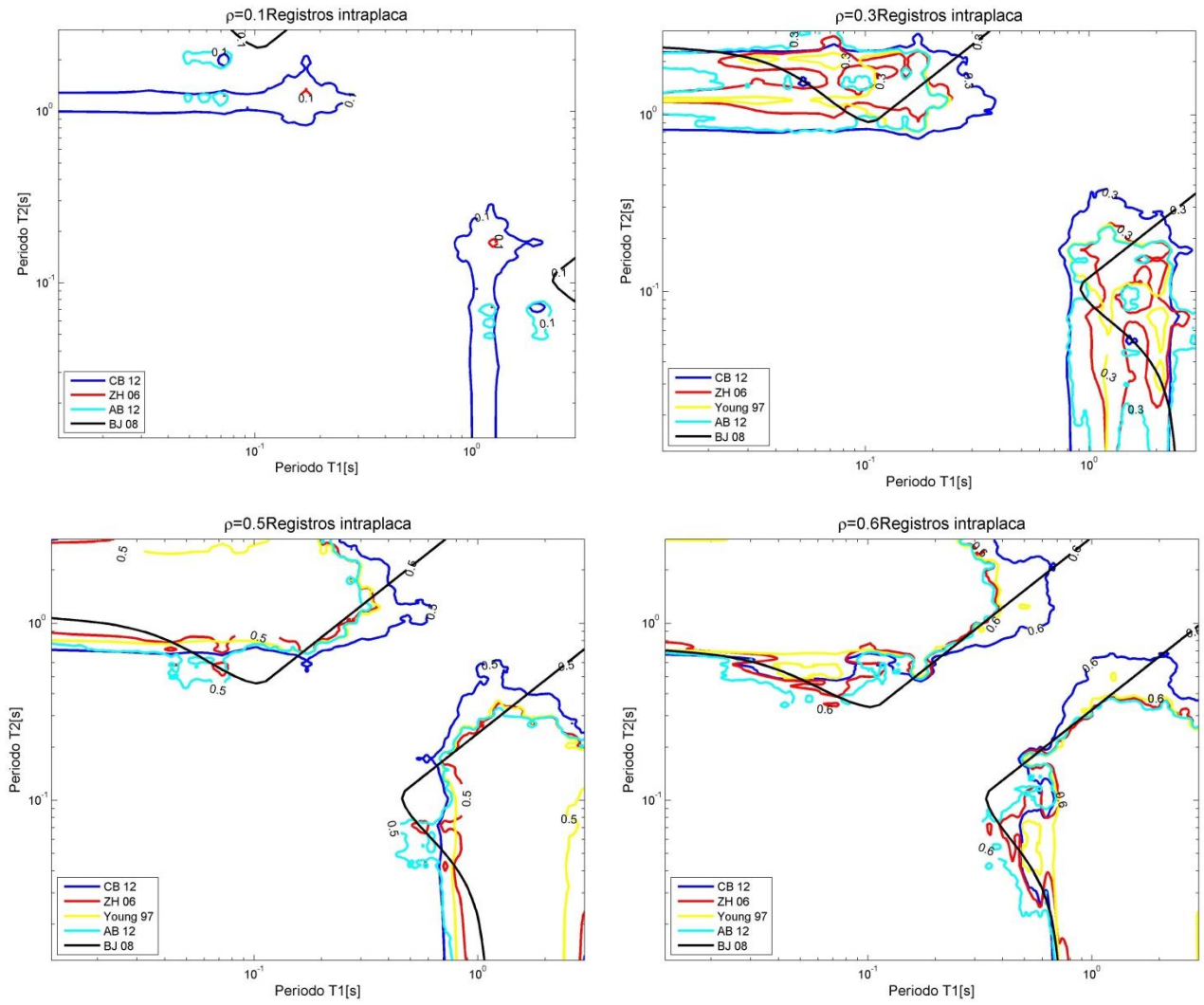


Figura 90: Factores de correlación para registros Intraplaca para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.1$. Arriba derecha: $\rho=0.3$ Abajo izquierda: $\rho=0.5$. Abajo derecha: $\rho=0.6$.

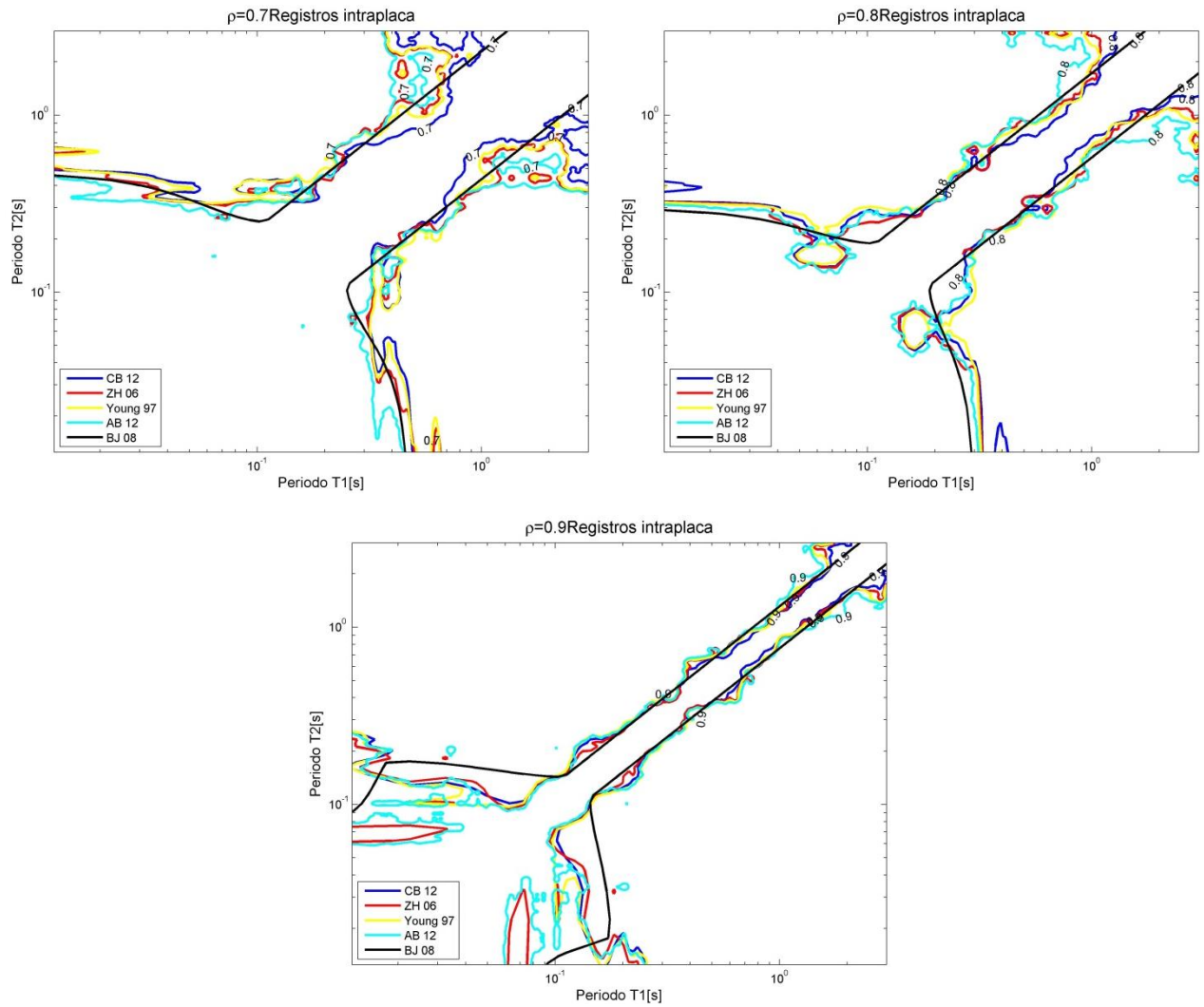


Figura 91: Factores de correlación para registros Intraplaca (continuación) para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.7$. Arriba derecha: $\rho=0.8$ Abajo: $\rho=0.9$.



Figura 92: Factores de correlación para registros Intraplaca con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$.

4.3.5.6 Registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$ (registros High $T_{amp1.5}$)

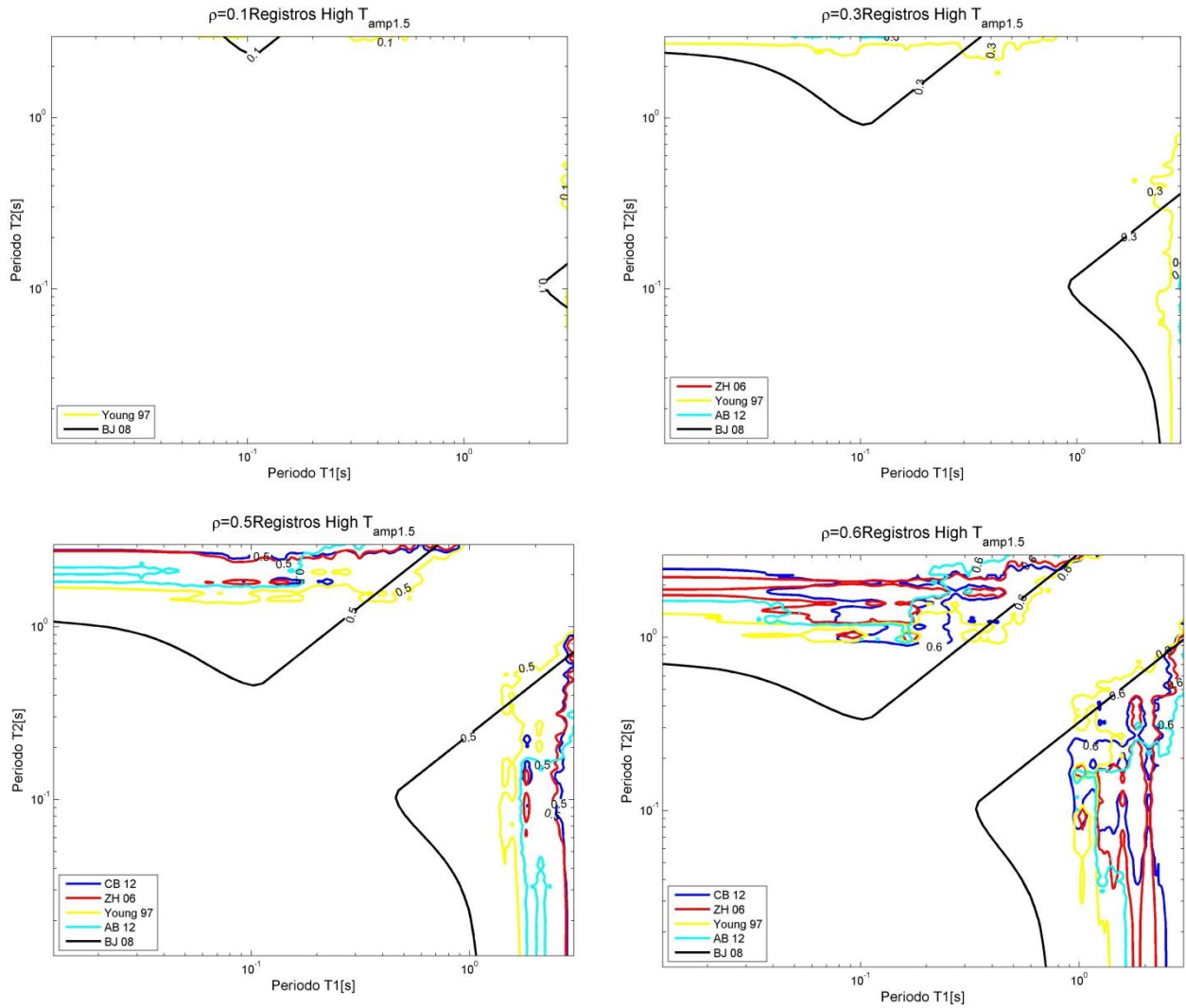


Figura 93: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.1$. Arriba derecha: $\rho=0.3$. Abajo izquierda: $\rho=0.5$. Abajo derecha: $\rho=0.6$.

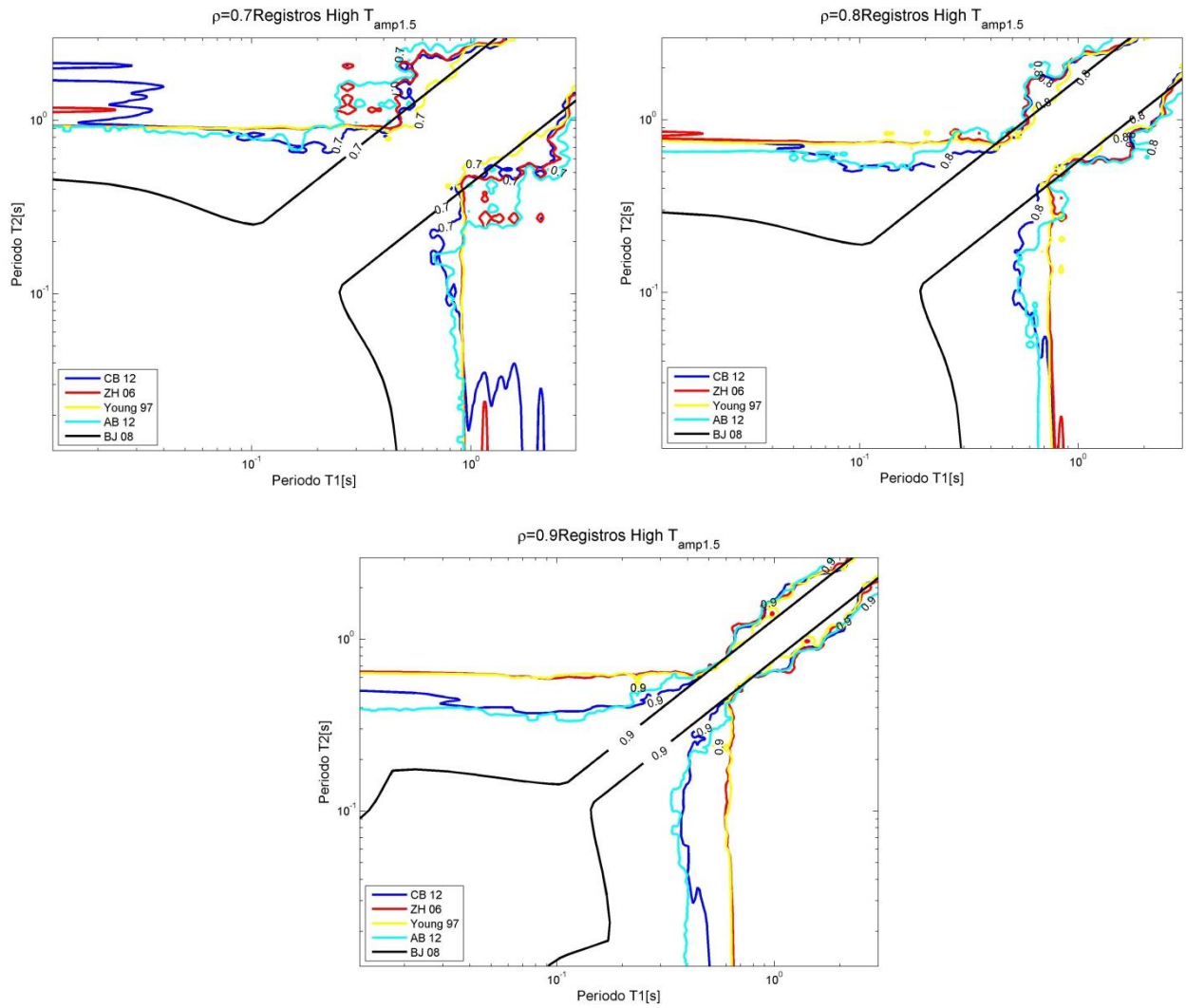


Figura 94: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ (continuación) para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.7$. Arriba derecha: $\rho=0.8$ Abajo: $\rho=0.9$.

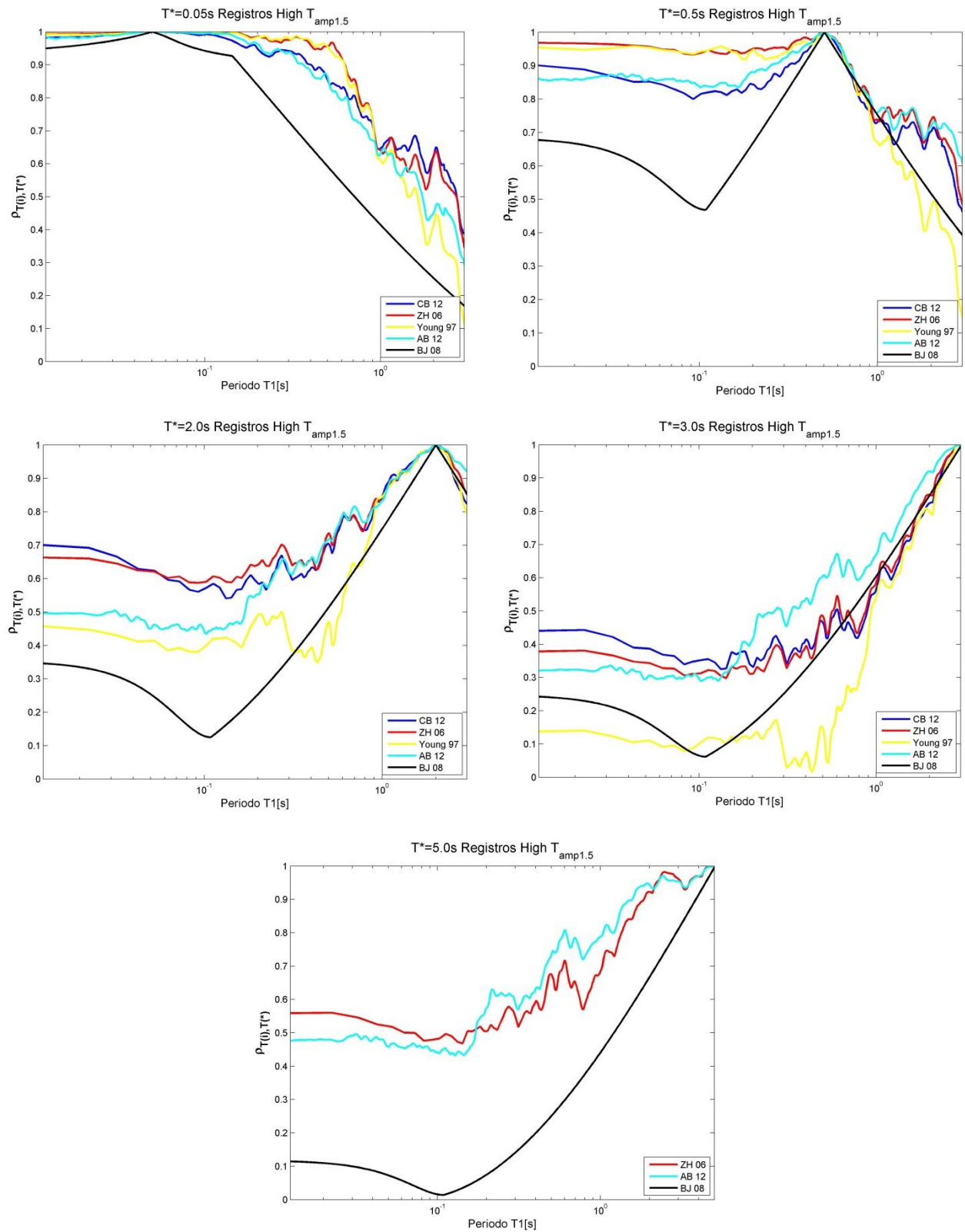


Figura 95: Factores de correlación para registros en el rango de valores altos de $T_{amp1.5}$ con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$.

4.3.5.7 Registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ (registros Low $T_{amp1.5}$)

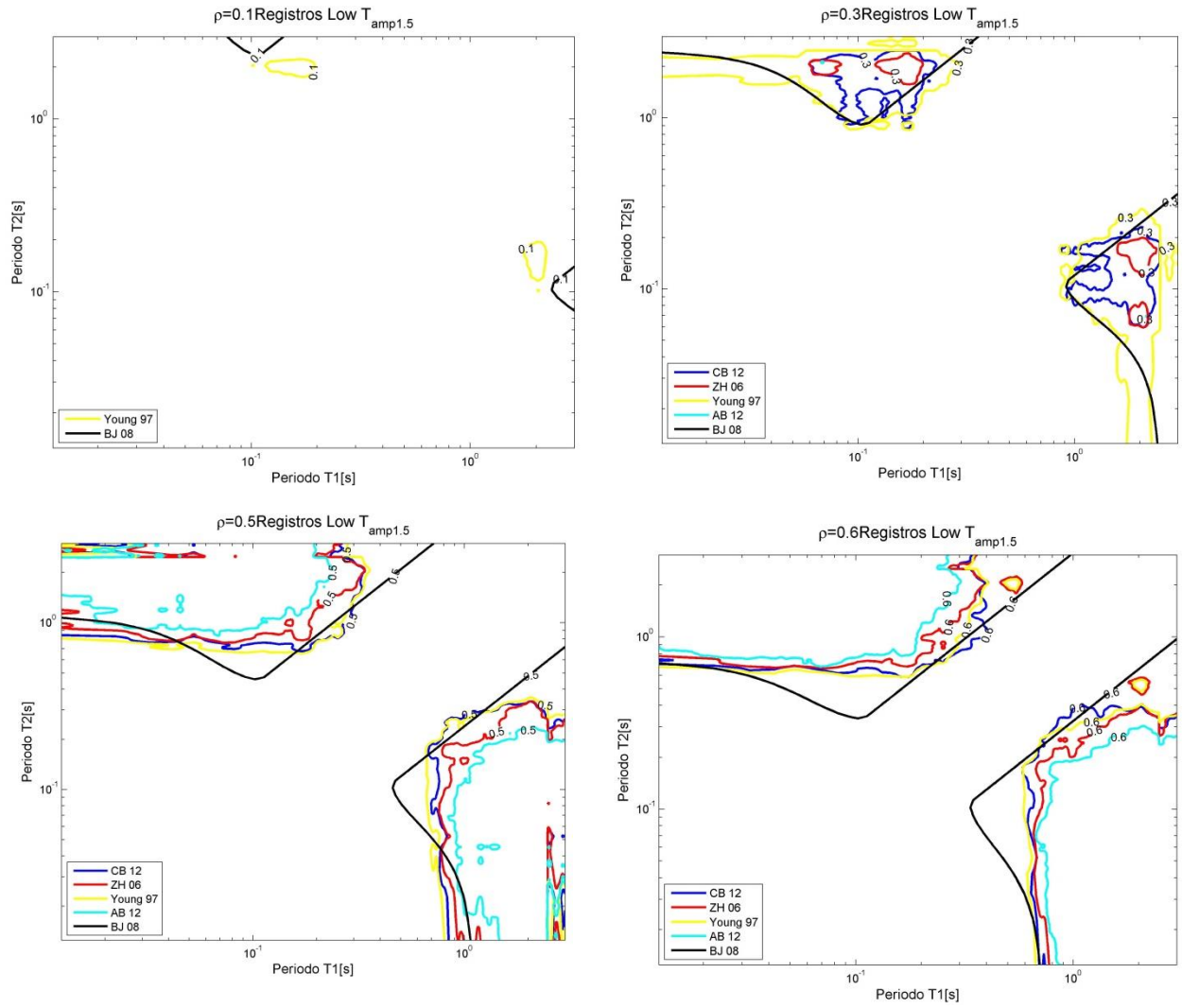


Figura 96: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.1$. Arriba derecha: $\rho=0.3$. Abajo izquierda: $\rho=0.5$. Abajo derecha: $\rho=0.6$.

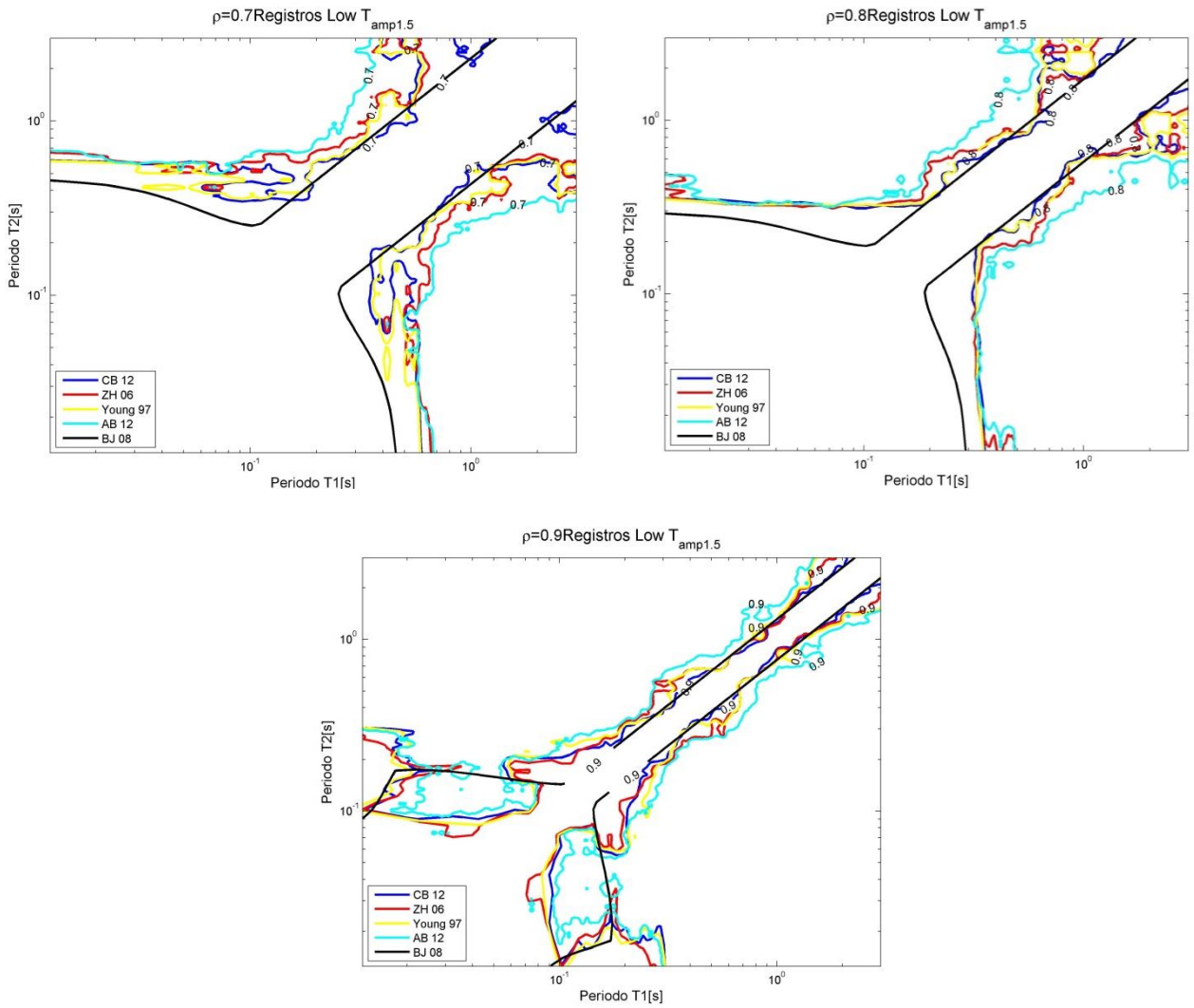


Figura 97: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ (continuación) para correlaciones de: Arriba izquierda: $\rho=0.7$. Arriba derecha: $\rho=0.8$ Abajo: $\rho=0.9$.

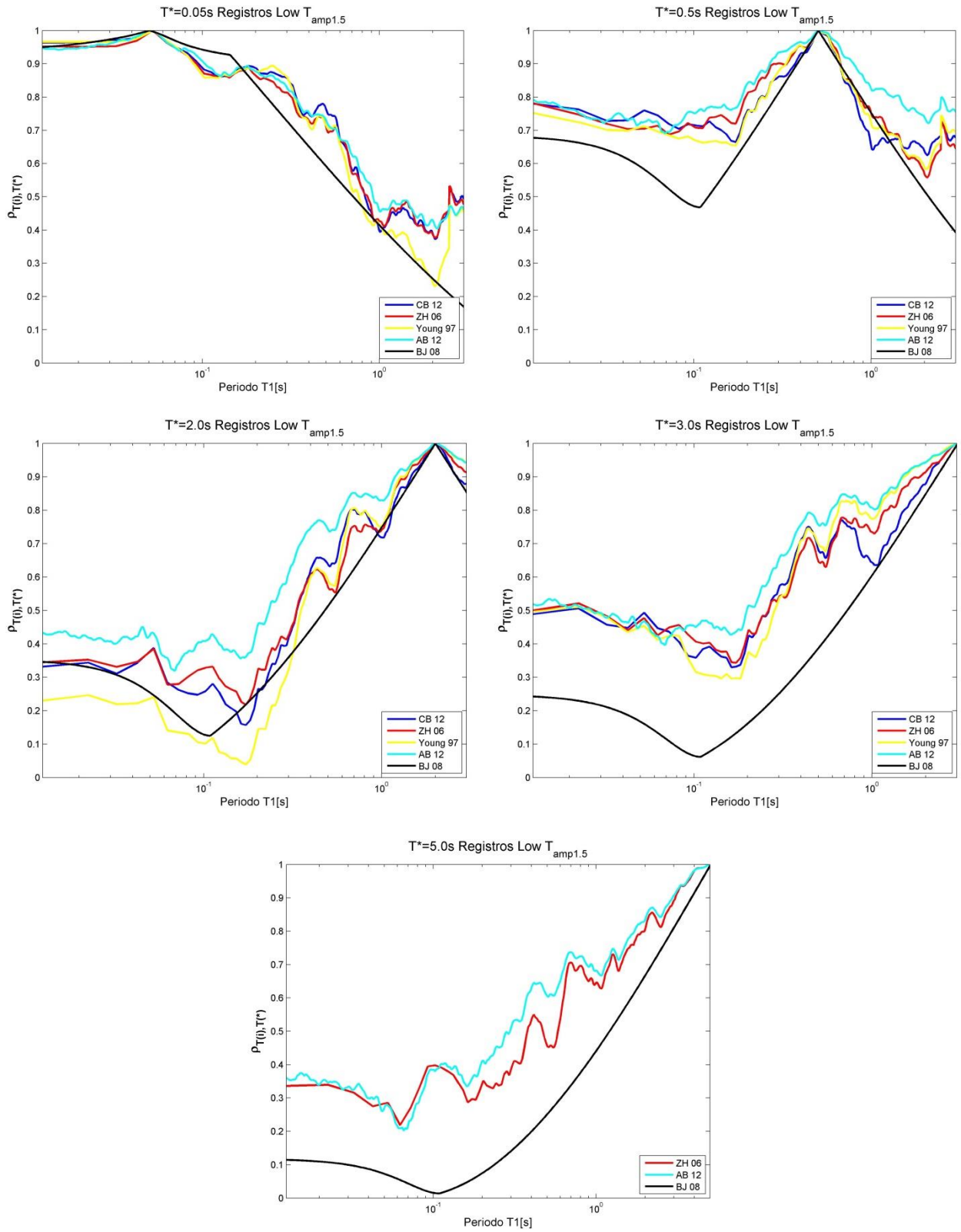


Figura 98: Factores de correlación para registros en el rango de valores bajos de $T_{amp1.5}$ con periodos fijos de: Arriba izquierda: $T^*=0.05s$. Arriba derecha: $T^*=0.5s$. Centro izquierda: $T^*=2.0s$. Centro derecha: $T^*=3.0s$. Abajo: $T^*=5.0s$.

4.3.6 Ajuste en el rango de periodos

En las siguientes se presentan los factores de correlación corregidos por el contenido de alta frecuencia caracterizado a través del periodo peak $T_{amp1.5}$, para el Caso Base, es decir considerando los 139 registros sísmicos, usando cada modelo de atenuación. Se desagregan los resultados considerando solo los registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$, esto es los registros cuyo valor de $T_{amp1.5}$ esté en el rango entre el valor medio de $T_{amp1.5}$ más una desviación estándar y el valor medio más dos veces la desviación estándar, tal como se presenta en la ecuación 4.3, y para el rango bajo de $T_{amp1.5}$ (ecuación 4.4).

$$[\overline{T_{amp1.5}} + \sigma_{T_{amp1.5}}, \overline{T_{amp1.5}} + 2 \cdot \sigma_{T_{amp1.5}}] \quad (4.3)$$

$$[\overline{T_{amp1.5}} - 2 \cdot \sigma_{T_{amp1.5}}, \overline{T_{amp1.5}} - \sigma_{T_{amp1.5}}] \quad (4.4)$$

En la Tabla 18 se presentan los valores que se muestran en las ecuaciones anteriores, siendo ocupados los registros cuyos valores de $T_{amp1.5}$ estén en los rangos mencionados (Tabla 19). Existen 87 registros (63%) que quedan fuera de ambos rangos.

Tabla 18: Distribución de $T_{amp1.5}$ para los 139 registros.

$T_{amp1.5}$ [s]	
Promedio	0.09
Desviación estándar	0.04
Máximo	0.29
Mínimo	0.03

Tabla 19: Rangos alto y bajo para $T_{amp1.5}$

Rango [s]			Registros
$T_{amp1.5}$ LOW	$\overline{T_{amp1.5}} - 2 \cdot \sigma_{T_{amp1.5}}$	0.01	34
	$\overline{T_{amp1.5}} - \sigma_{T_{amp1.5}}$	0.05	

Rango [s]		Registros
$T_{amp1.5}$ HIGH	$\overline{T_{amp1.5}} + \sigma_{T_{amp1.5}}$	0.13
	$\overline{T_{amp1.5}} + 2 \cdot \sigma_{T_{amp1.5}}$	0.17
		18

En general, de acuerdo a lo presentado en la sección 4.3.5, las correlaciones entregadas para un mismo par de periodos para el rango alto de $T_{amp1.5}$ tienden a ser mayores a las dadas para el rango bajo de $T_{amp1.5}$. La corrección propuesta por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) logra que ambos sets de registros entreguen correlaciones similares para ambos valores de $T/T_{amp1.5}$ mayores a 1 y en correlaciones mayores a 0.6, y que el efecto de la alta frecuencia solo sea distinguible para ambos valores de periodo normalizado menores a 1. Para las correlaciones obtenidas con el modelo de atenuación de Young et al., 1997 (Ref. 34) este comportamiento corregido se da solo en correlaciones mayores a 0.9 y con ambos periodos normalizados por periodo peak $T_{amp1.5}$ mayores a 1. Para los factores de correlación obtenidos con el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) el ajuste logra curvas similares para correlaciones mayores a 0.9 y ambos periodos normalizados mayores a 1, y en correlaciones entre 0.8 y 0.9 para ambos periodos normalizados mayores a 4. En las correlaciones calculadas con el modelo de atenuación de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) el ajuste se logra solo en correlaciones mayores a 0.8 y con ambos periodos normalizados superiores a 8, siendo el modelo que entrega el ajuste más alejado del comportamiento descrito por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20). Finalmente, para los factores de correlación obtenidos con el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) los valores del rango alto y bajo de $T_{amp1.5}$ coinciden solo en correlaciones mayores a 0.8 y con ambos periodos normalizados superiores a 6.

4.3.6.1 Modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34).

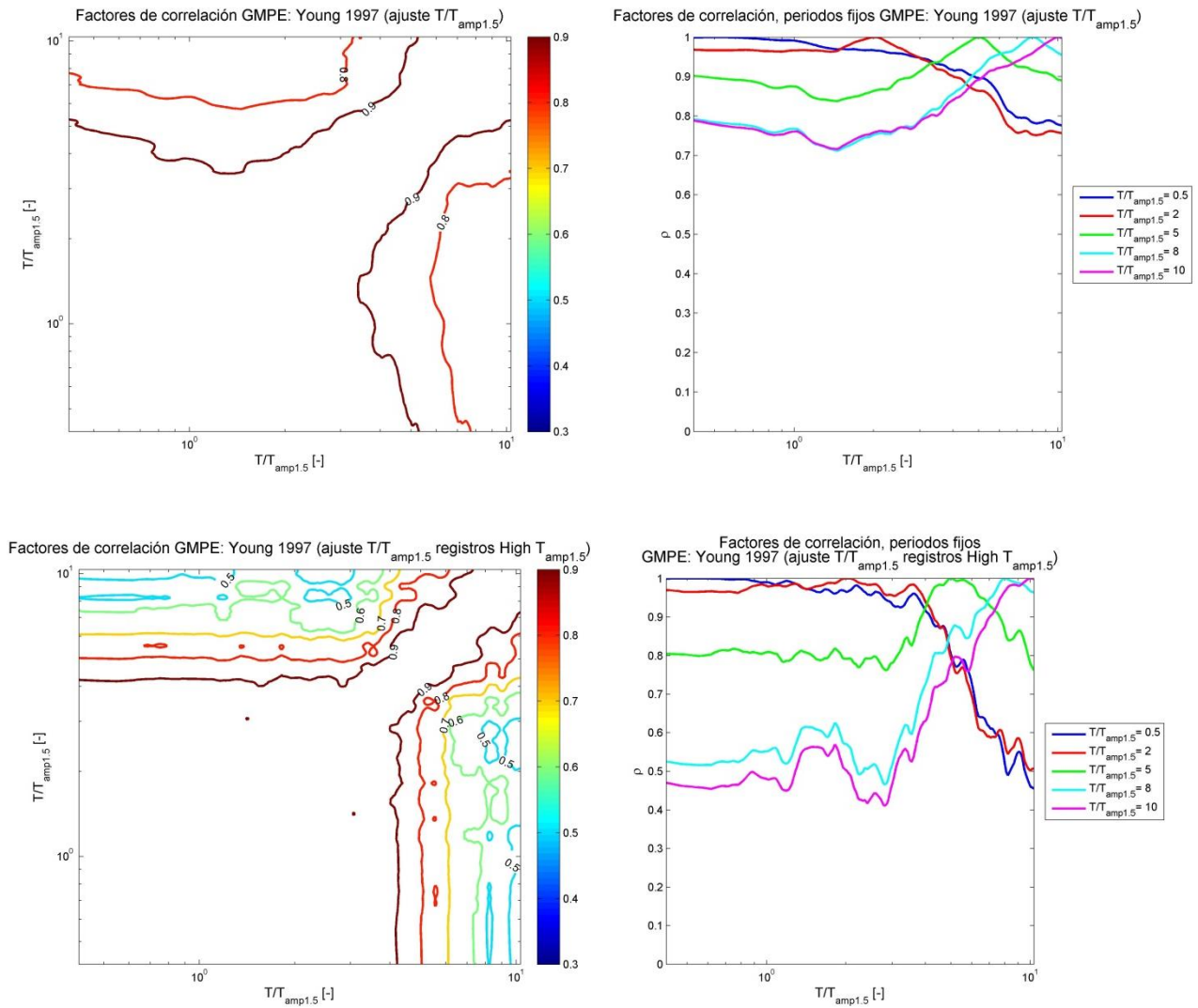


Figura 99: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$.

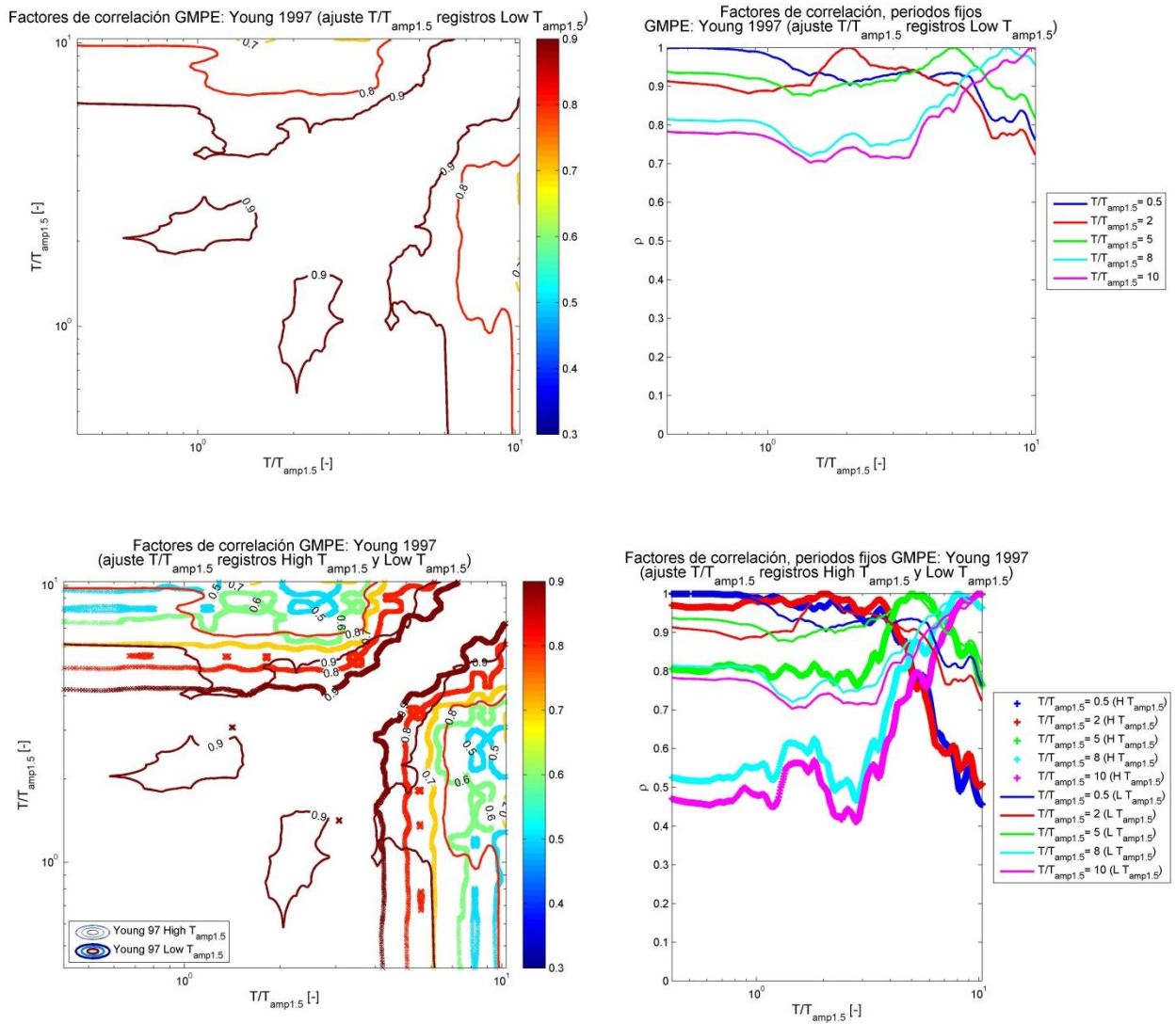


Figura 100: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$ Abajo: Comparación entre ambos rangos.

4.3.6.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref.35).

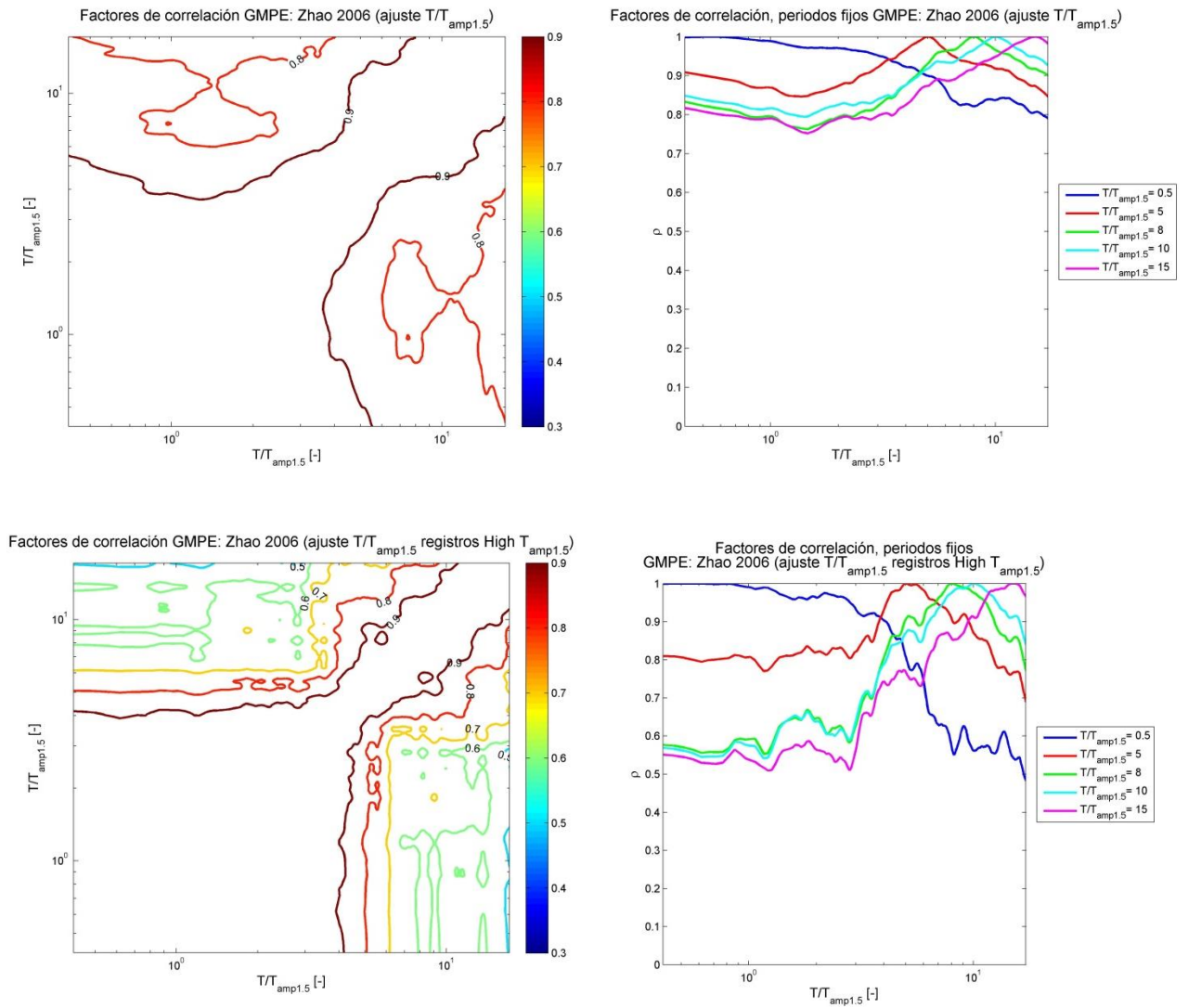
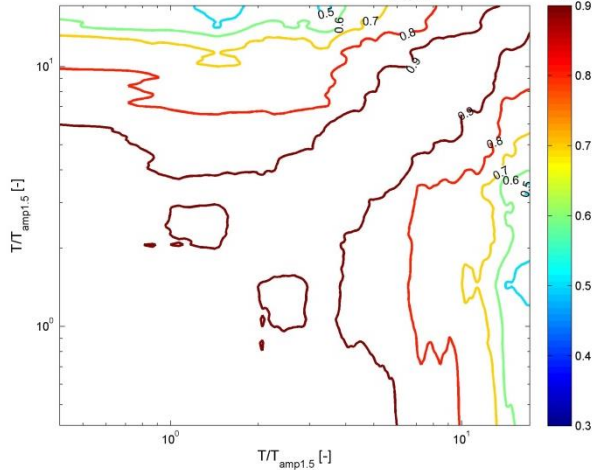
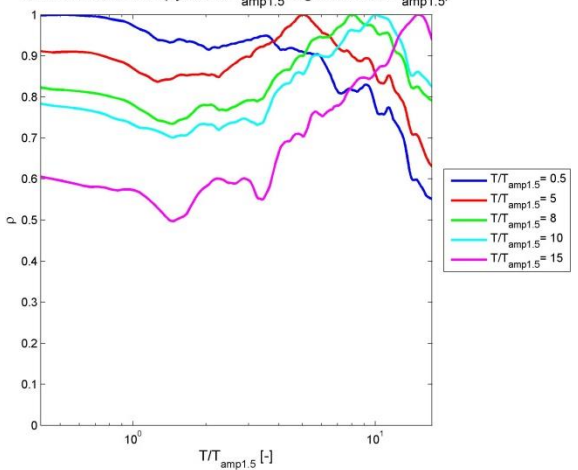


Figura 101: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$.

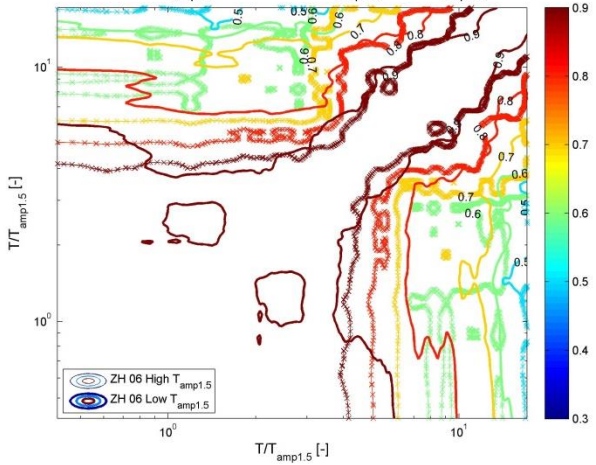
Factores de correlación GMPE: Zhao 2006 (ajuste $T/T_{amp1.5}$ registros Low $T_{amp1.5}$)



Factores de correlación, periodos fijos GMPE: Zhao 2006 (ajuste $T/T_{amp1.5}$ registros Low $T_{amp1.5}$)



Factores de correlación GMPE: Zhao 2006 (ajuste $T/T_{amp1.5}$ registros High $T_{amp1.5}$ y Low $T_{amp1.5}$)



Factores de correlación, periodos fijos GMPE: Zhao 2006 (ajuste $T/T_{amp1.5}$ registros High $T_{amp1.5}$ y Low $T_{amp1.5}$)

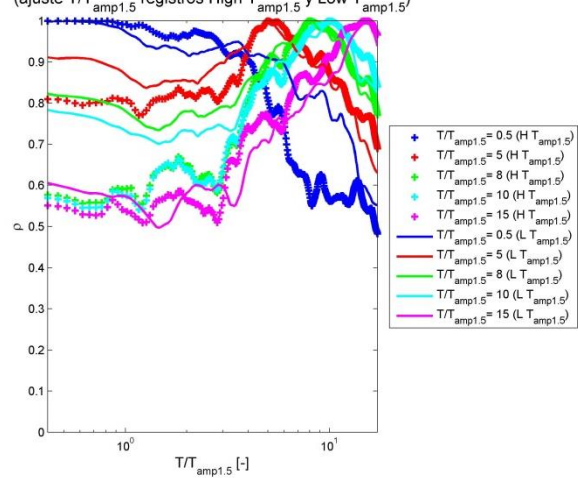


Figura 102: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Zhao et al., 2006 (Ref.35) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$. Abajo: Comparación entre ambos rangos.

4.3.6.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16).

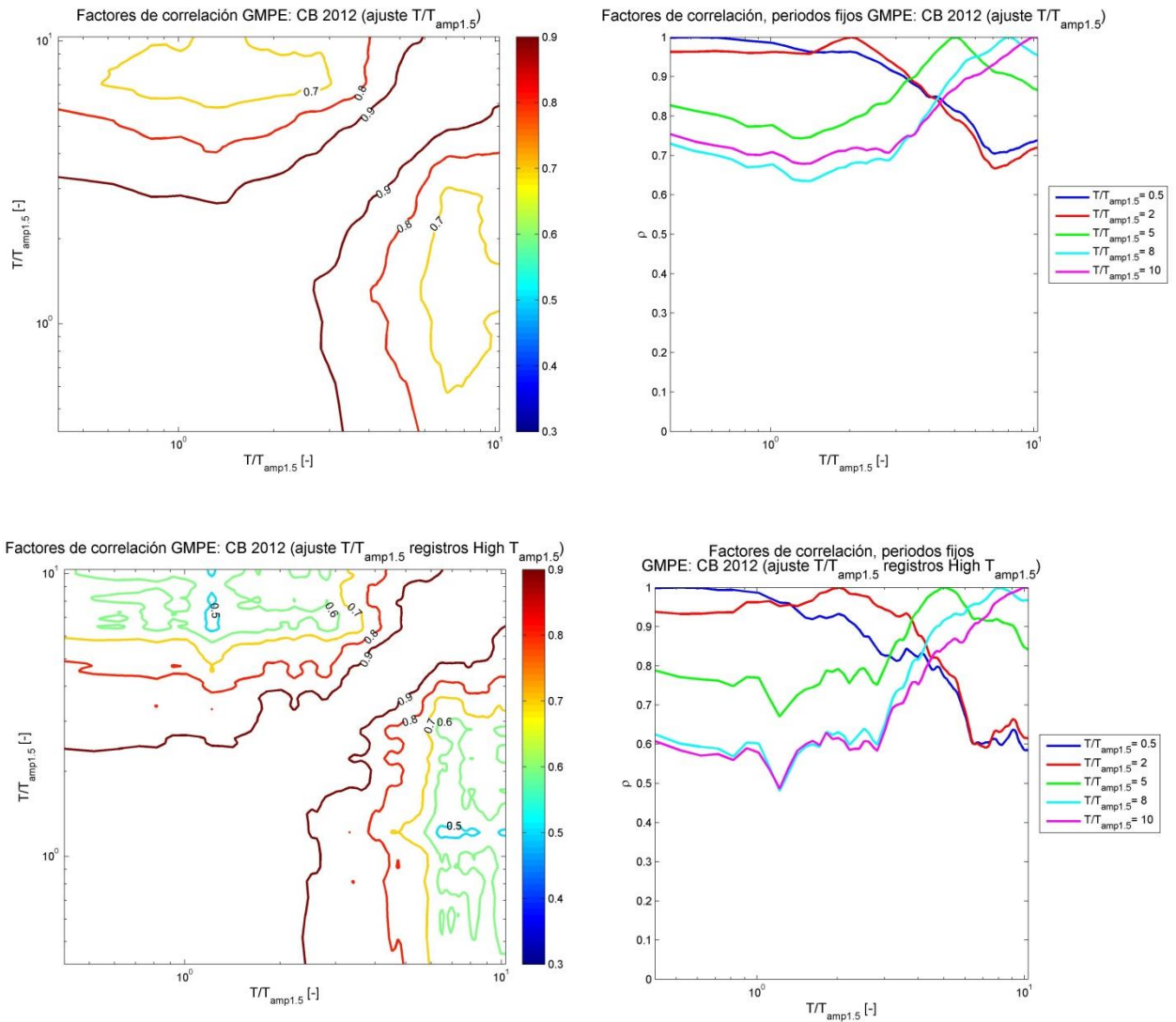


Figura 103: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$.

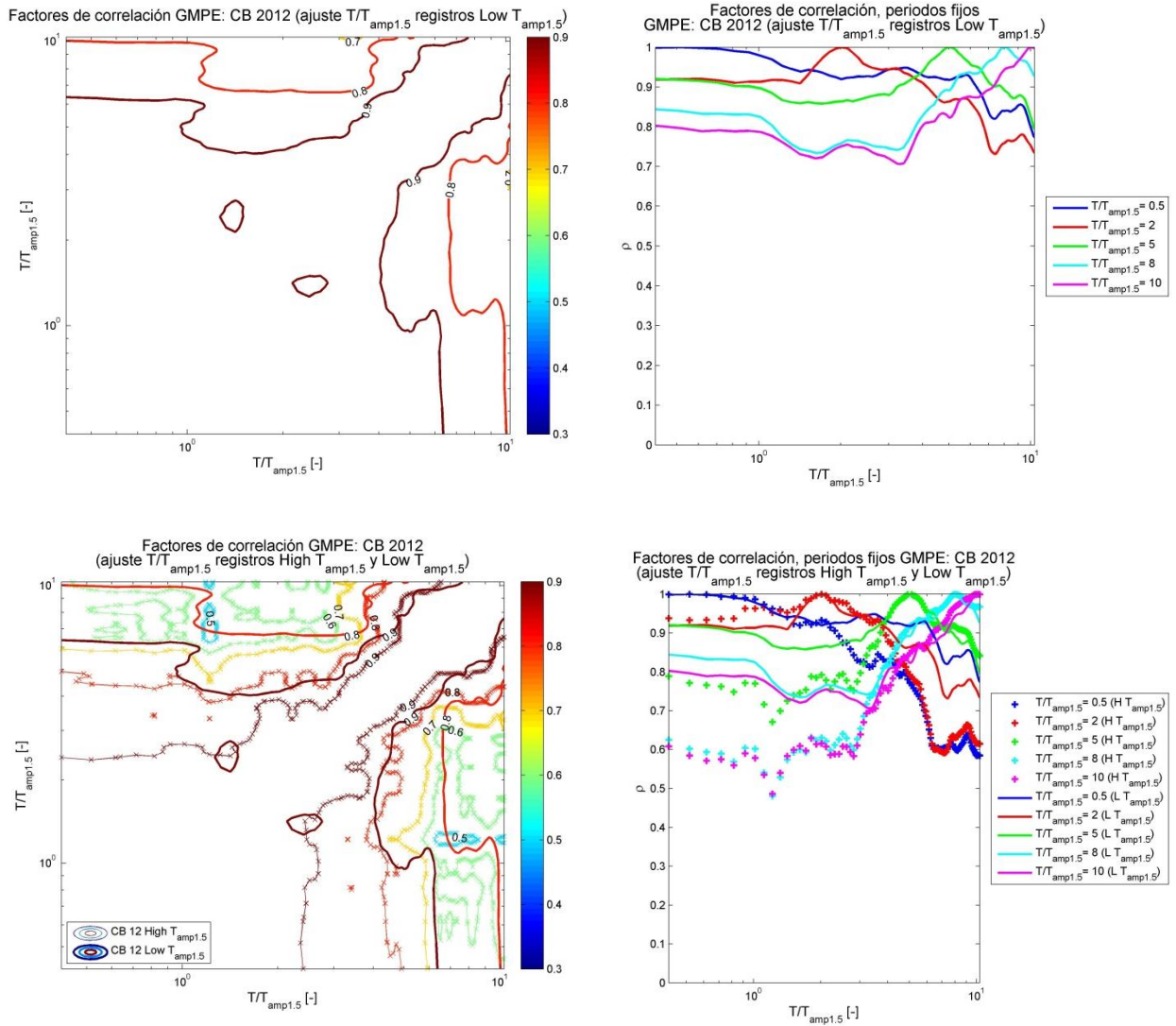


Figura 104: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$. Abajo: Comparación entre ambos rangos.

4.3.6.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

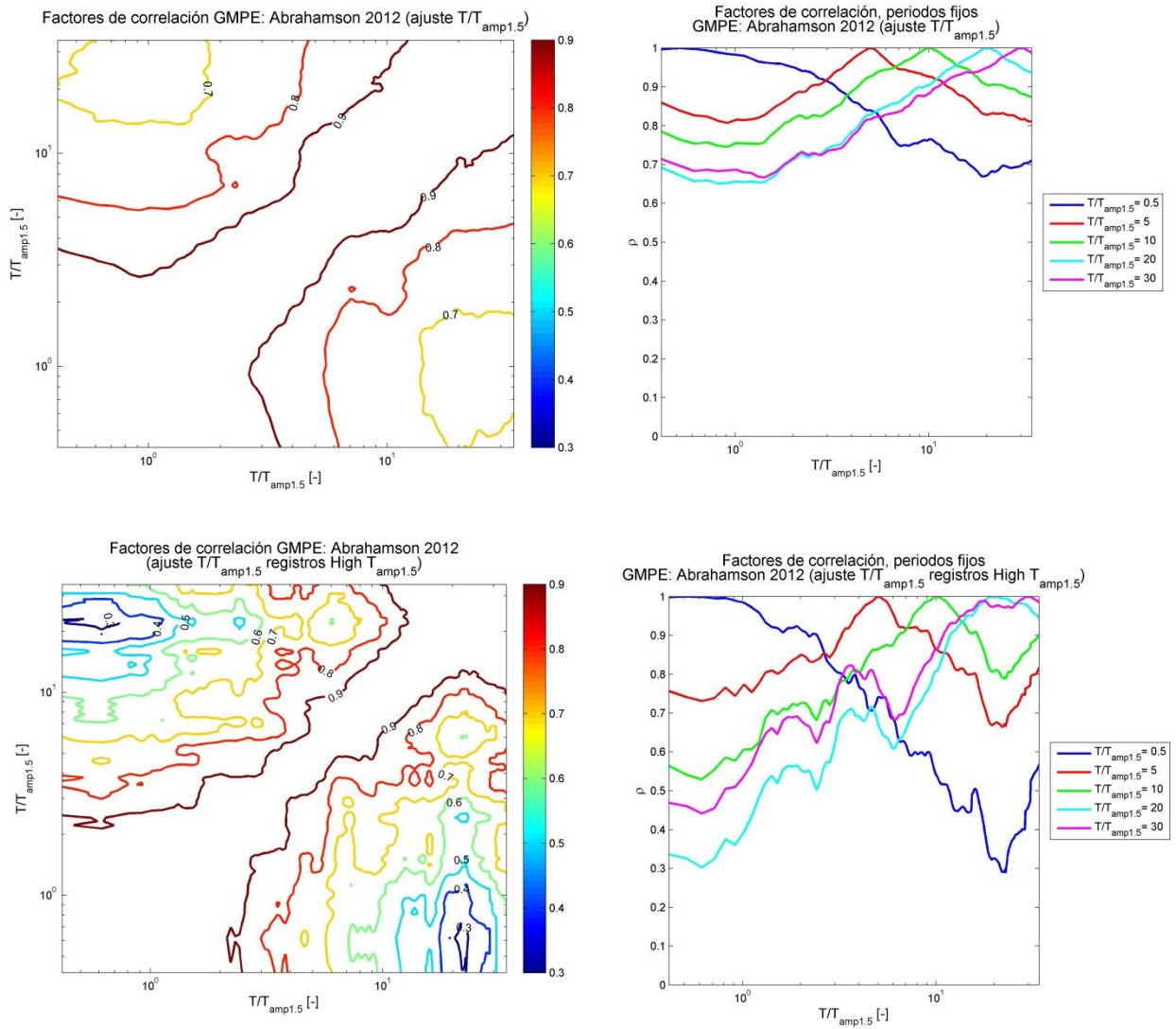


Figura 105: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos. Arriba: Considerando todos los registros. Abajo: Solo registros en el rango alto de $T_{amp1.5}$.

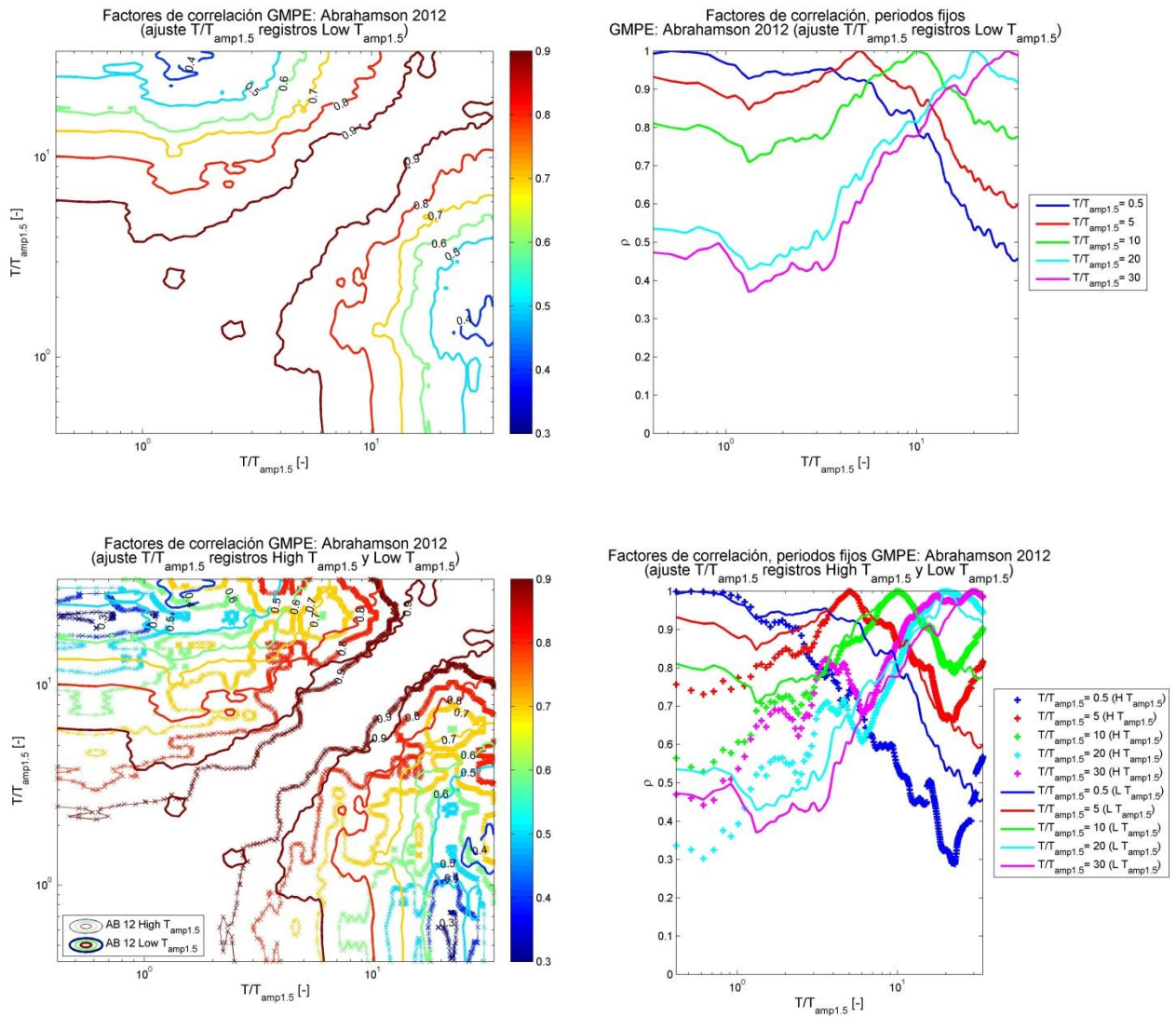


Figura 106: Factores de correlación para el Caso Base (modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) luego de hacer el ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ como curvas de nivel y con valores fijos (continuación). Arriba: Solo registros en el rango bajo de $T_{amp1.5}$. Abajo: Comparación entre ambos rangos.

4.3.7 Comparación con factores obtenidos en zonas de subducción (Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20)

En las figuras siguientes se muestran los factores de correlación obtenidos en este estudio para el caso base, esto es considerando los 139 registros, comparados con los calculados por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) ocupando datos de zonas de subducción. Estos datos son los utilizados para la generación del modelo de atenuación de Abrahamson et al, 2014 (Ref. 1). No se cuenta con un modelo ajustado a estos resultados de modo de obtener las curvas como sucede con las correlaciones de Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8), por lo que la comparación es con figuras separadas, así como tampoco se presentan figuras de periodo fijo dada su ausencia en el estudio citado. En las figuras de Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) los datos con leyenda punteada (Subduction) son los correspondientes a zonas de subducción y los con línea continua (Active Crustal) corresponden a los usados para el desarrollo de la curva de atenuación de Abrahamson and Silva, 2008 (Ref. 2). Se presentan los factores obtenidos ocupando los distintos modelos de atenuación y además comparados con los de Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8), dado que estos son los mismos que en la figura de Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) se presentan como datos de registros intraplaca superficiales (Active Crustal), de modo de poder comparar los que se presentan para zonas de subducción con los de este estudio. La diferencia en los resultados de Baker and Jayaram con los de registros intraplaca se debe a que estos son datos empíricos mientras que el modelo de Baker and Jayaram es una ecuación suavizada y ajustada a dichos datos.

4.3.7.1 Modelo de Young et al, 1997 (Ref. 34)

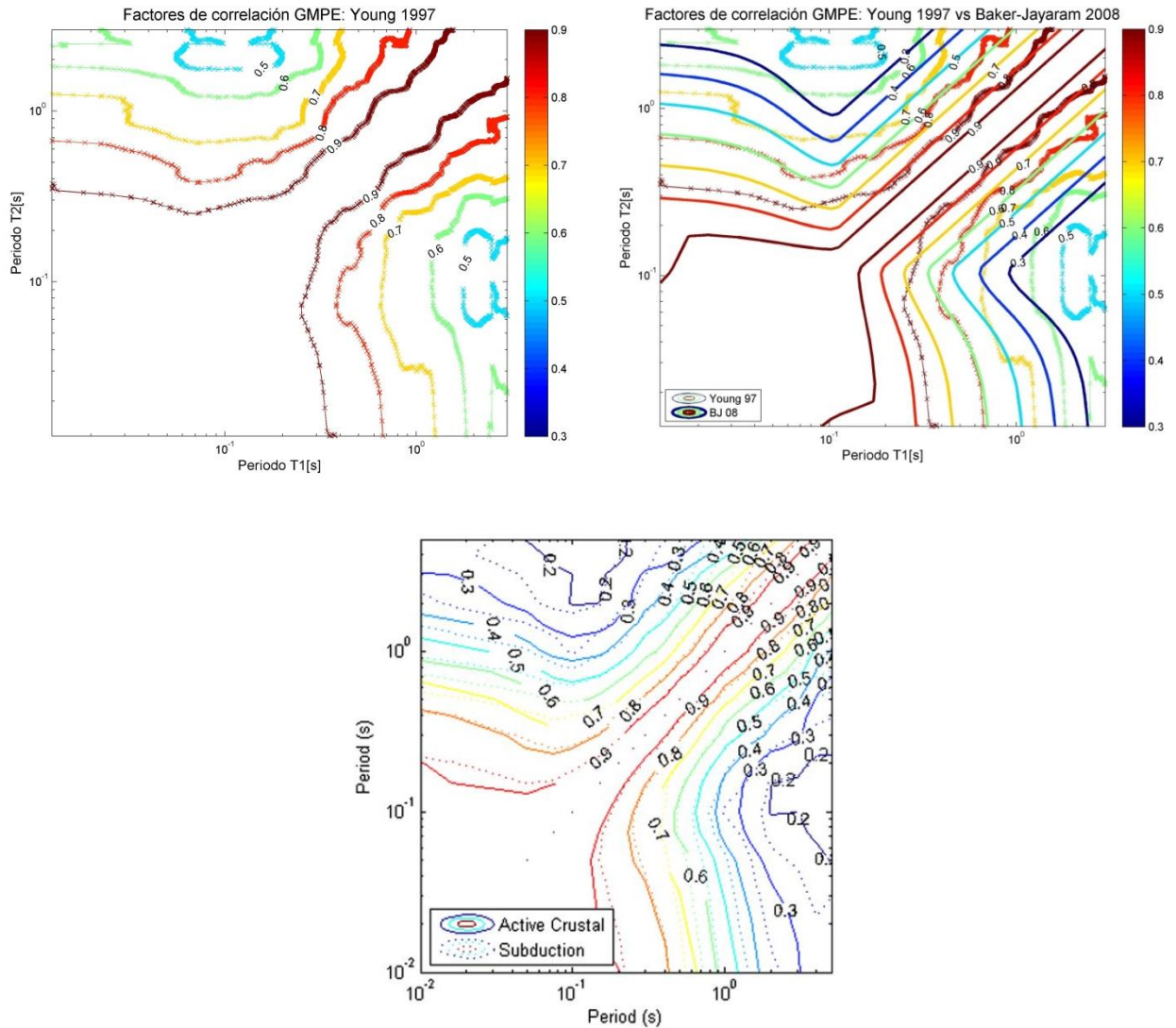


Figura 107: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial.

4.3.7.2 Modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35)

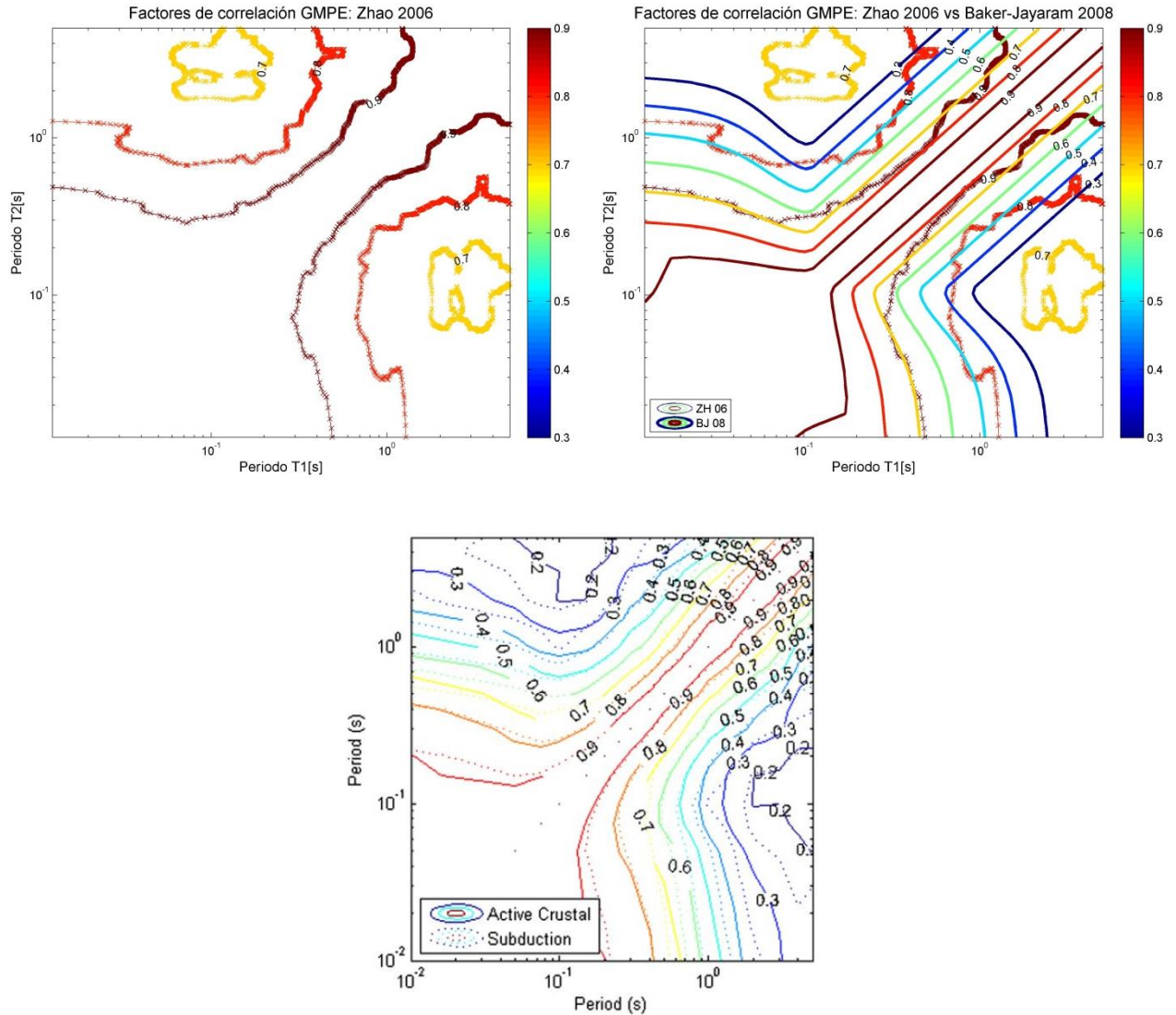


Figura 108: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial.

4.3.7.3 Modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16)

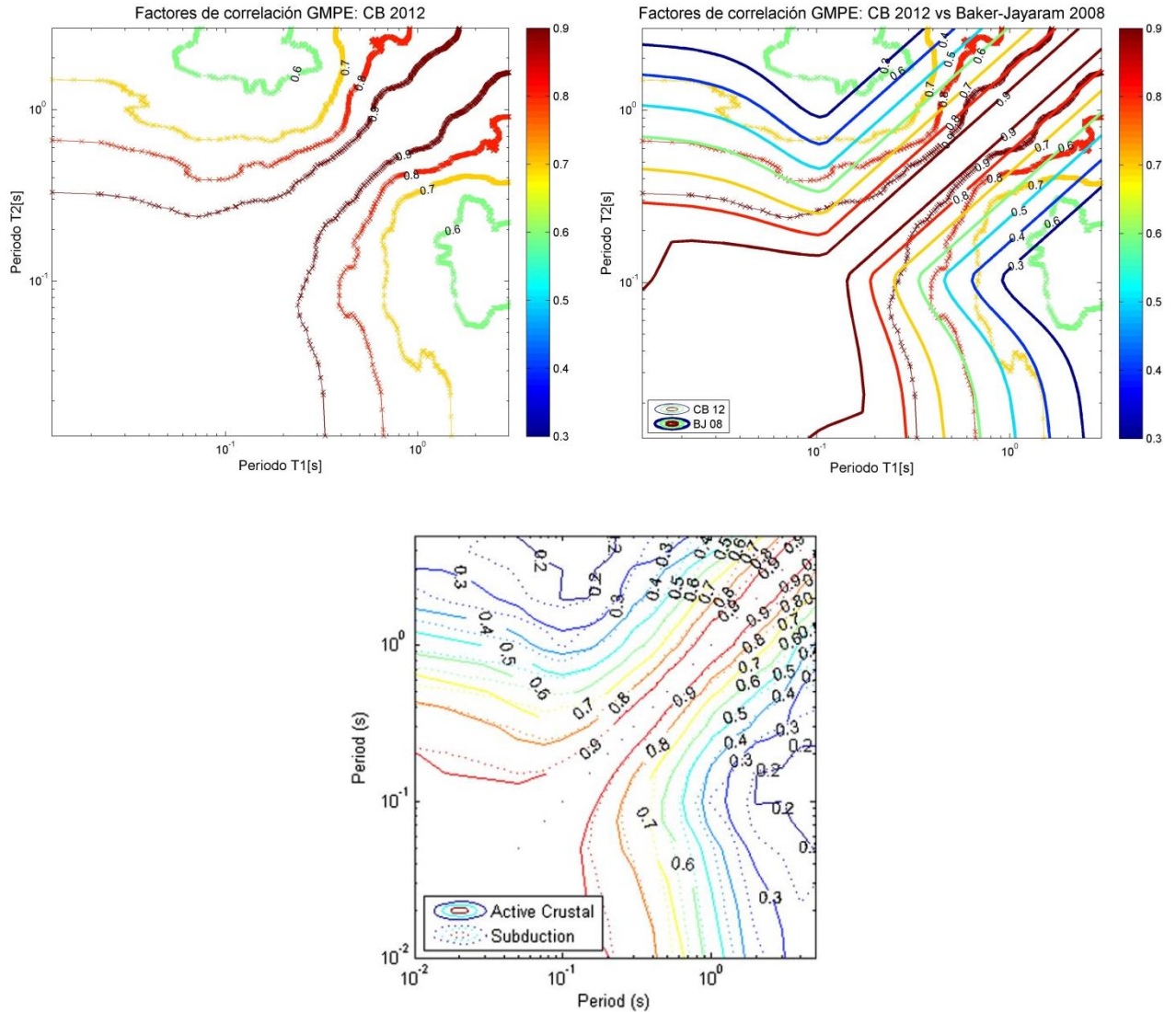


Figura 109: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial.

4.3.7.4 Modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1)

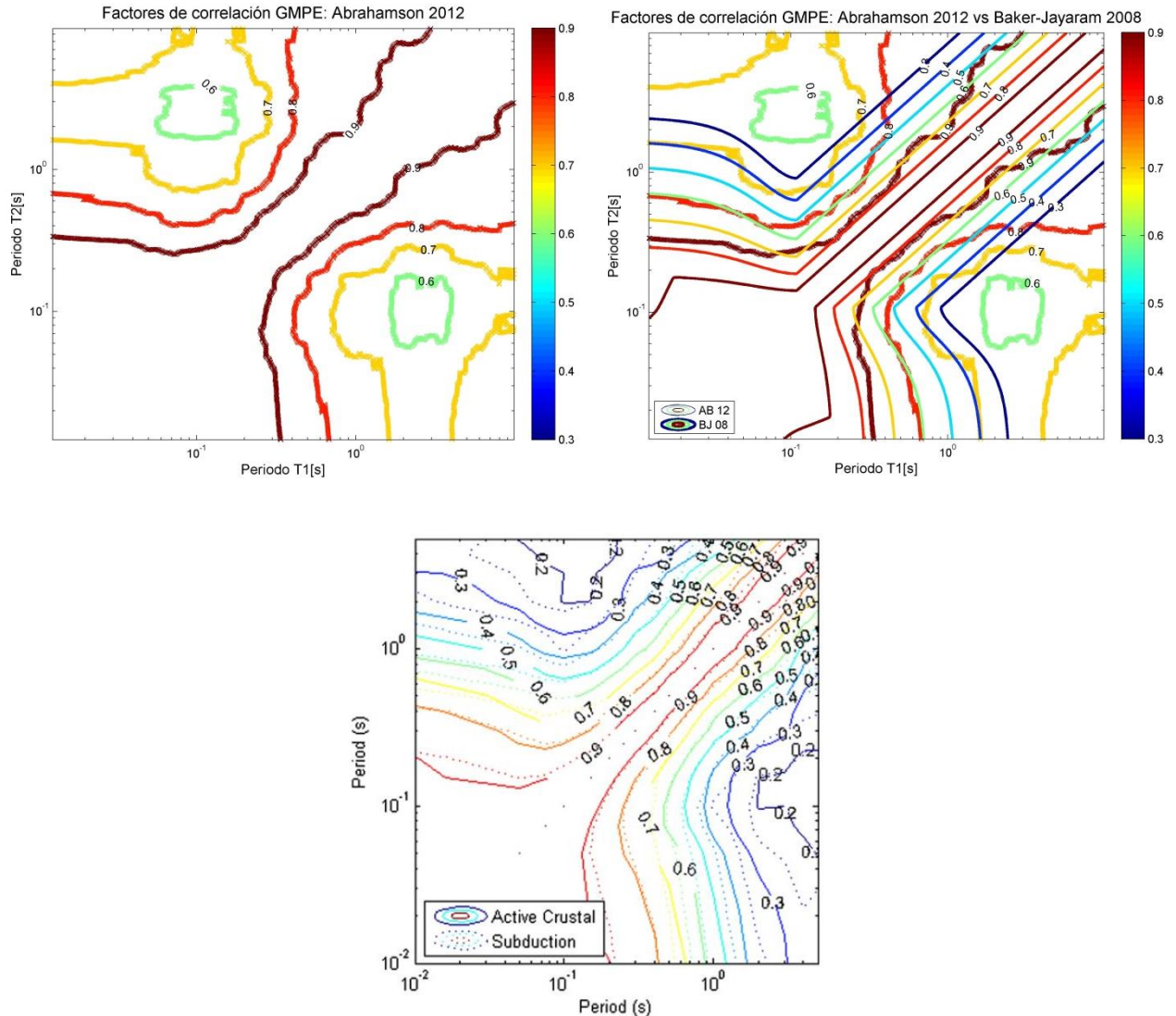


Figura 110: Arriba izquierda: Factores de correlación obtenidos para el caso base con el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1). Arriba derecha: Comparación con los propuestos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). Abajo: Factores de correlación obtenidos por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref.20) para zonas de subducción y para registros de eventos Intraplaca Superficial.

En general los coeficientes de correlación obtenidos para zonas de subducción se alejan de los de Baker and Jayaram solo en correlaciones bajas (menores a 0.5), donde las curvas de nivel tienden a ampliarse en algunos rangos de periodo, aunque comporten una parte de los valores. En correlaciones mayores a 0.5 los coeficientes son prácticamente idénticos con una tendencia a contraerse en correlaciones mayores a 0.8.

Los coeficientes obtenidos en este estudio para el caso base se alejan de los de Baker and Jayaram y en consecuencia de los propuestos para zonas de subducción por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20). Sin embargo el comportamiento de correlaciones bajas es posible observarlo en las desagregaciones presentadas en la sección 4.2, donde los factores que entregan correlaciones menores a 0.3 presentan curvas de nivel más amplias que las de Baker and Jayaram, las que tienden a estar más contraídas sobre valores más acotados de periodo. El efecto presentado para correlaciones altas (ligera contracción de las curvas de nivel, más marcada en periodos bajos) si es posible detectarlo en las figuras presentadas para el caso base, donde todos los modelos de atenuación entregan en general correlaciones altas aún en periodos lejanos ente sí. De los modelos de atenuación usados el que más se acerca a los valores de correlación propuestos para zonas de subducción es el de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16), seguido del modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34), el de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) y el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) que es el que más se aleja.

Capítulo V: Cálculo del Espectro Medio Condicional.

A continuación se presenta a modo de ejemplo el cálculo del Espectro Medio Condicional (CMS) a partir de un Espectro de Amenaza Uniforme (UHS) y ocupando los 4 modelos de atenuación empleados en este estudio. El cálculo se realiza utilizando los coeficientes de correlación determinados para cada modelo de atenuación en su Caso Base y adicionalmente utilizando los coeficientes de correlación propuestos por Baker and Jayaram (2008, Ref. 8). Se obtiene el Espectro Medio Condicional para dos valores de periodo condicionante, T^* , 0.8 s y 1.5 s.

5.1 Espectro de Amenaza Uniforme (UHS).

Se trabaja con un Espectro de Amenaza Uniforme determinado a través de un enfoque probabilístico para un periodo de retorno de 2475 años (aproximadamente 2% de probabilidad de excedencia en 50 años) para un sitio cercano a Huentelauquén, IV Región, Zona III y clasificación sísmica de Suelo Tipo II (según zonificación y clasificación sísmica de NCh433 Of. 1996, Ref. 26). En la Figura 111 se presenta el espectro obtenido, donde se destacan los valores espectrales para los periodos condicionantes de interés.

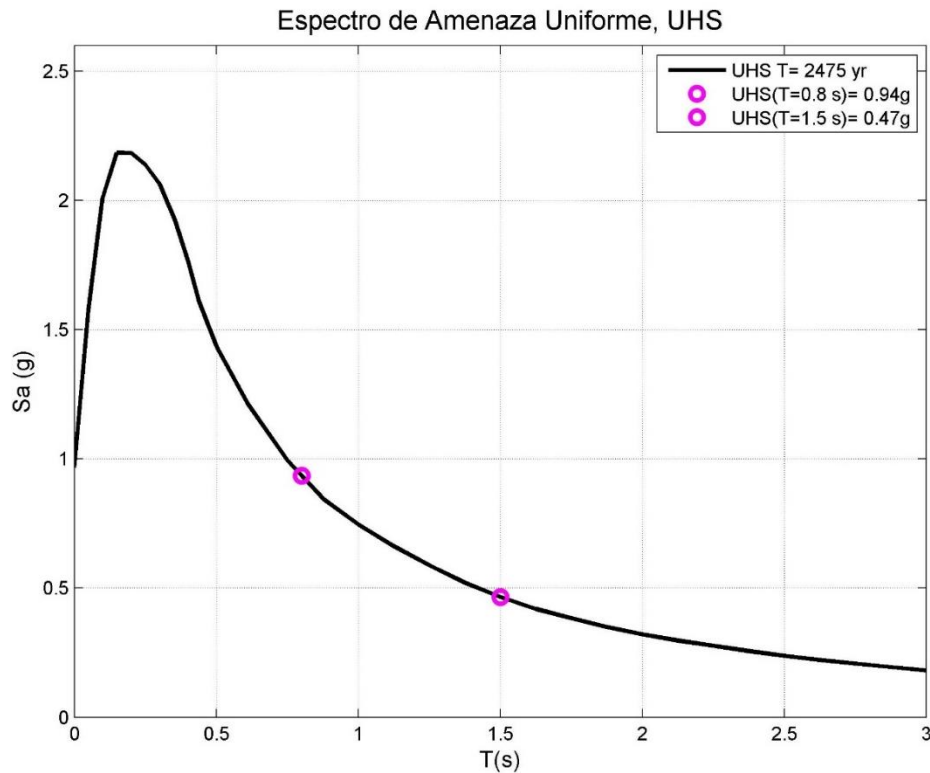


Figura 111: Espectro de Amenaza Uniforme para un periodo de retorno de 2475 años.

Siguiendo la metodología mostrada en la sección 2.2 se determinaron los valores de magnitud y de distancia a la ruptura representativos de cada periodo de interés, \bar{M} y \bar{R} . Estos valores son entregados en el cálculo del Espectro de Amenaza Uniforme para todos los periodos. En la Tabla 20 se presentan los valores para cada periodo condicionante T^* .

Tabla 20: Valores de magnitud y distancia a la ruptura para cada periodo condicionante.

Periodo condicionante T^* (s)	Magnitud \bar{M} (Mw)	Distancia a la ruptura \bar{R} (km)
0.8	8.0	34.7
1.5	8.1	34.7

5.2 Modelos de atenuación para valores de \bar{M} y \bar{R} .

Con los valores de magnitud y distancia a la ruptura determinados anteriormente se calculan las aceleraciones espectrales para toda la banda de periodos. Dado que la distancia es menor a la profundidad focal usada para sismos del tipo Intraplaca (usualmente mayor a 60 km), se

asume que los valores de magnitud y distancia determinados corresponden a un sismo del tipo Interplaca.

5.2.1 $T^*=0.8$ s

En la Figura 112 se muestran las aceleraciones espectrales determinadas por los 4 modelos de atenuación empleados en este estudio para los valores de magnitud y distancia mostrados en la Tabla 20 para el periodo condicionante $T^* = 0.8$ s. En líneas continuas se muestran los valores determinados para el valor medio y en líneas segmentadas estos valores más y menos una desviación estándar. Adicionalmente se grafica el Espectro de Amenaza Uniforme así como el espectro de respuesta de aceleración de un registro del sismo del 1 de Abril de 2014 de Iquique con características similares a los valores de magnitud y distancia determinados ($M_w=8.2$, $R_{rup}=28$ km). Los datos fueron registrados en la estación de Escuela Chipana, Iquique, para un Suelo Tipo III (clasificación sísmica de NCh433 Of. 1996, Ref. 26).

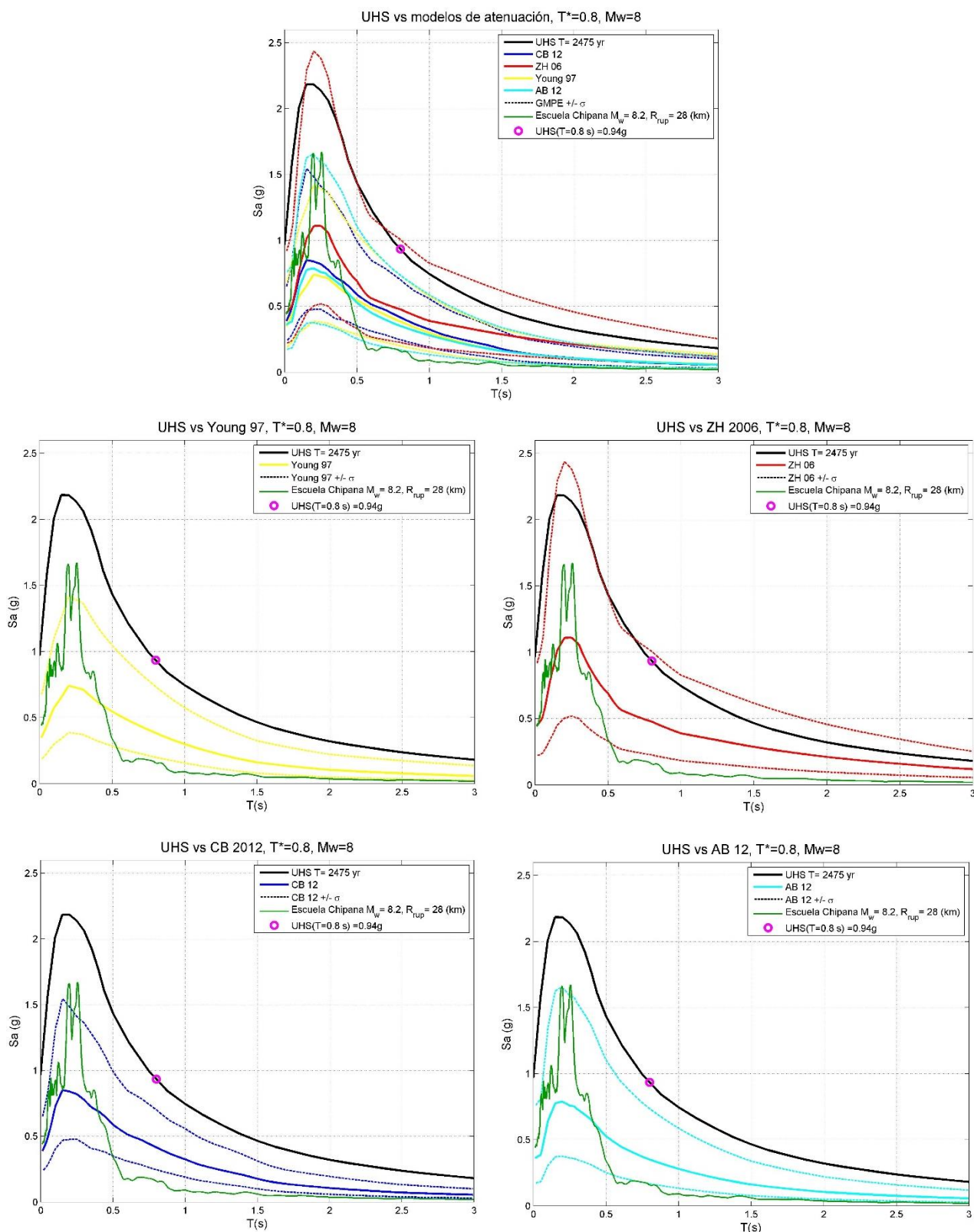


Figura 112: Aceleraciones espectrales para magnitud y distancia de $T^*=0.8s$. Arriba: Todos los modelos. Centro izquierda: Young et al., 1997 (Ref. 34). Centro derecha: Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Abajo izquierda: Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16). Abajo derecha: Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

5.2.2 $T^* = 1.5$ s.

En la Figura 113 se muestran las aceleraciones espectrales determinadas por los 4 modelos de atenuación empleados en este estudio para los valores de magnitud y distancia mostrados en la Tabla 20 para el periodo condicionante $T^* = 1.5$ s. En líneas continuas se muestran los valores determinados para el valor medio y en líneas segmentadas estos valores más y menos una desviación estándar. Adicionalmente se grafica el Espectro de Amenaza Uniforme así como el espectro de respuesta de aceleración de un registro del sismo del 1 de Abril de 2014 de Iquique con características similares a los valores de magnitud y distancia determinados ($M_w=8.2$, $R_{rup}=28$ km). Los datos fueron registrados en la estación de Escuela Chipana, Iquique, para un Suelo Tipo III (clasificación sísmica de NCh433 Of. 1996, Ref. 26).

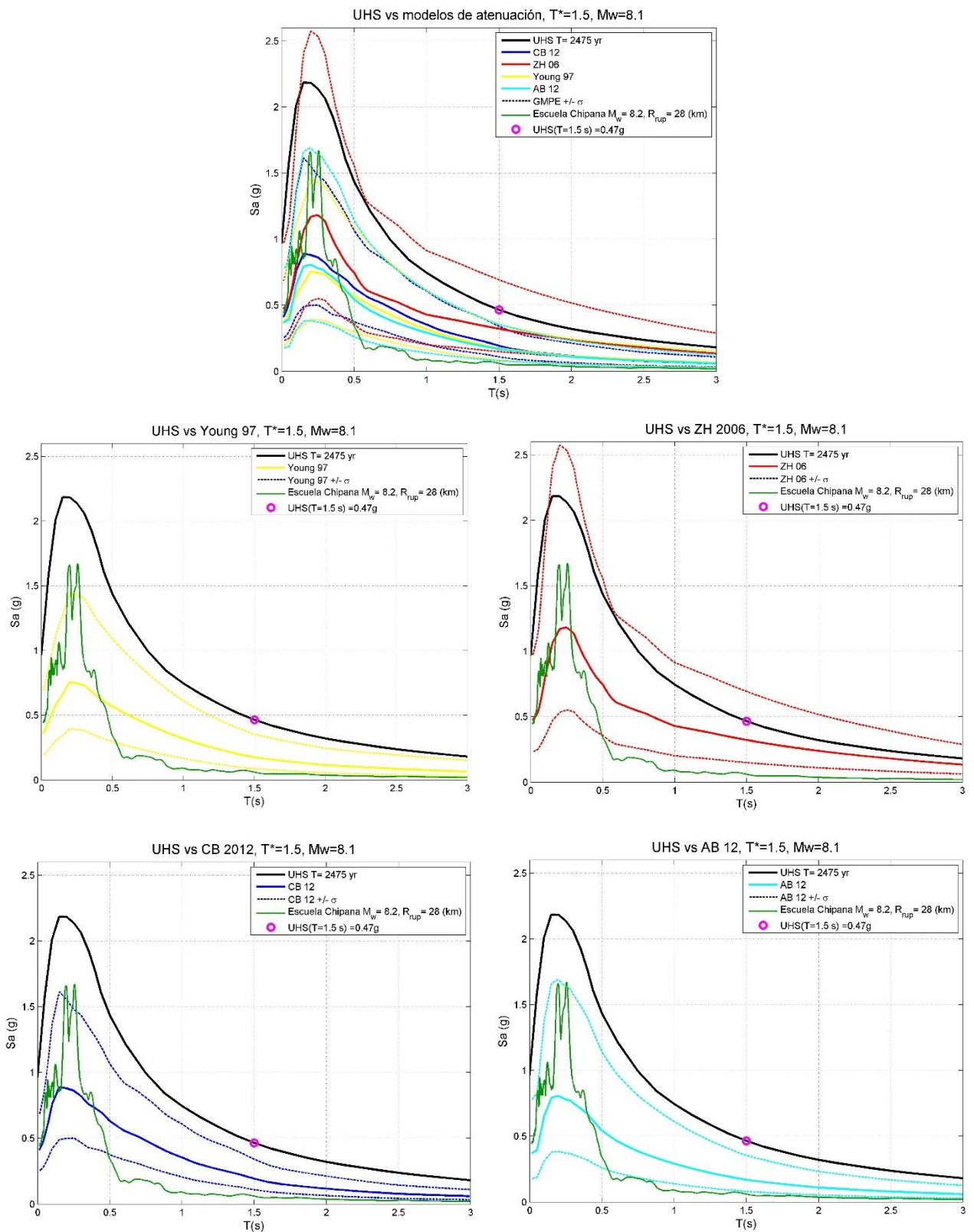


Figura 113: Valores espectrales para magnitud y distancia de $T^*=1.5$ s. Arriba: Todos los modelos. Centro izquierda: Young et al., 1997 (Ref. 34). Centro derecha: Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Abajo izquierda: Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16). Abajo derecha: Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

5.3 Espectro Medio Condicional.

Con los modelos de atenuación y sus respectivos valores de desviación estándar calculados en la sección anterior, se obtuvo el Espectro Medio Condicional para ambos valores de periodo condicionante siguiendo la metodología presentada en la sección 2.2. Se emplearon los coeficientes de correlación determinados en este estudio para cada modelo de atenuación (Caso Base) y los propuestos por Baker and Jayaram (2008, Ref. 8). Adicionalmente se ha graficado el Espectro de Amenaza Uniforme y el espectro de respuesta de aceleración de un registro del sismo del 1 de Abril de 2014 de Iquique con características similares a los valores de magnitud y distancia determinados ($M_w=8.2$, $R_{rup}=28$ km). Los datos fueron registrados en la estación de Escuela Chipana, Iquique, para un Suelo Tipo III (clasificación sísmica de NCh433 Of. 1996, Ref. 26).

5.3.1 $T^*=0.8$ s.

En la Figura 114 se presenta el Espectro Medio Condicional para $T^* = 0.8$ s, donde las curvas de colores continuas son el Espectro Medio Condicional calculado según cada modelo de atenuación utilizando los coeficientes de correlación determinados en este estudio. Las curvas de colores segmentadas corresponden al Espectro Medio Condicional calculado con los coeficientes de correlación propuestos por Baker and Jayaram (2008, Ref. 8).

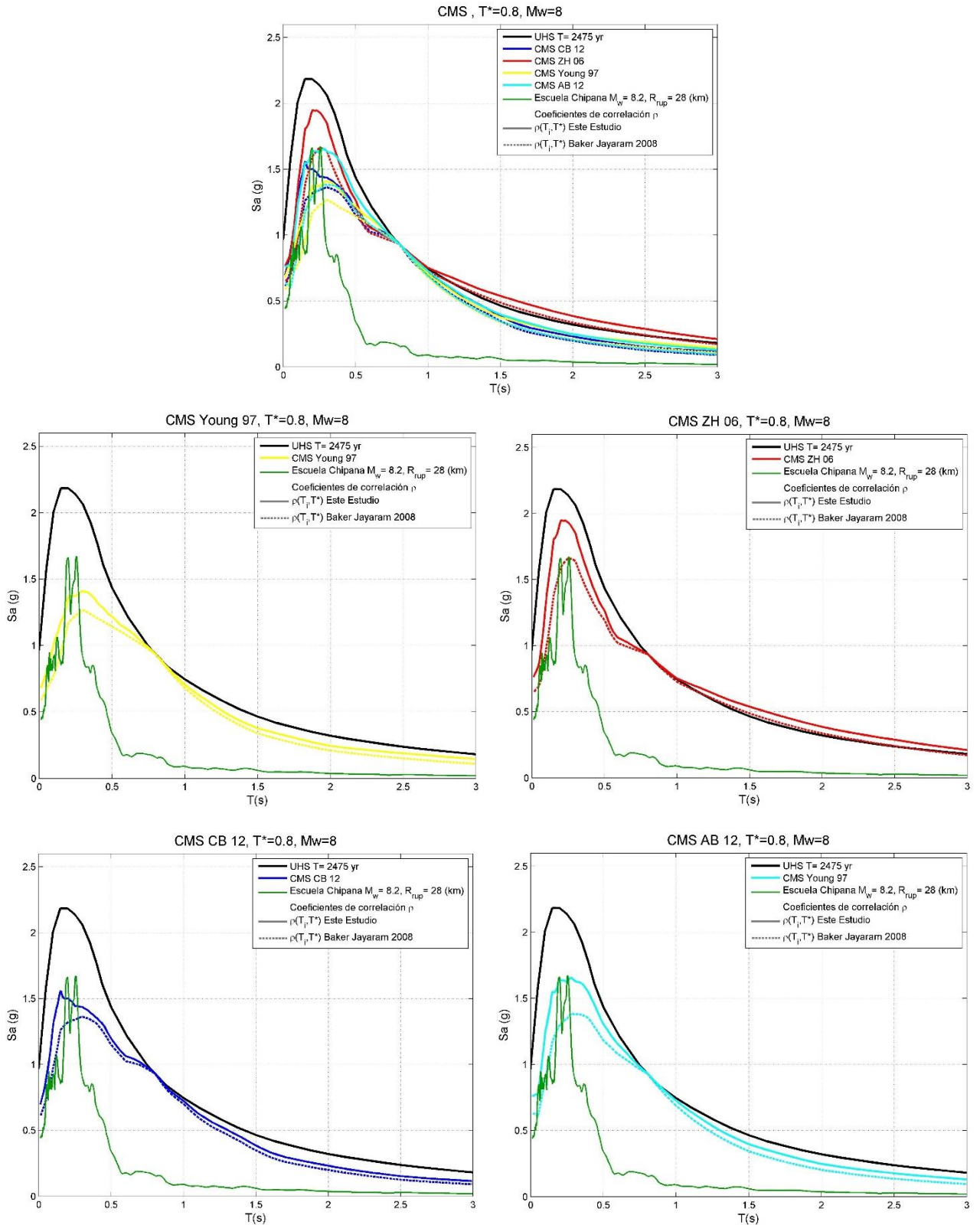


Figura 114: Espectro Medio Condicional para $T^*=0.8$ s. Arriba: Todos los modelos. Centro izquierda: Young et al., 1997 (Ref. 34). Centro derecha: Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Abajo izquierda: Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16). Abajo derecha: Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

5.3.2 $T^* = 1.5$ s.

En la Figura 115 se presenta el Espectro Medio Condicional para $T^* = 1.5$ s, donde las curvas de colores continuas son el Espectro Medio Condicional calculado según cada modelo de atenuación utilizando los coeficientes de correlación determinados en este estudio. Las curvas de colores segmentadas corresponden al Espectro Medio Condicional calculado con los coeficientes de correlación propuestos por Baker and Jayaram (2008, Ref. 8).

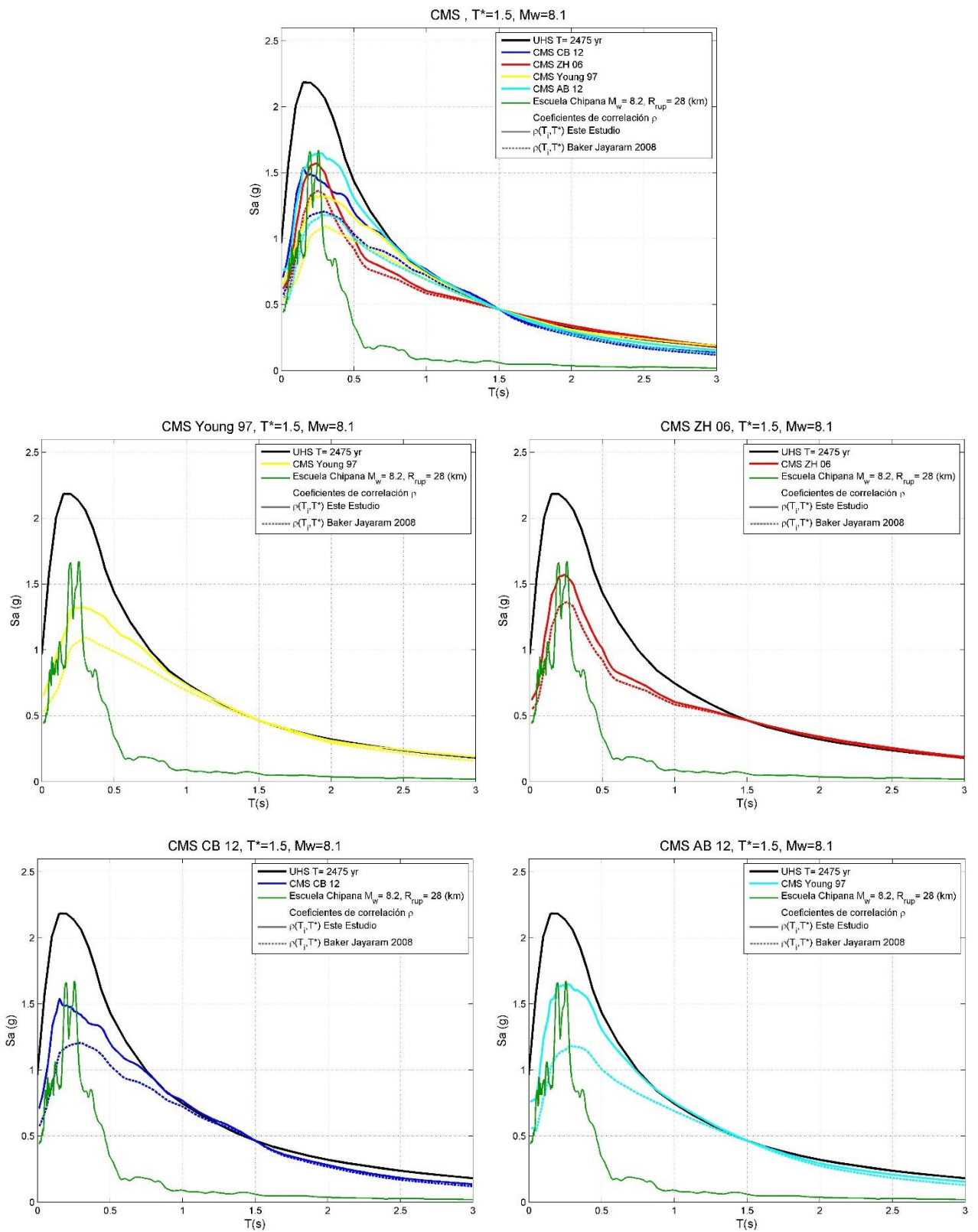


Figura 115: Espectro Medio Condicional para $T^*=1.5$ s. Arriba: Todos los modelos. Centro izquierda: Young et al., 1997 (Ref. 34). Centro derecha: Zhao et al., 2006 (Ref. 35). Abajo izquierda: Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16). Abajo derecha: Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1).

Con los valores de magnitud y distancia obtenidos de la desagregación del estudio probabilístico se obtuvieron las aceleraciones espectrales para dos valores de periodo condicionante, utilizando los 4 modelos de atenuación utilizados en este estudio. Se calculó el Espectro Medio Condicional para estos 4 modelos de atenuación con los coeficientes de correlación determinados en este estudio (para el Caso Base de cada modelo) y con los valores de correlación propuestos por Baker and Jayaram (2008, Ref. 8). El Espectro Medio Condicional obtenido con los coeficientes de correlación de este estudio entrega valores espectrales superiores a los calculados según la matriz de correlación de Baker and Jayaram. Los valores del Espectro Medio Condicional coinciden con el Espectro de Amenaza Uniforme en el respectivo valor de periodo condicionante y se alejan de este a medida que los periodos se alejan entre sí. Para el periodo condicionante 0.8 s las diferencias entre ambos espectros medios condicionales son menores que para el periodo condicionante 1.5 s. Es importante destacar que el modelo de Zhao es el único que entrega valores espectrales superiores al Espectro de Amenaza Uniforme para periodos mayores al periodo condicionante. Este comportamiento es más notorio para el periodo condicionante de 0.8 s, mientras que para $T^* = 1.5 s$ el Espectro Medio Condicional obtenido con Zhao supera marginalmente al Espectro de Amenaza Uniforme. Finalmente las diferencias entre los espectros determinados según ambos modelos de correlación tienden a disminuir a medida que el periodo aumenta y se aleja del periodo condicionante.

Capítulo VI: Conclusiones y análisis de resultados.

En este trabajo se seleccionaron registros de aceleración de sismos con Magnitud de Momento igual o superior a 6.5, desde el año 1995 al 2014 ocurridos en Chile, con el objetivo final de obtener los factores de correlación entre diferencias espectrales, necesarios para la generación de un Espectro Medio Condicional (CMS). En el Capítulo III se genera una base de datos con la información geotécnica (tipo de suelo, según la clasificación de suelos de la NCh433 Of. 1996, Ref.26) y de ubicación de cada estación de registro. Se incluye la información de cada evento sísmico asociado a los registros, siendo estos datos la ubicación del hipocentro, área de ruptura, Magnitud de Momento, profundidad focal y mecanismo focal. Se procesan los registros sísmicos siguiendo las metodologías propuestas por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER, Ref.30).

Con la información antes descrita, en el Capítulo IV se generan los factores de correlación entre diferencias espectrales ϵ para cada par de periodos, ocupando 4 modelos de atenuación o GMPE (Young et al., 1997, Ref. 34; Zhao et al., 2006, Ref. 35; Boroschek and Contreras, 2012b, Ref. 16; Abrahamson et al., 2012, Ref. 1). Se comparan estos resultados con los valores obtenidos por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8), calculados ocupando una base de datos con más de 2500 registros de aceleraciones de todo el mundo en zonas sísmicas activas con mecanismos focales del tipo Intraplaca Superficial.

Se desagregan los resultados de este estudio según tipo de suelo de la estación de registro, mecanismo focal y rango del periodo peak $T_{amp1.5}$. Se compara el caso base, considerando todos los registros con los factores de correlación obtenidos ocupando datos de aceleraciones de zonas de subducción (Carlton and Abrahamson., 2014, Ref. 20). Se presenta el ajuste en el rango de periodos propuesto por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20), para el caso base, al obtener factores de correlación con registros de aceleraciones con alto contenido de frecuencia.

Con respecto a la distribución de la magnitud de los registros estudiados, según los datos presentados en la Tabla 8 y en la Figura 8 hay un 43% de registros con Magnitud de Momento reportada entre 6.5 y 7.0, siendo este el porcentaje mayoritario. El segundo rango de Magnitud de Momento más importante es entre 7.5 y 8.0, donde se cuenta con el 21% de registros. Relacionado con lo anterior se ve según la Tabla 10 y la Figura 10 que la distribución de aceleraciones máximas horizontales se

encuentra en un porcentaje mayoritario (29%) en el rango 0.02g-0.05g. Los demás rangos presentados tienen un porcentaje de registros que varía entre un 14% y 18%. Para la distribución de la distancia más cercana a la ruptura (Figura 12), un 36% se encuentra en el rango 100-200 km y un 23% en el rango 200-300 km. La distribución de la clasificación de suelos muestra que un 47.5% de los datos tiene un suelo II, un 26.6% posee suelo III, un 21.6% suelo I y solo un 4.3% de los registros están asociados a suelo IV, según la clasificación de la NCh433 Of. 1996 (Ref.26)

Con respecto a la calidad de los equipos de registro (Tabla 14 y Figura 14), 47% de los datos cuenta con equipos ETNA; lo que asegura que se pueden calcular los espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento hasta 10 segundos de periodo (Boroschek, Ref. 14). Por otro lado un 18% de los datos fueron registrados con equipos SMA-1, lo que no permite calcular los espectros para valores de periodo mayores a 4s. La calidad de los equipos redundante en la distribución de los valores finales de periodos de corte (Tabla 16 y Figura 15), puesto que la totalidad de los datos registrados con equipos ETNA pueden alcanzar valores de periodo de corte calculados según la desviación estándar mayores a 10s. En consecuencia, podría proponerse extender este valor de periodo de corte asociado al equipo y lograr espectros para una banda de periodos mayor. Solo 3 registros no alcanzan periodos de corte mayor o igual a 3s, esto se ve reflejado en los datos presentados en la Tabla 17, donde la curva de atenuación que permitió calcular los factores de correlación con la mayor cantidad de datos en toda la banda de periodos fue la de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16), puesto que la aceleración que estima tiene como máxima Magnitud de Momento posible el mismo valor máximo de los registros de la base de datos estudiada (Mw 8.8). Es importante destacar que esta curva de atenuación fue desarrollada con muchos de los registros que fueron ocupados en este mismo estudio. En contraparte la curva de atenuación de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) es la que logró el cálculo de factores de correlación hasta la mayor banda de periodos (10s) pero con la menor cantidad de datos en dicha zona (66 registros).

En el cálculo de los factores de correlación, se logra la misma tendencia presentada por los valores determinados por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8), es decir que a medida que se acercan los valores de periodo para los cuales se está evaluando la correlación, el valor de esta aumenta, y a medida que se alejen se llega a factores menores. Sin embargo, es importante destacar que el modelo de Baker and Jayaram presenta valores mínimos de correlación cercanos a 0.1, mientras que ocupando

todos los registros de la base de datos estudiada (139 registros), el valor mínimo de correlación es de 0.5, ocupando el modelo de atenuación de Young et al., 1997 (Ref. 34), luego el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) da un valor mínimo de correlación de 0.55, el modelo de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1) entrega un factor de correlación mínimo de 0.6 y finalmente el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) llega a un valor mínimo de 0.7. En general para el caso base el modelo que más se aleja de las curvas de Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) es el de Zhao, el que además se aleja de los valores determinados por los otros 3 modelos. Luego el modelo de Abrahamson se acerca un poco más al de Baker and Jayaram, y finalmente el modelo de Young y el de Boroschek and Contreras. Estos últimos dos modelos entregan los mismos valores de correlación por tramos de periodos, situación que se repite siempre de a pares de curvas (Boroschek and Contreras con Young, Zhao con Abrahamson, Zhao con Boroschek and Contreras y Young), no existiendo tramos de la banda de periodos donde coincidan los 4 modelos de correlación, salvo en valores de correlaciones mayores a 0.9 donde los modelos coinciden entre si y con Baker and Jayaram.

Desagregando los resultados se pueden obtener mejores aproximaciones a los valores entregados por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8). En particular determinando los factores de correlación solo con registros sísmicos de eventos del tipo Intraplaca se obtienen las mismas tendencias del modelo comparado, incluso para periodos alejados entre si y para correlaciones bajas. Con estos registros se obtienen correlaciones mínimas en torno a 0.1, mismos valores a los que llega Baker and Jayaram. Cuando ambos periodos se alejan mucho entre sí, en promedio los factores siguen la tendencia de Baker and Jayaram, pero con una oscilación de sus valores en torno a estos, es decir presentan un comportamiento sinusoidal aumentando y disminuyendo los valores de correlación entregados, mientras que el modelo comparado presenta una única tendencia a aumentar o disminuir estos valores a medida que se acerca o aleja de un periodo condicionante fijo. Esta situación puede explicarse debido a que solo existen 24 registros sísmicos asociados a eventos del tipo Intraplaca. Este número se reduce aún más para valores altos de periodo donde el periodo de corte, determinado en el Capítulo II, influye llegando a calcular los factores para periodos cercanos a los 10s con solo 13 registros. Repitiendo el análisis anterior pero determinando los factores de correlación solo con registros de sismos del tipo Interplaca (115 registros) se obtienen valores de correlación prácticamente idénticos a los determinados ocupando todos los registros (caso base, 139 registros), obteniendo valores mínimos de correlación en torno a 0.5.

Si se separan los registros por tipo de suelo, los factores determinados ocupando solo registros de estaciones en roca (30 registros) entregan los mayores valores de correlación, siendo estas siempre superiores a 0.8. Esto quiere decir que en general los registros de aceleraciones de sismos chilenos en sitios de roca poseen espectros de respuesta de aceleración alejados en la misma proporción de los espectros que se pueden determinar con un modelo de atenuación. Las correlaciones para este caso son las que más se alejan de las determinadas por Baker and Jayaram, tanto en el valor entregado para un mismo par de periodos como en su comportamiento. Obteniendo los factores de correlación solo con registros de estaciones en suelo (109 registros) se obtiene un valor mínimo de correlación de 0.35. Las curvas de nivel de los factores de correlación sobre ambas bandas de periodo se acercan a las de Baker and Jayaram para correlaciones mayores a 0.7, alejándose del modelo a medida que se disminuye la correlación. En general esta desagregación entrega resultados muy similares a las del caso base, al igual que cuando se desagregan los factores para eventos del tipo Interplaca.

La última desagregación corresponde a la usada en el ajuste por alta frecuencia a través del periodo peak $T_{amp1.5}$, ocupando los rangos alto y bajo de este valor según lo presentado en la sección 2.4. Calculando los factores de correlación solo con registros del rango alto de $T_{amp1.5}$ (17 registros) se obtienen correlaciones mínimas en torno a 0.1, y valores muy cercanos a los propuestos por Baker and Jayaram cuando ambos periodos son mayores a 0.8s. Por otro lado cuando uno o ambos periodos son menores a dicho valor los factores de correlación se mantienen constantes a medida que se aumenta el periodo, comportamiento que se ve como una línea horizontal con pocas variaciones en las figuras de periodo fijo presentadas en la sección 4.3.5. A su vez, cuando se calculan los factores de correlación solo con registros del rango bajo de $T_{amp1.5}$ (34 registros) se obtienen los mismos valores mínimos de correlación (en torno a 0.1) y cercanos a los de Baker and Jayaram inclusive para correlaciones bajas (mayores a 0.3), sin presentar el comportamiento descrito anteriormente para los registros del rango alto de $T_{amp1.5}$. El comportamiento de estos factores es muy similar al presentado para los factores de registros de eventos Intraplaca. Se replica el comportamiento descrito por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) para los rangos altos y bajos de $T_{amp1.5}$, donde las correlaciones del rango alto tienden a ser mayores a las del rango bajo dado un mismo par de periodos.

Otro aspecto a considerar de la comparación realizada es el valor donde se presentan los menores coeficientes de correlación. En el modelo de

Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) este comportamiento se marca claramente en torno a 0.1s para periodos fijos mayores a 0.5s, mientras que no existe un mínimo claro cuando el periodo a evaluar es bajo (menor a 0.1s) y el otro es alto. En los factores de correlación obtenidos en este estudio el primer comportamiento se replica en torno a 0.1s para todos los casos excepto cuando se analizan los factores obtenidos con registros en roca, donde no se presenta el comportamiento descrito. Una particularidad de los factores de correlación de este estudio es que existe un segundo mínimo cuando uno de los valores de periodo es menor a 0.2s. Haciendo variar el otro valor de periodo se obtiene un mínimo para los factores de correlación en torno a 2s, el cual es posible ver para todos los casos de desagregación y modelos de atenuación usados, a excepción de los factores de correlación para registros de estaciones en roca, donde solo el modelo de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) marca la presencia de un mínimo en torno a 1.5s.

En relación al ajuste por periodo peak $T_{amp1.5}$ propuesto por Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20), su comportamiento difiere para cada modelo de atenuación usado. Los factores que más se acercan a lo predicho por los autores son los obtenidos con la curva de atenuación de Abrahamson et al., 2012 (Ref. 1), seguido de las correlaciones obtenidas con el modelo de Zhao et al., 2006 (Ref. 35) y el modelo de Young et al., 1997 (Ref. 34). Las correlaciones que lograron un menor acercamiento entre los sets del rango alto y bajo del periodo peak $T_{amp1.5}$ son las obtenidas con la curva de atenuación de Boroschek and Contreras, 2012b (Ref. 16) A pesar de que el ajuste busca equiparar las correlaciones mayores a 0.6 obtenidas para los rangos altos y bajos del periodo peak $T_{amp1.5}$ en un rango acotado de periodos normalizados ($T/T_{amp1.5} > 1$), este comportamiento fue posible replicarlo solo en correlaciones mayores a 0.8 y en valores de periodo variable según el modelo de atenuación empleado. Mientras el modelo de Zhao y Young entregan curvas de correlación cercanas para periodos normalizados mayores a 1 (cumpliendo el comportamiento descrito por Carlton and Abrahamson, 2014, Ref. 20), las curvas obtenidas con el modelo de Abrahamson se empiezan a acercar cuando ambos periodos normalizados son mayores a 6. Finalmente el modelo de Boroschek and Contreras replica este comportamiento en periodos normalizados mayores a 8.

Con respecto a los factores de correlación para zonas de subducción, la base de datos con la que se trabaja en este estudio tiene un valor promedio para el periodo peak $T_{amp1.5}$ de 0.09s, por lo que de acuerdo a Carlton and Abrahamson, 2014 (Ref. 20) sus valores debiesen estar

cercanos a los de subducción y los obtenidos con registros de sismos intraplaca. Las formas y ubicaciones de las correlaciones de estudio si bien siguen la tendencia de correlaciones altas para los datos de zonas de subducción (contracción con respecto a las curvas de Baker and Jayaram) y la tendencia en correlaciones bajas (ampliación de las curvas de nivel), existe un distanciamiento en los valores entregados para un mismo par de periodos, lo que podría explicarse por la cantidad de registros considerados en el cálculo, magnitud mínima de la base de datos, distancia a la fuente o el tipo de suelo de las estaciones. El comportamiento descrito de contracción y ampliación de las curvas de nivel también es posible de detectar comparando las correlaciones para registros de eventos Interplaca e Intraplaca determinadas en este estudio.

Se concluye que los factores de correlación determinados por Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) pueden ocuparse como una primera aproximación de las correlaciones entre diferencias espectrales ϵ , sin embargo, si se necesitan resultados más precisos debiese considerarse el mecanismo focal de la región o el tipo de suelo. Los factores de correlación obtenidos en este estudio con eventos del tipo Intraplaca y con registros del rango bajo del periodo peak $T_{amp1.5}$ coinciden para la mayoría de los tramos de periodo con los propuestos por Baker and Jayaram. Es importante destacar que estos factores fueron obtenidos con una base de datos con más de 2500 registros de aceleraciones alrededor de todo el mundo para eventos del tipo Intraplaca Superficial, por lo que esto puede explicar que se asemejen a los resultados obtenidos para eventos con este tipo de mecanismo focal. Por otro lado, los factores que más se alejan de los determinados por Baker and Jayaram son los determinados para estaciones en roca y para eventos del tipo Interplaca. Con respecto a la desagregación, para todos los modelos de atenuación usados se cumple que las correlaciones del caso base coinciden en la mayor parte de la banda de periodos con las determinadas para registros de eventos Interplaca y para registros de estaciones en suelo, lo que quiere decir que las curvas obtenidas están fuertemente influenciadas por el tipo de mecanismo focal de los eventos o el tipo de suelo de los registros usados, ya que 115 registros (83%) están asociados a eventos del tipo Interplaca y 109 registros (78%) son de estaciones en suelo. A su vez, si bien los factores de correlación obtenidos con registros de eventos Intraplaca coinciden con los de Baker and Jayaram, existe una oscilación de los resultados de este estudio en torno a las curvas del modelo comparado, lo que puede explicarse por la baja cantidad de registros, ya que este comportamiento sinusoidal se da en todos los casos en que se calcularon las correlaciones con pocos registros (eventos Intraplaca, estaciones en roca, rangos alto y bajo del periodo peak $T_{amp1.5}$). En concordancia con lo

anterior para futuros estudios de los factores de correlación en Chile se recomienda la incorporación de una base de datos más amplia, tanto en cantidad de registros como en su distribución para el mecanismo focal y tipo de suelo, lo que permita obtener valores con menor variabilidad y comportamiento más suavizado aun cuando se desagreguen los resultados. Otro aspecto a mejorar de la presente investigación es la posibilidad de ajustar los resultados de este estudio a un modelo numérico que permita obtener las curvas de correlación mediante una ecuación, del mismo modo en que Baker and Jayaram, 2008 (Ref. 8) ajustaron los resultados empíricos de su investigación. Esto permitiría la comparación entre modelos de correlación de diferencias espectrales ϵ de manera más versátil y directa, así como su aplicación en estudios de amenaza sísmica para el cálculo de un Espectro Medio Condicional (CMS).

Finalmente para el ejemplo presentado de obtención del Espectro Medio Condicional se muestra que en ambos periodos condicionantes analizados la diferencia entre ocupar las correlaciones determinadas en este estudio y las propuestas por Baker and Jayaram (2008, Ref. 8) son menores aunque no menos importantes. El cálculo a través de la matriz de correlación determinada en este estudio entrega un espectro más conservador y levemente superior al determinado a través de las correlaciones de Baker and Jayaram. Como recomendación para futuros estudios se propone usar el Espectro Medio Condicional calculado a través de ambos modelos en la selección o generación de registros sísmicos para su uso en un análisis tiempo-historia tal como lo proponen las modificaciones del Capítulo 16 de la ASCE/SEI 7 no obstante estas modificaciones aún se encuentran en discusión (Haselton et. al, Ref. 36). Siguiendo estas indicaciones se puede obtener la probabilidad de colapso de un modelo estructural, con el fin de aportar más información sobre las correlaciones empleadas y la respuesta asociada a cada Espectro Medio Condicional.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Abrahamson, N., Gregor, N., Addo, K. (2012), BC Hydro Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes. Submitted to Earthquake Spectra.
2. Abrahamson, N., and Silva, W.J. (2008), Abrahamson & Silva NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, Berkeley, California, 338 pp.
3. Applied Technology Council (2008), Quantification of Building Seismic Performance Factors. FEMA 90% Draft Report P.695
4. Baker, Jack W. (web.stanford.edu/~bakerjw/GMPes/, Fecha consulta: 23 de Julio 2015). Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, CA, EEUU.
5. Baker, Jack W. (2011), "Conditional Mean Spectrum: Tool for ground motion selection." *Journal of Structural Engineering*, 137(3), pp.322-331.
6. Baker, Jack W. and Cornell, C. A. (2006a), Correlation of response spectral values for multicomponent ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(1), pp.215-227.
7. Baker, Jack W. and Cornell, C. A. (2006b), Spectral shape, epsilon and record selection. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35(9), pp.1077-1095.
8. Baker, J, and N. Jayaram (2008). Correlation of spectral acceleration values from NGA ground motion models. *Earthquake spectra* 24, N°1, 299-317.
9. Baker, Jack W. and Cornell, C. A. (2005a). Vector-valued ground motion intensity measures for probabilistic seismic demand analysis. Report #150, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, CA, 2005; 321.
10. Baker, J. and Cornell (2005b). A vector-valued ground motion intensity measure consisting of spectral acceleration and epsilon. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 2005; 34: 1193-1217.
11. Bommer, J., Scott, S., Sarma, S. (2000). Hazard-consistent earthquake scenarios. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.19, pp.219-231.
12. Boore, D., and Atkinson, G. (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5% damped linear elastic response spectra, *Earthquake Spectra* Vol. 24, pp.99-138.
13. Boore, David, Azari Sisi, Aida, Akkar, Sinan (2012). Using Pad-Stripped Acausally Filtered Strong-Motion Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.102, No.2, pp.751-760.

14. Boroschek, R., comunicación personal. Ingeniero Civil, Universidad de Costa Rica, M. Sc. University of California-Berkeley, Ph. D. University of California-Berkeley. Jefe División Estructuras- Construcción-Geotecnia, Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
15. Boroschek, R., Contreras, V., Dong Youp Kwak, Stewart, J. (2012a), Strong Ground Motion Attributes of the 2010 Mw 8.8 Maule, Chile, Earthquake. *Earthquake Spectra*, Volume 28, No. S1, pages S19-S38.
16. Boroschek, R., Contreras, V. (2012b), Strong Ground Motion from the 2010 Mw 8.8 Maule Chile Earthquake and attenuation relations for Chilean subduction zone interface earthquakes. *International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*, 1-4 March 2012, Tokio, Japón.
17. Building Seismic Safety Council (BSSC), 2001. 2000 Edition, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, FEMA-368, Part 1, Provisions: developed for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
18. M. Boore, David, Azari Sisi, A., and Akkar, S. (2012), "Using Pad-Stripped Acausally Filtered Strong-Motion Data." *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 102, No.2, pp.751-760.
19. Campbell, K., and Bozorgnia, Y. (2008). Campbell-Bozorgnia NGA horizontal ground motion model for PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra, *Earthquake Spectra*, Vol. 24, pp. 139-171.
20. Carlton, B., Abrahamson, N. (2014), "Issues and Approaches for Implementing Conditional Mean Spectra in Practice." *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.104, No.1, pp.503-512.
21. Centro Sismológico Nacional. Catálogo online. Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2014. <http://www.sismologia.cl>
22. Chiou, B., and Youngs, R. (2008). An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra, *Earthquake Spectra*, Vol. 24, pp. 173-215.
23. Contreras, Victor (2008), "Curvas de Atenuación Espectrales para sismos chilenos." Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
24. Diario Oficial de la República de Chile (2011), No.40133, Decreto Supremo 61. Santiago, Chile.
25. Idini, Benjamín (2016), "Curvas de atenuación para terremotos intraplaca e interplaca en la zona de subducción chilena." Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería, mención Ingeniería Sísmica. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

26. Instituto Nacional de Normalización, Norma Chilena Oficial, NCh. 433 Of. 1996 Modificada en 2009: Diseño Sísmico de Edificios. Instituto Nacional de Normalización, INN, Chile.
27. Kramer, S.L (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ 07458
28. Macedo, Jorge (2013), "Evaluación de la respuesta sísmica de presas de tierra en términos de la variabilidad de los espectros de diseño." Tesis para optar al grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
29. National Earthquake Information Center. Catálogo online. National Earthquake Information Center, USGS, Reston VA, USA, 2016. <http://earthquake.usgs.gov/beta/earthquakes/map/>
30. Pacific Earthquake Engineering Research Center. University of California, Berkeley, California, USA.
31. Red Nacional de Acelerógrafos, RENADIC. Departamento de Ingeniería Civil, División Estructuras-Construcción-Geotecnia. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
32. RENADIC (2012), "Ubicación de estaciones de registro." Santiago, Chile. Disponible en <http://terremotos.ing.uchile.cl/bajar/reporte/66> (Fecha consulta: 14 de Marzo 2016).
33. Stirling, M., Goned, T., Berryman, K., Litchfield, N. (2013), "Selection of Earthquake Scaling Relationships for Seismic-Hazard Analysis." Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.103, No.6, pp.2993-3011.
34. Young, R., Chiou, S., Silva, W., Humphrey, J. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes." Seismological Research Letters, Volume 68, N°1, pp.58-73.
35. Zhao, J., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H., Somerville, P., Fukushima, Yasuhiro, Fukushima, Yoshimitsu. (2006c), "Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period." Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.96, N°3, pp.898-913.
36. Haselton, C., Baker, J., Stewart, J., Whittaker, A., Luco, N., Fry, A., Hamburger, R., Zimmerman, R., Hooper, J., Charney, F., Pekelnicky, R (2015), "Response-History Analysis for the Design of New Buildings in the NEHRP Provisions and ASCE/SEI 7 Standard".

ANEXO A: BASE DE DATOS.

Tabla A1: Eventos de la base de datos.

N°	Fecha	Hora	Mw	Latitud	Longitud	Mecanismo focal	Referencia
1	30-07-1995	5:11:56	8	-23.567	-70.600	Subducción-Interplaca	23
2	14-10-1997	22:03:31	7.1	-30.900	-71.200	Subducción-Intraplaca-Prof. Intermedia	23
3	30-11-1999	1:01:53	6.6	-18.901	-69.171	Subducción-Intraplaca-Prof. Intermedia	29
4	23-06-2001	16:33:16	8.4	-15.907	-73.622	Subducción-Interplaca	23, 29
5	07-07-2001	9:38:58	7.6	-17.400	-71.800	Subducción-Interplaca	23
6	13-06-2005	22:44:14	7.8	-19.903	-69.128	Subducción-Intraplaca-Prof. Intermedia	23
7	14-11-2007	12:40:48	7.7	-22.692	-70.215	Subducción-Interplaca	23
8	15-11-2007	15:05:57	6.8	-23.126	-70.518	Subducción-Interplaca	23
9	16-12-2007	8:09:17	6.7	-22.947	-70.180	Subducción-Interplaca	23
10	13-11-2009	3:05:16	6.5	-19.394	-70.321	Subducción-Interplaca	29
11	27-02-2010	3:34:11	8.8	-36.290	-73.239	Subducción-Interplaca	10
12	28-02-2010	8:25:34	6.6	-35.010	-71.924	Subducción-Interplaca	21
13	05-03-2010	11:47:06	6.6	-36.575	-73.923	Subducción-Interplaca	21
14	11-03-2010	11:39:43	6.9	-34.301	-72.130	Subducción-Interplaca	21
15	16-03-2010	2:21:57	6.7	-36.471	-73.900	Subducción-Interplaca	21
16	20-06-2011	12:36:01	6.5	-21.874	-68.668	Subducción-Intraplaca-Prof. Intermedia	21
17	25-03-2012	19:37:06	7.1	-35.200	-72.217	Subducción-Interplaca	21
18	17-04-2012	0:50:15	6.7	-32.625	-71.365	Subducción-Interplaca	29
19	31-10-2013	20:03:59	6.5	-30.372	-71.501	Subducción-Interplaca	21
20	16-03-2014	18:16:29	6.7	-19.965	-70.814	Subducción-Interplaca	21
21	01-04-2014	20:46:47	8.2	-19.572	-70.908	Subducción-Interplaca	21
22	03-04-2014	2:26:14	6.5	-20.798	-70.651	Subducción-Interplaca	21

Tabla A2: Registros de la base de datos.

N°	Fecha	Hora	Mw	Estación	PGA [g]			Distancia a la ruptura [km]
					E-W	N-S	V	
1	30-07-1995	5:11:56	8	Tocopilla-Gobernación	0.053	0.052	0.047	133.4
2	14-10-1997	22:03:31	7.1	Santiago Centro-Conjunto Villa Andalucía	0.020	0.017	0.015	272.9
3	14-10-1997	22:03:31	7.1	Illapel	0.285	0.366	0.194	86.4
4	30-11-1999	1:01:53	6.6	Arica-Hospital	0.057	0.070	0.061	181.1
5	30-11-1999	1:01:53	6.6	Arica-Cementerio	0.057	0.061	0.049	180.8
6	30-11-1999	1:01:53	6.6	Arica-Costanera	0.045	0.057	0.022	181.0
7	23-06-2001	16:33:16	8.4	Arica-Hospital	0.213	0.277	0.144	149.9
8	23-06-2001	16:33:16	8.4	Arica-Cementerio	0.271	0.314	0.184	164.9
9	23-06-2001	16:33:16	8.4	Pisagua	0.033	0.043	0.037	255.9
10	23-06-2001	16:33:16	8.4	Poconchile	0.247	0.260	0.147	185.8
11	23-06-2001	16:33:16	8.4	Putre-Retén	0.202	0.191	0.095	226.0
12	07-07-2001	9:38:58	7.6	Arica-Chacalluta	0.069	0.056	0.032	160.1
13	13-06-2005	22:44:14	7.8	Arica-Cerro La Cruz	0.171	0.206	0.131	222.0
14	13-06-2005	22:44:14	7.8	Calama-Hospital	0.067	0.075	0.040	261.0
15	13-06-2005	22:44:14	7.8	Cuya	0.427	0.442	0.252	170.9
16	13-06-2005	22:44:14	7.8	El Loa	0.114	0.099	0.052	187.1
17	13-06-2005	22:44:14	7.8	Iquique Hospital	0.259	0.250	0.256	137.7
18	13-06-2005	22:44:14	7.8	Iquique IDIEM	0.218	0.198	0.116	138.0
19	13-06-2005	22:44:14	7.8	Iquique plaza	0.244	0.273	0.154	138.6
20	13-06-2005	22:44:14	7.8	Mejillones-Hospital	0.019	0.021	0.016	355.8
21	13-06-2005	22:44:14	7.8	Pica	0.723	0.570	0.801	98.2
22	13-06-2005	22:44:14	7.8	Pisagua	0.306	0.452	0.307	152.8
23	13-06-2005	22:44:14	7.8	Poconchile	0.325	0.391	0.223	211.9
24	13-06-2005	22:44:14	7.8	Putre-Retén	0.088	0.102	0.068	214.2
25	14-11-2007	12:40:48	7.7	Alto Hospicio	0.081	0.089	0.066	243.0
26	14-11-2007	12:40:48	7.7	Antofagasta-UCN	0.127	0.102	0.061	49.8
27	14-11-2007	12:40:48	7.7	Calama-Hospital	0.093	0.094	0.095	117.4
28	14-11-2007	12:40:48	7.7	Copiapó	0.053	0.031	0.012	442.3
29	14-11-2007	12:40:48	7.7	El Loa	0.268	0.324	0.155	117.4
30	14-11-2007	12:40:48	7.7	Fuerte Baquedano	0.067	0.090	0.042	260.7
31	14-11-2007	12:40:48	7.7	Iquique Hospital	0.050	0.069	0.035	249.9
32	14-11-2007	12:40:48	7.7	Iquique Escuela Chipana	0.084	0.112	0.065	245.9
33	14-11-2007	12:40:48	7.7	Mejillones-Hospital	0.405	0.420	0.357	25.2
34	14-11-2007	12:40:48	7.7	Punta Patache	0.077	0.081	0.062	184.6
35	14-11-2007	12:40:48	7.7	Pica	0.202	0.179	0.104	231.5
36	14-11-2007	12:40:48	7.7	Pisagua	0.019	0.014	0.013	317.8
37	14-11-2007	12:40:48	7.7	Poconchile	0.022	0.021	0.014	443.8
38	14-11-2007	12:40:48	7.7	San Pedro de Atacama	0.060	0.067	0.042	196.0

N°	Fecha	Hora	Mw	Estación	PGA [g]			Distancia a la ruptura [km]
					E-W	N-S	V	
39	14-11-2007	12:40:48	7.7	Tocopilla-Gobernación	0.503	0.687	0.621	46.1
40	14-11-2007	12:40:48	7.7	Tocopilla-Puerto	0.413	0.394	0.271	46.2
41	15-11-2007	15:05:57	6.8	Mejillones-Hospital	0.118	0.083	0.076	25.2
42	16-12-2007	8:09:17	6.7	Mejillones-Hospital	0.124	0.073	0.153	25.2
43	16-12-2007	8:09:17	6.7	Mejillones-EDELNOR	0.179	0.098	0.168	31.9
44	16-12-2007	8:09:17	6.7	Mejillones-Puerto	0.400	0.476	0.241	32.3
45	16-12-2007	8:09:17	6.7	Michilla	0.173	0.172	0.087	39.2
46	16-12-2007	8:09:17	6.7	Tocopilla-Puerto	0.077	0.049	0.045	46.2
47	13-11-2009	3:05:16	6.5	Punta Patache	0.011	0.009	0.008	159.7
48	13-11-2009	3:05:16	6.5	Pisagua	0.128	0.164	0.068	36.9
49	13-11-2009	3:05:16	6.5	Poconchile	0.039	0.034	0.028	111.3
50	13-11-2009	3:05:16	6.5	Alto Hospicio	0.051	0.083	0.035	104.3
51	13-11-2009	3:05:16	6.5	Arica-Cerro La Cruz	0.027	0.032	0.016	103.9
52	13-11-2009	3:05:16	6.5	Arica-Hospital	0.052	0.057	0.029	104.8
53	13-11-2009	3:05:16	6.5	Arica-Chacalluta	0.041	0.040	0.027	122.9
54	13-11-2009	3:05:16	6.5	Fuerte Baquedano	0.035	0.034	0.020	104.9
55	13-11-2009	3:05:16	6.5	Iquique Hospital	0.031	0.022	0.018	96.8
56	13-11-2009	3:05:16	6.5	Pica	0.036	0.033	0.014	162.1
57	13-11-2009	3:05:16	6.5	Iquique Escuela Chipana	0.059	0.051	0.043	101.1
58	27-02-2010	3:34:11	8.8	Matanzas	0.344	0.288	0.241	41.0
59	27-02-2010	3:34:11	8.8	Papudo	0.294	0.419	0.156	153.0
60	27-02-2010	3:34:11	8.8	Talca	0.476	0.418	0.235	66.0
61	27-02-2010	3:34:11	8.8	Valdivia	0.135	0.092	0.052	162.0
62	27-02-2010	3:34:11	8.8	Vallenar	0.020	0.018	0.011	587.0
63	27-02-2010	3:34:11	8.8	Viña Centro	0.331	0.218	0.186	99.0
64	27-02-2010	3:34:11	8.8	Santiago Centro-Conjunto Villa Andalucía	0.219	0.310	0.177	112.0
65	27-02-2010	3:34:11	8.8	Santiago estación mirador Metro de Santiago	0.184	0.134	0.107	113.0
66	27-02-2010	3:34:11	8.8	Viña del mar-Marga Marga 1	0.350	0.337	0.262	98.0
67	27-02-2010	3:34:11	8.8	Angol-Hospital	0.689	0.927	0.282	54.0
68	27-02-2010	3:34:11	8.8	Concepción-Colegio Inmaculada Concepción	0.400	0.284	0.387	35.0
69	27-02-2010	3:34:11	8.8	Constitución	0.544	0.625	0.344	39.0
70	27-02-2010	3:34:11	8.8	Copiapó	0.030	0.016	0.008	726.0
71	27-02-2010	3:34:11	8.8	Maipú-Centro de Referencia de Salud	0.484	0.560	0.242	101.0
72	27-02-2010	3:34:11	8.8	Curicó	0.476	0.198	0.410	85.0
73	27-02-2010	3:34:11	8.8	Santiago Hospital Luis Tisné Peñalolen	0.292	0.299	0.279	116.0
74	27-02-2010	3:34:11	8.8	Santiago Hospital Sotero del Rio Puente Alto	0.268	0.265	0.129	113.0
75	27-02-2010	3:34:11	8.8	Hualañe	0.387	0.454	0.389	52.0
76	27-02-2010	3:34:11	8.8	Llolleo	0.321	0.562	0.706	51.0
77	27-02-2010	3:34:11	8.8	Valparaíso Almendral	0.222	0.268	0.144	95.0
78	27-02-2010	3:34:11	8.8	Valparaíso UTFSM	0.136	0.307	0.075	96.0
79	28-02-2010	8:25:34	6.6	Curicó	0.175	0.148	0.069	85.0

N°	Fecha	Hora	Mw	Estación	PGA [g]			Distancia a la ruptura [km]
					E-W	N-S	V	
80	05-03-2010	11:47:06	6.6	Angol-Hospital	0.072	0.071	0.026	54.0
81	11-03-2010	11:39:43	6.9	Viña del mar-Marga Marga 1	0.032	0.037	0.021	98.0
82	11-03-2010	11:39:43	6.9	Viña del mar-Marga Marga 2	0.055	0.042	0.018	98.0
83	11-03-2010	11:39:43	6.9	Viña Centro	0.027	0.020	0.010	99.0
84	11-03-2010	11:39:43	6.9	Concepción-Colegio San Pedro de la Paz	0.015	0.019	0.011	34.0
85	11-03-2010	11:39:43	6.9	Maipú-Centro de Referencia de Salud	0.039	0.038	0.028	101.0
86	11-03-2010	11:39:43	6.9	Hospital Rancagua	0.054	0.064	0.022	95.3
87	11-03-2010	11:39:43	6.9	Santiago Hospital Luis Tisné Peñalolen	0.035	0.044	0.026	116.0
88	11-03-2010	11:39:43	6.9	Santiago estación mirador Metro de Santiago	0.026	0.021	0.014	113.0
89	16-03-2010	2:21:57	6.7	Concepción-Colegio San Pedro de la Paz	0.142	0.072	0.051	34.0
90	20-06-2011	12:36:01	6.5	Pica	0.056	0.047	0.035	212.9
91	20-06-2011	12:36:01	6.5	Mejillones-Puerto	0.010	0.013	0.007	254.9
92	20-06-2011	12:36:01	6.5	Tocopilla-Puerto	0.024	0.018	0.010	208.7
93	20-06-2011	12:36:01	6.5	Tocopilla-Gobernación	0.039	0.045	0.021	208.8
94	20-06-2011	12:36:01	6.5	Alto Hospicio	0.029	0.033	0.016	273.7
95	20-06-2011	12:36:01	6.5	Calama-Hospital	0.022	0.024	0.025	135.4
96	20-06-2011	12:36:01	6.5	Iquique Escuela Chipana	0.026	0.038	0.020	277.2
97	25-03-2012	19:37:06	7.1	Viña del mar-Marga Marga 1	0.024	0.027	0.013	242.6
98	25-03-2012	19:37:06	7.1	Viña del mar-Marga Marga 2	0.025	0.023	0.011	242.6
99	25-03-2012	19:37:06	7.1	Santiago estación mirador Metro de Santiago	0.020	0.020	0.014	229.3
100	25-03-2012	19:37:06	7.1	Santiago-Pedro Fontova Huechuraba	0.040	0.047	0.026	239.5
101	25-03-2012	19:37:06	7.1	Pichilemu	0.046	0.032	0.018	94.0
102	17-04-2012	0:50:15	6.7	Viña del mar-Marga Marga 1	0.298	0.241	0.143	242.6
103	17-04-2012	0:50:15	6.7	Viña del mar-Marga Marga 2	0.270	0.176	0.230	242.6
104	17-04-2012	0:50:15	6.7	Santiago estación mirador Metro de Santiago	0.053	0.046	0.028	229.3
105	17-04-2012	0:50:15	6.7	Santiago-Pedro Fontova Huechuraba	0.108	0.127	0.076	239.5
106	17-04-2012	0:50:15	6.7	Santiago Centro-Conjunto Villa Andalucía	0.032	0.027	0.027	231.1
107	31-10-2013	20:03:59	6.5	Viña del mar-Marga Marga 1	0.012	0.022	0.004	300.8
108	31-10-2013	20:03:59	6.5	La Serena-Universidad	0.031	0.040	0.019	77.1
109	16-03-2014	18:16:29	6.7	Pica	0.039	0.031	0.018	146.6
110	16-03-2014	18:16:29	6.7	Poconchile	0.018	0.017	0.011	173.0
111	16-03-2014	18:16:29	6.7	Punta Patache	0.018	0.013	0.016	96.3
112	16-03-2014	18:16:29	6.7	Alto Hospicio	0.048	0.056	0.025	63.8
113	16-03-2014	18:16:29	6.7	Arica-Cerro La Cruz	0.017	0.014	0.019	161.0
114	16-03-2014	18:16:29	6.7	Arica-Chacalluta	0.026	0.042	0.022	179.9
115	16-03-2014	18:16:29	6.7	Arica-Costanera	0.037	0.047	0.018	163.8
116	16-03-2014	18:16:29	6.7	Iquique Escuela Chipana	0.055	0.046	0.037	60.2
117	16-03-2014	18:16:29	6.7	Iquique IDIEM	0.028	0.021	0.013	57.3
118	16-03-2014	18:16:29	6.7	Iquique Hospital	0.021	0.016	0.011	57.5
119	01-04-2014	20:46:47	8.2	El Loa	0.048	0.049	0.031	91.0
120	01-04-2014	20:46:47	8.2	Mejillones-Puerto	0.017	0.021	0.016	257.3

N°	Fecha	Hora	Mw	Estación	PGA [g]			Distancia a la ruptura [km]
					E-W	N-S	V	
121	01-04-2014	20:46:47	8.2	Michilla	0.011	0.009	0.007	219.4
122	01-04-2014	20:46:47	8.2	Pica	0.334	0.278	0.227	113.0
123	01-04-2014	20:46:47	8.2	Poconchile	0.285	0.208	0.139	114.0
124	01-04-2014	20:46:47	8.2	Punta Patache	0.128	0.095	0.055	36.4
125	01-04-2014	20:46:47	8.2	Putre-Retén	0.116	0.084	0.068	164.2
126	01-04-2014	20:46:47	8.2	San Pedro de Atacama	0.035	0.037	0.021	338.9
127	01-04-2014	20:46:47	8.2	Tocopilla-Gobernación	0.028	0.025	0.021	152.6
128	01-04-2014	20:46:47	8.2	Arica-Cerro La Cruz	0.128	0.133	0.094	100.3
129	01-04-2014	20:46:47	8.2	Arica-Chacalluta	0.226	0.270	0.226	118.1
130	01-04-2014	20:46:47	8.2	Calama-Hospital	0.024	0.019	0.018	252.3
131	01-04-2014	20:46:47	8.2	Fuerte Baquedano	0.306	0.399	0.178	64.5
132	01-04-2014	20:46:47	8.2	Iquique IDIEM	0.290	0.256	0.098	28.0
133	01-04-2014	20:46:47	8.2	Iquique Escuela Chipana	0.437	0.605	0.438	29.9
134	01-04-2014	20:46:47	8.2	Iquique Hospital	0.313	0.202	0.194	28.3
135	03-04-2014	2:26:14	6.5	El Loa	0.016	0.010	0.008	91.0
136	03-04-2014	2:26:14	6.5	Punta Patache	0.020	0.021	0.014	36.4
137	03-04-2014	2:26:14	6.5	Pica	0.017	0.019	0.018	113.0
138	03-04-2014	2:26:14	6.5	Iquique Escuela Chipana	0.033	0.055	0.036	29.9
139	03-04-2014	2:26:14	6.5	Iquique Hospital	0.011	0.010	0.008	28.3

ANEXO B: RAZÓN DE ESPECTROS H/V.

Para la estación de Pedro Fontova se determina la calidad del suelo usando la razón de espectros horizontales sobre component vertical. Esta se grafica en conjunto con los espectros normativos para los distintos suelos. Se sigue la metodología propuesta en Contreras, 2008 (Ref. 23). Adicionalmente, se realiza este procedimiento para las estaciones de Arica Chacalluta, Calama, Copiapó, Hospital Sotero del Rio Puente Alto, Fuerte Baquedano y San Pedro de Atacama. En la Tabla B1 se presenta la clasificación del suelo en función del periodo predominante.

Tabla B1: Periodo natural de los suelos e intervalo establecido en Contreras, 2008 (Ref. 23).

Tipo de suelo (NCh 433Of.1996)	To [s]	Períodos límites [s]
I	0.15	≤ 0.2
II	0.3	$0.2 < T \leq 0.5$
III	0.75	$0.5 < T \leq 1.0$
IV	1.2	≥ 1.0

En las figuras siguientes se presenta el espectro normalizado de las dos componentes horizontales de cada registro así como el factor α de la norma NCh433Of1996 (Ref. 26), el cual da cuenta de la forma del espectro. En la parte inferior izquierda se presenta el promedio de la razón de espectros horizontales sobre componentes verticales solo para los registros cuyo PGA fue superior a 0.05g. En la parte inferior derecha se presenta el promedio de la razón de espectros horizontales sobre componentes verticales para todos los registros con los que se cuenta en la estación.

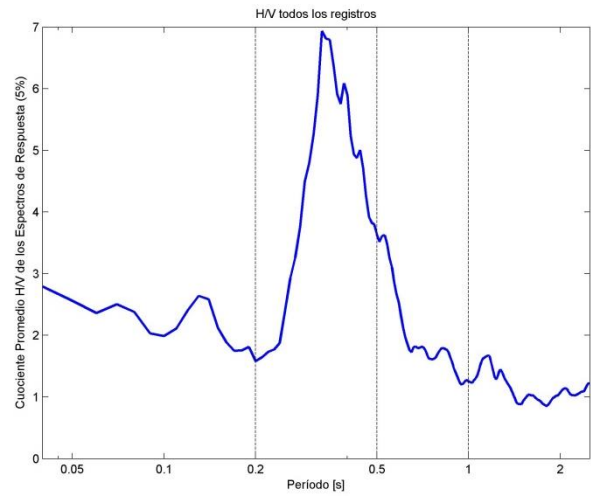
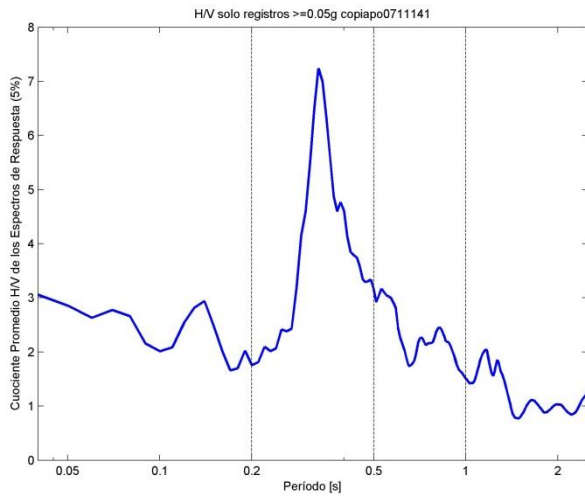
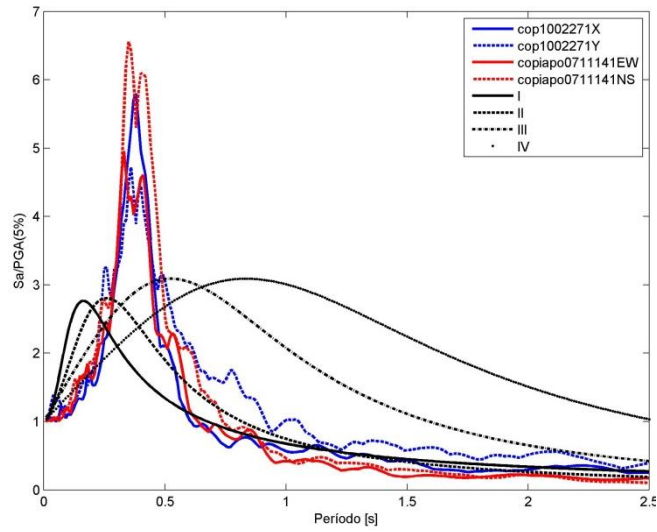


Figura B5: Estación Copiapó Hospital. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.

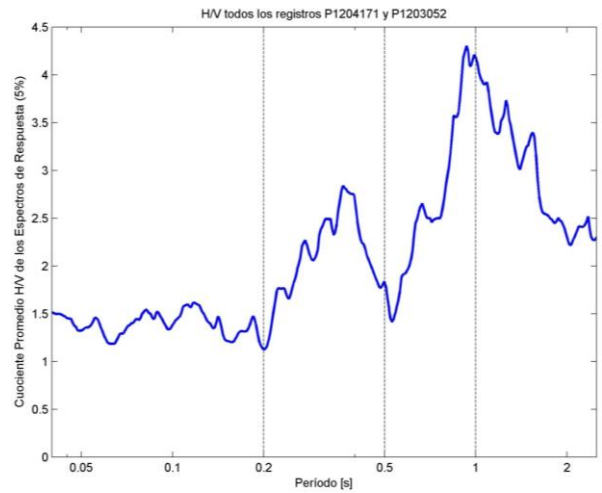
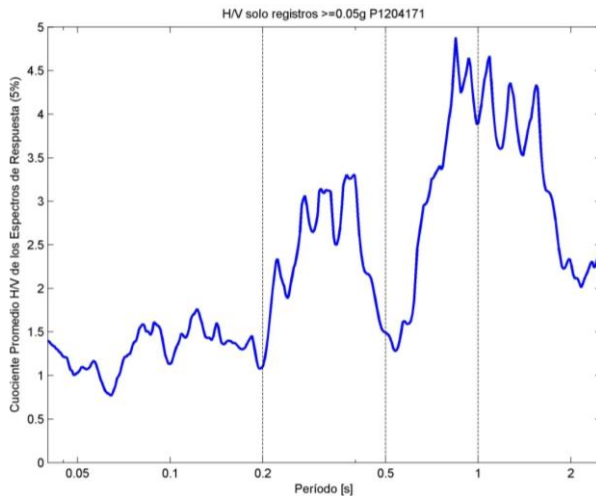
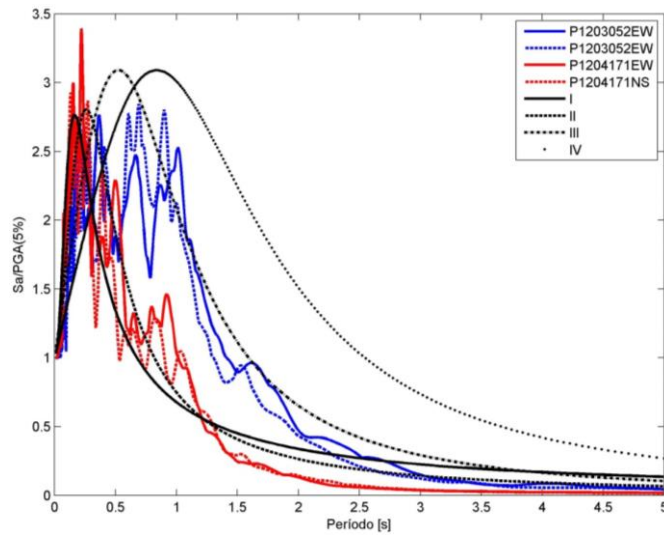


Figura B2: Estación Pedro Fontova. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.

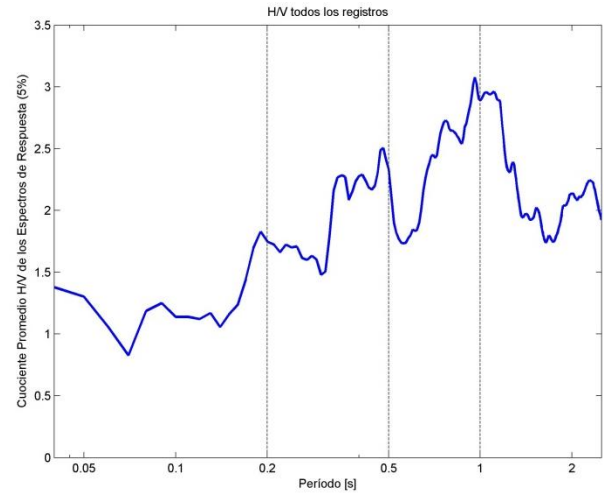
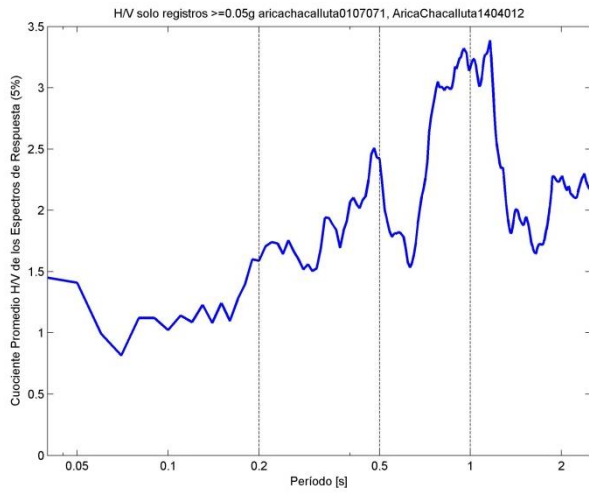
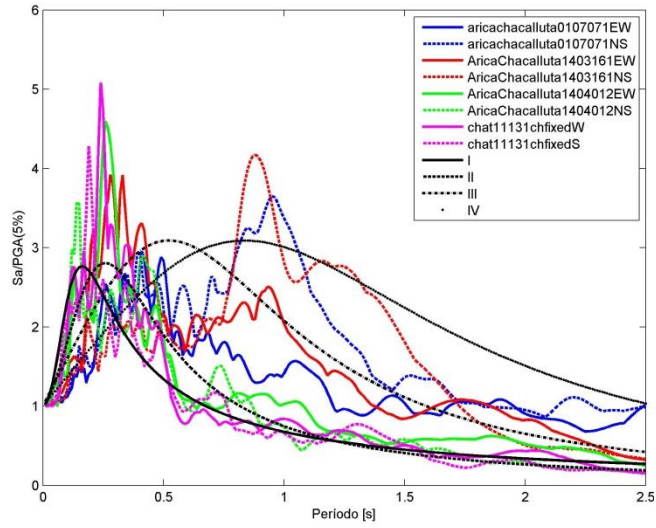


Figura B3: Estación Arica Chacalluta. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 4 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.

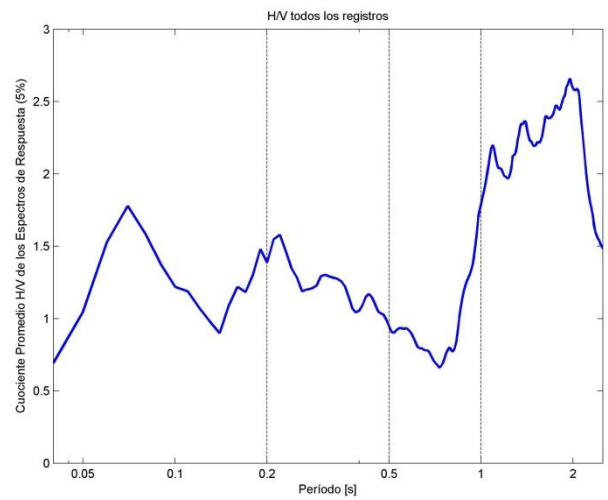
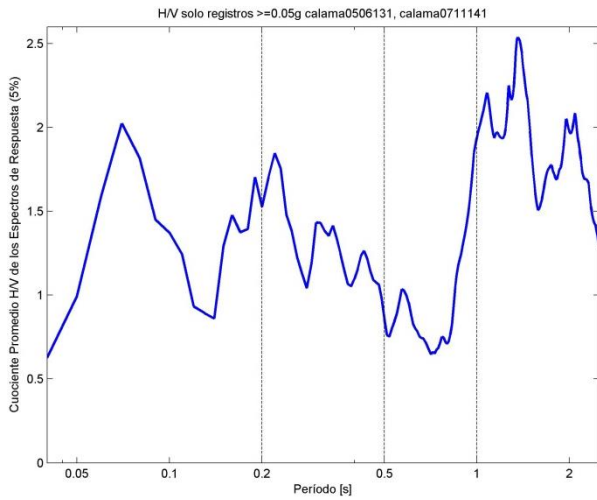
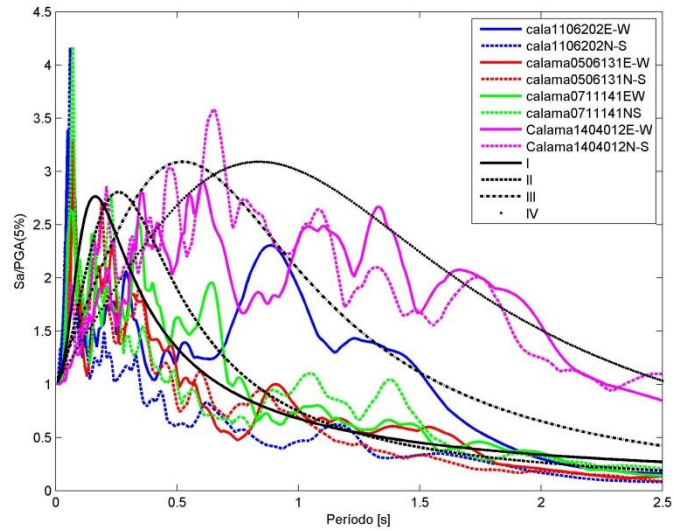


Figura B4: Estación Calama Hospital. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 4 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.

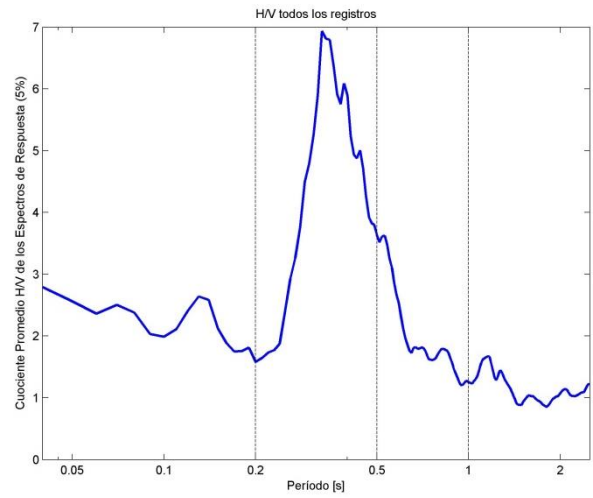
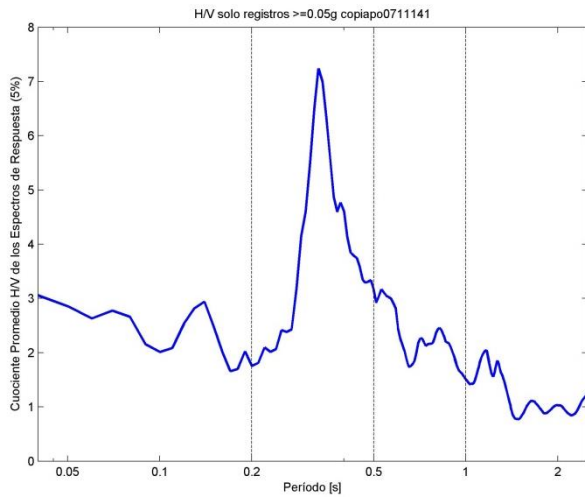
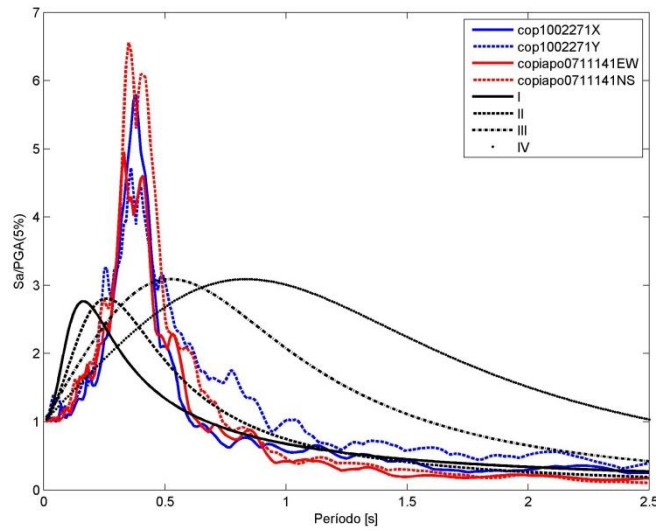
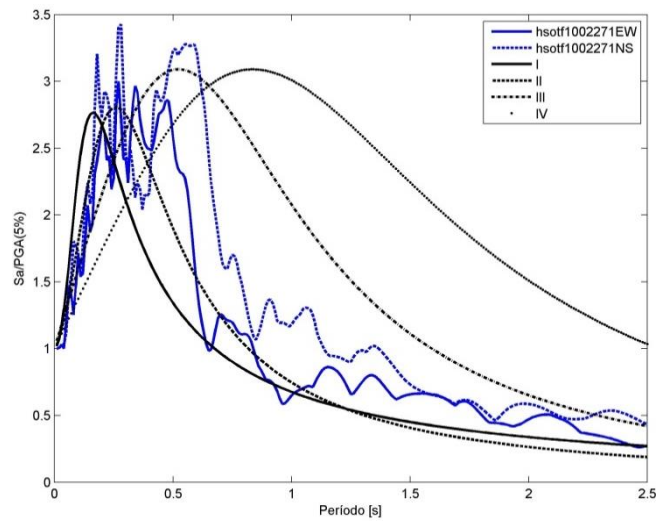


Figura B5: Estación Copiapó Hospital. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.



[Solo 1 registro]

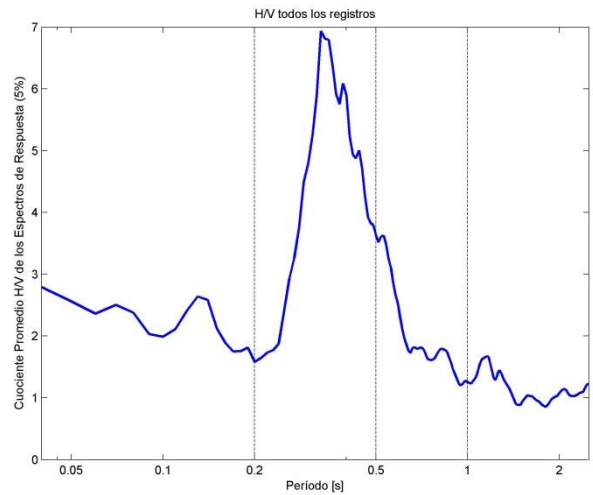


Figura B6: Estación Hospital Sotero del Río Puente Alto. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes del registro analizado, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo: Promedio de razones espectrales H/V.

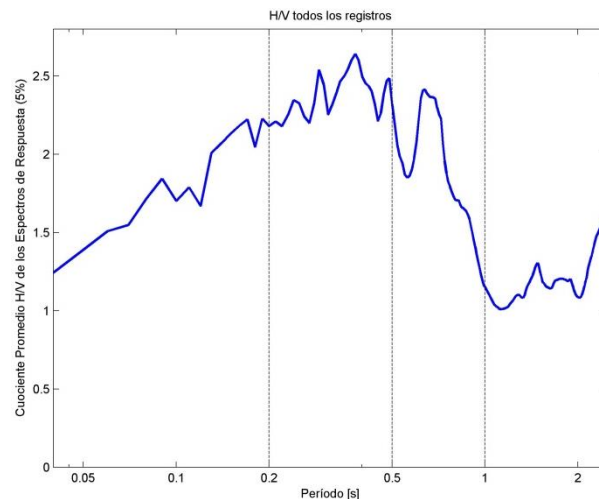
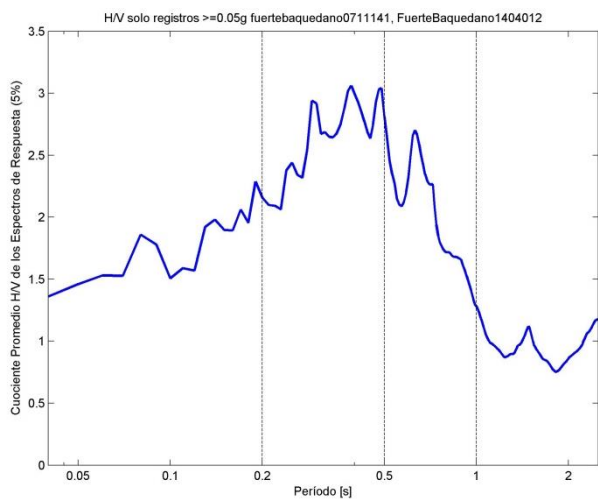
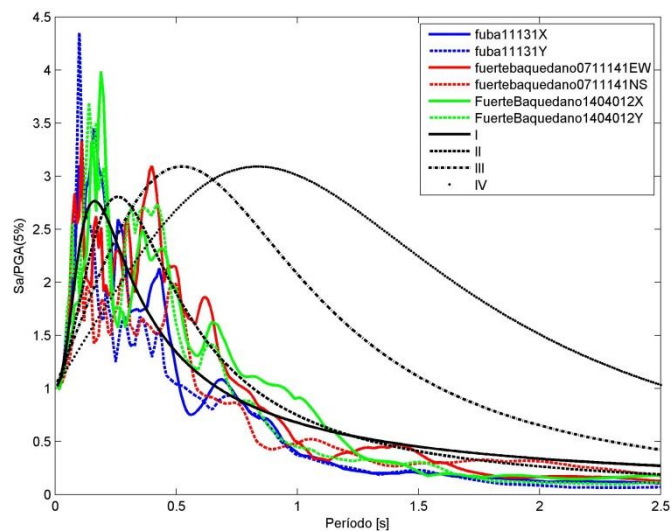


Figura B7: Estación Fuerte Baquedano. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 3 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.

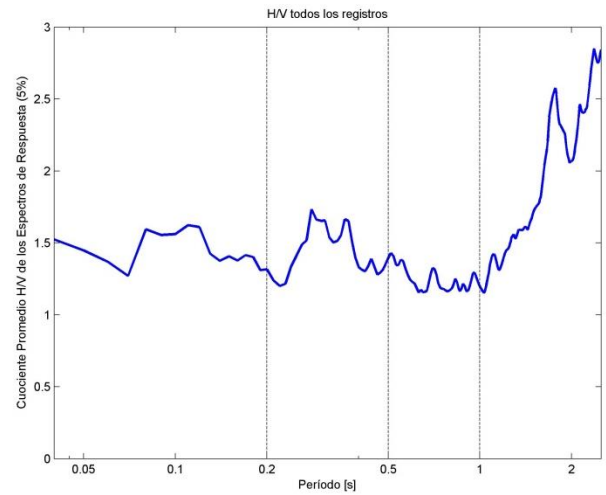
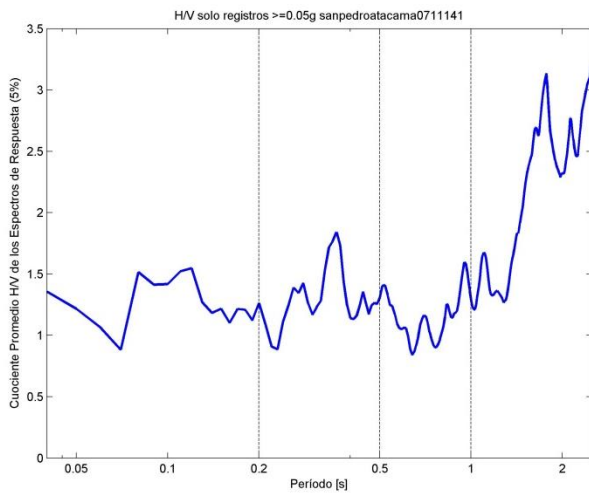
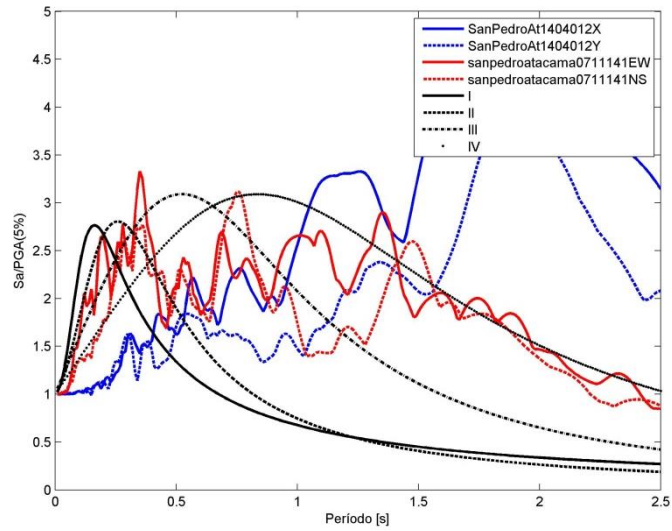


Figura B8: Estación San Pedro de Atacama. Arriba: Espectro de respuesta para las dos componentes de los 2 registros analizados, factor alfa para suelos NCh 433 Of.1996. Abajo izquierda: Promedio de razones espectrales H/V considerando solo el registro con $PGA \geq 0.05g$. Abajo derecha: Promedio de razones espectrales H/V considerando todos los registros.

Con la información presentada se estipula que el suelo de fundación de las estaciones es el presentado en la Tabla B2.

Tabla B2: Tipos de suelo considerados con razones espectrales H/V.

Estación	Tipo de suelo
Pedro Fontova	III
Arica Chacalluta	II
Calama Hospital	IV
Copiapó Hospital	II
Hospital Sotero del Río	II
Fuerte Baquedano	II
San Pedro de Atacama	IV

ANEXO C: ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE RUPTURA.

Se determina el área de ruptura asociada a cada evento que no tuviese un valor calculado en Contreras, 2008 (Ref. 23). Se trabaja con los datos de réplicas de cada evento principal obtenidas desde el CSN (Ref. 21) y USGS (Ref. 29). Se calcula por separado cada set de áreas de ruptura y distancia a la ruptura de cada estación. Se trabaja con las relaciones recopiladas en Stirling, 2013 (Ref. 33) de modo de estimar el área de ruptura en función de la magnitud en sismos interplaca e intrapalca. Finalmente se escoge como valor de área de ruptura y de distancias a la ruptura la fuente de datos (CSN o USGS) que mejor se ajusta a los datos obtenidos mediante las estimaciones de Stirling, 2013 (Ref. 33). En la Tabla C1 se presenta los valores finales de área de ruptura obtenidos.

Tabla C1: Áreas de ruptura.

Nº	Fecha	Hora	Mw	Latitud	Longitud	Prof. [km]	Área de ruptura [km ²]	Ref.
1	30-07-1995	5:11:56	8	-23.567	-70.600	33	16650	23
2	14-10-1997	22:03:31	7.1	-30.900	-71.200	58	800	23
3	30-11-1999	1:01:53	6.6	-18.901	-69.171	128.1	Falta información de réplicas	-
4	23-06-2001	16:33:16	8.4	-16.260	-73.640	33	32000	23
5	07-07-2001	9:38:58	7.6	-17.400	-71.800	37	7700	23
6	13-06-2005	22:44:14	7.8	-19.903	-69.128	111	2300	23
7	14-11-2007	12:40:48	7.7	-22.692	-70.215	38.9	7500	23
8	15-11-2007	15:05:57	6.8	-23.126	-70.518	40.3	Réplica	-
9	16-12-2007	8:09:17	6.7	-22.947	-70.180	42	Réplica	-
10	13-11-2009	3:05:16	6.5	-19.394	-70.321	27	Falta información de réplicas	-
11	27-02-2010	3:34:11	8.8	-36.290	-73.239	30	72645	Este estudio
12	28-02-2010	8:25:34	6.6	-35.010	-71.924	19.4	Réplica	-
13	05-03-2010	11:47:06	6.6	-36.575	-73.923	17.5	Réplica	-
14	11-03-2010	11:39:43	6.9	-34.301	-72.130	33.1	Réplica	-
15	16-03-2010	2:21:57	6.7	-36.471	-73.900	25	Réplica	-
16	20-06-2011	12:36:01	6.5	-21.874	-68.668	128.7	4368	Este estudio
17	25-03-2012	19:37:06	7.1	-35.200	-72.217	40.7	1050	Este estudio
18	17-04-2012	0:50:15	6.7	-32.625	-71.365	29	Réplica	-
19	31-10-2013	20:03:59	6.5	-30.372	-71.501	52	Falta información de réplicas	-
20	16-03-2014	18:16:29	6.7	-19.965	-70.814	20.6	711	Este estudio
21	01-04-2014	20:46:47	8.2	-19.572	-70.908	38.9	13858	Este estudio
22	03-04-2014	2:26:14	6.5	-20.798	-70.651	38	Réplica	-

Para el caso del sismo del 27 de Febrero de 2010 se obtiene el área de ruptura solo con el fin de calcular la distancia a la ruptura de la estación del Hospital de Rancagua. Se calculan los datos de modo de ajustarse tanto a los valores calculados según Stirling, 2013 (Ref. 33) como a las distancias a la ruptura informadas por Boroschek, 2012a (Ref. 15). En la Tabla C2 se presentan las áreas de ruptura que se calculan en este estudio. Para el caso del evento del 20 de Junio del 2011 no se incluye el área de ruptura entregada por Stirling, 2013 (Ref. 33) puesto que en sismos intraplaca de profundidad intermedia el modelo mencionado entrega el área combinada de asperezas, valor que se encuentra aproximadamente un orden de magnitud por debajo al valor del área de ruptura. En las figuras siguientes se presentan todos las réplicas y eventos principales asociados a cada sismo para un plano en planta, junto al area circunscrita por estos datos, la que corresponde al área de ruptura proyectada en superficie

Tabla C2: Áreas de ruptura calculadas en este estudio.

Fecha	Hora	Mw	Latitud	Longitud	Prof. [km]	Área de ruptura [km ²]			Área seleccionada [km ²]
						Réplicas de CSN	Réplicas de USGS	Stirling, 2013 (Ref. 33)	
27-02-2010	3:34:11	8.8	-36.290	-73.239	30	72645	122560	142063	122560
20-06-2011	12:36:01	6.5	-21.874	-68.668	128.7	5453	4368	-	4368
25-03-2012	19:37:06	7.1	-35.200	-72.217	40.7	1050	1206	1053	1050
16-03-2014	18:16:29	6.7	-19.965	-70.814	20.6	889	711	468	711
01-04-2014	20:46:47	8.2	-19.572	-70.908	38.9	9637	13858	27750	13858

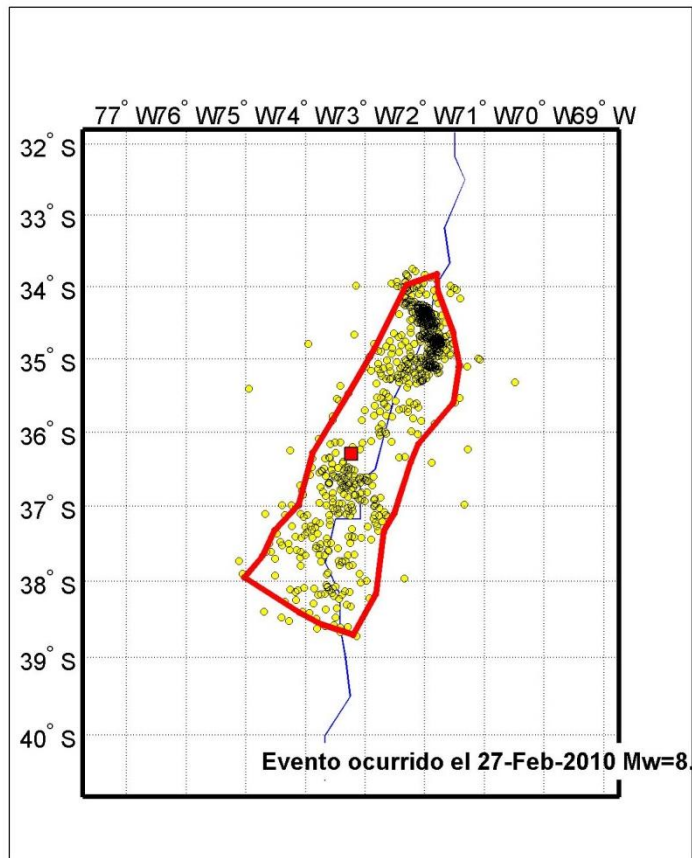


Figura C1: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.

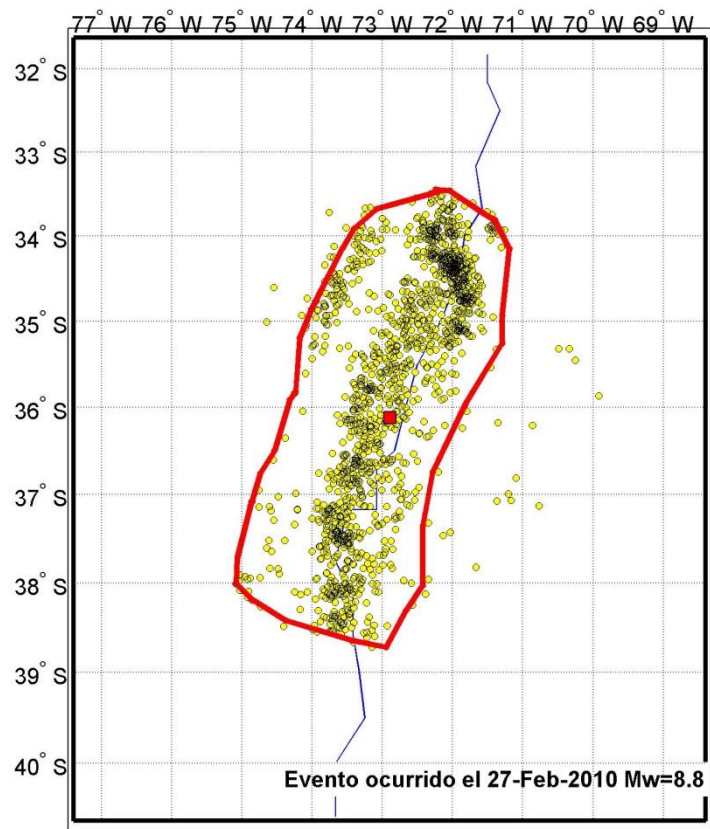


Figura C2: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS.

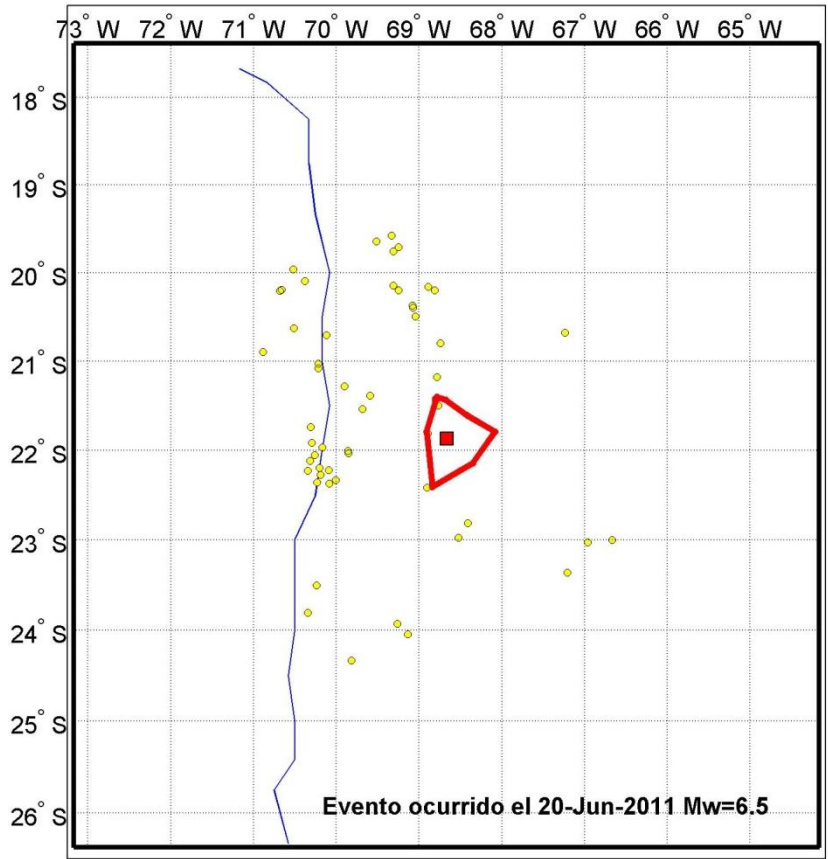


Figura C3: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.

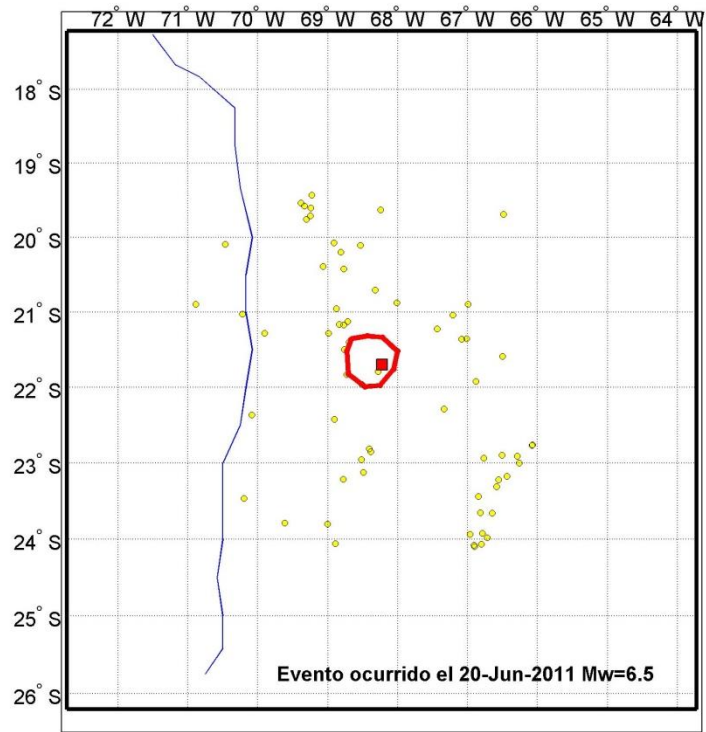


Figura C4: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS.

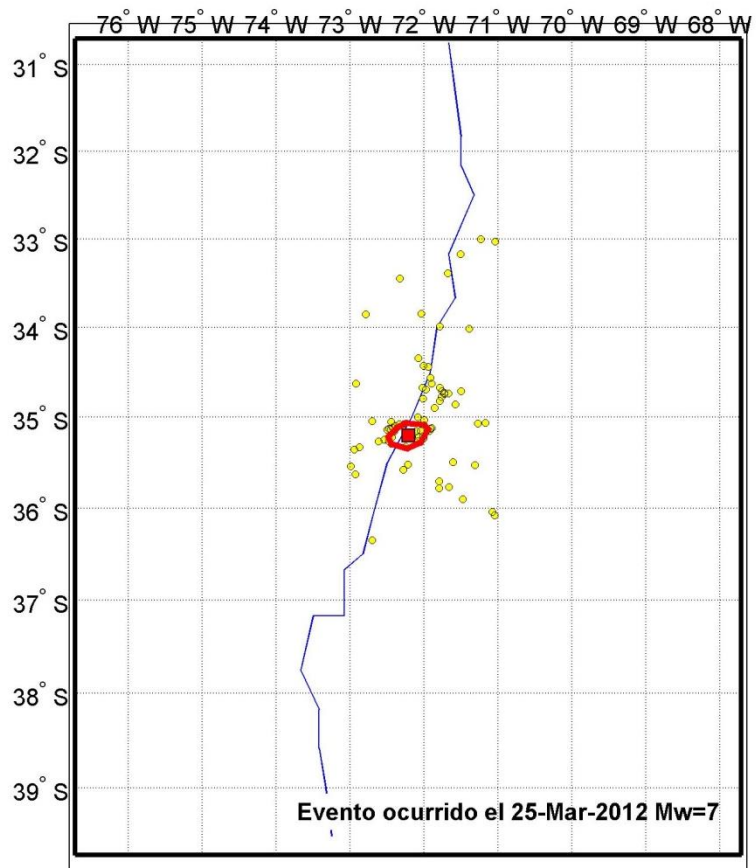


Figura C5: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.

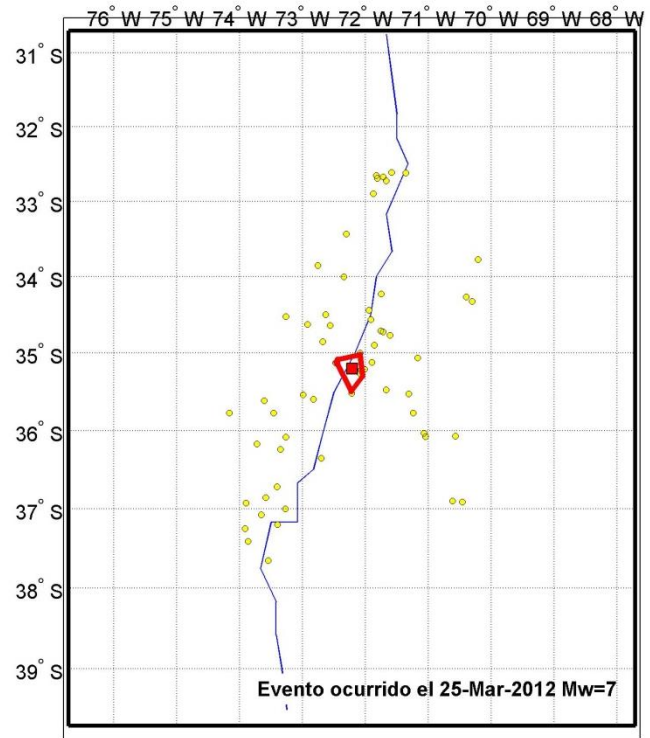


Figura C6: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS.

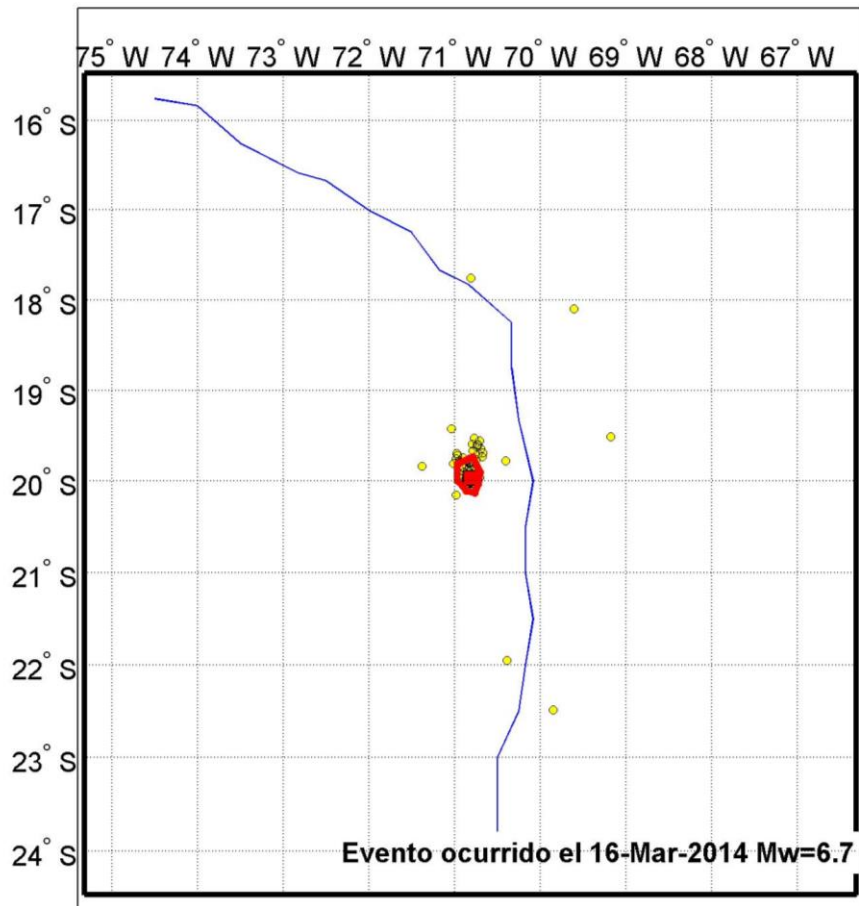


Figura C7: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.

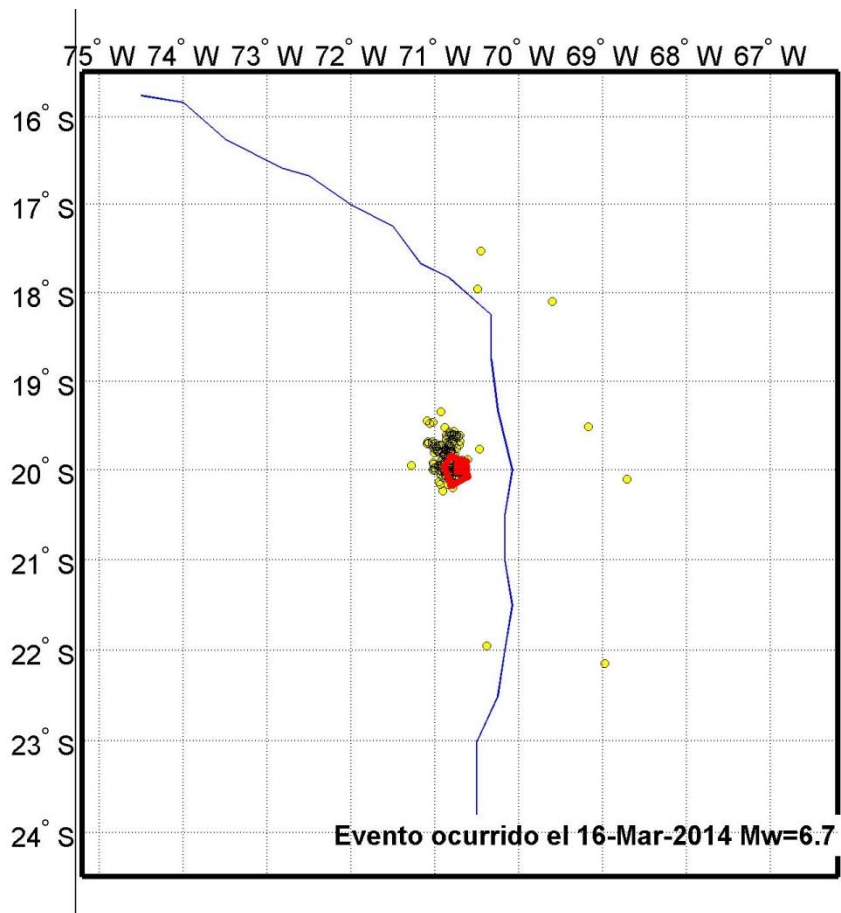


Figura C8: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del USGS.

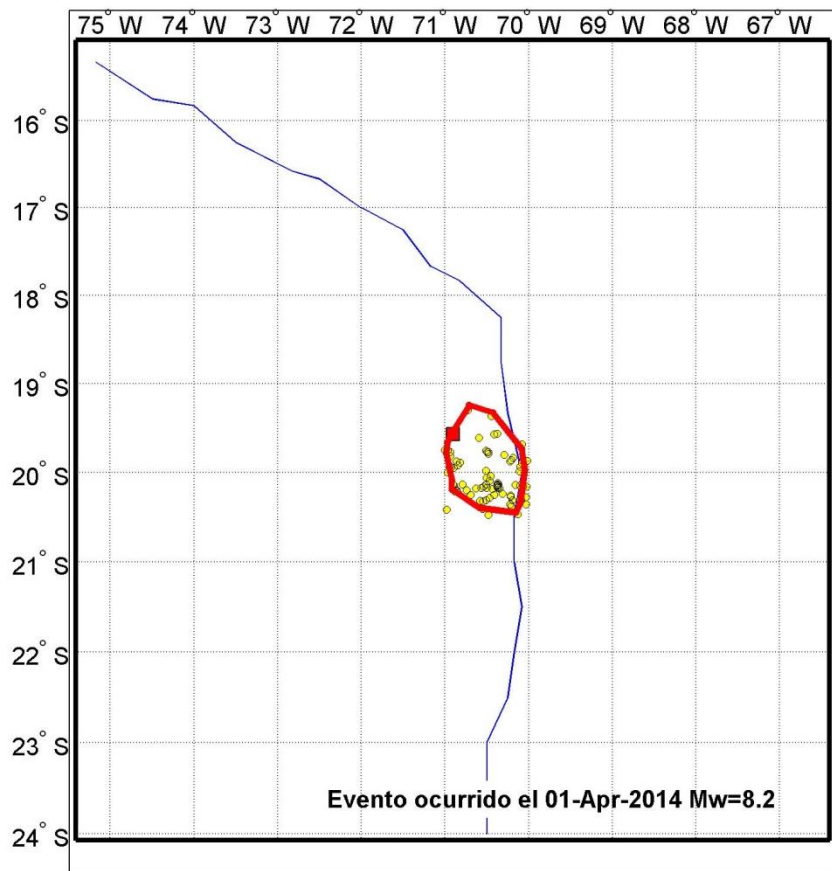


Figura C9: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.

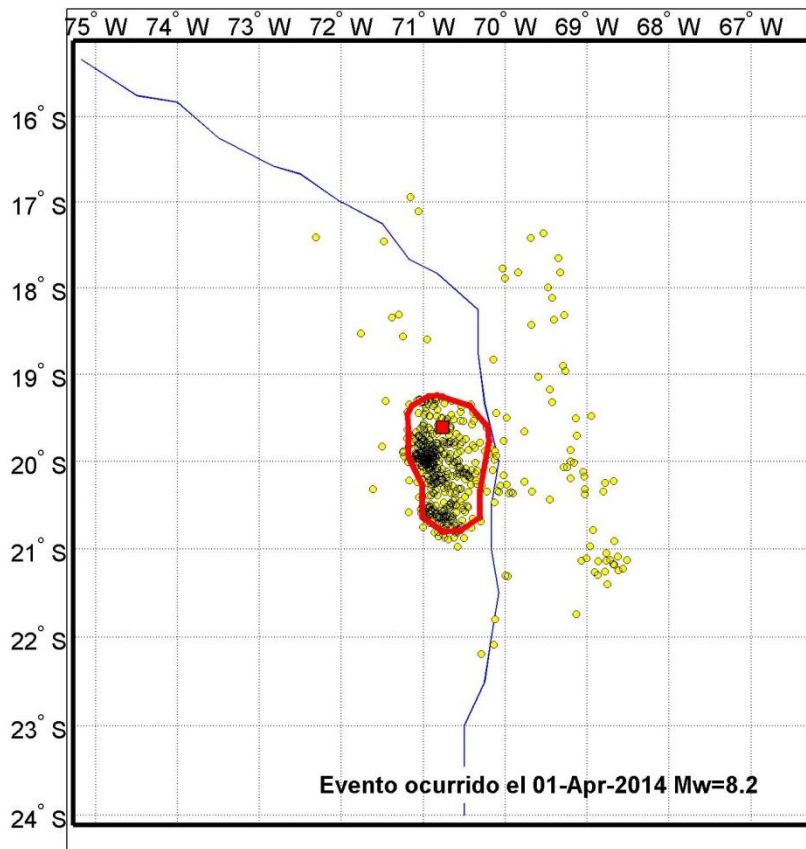


Figura C10: Área de ruptura calculada con datos de réplicas del CSN.

**ANEXO D: PERIODOS DE CORTE CALCULADOS SEGÚN
DESVIACIÓN ESTÁNDAR=0.5cm.**

Tabla D1: Periodos de corte obtenidos para cada registro

Nº	Registro	Periodo corte [s]		
		E-W	N-S	V
1	Loa1404012	17.5	17.5	17.5
2	loa1404033	17.5	17.5	17.5
3	mar21003116	17.5	17.5	17.5
4	mar21203252	17.5	17.5	17.5
5	mar21204171	17.5	17.5	17.5
6	mar21310313	17.5	17.5	17.5
7	mar31003116	17.5	17.5	17.0
8	mar31204171	15.8	14.4	17.5
9	mar31203252	11.7	17.5	17.5
10	mata1002271	7.0	3.0	4.6
11	me1203252	17.5	17.5	17.5
12	me1204171	17.5	17.5	17.5
13	MejillonesPuerto1404012	17.5	17.5	17.5
14	Michilla1404012	17.5	17.5	17.5
15	P1203252	17.5	17.5	17.5
16	P1204171	17.5	17.5	17.5
17	pap1002271	7.0	6.7	6.1
18	pat0911131	11.3	16.4	11.0
19	pat1404033	17.5	17.5	17.5
20	pic1203252	17.5	17.5	17.5
21	pica1106202	17.5	17.5	17.5
22	Pica1403161	17.5	17.5	17.5
23	Pica1404012	17.5	17.5	17.5
24	pica1404033	17.5	17.5	17.5
25	pisa11131	17.5	17.5	17.5
26	pmej1106202	17.5	17.5	17.5
27	poco11131chfixed	17.5	17.5	17.5
28	Poconchile1403161_ch_fxd	17.5	17.5	17.5
29	Poconchile1404012chfixed	17.5	17.5	17.5
30	PuntaPatache1403161	17.5	10.0	16.4
31	PuntaPatache1404012	17.5	17.5	17.5
32	Putre1404012	17.5	17.5	17.5
33	SanPedroAt1404012	17.5	17.5	17.5
34	SER1310313	14.2	17.2	11.1

N°	Registro	Periodo corte [s]		
		E-W	N-S	V
35	sqm1106202	17.5	17.5	17.5
36	talc1002271	3.1	3.6	4.2
37	toc1106202	17.5	17.5	17.5
38	TocopillaGobernacion1404012	17.5	17.5	17.5
39	vald1002271	17.5	17.5	17.5
40	vall1002271	17.1	9.8	11.3
41	vina1002271	6.2	14.6	4.4
42	vina1003116	17.5	17.5	17.5
43	tocopilla9507301	6.2	6.5	8.8
44	stgocentro9710141	17.5	17.5	17.5
45	arica9911301	17.5	17.5	17.5
46	arica0106231	8.3	4.5	4.9
47	aricacementerio0106231	4.9	4.7	4.9
48	pisagua0106231	9.4	3.7	6.8
49	poconchile0106231	6.3	4.9	4.7
50	putre0106231	4.3	3.8	4.4
51	aricachacalluta0107071	17.5	17.5	17.5
52	aricacerrolacruz0506131	17.5	17.5	17.5
53	calama0506131	17.5	17.5	17.5
54	cuya0506131	7.0	5.7	8.8
55	elloa0506131	14.8	9.2	7.6
56	iquique0506131	17.5	17.5	17.5
57	iquiqueIDIEM0506131	11.6	17.1	10.6
58	iquiqueplaza0506131	7.1	8.5	6.2
59	mejillones0506131	17.5	17.5	17.5
60	pica0506131	17.5	17.5	17.5
61	pisagua0506131	6.6	7.5	7.2
62	poconchileETNA0506131	17.5	17.5	17.5
63	putre050623	9.3	13.7	12.1
64	altohospicio071141	17.5	15.0	17.5
65	antofagastaUCN0711141	17.5	17.5	17.5
66	calama0711141	17.5	17.5	17.5
67	copiapo0711141	17.5	17.5	17.5
68	elloa0711141	5.1	6.4	9.9
69	fuertebaquedano0711141	13.6	12.7	15.7
70	iquique0711141	17.5	17.5	17.5
71	iquiquechipana0711141	17.5	17.5	17.5
72	mejillones0711141	17.5	2.4	16.7
73	patache0711141	17.5	17.5	16.2
74	pica0711141	17.5	17.5	17.5
75	pisagua0711141	17.5	17.5	17.5

N°	Registro	Periodo corte [s]		
		E-W	N-S	V
76	poconchile0711141	17.5	17.5	17.5
77	sanpedroatacama0711141	17.5	17.5	17.5
78	tocopilla0711141	5.8	4.0	3.3
79	tocopillapuerto0711141	17.5	17.5	14.4
80	mejillones0711152	17.5	17.5	17.5
81	mejillones0712161	2.5	17.5	17.5
82	mejillonescentral0712161	17.5	17.5	17.5
83	mejillonespuerto0712161	17.5	17.5	17.5
84	michilla0712161	17.5	17.5	17.5
85	tocopillapuerto0712161	17.5	17.5	17.5
86	stgocentro1002271	4.3	12.6	9.2
87	stgolaflorida1002271	17.5	17.5	17.5
88	vinaelsalto1002271	7.2	9.8	4.7
89	curico1002281fxd	13.6	15.2	17.5
90	alho11131	17.2	17.5	17.2
91	alho1106202	16.4	16.9	17.5
92	AltoHospicio1403161	17.5	17.5	17.5
93	ango1003055	17.5	16.4	17.5
94	angof1002271	4.5	7.1	9.4
95	AricaCerroLaCruz1403161	17.5	17.5	17.5
96	AricaCerroLaCruz1404012	17.5	17.5	17.5
97	AricaChacalluta1403161	17.5	17.5	17.5
98	AricaChacalluta1404012	17.5	17.5	17.5
99	AricaCostanera1403161	12.4	17.1	17.5
100	arie11131chfixed	17.5	17.5	17.5
101	arih11131chfixed	17.5	17.5	17.5
102	cala1106202	17.5	17.5	17.5
103	Calama1404012	17.5	17.5	17.5
104	chat11131chfixed	17.5	17.5	17.5
105	conce1002271	3.0	2.3	4.6
106	conce21003116	17.5	17.5	17.5
107	conce21003162	17.5	17.5	17.5
108	const1002271	3.0	2.3	4.6
109	cop1002271	12.1	9.3	12.4
110	crma1002271	3.8	13.5	8.8
111	crma1003116	10.0	17.5	10.2
112	curf1002271	16.3	5.4	4.8
113	F1204171	17.5	17.5	17.5
114	fuba11131	17.5	13.5	17.5
115	FuerteBaquedano1404012	17.5	17.5	17.5
116	hran1003116	17.5	17.5	17.5

N°	Registro	Periodo corte [s]		
		E-W	N-S	V
117	hsor1003116	16.2	17.5	17.5
118	hsorf1002271	9.7	17.5	8.4
119	hsotf1002271	6.7	17.5	8.4
120	huala1002271	10.8	5.8	6.1
121	iqes1106202	17.5	17.5	17.5
122	iqes1403161	17.5	17.5	17.5
123	iqes1404033	17.5	17.5	17.5
124	iqui11131chfixed	17.5	17.5	17.5
125	iqui1404033	17.5	17.5	17.5
126	IquiqueIDIEM1403161	17.5	17.5	17.5
127	IquiqueIDIEM1404012	17.5	6.1	17.5
128	llo1002271	3.9	4.2	6.2
129	me1003116	17.5	17.5	17.5
130	pica11131	17.5	17.5	17.5
131	val1002271	9.9	5.4	4.6
132	illapel9710141	7.8	10.3	17.2
133	aricacementerio9911301	5.9	4.5	7.3
134	aricacostanera9911301	11.7	10.2	12.3
135	iqes11131	17.5	17.5	17.5
136	IquiqueChipana	9.5	4.9	17.5
137	IquiqueHospital1403161	17.5	17.5	17.5
138	IquiqueHospital1404012	6.7	4.9	17.5
139	valut1002271	9.6	7.1	6.0