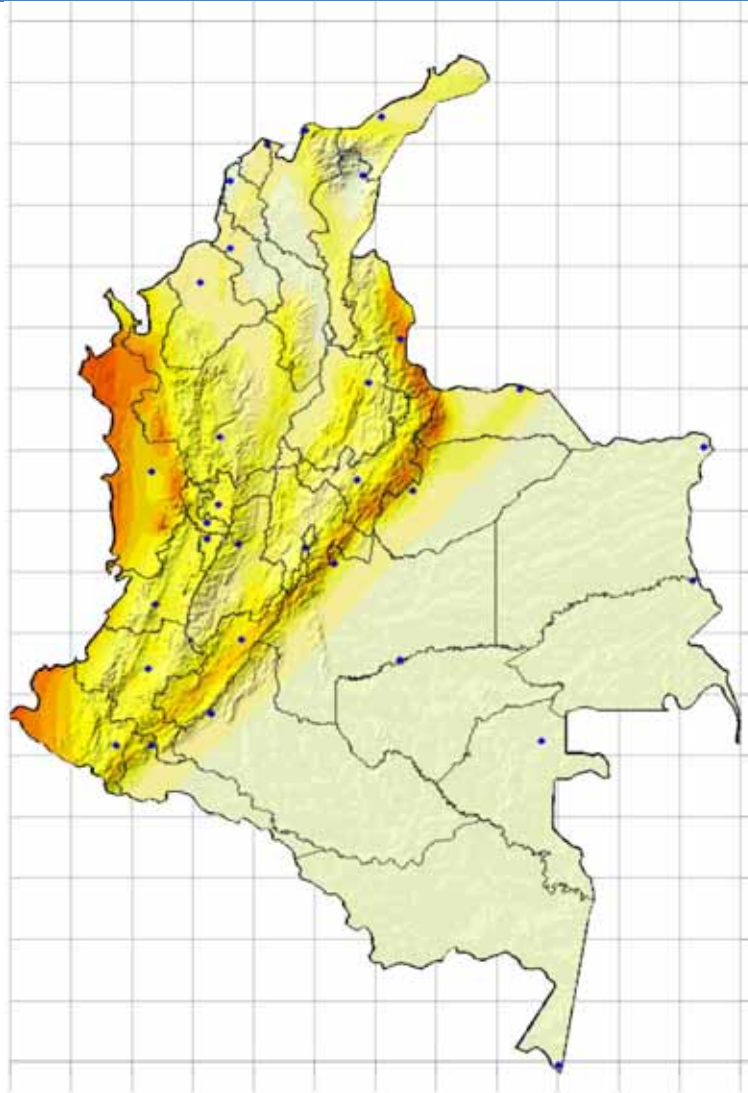


Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009



ASOCIACION COLOMBIANA
DE
INGENIERIA SISMICA





ASOCIACION COLOMBIANA
DE
INGENIERIA SISMICA

Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009

Comité AIS-300: Amenaza Sísmica

Universidades de Apoyo Técnico



Centro de Estudios Sobre Desastres y
Riesgos. CEDERI



Instituto de Estudios Ambientales. IDEA
Manizales
Centro de Procesamiento de Información
Sismológica. CPIS.
Medellín



Grupo de Mecánica Aplicada

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Comité AIS-300

Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009

226 p.

Incluye glosario y bibliografía

ISBN 978-958-97609-6-3

1. Amenaza sísmica – Colombia. 2. Tectónica – Colombia. 3: Sismicidad – Colombia. 4. Mapas de amenaza sísmica – Colombia. 5. Ingeniería sísmica. 6. Diseño y construcción sismo resistente. 7. Código sísmico de edificaciones.

Este informe presenta el resumen de los resultados de la investigación realizada por el Comité AIS-300, bajo la coordinación de Omar Darío Cardona A. y la asesoría de Mario Gustavo Ordaz S. con el apoyo técnico y científico de la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad EAFIT. El propósito de la investigación ha sido la actualización del estudio publicado en 1996, con el fin de aportar los valores de amenaza sísmica para todos los municipios de Colombia requeridos para la expedición de la nueva versión del reglamento de construcción sismo resistente de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

Mayo de 2010

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

Comité AIS-300: Amenaza Sísmica

Carrera 19ª No. 84-14 Of. 502

Bogotá, D.C., Colombia

E-mail: asosismica@gmail.com

Web site: www.asosismica.org.co

Tel. +57 1 5300826

Fax +57 1 5300827



ASOCIACION COLOMBIANA
DE
INGENIERIA SISMICA

Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009

Comité AIS-300: Amenaza Sísmica

Omar Darío Cardona A.
Director Comité

Mario Gustavo Ordaz S.*
Asesor Internacional

Luis Eduardo Yamín L.
Juan Diego Jaramillo F.
Luis Enrique Aycardi F.
Martha Liliana Carreño T.
Leonardo Cano Saldaña
Ana Campos García

Mario Andrés Salgado G.
Yosef Farbiarz F.
Carlos Alberto Vargas J.
Alfredo Taboada H.
Miguel Genaro Mora C.

Gabriel Andrés Bernal G.
Carlos Eduardo Bernal L.
Samuel Darío Prieto R.
Nelson Edilberto Pulido H.
Cesar Augusto Velásquez V.

*Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Luis Enrique García R.

Miembro de enlace con la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes

Luis Eduardo Laverde L.

Miembros de enlace con la Sociedad Colombiana de Ingenieros y la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.



TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT.....	1
GLOSARIO.....	3
1 INTRODUCCIÓN.....	11
Alcance.....	11
Actividad sísmica del país.....	12
Estudios previos.....	13
Agradecimientos.....	16
2 MODELO TECTÓNICO.....	17
3 SISMICIDAD COLOMBIANA.....	23
Sismicidad histórica.....	23
Confiabilidad de la sismicidad histórica.....	23
Principales sismos históricos.....	23
Sismicidad instrumental.....	25
Catálogos sísmicos.....	25
Verificación de los catálogos.....	25
Depuración catálogo.....	26
Magnitudes.....	29
Origen catálogo utilizado.....	29
4 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA.....	31
Introducción.....	31
Asignación de eventos.....	32
Modelo de sismicidad local de Poisson.....	36
Parametrización de las fuentes.....	36
Relaciones de atenuación de intensidades sísmicas utilizadas.....	38
Selección de las relaciones de atenuación.....	41

Zona cortical.....	41
Zona de subducción	42
Zona de Benioff.....	43
5 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA.....	44
Introducción	44
Cálculo de la amenaza sísmica.....	44
Probabilidad de excedencia y períodos de retorno.....	45
Programa CRISIS 2007 V7.2	46
Pruebas de hipótesis.....	51
Aceleración máxima para las ciudades capitales.....	51
Aceleración máxima utilizando la sismicidad histórica	56
Mapas por diferentes períodos de retorno y períodos estructurales.....	57
Curvas de amenaza	88
Mapas adoptados para la NSR-10.....	97
Valores de Aa, Av, Ae y Ad para los municipios de Colombia.....	103
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
Conclusiones.....	127
Recomendaciones	127
7 BIBLIOGRAFÍA.....	129
 Anexo 1	 133
Anexo 2	147
Anexo 3	167
Anexo 4	195
Anexo 5	201

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales sismos históricos en el territorio nacional.....	24
Tabla 2 Clasificación de los eventos en el catálogo por magnitud.....	30
Tabla 3 Clasificación de los eventos en el catálogo por profundidad.....	30
Tabla 4 Relaciones de atenuación utilizadas en el estudio.....	38
Tabla 5 Parámetros de las fallas utilizadas en la modelación	48
Tabla 6 Valores de Aa, Av, Ae y Ad para los municipios de Colombia.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad probable	18
Figura 2 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad comprobada.....	19
Figura 3 Neotectónica de la parte norte de los Andes y la región Caribe	21
Figura 4 Proyección fallas en superficie	22
Figura 5 Resultados amenaza con catálogo original. Aceleración máxima del terreno, período de retorno: 475 años.....	27
Figura 6 Resultados amenaza con catálogo depurado. Aceleración máxima del terreno, período de retorno: 475 años.....	28
Figura 7 Verificación de la completitud del catálogo	30
Figura 8 Corredores para la asignación de eventos a fuentes corticales.....	33
Figura 9 Asignación de eventos superficiales.....	34
Figura 10 Asignación de eventos profundos.....	35
Figura 11 Relación de atenuación Campbell-Strike para diferentes magnitudes.....	39
Figura 12 Relación de atenuación Campbell-Reverse para diferentes magnitudes	39
Figura 13 Relación de atenuación Gallego zona activa para diferentes magnitudes	39
Figura 14 Relación de atenuación Gallego zona subducción para diferentes magnitudes.....	39
Figura 15 Relación de atenuación García et al. para diferentes magnitudes	40
Figura 16 Relación de atenuación Sadigh et al. para diferentes magnitudes	40
Figura 17 Relación de atenuación Youngs et al. para diferentes magnitudes	40
Figura 18 Comparación relaciones de atenuación para Mw=6.0.....	40
Figura 19 Comparación relaciones de atenuación para Mw=7.0.....	40
Figura 20 Comparación sesgos zona cortical.....	42
Figura 21 Comparación desviaciones estándar zona cortical	42
Figura 22 Comparación sesgos zona subducción.....	42
Figura 23 Comparación desviaciones estándar zona subducción	42
Figura 24 Comparación sesgos zona de Benioff.....	43
Figura 25 Comparación desviaciones estándar zona de Benioff.....	43
Figura 26 Planos fuentes sismogénicas superficiales	49
Figura 27 Planos fuentes sismogénicas profundos.....	50
Figura 28 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años.....	52
Figura 29 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos redondeados de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años.....	53
Figura 30 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años con los valores obtenidos en el estudio AIS-96	54

Figura 31 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos redondeados de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años con los valores obtenidos en el estudio AIS-96.....	55
Figura 32 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 31 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	58
Figura 33 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 225 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	59
Figura 34 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	60
Figura 35 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 1000 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	61
Figura 36 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 2500 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	62
Figura 37 Aceleración espectral para T=0.1 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	63
Figura 38 Aceleración espectral para T=0.3 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	64
Figura 39 Aceleración espectral para T=0.5 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	65
Figura 40 Aceleración espectral para T=1.0 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	66
Figura 41 Aceleración espectral para T=2.0 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	67
Figura 42 Velocidad máxima del terreno [cm/s] Período de retorno: 31 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	68
Figura 43 Velocidad máxima del terreno [cm/s] Período de retorno: 225 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	69
Figura 44 Velocidad máxima del terreno [cm/s] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	70
Figura 45 Velocidad máxima del terreno [cm/s] Período de retorno: 1000 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	71
Figura 46 Velocidad máxima del terreno [cm/s] Período de retorno: 2500 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	72
Figura 47 Desplazamiento máximo del terreno [cm] Período de retorno: 31 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	73
Figura 48 Desplazamiento máximo del terreno [cm] Período de retorno: 225 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	74
Figura 49 Desplazamiento máximo del terreno [cm] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	75
Figura 50 Desplazamiento máximo del terreno [cm] Período de retorno: 1000 años Modelo de atenuación Gallego 2000.....	76

Figura 51 Desplazamiento máximo del terreno [cm] Período de retorno: 2500 años Modelo de atenuación Gallego 2000.	77
Figura 52 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 31 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	78
Figura 53 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 225 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	79
Figura 54 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	80
Figura 55 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 1000 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	81
Figura 56 Aceleración máxima del terreno [gal] Período de retorno: 2500 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	82
Figura 57 Aceleración espectral para T=0.1 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	83
Figura 58 Aceleración espectral para T=0.3 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	84
Figura 59 Aceleración espectral para T=0.5 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	85
Figura 60 Aceleración espectral para T=1.0 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	86
Figura 61 Aceleración espectral para T=2.0 seg [gal] Período de retorno: 475 años Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.	87
Figura 62 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Arauca	89
Figura 63 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Arauca	89
Figura 64 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Armenia	89
Figura 65 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Armenia... ..	89
Figura 66 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Barranquilla.....	89
Figura 67 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Barranquilla	89
Figura 68 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Bogotá	90
Figura 69 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Bogotá	90
Figura 70 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Bucaramanga	90
Figura 71 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Bucaramanga.....	90
Figura 72 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Cali.....	90
Figura 73 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Cali	90
Figura 74 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Cartagena.....	91
Figura 75 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Cartagena	91
Figura 76 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Cúcuta.....	91
Figura 77 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Cúcuta.....	91
Figura 78 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Florencia	91

Figura 79 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Florencia.....	91
Figura 80 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Ibagué.....	92
Figura 81 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Ibagué.....	92
Figura 82 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Manizales.....	92
Figura 83 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Manizales.....	92
Figura 84 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Medellín.....	92
Figura 85 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Medellín	92
Figura 86 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Mocoa	93
Figura 87 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Mocoa	93
Figura 88 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Montería.....	93
Figura 89 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Montería..	93
Figura 90 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Neiva.....	93
Figura 91 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Neiva	93
Figura 92 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Pasto	94
Figura 93 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Pasto.....	94
Figura 94 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Pereira.....	94
Figura 95 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Pereira.....	94
Figura 96 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Popayán.....	94
Figura 97 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Popayán...	94
Figura 98 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Quibdó.....	95
Figura 99 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Quibdó.....	95
Figura 100 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Riohacha.....	95
Figura 101 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Riohacha	95
Figura 102 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Santa Marta	95
Figura 103 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Santa Marta	95
Figura 104 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Sincelejo.....	96
Figura 105 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Sincelejo.....	96
Figura 106 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Tunja	96
Figura 107 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Tunja	96
Figura 108 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Valledupar	96
Figura 109 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Valledupar	96
Figura 110 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Villavicencio.....	97
Figura 111 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Villavicencio.....	97
Figura 112 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Yopal	97
Figura 113 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Yopal.....	97

Figura 114 Mapa de <i>Aa</i>	98
Figura 115 Mapa de <i>Av</i>	99
Figura 116 Mapa de <i>Ae</i>	100
Figura 117 Mapa de <i>Ad</i>	101
Figura 118 Mapa de zonificación sísmica de Colombia	102
Figura 119 Diagrama para el cálculo de fuerzas sísmicas requeridas en el diseño de edificios.....	134
Figura 120 Pantalla principal del programa CRISIS 2007 V7.2	135
Figura 121 Pantalla del programa CRISIS2007 donde se define la geometría de las fuentes sísmicas	136
Figura 122 Pantalla para proporcionar datos en fuentes sísmicas con modelo de Poisson	137
Figura 123 Pantalla de asignación de leyes de atenuación a cada fuente sísmica.....	139
Figura 124 Pantalla del programa CRISIS2007 donde se define la malla de los sitios de cálculo.....	140
Figura 125 Pantalla de CRISIS2007 para definir las intensidades sísmicas de las que se obtendrán tasas de excedencia	141
Figura 126 Pantalla para asignar parámetros globales como períodos de retorno ...	142
Figura 127 Mapa de peligro sísmico en Colombia	144
Figura 128 Curvas de tasas de excedencia y espectro de peligro uniforme para un punto dentro del territorio nacional y un período de retorno de 100 años	144
Figura 129 Gráfica de tasas de excedencia de la aceleración para la ciudad de Bogotá, Colombia.....	145
Figura 130 Tasa de excedencia para la falla Arco de Dabeiba.....	148
Figura 131 Tasa de excedencia para la falla Bahía Solano	148
Figura 132 Tasa de excedencia para la falla Benioff Intermedia Sur	149
Figura 133 Tasa de excedencia para la falla Benioff Intermedia Centro	149
Figura 134 Tasa de excedencia para la falla Benioff Intermedia Norte.....	150
Figura 135 Tasa de excedencia para la falla Benioff Profunda	150
Figura 136 Tasa de excedencia para la falla Boconó	151
Figura 137 Tasa de excedencia para la falla Bucaramanga – Santa Marta Norte.....	151
Figura 138 Tasa de excedencia para la falla Bucaramanga – Santa Marta Centro	152
Figura 139 Tasa de excedencia para la falla Bucaramanga – Santa Marta Sur	152
Figura 140 Tasa de excedencia para la falla Cauca.....	153
Figura 141 Tasa de excedencia para la falla Cimitarra	153
Figura 142 Tasa de excedencia para la falla Compresión Caribe Sur - Este	154
Figura 143 Tasa de excedencia para la falla Compresión Caribe Sur - Oeste	154
Figura 144 Tasa de excedencia para la falla Cuiza	155
Figura 145 Tasa de excedencia para la falla Espíritu Santo	155
Figura 146 Tasa de excedencia para la falla Fallas del Magdalena.....	156
Figura 147 Tasa de excedencia para la falla Frontal Cordillera Oriental Norte	156

Figura 148 Tasa de excedencia para la falla Frontal Cordillera Oriental Centro	157
Figura 149 Tasa de excedencia para la falla Frontal Cordillera Oriental Sur	157
Figura 150 Tasa de excedencia para la falla Garrapatas.....	158
Figura 151 Tasa de excedencia para la falla Ibagué.....	158
Figura 152 Tasa de excedencia para la falla Junín - Sambiambi.....	159
Figura 153 Tasa de excedencia para la falla Murindó.....	159
Figura 154 Tasa de excedencia para la falla Nido de Bucaramanga	160
Figura 155 Tasa de excedencia para la falla Normal Panamá	160
Figura 156 Tasa de excedencia para la falla Oca	161
Figura 157 Tasa de excedencia para la falla Palestina.....	161
Figura 158 Tasa de excedencia para la falla Perijá.....	162
Figura 159 Tasa de excedencia para la falla Puerto Rondón	162
Figura 160 Tasa de excedencia para la falla Romeral.....	163
Figura 161 Tasa de excedencia para la falla Romeral Norte.....	163
Figura 162 Tasa de excedencia para la falla Salinas	164
Figura 163 Tasa de excedencia para la falla Suárez.....	164
Figura 164 Tasa de excedencia para la falla Subducción Norte.....	165
Figura 165 Tasa de excedencia para la falla Subducción Centro.....	165
Figura 166 Tasa de excedencia para la falla Subducción Sur	166
Figura 167 Tasa de excedencia para la falla Uribante - Caparro.....	166
Figura 168 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 31 años.....	168
Figura 169 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 225 años.....	168
Figura 170 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 475 años.....	168
Figura 171 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 1000 años	168
Figura 172 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 2500 años	168
Figura 173 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 31 años	169
Figura 174 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 225 años....	169
Figura 175 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 475 años....	169
Figura 176 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 1000 años.	169
Figura 177 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 2500 años.	169
Figura 178 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 31 años.....	170
Figura 179 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 225 años	170
Figura 180 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 475 años	170
Figura 181 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 1000 años.....	170
Figura 182 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 2500 años.....	170
Figura 183 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 31 años.....	171
Figura 184 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 225 años.....	171

Figura 185 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 475 años	171
Figura 186 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 1000 años	171
Figura 187 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 2500 años	171
Figura 188 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 31 años.....	172
Figura 189 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 225 años	172
Figura 190 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 475 años	172
Figura 191 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 1000 años.....	172
Figura 192 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 2500 años.....	172
Figura 193 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 31 años.....	173
Figura 194 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 225 años.....	173
Figura 195 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 475 años.....	173
Figura 196 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 1000 años	173
Figura 197 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 2500 años	173
Figura 198 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 31 años ...	174
Figura 199 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 225 años.	174
Figura 200 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 475 años.	174
Figura 201 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 1000 años.....	174
Figura 202 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 2500 años.....	174
Figura 203 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 31 años	175
Figura 204 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 225 años	175
Figura 205 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 475 años	175
Figura 206 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 1000 años.....	175
Figura 207 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 2500 años.....	175
Figura 208 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 31 años.....	176
Figura 209 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 225 años..	176
Figura 210 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 475 años..	176
Figura 211 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 1000 años	176
Figura 212 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 2500 años	176
Figura 213 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 31 años	177
Figura 214 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 225 años.....	177
Figura 215 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 475 años.....	177
Figura 216 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 1000 años.....	177
Figura 217 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 2500 años.....	177
Figura 218 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 31 años....	178
Figura 219 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 225 años.	178

Figura 220 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 475 años.	178
Figura 221 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 1000 años.....	178
Figura 222 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 2500 años.....	178
Figura 223 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 31 años	179
Figura 224 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 225 años....	179
Figura 225 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 475 años....	179
Figura 226 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 1000 años.	179
Figura 227 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 2500 años.	179
Figura 228 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 31 años.....	180
Figura 229 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 225 años.....	180
Figura 230 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 475 años.....	180
Figura 231 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 1000 años	180
Figura 232 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 2500 años	180
Figura 233 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 31 años	181
Figura 234 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 225 años...	181
Figura 235 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 475 años...	181
Figura 236 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 1000 años	181
Figura 237 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 2500 años	181
Figura 238 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 31 años	182
Figura 239 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 225 años.....	182
Figura 240 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 475 años.....	182
Figura 241 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 1000 años.....	182
Figura 242 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 2500 años.....	182
Figura 243 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 31 años.....	183
Figura 244 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 225 años	183
Figura 245 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 475 años	183
Figura 246 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 1000 años	183
Figura 247 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 2500 años	183
Figura 248 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 31 años	184
Figura 249 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 225 años	184
Figura 250 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 475 años	184
Figura 251 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 1000 años....	184
Figura 252 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 2500 años....	184
Figura 253 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 31 años	185
Figura 254 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 225 años....	185
Figura 255 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 475 años....	185
Figura 256 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 1000 años.	185
Figura 257 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 2500 años.	185
Figura 258 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 31 años	186
Figura 259 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 225 años	186

Figura 260 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 475 años	186
Figura 261 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 1000 años....	186
Figura 262 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 2500 años....	186
Figura 263 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 31 años	187
Figura 264 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 225 años ..	187
Figura 265 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 475 años ..	187
Figura 266 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 1000 años	187
Figura 267 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 2500 años	187
Figura 268 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno: 31 años	188
Figura 269 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno:	
225 años	188
Figura 270 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno:	
475 años	188
Figura 271 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno:	
1000 años.....	188
Figura 272 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno:	
2500 años.....	188
Figura 273 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 31 años.....	189
Figura 274 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 225 años...	189
Figura 275 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 475 años...	189
Figura 276 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 1000 años	189
Figura 277 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 2500 años	189
Figura 278 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 31 años	190
Figura 279 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 225 años.....	190
Figura 280 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 475 años.....	190
Figura 281 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 1000 años.....	190
Figura 282 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 2500 años.....	190
Figura 283 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 31 años..	191
Figura 284 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 225 años	191
Figura 285 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 475 años	191
Figura 286 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno:	
1000 años.....	191
Figura 287 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno:	
2500 años.....	191
Figura 288 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno:	
31 años.....	192
Figura 289 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno:	
225 años	192
Figura 290 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno:	
475 años	192
Figura 291 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno:	
1000 años.....	192

Figura 292 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno: 2500 años.....	192
Figura 293 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 31 años.....	193
Figura 294 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 225 años.....	193
Figura 295 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 475 años.....	193
Figura 296 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 1000 años	193
Figura 297 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 2500 años	193
Figura 298 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Arauca	196
Figura 299 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Armenia.....	196
Figura 300 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Barranquilla.....	196
Figura 301 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Bogotá	196
Figura 302 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Bucaramanga ..	196
Figura 303 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Cali	196
Figura 304 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Cartagena.....	197
Figura 305 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Cúcuta.....	197
Figura 306 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Florencia	197
Figura 307 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Ibagué.....	197
Figura 308 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Manizales	197
Figura 309 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Medellín.....	197
Figura 310 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Mocoa	198
Figura 311 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Montería.....	198
Figura 312 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Neiva.....	198
Figura 313 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Pasto	198
Figura 314 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Pereira.....	198
Figura 315 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Popayán.....	198
Figura 316 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Quibdó.....	199
Figura 317 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Riohacha.....	199
Figura 318 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Santa Marta.....	199
Figura 319 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Sincelejo	199
Figura 320 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Tunja.....	199
Figura 321 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Valledupar.....	199
Figura 322 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Villavicencio	200
Figura 323 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Yopal	200
Figura 324 Aceleración histórica inferida a partir del catálogo de eventos sísmicos Ecuación de atenuación Donovan 1.....	202
Figura 325 Aceleración histórica inferida a partir del catálogo de eventos sísmicos. Ecuación de atenuación Donovan 2.....	203
Figura 326 Aceleración máxima inferida para Bogotá. Donovan 1	204
Figura 327 Aceleración máxima inferida para Bogotá. Donovan 2.....	204
Figura 328 Aceleración máxima inferida para Cartagena. Donovan 1	205
Figura 329 Aceleración máxima inferida para Cartagena. Donovan 2	205
Figura 330 Aceleración máxima inferida para Cúcuta. Donovan 1	206
Figura 331 Aceleración máxima inferida para Cúcuta. Donovan 2	206



ABSTRACT

The use of more refined models and computing techniques for seismic hazard assessment and the availability of more data related to seismic events have allowed updating the national study of seismic hazard. The new methodology used to estimate the expected seismic intensities for the building resistant construction code of the country is described. The results of intensity obtained for different return periods and spectral ordinates, for different building heights are presented. This information is useful to establish the design values in the new national building code NSR-10 and is useful for development of seismic microzonation studies in the main urban centers of the country.

The new national seismic hazard requirements and maps for the national building code NSR-10 have been obtained from the following research activities:

- Interpretation of the tectonic process in the country.
- Identification of the local tectonics and fault segments.
- Update of the seismic catalogue database and removal of the aftershocks to comprise a final catalogue of 7401 events with magnitudes equal or above 4.0.
- Assignment of each seismic event of the catalogue to a fault system.
- Calculation of the statistical parameters for each seismic source to obtain the seismic activity rates and the β -values.
- Using a probabilistic plane source seismic risk model, calculation of the maximum horizontal acceleration in rock for different return periods.
- Plots of the maps with uniform seismic hazard for different return periods and spectral ordinates of acceleration, velocity and displacement.
- Plots of the uniform seismic hazard spectra for the capital cities of the departments of Colombia, for different return periods and for a range from 0 to 4 seconds of structural vibration natural period.
- Development of the design seismic parameters (A_a, A_v, A_e, A_d) for each municipality of the country.
- Plots of the maps for the different above mentioned design seismic parameters for the building code.



GLOSARIO

A continuación se dan las definiciones de los términos relativos a la amenaza y el riesgo sísmico más utilizados dentro del presente informe. Ellas concuerdan con las que ha dado el Comité de Riesgo Sísmico del Earthquake Engineering Research Institute, las cuales fueron publicadas en el artículo "Glossary of Terms for Probabilistic Seismic-Risk and Hazard Analysis" de la revista "Earthquake Spectra" de Noviembre de 1984 y posteriormente modificadas, ajustadas y adicionadas por el mismo comité en el artículo "The Basics of Seismic Risk Analysis" de la misma revista en su edición de Noviembre de 1989.

Aceleración de diseño - Cuantificación de la aceleración del terreno en un lugar de interés en términos de un valor único como el valor pico o la raíz cuadrada de la media de los valores al cuadrado. Esta aceleración se utiliza directamente en el diseño sísmico de obras de ingeniería o como dato para determinar un espectro de diseño. Véase además "Registro en el tiempo".

Acelerógrafo - Instrumento que permite registrar las aceleraciones a que se ve sometido el terreno durante la ocurrencia de un sismo. Este registro queda consignado en un acelerograma.

Acelerograma - Descripción en el tiempo de las aceleraciones a que estuvo sometido el terreno durante la ocurrencia de un sismo real.

Amenaza geológica - Proceso geológico que durante un sismo u otro evento de la naturaleza pueda afectar adversamente las obras de ingeniería. Dentro de las amenazas geológicas se cuentan los deslizamientos de tierra, la licuación del suelo, la aparición de grietas y fallas locales.

Amenaza sísmica - Fenómeno físico asociado con un sismo, tal como el movimiento fuerte del terreno o la falla del mismo, que tiene el potencial de producir una pérdida.

Amenaza sísmica probabilista - Probabilidad que una amenaza sísmica específica, usualmente un parámetro de movimiento del terreno, exceda un nivel cuantificable en un sitio determinado y durante un tiempo de exposición dado.

Amortiguamiento - Pérdida de energía en un movimiento ondulatorio.

Análisis de amenaza sísmica - Cálculo de la amenaza sísmica probabilista para uno o varios lugares que se ilustra usualmente mediante una curva o un mapa de amenaza sísmica.

Análisis de riesgo sísmico - Cálculo del riesgo sísmico para uno o varios lugares que

se ilustra usualmente mediante una curva de riesgo sísmico.

β , BETA (Valor de) - Parámetro indicativo de la frecuencia relativa de ocurrencia de sismos de diferente tamaño. Es la pendiente de una línea recta dibujada en papel logarítmico aritmético, que relaciona el logaritmo de la frecuencia de ocurrencia, absoluta o relativa, con la magnitud del sismo o la intensidad mesosísmica medida en la escala de Mercalli Modificada. El valor de β indica la pendiente de la ecuación de Gutenberg-Richter

Coefficiente de variación - Cociente entre la desviación estándar y la media.

Curva de amenaza sísmica - Gráfico de la amenaza sísmica probabilista, usualmente especificada en términos de una probabilidad anual de excedencia, o de un período de retorno versus un parámetro específico de movimiento del terreno para un sitio dado.

Curva de riesgo sísmico - Gráfico del riesgo sísmico, usualmente especificado en términos de una probabilidad anual de excedencia, o de un período de retorno versus una pérdida específica para un bien o un inventario de bienes.

Daño - Pérdida económica o destrucción causada por el sismo.

Desviación estándar - Raíz cuadrada de la varianza de una variable aleatoria.

Duración - Descripción cualitativa o cuantitativa del tiempo durante el cual el movimiento del terreno en el lugar de interés manifiesta algunas características específicas tales como su percepción, vibración violenta, etc.

Efectos de las solicitaciones sísmicas de diseño - Fuerzas axiales, cortantes, de flexión o torsionales, y las deformaciones que se presentan en un sistema estructural al aplicarle una representación específica del movimiento sísmico de diseño. Esta representación del movimiento puede ser un registro en el tiempo, un espectro de diseño o una fuerza cortante en la base.

Elementos en riesgo - Aquellos elementos del contexto social y material de una comunidad que puedan verse afectados con la ocurrencia de un sismo, tales como los habitantes, sus bienes, la actividad económica, los servicios públicos, etc.

Espectro de amenaza uniforme - Espectro de respuesta cuyas amplitudes representan un nivel uniforme de amenaza sísmica probabilística en todos los períodos o frecuencias.

Espectro de diseño - Conjunto de curvas utilizadas en el diseño de obras de ingeniería que relacionan la aceleración, la velocidad y el desplazamiento de la masa en vibración con el período de vibración y el amortiguamiento del sistema compuesto

por la masa, el vibrador y el amortiguador. En general relacionan la aceleración absoluta, la velocidad relativa y el desplazamiento relativo con el período.

Espectro de respuesta - Respuesta máxima a un acelerograma de un grupo de sistemas amortiguados de un solo grado de libertad, que se gráfica en función del período o de la frecuencia natural no amortiguada del sistema.

Evento de diseño o evento sísmico de diseño - Definición de uno o varios parámetros descriptivos del sismo en las cercanías de la fuente y de la forma y ubicación de la liberación de energía con respecto al lugar de interés, para ser utilizado en el diseño sísmico de obras de ingeniería.

Evento sísmico - Liberación repentina de energía acumulada en la litosfera de la tierra que trae como consecuencia un sismo.

Falla activa - Falla geológica que con base en información histórica, sismológica o geológica, manifiesta una alta probabilidad de ser capaz de producir un sismo. Alternativamente se define así: es una falla que es capaz, dentro del contexto de las suposiciones que se hacen en un análisis de amenaza o riesgo sísmico específico, de producir un sismo dentro de un lapso de tiempo determinado.

Falla del terreno - Deformación permanente del suelo como licuación, desplazamiento de una falla geológica o deslizamientos resultado de un sismo.

Falla geológica - Ruptura, o zona de ruptura, en la roca de la corteza terrestre cuyos lados han tenido movimientos paralelos al plano de ruptura.

Fuente sismogénica - Véase "Zona Sísmogénica".

Función de pérdida - Expresión matemática o relación gráfica entre una pérdida específica y un parámetro específico de movimiento del terreno, comúnmente la Intensidad Modificada de Mercalli, para una estructura dada o una clase de estructuras.

Instrumento para movimiento fuerte - Equipo usado para registro de movimientos fuertes del terreno. Véase "Acelerógrafo".

Intensidad - Medida cualitativa o cuantitativa de la severidad del movimiento del terreno en un lugar específico, en términos de una escala tal como la de Intensidades de Mercalli Modificada, la de Intensidades de Rossi-Forell, la de Intensidad Espectral de Housner, la de Intensidad de Arias, o de la Aceleración Pico.

Intensidad de Mercalli Modificada - Medida cualitativa de la severidad del movimiento o ruptura del terreno en un sitio específico, descrita en términos de una

escala de doce grados. Tiene un rango de niveles de intensidad desde **I**, no sentido, hasta **XII**, daño cercano al total.

Intervalo medio de recurrencia o intervalo promedio de recurrencia - Tiempo promedio entre sismos o rompimientos en una falla, con características específicas tales como magnitud mayor que un valor dado, en una región determinada, en una falla o en una zona de fallamiento.

Lapso de exposición - Período de tiempo relevante para la evaluación de la amenaza y el riesgo sísmico. Usualmente en las obras de ingeniería el lapso de exposición corresponde o representa la vida útil de la obra.

Ley de atenuación - Ley que define el comportamiento de un parámetro descriptivo del movimiento producido por el sismo en función de la distancia a la fuente de liberación de la energía del mismo.

Licuación - Tipo de falla del terreno en la cual un suelo no cohesivo pierde su resistencia como resultado de un incremento en la presión de poros debido al movimiento del terreno.

Límite superior - Véase "Máximo posible".

Mapa de amenaza sísmica - Mapa que muestra contornos de un parámetro específico de movimiento del terreno para una amenaza sísmica probabilista o un período de retorno.

Mapa de zonificación sísmica - Mapa usado en los códigos de edificaciones para identificar áreas con requerimientos de diseño sísmico uniformes.

Matriz de probabilidad de daños - Matriz de probabilidades de rangos sostenidos de pérdidas para varios niveles de un parámetro de movimiento del terreno.

Máximo creíble, máximo esperable, máximo esperado, máximo probable - Términos que se utilizan para especificar el máximo valor a que puede razonablemente llegar una variable tal como la magnitud del sismo. En general se considera que estos términos son confusos y su uso se ha abandonado por esta razón. Véase "Máximo posible".

Máximo posible - Mayor valor posible de una variable. Se determina explícitamente de la suposición de que no existe la posibilidad de tener valores mayores e implícitamente de la suposición de que las variables asociadas están limitadas en su rango de valores posibles. El valor "máximo posible" puede expresarse en forma determinista o probabilista.

Media cuadrada - Valor esperado de los cuadrados de una variable aleatoria. La varianza de una variable aleatoria es igual a la media cuadrada menos el cuadrado de la media.

Microzona sísmica - Area generalmente pequeña en la cual los requisitos de diseño sísmo resistente de obras de ingeniería son uniformes. Dentro de las microzonas se definen valores relativos de amplificación del movimiento del terreno debida a las condiciones locales del suelo sin que se especifiquen los valores absolutos del movimiento sísmico o de la amenaza sísmica.

Microzonificación sísmica - Proceso de determinación de la amenaza sísmica, absoluta o relativa, en varios lugares con el fin de delimitar microzonas sísmicas. Esta determinación se lleva a cabo tomando en cuenta los efectos de amplificación en el movimiento sísmico causados por la geología o la topografía, así como considerando la estabilidad del terreno y el potencial de licuación del suelo. Alternamente, la microzonificación es el proceso de identificar características locales referentes a la geología, sismología, hidrología y geotécnica de una región específica con el fin de tenerlas en cuenta dentro de la planificación de uso de la tierra y en los requisitos de diseño de las obras de ingeniería y así reducir el peligro en términos de vidas humanas y daño a los bienes que conlleva la ocurrencia de un sismo.

Movimiento del terreno - Descripción cuantitativa de la vibración del terreno causada por un sismo, usualmente dada en términos de un acelerograma o un espectro de respuesta.

Movimientos sísmicos de diseño - Véase "Sismo de Diseño".

Parámetro de la fuente - Una variable o parámetro que describe una característica física en la fuente de liberación de la energía causante del sismo, tal como la magnitud, el descenso del esfuerzo, el momento sísmico o el desplazamiento de la falla.

Parámetro de movimiento del terreno - Parámetro característico de movimiento del suelo tal como la aceleración pico, la velocidad pico y el desplazamiento pico (parámetros pico) o las ordenadas del espectro de respuesta o del espectro de Fourier (parámetros espectrales).

Pérdida - Efecto económico, o social adverso, o acumulación de efectos, causado por uno o varios sismos, usualmente especificado como un valor monetario o como una fracción o porcentaje del valor total de un bien o un inventario de bienes.

Pérdida máxima probable - Límite superior probable de las pérdidas que se espera que ocurran como resultado de un sismo, normalmente definida como la máxima pérdida asociada con uno o más sismos que se pueden presentar en fallas específicas o en una zona fuente específica.

Pérdida promedio anual - Pérdida económica promedio esperada por año para un bien específico, un inventario de bienes o una región como resultado de uno o varios sismos. La pérdida en un año cualquiera puede ser substancialmente más alta o más baja que este valor.

Período de retorno - Tiempo promedio que transcurre entre las ocurrencias de un movimiento del terreno con un nivel específico en un lugar determinado. Numéricamente es igual al inverso de la probabilidad anual de excedencia.

Probabilidad de excedencia - Probabilidad de que un nivel específico de amenaza o riesgo sísmico sea excedido en un lugar o región durante un lapso de tiempo determinado.

Raíz cuadrada de la media cuadrada - Raíz cuadrada del valor de la media cuadrada para una variable dada.

Registro en el tiempo - Registro de la variación del movimiento del terreno en el tiempo en el lugar de interés, descrito por medio de la aceleración, la velocidad o el desplazamiento. Es utilizado en el diseño de obras de ingeniería.

Relación de atenuación - Ecuación que define la relación entre un parámetro de movimiento del terreno, la magnitud y la distancia de la fuente sísmica al sitio. Estas ecuaciones son usualmente derivada del análisis de registros sísmicos.

Relación de Gutenberg-Richter - Relación empírica entre N , el número esperado de sismos por año con magnitudes mayores que m , la magnitud sísmica, para una zona fuente específica.

Riesgo aceptable - Probabilidad permisible de ocurrencia de unas consecuencias sociales o económicas, considerada como lo suficientemente baja (por ejemplo, en comparación con otros riesgos) a juicio de las autoridades que regulan este tipo de decisiones, para permitir su uso en la formulación de requisitos de diseño de edificaciones y obras de ingeniería o para fijar políticas sociales o económicas afines.

Riesgo sísmico - Probabilidad de que una pérdida específica iguale o exceda un valor predeterminado durante un tiempo de exposición dado.

Sismicidad - Descripción de sismos en relación con el espacio, el tiempo y el tamaño. La sismicidad en una zona fuente o región específica usualmente se cuantifica en términos de una relación Gutenberg-Richter.

Sismicidad de fondo - Sismicidad que no puede ser atribuida a una falla o zona fuente específica.

Sismo (temblor, terremoto) - Vibración de la corteza terrestre causada por la liberación abrupta de energía acumulada en la litosfera de la tierra. El movimiento causado por el sismo puede variar desde un movimiento violento en algunos lugares hasta un movimiento imperceptible en otros.

Sismo característico - Sismo de un tamaño específico que es conocido o que se infiere que puede volver a presentarse en un mismo sitio, usualmente con una tasa de ocurrencia mayor que la que podría ser esperada con base en un nivel más bajo de sismicidad.

Sismo de diseño - Valor especificado para el movimiento del terreno durante un sismo en un lugar específico. Se utiliza en el diseño sismo resistente de obras de ingeniería.

Tasa de actividad sísmica - Valor medio del número de sismos con características similares por unidad de tiempo, por ejemplo magnitud mayor que 6, que se originan en una falla o región específica.

Temblor - Véase "Sismo".

Terremoto - Véase "Sismo".

Tsunami - Onda oceánica de largo período (ola u onda sísmica marítima) causada por un rápido desplazamiento tectónico del fondo del océano, por un deslizamiento marino o por una erupción volcánica.

Valor en riesgo - Pérdida económica potencial, asegurada o no, en las obras de ingeniería como consecuencia de la ocurrencia de uno o más sismos en un área geográfica determinada. Véase "Valor Expuesto".

Valor esperado - Media, promedio.

Valor expuesto - Valor potencial de la pérdida económica que representa el daño o ruina de obras de ingeniería al verse afectadas por uno o varios sismos en una zona geográfica. Este término usualmente se refiere al valor asegurado de las obras de ingeniería. Véase "Valor en riesgo".

Valor pico - Máximo valor de una variable que cambia con el tiempo durante un sismo

Varianza - Promedio de los cuadrados de los valores de la desviación de una variable aleatoria con respecto a su promedio.

Vulnerabilidad - Cuantificación de la pérdida en uno o varios elementos expuestos

como consecuencia de la ocurrencia de un sismo de magnitud o intensidad dada. Generalmente se expresa en una escala de cero a diez, donde cero corresponde al nivel sin pérdidas y diez a pérdida total.

Zona de diseño sísmico - Véase "Zona Sísmica".

Zona de amenaza sísmica - Término que dentro del contexto norteamericano no se utiliza; en la actualidad allí se prefiere el término Zona Sísmica. Dentro del contexto colombiano y para efectos de las "Normas Colombianas Sismo Resistentes" se adoptó esta designación agregándole el calificativo de Alta, Intermedia o Baja, pues se consideró que es más descriptivo que el término Zona Sísmica.

Zona de subducción - Zona de convergencia de dos placas de la corteza terrestre caracterizada por el empuje de una placa por debajo de la otra.

Zona fuente - Área considerada que tiene una tasa uniforme de sismicidad o una distribución de probabilidad única para propósitos de análisis de amenaza o de riesgo sísmico.

Zona sísmica - Región en la cual los requisitos de diseño sismo resistente de obras de ingeniería son uniformes.

Zona sismogénica o provincia sismogénica - Representación en la superficie de la tierra de un volumen de litosfera cuyos sismos provienen del mismo proceso tectónico. Una falla activa puede conformar una zona sismogénica. Véase "Zona Sismotectónica".

Zona sismotectónica - Una zona sismogénica en la cual ha sido posible identificar el proceso tectónico causante de sus sismos. En general estas zonas corresponden a franjas de fallamiento.

Zonificación sísmica - Proceso por medio del cual se determinan las amenazas sísmicas en diferentes lugares con el fin de delimitar las zonas sísmicas.

Zonificación sismogénica - Proceso por medio del cual se delimitan regiones sismogénicas con características tectónicas y geológicas similares. El procedimiento a utilizar en esta delimitación depende de las premisas y modelos matemáticos que se empleen en el análisis de amenaza o de riesgo sísmico.

1 INTRODUCCIÓN

Alcance

Para la actualización de las Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (AIS 2010) se han realizado los nuevos mapas de amenaza sísmica del país que están incluidos en este documento. Este informe, realizado por el Comité AIS-300 de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), corresponde a la nueva versión del Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, realizado con fines de diseño y construcción sismo resistente. El Comité AIS-300 contó con la participación de un amplio número de profesionales de la AIS y el decidido apoyo técnico de la Universidad de los Andes, de varias sedes de la Universidad Nacional de Colombia y de la Universidad EAFIT. Este documento actualiza la versión de 1996 (AIS 1996) que sirvió de base para la actualización de las Normas NSR-98. Para el efecto, una nueva metodología de cálculo de la amenaza sísmica se ha utilizado y nueva información acerca de la tectónica y de los eventos sísmicos ocurridos en el territorio nacional en los últimos años.

Las nuevas exigencias y mapas de amenaza sísmica a nivel nacional para las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 han sido obtenidas siguiendo las siguientes actividades de investigación:

- Definición de la tectónica a utilizar, haciendo una cuidadosa evaluación de los estudios recientes que sobre este tema se han publicado.
- Recopilación de la información disponible acerca de la localización y magnitud de los sismos relevantes ocurridos, para consolidar un catálogo sísmico único de eventos con magnitud unificada, M_W .
- Asignación de eventos a cada una de las fuentes sismogénicas definidas.
- Cálculo de los parámetros estadísticos relevantes para cada una de las fuentes sismogénicas, con el fin de conocer la magnitud última esperada e inferir la tasa de generación de terremotos para diferentes magnitudes.
- Utilización del modelo plano-fuente e integración probabilista de la amenaza generada por todas las fuentes para el cálculo de las curvas de aceleración horizontal esperada para diferentes períodos estructurales y diferentes períodos de retorno. Este cálculo se realizó para todo el país y puntualmente para todos los municipios. Los resultados obtenidos sirvieron de base para la definición de los parámetros de diseño A_a , A_v , A_e y A_d de las Normas NSR-10 y de los mapas nacionales de zonificación sísmica.
- Generación de un conjunto de espectros de amenaza uniforme en términos de aceleración para las capitales de departamento, para diferentes períodos de retorno.

- Producción de mapas de aceleración esperada a nivel nacional para diferentes períodos de retorno y diferentes periodos estructurales, los cuales se han utilizado para la determinación de los parámetros de diseño sísmico, prescritos en las Normas NSR-10.

Es importante señalar que los resultados de este esfuerzo conjunto y concertado de especialistas e instituciones académicas ilustran que es necesario continuar este esfuerzo con el fin de seguir el estudio y la investigación a fondo del tema sísmico en el país y sus incertidumbres asociadas; que son y seguirán siendo muy significativas. En consecuencia, este tipo de trabajo siempre debe ser objeto de depuración, mejora y actualización en la medida en que se logre mejor información, resultado del monitoreo sísmico continuo y de las investigaciones de campo que se realicen; actividades generalmente lideradas por el INGEOMINAS, cuyo trabajo debe contar con el apoyo del gobierno nacional y debe ser una prioridad permanente a nivel nacional.

Actividad sísmica del país

El 25 de enero de 1999 se presentaron dos sismos de magnitud 6.2 y 5.8 con epicentro en el municipio de Córdoba (Quindío), causando la muerte a 1185 personas, heridas a 8523 y daños graves en las ciudades de Armenia y Pereira, al igual que a 28 municipios cercanos, incluidas poblaciones de Quindío, Risaralda, Norte del Valle del Cauca, Tolima y Caldas. Armenia, la capital del departamento del Quindío fue afectada de manera muy fuerte en el centro y sur de la ciudad. El terremoto generó pérdidas del orden de \$2.8 billones de pesos (US \$ 1.591 millones), correspondientes al 1.88% del PIB Nacional de ese año. Estos sismos se originaron en uno de los ramales del sistema de falla Romeral el cual pasa a poca distancia de la ciudad y sus efectos se consideran los más graves que ha sufrido el país a causa de terremotos en tiempos modernos (Cardona et al 2004). Para este momento ya existían normas de construcción sismo resistente en el país. De manera general se observó que la mayoría de edificaciones diseñadas y construidas con base en los requerimientos sísmicos dados por las normas utilizadas presentaron un buen comportamiento frente a las sollicitaciones sísmicas y que los daños se concentraron en edificaciones construidas antes de la existencia de dichas normas.

Años antes, en marzo de 1983, un terremoto de magnitud 5.5 M_b y con epicentro ubicado al suroeste de la ciudad de Popayán, sacudió a esta ciudad causando gran destrucción, un número estimado de 287 muertos, 7248 heridos y pérdidas estimadas en US \$ 579 millones, correspondientes al 1.5% del PIB de ese año (Cardona et al 2004). Este sismo fue generado por uno de los ramales del sistema de Romeral y se considera de especial importancia debido a que sus efectos condujeron a que adoptara por primera vez a nivel nacional una normativa sismo resistente.

También es importante mencionar el sismo del 23 de noviembre de 1979. Manizales y Pereira fueron sacudidas por un sismo de 6.5 de magnitud M_L con epicentro en el

municipio El Cairo ubicado en el departamento del Valle del Cauca, proveniente de la zona de subducción. Este sismo causó daños equivalentes a US\$ 27.9 millones de dólares. Varios edificios colapsaron y los daños se concentraron en edificios de altura media. Manizales fue la ciudad más afectada y como consecuencia de este evento adoptó la primera norma sísmica del país de obligatorio cumplimiento a nivel local. El 12 de diciembre de ese mismo año se presentó un fuerte sismo de magnitud 7.9 en la costa pacífica que causó un tsunami y graves daños en las poblaciones de Tumaco y el Charco principalmente. Este terremoto recordó que el 31 de enero de 1906 se presentó al suroccidente de Tumaco uno de los sismos más grandes que se hayan registrado a nivel mundial en tiempos modernos. Se estima que su magnitud fue de 9.2 M_w , causó un tsunami devastador y se sintió en todo el país.

Otro sismo histórico de especial importancia fue el que ocurrió el 18 de mayo de 1875. La ciudad de Cúcuta fue prácticamente destruida y se estima que hubo cerca de 10 000 muertos. Este sismo como el terremoto de 1906 se sintió en casi todo el territorio nacional generando graves daños en las poblaciones ubicadas en las zonas epicentrales y dejaron como lección que en Colombia existen diversas zonas en donde se pueden presentar terremotos de gran intensidad.

Más recientemente, es importante mencionar los sismos del Atrato Medio de magnitud 6.6 y 7.2 ocurridos en octubre de 1992; el sismo de junio de 1994 de magnitud 6.4 ocurrido en la zona de Tierradentro (Páez); el sismo de Tauramena de magnitud 6.5 que se presentó en enero de 1995; el sismo de Calima de magnitud 6.4 ocurrido en febrero de 1995; el ya mencionado sismo del Quindío de enero de 1999 y el sismo de Quetame de magnitud 5.5 ocurrido en mayo de 2008. Todos estos eventos tuvieron efectos notables en zonas relativamente distantes de los principales centros urbanos del país, pero ilustran que existe en Colombia una actividad sísmica importante.

En general, todos los sismos antes mencionados se han presentado con menor intensidad en ciudades como Medellín, Cali y Bogotá; sin embargo, esto no descarta que se presenten eventos de especial importancia para dichas ciudades y se concluye que prácticamente toda el área Andina de Colombia está sometida a una amenaza sísmica importante.

Estudios previos

Como antecedentes al presente estudio es necesario señalar que en 1984 se realizó el Estudio General del Riesgo Sísmico en Colombia (AIS 1984) que sirvió de referencia para la elaboración de los mapas incluidos en el “Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (Decreto 1400/1984)” y el “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS 1996) mediante el cual se calcularon los mapas de la “Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 (Decreto 33/1998)”.

Con el transcurrir del tiempo el interés y la toma de consciencia acerca de los requisitos sismorresistentes en el campo del diseño estructural han venido en aumento, especialmente tras la ocurrencia de temblores como Manizales (1979), Popayán (1983), Atrato Medio (1992), Páez (1994), Tauramena (1995), Eje Cafetero (1999) y Quetame (2008). Como producto de este interés y de la creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, a partir del año 1993 entró en funcionamiento la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) la cual ha estado en constante mejoramiento y ampliación a cargo de INGEOMINAS.

Ahora bien, son muchas las edificaciones diseñadas y construidas antes de la entrada en vigencia de la primera normativa sismo resistente en 1984. Para el diseño de las edificaciones antes de esta fecha era común tomar decisiones acerca del valor de la amenaza sísmica sin tener la información apropiada. Por esta razón, el primer mapa de zonificación sísmica de Colombia fue realizado en la Universidad de Los Andes en 1972 como un trabajo académico llevado a cabo por José Alejandro Atuesta, bajo la dirección del profesor Alberto Sarria. El mapa calculado en el trabajo se consideró un buen insumo para su utilización con una norma de diseño sismorresistente como el código del SEAOC. La información sismológica disponible para este estudio únicamente permitió usar información epicentral haciendo uso tanto de la información instrumental (después de 1922) como de la información histórica (antes de 1922). Dicho trabajo sufrió una serie de adecuaciones como resultado del mejor registro de la actividad sismológica. Los mapas corregidos que de este trabajo se derivaron fueron publicados en el año de 1978 por Alberto Sarria. (Sarria 1978).

De otra parte, en 1977 Gabriel Estrada y el Padre Jesús E. Ramírez S.J. realizaron un mapa encargado por la Reaseguradora de Colombia S.A (Estrada, Ramírez 1977) en el cual se estimaron los valores dentro de un lapso de 100 años de la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) como parte de un trabajo en el que se fijaron pautas para la determinación de primas de seguros ante eventos sísmicos. La información utilizada también fue epicentral tanto en la parte histórica como en la instrumental.

Entre tanto, en 1979 Interconexión Eléctrica S.A. promovió un trabajo de actualización del catálogo nacional de sismos, cuyo objetivo primordial fue la determinación de la localización tanto en planta (epicentro) como en profundidad (hipocentro) de los eventos a partir de los sismogramas registrados en las estaciones sismológicas nacionales. Para éste trabajo se realizó una clasificación de los acelerogramas de los eventos de mayor relevancia y afectación en territorio colombiano lo que condujo a un catálogo sísmico homogéneo con mejor calidad en su información. El trabajo fue realizado por la firma ITEC Ltda. con la colaboración del Instituto Geofísico de Los Andes de la Universidad Javeriana de Bogotá. (ISA 1989).

Con base en lo anterior, en 1980 la Universidad de los Andes publicó un trabajo llevado a cabo por Alberto Sarria, Carlos Eduardo Bernal y Diego Echeverry donde se realizaron evaluaciones de fuente-efecto en el territorio nacional, considerando la

atenuación de la energía disipada en cada sismo. La evaluación fue llevada a cabo únicamente teniendo en cuenta el catálogo de eventos sin tener en cuenta la tectónica. En ese mismo año, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) encomendó la producción de dos mapas, uno de Aceleración Pico Esperada (APE) y otro de Velocidad Pico Esperada (VPE) a Alberto Sarria y Luis Enrique García Reyes. Estos mapas fueron incluidos dentro de la primera versión de la “Norma AIS-100: Requisitos Sísmicos para Edificios”. Para la construcción de esos mapas se utilizó la regionalización propuesta por Alberto Sarria en el trabajo de 1978, que era a su vez considerado como el de mejor calidad con la información disponible. Los mapas mostraban por regiones los valores de aceleración y de velocidad recopilados en estudios de amenaza sísmica anteriores. Todos estos trabajos hasta ese entonces permitieron aportar los mapas de amenaza sísmica para la primera normativa nacional de obligatorio cumplimiento expedida, como ya se mencionó, en 1984. El Estudio General de Riesgo Sísmico 1984, fue el primero de esta serie de estudios que ha liderado la AIS para efectos del diseño sismorresistente.

En 1996 la AIS, la Universidad de Los Andes y el INGEOMINAS realizaron una actualización del proceso realizado en los años 80 siguiendo un procedimiento y una metodología bastante similar, con el fin de incorporar sus resultados en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98) con la diferencia de que se contó con información de una calidad considerablemente mejor, al haber entrado ya en funcionamiento algunos años antes la Red Sismológica Nacional y por contar con un número mayor de eventos registrados. Para ese estudio se establecieron las curvas de recurrencia para cada una de las fallas y se calculó la amenaza para cada uno de los municipios. Dicho estudio, que puede considerarse el segundo de la serie, incluyó un conjunto de mapas que presentaban los valores de aceleración máxima del terreno a partir de los cuales se determinaron las tres zonas de amenaza sísmica. Igualmente, se determinaron los valores redondeados de A_a para un período de retorno de 475 años, correspondiente a una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años y de A_d con un periodo de retorno de 10 años que corresponde a una probabilidad de excedencia del 80% en 15 años.

Posterior al informe de 1996 se realizaron múltiples estudios de amenaza sísmica en el país en el marco del desarrollo de varias de las microzonificaciones sísmicas de ciudades que la Norma NSR-98 estimuló. Algunos de estos trabajos fueron realizados conjuntamente o por separado entre la Universidad de los Andes y el INGEOMINAS, así como también por la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad EAFIT y algunas firmas consultoras. En el lapso de 1996 a 2009 se realizaron microzonificaciones sísmicas en Bogotá, Pereira, Manizales, Armenia, Medellín, Ibagué, Cali, varias ciudades del Valle del Cauca y del Valle de Aburrá. También, es importante señalar que en forma paralela al desarrollo de esta investigación, realizada por el Comité AIS-300, el INGEOMINAS realizó un estudio similar que aportó a la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, cuyos resultados fueron similares.

De esta forma, este informe corresponde al tercero de la serie de la AIS y puede considerarse como la actualización a nivel del estado del conocimiento de la amenaza del país.

Agradecimientos

El Comité AIS-300 desea expresar su agradecimiento al INGEOMINAS, particularmente al grupo de trabajo de amenaza sísmica, por haber suministrado el catálogo sísmico disponible, los acelerogramas de los sismos de mayor relevancia recientemente registrados por la red nacional de acelerómetros y los mapas de la tectónica y de deformaciones y pliegues cuaternarios, resultado de sus investigaciones en los últimos años. A Ingeniería Técnica y Científica (ITEC) Ltda e INGENIAR Ltda. por facilitar el programa CRISIS 2007 con la información de estudios de amenaza sísmica realizados previamente con la misma plataforma de software y a Proyectos & Diseños Ltda. por apoyar la realización de trabajos de dibujo y cálculos complementarios que fueron necesarios a lo largo de la realización de este proyecto de investigación.

En especial, el Comité AIS-300 desea agradecer al Profesor Mario Gustavo Ordaz S. del Instituto de Ingeniería de la UNAM, México, y autor principal del programa CRISIS, por sus comentarios, sugerencias y acompañamiento técnico-científico a lo largo de este proceso de actualización. A los ingenieros Gabriel Andrés Bernal G. y Mario Andrés Salgado G. de la Universidad de los Andes por la realización del procesamiento electrónico, compilación de resultados y por los aportes del segundo en su tesis de maestría, que sirvió de base para el desarrollo de diferentes aspectos aquí contenidos. Por último, se agradece al Profesor Luis Enrique García R., de la Universidad de los Andes, por sus comentarios, aclaraciones y explicaciones relativas al desarrollo de los estudios anteriores.

2 MODELO TECTÓNICO

La región occidental de Suramérica se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico; una compleja franja de fosas tectónicas, en donde las mayores placas de la corteza terrestre interactúan mediante procesos de expansión y colisión, originando terremotos y erupciones volcánicas.

Por su ubicación en la esquina noroccidental de Suramérica, el territorio colombiano ha estado sometido desde el pasado geológico a grandes esfuerzos dirigidos en diferentes direcciones por el efecto de la convergencia de tres placas tectónicas: la placa oceánica del Caribe al norte, la placa oceánica de Nazca al oeste y la placa continental Suramericana localizada al este de la anterior.

La placa Nazca subduce bajo la placa Suramérica a lo largo de la Costa Pacífica colombiana, teniendo asociado a este movimiento sismos de considerable magnitud que han generado efectos devastadores a lo largo de la historia. Se ha estimado que la velocidad del desplazamiento de esta placa es de aproximadamente 69 mm/año en dirección este. (Kellogg, Vega 1995)

Se ha establecido que la placa Caribe tiene un movimiento en dirección sureste, el cual crea una zona de compresión entre esta placa y la placa Suramérica. A pesar de que se tienen registros de la existencia de eventos asociados a esta interacción, la frecuencia y la magnitud de estos eventos son relativamente bajos. La velocidad de movimiento de esta placa ha sido estimada alrededor de los 10 mm/año.

La información sobre los sistemas de fallamiento activos intraplaca utilizados en este estudio fue suministrada por INGEOMINAS (Ingeominas 2008) y corresponde a la localización y caracterización de las fallas geológicas con actividad comprobada en el cuaternario.

Dicho estudio presenta de manera esquemática la localización de los trazos de las fallas con actividad comprobada y probable.

La figura 1 presenta el mapa de deformaciones cuaternarias de Colombia en el cual se presentan las fallas y los pliegues de deformaciones cuya actividad es catalogada como probable por INGEOMINAS (2008). La figura 2 presenta el mapa de deformaciones cuaternarias de Colombia en el cual se presentan las fallas y los pliegues de deformaciones cuya actividad es catalogada como comprobada por INGEOMINAS (2008).

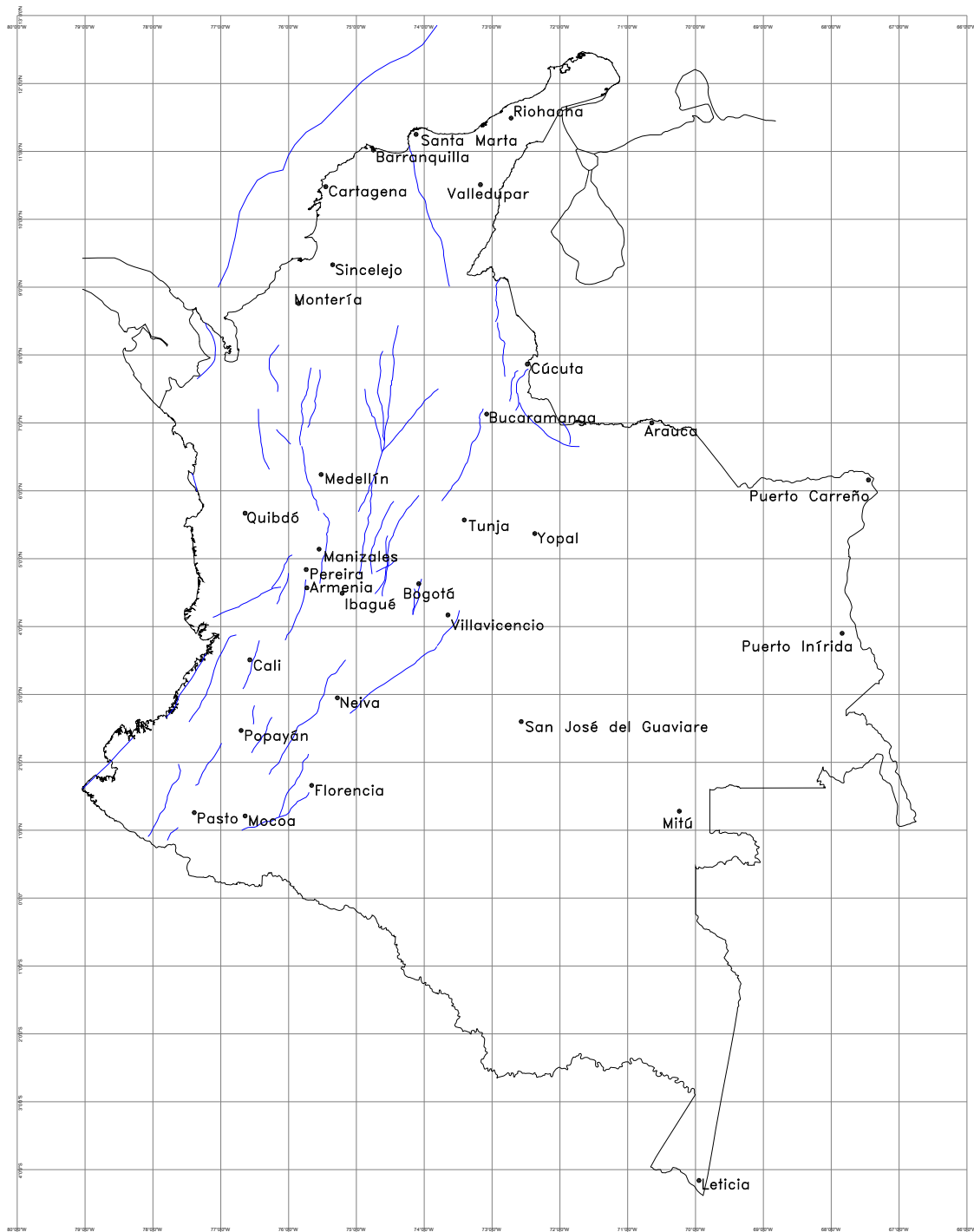


Figura 1 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad probable

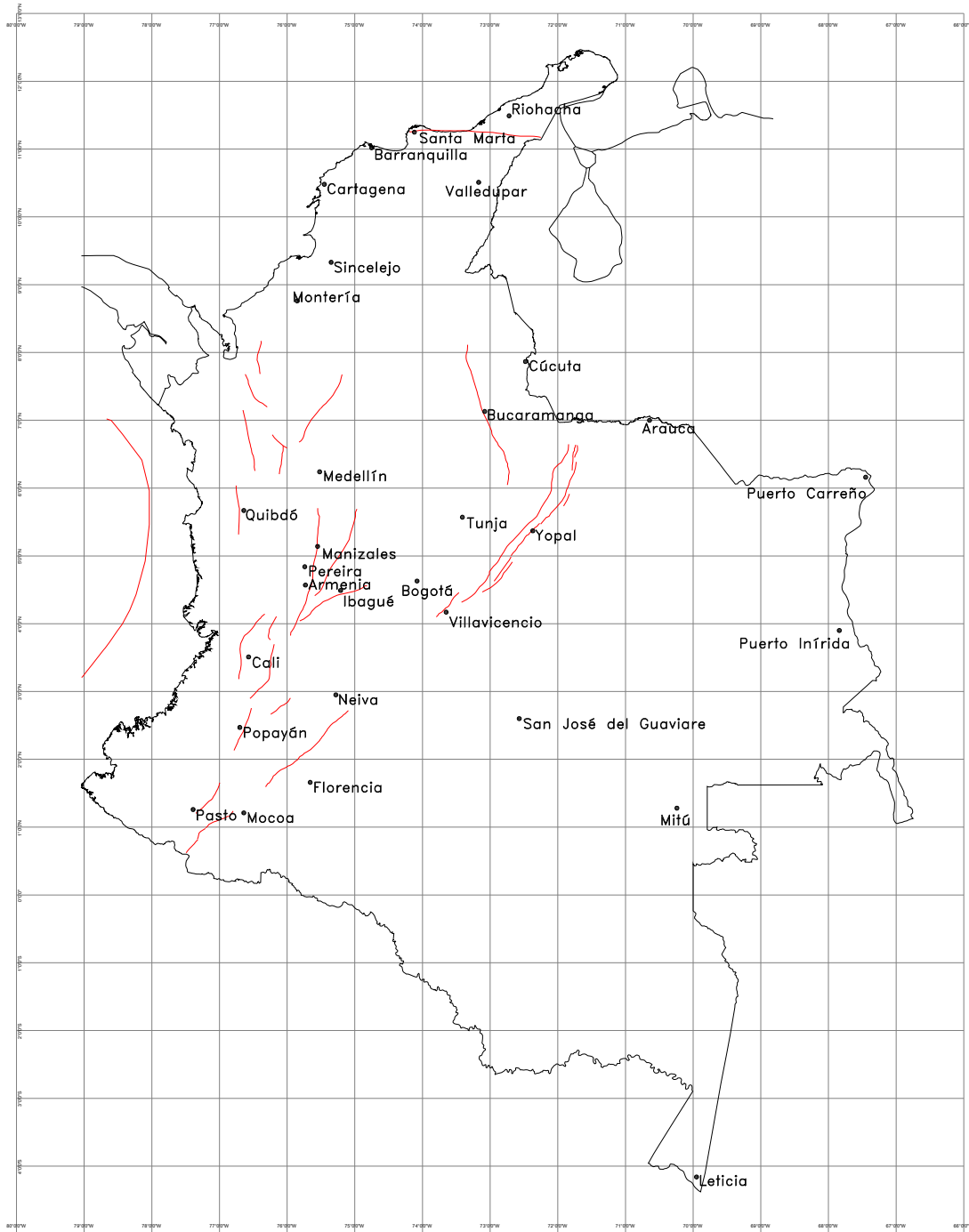


Figura 2 Mapa de deformaciones cuaternarias con actividad comprobada

Para el desarrollo del modelo tectónico de análisis se utilizó adicionalmente el estudio realizado por Taboada et al (2000) del cual se seleccionaron los sistemas de alineamiento compatibles con el mapa de deformaciones cuaternarias facilitado por INGEOMINAS (2008) y contenido en el Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes (Proyecto Multinacional Andino 2008). La figura 3 (tomada de Taboada 2000) ilustra la interpretación de la neotectónica de la parte norte de los Andes y la región Caribe (Taboada et al 2000).

Adicionalmente, se revisaron los estudios de París (1993), París et al (2000), que han dado cuenta de los mismos sistemas de fallamiento repartidos en el territorio colombiano, con algunas variaciones de localización. En total se utilizaron 38 fuentes sísmogénicas, de las cuales 30 corresponden a fuentes corticales y 8 a fuentes profundas. En general, las fuentes modeladas corresponden a los corredores de fallas utilizadas en anteriores estudios, que a su vez son similares a los sistemas de fallamiento propuestos en las referencias mencionadas.

Las fuentes corticales se definieron hasta profundidades máximas de 50 kilómetros, en algunos casos, y con profundidades mínimas de 5 kilómetros en todos los casos. Las fuentes profundas son aquellas que se encuentran a una profundidad mayor.

La Figura 4 presenta la proyección de las fallas en superficie utilizadas en el análisis realizado en el marco de la presente investigación de la amenaza sísmica a nivel nacional.

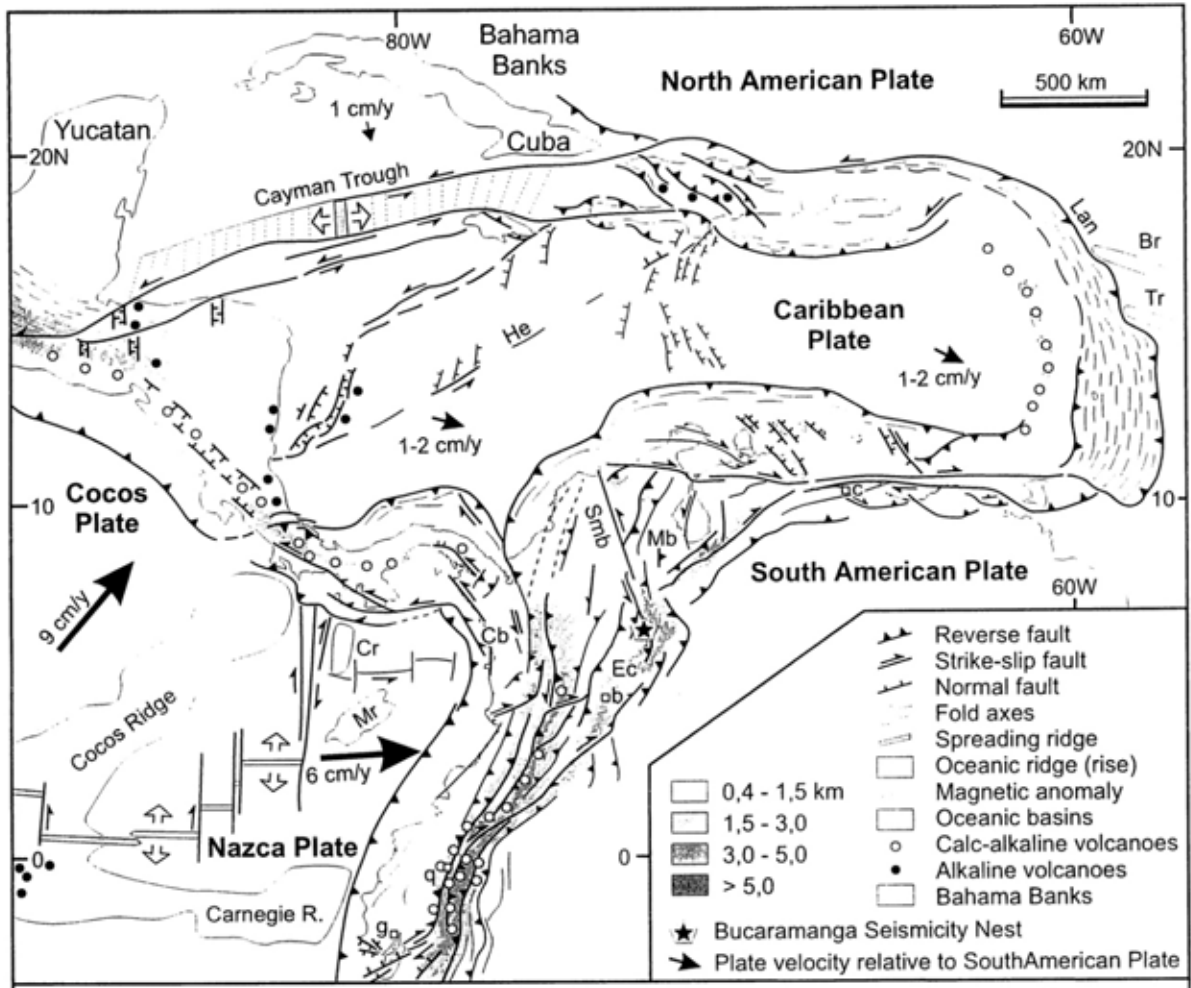


Figura 3 Neotectónica de la parte norte de los Andes y la región Caribe

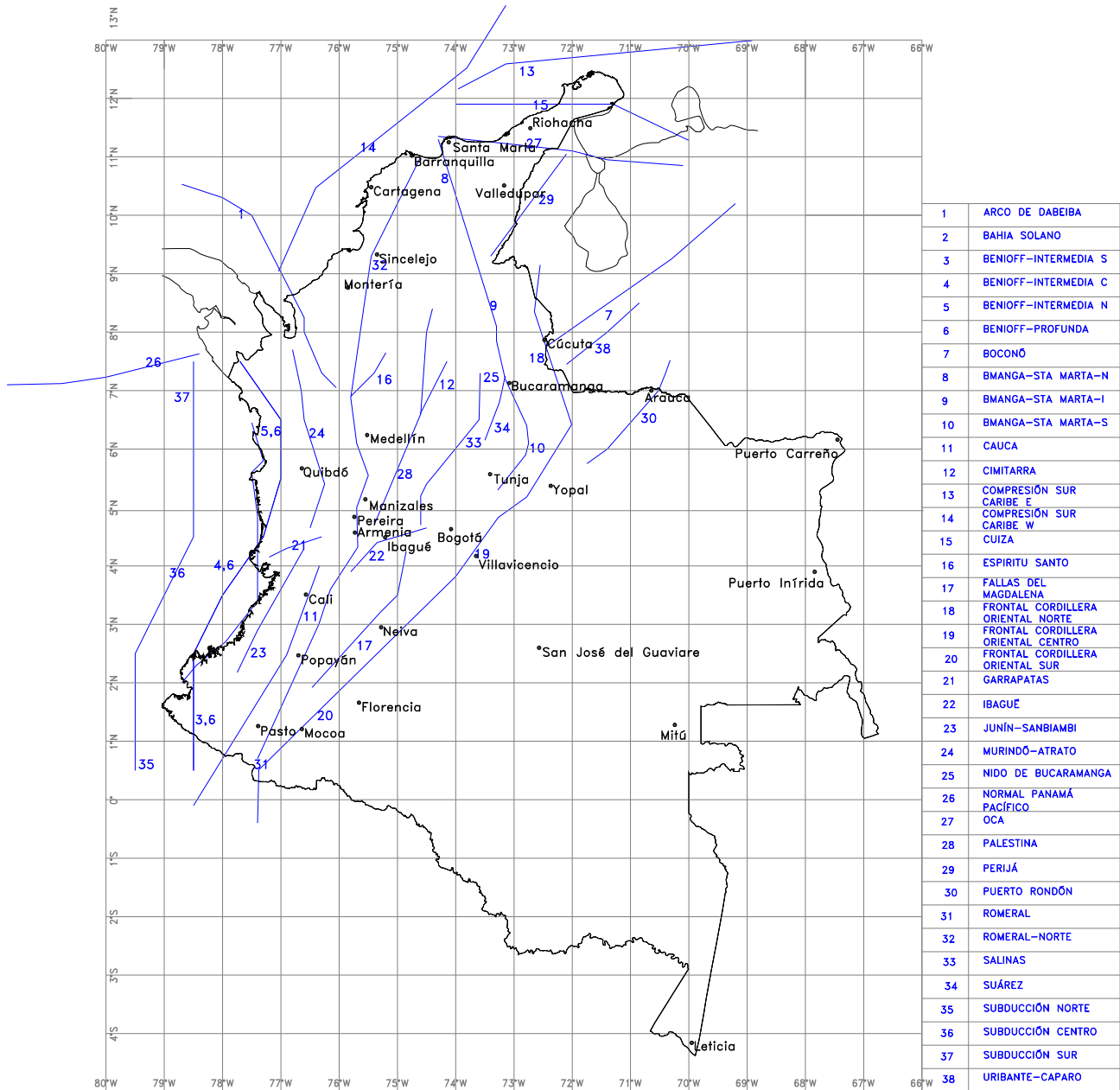


Figura 4 Proyección fallas en superficie

3 SISMICIDAD COLOMBIANA

Sismicidad histórica

Para el contexto local, se entienden como sismos históricos todos los eventos registrados ocurridos entre 1566 y 1922, fechas entre las cuales está el primer registro de un evento sísmico en territorio colombiano (Popayán) y la puesta en funcionamiento del primer sismógrafo en el país. Cabe anotar que eventos de elevadas magnitudes como el sismo de 1906 en Tumaco fueron registrados por estaciones ubicadas por fuera del país y debido a la inexistente información de estos a nivel nacional se encuentra catalogado dentro del período histórico.

Confiabilidad de la sismicidad histórica

La sismicidad histórica es una herramienta de alta utilidad a pesar que no se disponga de gran parte de la información que actualmente puede obtenerse de un evento sísmico instrumental (e.g. su acelerograma, espectros de respuesta, etc). En el caso colombiano, la sismicidad histórica se registró de diversas maneras y por diferentes entidades (gobierno, la curia entre otras), lo cual genera una variedad de criterio, de interpretación y por lo tanto baja confiabilidad.

A pesar que la localización de los eventos históricos es asignada a la población donde generó más daño y posiblemente no coincida con las coordenadas del epicentro esta información es un referente importante para validar los resultados de los estudios realizados en épocas más recientes.

Por lo tanto la ubicación de la profundidad de los eventos históricos es en general imposible de establecer y por lo cual se emplean diferentes modalidades de asignar una profundidad cuando estos van a ser incluidos en los análisis, como asignarles a todos la profundidad media de los eventos de los cuales si se conoce dicha información.

Principales sismos históricos

A lo largo de la historia se han presentado un considerable número de eventos sísmicos que han afectado al país; se han realizado compilaciones de eventos y se ha logrado establecer que el primer evento registrado en el catálogo ocurrió en 1541, en Ecuador. No existen registros sismográficos de los eventos comprendidos entre ese año y 1922 pero los eventos sirven de referencia para entender el contexto sismotectónico en el que se encuentra el país. En la tabla 1 se presentan algunos de los principales sismos históricos con su fecha y ubicación probable de acuerdo con el

cuidadoso trabajo realizado por Jesús Emilio Ramirez S.J. El primer evento registrado en lo que es hoy territorio colombiano data de 1566 en la ciudad de Popayán. (Ramírez 2004).

Tabla 1 Principales sismos históricos en el territorio nacional

FECHA	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
1566	Popayán/Cali	Daños en Cali y Popayán, primer sismo registrado en catálogos.
2-05-1621	Panamá	Daños en las edificaciones de la nueva ciudad
1625	Bogotá	Fuerte sismo sobre la pequeña ciudad
1697	Honda y Mariquita	Fuertes movimientos de tierra sacudieron las nuevas villas
20-06-1698	Sur de Colombia	Destruída Ambato, más de 6500 muertos en Ecuador
2-02-1735	Popayán	Destrucción de gran parte de la ciudad
18-10-1743	Bogotá	Destrucción de la ciudad, iglesias y monasterios en ruinas
9-07-1766	Cali/Popayán/Buga	Destrucción de iglesias, casas y otras edificaciones
12-07-1785	Bogotá	Destrucción todas las iglesias y edificaciones de altura
16-06-1805	Honda	Destrucción de la ciudad y de Mariquita. Cientos de muertos.
17-02-1807	Tame	Destrucción de la población durante el medio día
26-03-1812	Caracas/Merida	Destrucción de Caracas. Miles de muertos. Daños en Pamplona
26-02-1825	Costa Caribe	Destrucción de casas e iglesias en Santa Marta, tsunami
18-06-1826	Bogotá	Terremoto fuerte que destruyó varios edificios y conventos
16-11-1827	Bogotá/Neiva	Destrucción de casas y conventos, muchos muertos
20-01-1834	Pasto	Destrucción de Almaguer, daños en Pasto, sentido en Bogotá
18-05-1875	Cúcuta	Destrucción total de la ciudad y daños en otras ciudades del país
9-02-1878	Manizales	Temblor fuerte, sentido en Bogotá, Cauca y Valle del Cauca
7-09-1882	Chocó/Antioquia	Daños en edificaciones y en el canal de Panamá,
31-01-1906	Tumaco	Evento más grande en Colombia existe registro en Alemania.

Sismicidad instrumental

El primer sismógrafo en territorio colombiano fue puesto en funcionamiento en el año de 1922, lo que dio inicio a una red sismográfica que, con el paso del tiempo, se ha ido mejorando y se ha vuelto más densa. Solamente hasta el año de 1993 se puso en funcionamiento la Red Sismológica Nacional que actualmente cuenta con 18 estaciones de corto período y 13 de banda ancha operadas por el INGEOMINAS. Adicionalmente se tienen 70 estaciones activas operadas por la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) adscrita a la misma entidad.

Catálogos sísmicos

Para el desarrollo del presente estudio se utilizaron catálogos de diferentes orígenes para tener un mayor grado de confiabilidad en la información que se utiliza. El catálogo finalmente utilizado corresponde al suministrado por INGEOMINAS en Junio de 2009 el cual se validó y complementó con los otros catálogos utilizados verificando que no hicieran falta eventos ni que algunos de estos estuvieran repetidos.

Los catálogos estudiados durante este proceso son los siguientes:

- Catálogo ISA correspondiente a la última actualización realizada por ITEC (ISA, 1989) dentro del proyecto SISRA. Este catálogo fue suministrado por ISA para la realización del Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia en 1996. El catálogo contiene 5557 eventos con corte el 8 de diciembre de 1987.
- Catálogo de INGEOMINAS entregado en junio de 2009 a la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), el cual ya había sido depurado en el Instituto y homologado en magnitud M_w , el cual contiene 12 694 eventos con corte el 28 de diciembre de 2008. En este catálogo también existe un considerable número de eventos localizados fuera del territorio colombiano.

Verificación de los catálogos

La metodología de depuración implementada consistió en realizar un análisis de amenaza sísmica detonando cada evento contenido en el catálogo y asignándole una frecuencia anual de ocurrencia. Los datos de entrada para la solución son las coordenadas en tres dimensiones (x,y,z), la magnitud y la relación de atenuación de intensidades sísmicas a utilizarse, que depende de la localización del evento. (Ordaz 2009).

Tras realizarse esta verificación fue posible identificar zonas con elevados valores de aceleración, en las cuales existe una alta probabilidad de un número considerable de réplicas asociadas a un evento importante. El anterior análisis se llevó a cabo utilizando el programa CRISIS 2007.

Las figuras 5 y 6 presentan los resultados de amenaza sísmica a partir del catálogo original y el catálogo depurado utilizando las mismas ecuaciones de atenuación de la energía que se utilizaron a lo largo del presente estudio y para un período de retorno de 475 años. Es posible identificar, inicialmente, la concentración de eventos en puntos específicos tales como Popayán, Páez, Murindó, Tauramena y Quetame, los cuales ilustran que en el catálogo existía un número considerable de réplicas, lo que se constató al momento de revisar el catálogo cuidadosamente.

Depuración catálogo

Después de una revisión cuidadosa se observó como para ciertos eventos sísmicos importantes registrados en la RSNC (Tauramena, Páez, Murindó entre otros) existía una gran cantidad de réplicas en el catálogo suministrado por INGEOMINAS, por lo cual fue necesario remover aquellos eventos que claramente eran réplicas antes de realizarse el proceso de asignación de eventos a las fuentes sismogénicas. El catálogo original constaba de 12 694 eventos que, tras realizarse la remoción de réplicas, se redujo a 7401.

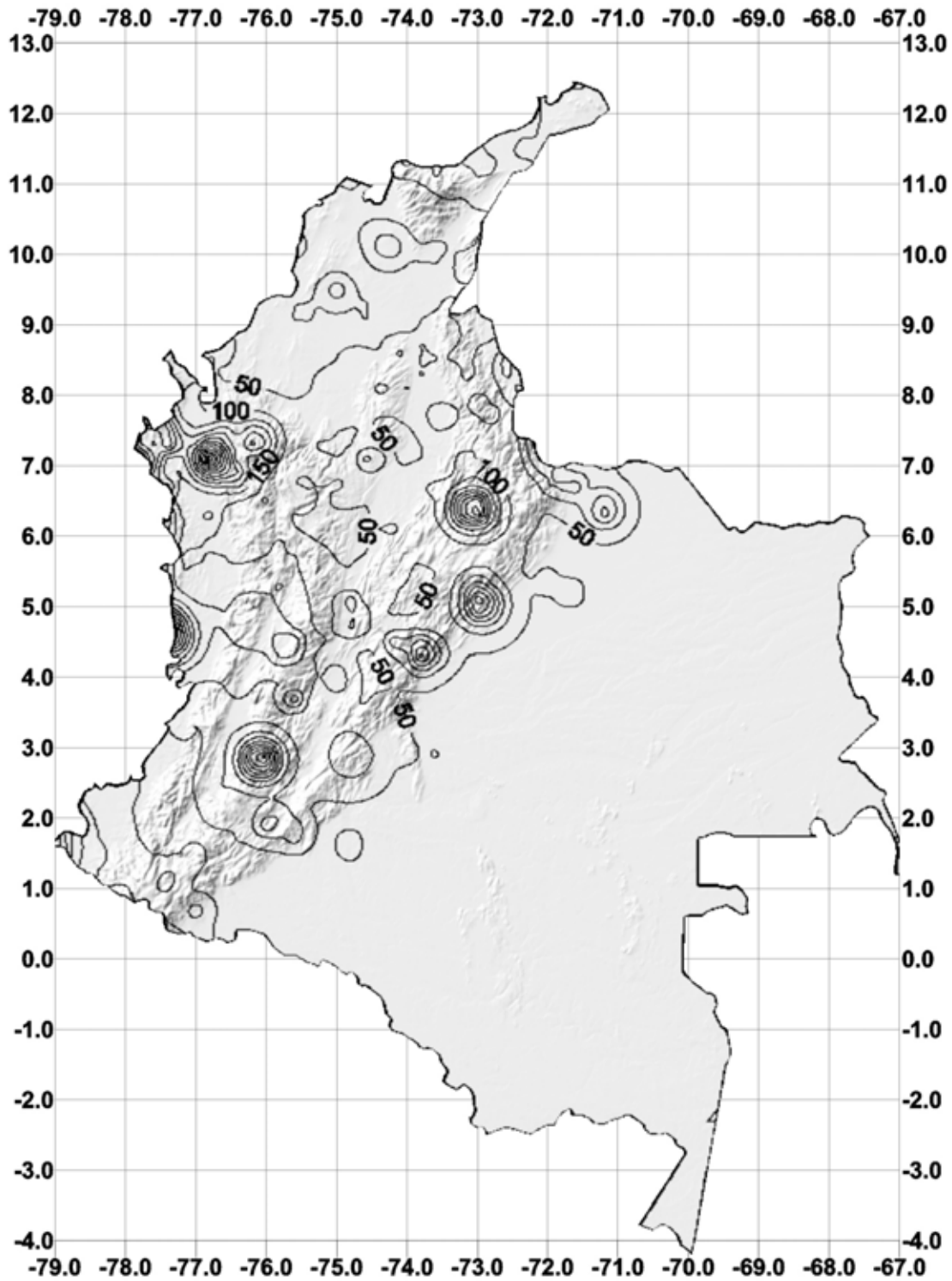


Figura 5 Resultados amenaza con catálogo original. Aceleración máxima del terreno, período de retorno: 475 años

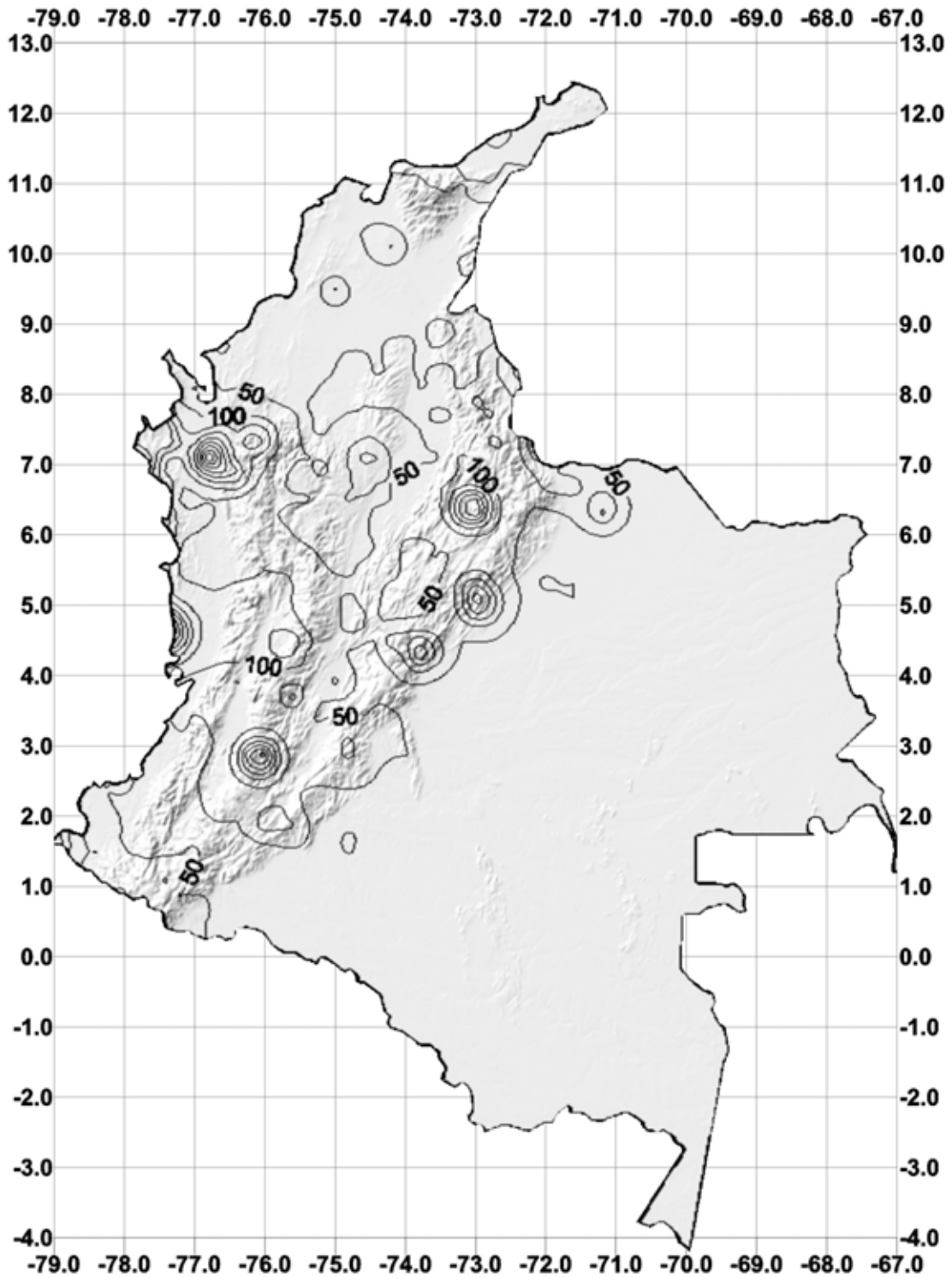


Figura 6 Resultados amenaza con catálogo depurado. Aceleración máxima del terreno, período de retorno: 475 años

Magnitudes

Conforme han mejorado las maneras de medir tanto el tamaño como las características de los terremotos han sido desarrolladas diferentes escalas de magnitud. Los sismos históricos fueron homologados en la magnitud de onda superficial (M_s), implementada por Gutenberg y Richter en 1936. Para el cálculo de esta magnitud es necesario conocer el desplazamiento máximo del terreno así como la distancia epicentral al sismómetro. Esta magnitud funciona de manera adecuada para medir eventos superficiales y a distancias hipocentrales de hasta 1000 km. (Kramer, 1996).

Para los sismos ocurridos después de 1946 se utilizó la magnitud de ondas de cuerpo (m_b), propuesta por Gutenberg en 1945, que tiene en cuenta los primeros ciclos de las ondas de compresión así como el período fundamental de estas ondas. A partir de 1993 la Red Sismológica Nacional comenzó a medir los sismos en magnitud local (M_L), la primera medida de la energía liberada en los eventos sísmicos propuesta por Richter en 1935, donde la información requerida es únicamente la amplitud máxima del movimiento registrado en un sismómetro de características especiales.

Finalmente, se tiene la magnitud de momento (M_w) que tiene la principal ventaja de no tener un punto de saturación, lo que si ocurre con las demás magnitudes, pero que además requiere de una gran cantidad de información para su correcto cálculo. A nivel local no es posible recolectar la información requerida para el cálculo de dicha magnitud, sin embargo existen diferentes relaciones (McGuire 2004), (INGEOMINAS 1999) que permiten la conversión entre escalas de magnitud.

Origen catálogo utilizado

El catálogo utilizado para el presente estudio, por lo tanto, es una versión depurada del catálogo facilitado por INGEOMINAS. Este catálogo consta de 7401 eventos. El primer evento en el catálogo es de 1541, cuya localización se encuentra en territorio ecuatoriano. El primer evento localizado dentro de territorio colombiano se presentó en 1566, en la ciudad de Popayán. Se hizo corte el día 28 de diciembre de 2008. El catálogo al momento de su entrega se encontraba unificado en magnitud M_w .

Definida la magnitud umbral del catálogo en $M_w=4.0$, se procedió a la realización del chequeo de completitud para dicha magnitud, con el fin de determinar la ventana de tiempo (T) a ser utilizada en el proceso de parametrización de las fuentes. Para realizar ese chequeo se construyó un histograma de eventos acumulados por año que fueran iguales o mayores a dicha magnitud para poder identificar el punto en la curva a partir del cual la pendiente de la actividad sísmica es constante. El histograma se presenta en la figura 7 y se puede ver que el año a partir del cual se puede observar estabilidad en la pendiente de la curva es 1962. Esta fecha se utiliza más adelante para efectos de asignar las frecuencias de eventos a las fuentes sismogénicas. Las tablas 2 y 3 presentan una clasificación de los sismos por magnitud y por profundidad.

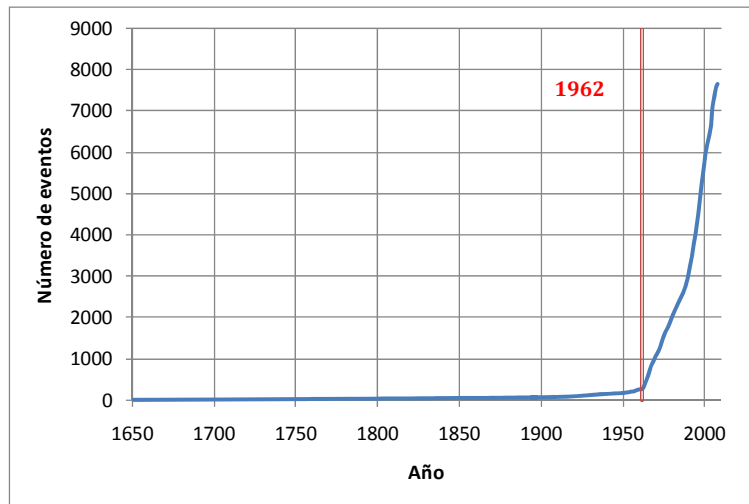


Figura 7 Verificación de la completitud del catálogo

Tabla 2 Clasificación de los eventos en el catálogo por magnitud

Magnitud (M _w)	Número de eventos con magnitud igual o mayor
4.0	7401
4.5	2818
5.0	753
5.5	196
6.0	57
6.5	18
7.0	8
7.5	1
8.0	1

Tabla 3 Clasificación de los eventos en el catálogo por profundidad

Profundidad (Km)	Número de eventos con profundidad igual o mayor
0	7401
30	4302
60	2627
90	2218
120	1868
150	1522
180	239
210	46
240	24
270	16
300	11

4 PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA

Introducción

Para garantizar la seguridad de una estructura en una zona propensa a eventos sísmicos importantes es necesario determinar una intensidad máxima del movimiento del terreno debido a eventos sísmicos que pueden ocurrir en un tiempo de exposición o ventana de tiempo determinada.

Dicho tiempo de exposición está directamente relacionado con la vida útil que se espera tengan las estructuras. Definido un nivel de riesgo aceptable, es posible estimar un período de retorno, que es una manera común de expresar ambas características a través de un solo parámetro.

$$\bar{T} = \frac{t}{\text{Ln}\left(\frac{-1}{q_o - 1}\right)}$$

donde t es el tiempo de exposición, q_o es la probabilidad de que el valor de intensidad de movimiento estimado sea excedido durante ese período de exposición y \bar{T} es el período de retorno.

La definición de la probabilidad de que el parámetro de intensidad del movimiento sea excedido depende de las condiciones locales en donde se está realizando la evaluación, teniendo en cuenta tanto la tasa de actividad sísmica de la región como condiciones socioeconómicas; evitando un desequilibrio, en el cual una sociedad esté extremadamente protegida ante eventos que no son muy frecuentes, pero a su vez desprotegida ante necesidades que pueden tornarse fundamentales.

En general, se utilizan períodos de retorno considerablemente largos, los cuales conllevan a la restricción de no tener información completa durante todo este mismo lapso y por lo tanto se necesita calcular de manera estadística el valor máximo de intensidad que puede afectar una edificación. Debido a esta situación es necesario usar la información antes descrita, ya sea de carácter histórico o instrumental, para poder realizar los cálculos de la amenaza a través de modelos probabilistas.

Asignación de eventos

Definido el catálogo de eventos, el cual fue unificado en magnitudes y al cual se le removieron las réplicas, se asignaron los eventos sísmicos a las fuentes sismogénicas del modelo. En el proceso de asignación, que se describe a continuación, se diferencié la actividad sísmica cortical de la actividad sísmica de subducción y de la actividad sísmica profunda.

Inicialmente, se ubicaron todas las fuentes tanto corticales como profundas con su proyección en superficie y se definieron corredores de aproximadamente 60 kilómetros de ancho (30 kilómetros a cada lado de la línea proyectada). Los corredores de asignación para las fuentes corticales son los que se presentan en la figura 8.

Una vez diferenciada la actividad del catálogo entre superficial y profunda, se localizaron todos los eventos con sus coordenadas x,y, con el fin de asociar cada evento con los corredores de las 30 fuentes corticales anteriormente descritos. De esta manera se determina si dicho evento se encuentra ubicado dentro de los respectivos corredores.

Cuando alguno de los eventos queda por fuera de los corredores definidos, se asigna el evento a la fuente más cercana, teniendo en cuenta la orientación del buzamiento de la misma en los casos donde hay más de una fuente igualmente cercana.

El mismo procedimiento se utilizó para la asignación de los eventos en la zona de actividad profunda, teniendo especial cuidado con la zona del Nido de Bucaramanga. Esta fuente se modeló como un plano de aproximadamente 100 km² al cual se asocian los eventos con profundidad entre 120 y 180 kilómetros.

En las figuras 9 y 10 se presenta la asignación de los eventos tanto para la actividad sísmica superficial como para la actividad sísmica profunda. Se denota la diferencia entre las fuentes según el color que se utiliza en cada caso.

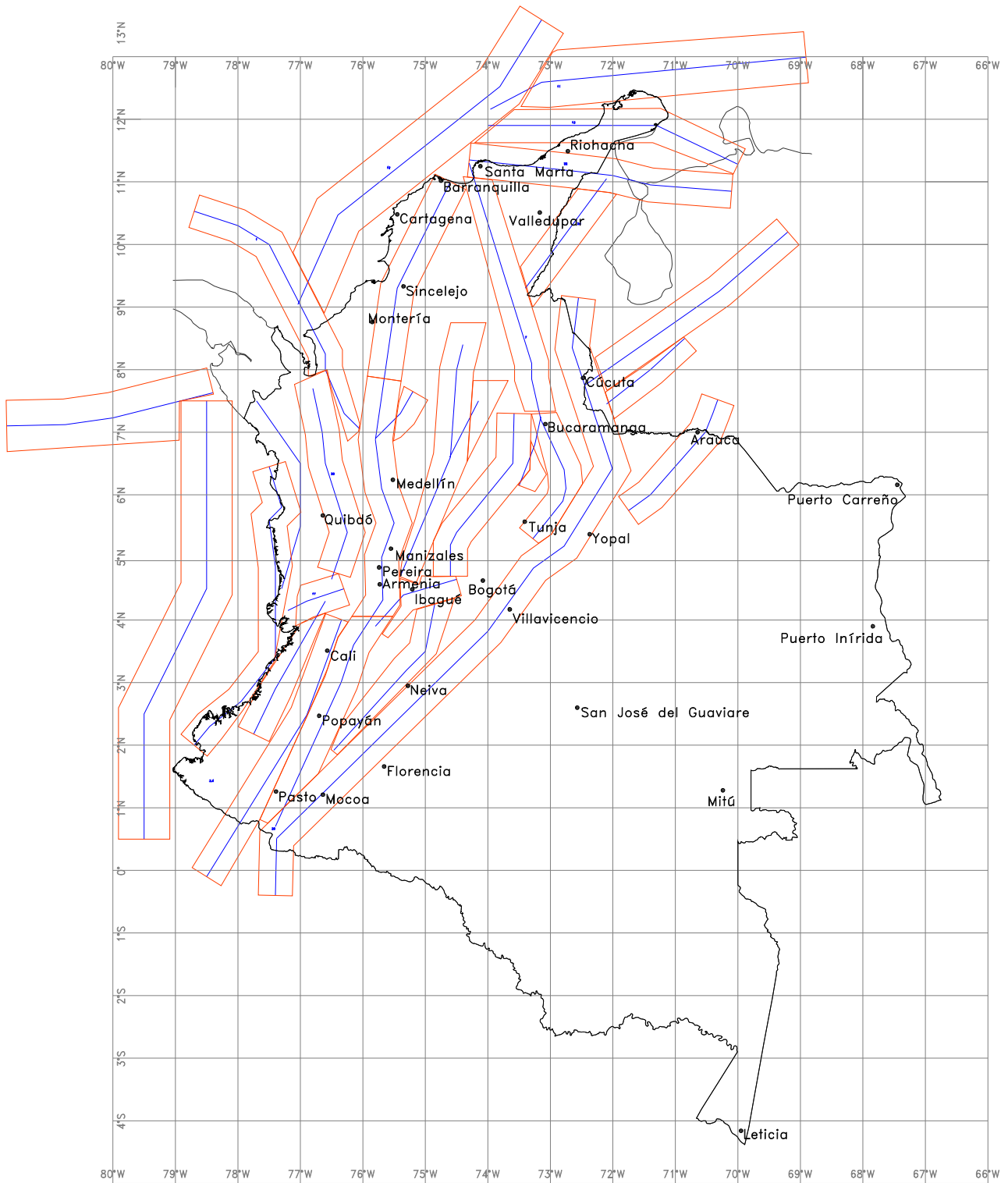


Figura 8 Corredores para la asignación de eventos a fuentes corticales

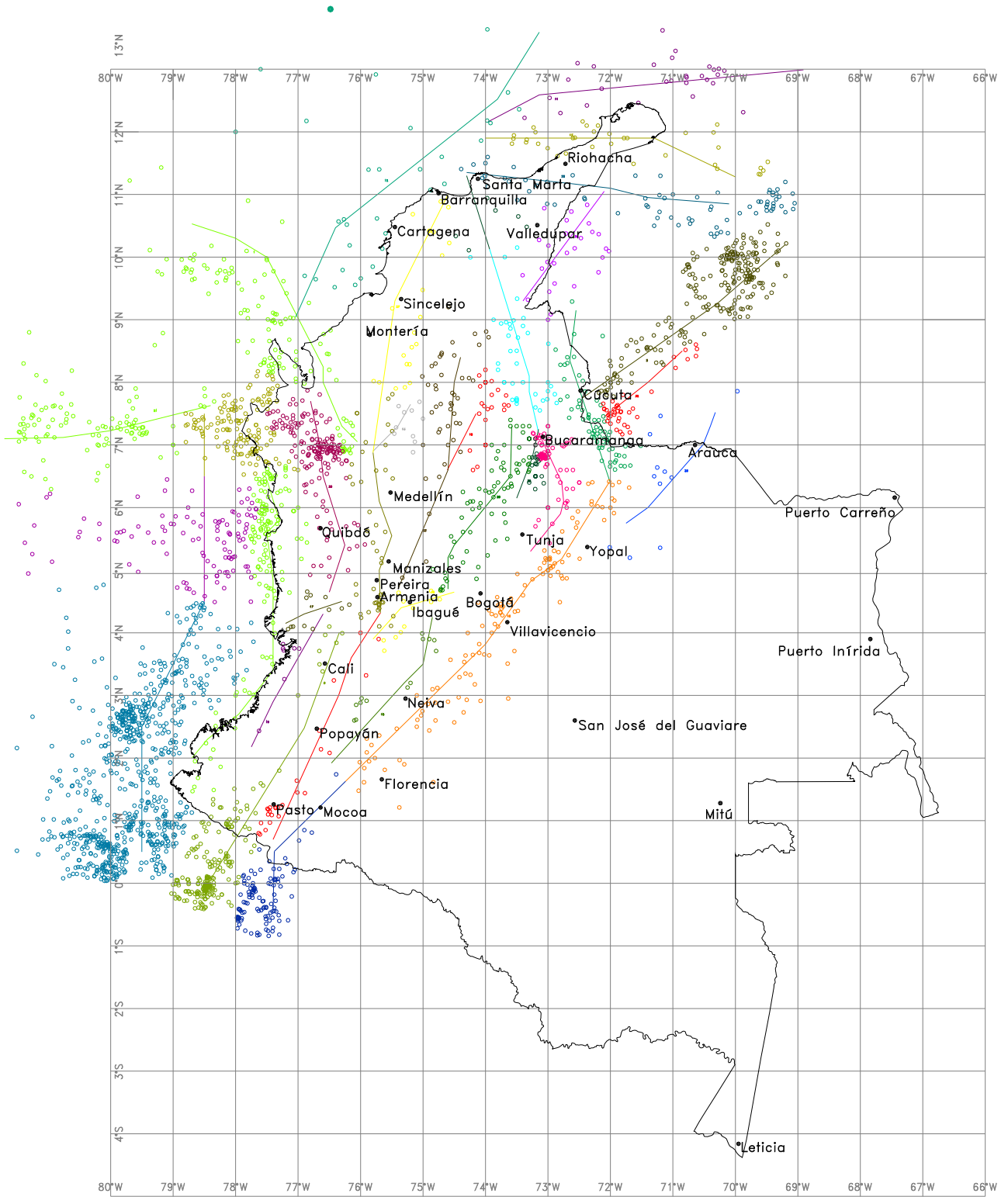


Figura 9 Asignación de eventos superficiales

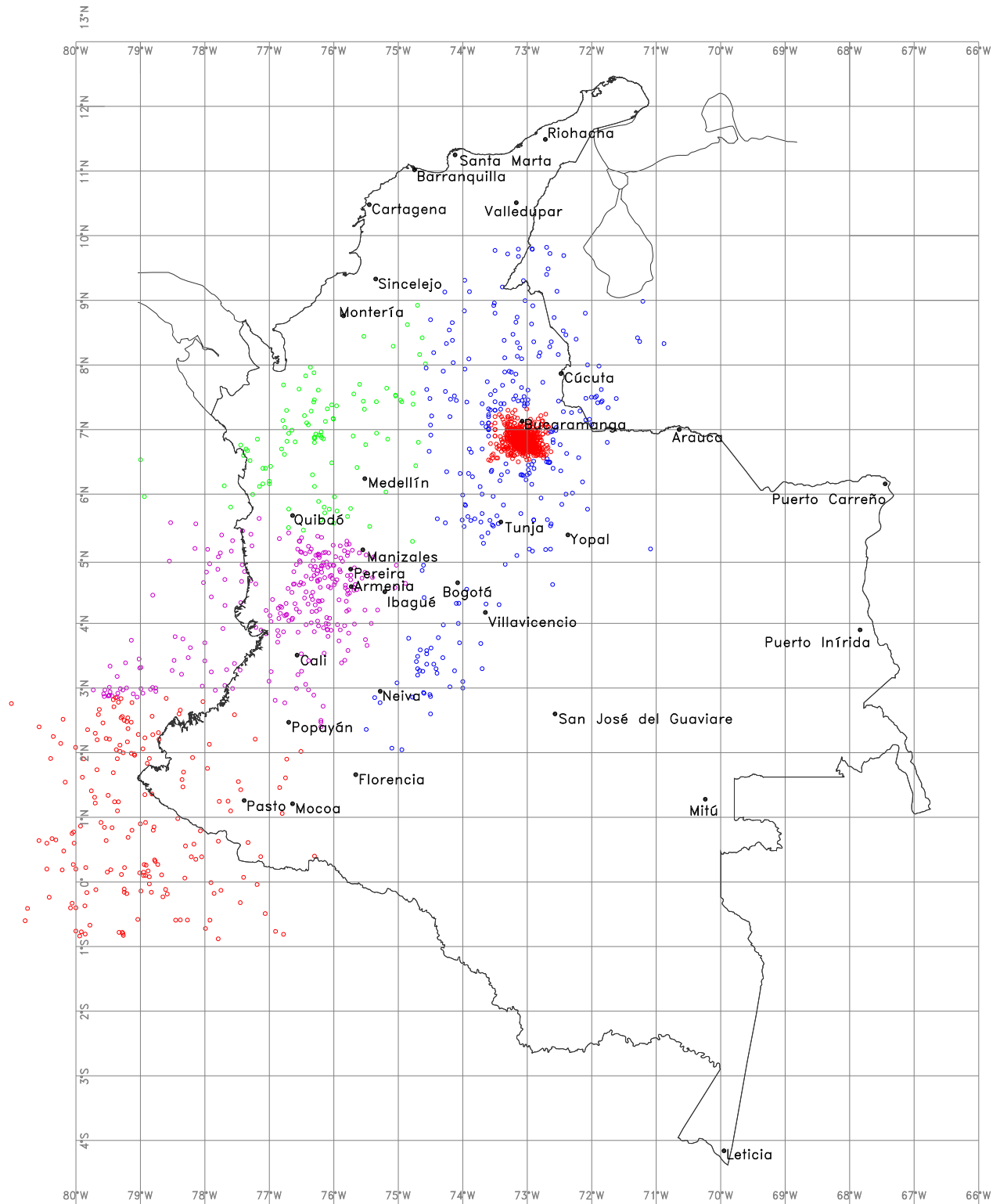


Figura 10 Asignación de eventos profundos

Modelo de sismicidad local de Poisson

En un modelo de sismicidad de Poisson, la actividad de la i -ésima fuente sísmica se especifica como función de la tasa de excedencia de las magnitudes, $\lambda(M)$, que ahí se generan. La tasa de excedencia de magnitudes mide qué tan frecuentemente se generan en una fuente temblores con magnitud superior a una dada. En el presente estudio, para todas las fuentes sísmicas la función $\lambda(M)$ es una versión modificada de la relación de Gutenberg y Richter (1944). En estos casos, la sismicidad queda descrita de la siguiente manera (Cornell 1968)

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}}$$

donde M_0 es la mínima magnitud relevante, tomada igual a 4.0 en este estudio. λ_0 , β , y M_u son parámetros que definen la tasa de excedencia de cada una de las fuentes sísmicas. Dado entonces que se trata de un proceso de Poisson la densidad de probabilidad para las magnitudes es de la siguiente forma:

$$p(M) = -\frac{d\lambda(M)}{dM} = \lambda_0 \beta \frac{e^{-\beta M}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}}, M_0 \leq M \leq M_u$$

En el Anexo 2, en las figuras 130 a 167 se presentan las curvas de excedencia utilizando este modelo para cada una de las fuentes sismogénicas empleadas en el presente estudio.

Parametrización de las fuentes

Una vez se asignan los eventos a cada una de las fuentes sísmicas se procede a su parametrización para calcular los parámetros λ y β .

Para cada una de las fuente se calculan los parámetros a partir del método de máxima verosimilitud (McGuire 2004) el cual demostró reflejar con una mayor calidad el valor de ambos parámetros si se compara con el método de regresiones lineales, el cual ha sido utilizado ampliamente a nivel mundial y fue además el utilizado en los estudios previos realizados por la AIS.

Para realizar la parametrización de las fuentes se determina una magnitud umbral (M_0) igual a 4.0 por varias razones, entre ellas la de la eliminación automática de un gran porcentaje de las réplicas y porque eventos con magnitud inferior a esta no generan daños considerables.

El parámetro λ describe la actividad de la falla en una escala de tiempo determinada que para fines de este estudio se definió en años. El valor de este parámetro es igual a

la tasa de actividad anual de la falla calculada a partir del número de eventos con magnitud mayor o igual a la umbral (N) dividido entre la ventana de tiempo en el cual fueron observados (t).

$$\lambda = \frac{N}{t}$$

La ventana de tiempo t para este caso consistió en el número de años a partir del cual el catálogo puede considerarse como completo que como se vio corresponde al año 1962. El parámetro β describe la pendiente de la regresión logarítmica siguiendo la definición de la ecuación de regresión de magnitudes establecida por Gutenberg y Richter que tiene la forma:

$$N(m) = e^{(\lambda - \beta m)}$$

y se calcula como:

$$\beta = \frac{N}{\sum_{i=1}^N (M - M_0)}$$

donde N es el número de eventos con magnitud mayor o igual a la umbral (M_0) entre la sumatoria de la diferencia entre la magnitud de los eventos (M) y la magnitud umbral. Este parámetro muestra la capacidad que tiene una fuente sísmica de generar eventos de grandes magnitudes, la cual aumenta conforme este parámetro toma valores menores.

Adicionalmente, al parámetro β se le calcula su coeficiente de variación (CV) a partir de la división que hay de la media entre la desviación estándar para dar un manejo apropiado a este parámetro dado que se trata de una variable aleatoria.

$$CV = \frac{1}{\sqrt{N-1}}$$

Como último dato de entrada se calcula para cada una de las fuentes la magnitud última (M_U) que representa la máxima magnitud que se espera pueda generarse en cada falla. La determinación de este valor proviene de estudios anteriores los cuales son generalmente aceptados entre especialistas, la evaluación de la longitud de ruptura máxima de cada fuente así como de características morfotectónicas. Para el caso de la evaluación de M_U a partir de la longitud de ruptura se utiliza la siguiente relación:

$$M_U = 5.08 + 1.16 \text{Log}(L_r)$$

donde M_U está dada en M_S y la longitud de ruptura (L_r) está en kilómetros.

Relaciones de atenuación de intensidades sísmicas utilizadas

Como sucede con todas liberaciones de energía, existe una atenuación de la intensidad de ésta conforme se aleja el observador. En el caso de los sismos la tendencia general muestra que a medida que aumenta la distancia de observación, la intensidad medida a través del movimiento del terreno se atenúa. (Sarria 1995), (Sarria 2008).

Dado que existen diferentes maneras de medir la magnitud, como fue explicado anteriormente, es común que las leyes de atenuación se encuentren formuladas a partir de una magnitud determinada para lo que se requiere que el catálogo utilizado sea consecuente con ésta.

Adicionalmente las leyes de atenuación relativamente recientes permiten calcular la atenuación de la energía expresada en aceleración, velocidad o desplazamiento de forma espectral, lo cual es importante dado que la atenuación es diferente para ondas con diferente contenido frecuencial.

Las leyes de atenuación entonces pueden verse de forma general como:

$$I = f(M, r, T)$$

donde:

I = Intensidad

M = Magnitud del sismo

r = Distancia hipocentral

T = Período natural de vibración

En la tabla 4 se resumen las relaciones de atenuación evaluadas en el presente estudio donde se referencia el autor, el año de publicación, la intensidad medida, el tipo de magnitud utilizada y el rango de ordenadas espectrales.

Tabla 4 Relaciones de atenuación utilizadas en el estudio

Autor(es)	Año publicación	Intensidad	Tipo de magnitud	Rango ordenadas
Campbell	1997	Aceleración	M_W	0.00 - 4 seg
Sadigh et al	1997	Aceleración	M_W	0.00 - 4 seg
Youngs et al	1997	Aceleración	$M_W - M_S$	0.00 - 3 seg
Gallego	2000	Aceleración, velocidad, desplazamiento	M_L	0.00 - 4 seg
García et al	2005	Aceleración	M_W	0.00 - 5 seg

Las figuras 11 a 17 ilustran las relaciones de atenuación utilizadas en el presente estudio para diferentes magnitudes. Se presentan en el siguiente orden:

- 1 Campbell strike/reverse (Campbell 1997)
- 2 Gallego zona activa/subducción (Gallego 2000)
- 3 García et al. (García et al 2005)
- 4 Sadigh et al. (Sadigh et al 1997)
- 5 Youngs et al. (Youngs et al 1997).

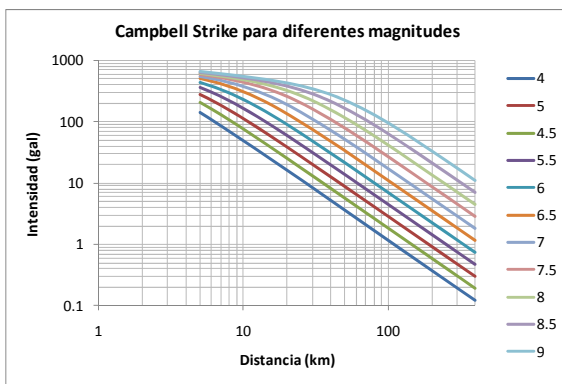


Figura 11 Relación de atenuación Campbell-Strike para diferentes magnitudes

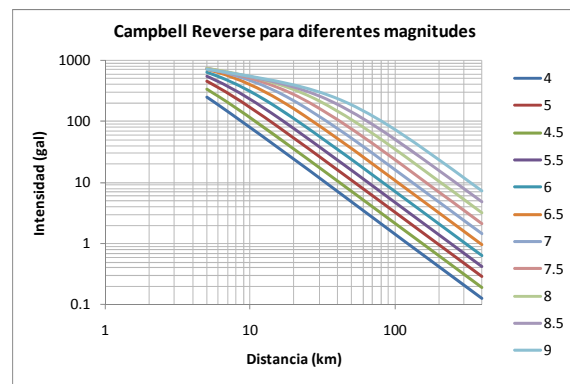


Figura 12 Relación de atenuación Campbell-Reverse para diferentes magnitudes

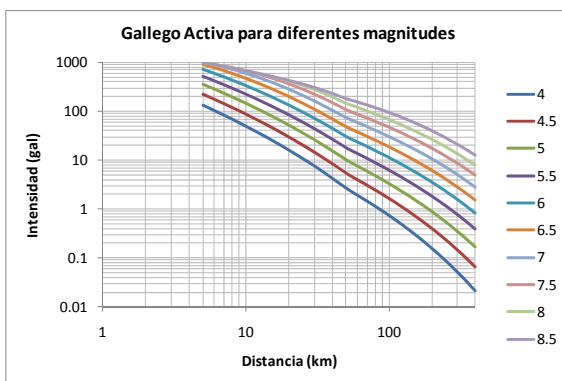


Figura 13 Relación de atenuación Gallego zona activa para diferentes magnitudes

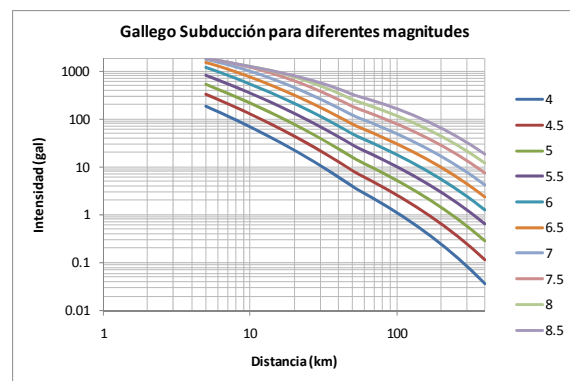


Figura 14 Relación de atenuación Gallego zona subducción para diferentes magnitudes

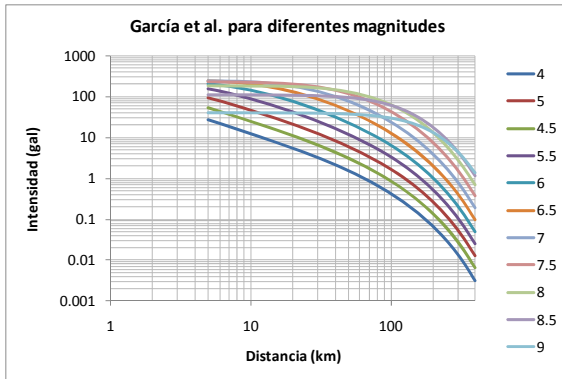


Figura 15 Relación de atenuación García et al. para diferentes magnitudes

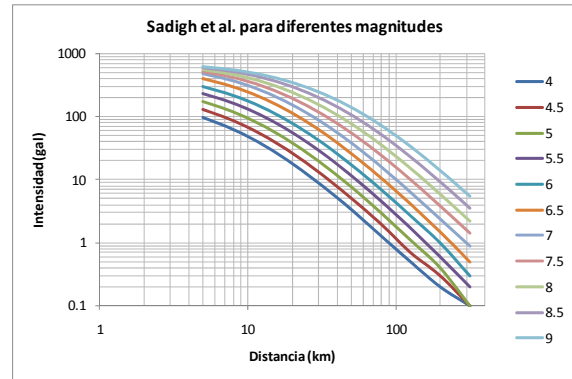


Figura 16 Relación de atenuación Sadigh et al. para diferentes magnitudes

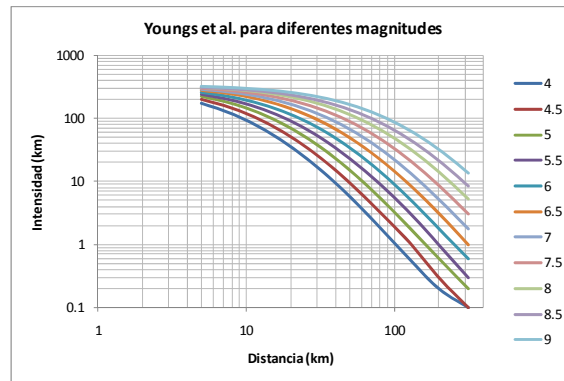


Figura 17 Relación de atenuación Youngs et al. para diferentes magnitudes

Finalmente a modo comparativo en las figuras 18 y 19 se presentan en una misma gráfica diferentes relaciones de atenuación para algunas magnitudes, donde se pueden observar con mayor claridad las diferencias entre las mismas.

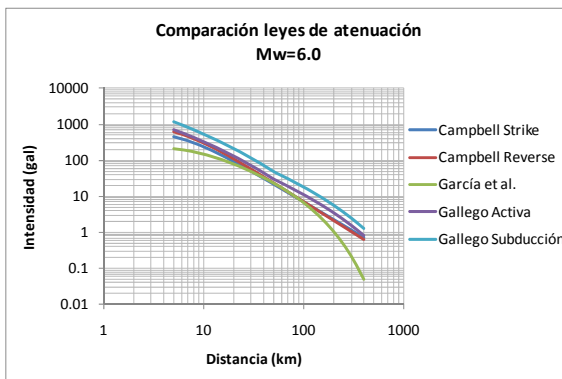


Figura 18 Comparación relaciones de atenuación para Mw=6.0

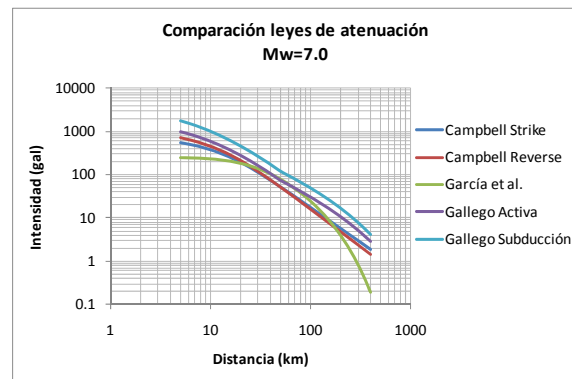


Figura 19 Comparación relaciones de atenuación para Mw=7.0

Selección de las relaciones de atenuación

Debido a la existencia de múltiples relaciones de atenuación, se hizo una verificación de sesgos y desviaciones estándar en los períodos naturales de vibración {0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 s} para compararlos con los valores de los espectros de respuesta de registros reales en el territorio colombiano.

En el presente estudio se definieron tres mecanismos de generación de terremotos, asociados a funciones de atenuación diferentes (fuentes corticales, fuentes de subducción y fuentes de Benioff). Para cada una de estas se realizó la selección de eventos que se presenta a continuación, buscando registros en diferentes rangos de distancia, teniendo preferencia por aquellos de fuente cercana y de magnitudes considerablemente altas. De cada uno de esos eventos se realizó el cálculo de los espectros de respuesta de aceleración. A partir de su magnitud y distancia al sitio de registro se calculó la aceleración esperada empleando las leyes de atenuación consideradas. El residual se calcula entonces como:

$$\text{Residual} = \ln(A_{\text{real}} / S_{\text{a calculado}})$$

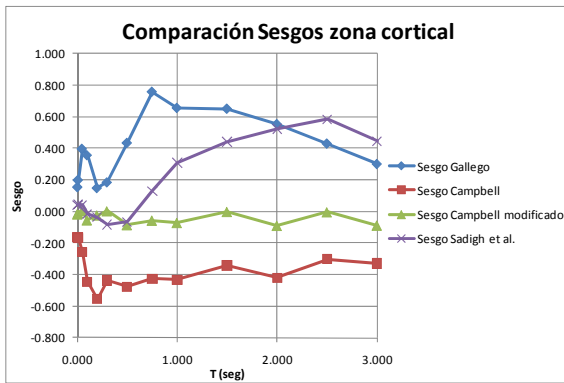
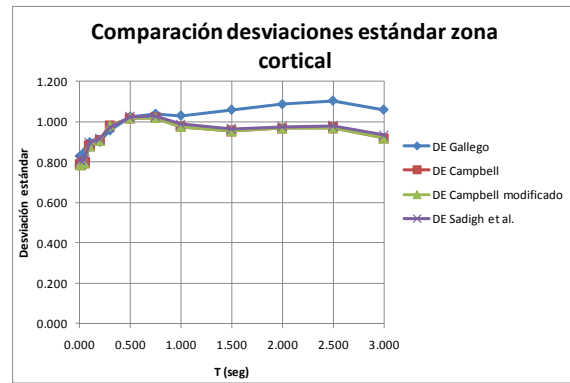
Finalmente, a partir de esta información se calculan los sesgos y las desviaciones estándar de los residuales, con el propósito de identificar las relaciones de atenuación más adecuadas para el caso colombiano. Cabe mencionar que los resultados encontrados están condicionados a la cantidad y calidad de los registros acelerográficos actualmente disponibles. En la medida en que se cuente con mayor número de registros en la Red Nacional de Acelerógrafos, los resultados pueden ser actualizados.

Zona cortical

Para la zona cortical se estudiaron las siguientes leyes de atenuación:

- Campbell Strike
- Gallego Activa
- Sadigh et al.

Del análisis se estableció que la relación de menor sesgo es la ecuación de Campbell Strike, a la cual se le realizan unos ajustes para disminuir aún más el sesgo. A continuación se presentan los residuales tanto en magnitud como en distancia así como los sesgos y desviaciones estándar para las diferentes ordenadas espectrales. Las figuras 20 y 21 presentan la comparación de sesgos y desviaciones estándares para las 4 ecuaciones de atenuación estudiadas. De estas figuras se concluye que la ecuación de Campbell-Strike Modificada es la mejor ley o relación de atenuación para la zona de actividad sísmica cortical.

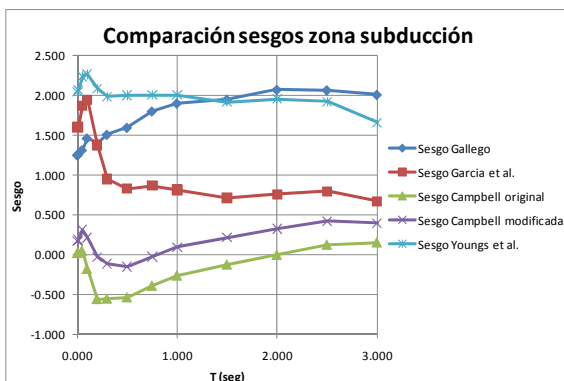
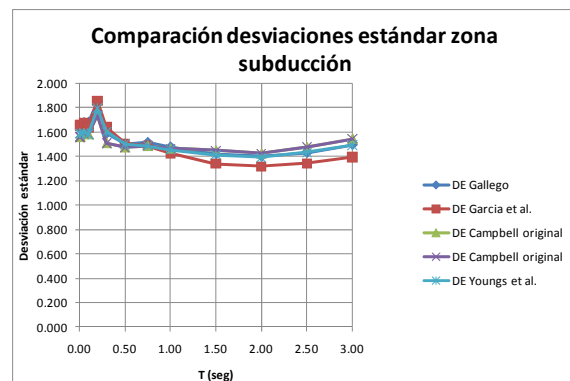

Figura 20 Comparación sesgos zona cortical

Figura 21 Comparación desviaciones estándar zona cortical

Zona de subducción

Para la zona de subducción se estudiaron las siguientes relaciones de atenuación:

- Campbell Reverse
- Gallego Subducción
- García et al.
- Youngs et al.

Del análisis se estableció que la relación Campbell Reverse es la de menor sesgo y que realizándole algunos ajustes se puede disminuir aún más el sesgo. A continuación se presentan los residuales tanto en magnitud como en distancia así como los sesgos y desviaciones estándar para las diferentes ordenadas espectrales. Las figuras 22 y 23 presentan la comparación de sesgos y desviaciones estándares para las 5 relaciones de atenuación estudiadas. De estas figuras se concluye que la ecuación de Campbell-Reverse Modificada es la mejor ley o relación de atenuación para la zona de actividad sísmica de subducción.


Figura 22 Comparación sesgos zona subducción

Figura 23 Comparación desviaciones estándar zona subducción

Zona de Benioff

Para la zona de Benioff y de actividad sísmica profunda se estudiaron las siguientes relaciones de atenuación:

- Campbell Reverse
- Gallego Subducción
- García et al.
- Youngs et al.

Se utilizó de nuevo para efectos comparativos la relación Campbell-Reverse Modificada, utilizada en la zona de subducción; sin embargo, se encontró que para este caso la más relación más apropiada es la de García et al. Las figuras 24 y 25 presentan la comparación de sesgos y desviaciones estándares para las 5 relaciones de atenuación estudiadas. De estas figuras se concluye que la ecuación de García et al es la ley o relación que mejor representa la atenuación para la zona de Benioff.

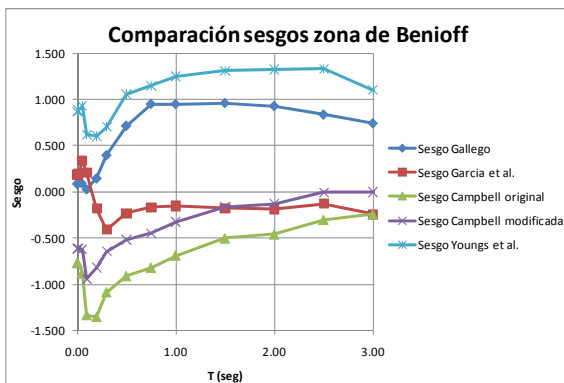


Figura 24 Comparación sesgos zona de Benioff

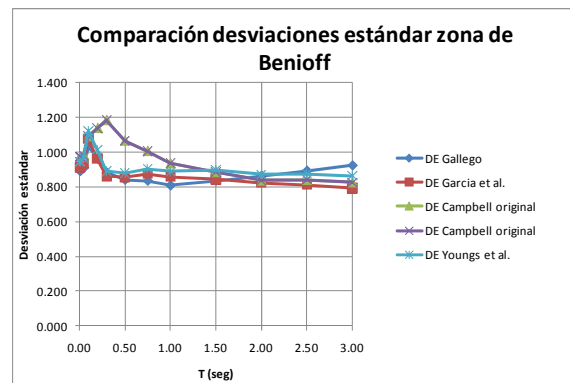


Figura 25 Comparación desviaciones estándar zona de Benioff

Es importante señalar que para efectos comparativos también se realizaron los cálculos de la amenaza sísmica con la atenuación de Gallego, la cual se utilizó ampliamente en estudios previos. Esta relación de atenuación presentó buenos resultados en el caso del sismo del Quindío en 1999.

5 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA

Introducción

Caracterizadas cada una de las fuentes mediante los parámetros descritos en el capítulo anterior, se realiza el cálculo de la amenaza sísmica para determinar los diferentes valores de los diversos parámetros de intensidad tales como aceleración, velocidad y desplazamiento en los puntos de interés inscritos dentro del territorio de la República de Colombia.

Cálculo de la amenaza sísmica

Una vez conocidas la sismicidad de las fuentes, los patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas, y los efectos de la geología local, puede calcularse la amenaza sísmica considerando la suma de los efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se encuentra la estructura. La amenaza, expresada en términos de las tasas de excedencia de intensidades a , se calcula mediante la siguiente expresión: (Ordaz 2000)

$$\nu(a) = \sum_{n=1}^N \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial M} \Pr(A > a | M, R_i) dM$$

donde la sumatoria abarca la totalidad de las fuentes sísmicas N , y $\Pr(A > a | M, R_i)$ es la probabilidad de que la intensidad exceda un cierto valor, dadas la magnitud del sismo M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio R_i . Las funciones $\lambda_i(M)$ son las tasas de actividad de las fuentes sísmicas. La integral se realiza desde M_0 hasta M_u , lo que indica que se toma en cuenta, para cada fuente sísmica, la contribución de todas las magnitudes.

Conviene hacer notar que la ecuación anterior sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos. En realidad son volúmenes, por lo que los epicentros no sólo pueden ocurrir en los centros de las fuentes sino, con igual probabilidad, en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. Se debe tomar en cuenta esta situación subdividiendo las fuentes sísmicas en triángulos, en cuyo centro de gravedad se considera concentrada la sismicidad del triángulo. La subdivisión se hace recursivamente hasta alcanzar un tamaño de triángulo suficientemente pequeño como para garantizar la precisión en la integración de la ecuación anterior. En vista de que se supone que, dadas la magnitud y la distancia, la intensidad tiene distribución lognormal, la probabilidad $\Pr(A > a | M, R_i)$ se calcula de la siguiente manera (Ordaz 2000).

$$\Pr(A > a | M, Ro) = \phi \left(\frac{1}{\sigma_{Lna}} \ln \frac{E(A | M, Ri)}{a} \right)$$

Siendo $\phi(\cdot)$ la distribución normal estándar, $E(A|M, Ri)$ el valor medio del logaritmo de la intensidad (dado por la ley de atenuación correspondiente) y σ_{Lna} su correspondiente desviación estándar.

La amenaza sísmica se expresa, entonces, en términos de la tasa de excedencia de valores dados de intensidad sísmica. Como se ha indicado, en este caso la intensidad sísmica, a , se mide con las ordenadas del espectro de respuesta de pseudo-aceleraciones para 5% del amortiguamiento crítico y el periodo natural de vibración de la edificación de interés, T .

Probabilidad de excedencia y períodos de retorno

La forma más común de expresar la amenaza sísmica de un lugar es a través de la probabilidad de excedencia de un parámetro típico. Para el caso de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente se llevó a cabo la estimación de los parámetros A_a, A_v, A_e y A_d . Los dos primeros parámetros se encuentran asociados con el sismo de diseño mientras que los otros dos corresponden al sismo de seguridad limitada y de umbral de daño respectivamente.

El sismo de diseño se encuentra establecido para que el nivel de amenaza tenga una probabilidad de excedencia del 10% en una vida útil de la estructura de 50 años; el sismo de seguridad limitada tiene asociada una probabilidad de excedencia del 20% en 50 años; y el sismo de umbral de daño tiene una probabilidad de excedencia del 80% en 50 años. La probabilidad q de que se exceda un valor definido de la aceleración horizontal del terreno a_o sin importar éste cual sea en un año puede expresarse a través de:

$$q = P(a \geq a_o, 1 \text{ año})$$

La probabilidad de excedencia se puede asociar con el periodo de retorno a través de la siguiente expresión:

$$\bar{T} = \frac{1}{q}$$

donde el periodo de retorno \bar{T} es el tiempo medio de recurrencia en años de un evento que tiene una aceleración horizontal mayor o igual a a_o .

Por último, se define q_o como la probabilidad de que se tenga como mínimo un evento que tenga una aceleración mayor o igual a a_o , la cual se puede calcular de la siguiente manera:

$$q_o = 1 - (1 - q)^t$$

donde t es el tiempo de exposición. Conociendo entonces lo anterior se puede también expresar q_o como:

$$q_o = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t$$

Para el sismo de diseño $q_o=0.1$ y $t=50$ años lo que conduce a un periodo de retorno de 475 años. Para el sismo de seguridad limitada $q_o=0.2$ y $t=50$ años lo que conduce a un periodo de retorno de 225 años y para el sismo de umbral de daño $q_o=0.8$ y $t=50$ años lo que lleva a un periodo de retorno de 31 años.

Que el período de retorno de un evento corresponda a un número determinado de años no garantiza que este ocurra dentro de este lapso y siempre debe entenderse que dicho período representa la recurrencia media para que ocurra un evento que supere cierto parámetro establecido.

Programa CRISIS 2007 V7.2

El programa CRISIS 2007 V7.2 es la versión más reciente de la serie de programas CRISIS que han sido ampliamente aceptados a nivel mundial como una de las herramientas más idóneas para la evaluación de la amenaza sísmica de acuerdo con el estado del arte. El programa permite la definición de fuentes tanto de línea (como las utilizadas en el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia de 1996) como también zonas fuente tipo área. El programa asume que dentro de una zona fuente, toda la sismicidad se encuentra uniformemente distribuida por unidad de área. Debido a lo anterior, se hace necesaria la creación de subfuentes que son creadas al dividir las fuentes originales, lo que permite convertir la integración en el espacio como una suma aritmética debido a la discretización. La forma en la que el programa realiza esta división es a través de la formación de triángulos equiláteros cuya relación del tamaño de éste con la distancia mínima al punto en estudio se define con valores ingresados por el usuario.

Los modelos de sismicidad incorporados en el programa son el de Gutenberg-Richter modificado y el del modelo del temblor característico. Para la realización de este trabajo se escogió el primero tal y como había sido explicado anteriormente.

El programa permite la evaluación de la amenaza sísmica en términos de diferentes períodos de retorno así como de diferentes períodos estructurales. Para el cálculo de

éstos últimos es necesario contar con la información de atenuación de la energía para diferentes ordenadas espectrales y con ello generar los datos de entrada necesarios para la realización de los cálculos.

Mediante el programa CRISIS 2007 V7.2 se calculan tanto el área en kilómetros cuadrados del plano fuente, como la sismicidad por unidad de área, que son parámetros que permiten comparar de una manera adecuada la sismicidad entre diferentes fuentes sísmicas dado que unifican la medida de la sismicidad en unidades consistentes. La magnitud última M_U está dada en términos de la M_W y la longitud de ruptura (L_r) está en kilómetros.

La tabla 5 presenta para cada una de las fallas el valor calculado para los dos parámetros antes explicados y que caracterizan cada falla. Analizando la tasa de actividad sísmica a lo largo de un sistema como la falla de Romeral, la falla Frontal de la Cordillera Oriental u otro similar, puede observarse claramente que dicha tasa no es uniforme a lo largo del sistema de fallamiento. De acuerdo con esto, es conveniente realizar una partición de cada uno de estos sistemas en tramos de tasas de actividad similares e incluirlos en el análisis de manera independiente.

En las figuras 26 y 27 se presentan los planos fuente superficiales y profundos modelados para el cálculo de la amenaza sísmica en el presente estudio.

En el Anexo 1 se presenta una descripción resumida del programa CRISIS 2007 donde se describe su marco teórico, la interfaz de definición de datos y una explicación de los archivos de salida del programa para las diferentes opciones que el usuario puede escoger.

Tabla 5 Parámetros de las fallas utilizadas en la modelación

Fuente	M0	λ	β	CV β	Tamaño fuente	Mu	λ/area
Arco de Dabeiba	4	2.63	1.803	0.091	2.15E+04	6.9	1.22E-04
Bahía Solano	4	2.98	1.297	0.086	1.95E+04	7.5	1.53E-04
Benioff Intermedia Sur	4	1.85	3.847	0.07	8.76E+04	8	2.11E-05
Benioff Intermedia Media	4	5.8	1.491	0.061	4.32E+04	8	1.34E-04
Benioff Intermedia Norte	4	2.17	1.912	0.1	3.02E+04	8	7.21E-05
Benioff Profunda	4	5.7	2.018	0.062	3.48E+05	7.5	1.64E-05
Boconó	4	4.93	2.034	0.066	2.47E+04	7.4	2.00E-04
Bucaramanga Santa Marta Norte	4	0.13	1.333	0.44	4.53E+03	6.5	2.87E-05
Bucaramanga Santa Marta Centro	4	0.869	2.272	0.16	1.18E+04	6.5	7.39E-05
Bucaramanga Santa Marta Sur	4	0.934	3.307	0.154	1.60E+04	6.9	5.82E-05
Cauca	4	5	2.619	0.066	2.60E+04	7.5	1.92E-04
Cimitarra	4	0.587	2.967	0.196	2.20E+03	6.5	2.67E-04
Compresión Caribe SE	4	0.587	1.646	0.196	3.85E+04	6.5	1.53E-05
Compresión Caribe SW	4	0.695	2.285	0.179	4.69E+04	6.1	1.48E-05
Cuiza	4	0.761	1.741	0.171	1.37E+04	6.6	5.54E-05
Espiritu Santo	4	0.217	2.04	0.333	4.43E+03	6.5	4.90E-05
Fallas del Magdalena	4	0.282	1.1	0.288	9.39E+03	7	3.00E-05
Frontal Cordillera Oriental Norte	4	1.48	1.497	0.122	9.69E+03	8	1.53E-04
Frontal Cordillera Oriental Centro	4	2.61	1.496	0.091	3.42E+04	8	7.63E-05
Frontal Cordillera Oriental Sur	4	2.37	2.256	0.09	1.16E+04	8	2.05E-04
Garrapatas	4	0.261	3	0.302	4.30E+03	6.5	6.07E-05
Ibagué	4	0.261	1.579	0.302	6.94E+03	6.9	3.76E-05
Junín	4	0.152	2.188	0.408	2.17E+04	7	7.01E-06
Murindó	4	3.59	1.439	0.078	7.27E+03	7.5	4.93E-04
Nido de Bucaramanga	4	32.1	1.88	0.026	8.53E+03	6.5	3.76E-03
Normal Panamá.Pacífico	4	2.2	1.829	0.1	2.46E+04	7.1	8.94E-05
Oca	4	1.63	2.055	0.116	1.32E+04	6.5	1.23E-04
Palestina	4	0.978	1.685	0.151	1.23E+04	6.5	7.96E-05
Perijá	4	0.586	3.068	0.196	2.16E+04	6.5	4.74E-05
Puerto Rondón	4	0.239	1.803	0.316	5.22E+03	6.7	4.58E-05
Romeral	4	1.54	2.028	0.119	2.76E+04	7.6	5.58E-05
Romeral Norte	4	0.457	1.875	0.223	2.67E+04	6.5	1.71E-05
Salinas	4	1.63	1.913	0.116	2.34E+04	6.5	6.97E-05
Suárez	4	1.33	2.469	0.129	6.55E+03	6.5	2.03E-04
Subducción Norte	4	3.15	1.331	0.083	2.44E+04	8.6	1.29E-04
Subducción Centro	4	2.46	1.294	0.094	4.08E+04	8.6	6.03E-05
Subducción Sur	4	16.3	1.949	0.036	8.07E+04	8.9	2.02E-04
Uribante-Caparro	4	0.869	1.6	0.16	6.61E+03	7	1.31E-04

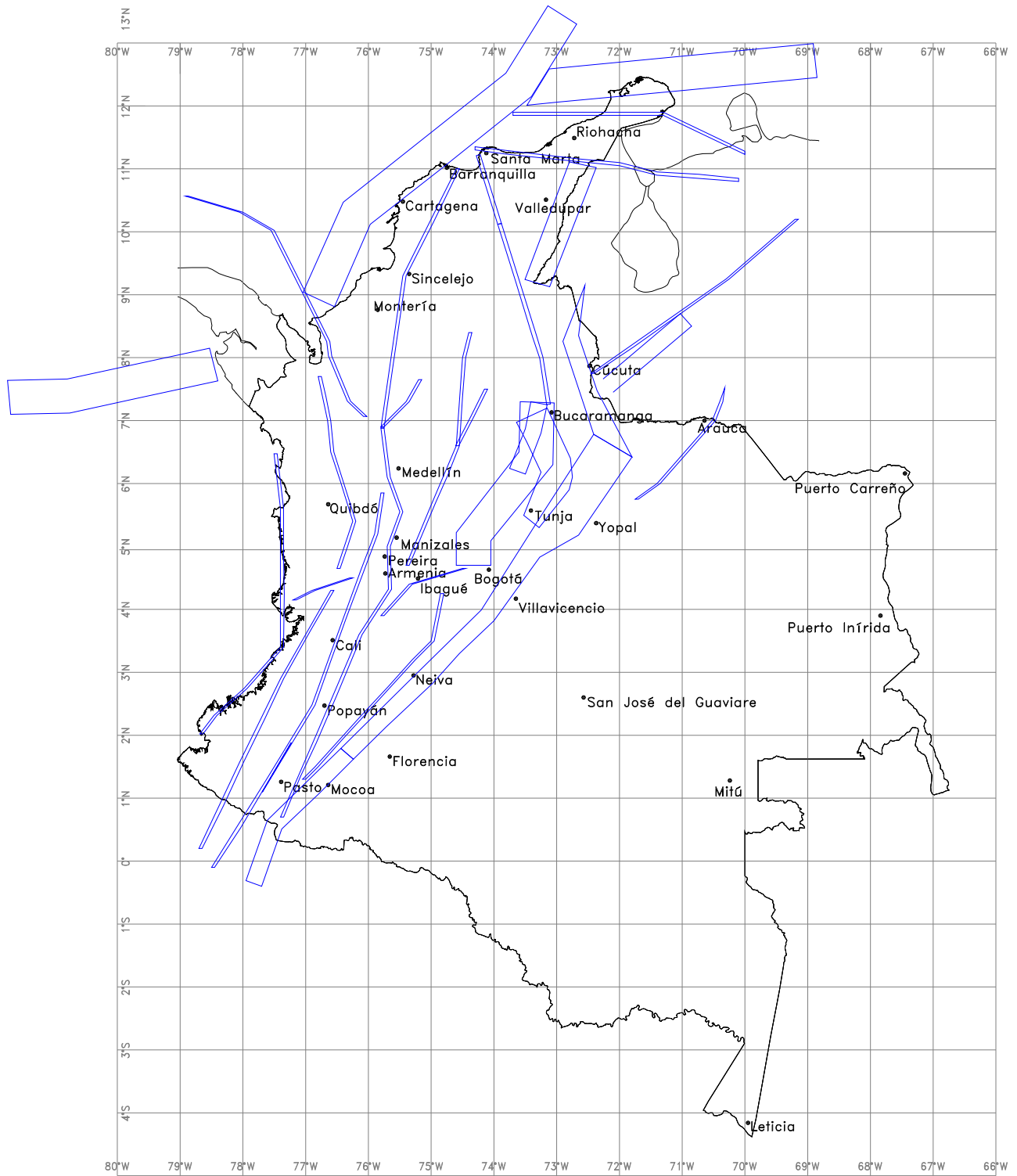


Figura 26 Planos fuentes sísmicas superficiales

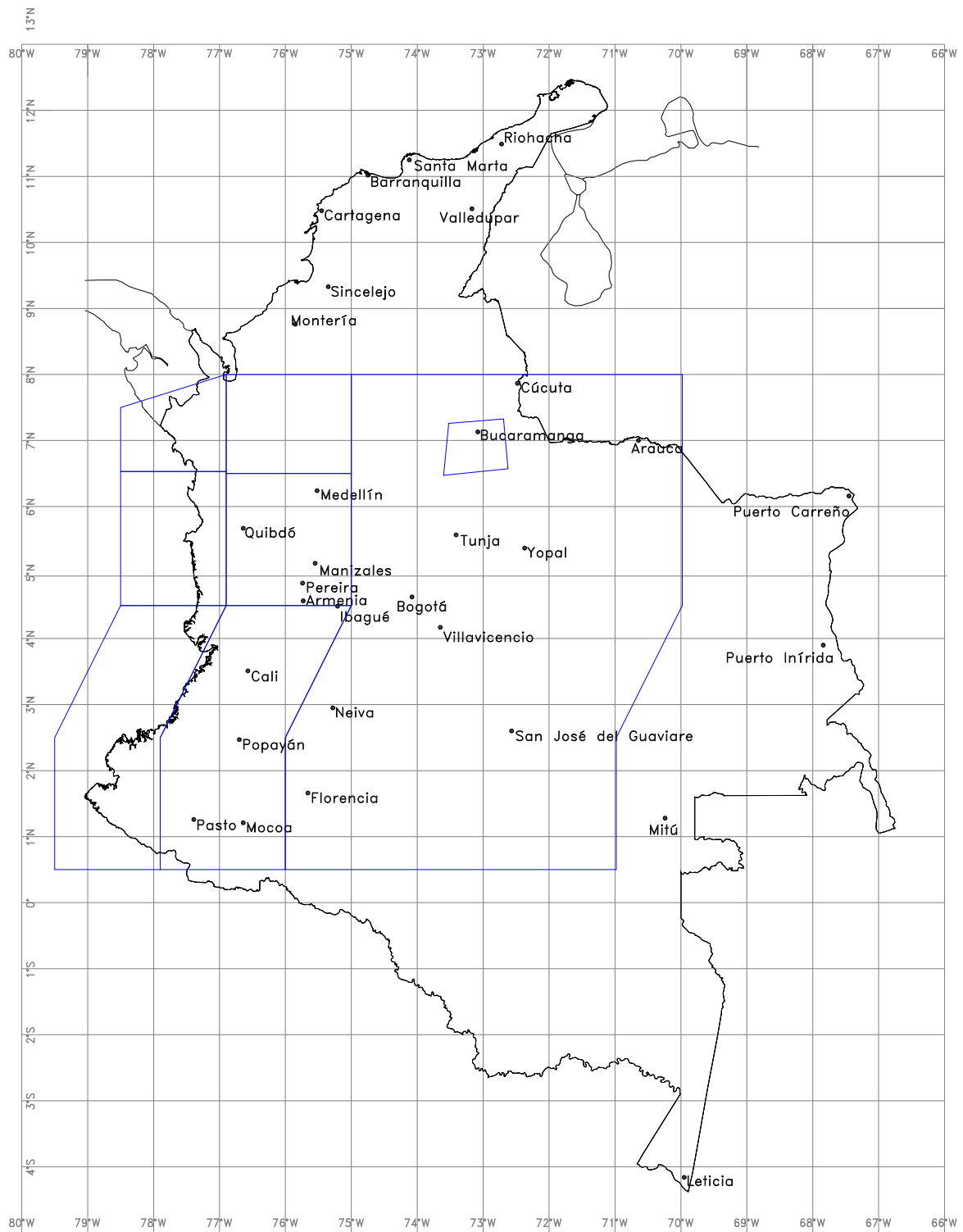


Figura 27 Planos fuentes sísmogénicas profundos

Pruebas de hipótesis

Dada la gran cantidad de fuentes que se utilizarían al tomar la información de fallas con actividad comprobada y probable a partir del mapa de deformaciones cuaternarias, se examina la posibilidad de unir tramos de fallas aledaños que compartieran parámetros de sismicidad similares.

Tras realizar la asignación de eventos a cada una de las fuentes mencionadas se observan problemas como fuentes con pocos o ningún evento asociado, lo que hace imposible poder determinar de manera adecuada los parámetros de sismicidad de dichas fuentes.

Siguiendo la metodología propuesta por Ordaz (2009) se realizó una prueba de hipótesis para inferir, de una manera puramente estadística, si fuentes aledañas presentan características similares que las permitan modelar como una sola.

El parámetro de comparación entre las diversas fuentes es la sismicidad por unidad de área que, como se ha mencionado, constituye una forma consistente de comparar la actividad de diferentes fuentes.

Utilizando la anterior metodología fueron definidas las longitudes finales de las fuentes sismogénicas para los casos de tramos que se consideraron.

Aceleración máxima para las ciudades capitales

Como resultado del cálculo de la amenaza sísmica en las figuras 28 a 31 se presentan, para cada ciudad capital de departamento, los valores de la aceleración máxima probable. Los resultados están organizados de tal manera que se muestran los valores obtenidos utilizando los modelos de atenuación: Campbell-García y Gallego. Se incluye la comparación entre los valores obtenidos redondeados al 0.05 más cercano.

Para comparar los valores con los del estudio anterior (AIS 1996) se presentan las mismas gráficas pero incluyendo los valores establecidos en dicho estudio.

En el anexo 2 se presentan para cada capital de departamento 5 espectros de amenaza uniforme para los períodos de retorno: {31, 225, 475, 1000 y 2500 años}.

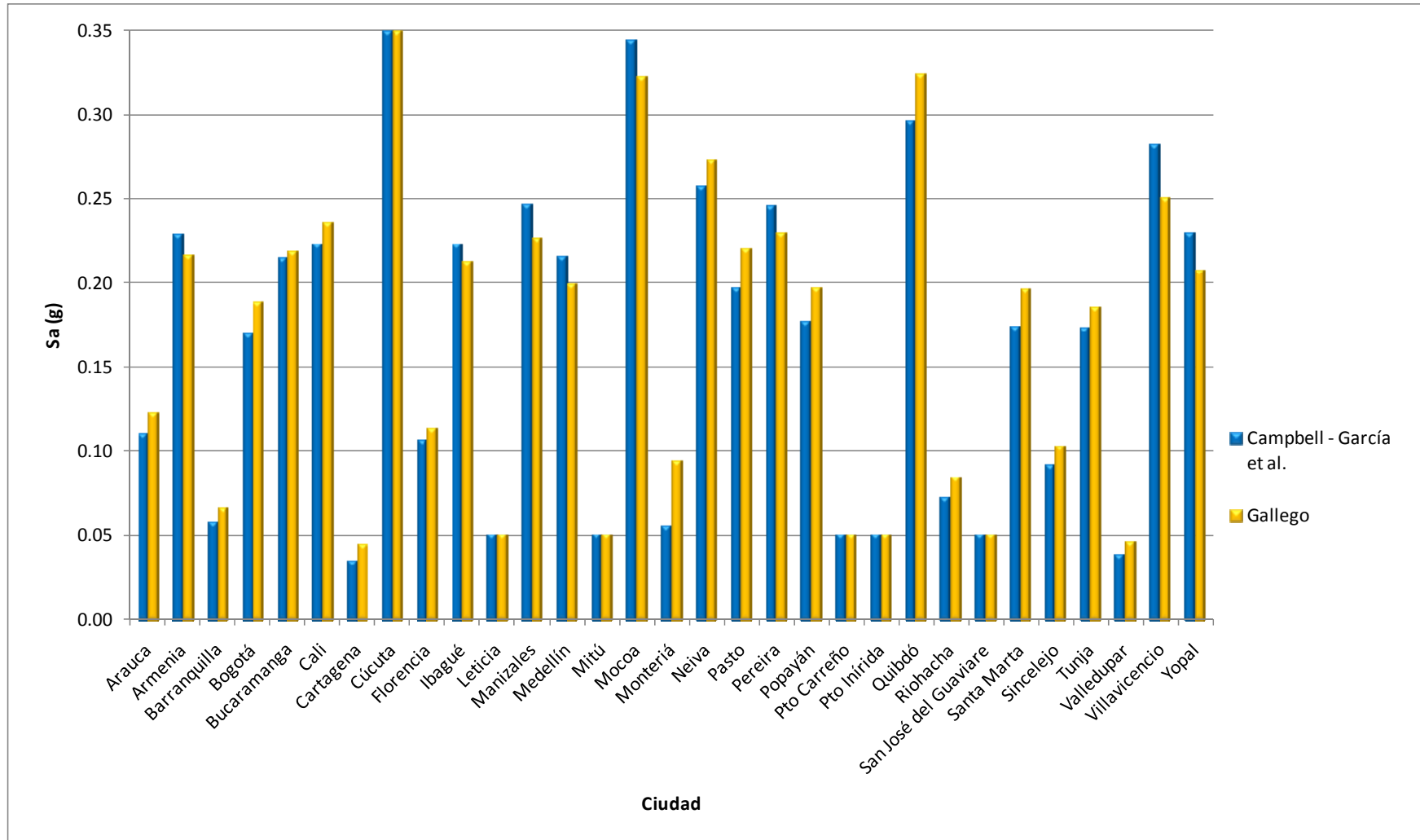


Figura 28 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años

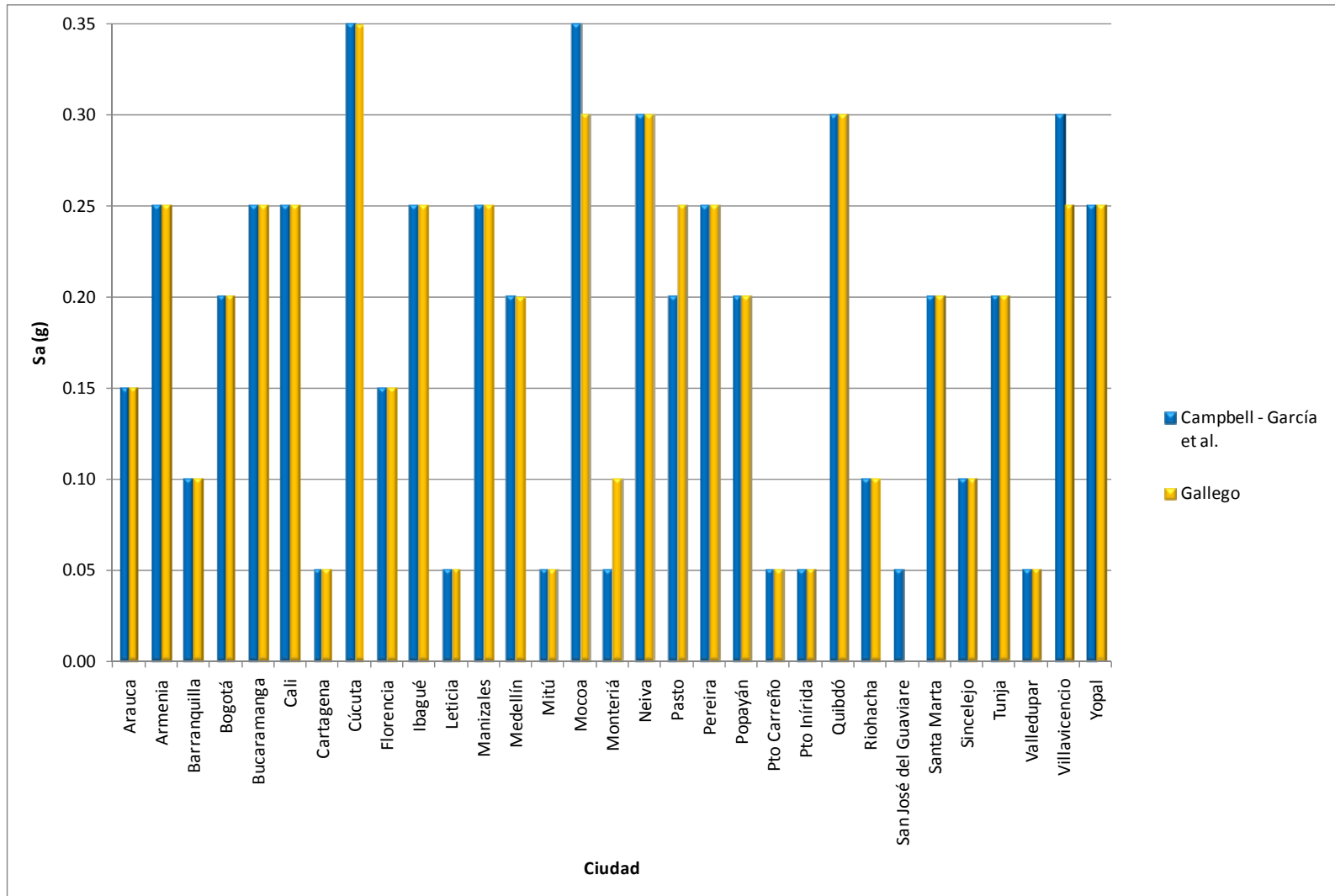


Figura 29 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos redondeados de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años

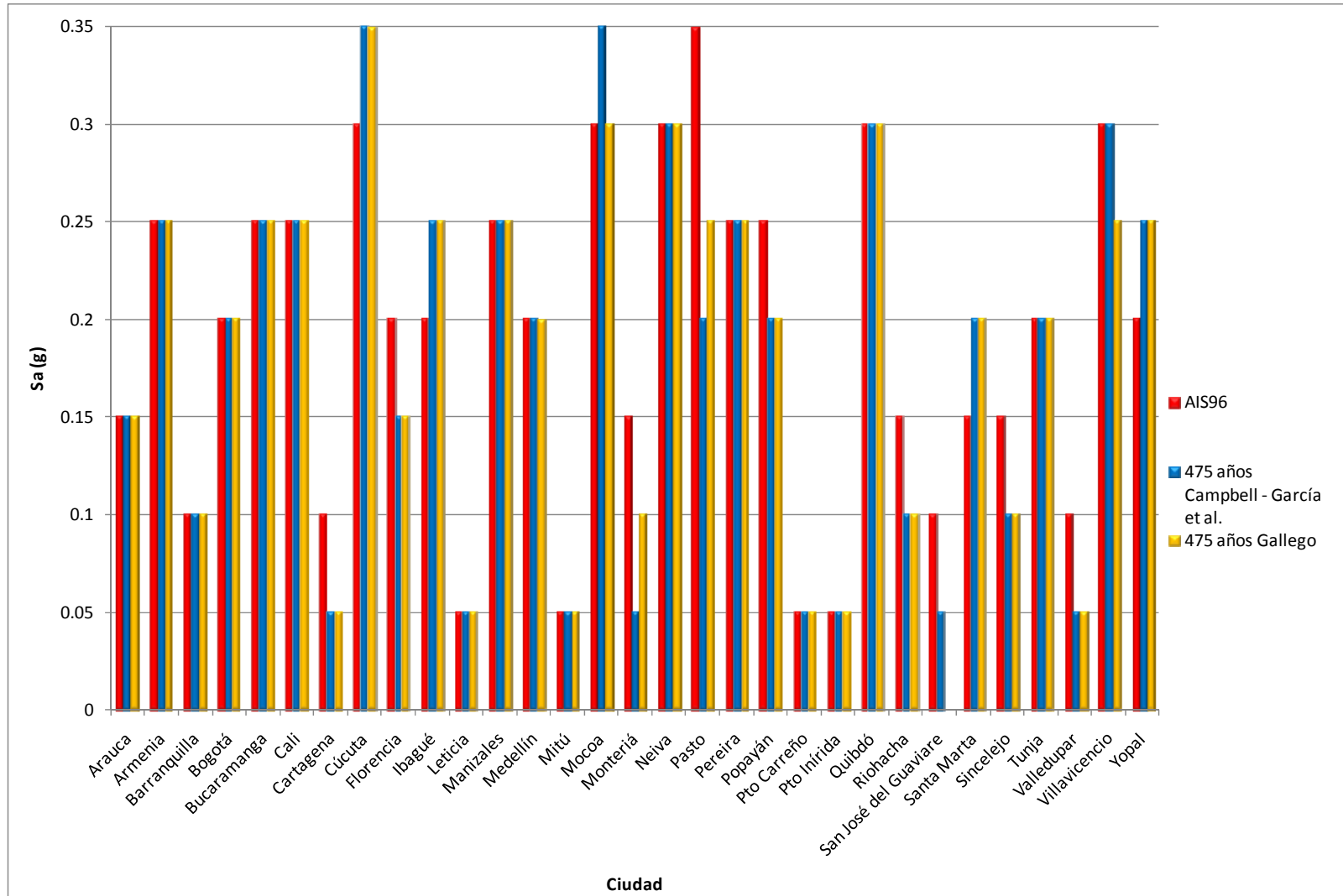


Figura 30 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años con los valores obtenidos en el estudio AIS-96

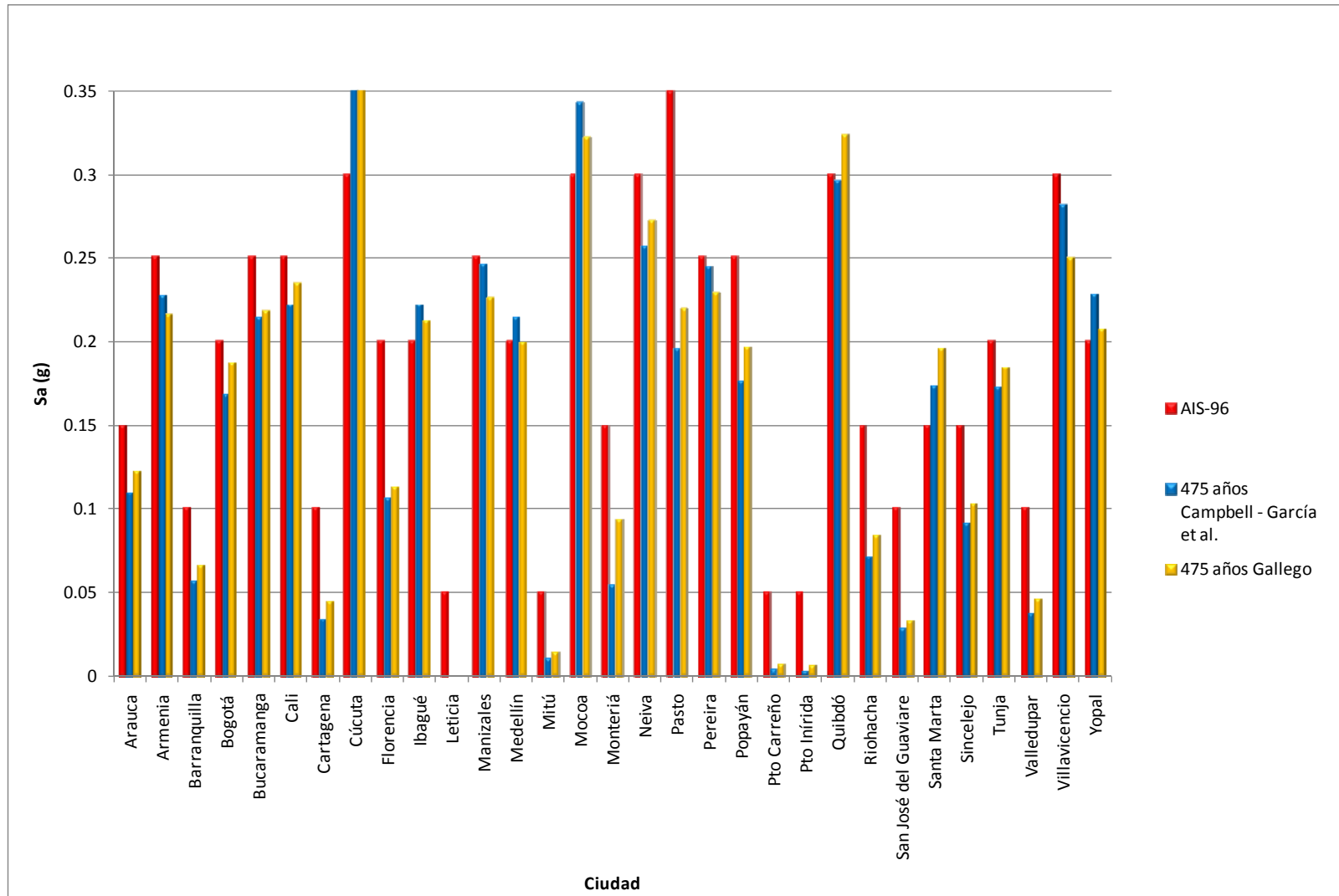


Figura 31 Comparación valores de aceleración máxima del terreno, obtenidos redondeados de los dos modelos para cada ciudad capital para un período de retorno de 475 años con los valores obtenidos en el estudio AIS-96

Aceleración máxima utilizando la sismicidad histórica

Teniendo en cuenta que el evento sísmico más antiguo que figura en los catálogos nacionales es del año 1541, se dispone de 468 años de información de eventos, lapso que difiere en tan solo 8 años del período de retorno adoptado para los movimientos sísmicos de diseño en las Normas de Diseño Sismo Resistente colombianas (10% de probabilidad de excedencia en 50 años, lo que corresponde a 475 años). Bajo esa premisa, García (2009) realizó para la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes el cálculo de la máxima aceleración horizontal en roca inferida a partir del catálogo sísmico y utilizando cualquiera de las ecuaciones de atenuación del estudio.

El análisis parte de la premisa de que la probabilidad de excedencia del parámetro de interés, el mismo que utiliza la ecuación de atenuación, por ejemplo A_a , se calcula de la siguiente manera:

$$P(A > A_a) = 1 - e^{-\beta A_a^\alpha}$$

por lo tanto, conociendo la probabilidad de excedencia q_0 de dicho parámetro para una ventana de tiempo dada se calcula A_a a partir de:

$$A_a = \frac{\alpha - \ln(1 - q_0)}{\beta}$$

la probabilidad de excedencia q_0 se calcula a partir de la relación clásica para definir el período de retorno medio de un evento \bar{T} para un período de exposición dado t suponiendo independencia estadística entre los eventos:

$$q_0 = 1 - \left(1 - \frac{1}{\bar{T}}\right)^t$$

Esto conduce a una probabilidad de excedencia de 62.7% para la ventana de tiempo más grande considerada (1541-2009) y para el mismo período de retorno ($\bar{T}=475$ años). Así se obtienen los valores máximos de aceleración que se presentan más adelante. Los valores α y β son calculados a partir de la regresión realizada utilizando los valores de A_a que se obtendrían para un lugar geográfico con cada uno de los eventos del catálogo y para una ecuación de atenuación en particular.

Vale la pena anotar una vez más que sólo a partir de 1957 fue posible la localización con alguna precisión de la profundidad de los eventos y que ésta característica es desconocida de esa fecha hacia atrás. Para la solución de este problema se adoptó una profundidad igual a 20 km para todos los eventos del catálogo de los cuales no se disponía su profundidad. A continuación se reproducen los valores de aceleración horizontal máximos en roca teniendo en cuenta tres diferentes ventanas de tiempo.

Los valores encontrados son de considerable importancia dado que permiten dar cuenta del orden de magnitud de los valores de aceleración máxima horizontal del terreno en roca.

En el Anexo 5 se presentan las aceleraciones inferidas para las capitales de departamento, diferentes ventanas de tiempo, utilizando las relaciones de atenuación de intensidades sísmicas Donovan 1 y Donovan 2 (Donovan 1973) que fueron las utilizadas en el estudio general de amenaza sísmica de Colombia en 1996. (AIS 1996), así como la recurrencia de magnitudes para algunas ciudades.

Mapas por diferentes períodos de retorno y períodos estructurales

A continuación, en las figuras 32 a 61 se presentan una serie de mapas de amenaza para diferentes períodos de retorno (31, 225, 475, 1000 y 2500 años) así como para diferentes períodos estructurales (0seg, 0.1seg, 0.3seg, 0.5seg, 1.0seg y 2.0seg). Los mapas de amenaza sísmica se expresan en términos de aceleración y en este caso las unidades han sido cm/s^2 . Adicionalmente se presentan los mapas de amenaza nacionales en términos de velocidad (cm/s) y desplazamiento (cm) para los mismos períodos de retorno.

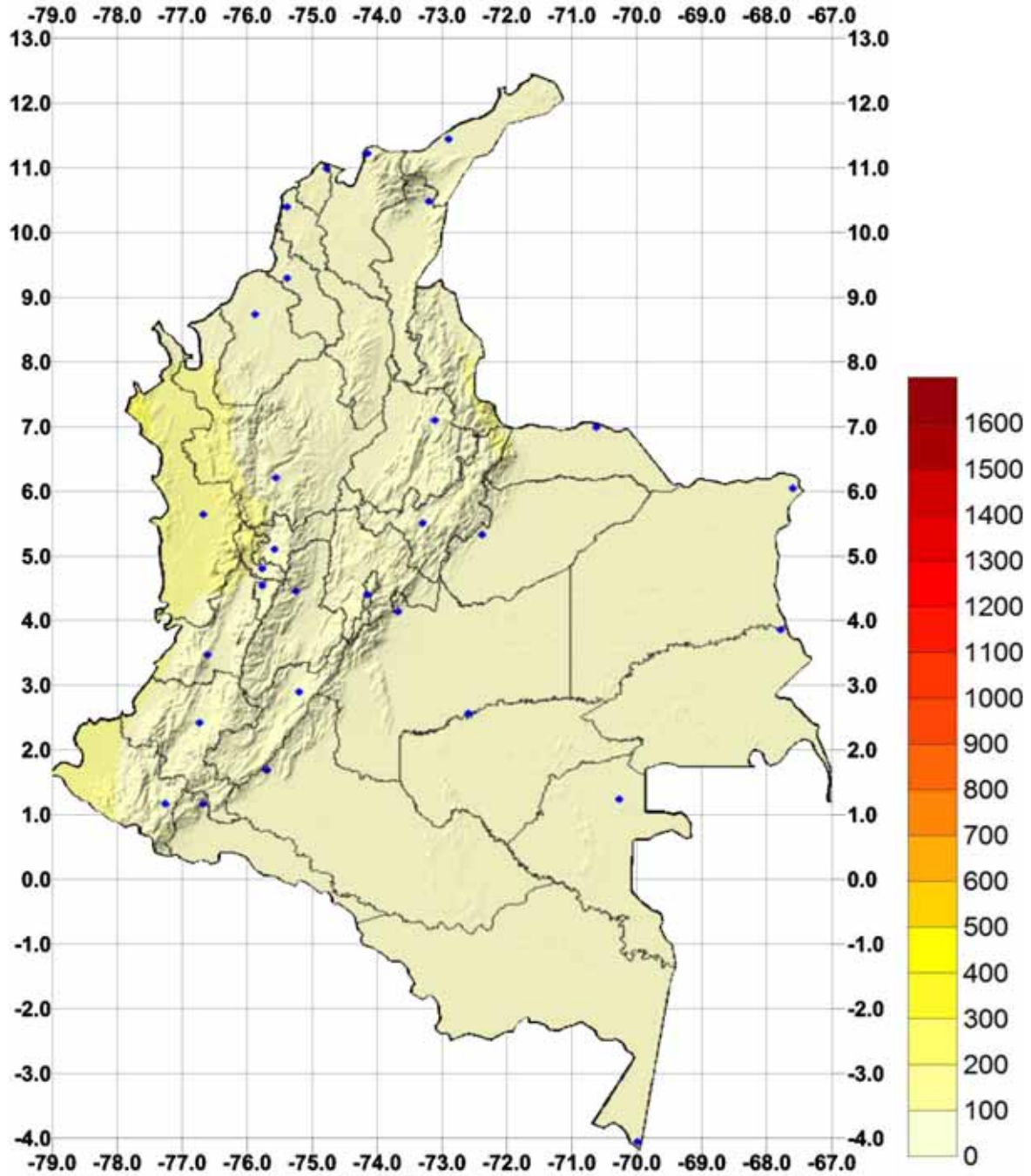


Figura 32 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 31 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

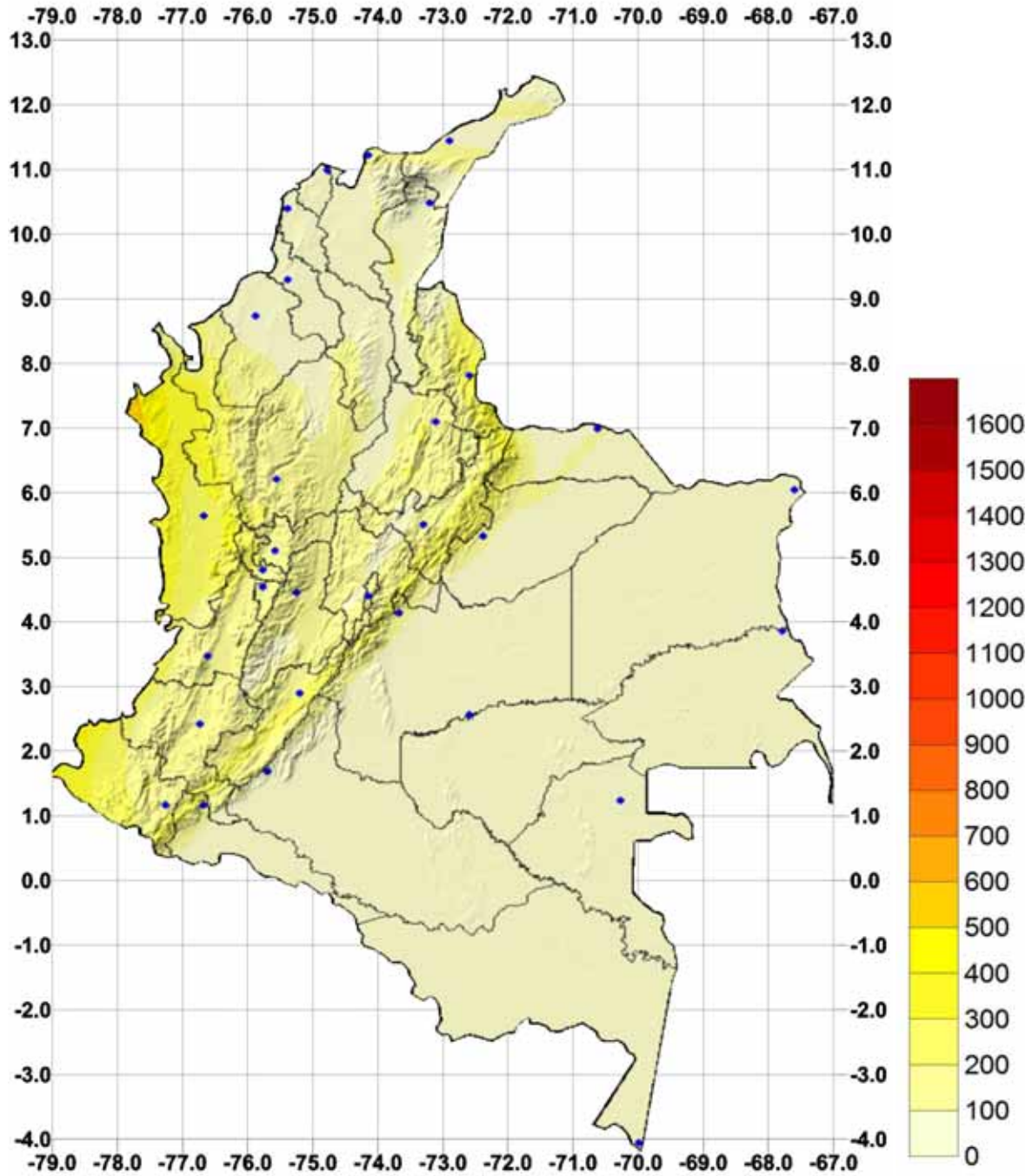


Figura 33 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 225 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

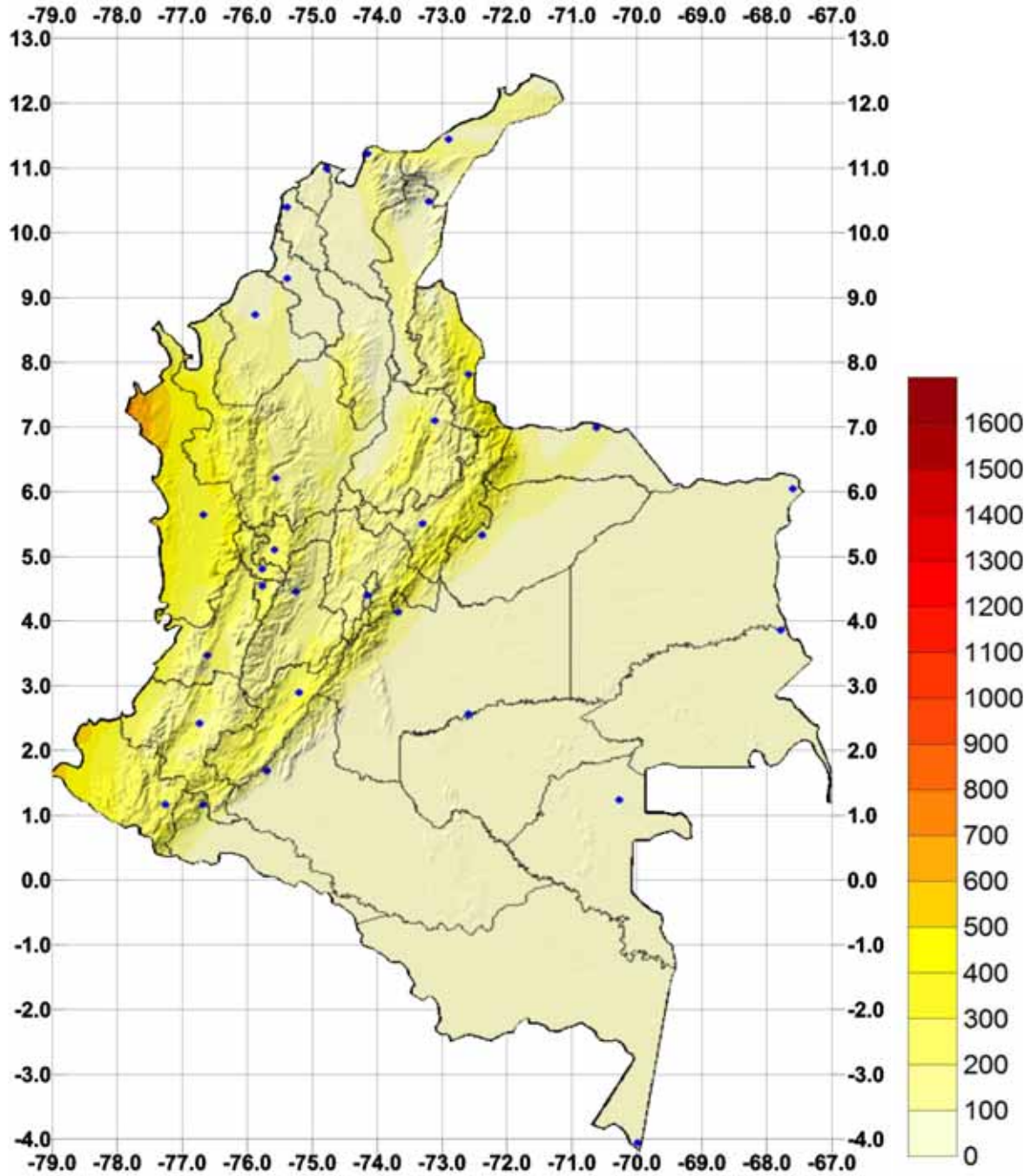


Figura 34 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

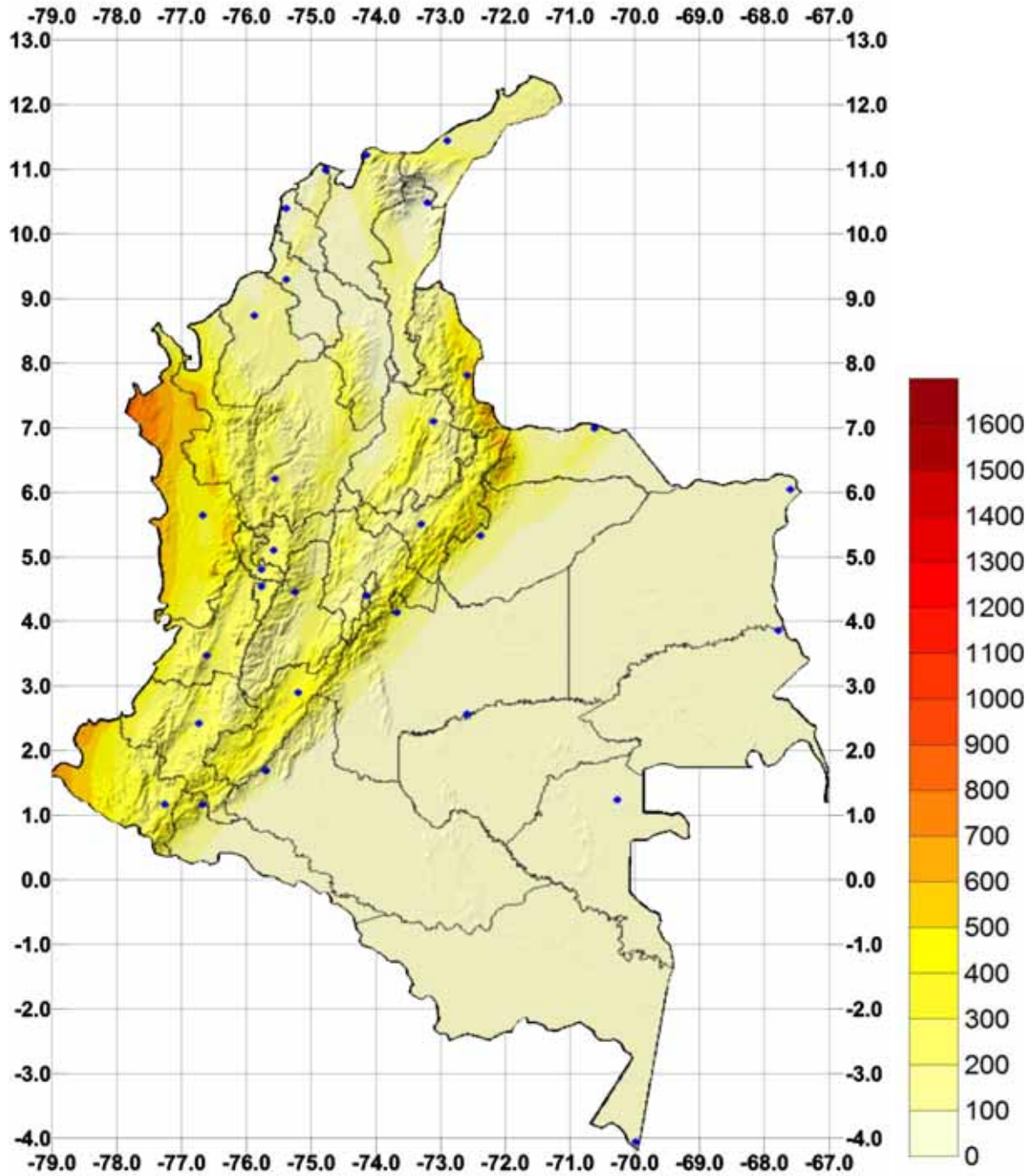


Figura 35 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 1000 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

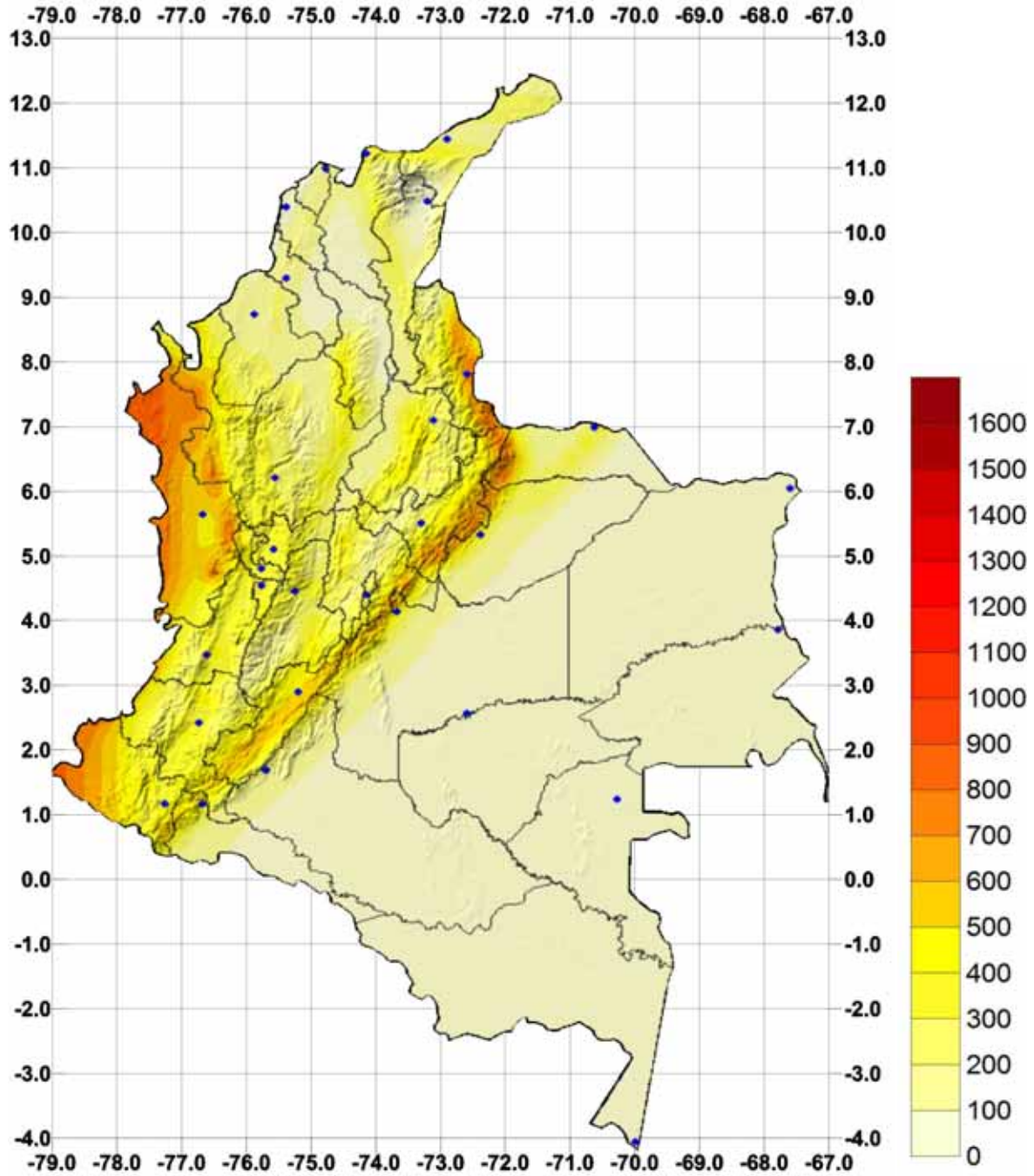
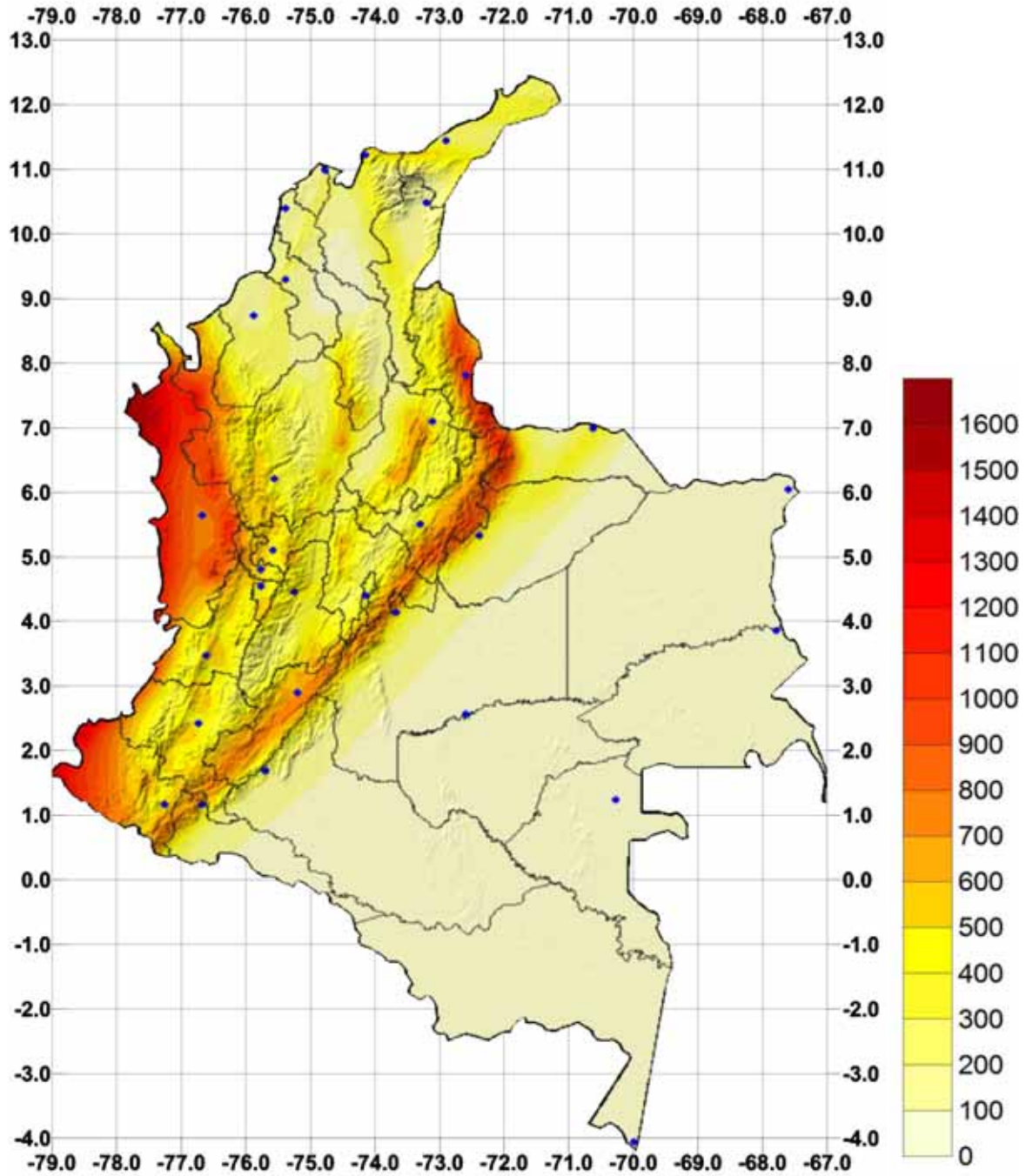
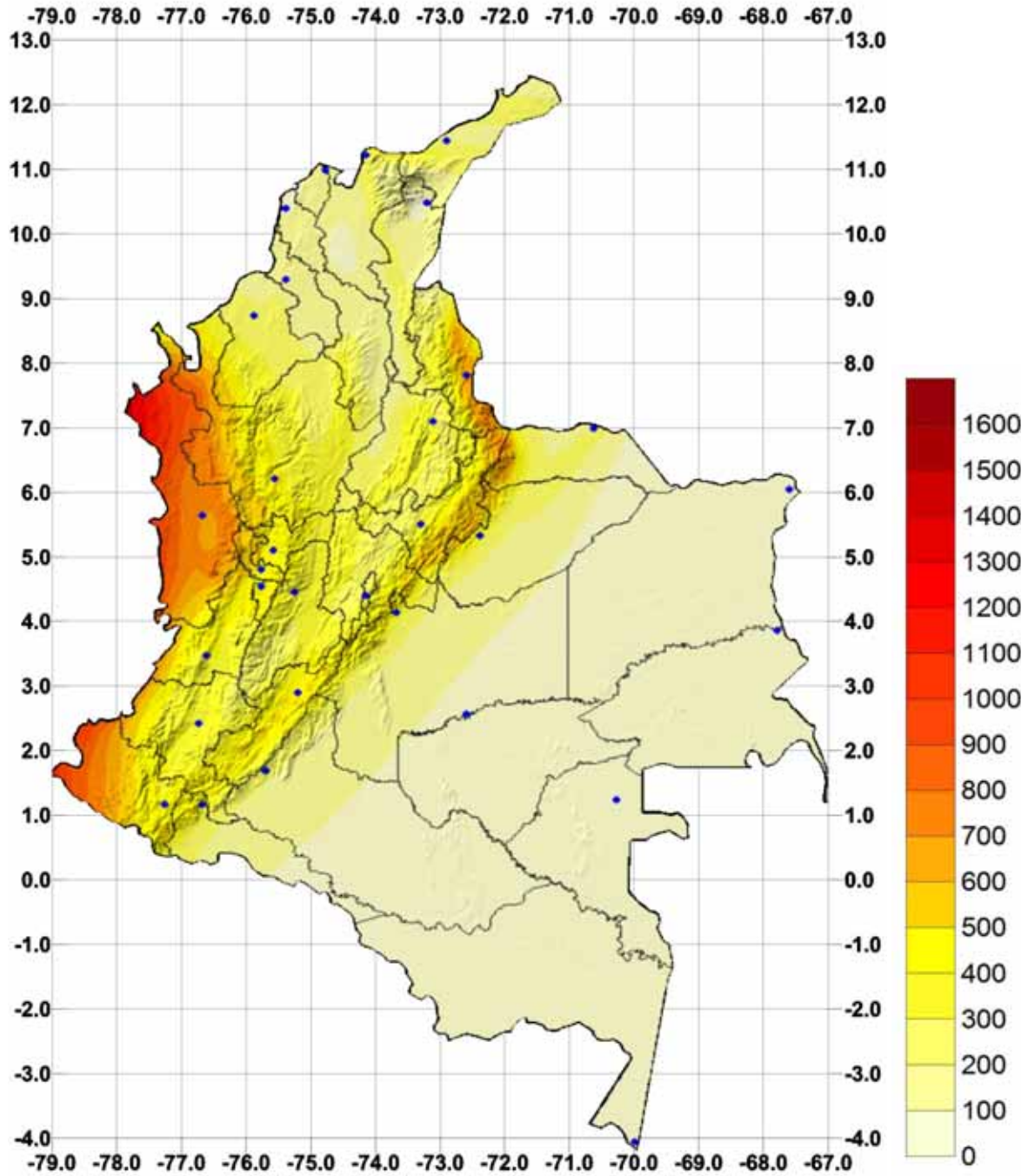


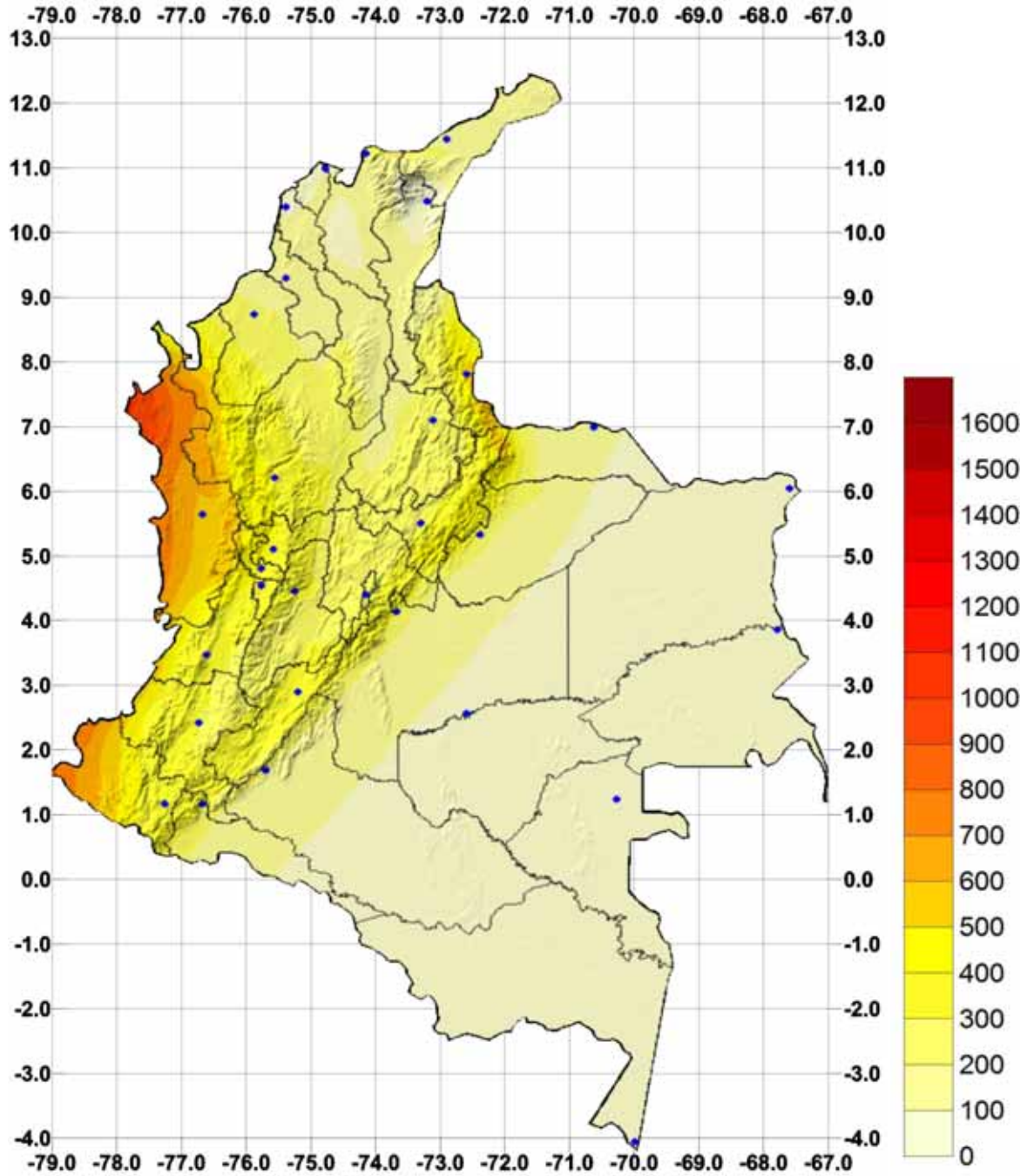
Figura 36 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 2500 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.



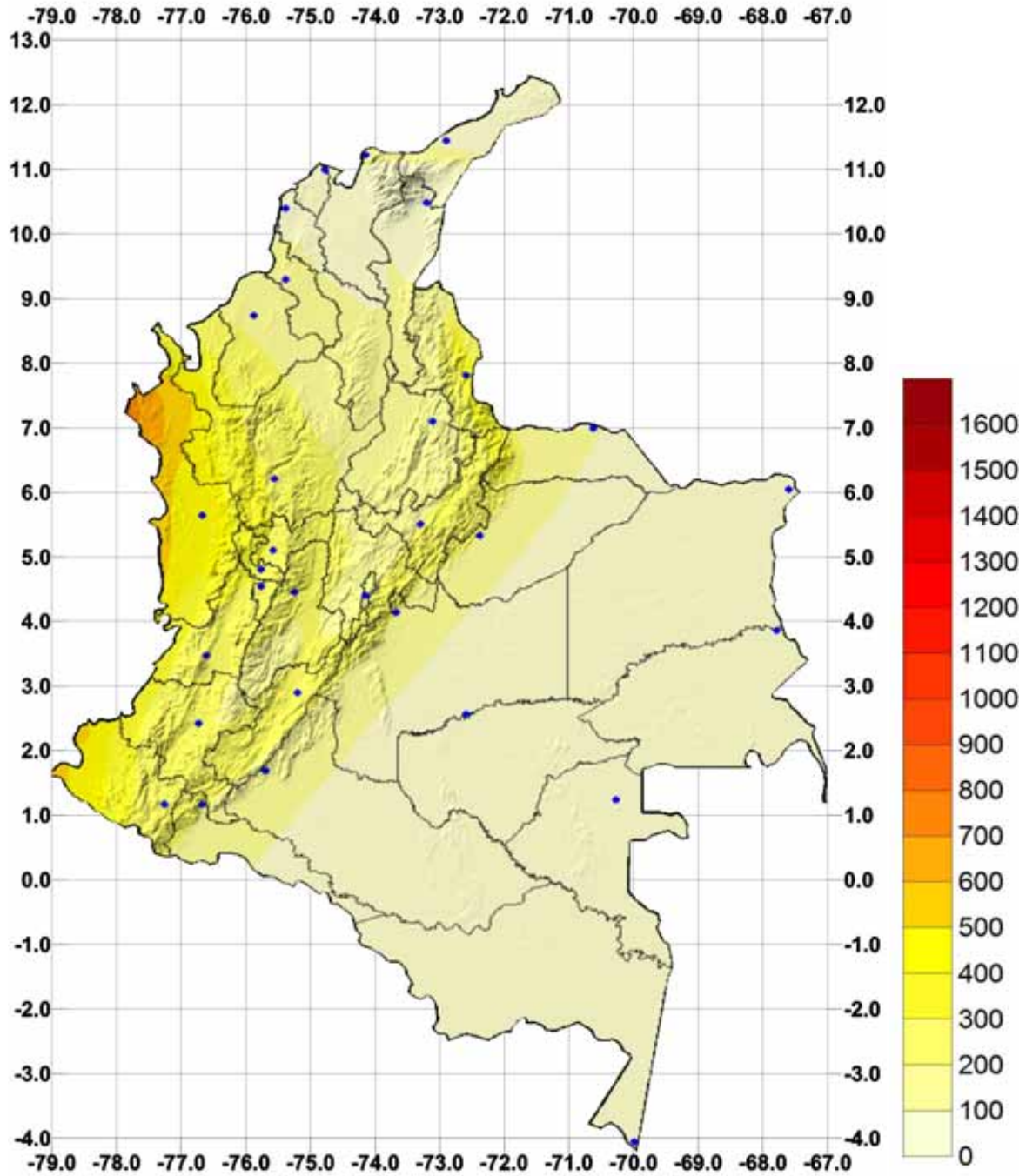
**Figura 37 Aceleración espectral para $T=0.1$ seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**



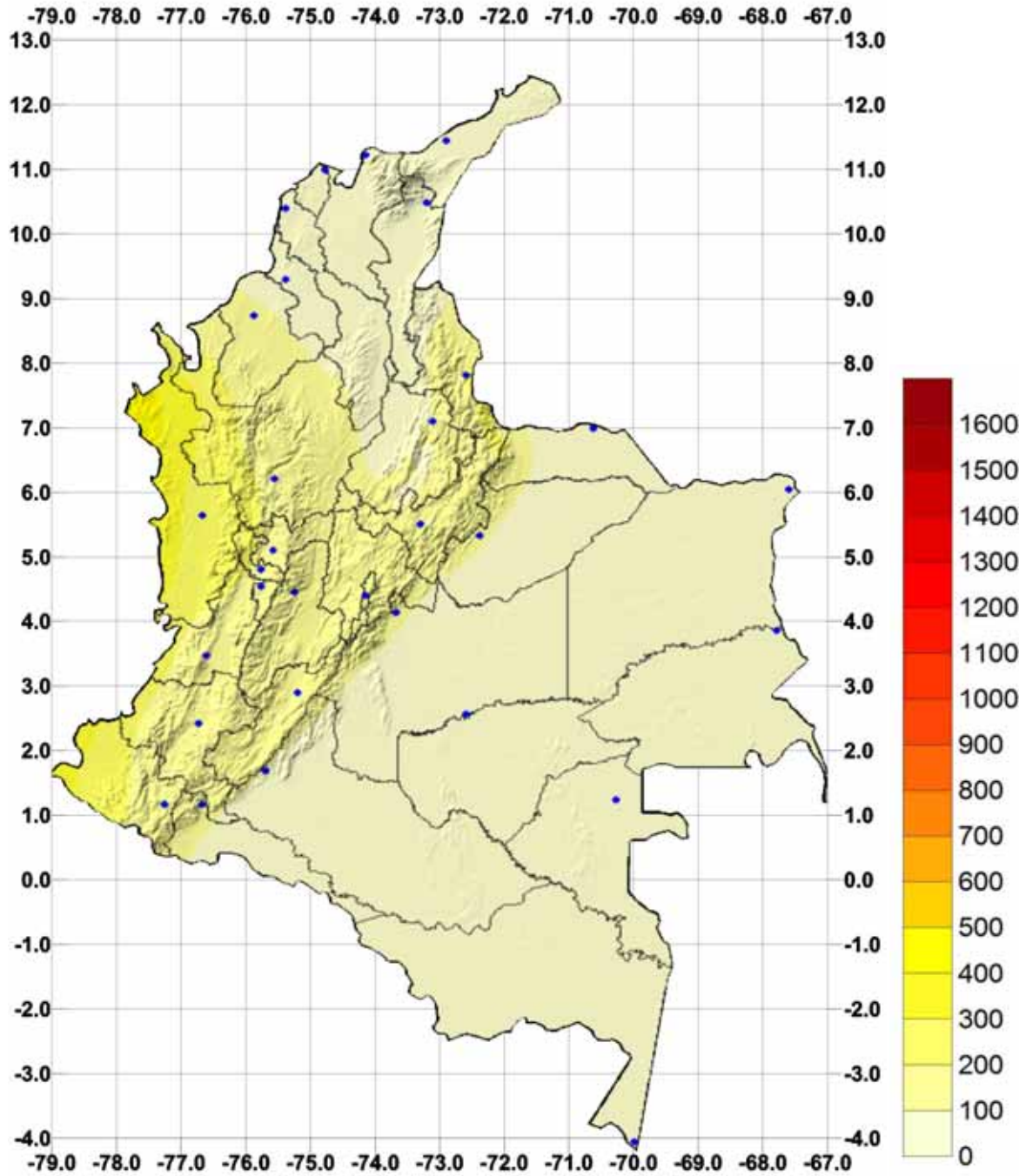
**Figura 38 Aceleración espectral para T=0.3 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**



**Figura 39 Aceleración espectral para T=0.5 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**



**Figura 40 Aceleración espectral para T=1.0 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**



**Figura 41 Aceleración espectral para T=2.0 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**

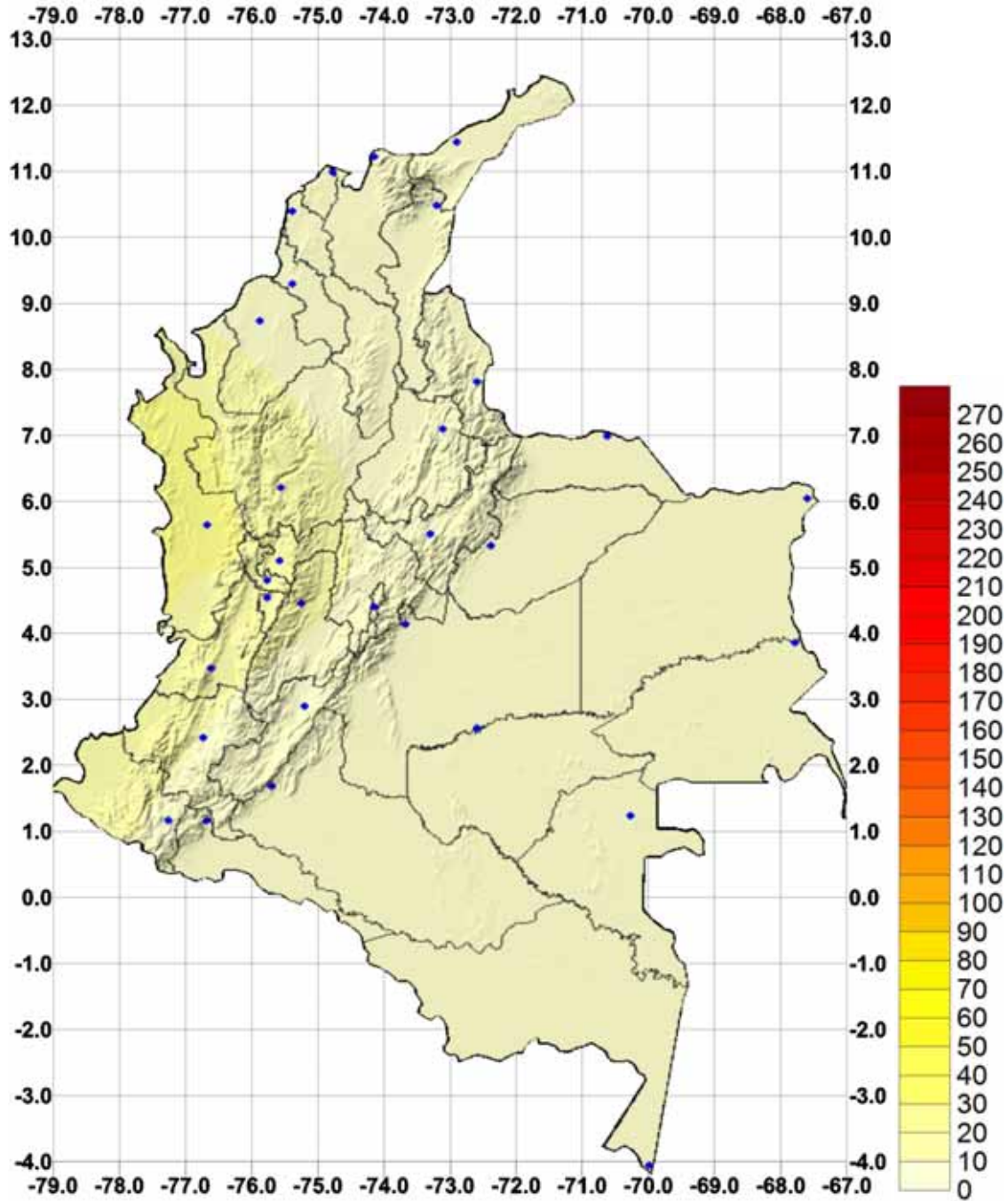


Figura 42 Velocidad máxima del terreno [cm/s]
 Período de retorno: 31 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

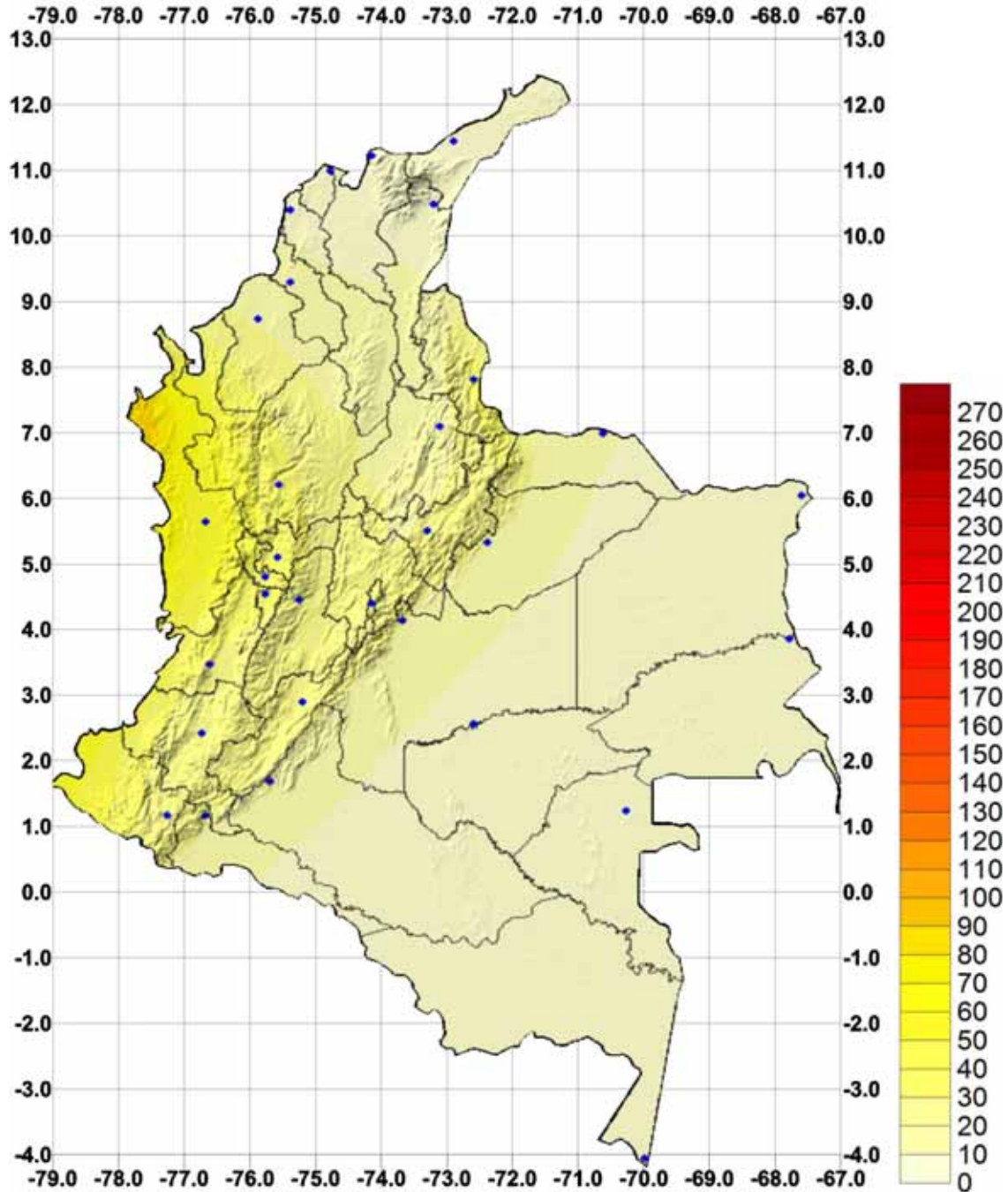


Figura 43 Velocidad máxima del terreno [cm/s]
 Período de retorno: 225 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

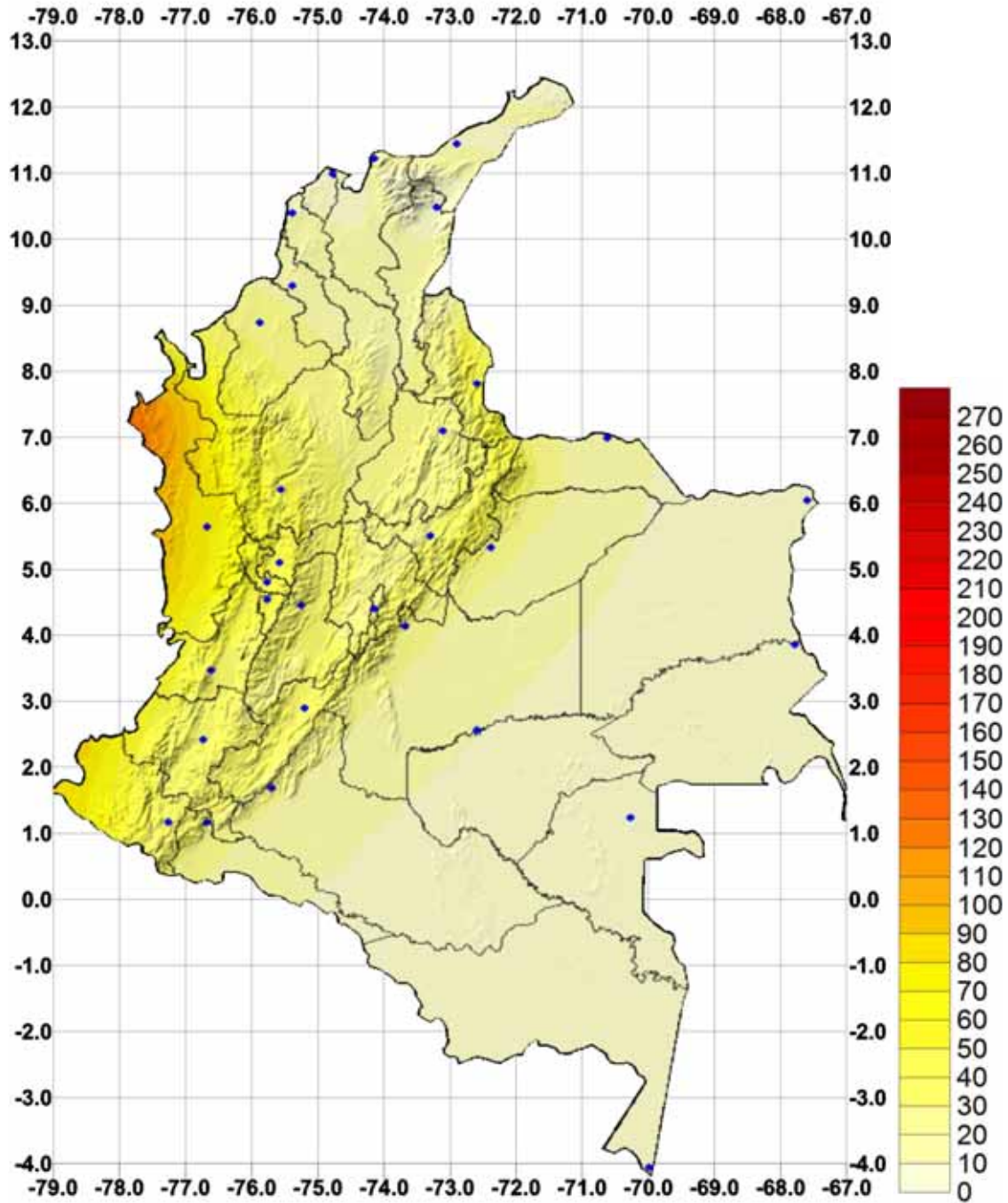


Figura 44 Velocidad máxima del terreno [cm/s]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

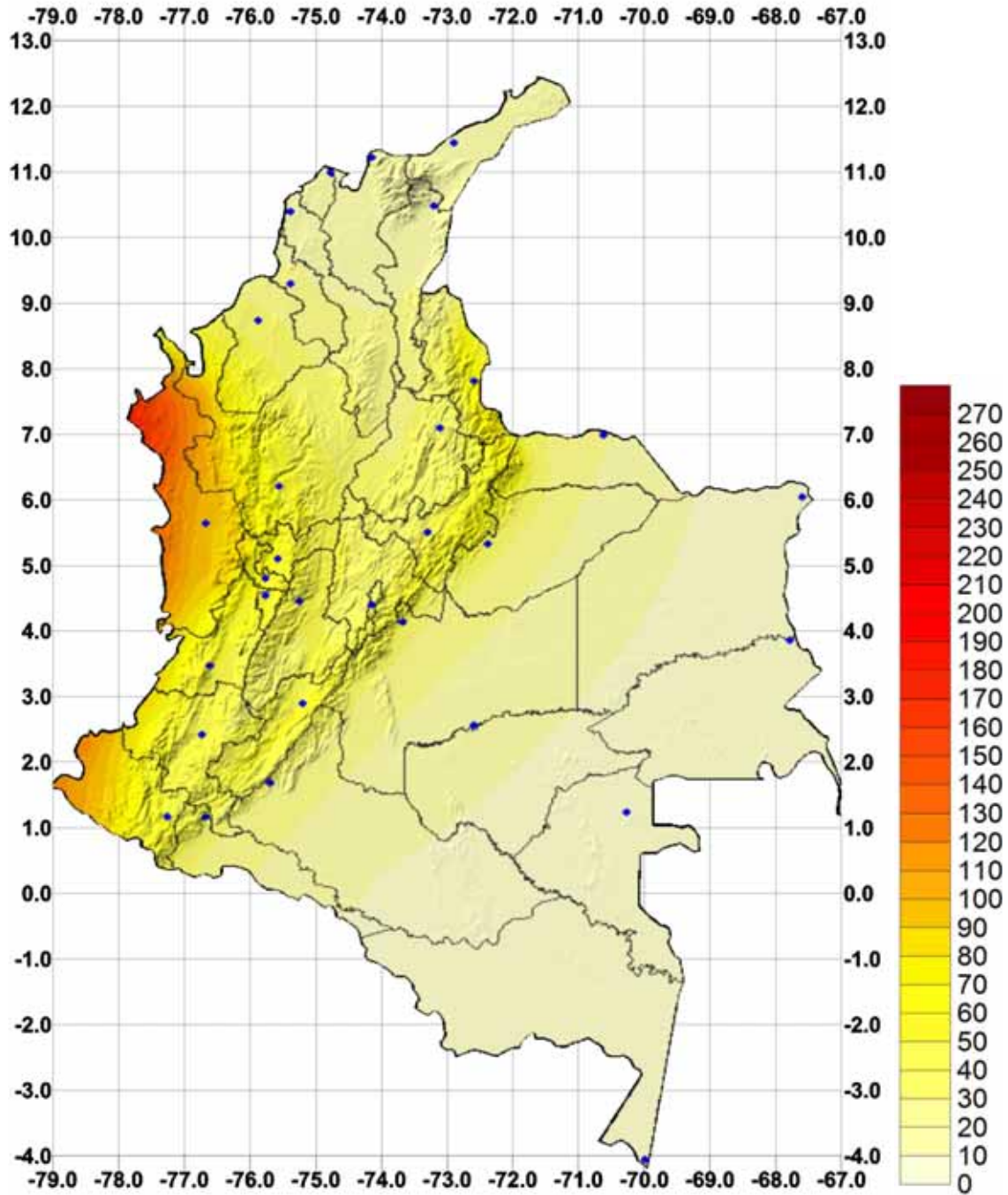


Figura 45 Velocidad máxima del terreno [cm/s]
 Período de retorno: 1000 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

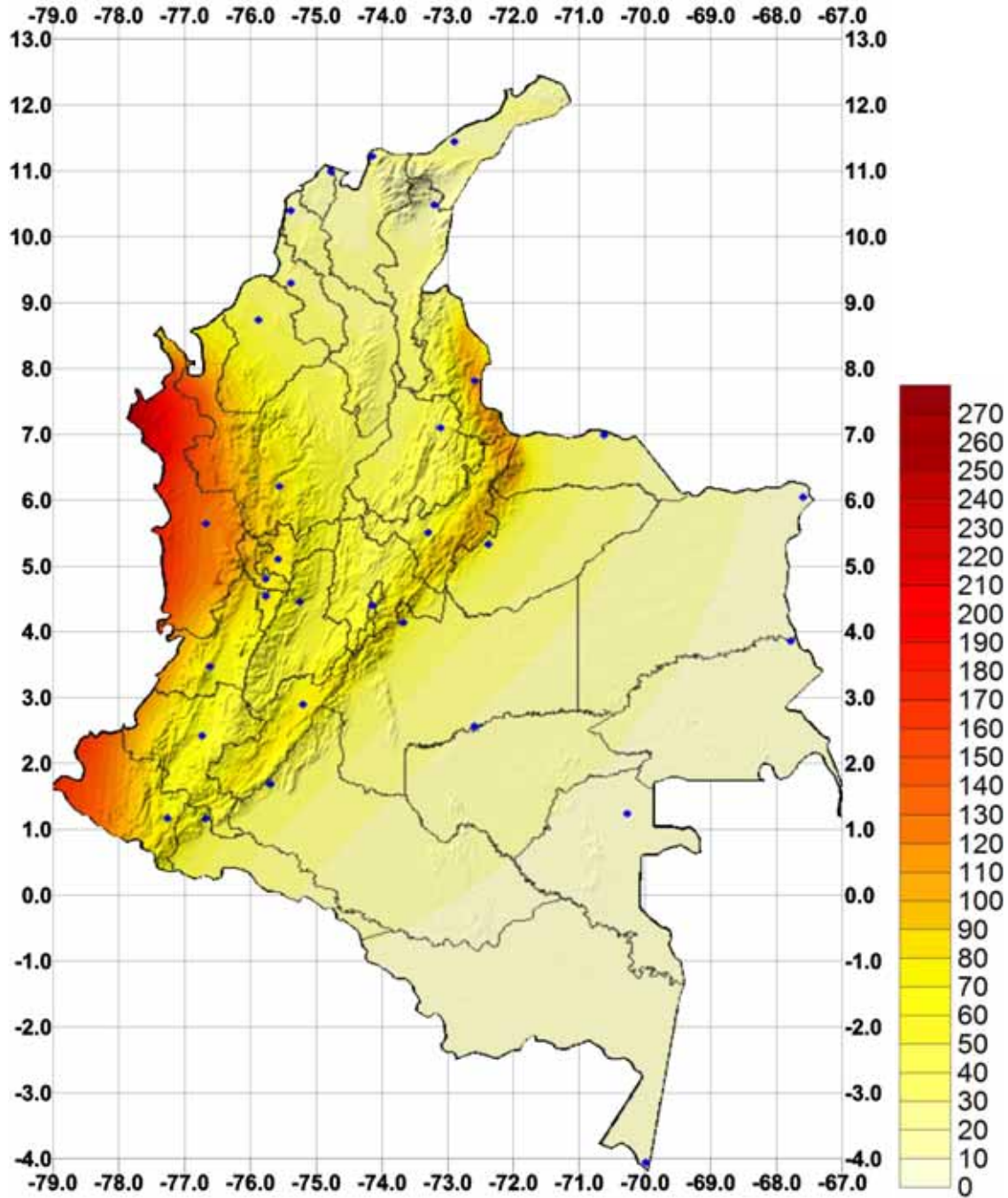
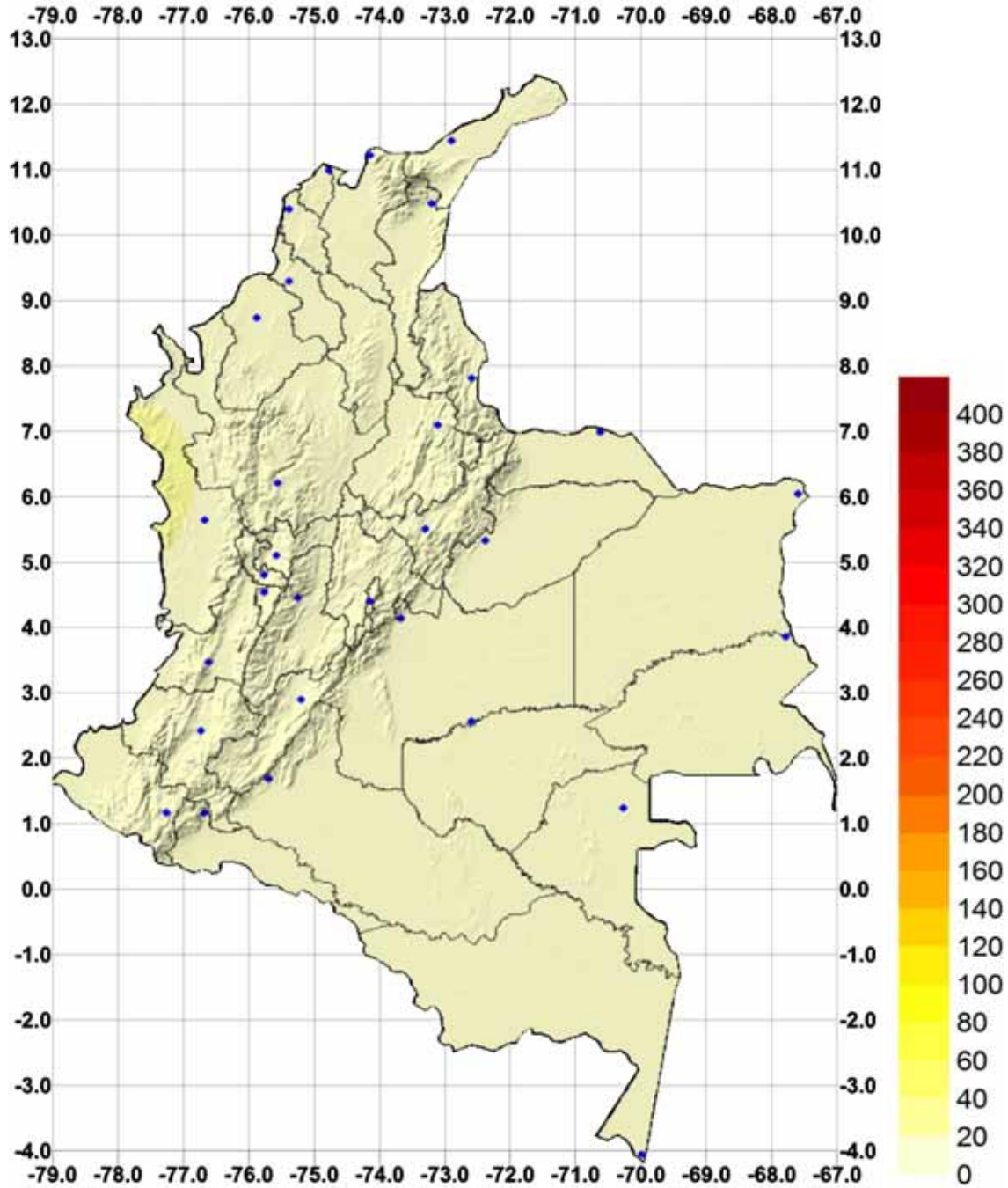
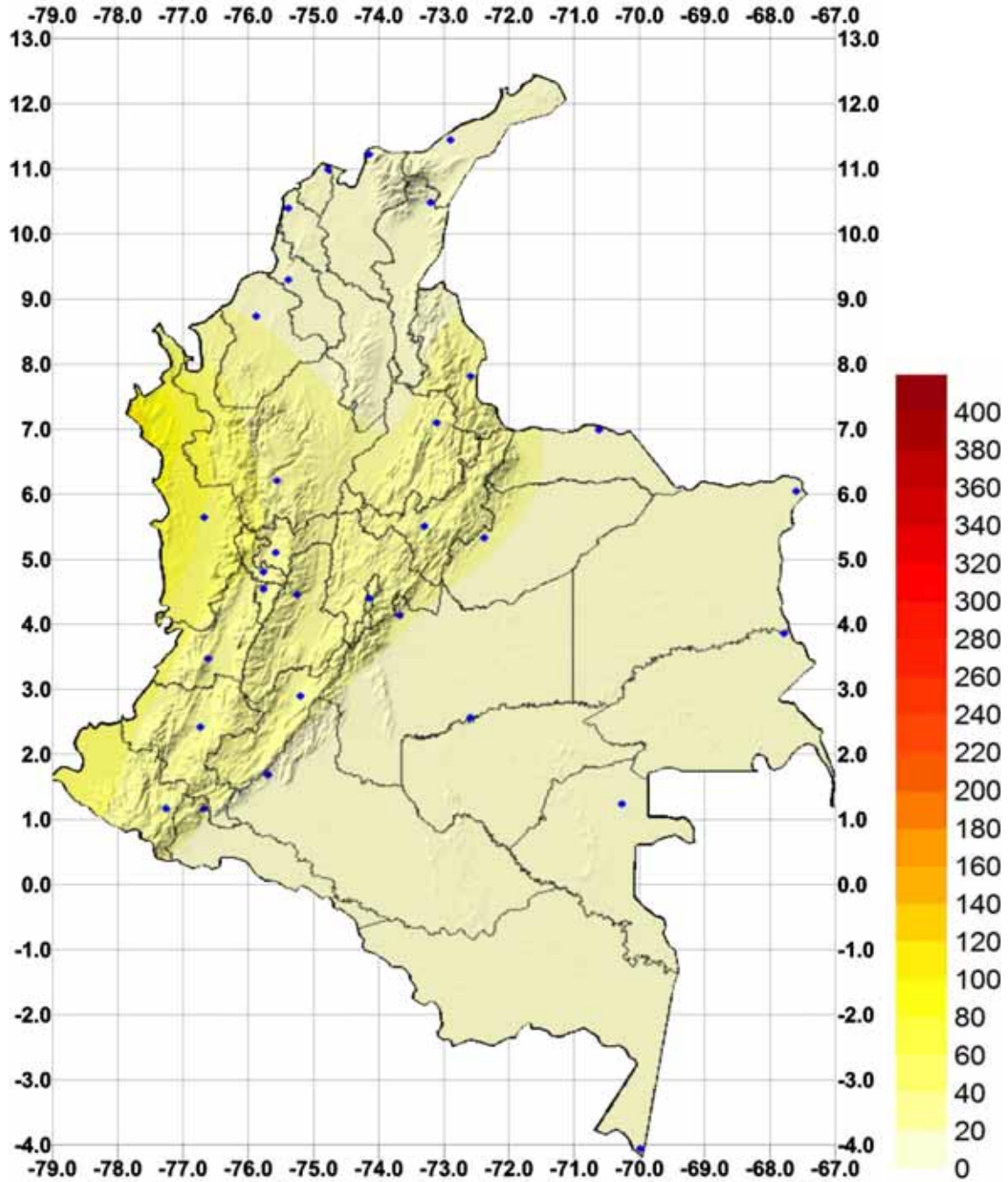


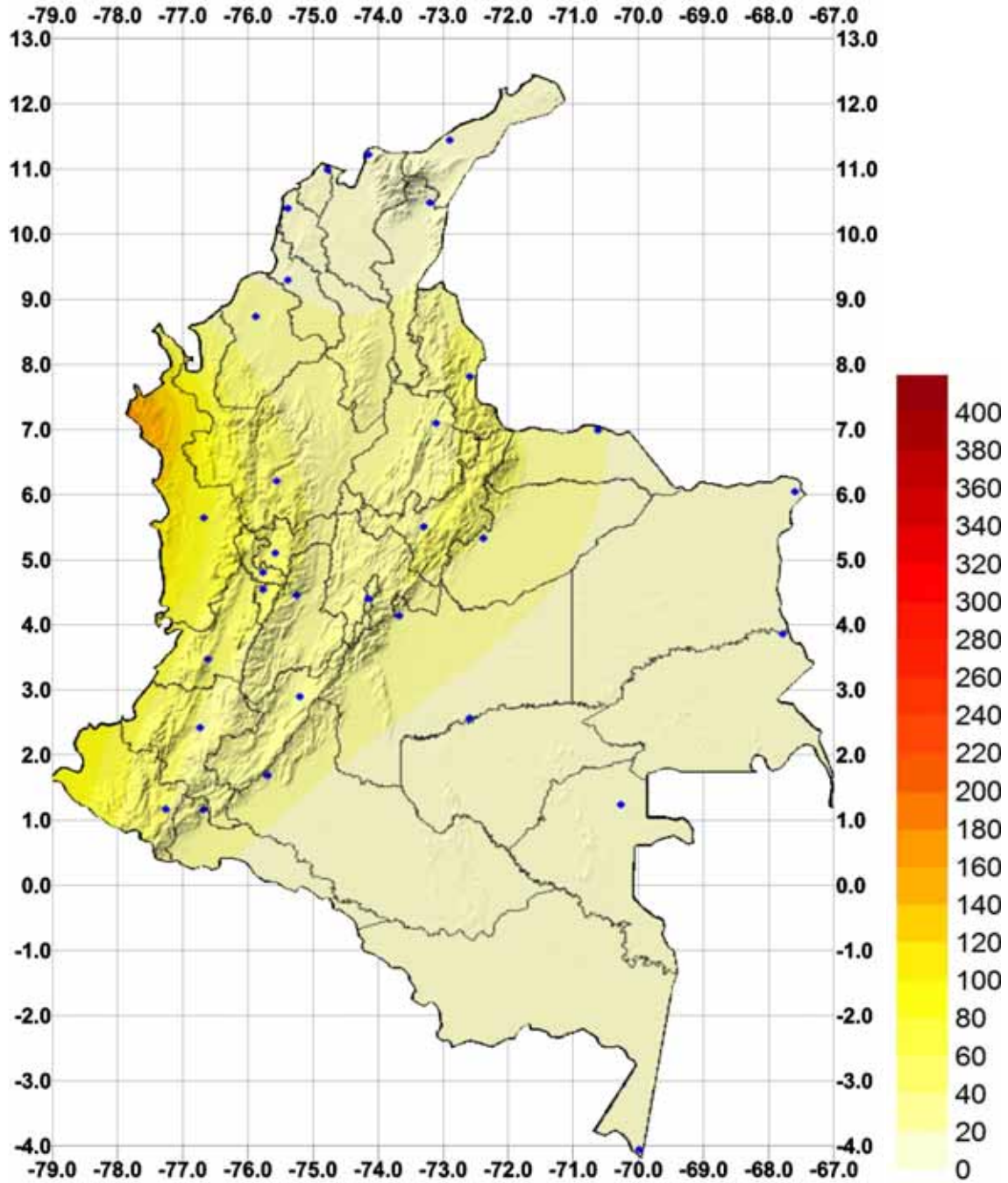
Figura 46 Velocidad máxima del terreno [cm/s]
 Período de retorno: 2500 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.



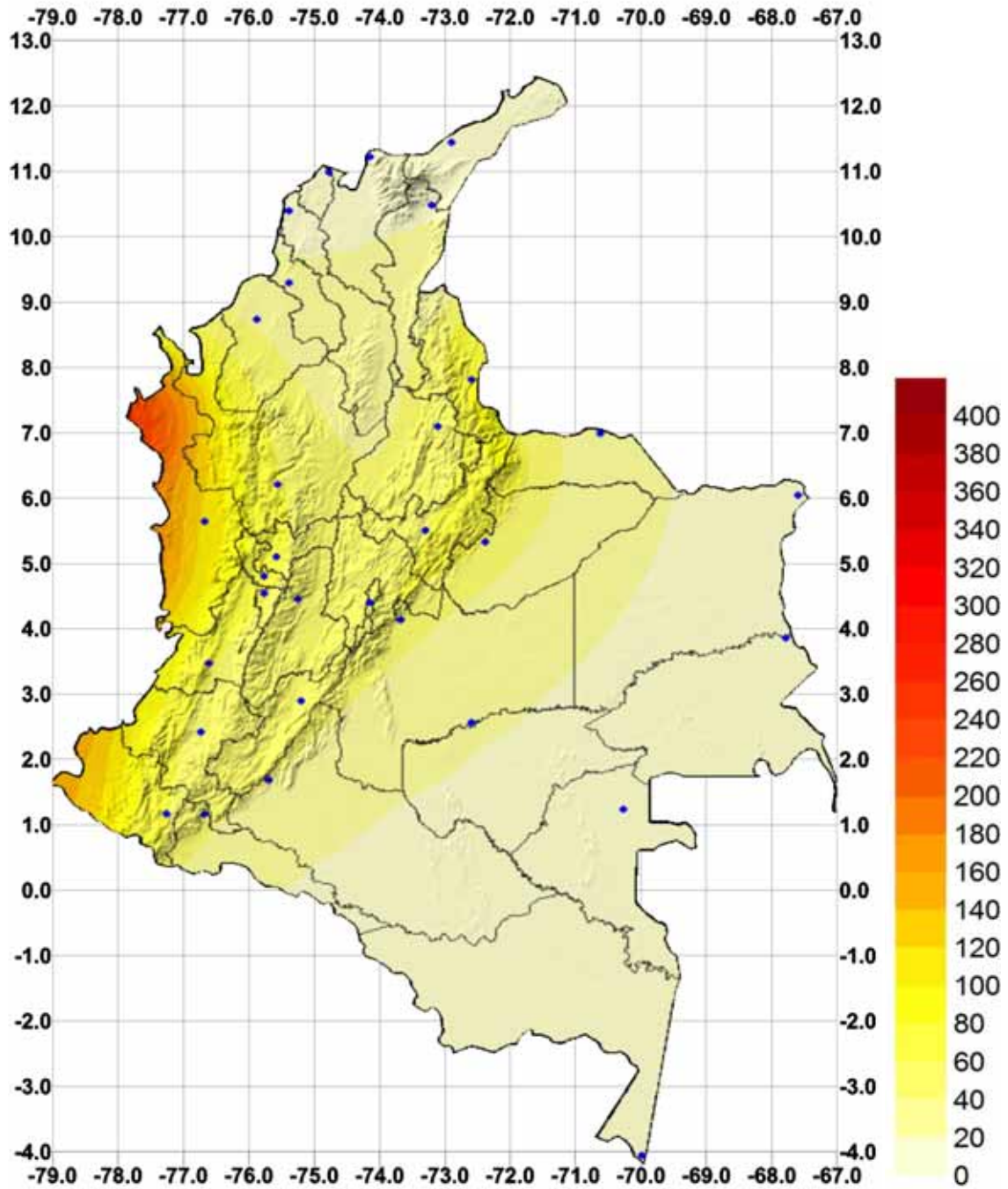
**Figura 47 Desplazamiento máximo del terreno [cm]
 Período de retorno: 31 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**



**Figura 48 Desplazamiento máximo del terreno [cm]
 Período de retorno: 225 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**



**Figura 49 Desplazamiento máximo del terreno [cm]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**



**Figura 50 Desplazamiento máximo del terreno [cm]
 Período de retorno: 1000 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.**

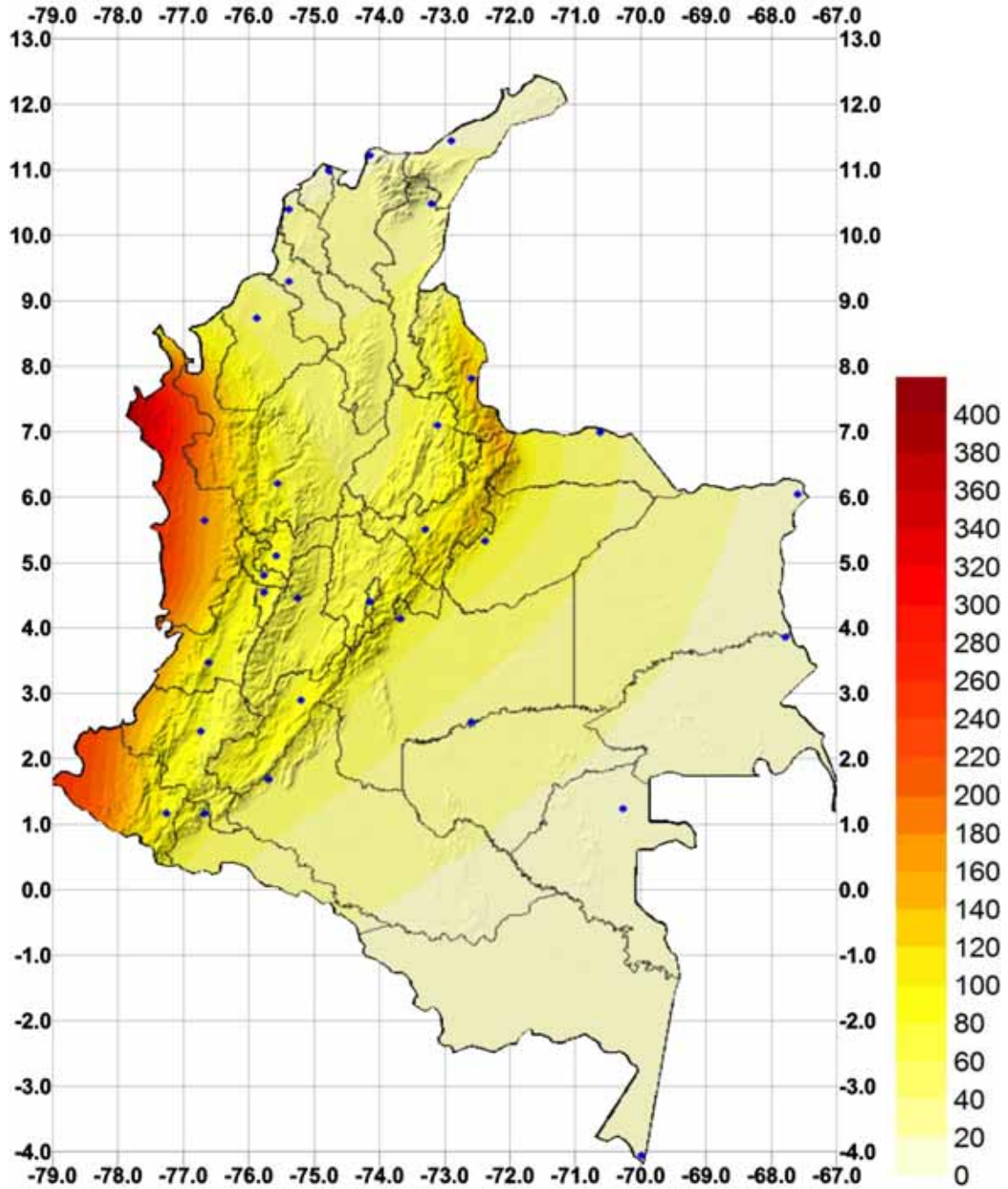


Figura 51 Desplazamiento máximo del terreno [cm]
 Período de retorno: 2500 años
 Modelo de atenuación Gallego 2000.

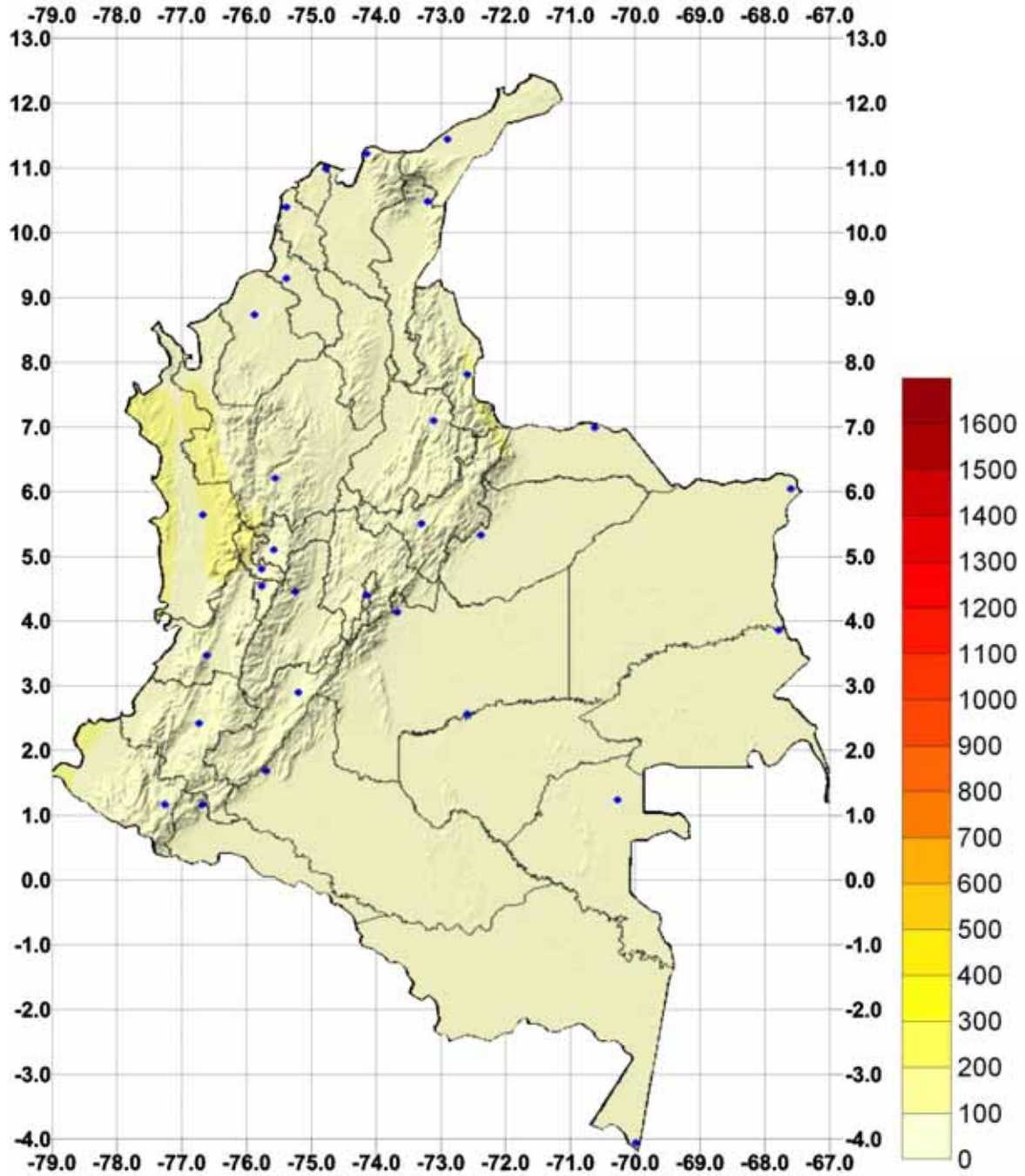
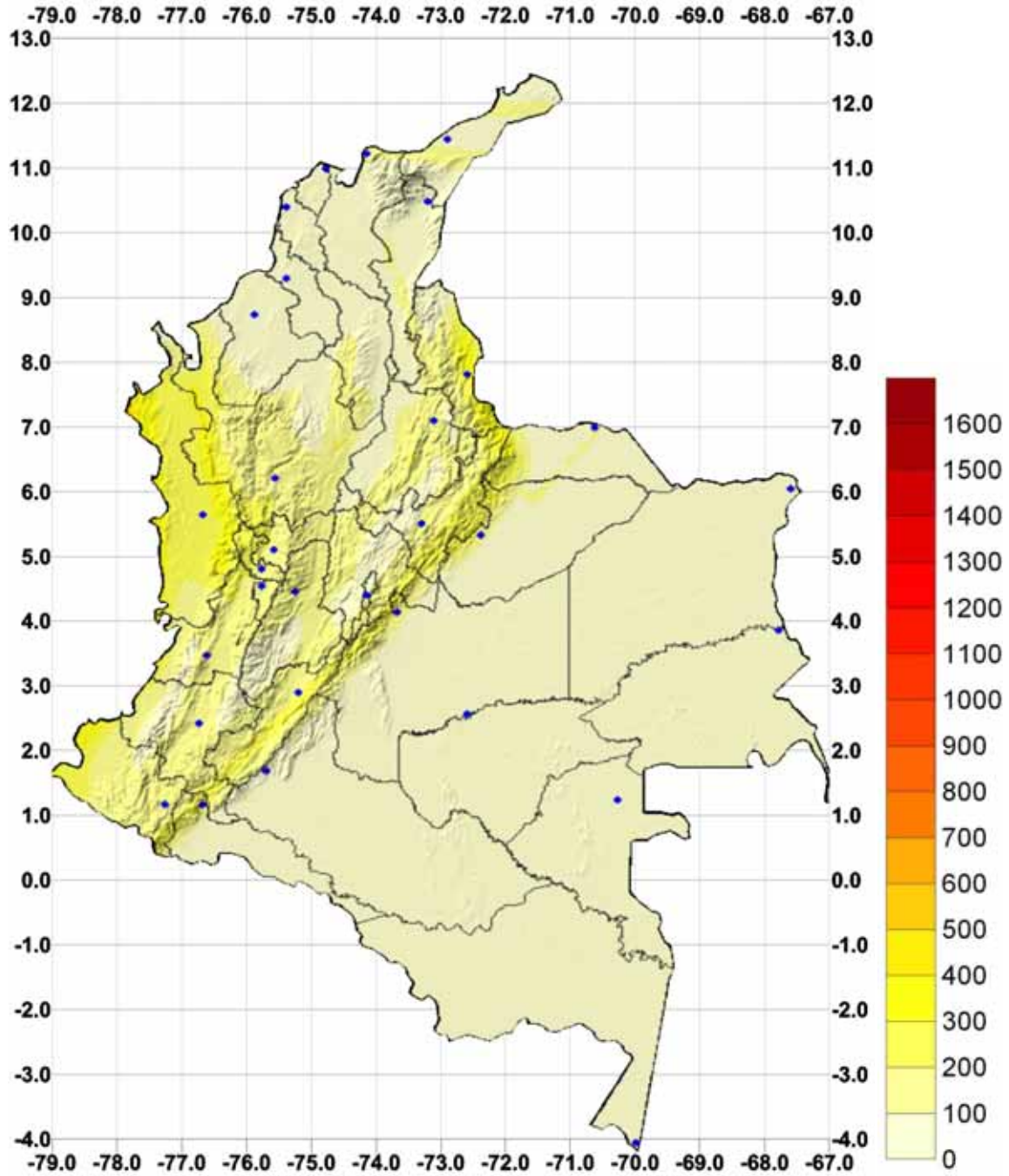


Figura 52 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 31 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.



**Figura 53 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 225 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.**

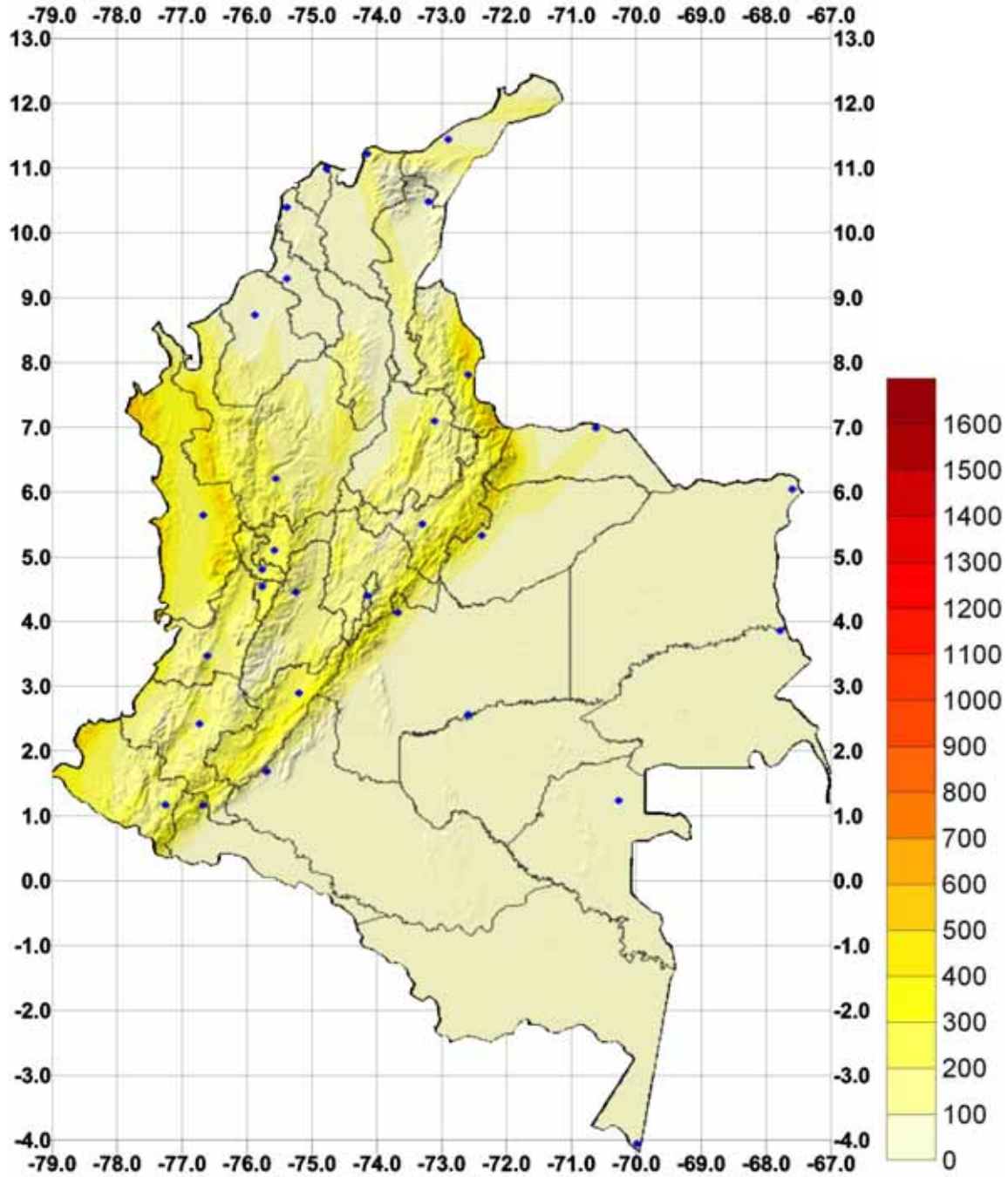


Figura 54 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.

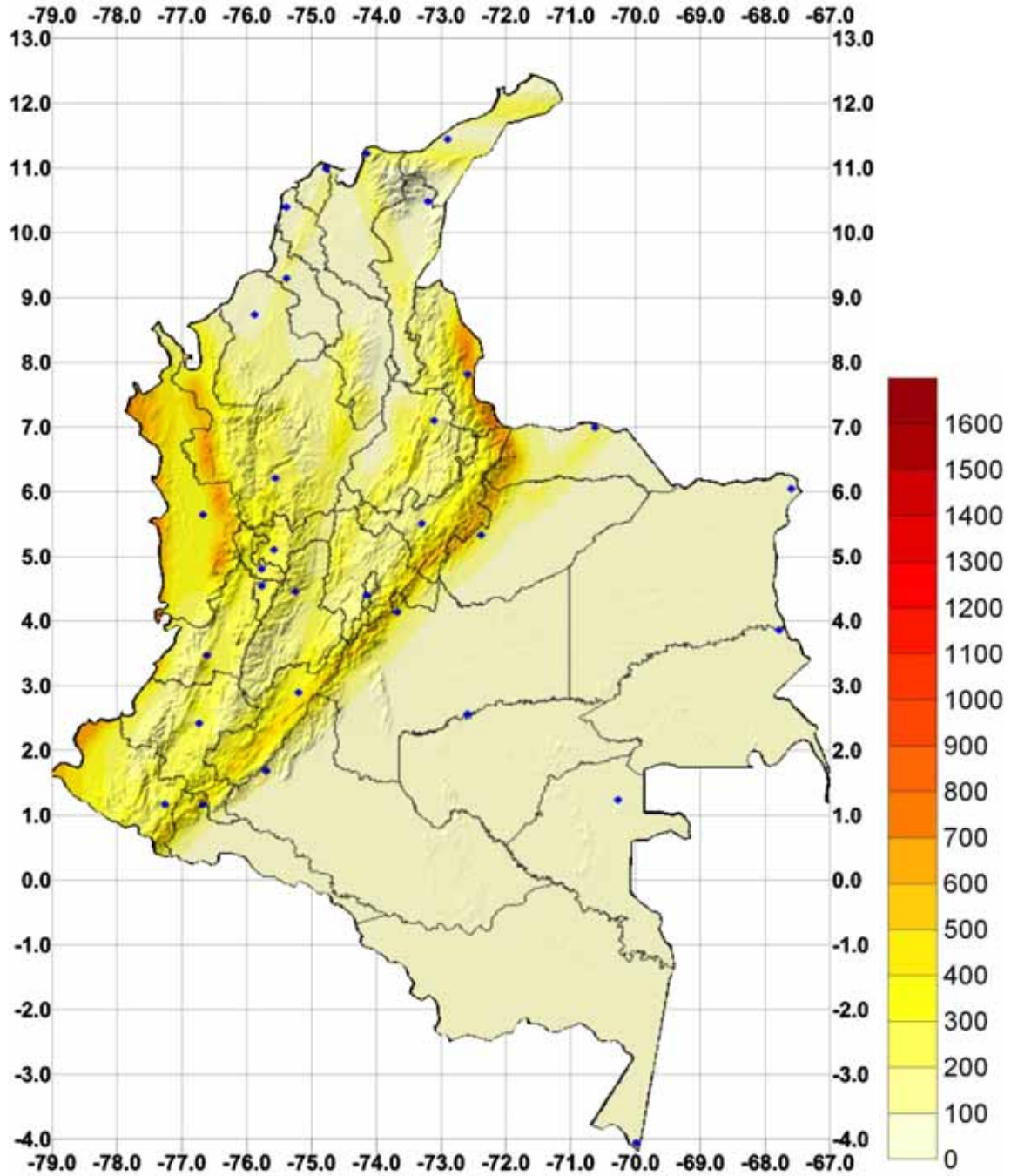


Figura 55 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 1000 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.

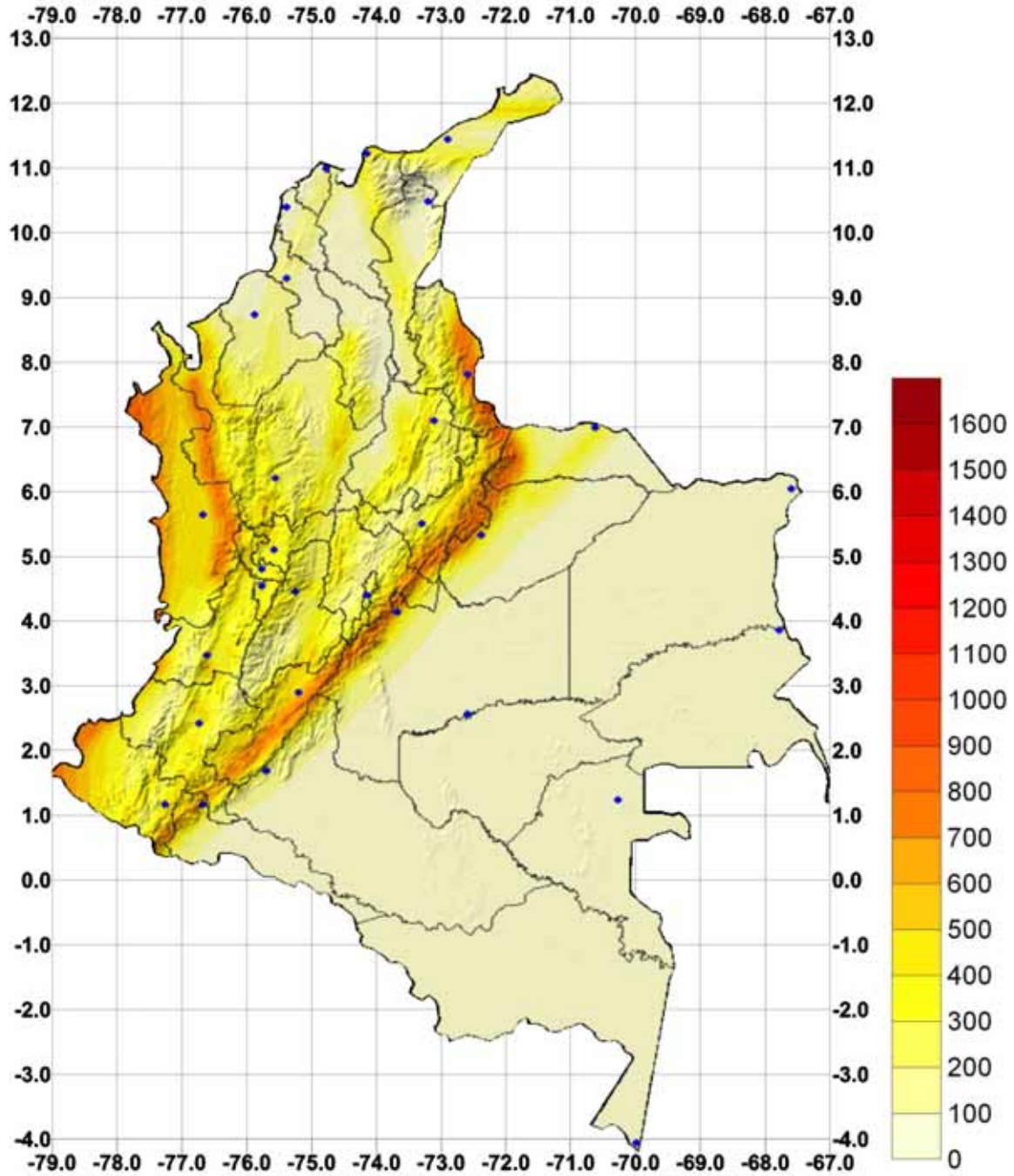
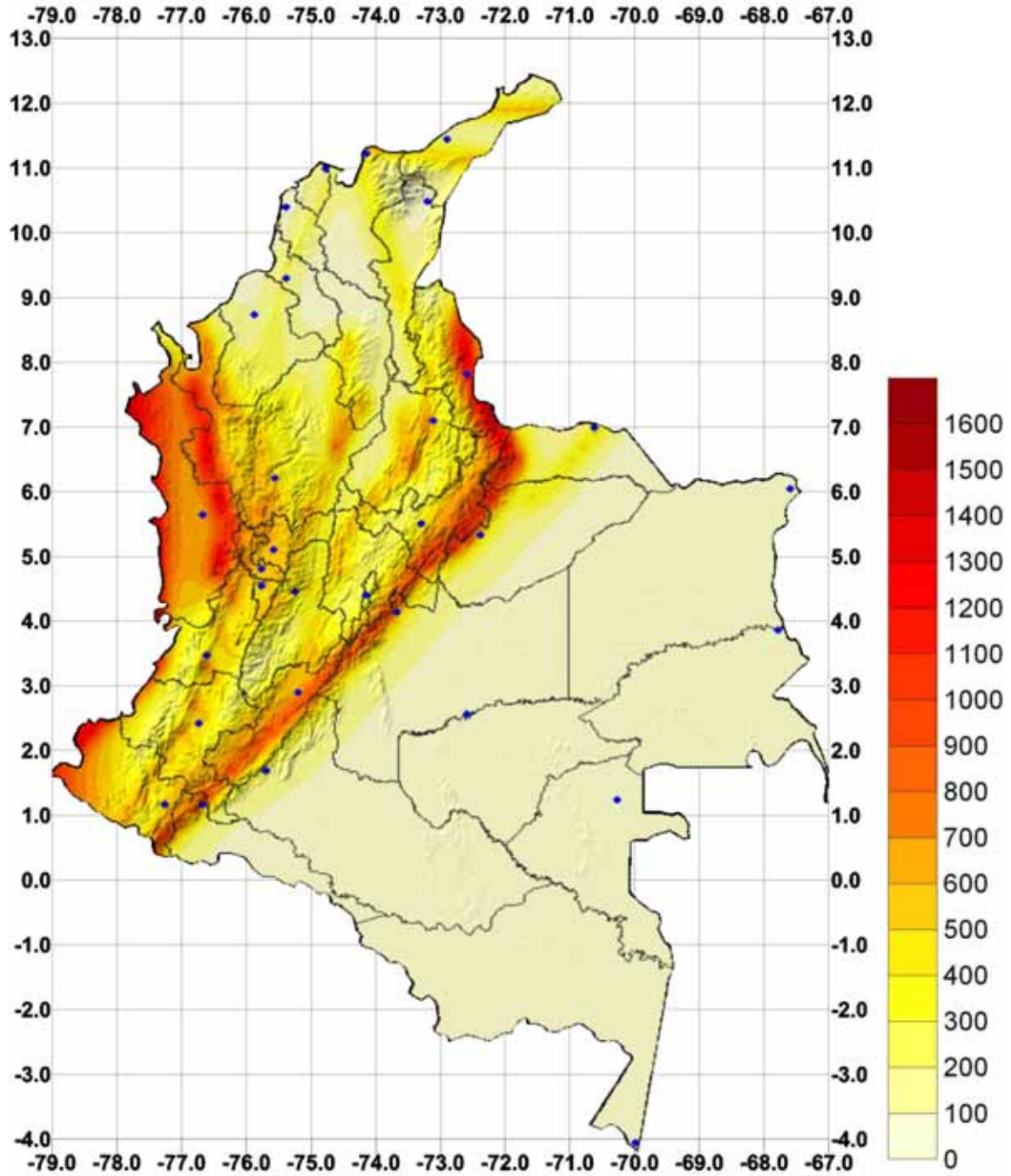
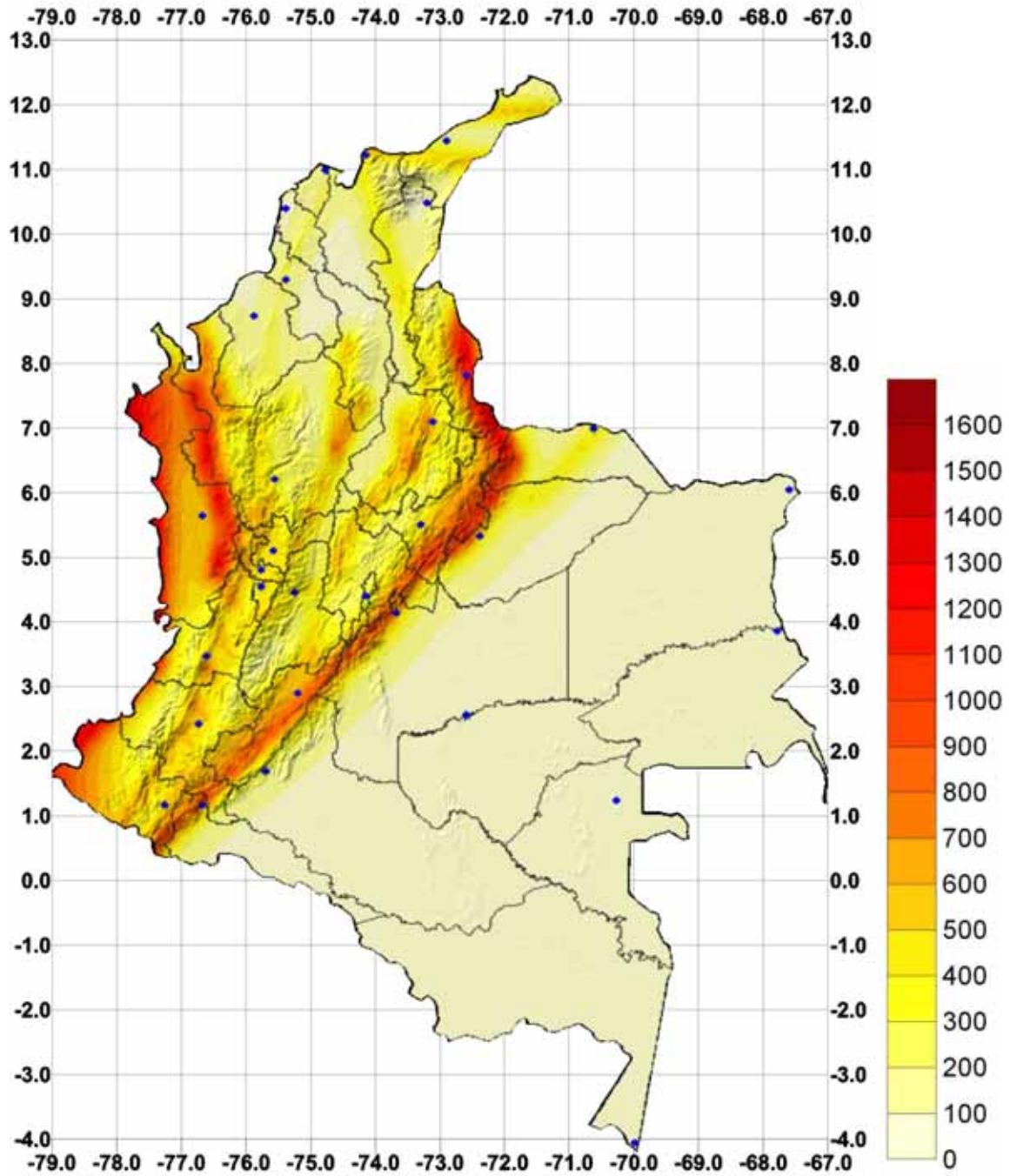


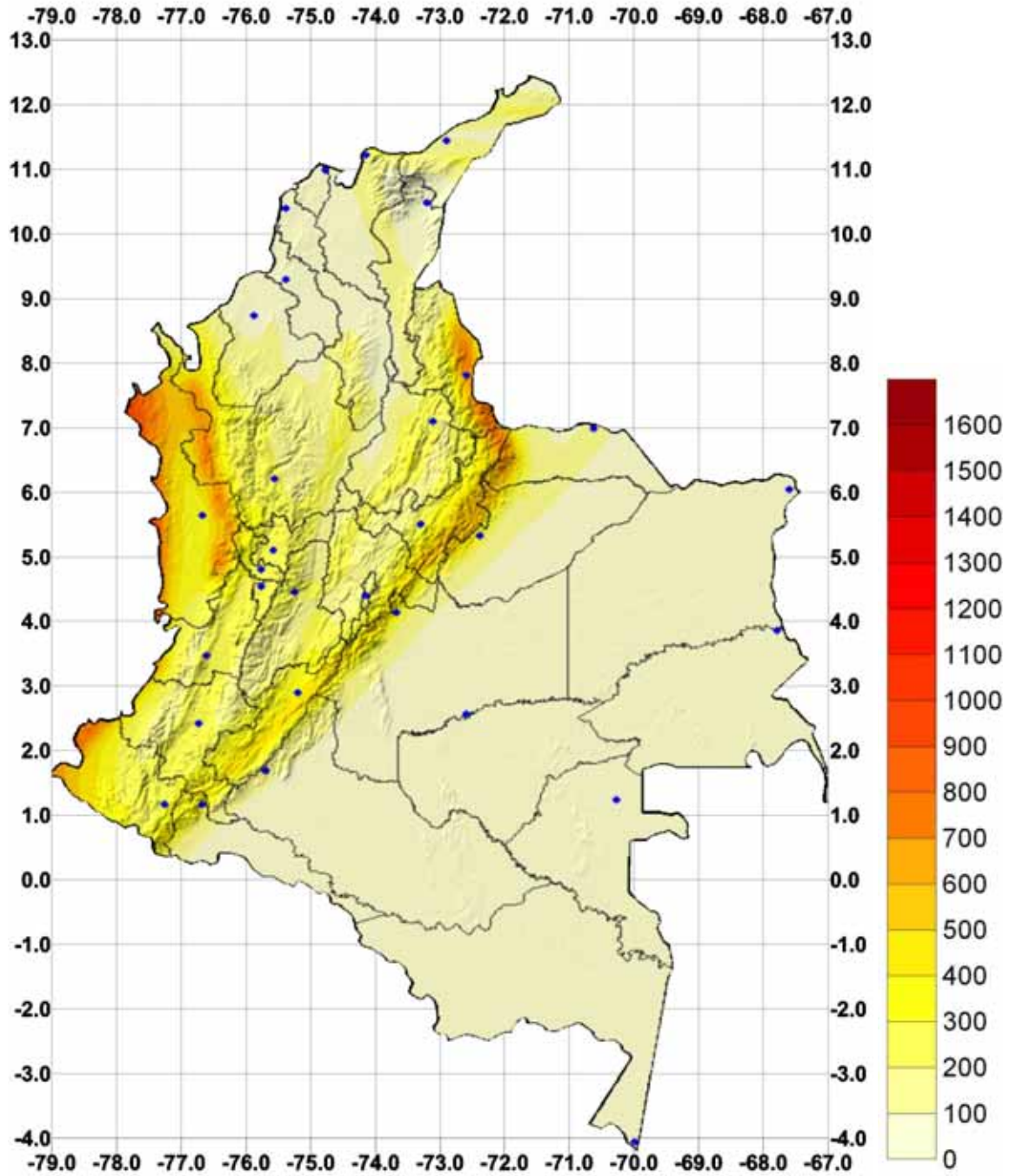
Figura 56 Aceleración máxima del terreno [gal]
 Período de retorno: 2500 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.



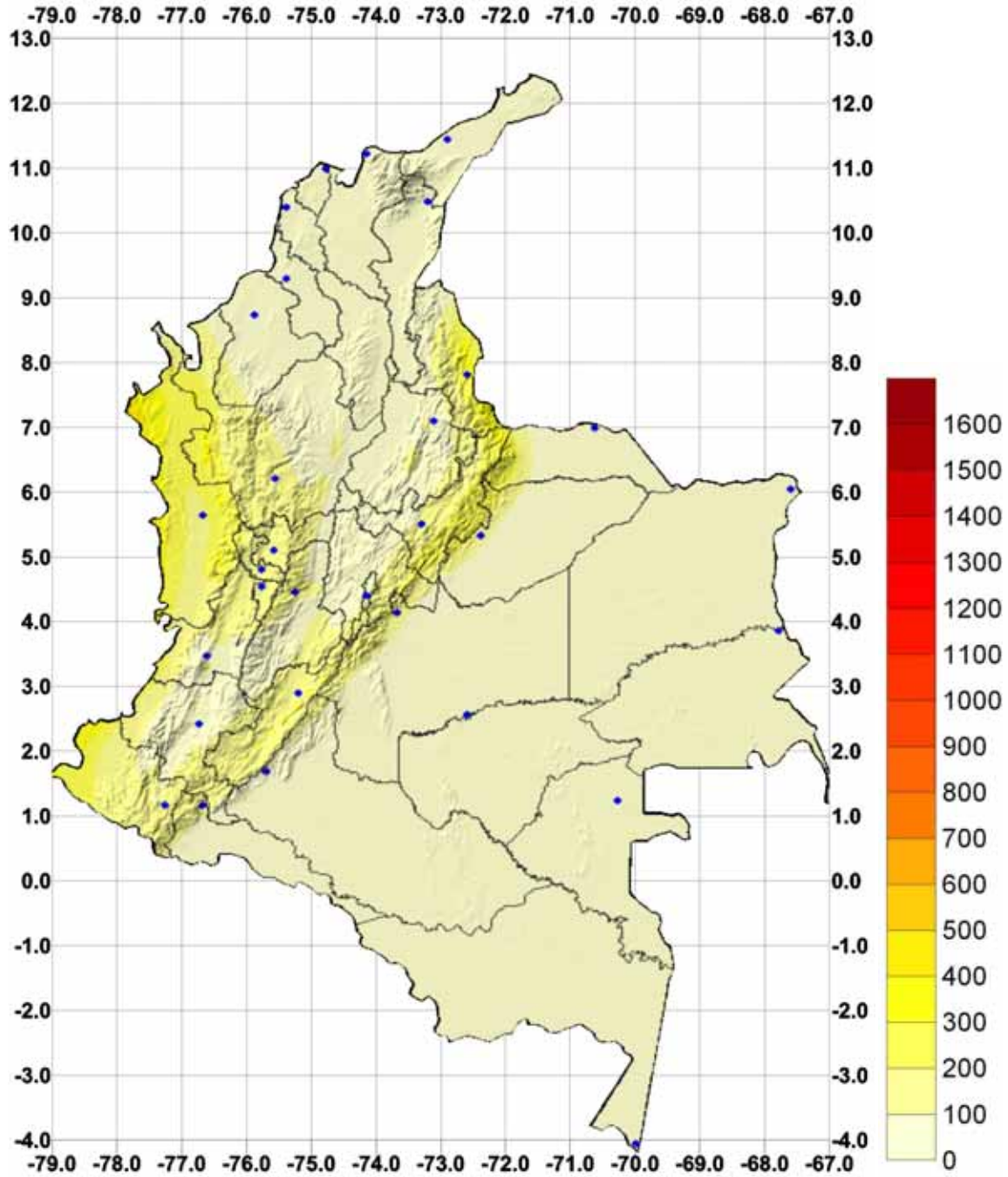
**Figura 57 Aceleración espectral para T=0.1 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.**



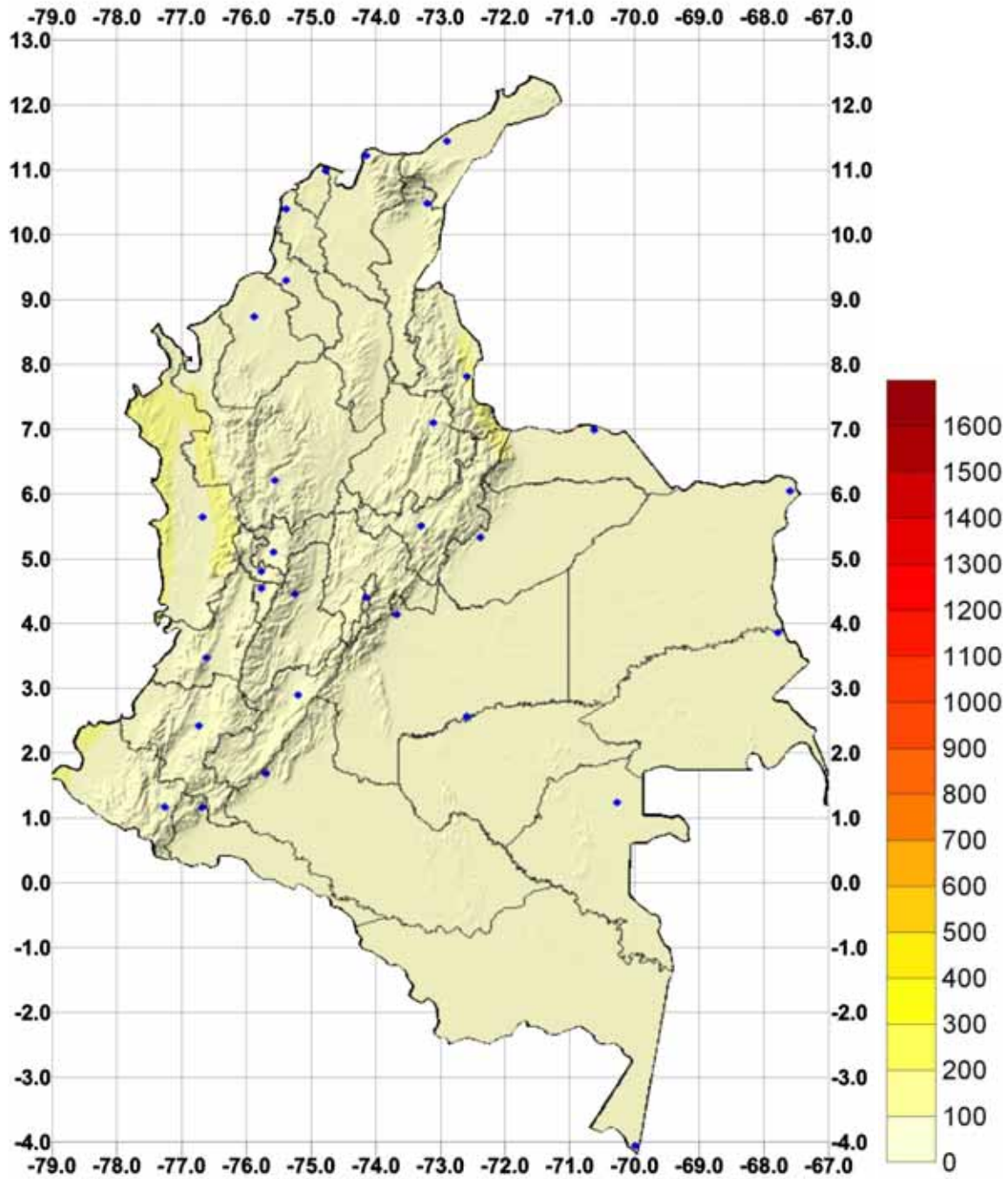
**Figura 58 Aceleración espectral para T=0.3 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.**



**Figura 59 Aceleración espectral para T=0.5 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.**



**Figura 60 Aceleración espectral para T=1.0 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.**



**Figura 61 Aceleración espectral para T=2.0 seg [gal]
 Período de retorno: 475 años
 Modelo de atenuación Campbell 1997-García 2005.**

Curvas de amenaza

Con base en los resultados obtenidos del análisis de amenaza sísmica es posible construir las curvas de excedencia de los valores de intensidad para cualquier par de coordenadas inscritas dentro de la zona donde se realizó el análisis. En las curvas se observan diferentes intensidades así como las tasas de excedencia de éstas para ese lugar específico. Dichas curvas se pueden calcular para diferentes ordenadas espectrales, con lo cual es posible determinar espectros de amenaza uniforme. En el Anexo 3 en las figuras 168 a 297 se presentan estos espectros para diferentes períodos de retorno para cada una de las capitales de departamento.

Para este caso se calcularon las curvas para las ciudades capitales para el período de vibración de 0 seg, que corresponde a la aceleración máxima en roca (PGA por sus siglas en inglés).

También se ilustra la participación de las fuentes sismogénicas en las curvas de amenaza, con el fin de determinar la influencia de cada fuente en un lugar dado y con una tasa de excedencia determinada.

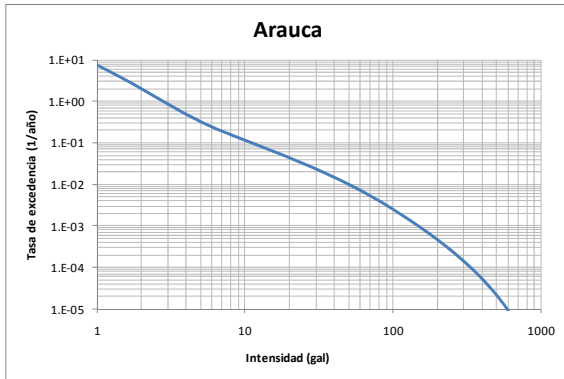


Figura 62 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Arauca

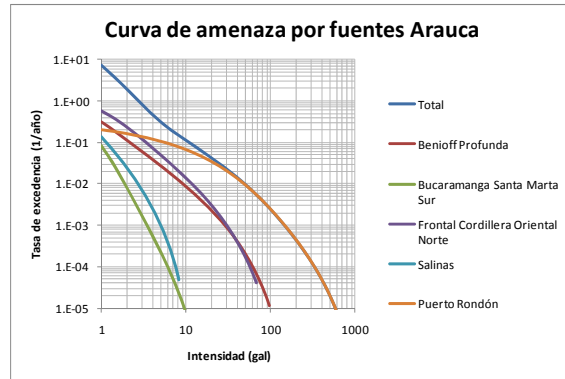


Figura 63 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Arauca

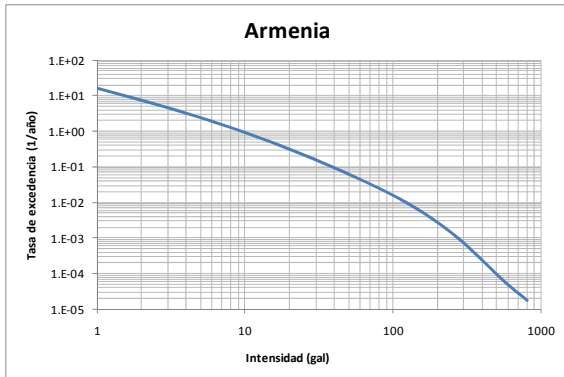


Figura 64 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Armenia

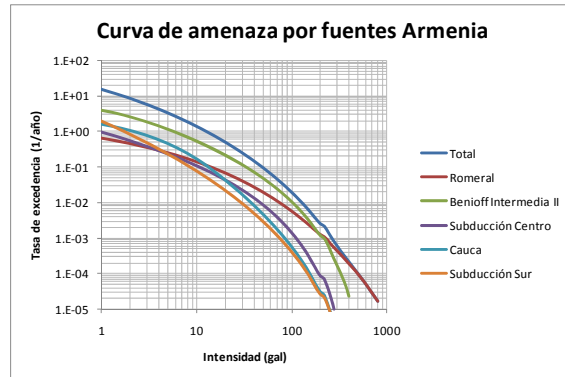


Figura 65 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Armenia

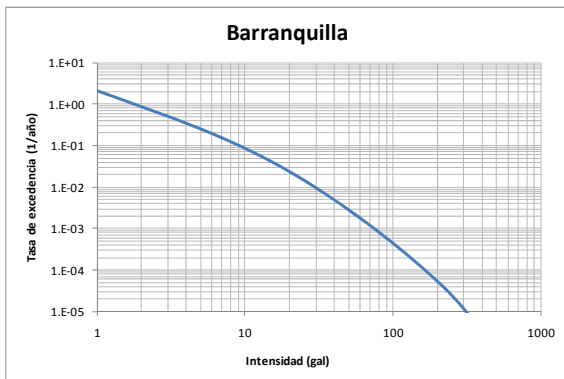


Figura 66 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Barranquilla

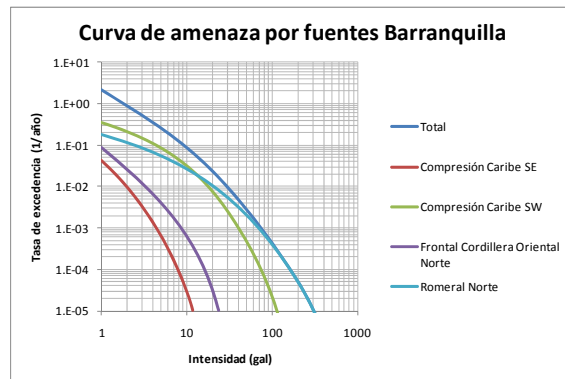


Figura 67 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Barranquilla

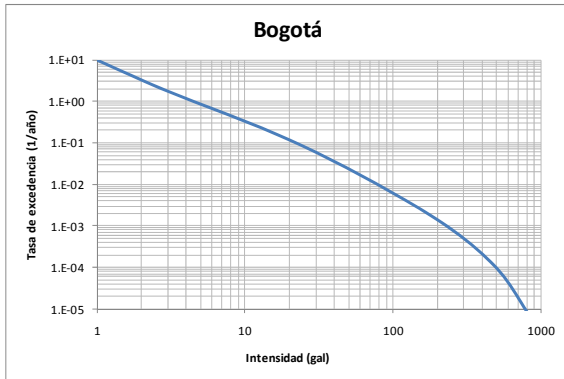


Figura 68 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Bogotá

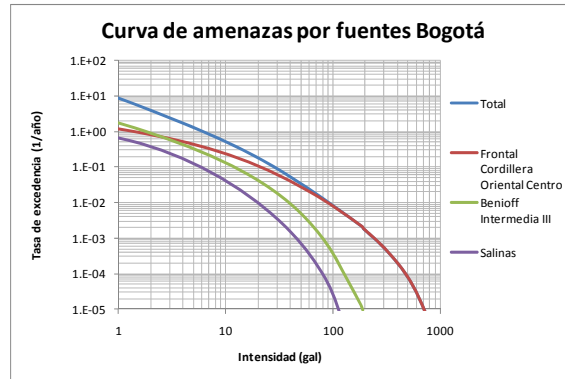


Figura 69 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Bogotá

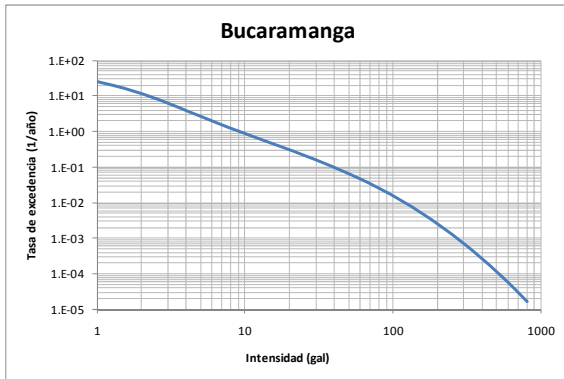


Figura 70 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Bucaramanga

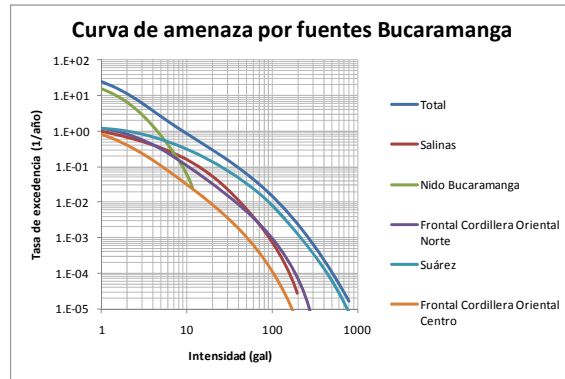


Figura 71 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Bucaramanga

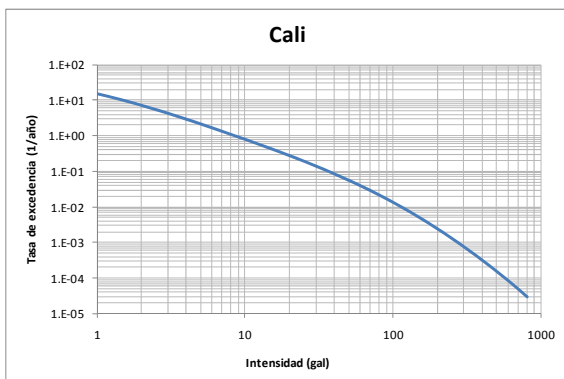


Figura 72 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Cali

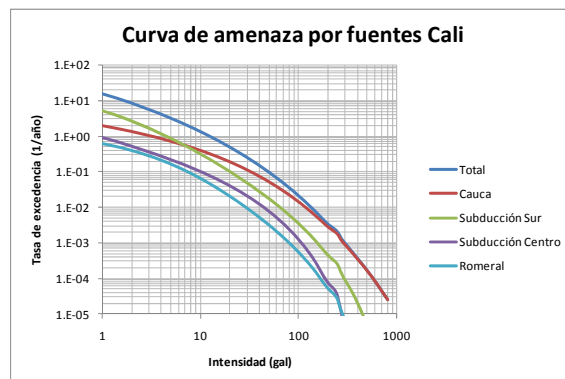


Figura 73 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Cali

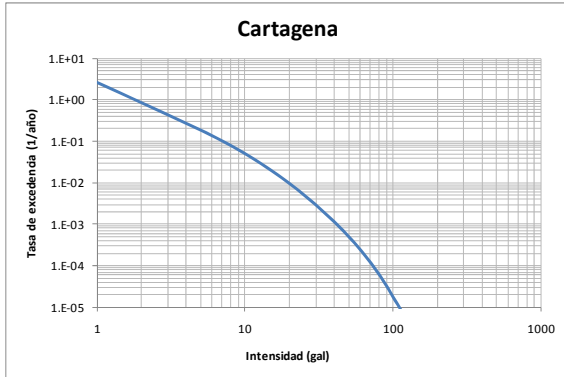


Figura 74 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Cartagena

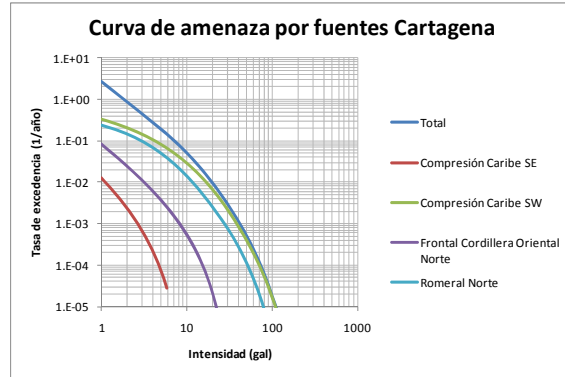


Figura 75 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Cartagena

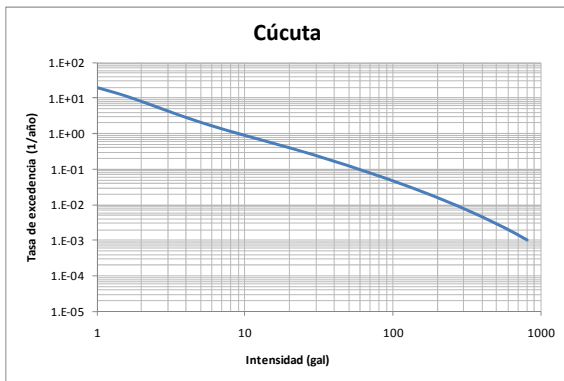


Figura 76 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Cúcuta

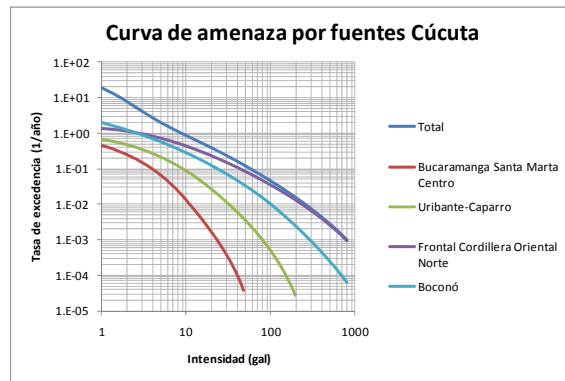


Figura 77 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Cúcuta

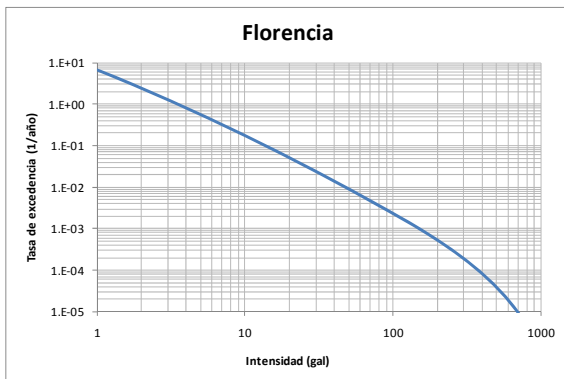


Figura 78 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Florencia

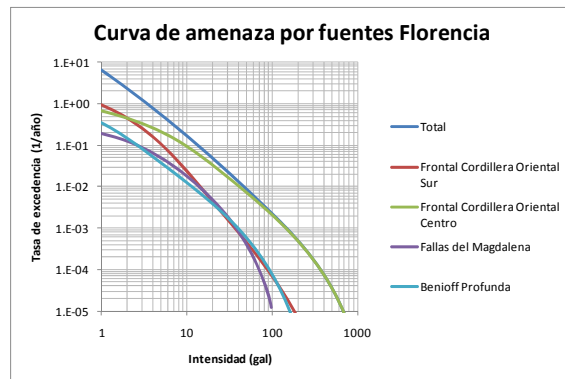


Figura 79 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Florencia

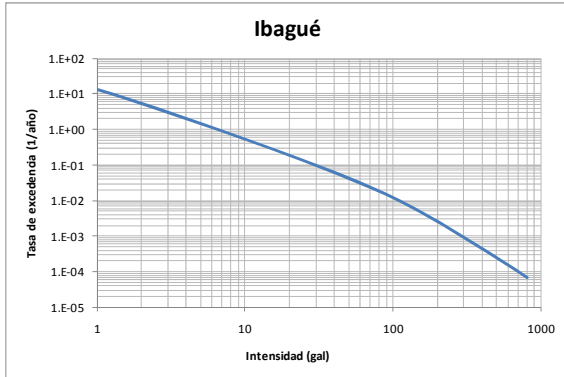


Figura 80 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Ibagué

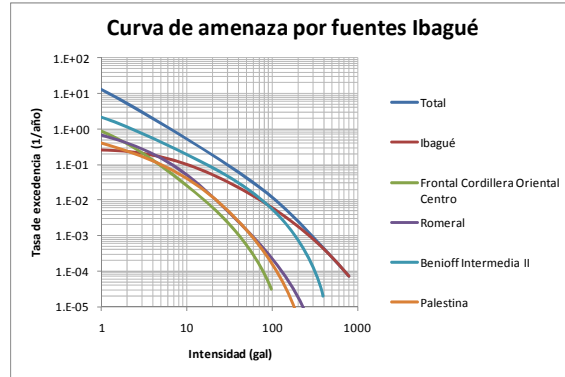


Figura 81 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Ibagué

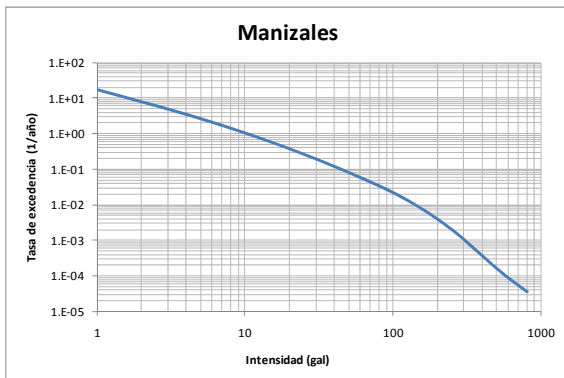


Figura 82 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Manizales

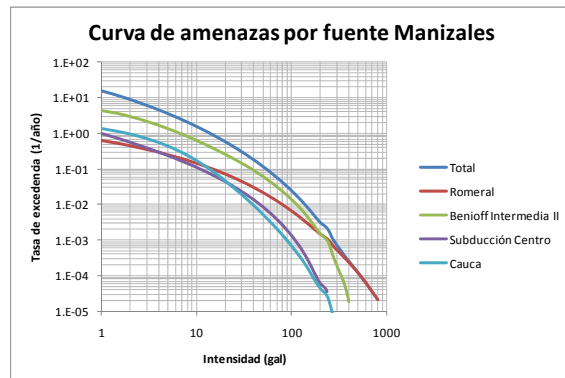


Figura 83 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Manizales

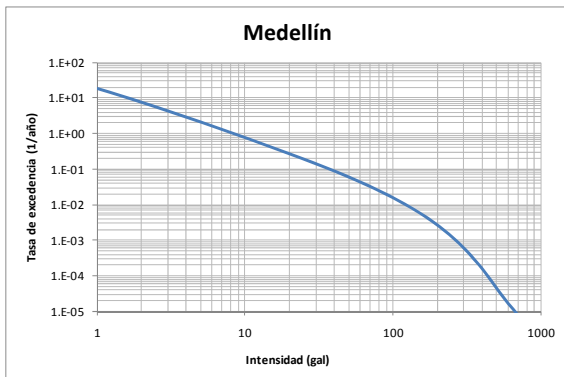


Figura 84 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Medellín

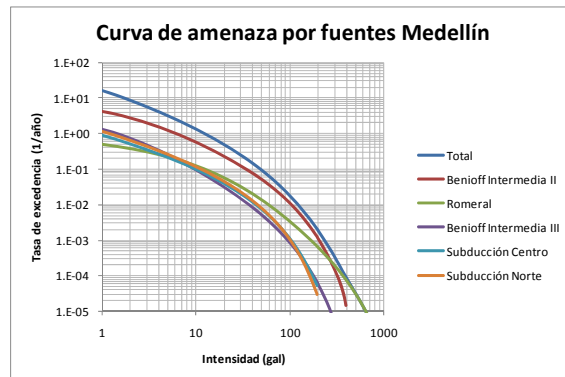


Figura 85 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Medellín

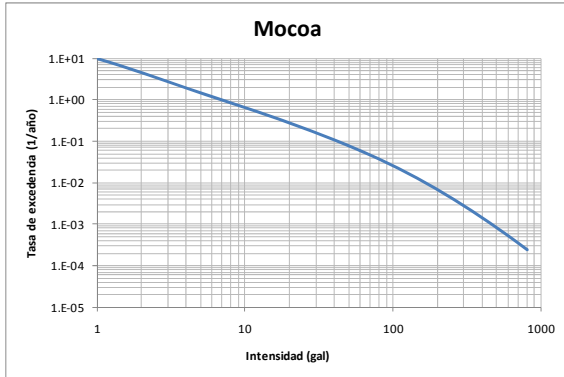


Figura 86 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Mocoa

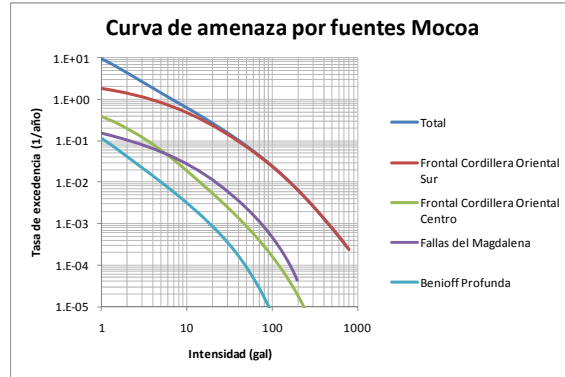


Figura 87 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Mocoa

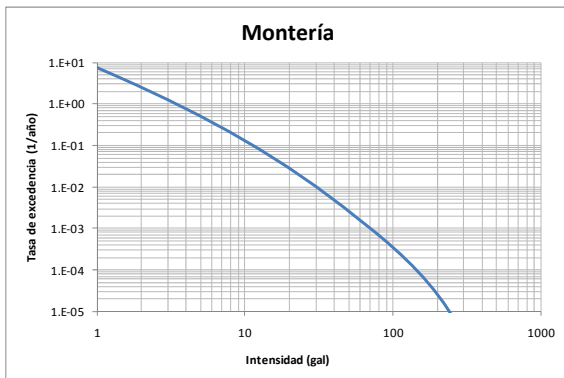


Figura 88 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Montería

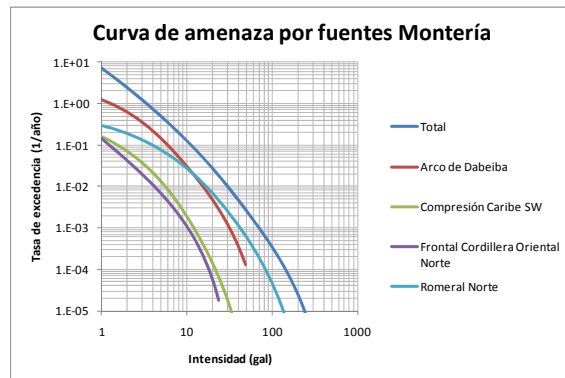


Figura 89 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Montería

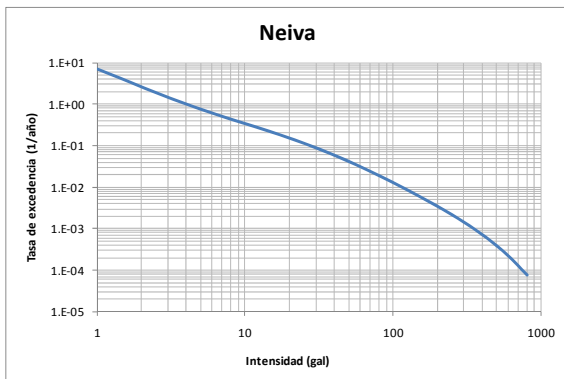


Figura 90 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Neiva

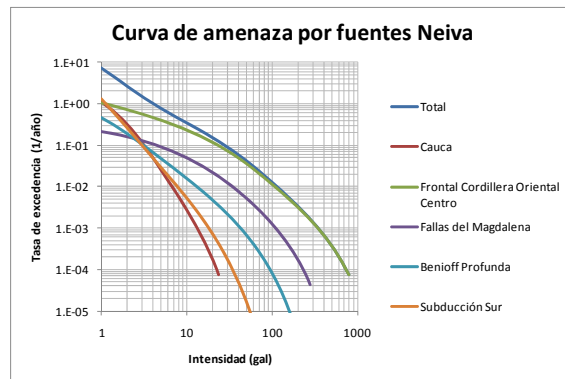


Figura 91 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Neiva

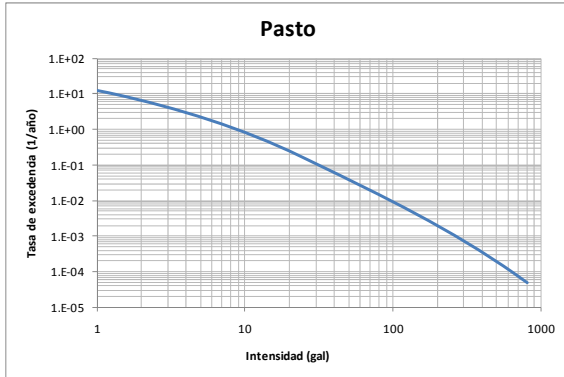


Figura 92 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Pasto

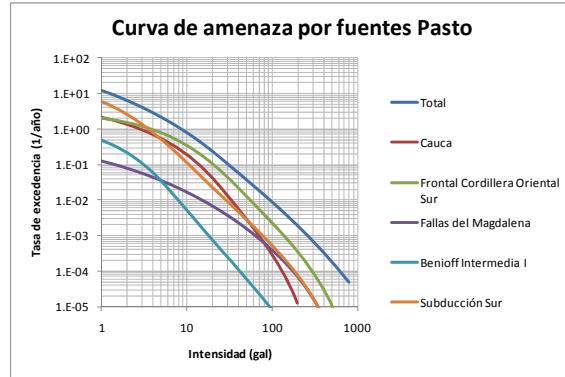


Figura 93 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Pasto

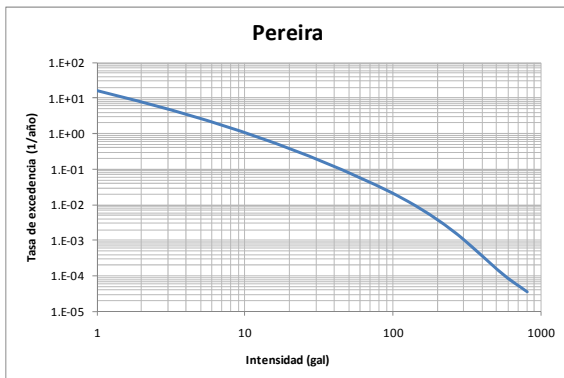


Figura 94 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Pereira

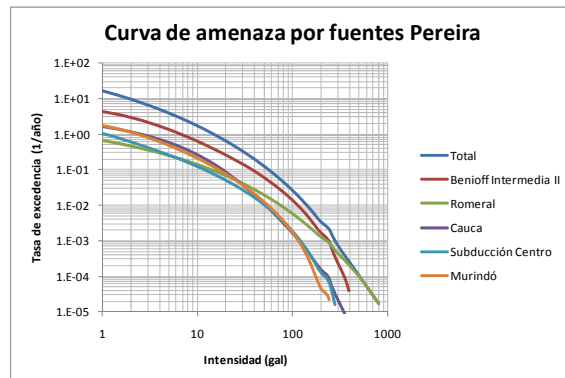


Figura 95 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Pereira

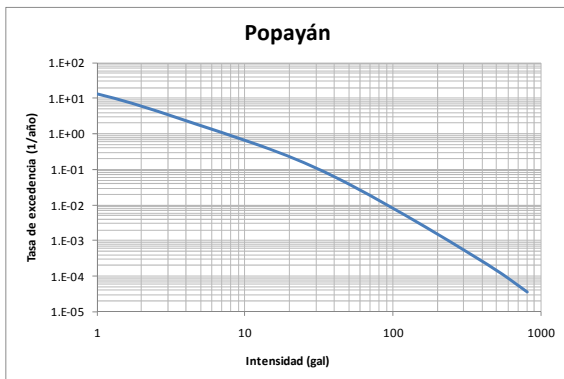


Figura 96 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Popayán

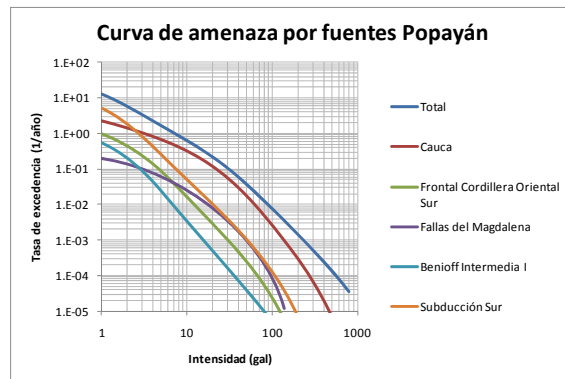


Figura 97 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Popayán

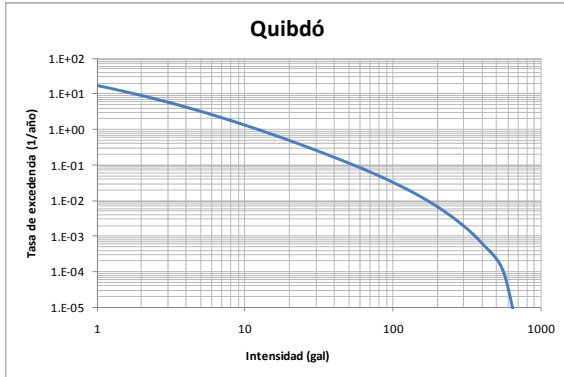


Figura 98 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Quibdó

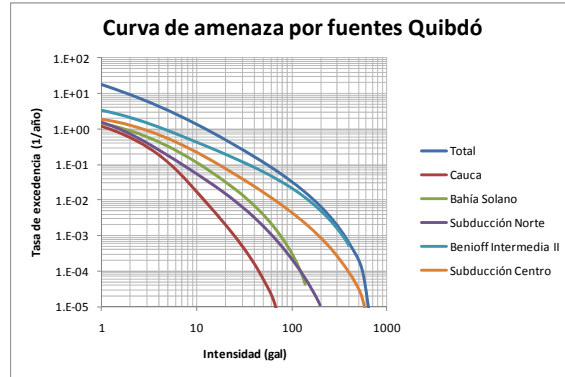


Figura 99 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Quibdó

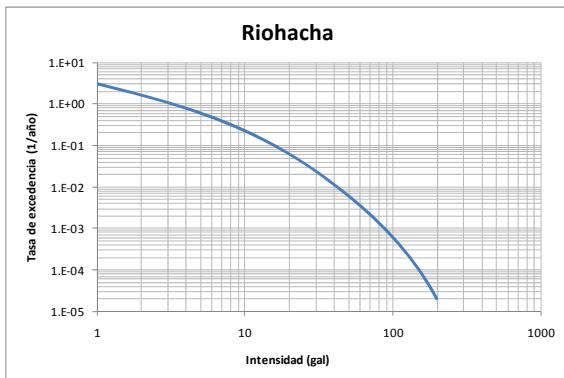


Figura 100 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Riohacha

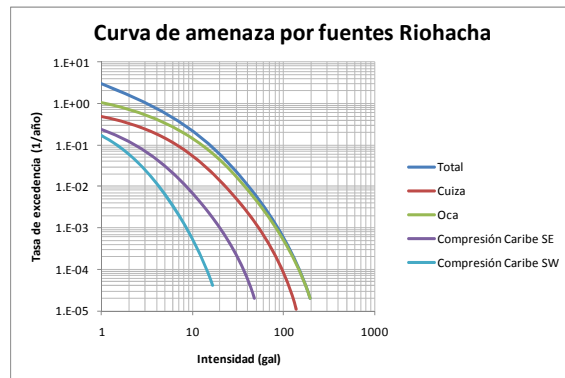


Figura 101 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Riohacha

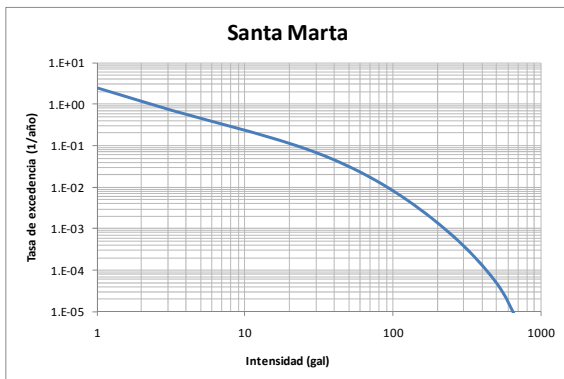


Figura 102 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Santa Marta

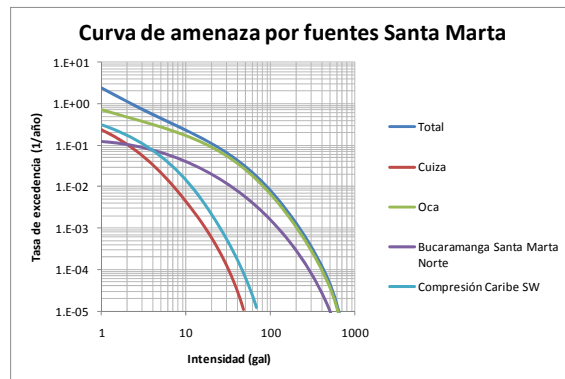


Figura 103 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Santa Marta

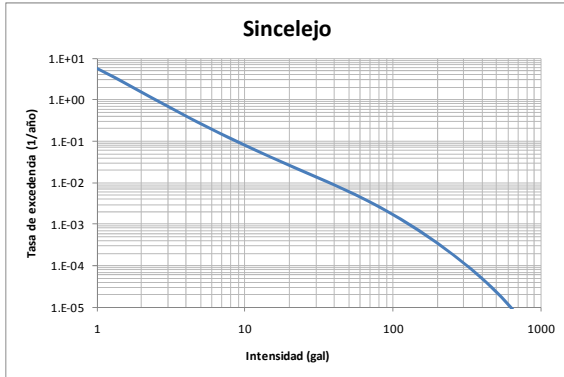


Figura 104 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Sincelajo

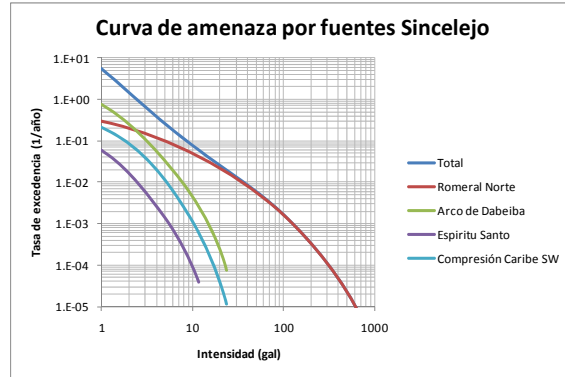


Figura 105 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Sincelajo

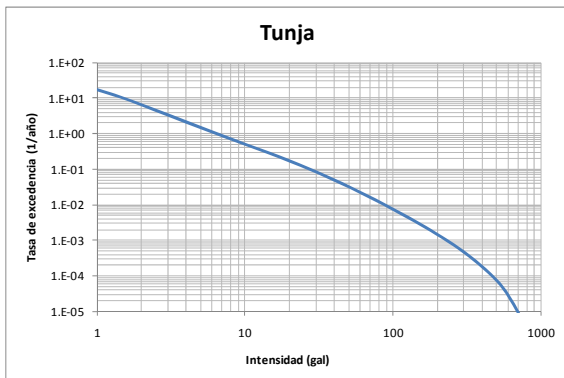


Figura 106 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Tunja

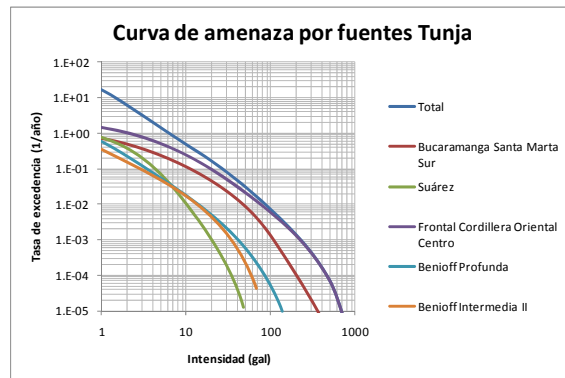


Figura 107 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Tunja

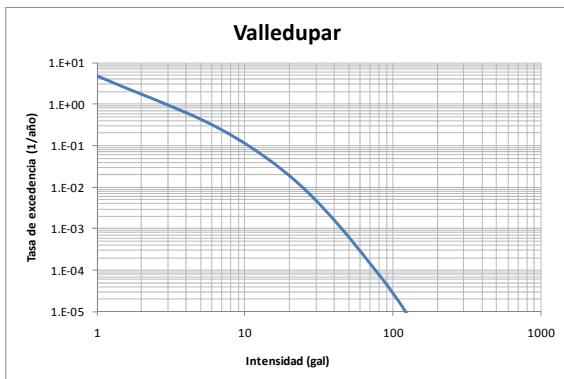


Figura 108 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Valledupar

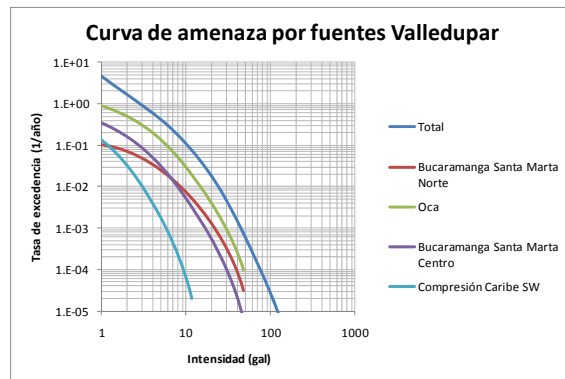


Figura 109 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Valledupar

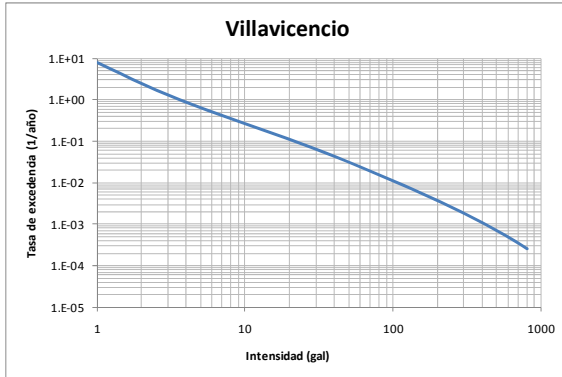


Figura 110 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Villavicencio

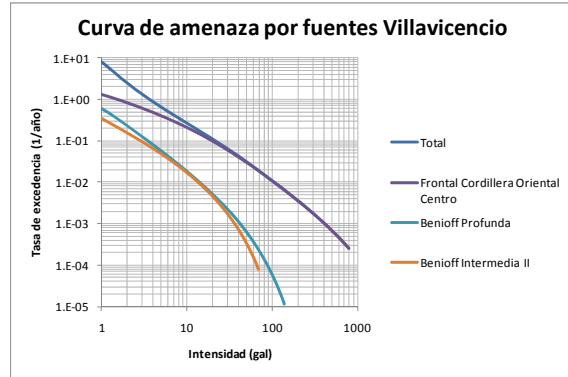


Figura 111 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Villavicencio

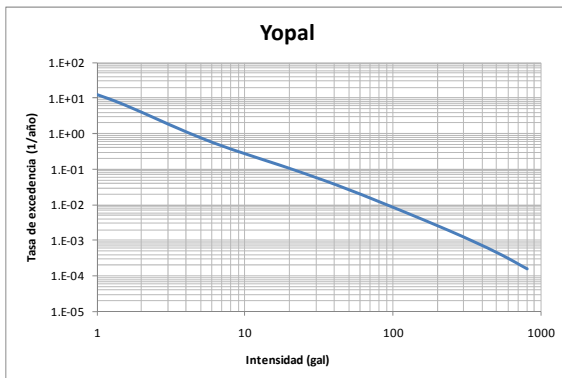


Figura 112 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno Yopal

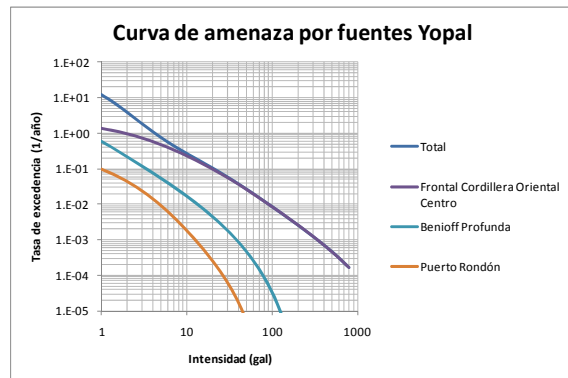


Figura 113 Curva de amenaza aceleración máxima del terreno por fuentes Yopal

Mapas adoptados para la NSR-10

En las figuras 114 a 117 se presentan los mapas adoptados en el nuevo reglamento de las Norma Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), elaborados a partir de la información presentada en el presente estudio. Se presenta el mapa de A_a y A_v los cuales se encuentran asociados con un período de retorno de 475 años. Se presenta también el mapa del sismo de umbral de daño, A_d que tiene asociado un período de retorno de 31 años así como el sismo de seguridad limitada, A_e que tiene un período de retorno de 225 años. Adicionalmente, en la figura 118 se presenta el nuevo mapa de zonificación sísmica del país, en tres regiones: alta, intermedia y baja. En el Anexo 4 en las figuras 298 a 323 se comparan los espectros de amenaza uniforme con período de retorno de 475 años con los coeficientes sísmicos de diseño establecidos en la NSR-10 en roca.

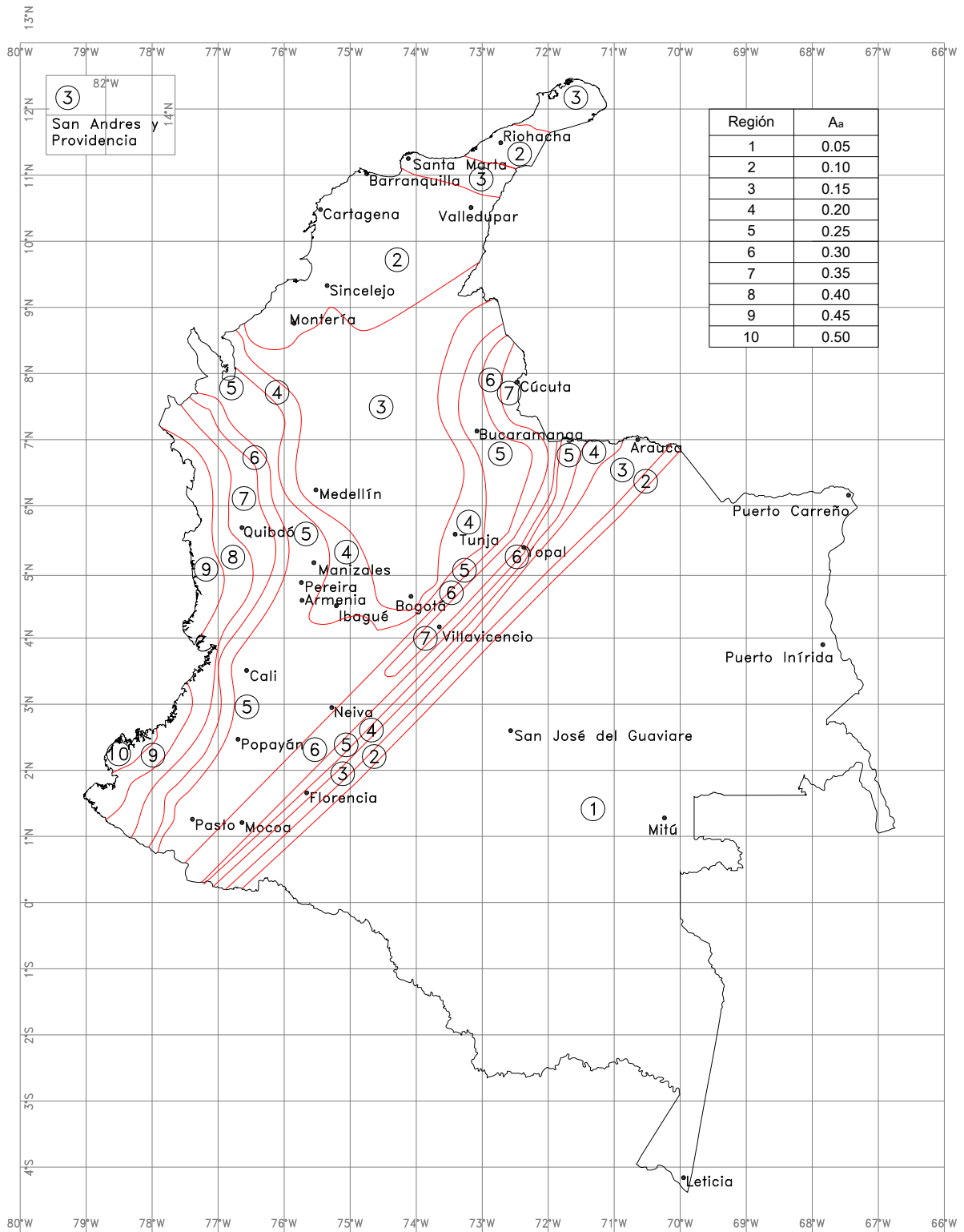


Figura 114 Mapa de Aa

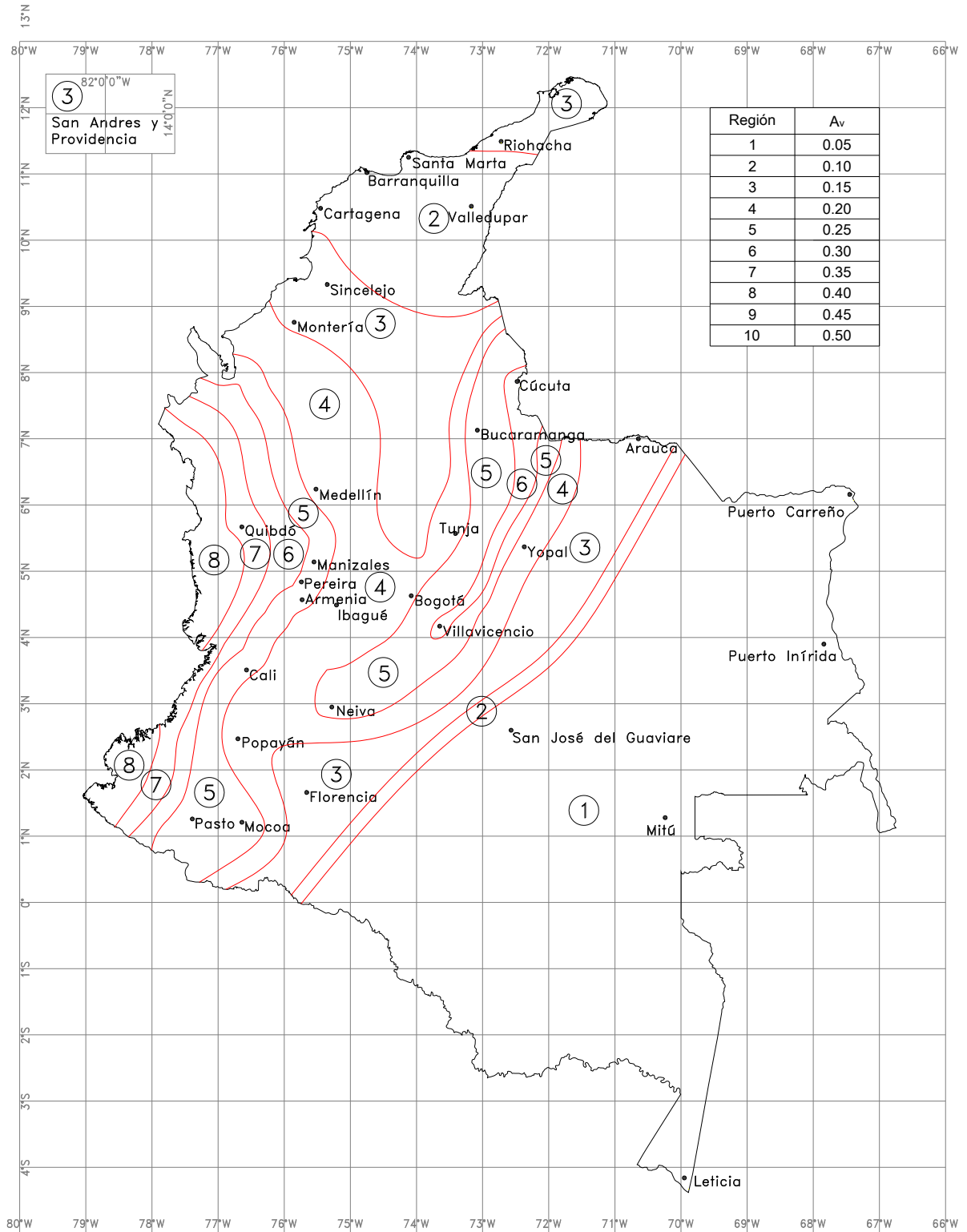


Figura 115 Mapa de Av

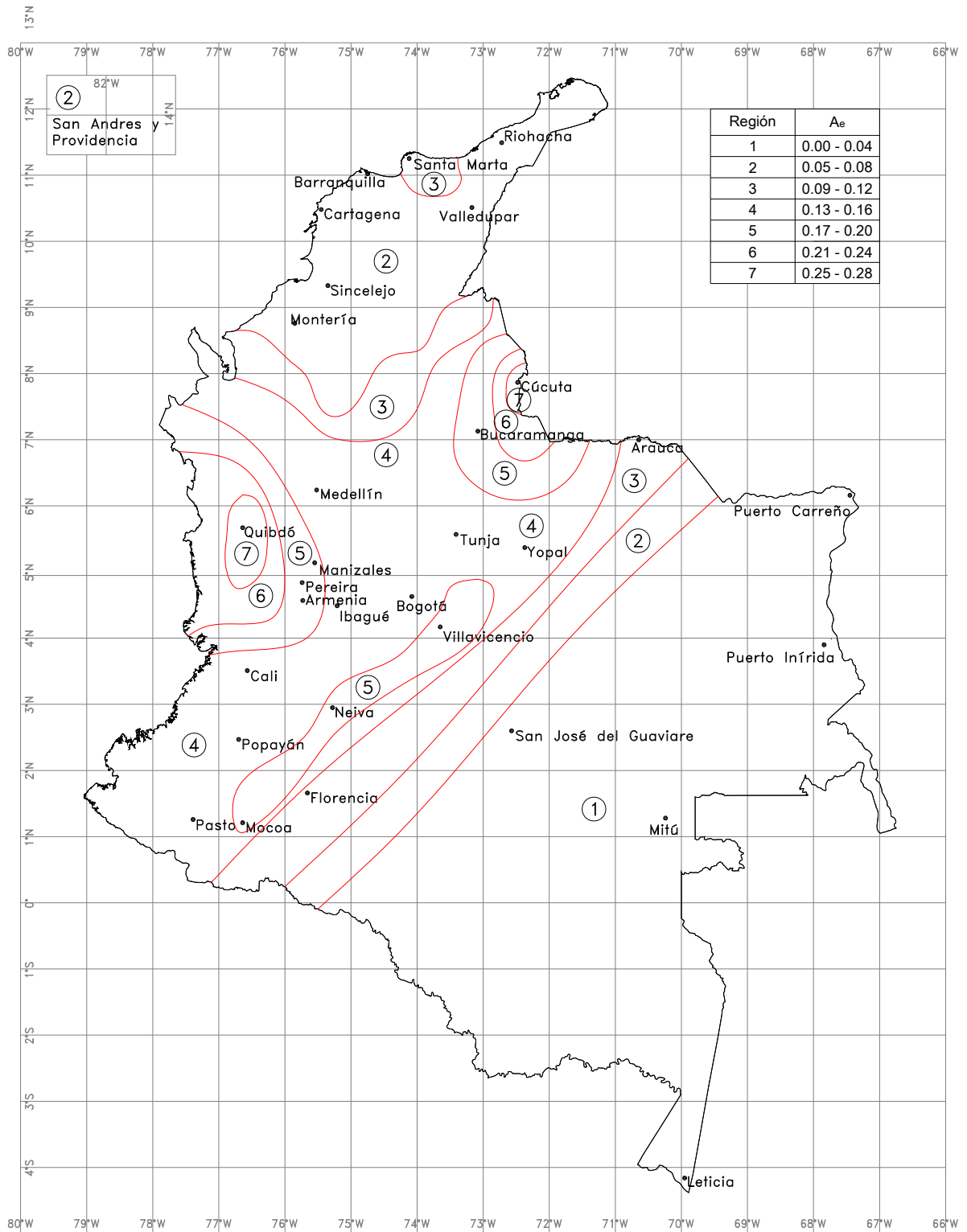


Figura 116 Mapa de Ae

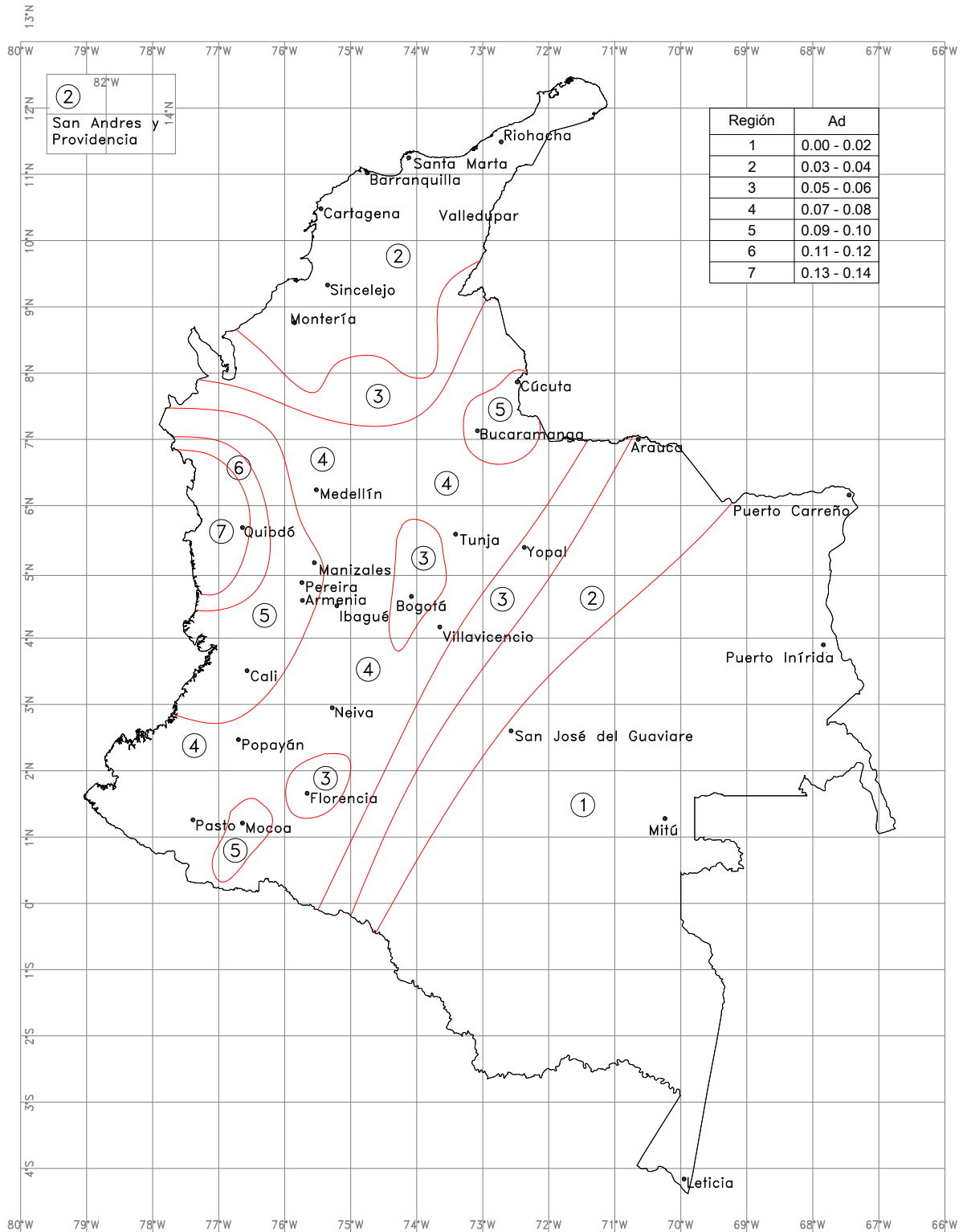


Figura 117 Mapa de Ad

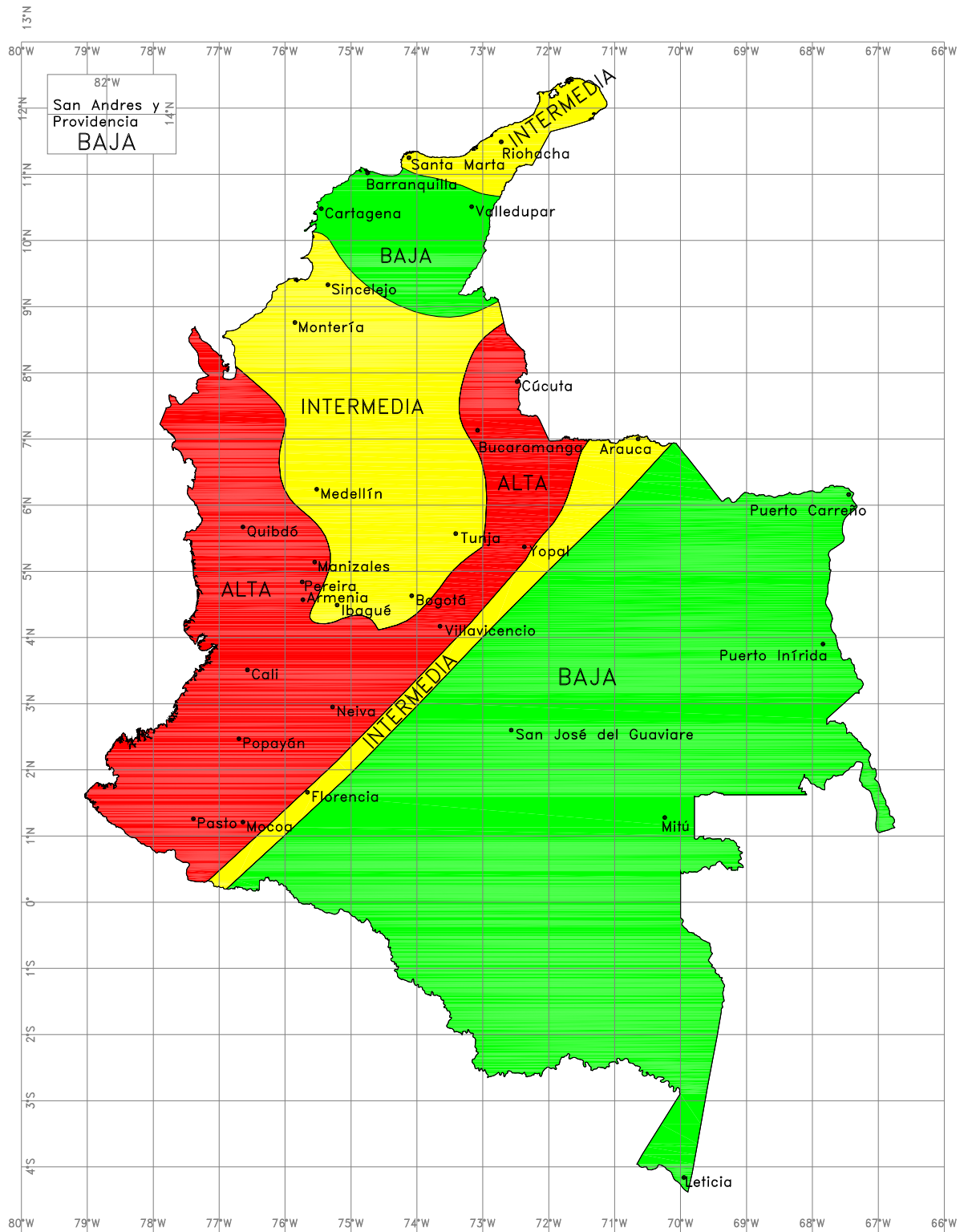


Figura 118 Mapa de zonificación sísmica de Colombia

Valores de A_a , A_v , A_e y A_d para los municipios de Colombia

Los valores de los parámetros establecidos para describir la amenaza sísmica en todos los municipios del territorio colombiano fueron calculados teniendo en cuenta lo siguiente y se presentan en la tabla 6.

Para el cálculo del A_a se calculó la aceleración máxima del terreno (período de vibración de 0 seg) para un período de retorno de 475 años. Según la definición del coeficiente sísmico de diseño, este factor afecta la zona de períodos de vibración cortos; es decir, aquellos que son sensibles a la aceleración. Los valores encontrados a partir de los modelos realizados se redondearon al 0.05 más cercano.

El valor A_v fue calculado a partir de las relaciones descritas por García (2006), es decir tomando el valor de la aceleración para un período de vibración igual a 1 seg y dividiendo ese valor por una constante igual a 1.2. Este valor es el que controla el coeficiente sísmico de diseño en la parte de períodos de vibración intermedios y altos; es decir, aquellos que son sensibles a la velocidad. Los valores encontrados a partir de los modelos realizados se redondearon al 0.05 más cercano.

Tabla 6 Valores de A_a , A_v , A_e y A_d para los municipios de Colombia

Departamento de Amazonas						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Leticia	91001	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
El Encanto	91263	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
La Chorrera	91405	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
La Pedrera	91407	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
La Victoria	91430	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Mirití-Paraná	91460	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Puerto Alegría	91530	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Puerto Arica	91536	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Puerto Nariño	91540	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Puerto Santander	91669	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Tarapacá	91798	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02

Departamento de Antioquia						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Medellín	05001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Abejorral	05002	0.20	0.25	Alta	0.13	0.07
Abriaquí	05004	0.20	0.25	Alta	0.13	0.07
Alejandro	05021	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Amagá	05030	0.20	0.25	Alta	0.16	0.09
Amalfi	05031	0.15	0.20	Intermedia	0.07	0.04
Andes	05034	0.25	0.30	Alta	0.17	0.10
Angelópolis	05036	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Angostura	05038	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.04
Anorí	05040	0.15	0.20	Intermedia	0.07	0.04
Anzá	05044	0.20	0.30	Alta	0.14	0.08
Apartadó	05045	0.25	0.25	Alta	0.19	0.09
Arboletes	05051	0.10	0.20	Intermedia	0.05	0.03
Argelia	05055	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.07
Armenia	05059	0.20	0.25	Alta	0.15	0.08
Barbosa	05079	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Bello	05088	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Belmira	05086	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Betania	05091	0.25	0.30	Alta	0.16	0.10
Betulia	05093	0.20	0.25	Alta	0.14	0.08
Briceño	05107	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Buriticá	05113	0.20	0.25	Alta	0.12	0.07
Cañasgordas	05138	0.20	0.25	Alta	0.12	0.07
Cáceres	05120	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.03
Caicedo	05125	0.20	0.25	Alta	0.13	0.07
Caldas	05129	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.08
Campamento	05134	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Caracolí	05142	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06
Caramanta	05145	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Carepa	05147	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Carmen De Viboral	05148	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Carolina	05150	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Caucasia	05154	0.15	0.20	Intermedia	0.04	0.02

Chigorodó	05172	0.25	0.30	Alta	0.19	0.10
Cisneros	05190	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.04
Ciudad Bolívar	05101	0.25	0.30	Alta	0.16	0.10
Cocorná	05197	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Concepción	05206	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Concordia	05209	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Copacabana	05212	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Dabeiba	05234	0.25	0.30	Alta	0.13	0.08
Don Matías	05237	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Ebéjico	05240	0.15	0.25	Alta	0.15	0.08
El Bagre	05250	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Entrerriós	05264	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Envigado	05266	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Fredonia	05282	0.20	0.25	Alta	0.16	0.09
Frontino	05284	0.30	0.30	Alta	0.15	0.09
Giraldo	05306	0.20	0.25	Alta	0.12	0.07
Girardota	05308	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Gómez Plata	05310	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Granada	05313	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Guadalupe	05315	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Guarne	05318	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Guatapé	05321	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Heliconia	05347	0.15	0.25	Alta	0.16	0.08
Hispania	05353	0.25	0.30	Alta	0.16	0.10
Itagüí	05360	0.15	0.20	Intermedia	0.14	0.08
Ituango	05361	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Jardín	05364	0.25	0.30	Alta	0.20	0.11
Jericó	05368	0.25	0.25	Alta	0.18	0.10
La Ceja	05376	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07
La Estrella	05380	0.15	0.25	Alta	0.15	0.08
La Pintada	05390	0.25	0.25	Alta	0.16	0.09
La Unión	05400	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Liborina	05411	0.15	0.20	Intermedia	0.14	0.07
Maceo	05425	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Marinilla	05440	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Montebello	05467	0.20	0.25	Alta	0.14	0.08
Murindó	05475	0.35	0.35	Alta	0.25	0.13
Mutatá	05480	0.25	0.30	Alta	0.16	0.09
Nariño	05483	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.07
Nechí	05495	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.03
Necoclí	05490	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Olaya	05501	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Peñol	05541	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Peque	05543	0.20	0.25	Alta	0.11	0.06
Pueblorrico	05576	0.25	0.25	Alta	0.17	0.10
Puerto Berrío	05579	0.15	0.15	Intermedia	0.11	0.06
Puerto Nare	05585	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Puerto Triunfo	05591	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Remedios	05604	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Retiro	05607	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Rionegro	05615	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Sabanalarga	05628	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Sabaneta	05631	0.15	0.20	Intermedia	0.14	0.08
Salgar	05642	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
San Andrés	05647	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
San Carlos	05649	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
San Francisco	05652	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07

San Jerónimo	05656	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.08
San José de la Montaña	05658	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
San Juan de Urabá	05659	0.10	0.20	Intermedia	0.06	0.03
San Luis	05660	0.15	0.25	Alta	0.12	0.06
San Pedro	05664	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
San Pedro de Urabá	05665	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.04
San Rafael	05667	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
San Roque	05670	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
San Vicente	05674	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Santa Bárbara	05679	0.20	0.25	Alta	0.16	0.09
Santa Rosa de Osos	05686	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Santafé de Antioquia	05042	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Santo Domingo	05690	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Santuario	05697	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Segovia	05736	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Sonsón	05756	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.07
Sopetrán	05761	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.08
Támesis	05789	0.25	0.25	Alta	0.16	0.09
Tarazá	05790	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Tarso	05792	0.25	0.25	Alta	0.16	0.09
Titiribí	05809	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.08
Toledo	05819	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Turbo	05837	0.25	0.25	Alta	0.13	0.07
Uramita	05842	0.25	0.25	Alta	0.12	0.07
Urrao	05847	0.30	0.30	Alta	0.17	0.10
Valdivia	05854	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Valparaíso	05856	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Vegachí	05858	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Venecia	05861	0.20	0.25	Alta	0.15	0.08
Vigía del Fuerte	05873	0.35	0.35	Alta	0.22	0.12
Yalí	05885	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Yarumal	05887	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Yolombó	05890	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Yondó	05893	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Zaragoza	05895	0.15	0.20	Intermedia	0.05	0.03

Departamento de Arauca						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Arauca	81001	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.04
Araucita	81065	0.20	0.15	Intermedia	0.07	0.03
Cravo Norte	81220	0.05	0.05	Baja	0.03	0.02
Fortul	81300	0.30	0.20	Alta	0.32	0.12
Puerto Rondón	81591	0.15	0.15	Intermedia	0.14	0.05
Saravena	81736	0.30	0.25	Alta	0.21	0.08
Tame	81794	0.25	0.20	Alta	0.31	0.10

Archipiélago de San Andrés						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
San Andrés	88001	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Providencia y Santa Catalina	88564	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03

Departamento de Atlántico						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Barranquilla	08001	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Baranoa	08078	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Campo de la Cruz	08137	0.10	0.10	Baja	0.08	0.03
Candelaria	08141	0.10	0.10	Baja	0.08	0.03
Galapa	08296	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Juan de Acosta	08372	0.10	0.10	Baja	0.04	0.03
Luruaco	08421	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Malambo	08433	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Manatí	08436	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Palmar de Varela	08520	0.10	0.10	Baja	0.08	0.03
Piojo	08549	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Polonuevo	08558	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Ponedera	08560	0.10	0.10	Baja	0.08	0.03
Puerto Colombia	08573	0.10	0.10	Baja	0.04	0.03
Repelón	08606	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Sabanagrande	08634	0.10	0.10	Baja	0.07	0.03
Sabanalarga	08638	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Santa Lucía	08675	0.10	0.10	Baja	0.07	0.03
Santo Tomás	08685	0.10	0.10	Baja	0.07	0.03
Soledad	08758	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Suán	08770	0.10	0.10	Baja	0.08	0.03
Tubará	08832	0.10	0.10	Baja	0.04	0.03
Usiacurí	08849	0.10	0.10	Baja	0.04	0.03

Departamento de Bolívar						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Cartagena	13001	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Achí	13006	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Altos del Rosario	13030	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.03
Arenal	13042	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Arjona	13052	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Arroyohondo	13062	0.10	0.10	Baja	0.07	0.04
Barranco de Loba	13074	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.03
Calamar	13140	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Cantagallo	13160	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Cicuco	13188	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Clemencia	13222	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Córdoba	13212	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
El Carmen de Bolívar	13244	0.10	0.15	Intermedia	0.08	0.04
El Guamo	13248	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
El Peñón	13268	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Hatillo de Loba	13300	0.15	0.10	Intermedia	0.05	0.03
Magangué	13430	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Mahates	13433	0.10	0.10	Baja	0.08	0.03
Margarita	13440	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
María la Baja	13442	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.03
Mompós	13468	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Montecristo	13458	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Morales	13473	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Pinillos	13549	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03

Regidor	13580	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Río Viejo	13600	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
San Cristóbal	13620	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
San Estanislao	13647	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
San Fernando	13650	0.10	0.10	Baja	0.04	0.03
San Jacinto	13654	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
San Jacinto del Cauca	13655	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Juan Nepomuceno	13657	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
San Martín de Loba	13667	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
San Pablo	13670	0.15	0.15	Intermedia	0.36	0.04
Santa Catalina	13673	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Santa Rosa	13683	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Santa Rosa del Sur	13688	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Simití	13744	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Soplaviento	13760	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Talaigua Nuevo	13780	0.10	0.10	Baja	0.04	0.03
Tiquisio	13810	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.05
Turbaco	13836	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Turbaná	13838	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Villanueva	13873	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Zambrano	13894	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03

Departamento de Boyacá						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Tunja	15001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Almeida	15022	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Aquitania	15047	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Arcabuco	15051	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Belén	15087	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Berbeo	15090	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Beteitiva	15092	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Boavita	15097	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Boyacá	15104	0.20	0.20	Intermedia	0.14	0.06
Briceño	15106	0.15	0.15	Intermedia	0.12	0.07
Buenavista	15109	0.15	0.15	Intermedia	0.11	0.06
Busbanzá	15114	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Caldas	15131	0.15	0.15	Intermedia	0.11	0.06
Campohermoso	15135	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Cerínza	15162	0.20	0.25	Alta	0.15	0.07
Chinavita	15172	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Chiquinquirá	15176	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Chíquiza	15232	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Chiscas	15180	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Chita	15183	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Chitaraque	15185	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Chivatá	15187	0.15	0.25	Alta	0.14	0.07
Chivor	15236	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Ciénega	15189	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Cómbita	15204	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Coper	15212	0.15	0.15	Intermedia	0.11	0.06
Corrales	15215	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Covarachia	15218	0.20	0.25	Alta	0.14	0.07
Cubará	15223	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Cucaita	15224	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.05

Cuitiva	15226	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Duitama	15238	0.20	0.25	Alta	0.14	0.07
El Cocuy	15244	0.25	0.30	Alta	0.22	0.08
El Espino	15248	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Firavitoba	15272	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Floresta	15276	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Gachantiva	15293	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Gámeza	15296	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Garagoa	15299	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Guacamayas	15317	0.25	0.25	Alta	0.18	0.08
Guateque	15322	0.20	0.25	Alta	0.16	0.07
Guayatá	15325	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Guicán	15332	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Iza	15362	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Jenesano	15367	0.20	0.25	Alta	0.15	0.07
Jericó	15368	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
La Capilla	15380	0.20	0.25	Alta	0.16	0.07
La Uvita	15403	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
La Victoria	15401	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.08
Labranzagrande	15377	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Macanal	15425	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Maripí	15442	0.20	0.15	Intermedia	0.13	0.07
Miraflores	15455	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Mongua	15464	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Monguí	15466	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Moniquirá	15469	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Motavita	15476	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Muzo	15480	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.08
Nobsa	15491	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Nuevo Colón	15494	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.06
Oicatá	15500	0.20	0.25	Alta	0.13	0.06
Otanche	15507	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.08
Pachavita	15511	0.25	0.25	Alta	0.16	0.07
Páez	15514	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Paipa	15516	0.20	0.25	Alta	0.12	0.06
Pajarito	15518	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Panqueba	15522	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Pauna	15531	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.07
Paya	15533	0.35	0.25	Alta	0.16	0.08
Paz De Río	15537	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Pesca	15542	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Pisba	15550	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Puerto Boyacá	15572	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.05
Quipama	15580	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.08
Ramiriquí	15599	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Ráquira	15600	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Rondón	15621	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Saboyá	15632	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Sáchica	15638	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Samacá	15646	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.05
San Eduardo	15660	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
San José de Pare	15664	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
San Luis de Gaceno	15667	0.35	0.30	Alta	0.16	0.07
San Mateo	15673	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
San Miguel de Sema	15676	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
San Pablo Borbur	15681	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.08
San Rosa Viterbo	15693	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Santa María	15690	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Santa Sofía	15696	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Santana	15686	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Sativanorte	15720	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Sativasur	15723	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Siachoque	15740	0.15	0.25	Alta	0.16	0.08
Soatá	15753	0.25	0.25	Alta	0.16	0.07
Socha	15757	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Socotá	15755	0.25	0.30	Alta	0.16	0.08
Sogamoso	15759	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Somondoco	15761	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Sora	15762	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Soracá	15764	0.20	0.25	Alta	0.14	0.07
Sotaquirá	15763	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Susacón	15774	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Sutamarchán	15776	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Sutatenza	15778	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Tasco	15790	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Tenza	15798	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Tibaná	15804	0.20	0.25	Alta	0.16	0.07
Tibasosa	15806	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Tinjacá	15808	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Tipacoque	15810	0.25	0.25	Alta	0.15	0.07
Toca	15814	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Toguí	15816	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Tópaga	15820	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Tota	15822	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Tunungua	15832	0.15	0.15	Intermedia	0.13	0.07
Turmequé	15835	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Tuta	15837	0.20	0.25	Alta	0.14	0.07
Tutazá	15839	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Úmbita	15842	0.20	0.25	Alta	0.15	0.06
Ventaquemada	15861	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Villa de Leyva	15407	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Viracachá	15879	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08
Zetaquirá	15897	0.20	0.25	Alta	0.16	0.08

Departamento de Caldas						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Manizales	17001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Aguadas	17013	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Anserma	17042	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Aranzazu	17050	0.25	0.25	Alta	0.19	0.09
Belalcázar	17088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Chinchiná	17174	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Filadelfia	17272	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
La Dorada	17380	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
La Merced	17388	0.25	0.25	Alta	0.21	0.10
Manzanares	17433	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Marmato	17442	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Marquetalia	17444	0.20	0.20	Intermedia	0.17	0.08
Marulanda	17446	0.20	0.25	Alta	0.18	0.09
Neira	17486	0.25	0.25	Alta	0.19	0.10
Norcasia	17495	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07

Pácora	17513	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Palestina	17524	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Pensilvania	17541	0.20	0.20	Intermedia	0.18	0.09
Riosucio	17614	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Risaralda	17616	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Salamina	17653	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Samaná	17662	0.20	0.20	Intermedia	0.19	0.09
San José	17665	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Supía	17777	0.15	0.30	Alta	0.20	0.10
Victoria	17867	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Villamaría	17873	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Viterbo	17877	0.25	0.30	Alta	0.23	0.10

Departamento de Caquetá						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Florencia	18001	0.20	0.15	Intermedia	0.10	0.05
Albania	18029	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Belén de los Andaquíes	18094	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.05
Cartagena del Chairá	18150	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Currillo	18205	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
El Doncello	18247	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.03
El Paujil	18256	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.03
La Montañita	18410	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03
Milán	18460	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Morelia	18479	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.03
Puerto Rico	18592	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.03
San José de la Fragua	18610	0.25	0.20	Alta	0.09	0.05
San Vicente del Caguán	18753	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Solano	18756	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Solita	18785	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Valparaíso	18860	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.03

Departamento de Casanare						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Yopal	85001	0.30	0.20	Alta	0.15	0.06
Aguazul	85010	0.30	0.20	Alta	0.14	0.06
Chámeza	85015	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Hato Corozal	85125	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Salina	85136	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Maní	85139	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Monterrey	85162	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Nunchía	85225	0.20	0.15	Intermedia	0.09	0.04
Orocué	85230	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Paz de Ariporo	85250	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Pore	85263	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Recetor	85279	0.30	0.30	Alta	0.16	0.08
Sabanalarga	85300	0.35	0.30	Alta	0.13	0.05
Sácama	85315	0.35	0.20	Alta	0.16	0.08
San Luis de Palenque	85325	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Támara	85400	0.35	0.15	Alta	0.16	0.08
Tauramena	85410	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
Trinidad	85430	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02

Villanueva	85440	0.20	0.20	Intermedia	0.06	0.03
------------	-------	------	------	------------	------	------

Departamento del Cauca						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Popayán	19001	0.25	0.20	Alta	0.15	0.08
Almaguer	19022	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Argelia	19050	0.35	0.25	Alta	0.09	0.06
Balboa	19075	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Bolívar	19100	0.25	0.25	Alta	0.15	0.07
Buenos Aires	19110	0.25	0.20	Alta	0.16	0.08
Cajibío	19130	0.25	0.20	Alta	0.15	0.08
Caldonó	19137	0.25	0.20	Alta	0.16	0.07
Caloto	19142	0.25	0.20	Alta	0.16	0.07
Corinto	19212	0.25	0.20	Alta	0.12	0.06
El Tambo	19256	0.30	0.25	Alta	0.14	0.08
Florencia	19290	0.25	0.25	Alta	0.14	0.07
Guapí	19318	0.40	0.35	Alta	0.14	0.08
Inzá	19355	0.25	0.20	Alta	0.12	0.06
Jambaló	19364	0.25	0.20	Alta	0.11	0.06
La Sierra	19392	0.25	0.20	Alta	0.16	0.08
La Vega	19397	0.25	0.20	Alta	0.16	0.07
López	19418	0.40	0.30	Alta	0.14	0.07
Mercaderes	19450	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Miranda	19455	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Morales	19473	0.25	0.20	Alta	0.16	0.08
Padilla	19513	0.25	0.20	Alta	0.16	0.07
Páez	19517	0.25	0.20	Alta	0.11	0.05
Patía	19532	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Piamonte	19533	0.25	0.20	Alta	0.09	0.05
Piendamó	19548	0.25	0.20	Alta	0.16	0.08
Puerto Tejada	19573	0.25	0.20	Alta	0.13	0.08
Puracé	19585	0.25	0.20	Alta	0.12	0.06
Rosas	19622	0.25	0.20	Alta	0.16	0.08
San Sebastián	19693	0.25	0.25	Alta	0.15	0.07
Santa Rosa	19701	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Santander de Quilichao	19698	0.25	0.20	Alta	0.14	0.08
Silvia	19743	0.25	0.20	Alta	0.10	0.05
Sotará	19760	0.25	0.20	Alta	0.13	0.07
Suárez	19780	0.25	0.20	Alta	0.16	0.08
Sucre	19785	0.25	0.25	Alta	0.14	0.08
Timbío	19807	0.25	0.20	Alta	0.16	0.08
Timbiquí	19809	0.40	0.30	Alta	0.14	0.08
Toribío	19821	0.25	0.20	Alta	0.09	0.05
Totoró	19824	0.25	0.20	Alta	0.10	0.05
Villa Rica	19845	0.25	0.20	Alta	0.14	0.08

Departamento del Cesar						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Valledupar	20001	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Aguachica	20011	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Agustín Codazzi	20013	0.10	0.10	Baja	0.07	0.04
Astréa	20032	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04

Becerril	20045	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Bosconia	20060	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Chimichagua	20175	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Chiriguaná	20178	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Curumaní	20228	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
El Copey	20238	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
El Paso	20250	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Gamarra	20295	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
González	20310	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Gloria	20383	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
La Jagua de Ibirico	20400	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
La Paz	20621	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Manaure	20443	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Pailitas	20517	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
Pelaya	20550	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Pueblo Bello	20570	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Río de Oro	20614	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Alberto	20710	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Diego	20750	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
San Martín	20770	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Tamalameque	20787	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04

Departamento del Chocó						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Quibdó	27001	0.35	0.35	Alta	0.25	0.13
Acandí	27006	0.25	0.25	Alta	0.09	0.04
Alto Baudó	27025	0.40	0.40	Alta	0.24	0.10
Atrato	27050	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
Bagadó	27073	0.35	0.30	Alta	0.24	0.10
Bahía Solano	27075	0.45	0.40	Alta	0.24	0.10
Bajo Baudó	27077	0.45	0.40	Alta	0.24	0.10
Belén de Bajirá	27086	0.25	0.30	Alta	0.24	0.10
Bojayá	27099	0.40	0.40	Alta	0.24	0.10
Cantón de San Pablo	27135	0.40	0.40	Alta	0.24	0.10
Carmen del Darién	27150	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
Certeguí	27160	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
Condoto	27205	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
El Carmen de Atrato	27245	0.30	0.30	Alta	0.24	0.10
El Litoral del San Juan	27250	0.40	0.40	Alta	0.20	0.10
Itsmína	27361	0.40	0.40	Alta	0.23	0.10
Juradó	27372	0.40	0.40	Alta	0.24	0.10
Lloró	27413	0.40	0.35	Alta	0.24	0.10
Medio Atrato	27425	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
Medio Baudó	27430	0.45	0.40	Alta	0.24	0.10
Medio San Juan	27450	0.40	0.40	Alta	0.24	0.10
Nóvita	27491	0.40	0.35	Alta	0.24	0.10
Nuquí	27495	0.45	0.40	Alta	0.24	0.10
Río Iro	27580	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
Río Quito	27600	0.35	0.40	Alta	0.24	0.10
Riosucio	27615	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
San José del Palmar	27660	0.35	0.30	Alta	0.24	0.10
Sipí	27745	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
Tadó	27787	0.35	0.35	Alta	0.24	0.10
Unguía	27800	0.25	0.25	Alta	0.15	0.07

Unión Panamericana	27810	0.40	0.40	Alta	0.24	0.10
--------------------	-------	------	------	------	------	------

Departamento de Córdoba						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Montería	23001	0.10	0.20	Intermedia	0.07	0.04
Ayapel	23068	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Buenavista	23079	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Canalete	23090	0.10	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Cereté	23162	0.10	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Chimá	23168	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Chinú	23182	0.10	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Ciénaga de Oro	23189	0.10	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Cotorra	23300	0.10	0.15	Intermedia	0.06	0.03
La Apartada	23350	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Lorica	23417	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03
Los Córdoba	23419	0.10	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Moñitos	23500	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03
Momil	23464	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.03
Montelíbano	23466	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Planeta Rica	23555	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Pueblo Nuevo	23570	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.05
Puerto Escondido	23574	0.10	0.20	Intermedia	0.06	0.04
Puerto Libertador	23580	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Purísima	23586	0.10	0.15	Intermedia	0.06	0.03
Sahagún	23660	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Andrés de Sotavento	23670	0.10	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Antero	23672	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03
San Bernardo del Viento	23675	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03
San Carlos	23678	0.10	0.15	Intermedia	0.08	0.04
San Pelayo	23686	0.10	0.15	Intermedia	0.06	0.03
Tierralta	23807	0.20	0.20	Intermedia	0.08	0.04
Valencia	23855	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.04

Departamento de Cundinamarca						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Bogotá D. C.	11001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06
Agua de Dios	25001	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Albán	25019	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Anapóima	25035	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06
Anolaima	25040	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Apulo	25599	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Arbeláez	25053	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Beltrán	25086	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.06
Bituima	25095	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Bojacá	25099	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Cabrera	25120	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Cachipay	25123	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.06
Cajicá	25126	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Caparrapí	25148	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.06
Cáqueza	25151	0.25	0.25	Alta	0.15	0.06
Carmen de Carupa	25154	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.05
Chaguaní	25168	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06

Chía	25175	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Chipaqué	25178	0.20	0.25	Alta	0.11	0.05
Choachí	25181	0.20	0.25	Alta	0.12	0.06
Chocontá	25183	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Cogua	25200	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Cota	25214	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Cucunubá	25224	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
El Colegio	25245	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
El Peñón	25258	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06
El Rosal	25260	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Facatativá	25269	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Fómeque	25279	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Fosca	25281	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Funza	25286	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Fúquene	25288	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Fusagasugá	25290	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Gachalá	25293	0.30	0.25	Alta	0.26	0.06
Gachancipá	25295	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Gachetá	25297	0.20	0.25	Alta	0.15	0.06
Gama	25299	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Girardot	25307	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Granada	25312	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Guachetá	25317	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.05
Guaduas	25320	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.06
Guasca	25322	0.15	0.25	Alta	0.11	0.05
Guataquí	25324	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Guatavita	25326	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Guayabal de Síquima	25328	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Guayabetal	25335	0.30	0.25	Alta	0.16	0.06
Gutiérrez	25339	0.25	0.25	Alta	0.16	0.06
Jerusalén	25368	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Junín	25372	0.20	0.25	Alta	0.16	0.06
La Calera	25377	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.05
La Mesa	25386	0.15	0.20	Intermedia	0.14	0.06
La Palma	25394	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
La Peña	25398	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
La Vega	25402	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Lenguazaque	25407	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Machetá	25426	0.20	0.25	Alta	0.13	0.06
Madrid	25430	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Manta	25436	0.20	0.25	Alta	0.15	0.06
Medina	25438	0.35	0.25	Alta	0.16	0.06
Mosquera	25473	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Nariño	25483	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.06
Nemocón	25486	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Nilo	25488	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Nimáima	25489	0.15	0.20	Intermedia	0.14	0.06
Nocáima	25491	0.15	0.20	Intermedia	0.14	0.06
Pacho	25513	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Paime	25518	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Pandi	25524	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Paratebueno	25530	0.30	0.25	Alta	0.09	0.04
Pasca	25535	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Puerto Salgar	25572	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Pulí	25580	0.20	0.20	Intermedia	0.14	0.06
Quebradanegra	25592	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Quetame	25594	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08

Quipile	25596	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.08
Ricaurte	25612	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.06
San Antonio de Tequendama	25645	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
San Bernardo	25649	0.25	0.20	Alta	0.10	0.05
San Cayetano	25653	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.06
San Francisco	25658	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
San Juan de Rioseco	25662	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Sasaima	25718	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Sesquilé	25736	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Sibaté	25740	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Silvania	25743	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Simijaca	25745	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.05
Soacha	25754	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Sopó	25758	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Subachoque	25769	0.15	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Suesca	25772	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Supatá	25777	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Susa	25779	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Sutatausa	25781	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Tábio	25785	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Tausa	25793	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Tena	25797	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Tenjo	25799	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Tibacuy	25805	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Tibirita	25807	0.20	0.25	Alta	0.15	0.06
Tocaima	25815	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Tocancipá	25817	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Topaipí	25823	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.06
Ubalá	25839	0.35	0.25	Alta	0.16	0.06
Ubaque	25841	0.20	0.25	Alta	0.12	0.06
Ubaté	25843	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Une	25845	0.20	0.25	Alta	0.13	0.06
Útica	25851	0.15	0.20	Intermedia	0.18	0.06
Venecia	25506	0.25	0.20	Alta	0.10	0.05
Vergara	25862	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.06
Vianí	25867	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.06
Villagómez	25871	0.15	0.15	Intermedia	0.11	0.06
Villapinzón	25873	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.05
Villeta	25875	0.15	0.20	Intermedia	0.17	0.06
Viotá	25878	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.05
Yacopí	25885	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.06
Zipacón	25898	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06
Zipaquirá	25899	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05

Distrito Capital

Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Bogotá D. C.	11001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06

Departamento del Guainía

Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Puerto Inírida	94001	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Barranco Mina	94343	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02

Cacahual	94886	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
La Guadalupe	94885	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Mapiripaná	94663	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Morichal	94888	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Pana Pana	94887	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Puerto Colombia	94884	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
San Felipe	94883	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02

Departamento de la Guajira						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Riohacha	44001	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Albania	44035	0.10	0.10	Baja	0.08	0.04
Barrancas	44078	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
Dibulla	44090	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
Distracción	44098	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
El Molino	44110	0.10	0.10	Baja	0.06	0.04
Fonseca	44279	0.15	0.10	Intermedia	0.07	0.04
Hatonuevo	44378	0.15	0.10	Intermedia	0.08	0.04
La Jagua del Pilar	44420	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03
Maicao	44430	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Manaure	44560	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.04
San Juan del Cesar	44650	0.15	0.10	Intermedia	0.05	0.03
Uribía	44847	0.15	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Urumita	44855	0.10	0.10	Baja	0.06	0.03
Villanueva	44874	0.10	0.10	Baja	0.05	0.03

Departamento del Guaviare						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
San José Del Guaviare	95001	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Calamar	95015	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
El Retorno	95025	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Miraflores	95200	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02

Departamento del Huila						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Neiva	41001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.08
Acevedo	41006	0.30	0.15	Alta	0.17	0.06
Agrado	41013	0.30	0.15	Alta	0.26	0.08
Aipe	41016	0.25	0.25	Alta	0.14	0.05
Algeciras	41020	0.30	0.20	Alta	0.20	0.08
Altamira	41026	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Baraya	41078	0.30	0.25	Alta	0.19	0.08
Campoalegre	41132	0.30	0.20	Alta	0.20	0.08
Colombia	41206	0.30	0.25	Alta	0.19	0.08
Elías	41244	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Garzón	41298	0.30	0.15	Alta	0.20	0.07
Gigante	41306	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Guadalupe	41319	0.30	0.15	Alta	0.16	0.06
Hobo	41349	0.30	0.20	Alta	0.20	0.08

Iquira	41357	0.25	0.20	Alta	0.16	0.06
Isnos	41359	0.25	0.20	Alta	0.19	0.07
La Argentina	41378	0.25	0.15	Alta	0.19	0.07
La Plata	41396	0.25	0.15	Alta	0.19	0.07
Nátaga	41483	0.25	0.20	Alta	0.19	0.07
Oporapa	41503	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Paicol	41518	0.25	0.20	Alta	0.20	0.08
Palermo	41524	0.25	0.25	Alta	0.18	0.07
Palestina	41530	0.30	0.20	Alta	0.20	0.08
Pital	41548	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Pitalito	41551	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Rivera	41615	0.30	0.20	Alta	0.20	0.08
Saladoblanco	41660	0.25	0.20	Alta	0.20	0.07
San Agustín	41668	0.25	0.20	Alta	0.19	0.08
Santa María	41676	0.25	0.20	Alta	0.14	0.05
Suazá	41770	0.30	0.15	Alta	0.16	0.06
Tarquí	41791	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Tello	41799	0.30	0.25	Alta	0.19	0.08
Teruel	41801	0.25	0.20	Alta	0.19	0.07
Tesalia	41797	0.25	0.20	Alta	0.19	0.07
Timaná	41807	0.30	0.15	Alta	0.20	0.08
Villavieja	41872	0.25	0.25	Alta	0.19	0.07
Yaguará	41885	0.25	0.20	Alta	0.19	0.08

Departamento del Magdalena						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Santa Marta	47001	0.15	0.10	Intermedia	0.10	0.04
Algarrobo	47030	0.10	0.10	Baja	0.05	0.02
Aracataca	47053	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Ariguaní	47058	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Cerro San Antonio	47161	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Chivolo	47170	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Ciénaga	47189	0.10	0.10	Baja	0.06	0.02
Concordia	47205	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
El Banco	47245	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
El Piñon	47258	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
El Reten	47268	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Fundación	47288	0.10	0.10	Baja	0.05	0.02
Guamal	47318	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Nueva Granada	47460	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Pedraza	47541	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Pijino del Carmen	47545	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Pivijay	47551	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Plato	47555	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Puebloviejo	47570	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Remolino	47605	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Sabanas de San Ángel	47660	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Salamina	47675	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
San Sebastián de Buenavista	47692	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
San Zenón	47703	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Santa Ana	47707	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Santa Bárbara de Pinto	47720	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Sitionuevo	47745	0.10	0.10	Baja	0.05	0.02
Tenerife	47798	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02

Zapayán	47960	0.10	0.10	Baja	0.04	0.02
Zona Bananera	47980	0.10	0.10	Baja	0.08	0.02

Departamento del Meta						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Villavicencio	50001	0.25	0.30	Alta	0.20	0.07
Acacias	50006	0.30	0.30	Alta	0.17	0.06
Barranca de Upía	50110	0.25	0.25	Alta	0.08	0.04
Cabuyaro	50124	0.20	0.20	Intermedia	0.06	0.03
Castilla la Nueva	50150	0.20	0.25	Alta	0.07	0.03
Cumaral	50226	0.25	0.25	Alta	0.09	0.04
El Calvario	50245	0.30	0.25	Alta	0.26	0.08
El Castillo	50251	0.25	0.25	Alta	0.11	0.04
El Dorado	50270	0.25	0.25	Alta	0.11	0.05
Fuente de Oro	50287	0.15	0.20	Intermedia	0.05	0.02
Granada	50313	0.20	0.25	Alta	0.07	0.03
Guamal	50318	0.35	0.25	Alta	0.28	0.08
La Macarena	50350	0.05	0.10	Baja	0.03	0.02
La Uribe	50370	0.25	0.25	Alta	0.10	0.04
Lejanías	50400	0.30	0.25	Alta	0.19	0.08
Mapiripán	50325	0.05	0.05	Baja	0.02	0.02
Mesetas	50330	0.20	0.25	Alta	0.07	0.03
Puerto Concordia	50450	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Puerto Gaitán	50568	0.05	0.10	Baja	0.04	0.02
Puerto Lleras	50577	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Puerto López	50573	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Puerto Rico	50590	0.05	0.10	Baja	0.04	0.02
Restrepo	50606	0.30	0.30	Alta	0.13	0.05
San Carlos Guaroa	50680	0.15	0.20	Intermedia	0.05	0.03
San Juan de Arama	50683	0.15	0.20	Intermedia	0.06	0.03
San Juanito	50686	0.30	0.25	Alta	0.20	0.08
San Luis de Cubarral	50223	0.35	0.25	Alta	0.20	0.08
San Martín	50689	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Vista Hermosa	50711	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02

Departamento de Nariño						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Pasto	52001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Albán	52019	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Aldana	52022	0.25	0.25	Alta	0.14	0.08
Ancuyá	52036	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Arboleda	52051	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Barbacoas	52079	0.35	0.35	Alta	0.16	0.08
Belén	52083	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Buesaco	52110	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Chachagui	52240	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Colón	52203	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Consacá	52207	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Contadero	52210	0.25	0.25	Alta	0.12	0.07
Córdoba	52215	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Cuaspu	52224	0.25	0.25	Alta	0.14	0.08
Cumbal	52227	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08

Cumbitará	52233	0.30	0.30	Alta	0.10	0.07
El Charco	52250	0.40	0.35	Alta	0.13	0.08
El Peñol	52254	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
El Rosario	52256	0.30	0.30	Alta	0.11	0.07
El Tablón	52258	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
El Tambo	52260	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Francisco Pizarro	52520	0.50	0.40	Alta	0.16	0.08
Funes	52287	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Guachucal	52317	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Guaitarilla	52320	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Gualmatán	52323	0.25	0.25	Alta	0.12	0.07
Iles	52352	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Imúes	52354	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Ipiales	52356	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
La Cruz	52378	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
La Florida	52381	0.25	0.25	Alta	0.12	0.07
La Llanada	52385	0.30	0.30	Alta	0.11	0.07
La Tola	52390	0.50	0.40	Alta	0.16	0.08
La Unión	52399	0.25	0.25	Alta	0.12	0.07
Leiva	52405	0.30	0.25	Alta	0.15	0.08
Linares	52411	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Los Andes	52418	0.30	0.30	Alta	0.12	0.07
Magüí	52427	0.40	0.35	Alta	0.16	0.08
Mallama	52435	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Mosquera	52473	0.50	0.40	Alta	0.16	0.08
Olaya Herrera	52490	0.50	0.40	Alta	0.16	0.08
Ospina	52506	0.25	0.25	Alta	0.12	0.08
Policarpa	52540	0.30	0.30	Alta	0.13	0.08
Potosí	52560	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Providencia	52565	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Puerres	52573	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Pupiales	52585	0.25	0.25	Alta	0.12	0.08
Ricaurte	52612	0.35	0.30	Alta	0.16	0.08
Roberto Payán	52621	0.45	0.40	Alta	0.16	0.08
Samaniego	52678	0.30	0.30	Alta	0.13	0.08
San Bernardo	52685	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
San Lorenzo	52687	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
San Pablo	52693	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
San Pedro de Cartago	52694	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Sandoná	52683	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Santa Bárbara	52696	0.45	0.35	Alta	0.16	0.08
Santacruz	52699	0.30	0.25	Alta	0.16	0.08
Sapuyés	52720	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Taminango	52786	0.25	0.25	Alta	0.15	0.08
Tangua	52788	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Tumaco	52835	0.45	0.40	Alta	0.16	0.08
Túquerres	52838	0.25	0.25	Alta	0.16	0.08
Yacuanquer	52885	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07

Departamento del Norte de Santander						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Cúcuta	54001	0.35	0.25	Alta	0.25	0.10
Abrego	54003	0.30	0.20	Alta	0.07	0.04
Arboledas	54051	0.30	0.25	Alta	0.08	0.04

Bochalema	54099	0.35	0.25	Alta	0.13	0.06
Bucarasica	54109	0.30	0.25	Alta	0.09	0.04
Cáchira	54128	0.25	0.25	Alta	0.07	0.04
Cácota	54125	0.30	0.25	Alta	0.10	0.05
Chinácota	54172	0.35	0.30	Alta	0.16	0.07
Chitagá	54174	0.30	0.30	Alta	0.11	0.05
Convención	54206	0.20	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Cucutilla	54223	0.30	0.25	Alta	0.08	0.04
Durania	54239	0.35	0.25	Alta	0.14	0.06
El Carmen	54245	0.15	0.10	Intermedia	0.04	0.02
El Tarra	54250	0.20	0.15	Intermedia	0.05	0.03
El Zulia	54261	0.35	0.25	Alta	0.22	0.09
Gramalote	54313	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Hacarí	54344	0.25	0.20	Alta	0.06	0.03
Herrán	54347	0.35	0.30	Alta	0.19	0.08
La Esperanza	54385	0.20	0.20	Intermedia	0.05	0.03
La Playa	54398	0.20	0.15	Intermedia	0.06	0.03
Labateca	54377	0.35	0.30	Alta	0.14	0.06
Los Patios	54405	0.35	0.30	Alta	0.22	0.09
Lourdes	54418	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Mutiscua	54480	0.30	0.25	Alta	0.08	0.04
Ocaña	54498	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.03
Pamplona	54518	0.30	0.25	Alta	0.10	0.05
Pamplonita	54520	0.35	0.25	Alta	0.13	0.06
Puerto Santander	54553	0.35	0.25	Alta	0.09	0.04
Ragonvalia	54599	0.35	0.30	Alta	0.20	0.09
Salazar	54660	0.30	0.25	Alta	0.09	0.04
San Calixto	54670	0.20	0.15	Intermedia	0.05	0.03
San Cayetano	54673	0.35	0.30	Alta	0.19	0.08
Santiago	54680	0.30	0.25	Alta	0.14	0.06
Sardinata	54720	0.30	0.25	Alta	0.15	0.06
Silos	54743	0.25	0.25	Alta	0.07	0.03
Teorama	54800	0.20	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Tibú	54810	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.04
Toledo	54820	0.35	0.30	Alta	0.24	0.10
Villa Caro	54871	0.30	0.25	Alta	0.07	0.04
Villa del Rosario	54874	0.35	0.30	Alta	0.25	0.10

Departamento del Putumayo						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Mocoa	86001	0.30	0.25	Alta	0.20	0.10
Colón	86219	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Orito	86320	0.30	0.25	Alta	0.08	0.05
Puerto Asís	86568	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Puerto Caicedo	86569	0.15	0.20	Intermedia	0.04	0.02
Puerto Guzmán	86571	0.05	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Puerto Leguízamo	86573	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
San Francisco	86755	0.30	0.25	Alta	0.16	0.10
San Miguel	86757	0.15	0.20	Intermedia	0.04	0.02
Santiago	86760	0.30	0.25	Alta	0.17	0.10
Sibundoy	86749	0.25	0.25	Alta	0.14	0.08
Valle del Guamuez	86865	0.15	0.20	Intermedia	0.04	0.02
Villagarzón	86885	0.30	0.25	Alta	0.08	0.05

Departamento del Quindío						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Armenia	63001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Buenavista	63111	0.25	0.20	Alta	0.19	0.09
Calarcá	63130	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Circasia	63190	0.25	0.25	Alta	0.20	0.11
Córdoba	63212	0.25	0.20	Alta	0.20	0.10
Filandia	63272	0.25	0.25	Alta	0.20	0.11
Génova	63302	0.25	0.20	Alta	0.20	0.09
La Tebaida	63401	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Montenegro	63470	0.25	0.25	Alta	0.19	0.10
Pijáo	63548	0.25	0.20	Alta	0.20	0.10
Quimbaya	63594	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Salento	63690	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09

Departamento de Risaralda						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Pereira	66001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Apía	66045	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
Balboa	66075	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Belén de Umbría	66088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Dos Quebradas	66170	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Guática	66318	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
La Celia	66383	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
La Virginia	66400	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Marsella	66440	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Mistrató	66456	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
Pueblo Rico	66572	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10
Quinchía	66594	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Santa Rosa de Cabal	66682	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Santuario	66687	0.30	0.30	Alta	0.20	0.10

Departamento de Santander						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Bucaramanga	68001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Aguada	68013	0.15	0.20	Intermedia	0.17	0.09
Albania	68020	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.06
Aratoca	68051	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Barbosa	68077	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Barichara	68079	0.20	0.25	Alta	0.13	0.08
Barrancabermeja	68081	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Betulia	68092	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.09
Bolívar	68101	0.15	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Cabrera	68121	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.08
California	68132	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Capitanejo	68147	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Carcasi	68152	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Cepitá	68160	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Cerrito	68162	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Charalá	68167	0.20	0.25	Alta	0.08	0.05

Charta	68169	0.25	0.25	Alta	0.09	0.06
Chima	68176	0.15	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Chipatá	68179	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.07
Cimitarra	68190	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Concepción	68207	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Confines	68209	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Contratación	68211	0.15	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Coromoro	68217	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
Curití	68229	0.20	0.25	Alta	0.10	0.06
El Carmen de Chucurí	68235	0.15	0.15	Intermedia	0.17	0.08
El Florian	68271	0.15	0.15	Intermedia	0.12	0.07
El Guacamayo	68245	0.15	0.20	Intermedia	0.18	0.10
El Peñón	68250	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.07
El Playón	68255	0.25	0.25	Alta	0.14	0.07
Encino	68264	0.20	0.25	Alta	0.09	0.05
Enciso	68266	0.25	0.25	Alta	0.10	0.05
Floridablanca	68276	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Galán	68296	0.15	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Gámbita	68298	0.20	0.20	Intermedia	0.07	0.05
Goepsa	68327	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Girón	68307	0.20	0.25	Alta	0.18	0.10
Guaca	68318	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Guadalupe	68320	0.15	0.20	Intermedia	0.16	0.09
Guapotá	68322	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.08
Guavatá	68324	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.06
Hato	68344	0.15	0.20	Intermedia	0.21	0.10
Jesús María	68368	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.06
Jordán	68370	0.20	0.25	Alta	0.10	0.07
La Belleza	68377	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.07
La Paz	68397	0.15	0.15	Intermedia	0.14	0.09
Landázuri	68385	0.15	0.15	Intermedia	0.10	0.06
Lebrija	68406	0.25	0.20	Alta	0.13	0.09
Los Santos	68418	0.20	0.25	Alta	0.11	0.08
Macaravita	68425	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Málaga	68432	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Matanza	68444	0.25	0.25	Alta	0.10	0.06
Mogotes	68464	0.25	0.25	Alta	0.10	0.06
Molagavita	68468	0.25	0.25	Alta	0.10	0.06
Ocamonte	68498	0.20	0.25	Alta	0.08	0.05
Oiba	68500	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Onzága	68502	0.25	0.25	Alta	0.13	0.07
Palmar	68522	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.09
Palmas del Socorro	68524	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.08
Páramo	68533	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
Piedecuesta	68547	0.25	0.25	Alta	0.11	0.07
Pinchote	68549	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
Puente Nacional	68572	0.15	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Puerto Parra	68573	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Puerto Wilches	68575	0.15	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Rionegro	68615	0.20	0.20	Intermedia	0.07	0.04
Sabana de Torres	68655	0.20	0.15	Intermedia	0.06	0.04
San Andrés	68669	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
San Benito	68673	0.15	0.20	Intermedia	0.12	0.07
San Gil	68679	0.20	0.25	Alta	0.09	0.06
San Joaquín	68682	0.25	0.25	Alta	0.13	0.07
San José de Miranda	68684	0.25	0.25	Alta	0.10	0.05
San Miguel	68686	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06

San Vicente de Chucurí	68689	0.15	0.15	Intermedia	0.16	0.08
Santa Bárbara	68705	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Santa Helena del Opón	68720	0.15	0.15	Intermedia	0.18	0.10
Simacota	68745	0.15	0.15	Intermedia	0.09	0.06
Socorro	68755	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.07
Suaita	68770	0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.06
Sucre	68773	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.07
Suratá	68780	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Tona	68820	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Valle San José	68855	0.20	0.25	Alta	0.08	0.06
Vélez	68861	0.15	0.15	Intermedia	0.15	0.08
Vetas	68867	0.25	0.25	Alta	0.09	0.05
Villanueva	68872	0.20	0.25	Alta	0.11	0.07
Zapatoca	68895	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10

Departamento de Sucre						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Sincelejo	70001	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Buenvista	70110	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Caimito	70124	0.15	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Chalán	70230	0.10	0.15	Intermedia	0.08	0.04
Coloso	70204	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Corozal	70215	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.04
El Roble	70233	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Galeras	70235	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Guarandá	70265	0.15	0.15	Intermedia	0.06	0.05
La Unión	70400	0.15	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Los Palmitos	70418	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Majagual	70429	0.15	0.15	Intermedia	0.04	0.04
Morroa	70473	0.10	0.15	Intermedia	0.07	0.04
Ovejas	70508	0.10	0.15	Intermedia	0.06	0.04
Palmito	70523	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.04
Sampués	70670	0.10	0.15	Intermedia	0.06	0.04
San Benito Abad	70678	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
San Juan Betulia	70702	0.10	0.15	Intermedia	0.05	0.03
San Marcos	70708	0.15	0.15	Intermedia	0.04	0.04
San Onofre	70713	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
San Pedro	70717	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Sincé	70742	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Sucre	70771	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Tolú	70820	0.10	0.15	Intermedia	0.04	0.03
Tolúviejo	70823	0.10	0.15	Intermedia	0.06	0.04

Departamento del Tolima						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Ibagué	73001	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.08
Alpujarra	73024	0.25	0.25	Alta	0.14	0.07
Alvarado	73026	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.07
Ambalema	73030	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Anzoátegui	73043	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.08
Armero	73055	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Ataco	73067	0.25	0.20	Alta	0.07	0.04

Cajamarca	73124	0.20	0.20	Intermedia	0.14	0.08
Carmen Apicalá	73148	0.25	0.20	Alta	0.11	0.05
Casabianca	73152	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.08
Chaparral	73168	0.25	0.20	Alta	0.08	0.05
Coello	73200	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Coyaima	73217	0.25	0.20	Alta	0.09	0.05
Cunday	73226	0.25	0.20	Alta	0.09	0.05
Dolores	73236	0.25	0.25	Alta	0.12	0.06
Espinal	73268	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Falán	73270	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.07
Flandes	73275	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Fresno	73283	0.20	0.20	Intermedia	0.14	0.09
Guamo	73319	0.25	0.20	Alta	0.11	0.06
Hervéo	73347	0.20	0.20	Intermedia	0.16	0.08
Honda	73349	0.20	0.20	Intermedia	0.10	0.06
Icononzo	73352	0.20	0.20	Intermedia	0.08	0.05
Lérida	73408	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.06
Líbano	73411	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.07
Mariquita	73443	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.07
Melgar	73449	0.20	0.20	Intermedia	0.09	0.05
Murillo	73461	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.08
Natagaima	73483	0.25	0.25	Alta	0.11	0.06
Ortega	73504	0.25	0.20	Alta	0.08	0.05
Palocabildo	73520	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.08
Piedras	73547	0.20	0.20	Intermedia	0.14	0.07
Planadas	73555	0.25	0.20	Alta	0.06	0.04
Prado	73563	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Purificación	73585	0.25	0.20	Alta	0.14	0.06
Rioblanco	73616	0.25	0.20	Alta	0.07	0.04
Roncesvalles	73622	0.25	0.20	Alta	0.15	0.08
Rovira	73624	0.20	0.20	Intermedia	0.12	0.07
Saldaña	73671	0.25	0.20	Alta	0.11	0.06
San Antonio	73675	0.25	0.20	Alta	0.10	0.06
San Luis	73678	0.25	0.20	Alta	0.10	0.06
Santa Isabel	73686	0.20	0.20	Intermedia	0.13	0.08
Suárez	73770	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Valle de San Juan	73854	0.25	0.20	Alta	0.10	0.06
Venadillo	73861	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.07
Villahermosa	73870	0.20	0.20	Intermedia	0.15	0.08
Villarrica	73873	0.25	0.20	Alta	0.09	0.05

Departamento del Valle del Cauca						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Cali	76001	0.25	0.25	Alta	0.15	0.09
Alcalá	76020	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Andalucía	76036	0.25	0.25	Alta	0.14	0.09
Ansermanuevo	76041	0.25	0.30	Alta	0.16	0.10
Argelia	76054	0.30	0.30	Alta	0.16	0.10
Bolívar	76100	0.30	0.30	Alta	0.16	0.10
Buenaventura	76109	0.40	0.35	Alta	0.13	0.08
Buga	76111	0.25	0.20	Alta	0.11	0.07
Bugalagrande	76113	0.25	0.25	Alta	0.13	0.08
Caicedonia	76122	0.25	0.20	Alta	0.14	0.08
Calima	76126	0.30	0.30	Alta	0.10	0.07

Candelaria	76130	0.25	0.20	Alta	0.10	0.07
Cartago	76147	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Dagua	76233	0.25	0.25	Alta	0.09	0.06
El Águila	76243	0.30	0.30	Alta	0.16	0.10
El Cairo	76246	0.30	0.30	Alta	0.16	0.10
El Cerrito	76248	0.25	0.20	Alta	0.11	0.07
El Dovio	76250	0.30	0.30	Alta	0.18	0.10
Florida	76275	0.25	0.20	Alta	0.10	0.06
Ginebra	76306	0.25	0.20	Alta	0.11	0.07
Guacarí	76318	0.25	0.25	Alta	0.12	0.08
Jamundí	76364	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
La Cumbre	76377	0.25	0.25	Alta	0.11	0.08
La Unión	76400	0.25	0.25	Alta	0.16	0.13
La Victoria	76403	0.25	0.25	Alta	0.15	0.10
Obando	76497	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Palmira	76520	0.25	0.20	Alta	0.12	0.07
Pradera	76563	0.25	0.20	Alta	0.12	0.06
Restrepo	76606	0.25	0.25	Alta	0.11	0.08
Riofrío	76616	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Roldanillo	76622	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
San Pedro	76670	0.25	0.25	Alta	0.12	0.08
Sevilla	76736	0.25	0.20	Alta	0.13	0.08
Toro	76823	0.25	0.25	Alta	0.16	0.14
Trujillo	76828	0.25	0.25	Alta	0.15	0.10
Tuluá	76834	0.25	0.20	Alta	0.12	0.07
Ulloa	76845	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Versalles	76863	0.30	0.30	Alta	0.16	0.10
Vijes	76869	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Yotocó	76890	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Yumbo	76892	0.25	0.25	Alta	0.16	0.10
Zarzal	76895	0.25	0.25	Alta	0.14	0.10

Departamento del Vaupés

Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Mitú	97001	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Carurú	97161	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Pacoa	97511	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Papunahua	97777	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Taraira	97666	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Yavarate	97889	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02

Departamento del Vichada

Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Puerto Carreño	99001	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Cumaribo	99773	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
La Primavera	99524	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02
Santa Rosalía	99624	0.05	0.05	Baja	0.04	0.02

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en el presente estudio han sido los utilizados para la determinación de los valores A_a , A_v , A_e , A_d en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10).
- Los resultados obtenidos son el insumo básico para la elaboración de los diferentes mapas de amenaza sísmica expresados en términos de aceleración, velocidad y/o desplazamiento.
- La metodología utilizada permite la obtención de espectros de amenaza uniforme los cuales pueden presentar grandes beneficios si se les integra de una manera adecuada en los procesos del diseño estructural.
- Los valores de aceleración encontrados en el presente estudio, que son a nivel de roca firme, sirven de datos de entrada para otro tipo de estudios, ya sean estos de microzonificación sísmica o estudios de sitio en el caso donde las edificaciones requieran un análisis más detallado de la demanda sísmica.
- Es muy poco lo que a nivel local se sabe acerca de la atenuación de la energía sísmica, por lo que se deben realizar esfuerzos para llevar a cabo nuevos estudios detallados acerca de dichas relaciones y así poder incorporarlas en las futuras investigaciones con el fin de reducir la incertidumbre asociada.
- A pesar que día a día se mejora la información acerca de la tectónica del país y que es posible llegar a estudios detallados de tramos independientes de cada sistema, al momento de realizar una evaluación a nivel nacional, donde se está abarcando un área considerable, puede ser preferible tratar los sistemas de fallamiento como agrupaciones de fallas como se ha hecho en este estudio..

Recomendaciones

- Se deben buscar formas prácticas para integrar los espectros de amenaza uniforme en el proceso del diseño estructural dado que los mismos contienen información consistente que permite una mejor descripción del problema sísmico.
- Deben realizarse actualizaciones continuas de las microzonificaciones de las principales poblaciones del país, con el fin de lograr un mejor entendimiento del tema en zonas densamente pobladas.
- Para efectos de diseño, la amenaza sísmica debe expresarse a través de un conjunto de parámetros que recojan la información relevante en términos espectrales para variables como la aceleración, la velocidad y el desplazamiento.

- Debido a que la gran mayoría de la población como de la industria se encuentra localizada en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, es importante utilizar los resultados de la amenaza sísmica para llevar a cabo evaluaciones de riesgo de desastre con fines de reducción del riesgo y protección financiera del sector público y privado. Aunque la amenaza se puede suponer constante en el tiempo, la exposición y la vulnerabilidad de la sociedad están en constante aumento, razón por la cual el riesgo está aumentando en ciertos lugares del país.
- Deben realizarse esfuerzos integrados entre los profesionales de diferentes disciplinas de las ciencias de la tierra, la ingeniería y la ciencia política para mejorar de manera sustancial la información disponible, necesaria para mejorar los estudios hasta ahora realizados.
- Es fundamental el apoyo que debe dársele al INGEOMINAS para que pueda mantener y actualizar las redes de sismógrafos y acelerógrafos, ampliar el catálogo sísmico, seguir estudiando la tectónica y a la atenuación sísmica. Esta información es fundamental para los futuros estudios de actualización de la amenaza sísmica del país, con diferentes propósitos, y en particular para la ingeniería que debe definir las exigencias para el diseño y la construcción sismo resistente.

7 BIBLIOGRAFÍA

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (1984). *Estudio General del Riesgo Sísmico de Colombia*. Bogotá, 242pp.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (1996). *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia*. Comité AIS-300, Bogotá, 252pp.

Campbell K (1997). "Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra", *Seismological Research Letters*, Vol 68, No.1 pp. 154-179.

Cardona, O. D., Wilches-Chaux G., García X., Mansilla, E., Ramírez, F., Marulanda, M.C. (2004). *Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos*, Departamento Nacional de Planeación, ACCI, Banco Mundial.

Cornell A. (1968). "Engineering Seismic Risk Analysis", *Bulletin Seismological Society of America*, Vol 58.

Donovan, N.C., (1973) Earthquake Hazards for Buildings, Building Practices for Disaster Mitigation, *Building Science Series*, 46, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.

Estrada, G., Ramírez J, S.J. (1977). *Mapa de riesgo sísmico para Colombia*, Instituto Geofísico de los Andes Colombianos. Universidad Javeriana, Bogotá.

Gallego M (2000). *Estimación del Riesgo Sísmico en la República de Colombia*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 110pp.

García et al (2005). *Inslab earthquakes of Central Mexico: Peak Ground-Motion Parameters and Response Spectra*, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol 95, No.6 pp. 2272-2282.

García L.E. (1996). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*, Universidad de Los Andes, Ediciones Uniandes, Bogotá.

García L.E. (2009). *Un enfoque para obtener valores creíbles de aceleración horizontal en roca con base en el catálogo sísmico y una ecuación de atenuación*. Universidad de Los Andes, Bogotá, Julio 16 de 2009. (Comunicación a la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes).

- INGEOMINAS (1999). *Actualización catálogo de sismos de Colombia para estudios de amenaza sísmica, 1566-1998*. Bogotá, 1999.
- INGEOMINAS (2008). *Deformaciones cuaternarias de Colombia, mapa indicativo de fallas y pliegues cuaternarios activos*. Subdirecciones de Geología Básica y Amenazas Geológicas, Bogotá.
- Interconexión Eléctrica S.A. (1989), *Actualización de la información sísmica de Colombia*, Estudio para ISA realizado por ITEC Ltda., Bogotá.
- Kellogg J.N, Vega V. (1995). "Tectonic Development of Panama, Costa Rica and the Colombian Andes: Constraints from global positioning system geodetic studies and gravity", *Geological Society of America, Special Paper*, pp 75-90.
- Kramer S. L (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, EEUU, 653pp.
- McGuire, R.K. (1974) *Seismic Structural Response Risk Analysis, Incorporating Peak Response Regressions on Earthquake Magnitude and Distance*, MIT, Department of Civil Engineering, Research Report R74-51.
- McGuire, R.K. (2004). *Seismic Hazard and Risk Analysis*, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Oakland CA, EEUU, EERI, 221pp.
- Ordaz M (2000). *Metodología para la evaluación del riesgo sísmico enfocada a la gerencia de seguros por terremoto*. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Ordaz M (2009). *A simple statistical test of spatial homogeneity in seismic sources*. Bogotá.
- Ordaz M, Aguilar A, Arboleda J. (2007) *CRISIS, Program for computing seismic hazard*. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Paris G, Machette M, Dart R, Haller K (2000). *Map and database of quaternary faults and folds in Colombia and its offshore regions*. United States Geological Survey (USGS). Open file report, 00-0284.
- Paris G., (1993) *Fallas activas en Colombia*, Ingeominas, 42pp.
- Proyecto Multinacional Andino, (2009) *Atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes*, Publicación Geológica Multinacional No.7, Canada.
- Ramírez J.E., S.J. (2004). *Actualización de la historia de los terremotos en Colombia*, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 186pp.

- Richter, C.F., (1958) *Elementary Seismology*, W.H. Freeman, San Francisco.
- Sadigh K et al (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological Research Letters*, Vol 68, No.1 pp. 180-189.
- Sarria A. (1978). *Revisión del mapa de riesgo sísmico de Colombia*. Universidad de Los Andes, Bogotá.
- Sarria, A., (1995) *Ingeniería Sísmica*, 2ª Edición, Ediciones Uniandes, Bogotá.
- Sarria, A., (2008) *Terremotos e infraestructura*, 2ª Edición, Ediciones Uniandes, Bogotá.
- Taboada A., Rivera L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., Rivera C., (2000). *Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia)*, *Tectonics*, Vol 19 No.5, pp 787-813. Publicación Especial AIS, Abril 2000.
- Youngs R.R et al (1997). Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters*, Vol 68, No.1 pp. 58-73.



Anexo 1

Programa CRISIS 2007 V7.2

CRISIS 2007 V7.2 SISTEMA DE CÓMPUTO PARA EL CÁLCULO DE LA AMENAZA SÍSMICA

El programa CRISIS 2007 emplea un método probabilista para calcular *la amenaza sísmica* en regiones. Los principales datos requeridos por CRISIS 2007 son: geometría de fuentes sísmicas, sismicidad de fuentes y relaciones de atenuación de las intensidades sísmicas. Cada fuente se puede representar geoméricamente con un área, una polilínea o un punto. La sismicidad de las fuentes puede modelarse mediante el proceso de Poisson o a través del modelo del temblor característico. Los cálculos de peligro sísmico se hacen para puntos de una malla que puede ser o no rectangular. CRISIS 2007 contiene numerosas ayudas gráficas que facilitan la generación de datos y el análisis de resultados.

Las normas de cada país establecen los requisitos mínimos con que los que hay que diseñar los edificios. Al hacerlo ayudan en la toma de decisiones a los ingenieros y dan mayor seguridad a dueños y ocupantes de edificios. Dichas normas contienen parámetros que permiten estimar efectos en estructuras por la ocurrencia de sismos. Uno de los procesos empleados con frecuencia para determinar dichas aceleraciones, que se utilizan para estimar fuerzas sísmicas, se puede resumir en el siguiente diagrama:

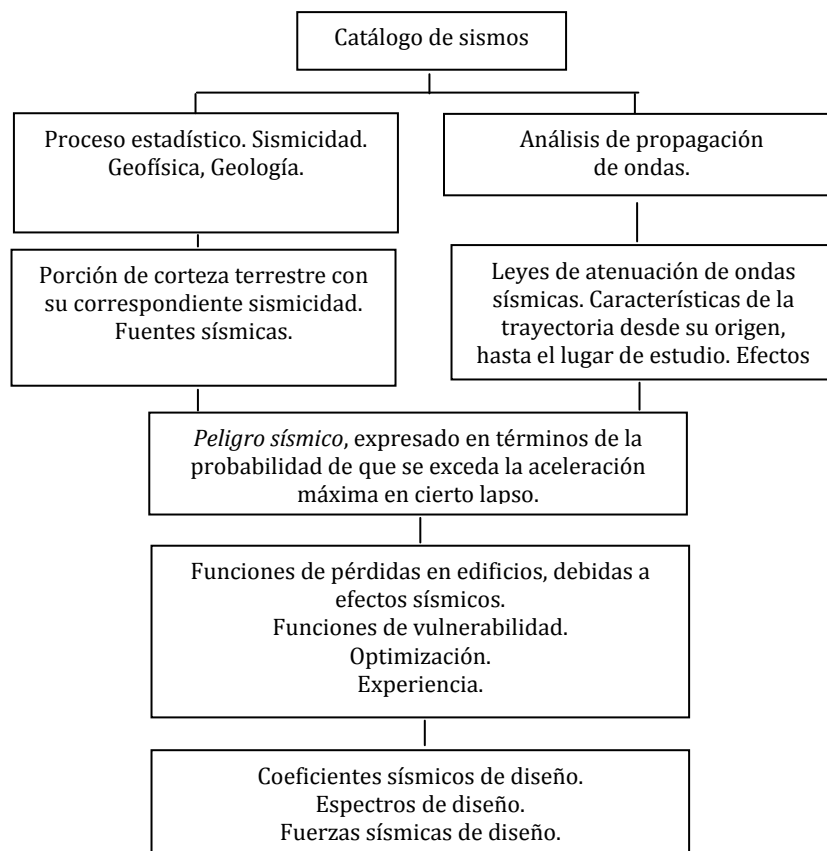


Figura 119 Diagrama para el cálculo de fuerzas sísmicas requeridas en el diseño de edificios

La nueva versión del programa CRISIS denominada CRISIS 2007, hace parte de la plataforma CAPRA (Comprehensive Approach for Probabilistic Risk Assessment) desarrollada por el consorcio Evaluación de Riesgos Naturales – América Latina, ERN-AL, como un sistema de código y arquitectura abierta. El CRISIS estima el tamaño de futuros movimientos sísmicos. Para ello, calcula tasas de excedencia de intensidades sísmicas. La tasa de excedencia es el número medio de veces en que en determinado sitio se presentan intensidades mayores o iguales a una dada. La tasa de excedencia es el inverso del periodo de retorno. Por ejemplo, al realizar cálculos con CRISIS 2007 se puede determinar que en una ciudad es posible esperar cada 100 años una aceleración en el terreno firme de 0.32 g, y una aceleración de 0.83 g en un edificio con un periodo de 0.15s.

Para calcular tasas de excedencia de intensidades sísmicas CRISIS 2007 requiere que:

- 1) Se definan las zonas en las que se generan sismos (fuentes sísmicas);
- 2) Se fijen las relaciones de recurrencia de la magnitud para cada fuente sísmica;
- 3) Se proporcionen las leyes de atenuación de las ondas sísmicas;
- 4) Se precise la región en estudio mediante una malla de puntos y;
- 5) Se establezcan otros parámetros.

CRISIS 2007 posee diversas interfaces que permiten asignar cada uno de los datos requeridos para calcular *la amenaza sísmica*. La pantalla principal (Figura. 120) proporciona el acceso al resto de las ventanas, ya sea que se quieran establecer nuevos datos, modificar los existentes o analizar resultados.



Figura 120 Pantalla principal del programa CRISIS 2007 V7.2

GEOMETRÍA DE LAS FUENTES SÍSMICAS

En CRISIS 2007 (Figura.121) la geometría de las fuentes puede modelarse como: 1) Fuente área, con el uso de un polígono con al menos tres vértices; cada vértice requiere de una latitud, una longitud y una profundidad. Con este tipo de fuente se pueden representar, por ejemplo, placas que subducen; 2) Fuente falla con el uso de polilíneas; y 3) Fuente puntual, empleada principalmente para fines académicos. Las diversas geometrías que se pueden generar con CRISIS 2007 evitan en gran medida subestimar o sobrestimar la sismicidad de las fuentes, por efectos geométricos. En el caso de fuentes área CRISIS 2007 requerirá dividir los polígonos en triángulos como parte del algoritmo para calcular peligro sísmico. Para ello se necesita que en la definición de los polígonos el orden de los vértices sea antihorario.

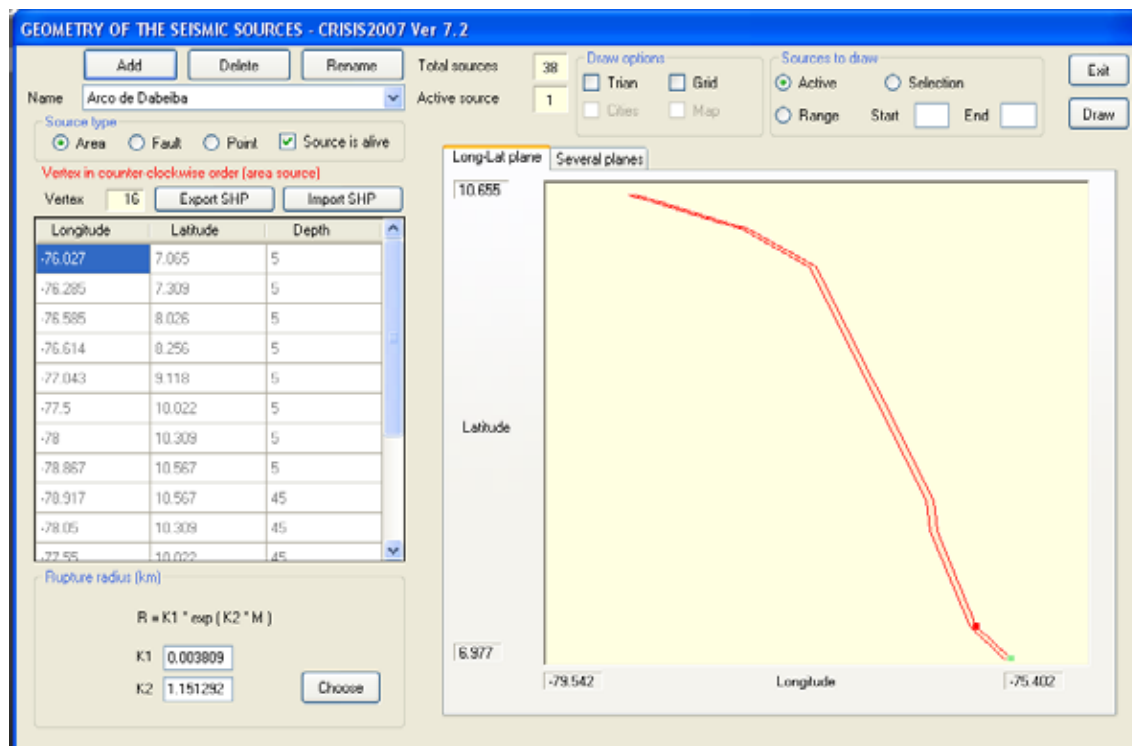


Figura 121 Pantalla del programa CRISIS2007 donde se define la geometría de las fuentes sísmicas

SISMICIDAD DE LAS FUENTES

La concentración de orígenes de sismos en zonas determinadas permite delimitar fuentes sísmicas. Cada fuente queda definida en función de dos características: geometría y sismicidad. Por ello, después de que se ha definido la geometría de una fuente, CRISIS 2007 requiere los datos que representen su sismicidad. Es decir, parámetros que describan aproximadamente, el número y tamaño de sismos con características particulares, que se han originado durante cierto tiempo en una región.

CRISIS 2007 permite elegir entre dos modelos de ocurrencia de sismos, cuya diferencia principal estriba en que la ocurrencia de sismos es independiente del tiempo en el primero (modelo de Poisson), mientras que en el segundo la ocurrencia de sismos si depende del tiempo (proceso de deslizamiento predecible).

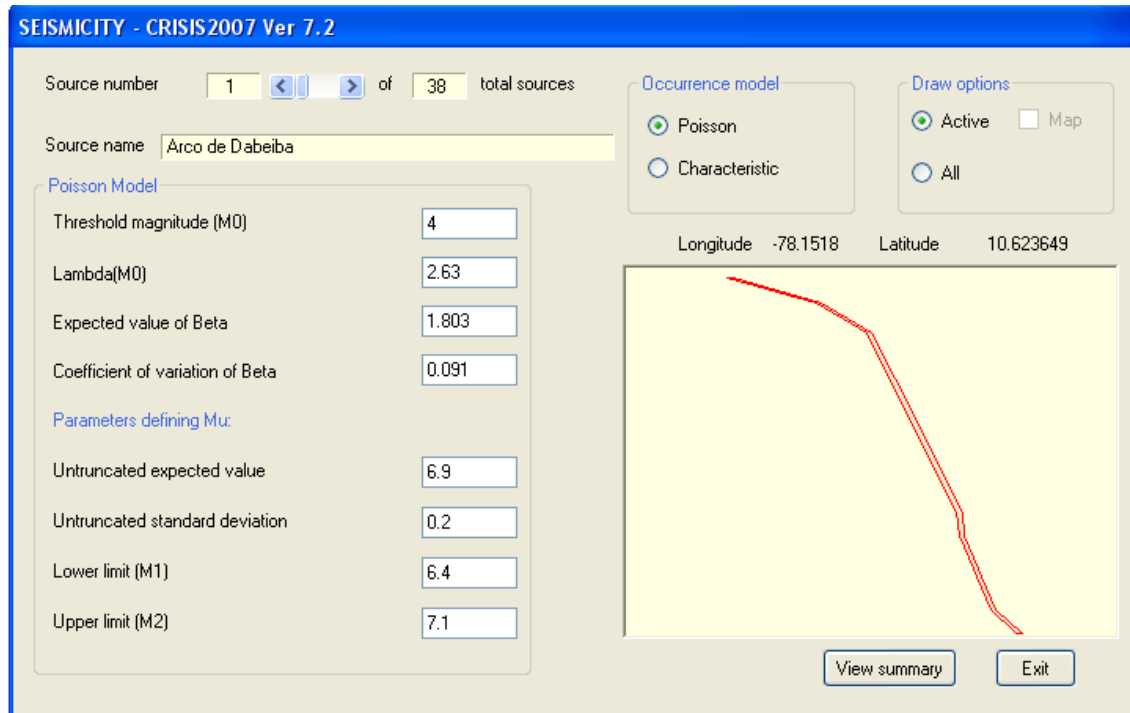


Figura 122 Pantalla para proporcionar datos en fuentes sísmicas con modelo de Poisson

Modelo de Poisson

Los datos requeridos por el programa CRISIS 2007 (Figura 303) para cada fuente

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_u}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}} \quad (1)$$

sísmica, con recurrencia de sismos similar a un proceso de Poisson, son básicamente parámetros que definen la curva de la tasa de excedencia de la magnitud, en donde λ_0 , β y M_u son parámetros que establecen la forma de la curva y M_0 es la magnitud para la cual el catálogo se considera completo (Ordaz, 97).

Modelo del temblor característico

Al analizar los datos de sismos en diversas regiones del mundo, se ha observado que en determinadas provincias sismotectónicas, la ley Gutenberg-Richter subestimaría o sobrestimaría la sismicidad. Un ejemplo de esto ocurre en la zona de subducción mexicana (Singh *et al*, 1983; Youngs *et al*, 1985), donde los tiempos entre eventos no se parecen a una distribución exponencial, y más bien los tiempos entre sismos

presentan periodicidad. Por otra parte hay ausencia de ciertas magnitudes sísmicas, es decir, los sismos parecen preferir ciertos tamaños. Para considerar estas propiedades, CRISIS 2007 dispone del modelo del temblor característico (Fig. 5), donde la ocurrencia de sismos depende del tiempo. En este modelo se considera que la magnitud condicionada al tiempo, tiene distribución normal. Como la magnitud de un temblor, está correlacionada con el tiempo que hubo de esperar, para que aquel ocurriera, se dice que sigue un modelo de deslizamiento predecible (Kiremidjian *et al*, 1984). Por ello la magnitud esperada, se puede definir como una función del tiempo, de la siguiente forma:

$$E(M|T00) = \max (M0, D + F*LN(T00)) \quad (2)$$

donde: $E(M|T00)$ es el valor esperado de la magnitud del próximo evento, dado que han transcurrido $T00$ años, desde la última ocurrencia de un temblor característico de magnitud M ; $M0$ es la magnitud umbral, y; D y F parámetros que definen la magnitud, en función del logaritmo natural del tiempo transcurrido desde la última ocurrencia, de un sismo característico. En el modelo del temblor característico la tasa de excedencia de la magnitud $\lambda(M)$ cambia en función del tiempo y está dada por:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \left[1 - \Phi \left[\frac{M - E(M | T00)}{\sigma_M} \right] \right] \quad \text{Mu} > M \geq Mo \quad (3)$$

$$\lambda(M) = 0 \quad M > Mu \quad (4)$$

donde:

$$\lambda_0 = \frac{1}{T_0} \quad (5)$$

T_0 = Tiempo medio entre eventos con $M > Mo$

σ_M = Desviación estándar de la magnitud de los temblores característicos

Φ denota distribución normal estándar

Al definir la magnitud esperada, como una función del tiempo, se está eligiendo implícitamente la distribución de probabilidades del tiempo entre eventos. En diversos estudios, se ha visto que considerar que el tiempo entre eventos, tiene distribución lognormal resulta acertado (Ordaz 1994).

LEYES DE ATENUACIÓN DE INTENSIDADES SÍSMICAS

CRISIS 2007 requiere un archivo por cada ley de atenuación a considerar en los cálculos (Figura 123). Cada archivo deberá contener en forma de tabla, los valores que representen a la ley de atenuación de intensidades sísmicas, con parámetros que definan: 1) Magnitudes sísmicas; 2) Distancias hipocentrales en km, las cuales se establecen con espaciado logarítmico; 3) Las diferentes medidas de intensidad, correspondientes a cada magnitud y a cada distancia; 4) El periodo estructural al cual corresponden las intensidades sísmicas; 5) La desviación estándar de los valores de la intensidad; y 6) el límite superior de la intensidad (opcional).

El empleo de tablas para representar leyes de atenuación facilita la incorporación de complejos comportamientos asociados a la atenuación de las ondas sísmicas. A cada fuente sísmica se le puede asignar una o varias leyes de atenuación. Cuando se le asigna una sola ley de atenuación esta será válida en cualquier sitio, pero cuando se asignen dos o más leyes de atenuación a una fuente sísmica, se requerirá definir la región en donde serán válidas las leyes de atenuación adicionales. La posibilidad de asignarle varias leyes de atenuación a una misma fuente sísmica permite considerar los efectos de sitio en el cálculo de peligro sísmico.

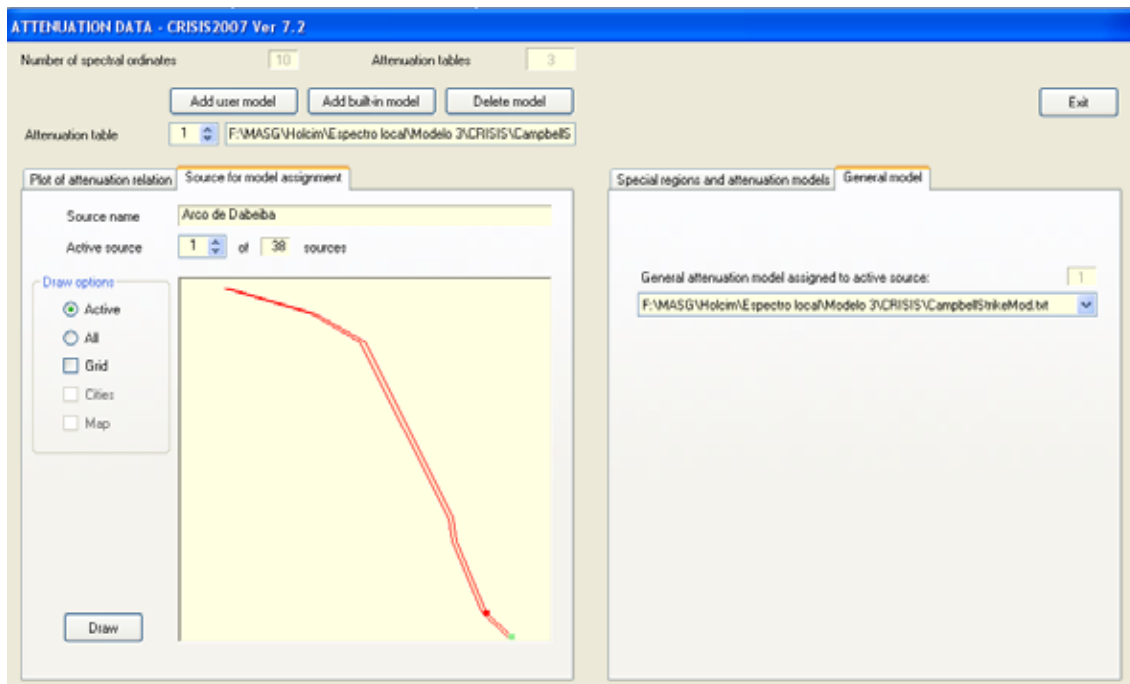


Figura 123 Pantalla de asignación de leyes de atenuación a cada fuente sísmica

MALLA DE SITIOS

El programa CRISIS 2007 posee una pantalla para definir la malla de sitios de cálculo (Figura 124) que represente a la región en estudio. Cada punto de la malla se identifica con su longitud y latitud respectiva. CRISIS 2007 calculará tasas de excedencia de las intensidades sísmicas para cada uno de los puntos de la malla de cálculo.

Los límites de la malla quedan definidos por la región a estudiar. Sin embargo, la elección de la densidad de la malla depende de diversos factores. A medida que la malla es más densa, es posible esperar definiciones más detalladas de resultados. No obstante, una malla muy densa puede implicar también mucho tiempo de cálculo en computadora.

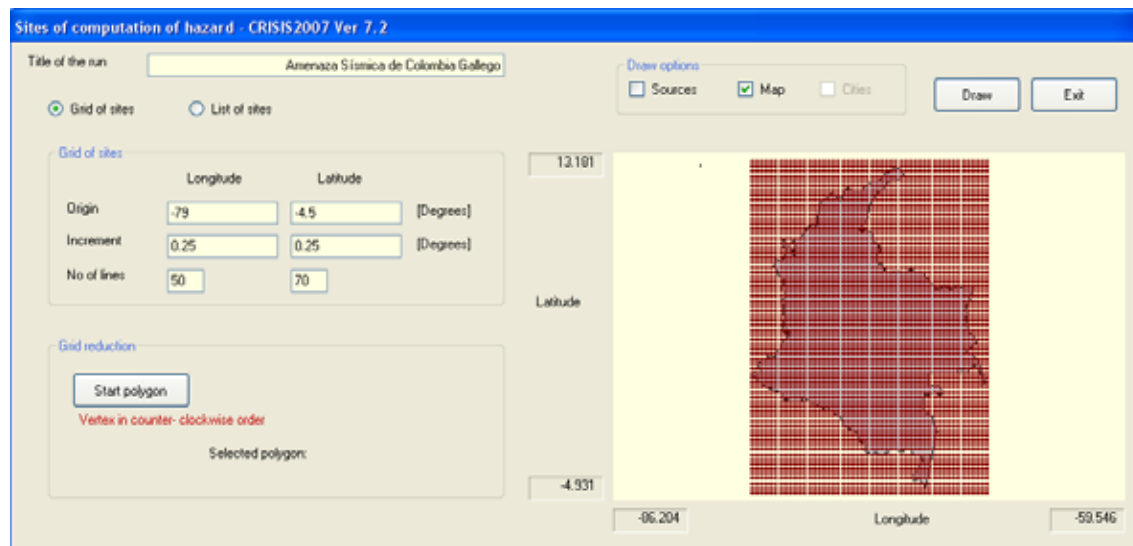
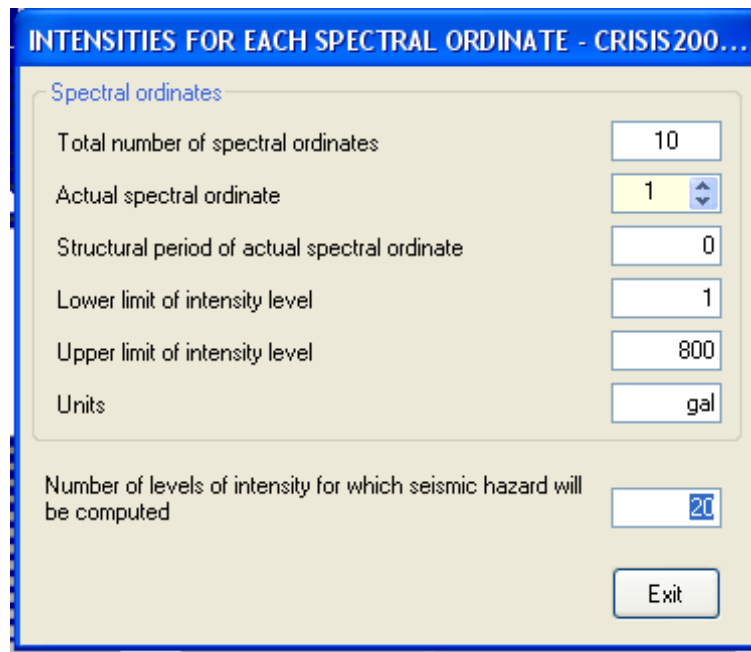


Figura 124 Pantalla del programa CRISIS2007 donde se define la malla de los sitios de cálculo

INTENSIDADES

CRISIS 2007 considera a la intensidad, como una medida razonable y con significado ingenieril del tamaño del temblor en el sitio de interés. Son medidas de intensidad comúnmente usadas la aceleración máxima del terreno, la velocidad máxima del terreno y las ordenadas del espectro de respuesta para 5% del amortiguamiento crítico (Ordaz, 97). CRISIS 2007 estima las intensidades que pueden ocurrir en determinado sitio y cada cuando ocurrirán. El programa calculará tasas de excedencia para los valores de intensidad definidos por el usuario. Para ello, CRISIS 2007 (Figura 125) requiere los valores extremos que definan el intervalo de intensidades por considerar y el número de puntos a contemplar dentro de dicho intervalo. Se debe fijar un intervalo de intensidades para cada periodo estructural establecido. Por ejemplo, se puede indicar que para el periodo estructural de 0.15, se calcule la tasa de excedencia de 10 aceleraciones distintas (con separación logarítmica), con valores entre 1 y 2000 gal. En este caso, se obtendrán tasas de excedencia para cada uno de los 10 valores de aceleración (1.00, 2.33, 5.41, 12.60, 29.32, 68.22, 158.74, 369.38, 859.51, 2000.00), los cuales permitirán establecer la curva de las tasas de excedencia de la aceleración. Los límites de los intervalos de intensidades suelen requerir modificaciones en función de resultados de peligro sísmico. Es decir, se requiere calibrar los intervalos de intensidades hasta conseguir que contengan las intensidades más representativas, para lograr con ello mejores aproximaciones de la curva de las tasas de excedencia.



INTENSITIES FOR EACH SPECTRAL ORDINATE - CRISIS200...

Spectral ordinates

Total number of spectral ordinates: 10

Actual spectral ordinate: 1

Structural period of actual spectral ordinate: 0

Lower limit of intensity level: 1

Upper limit of intensity level: 800

Units: gal

Number of levels of intensity for which seismic hazard will be computed: 20

Exit

Figura 125 Pantalla de CRISIS2007 para definir las intensidades sísmicas de las que se obtendrán tasas de excedencia

PARÁMETROS GLOBALES

Al diseñar un edificio se requiere establecer la vida útil del mismo. En función del número de años en el que se estime debe dar servicio un edificio, serán las fuerzas sísmicas que probablemente lo afectarán. Para consideraciones como la anterior en el programa CRISIS 2007 es posible definir periodos de retorno en años, que indicarán cada cuánto tiempo es posible esperar determinada intensidad (Figura 126).

Con el fin de hacer cálculos eficientes en CRISIS 2007 se requiere fijar un radio máximo para los sitios en estudio CRISIS 2007 desprecia la influencia que pudieran producir fuentes sísmicas fuera de la circunferencia definida por el sitio y el radio máximo. Por tal motivo la selección del radio máximo requiere del criterio del investigador. Cuando no se tiene certeza al respecto, conviene proporcionar grandes distancias para evitar errores en los cálculos de peligro sísmico por subestimar fuentes sísmicas.

GLOBAL PARAMETERS - CRISIS2007 Ver 7.2

Integration parameters

Maximum integration distance km

Minimum triangle size km

Minimum Distance/Triangle Size ratio

Fixed return periods

First return period years

Second return period years

Third return period years

Fourth return period years

Fifth return period years

Distance for deaggregation

Focal

Epicentral

Joyner and Boore

Closest to rupture area

Figura 126 Pantalla para asignar parámetros globales como períodos de retorno

MODELO DE AMENAZA SÍSMICA UTILIZADO POR CRISIS 2007

Si se considera una fuente sísmica y un punto de cálculo, y si se conoce la distancia de los focos al sitio, R_o , y los parámetros \underline{p} que definen la curva de tasas de excedencia de la magnitud, $\lambda(M)$, es posible obtener la tasa de excedencia de aceleración (o de otra intensidad), $v(a | R_o, \underline{p})$ mediante:

$$v(a | R_o, \underline{p}) = - \int_{M_o}^{M_u} \frac{\partial \lambda}{\partial M} \Pr(A > a | M, R_o) dM \quad (6)$$

donde $\Pr(A > a | M, R_o)$ es la probabilidad de que la intensidad \mathbf{A} , exceda el valor de la intensidad \mathbf{a} , dadas cierta magnitud y distancia. En este caso

$$\Pr(A > a | M, R_o) = \Phi \left(\frac{1}{\sigma_{\ln a}} \ln \frac{\tilde{a}(M, R_o)}{a} \right) \quad (7)$$

donde:

Φ denota distribución normal estándar.

$\sigma_{\ln a}$ = Desviación estándar de la ley de atenuación.

\tilde{a} = intensidad media de la tabla de atenuación, dada una magnitud y una distancia.

Adicionalmente se considera la incertidumbre presente en los parámetros p que definen la curva de tasas de excedencia de la magnitud.

RESULTADOS

Archivos de resultados en formato ASCII

CRISIS 2007 puede generar los siguientes archivos con resultados en formato ASCII:

El Archivo *.res contiene la información de los datos utilizados para el cálculo de peligro sísmico. Si se eligió imprimir también resultados en este archivo, entonces se encontrarán aquí las tasas de excedencia de las intensidades para cada sitio, y algunos parámetros que describen los cálculos realizados en cada punto de la malla.

El Archivo *.gra contiene solo las tasas de excedencia totales de las intensidades para cada sitio y cada periodo estructural.

El Archivo *.map contiene intensidades para periodos de retorno fijos para cada sitio y cada periodo estructural.

El Archivo *.fue contiene las tasas de excedencia de las intensidades debidas a cada fuente sísmica para cada sitio y cada periodo estructural.

Resultados gráficos de amenaza sísmica

Con el post-procesador de CRISIS 2007 es posible obtener mapas de peligro sísmico como el mostrado en la Figura 127. Dicho mapa corresponde a aceleraciones esperadas en un periodo de retorno de 100 años para un periodo estructural de 0; es decir, aceleraciones que se espera se presenten en el suelo firme de Colombia. El programa permite leer la aceleración esperada en cualquier sitio de Colombia, con tan solo hacer click con el puntero del *mouse* sobre el mapa. Si además se consideraron en los cálculos intensidades para distintos periodos estructurales, entonces es posible obtener espectros de peligro uniforme como el mostrado en la Figura 128.

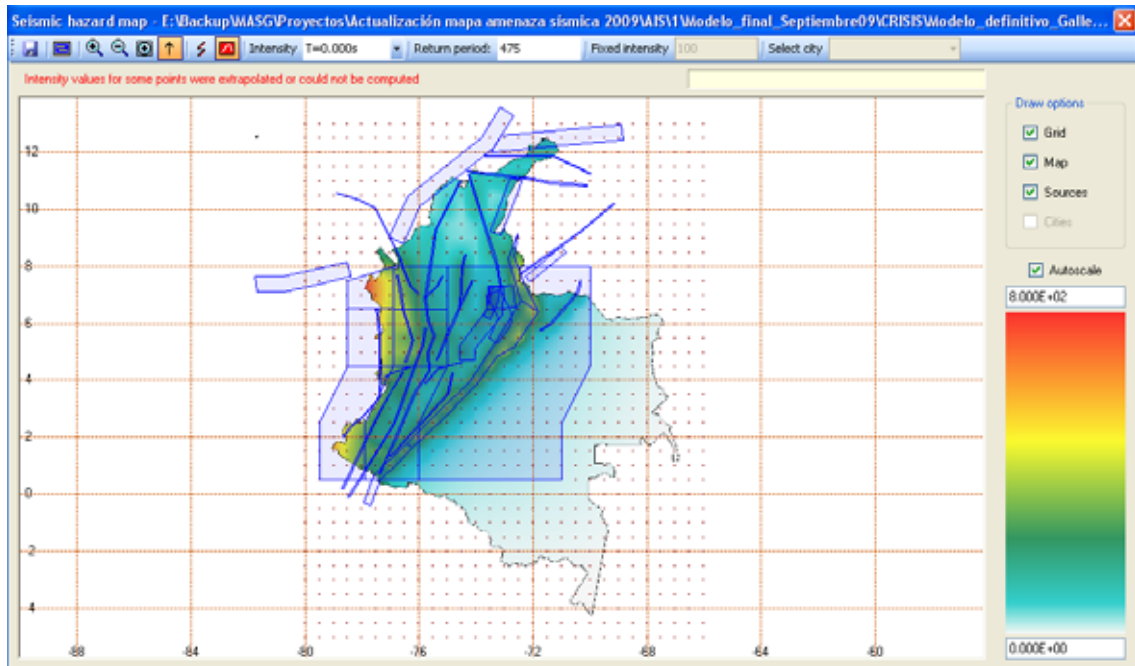


Figura 127 Mapa de peligro sísmico en Colombia

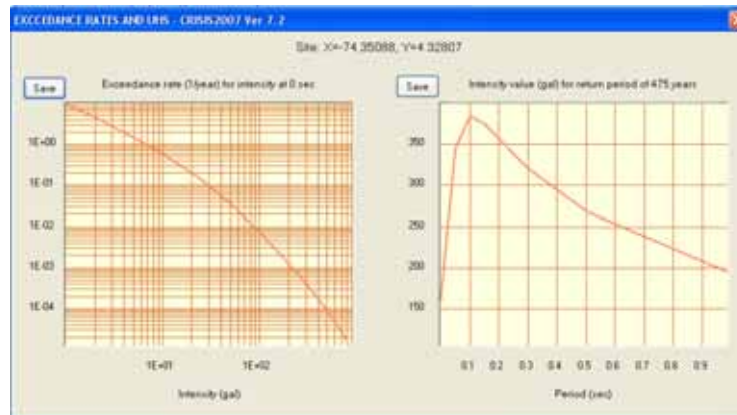


Figura 128 Curvas de tasas de excedencia y espectro de peligro uniforme para un punto dentro del territorio nacional y un período de retorno de 100 años

Tasas de excedencia por fuente sísmica

El archivo de resultados *.fue que contiene las tasas de excedencia para cada sitio debidas a cada fuente sísmica permite realizar gráficas como la de la Figura 129, donde es posible identificar la contribución de específicas fuentes a la amenaza sísmica de un sitio.

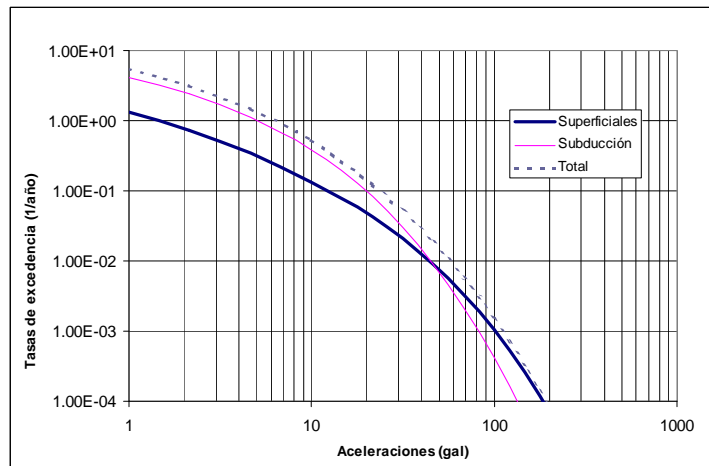


Figura 129 Gráfica de tasas de excedencia de la aceleración para la ciudad de Bogotá, Colombia

El programa CRISIS 2007 descrito tiene como finalidad principal ayudar a los ingenieros en la toma de las decisiones requeridas para diseñar edificios que resistan sismos. Los resultados obtenidos por CRISIS 2007 serán mejores a medida que se reduzcan las incertidumbres en los numerosos parámetros involucrados en el cálculo de la amenaza sísmica. La creciente disponibilidad de registros sísmicos facilitará la generación de parámetros que describan mejor las diferentes regiones del mundo.

REFERENCIAS

- Kiremidjian A. S. And Anagnos T.(1984). Stochastic Slip-Predictable Model for Earthquake Occurrences. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.74, No.2,pp.739-755, April
- Ordaz, M. et al (1994). Riesgo Sísmico en México. Informe Preliminar. Seismic Hazard of the Latin American Region. The International Development Research Center (Canada). México.
- Ordaz, M.(1997). Sismicidad y riesgo sísmico. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Ver., México, Vol. 1, pp.143-163.
- Singh S. K., Rodriguez M. y Esteva L. (1983). Statistics of small earthquakes and frequency of occurrence of large earthquakes along the mexican subduction zone. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 73, 1179-1796.
- Youngs Robert R. and Coppersmith Kevin J. (1985). Implications of Fault Slip rates and earthquake recurrence model to probabilistic seismic hazard estimates. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 75, No. 4, pp.939-964, August 1985.



Anexo 2

Gráficas de las tasas de excedencia de magnitud
para cada falla

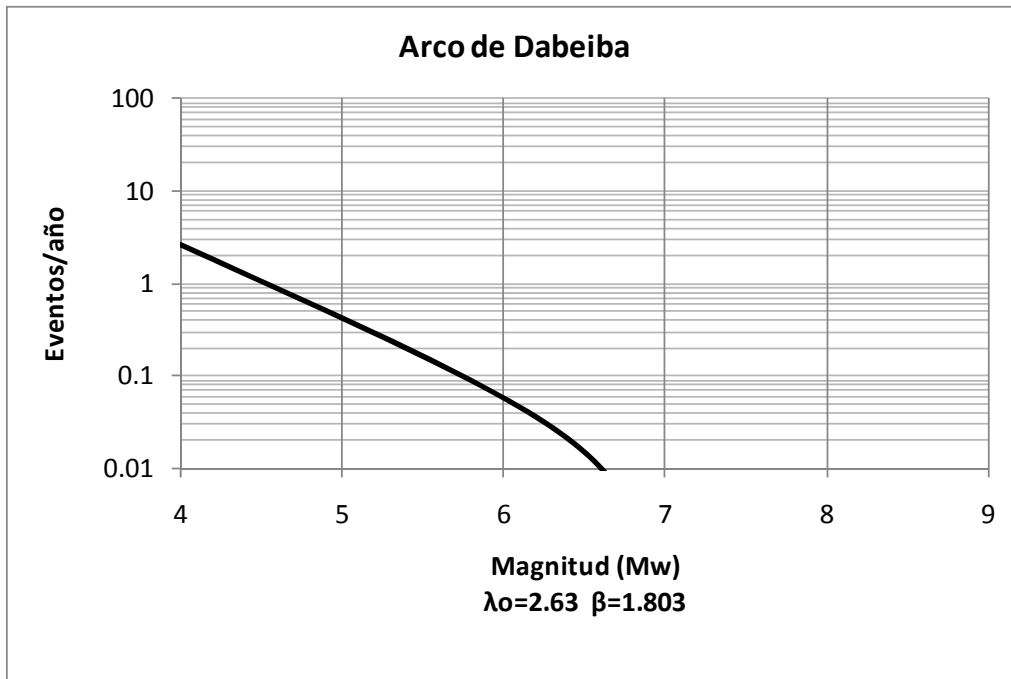


Figura 130 Tasa de excedencia para la falla Arco de Dabeiba

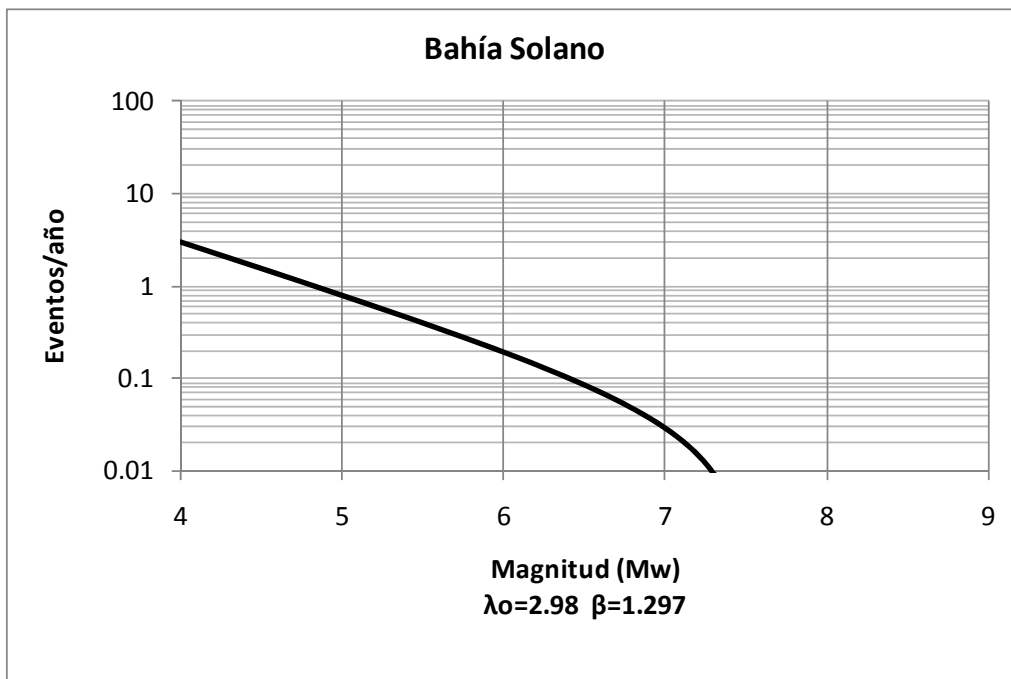


Figura 131 Tasa de excedencia para la falla Bahía Solano

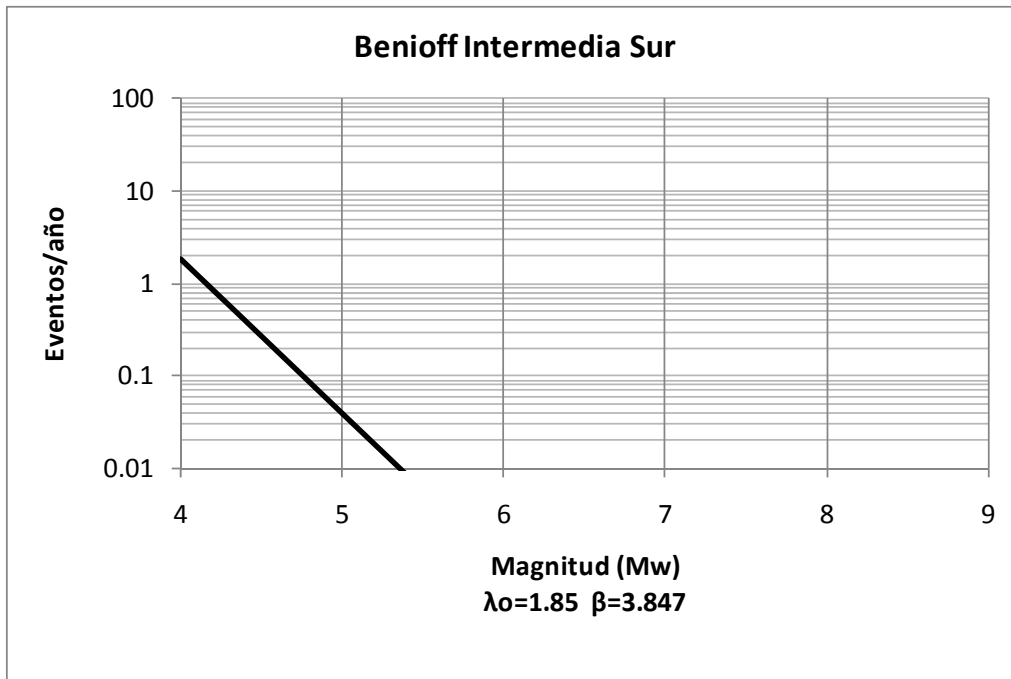


Figura 132 Tasa de excedencia para la falla Benioff Intermedia Sur

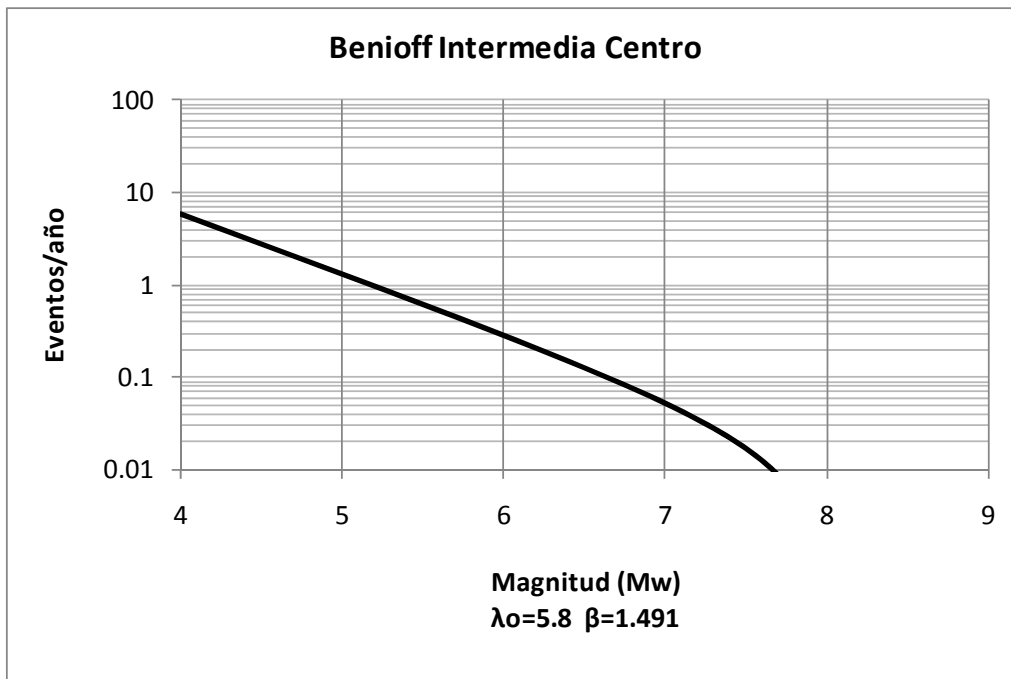


Figura 133 Tasa de excedencia para la falla Benioff Intermedia Centro

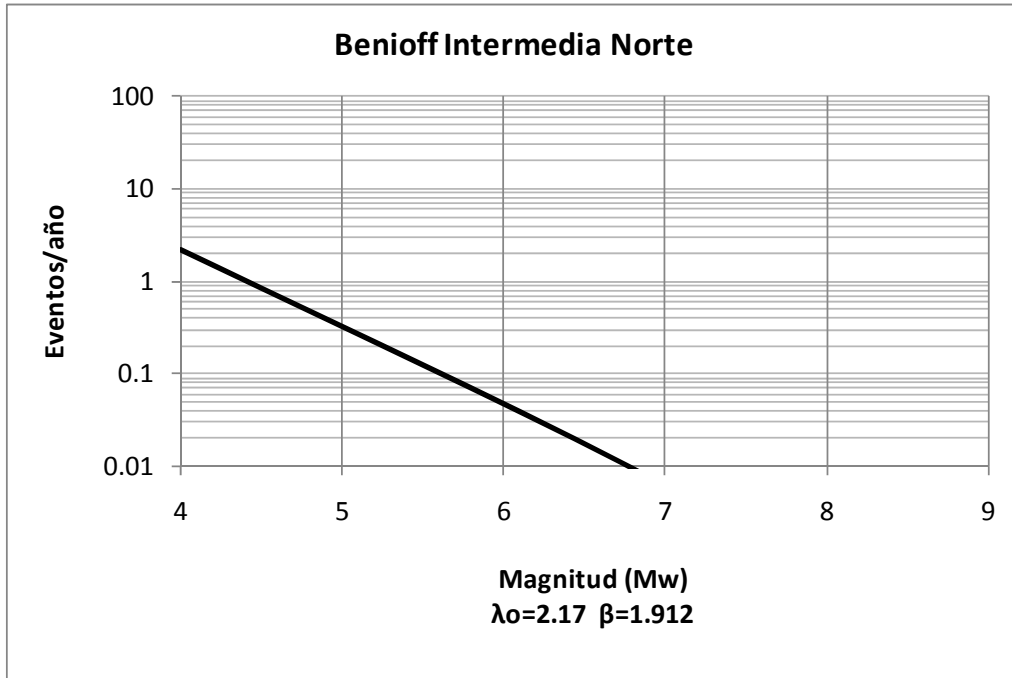


Figura 134 Tasa de excedencia para la falla Benioff Intermedia Norte

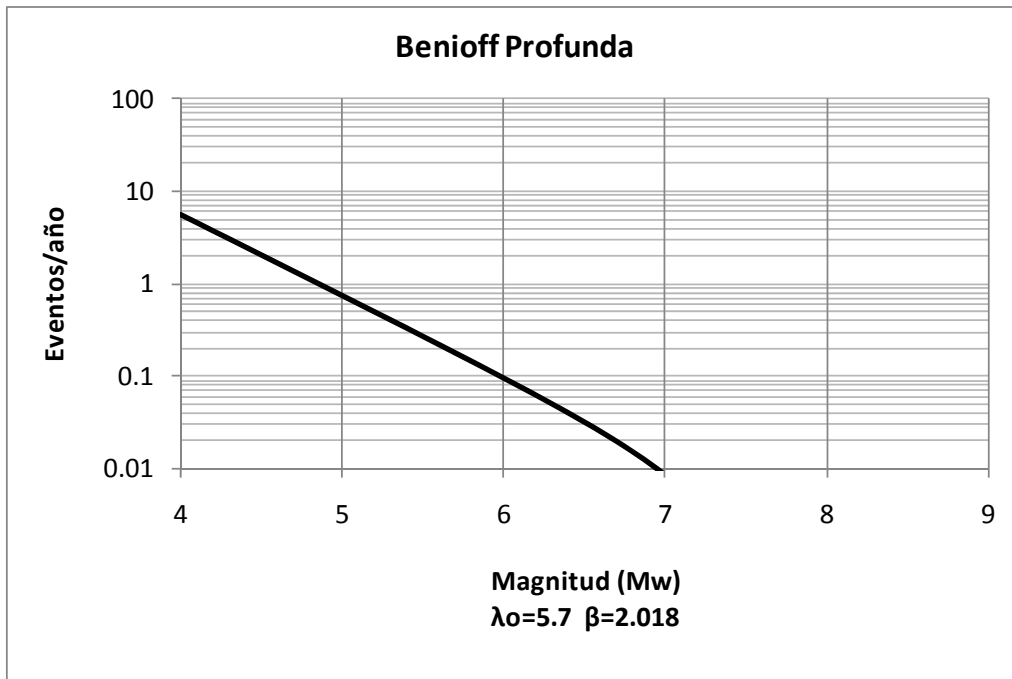


Figura 135 Tasa de excedencia para la falla Benioff Profunda

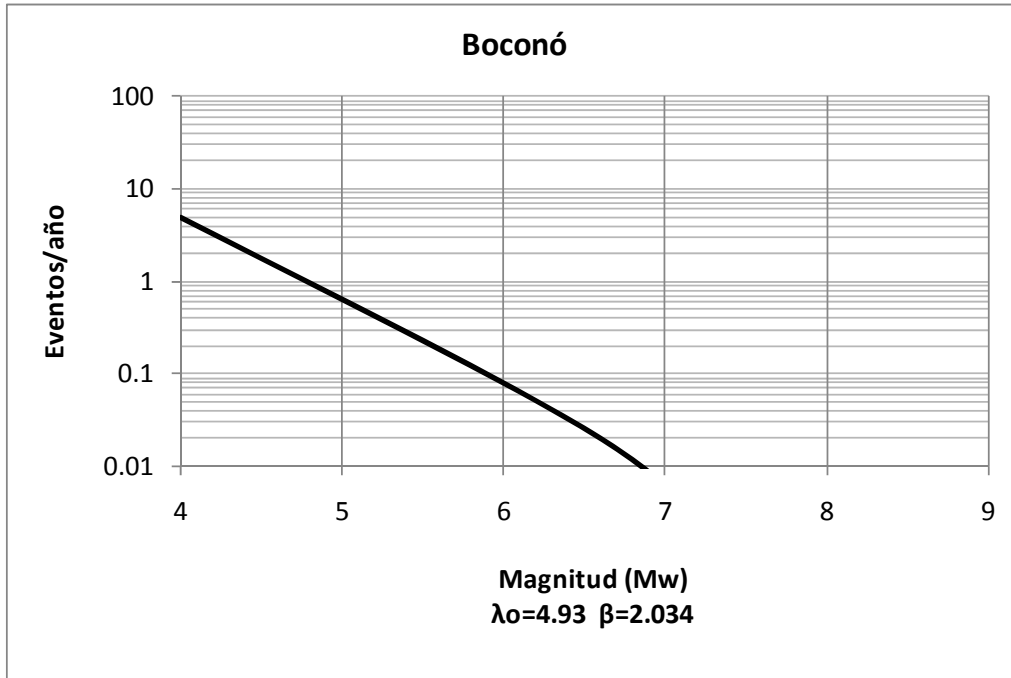


Figura 136 Tasa de excedencia para la falla Boconó

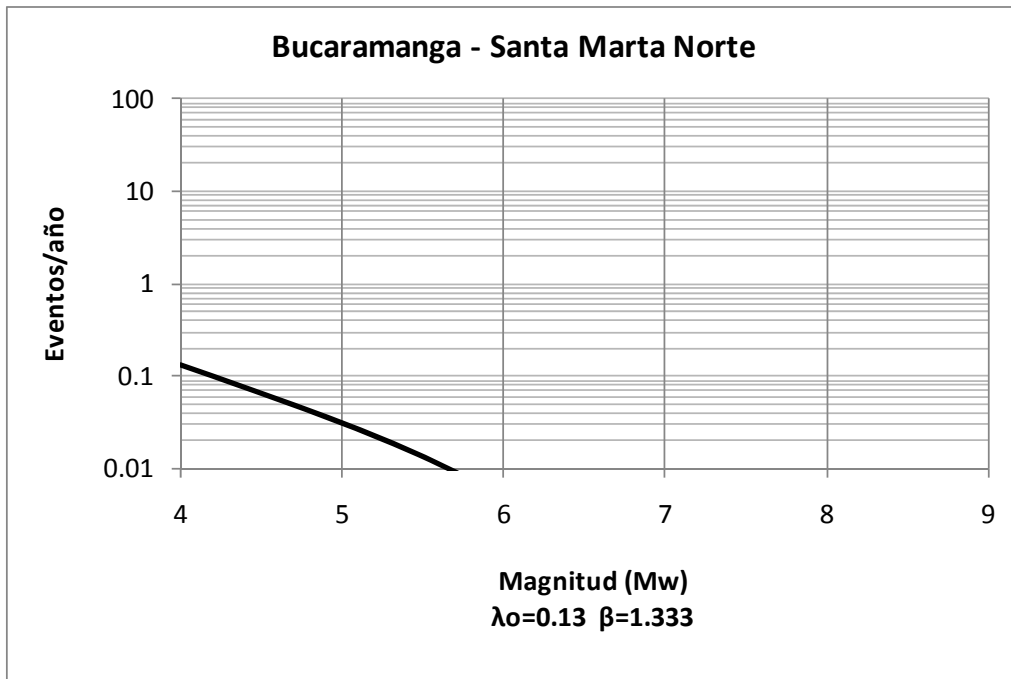


Figura 137 Tasa de excedencia para la falla Bucaramanga - Santa Marta Norte

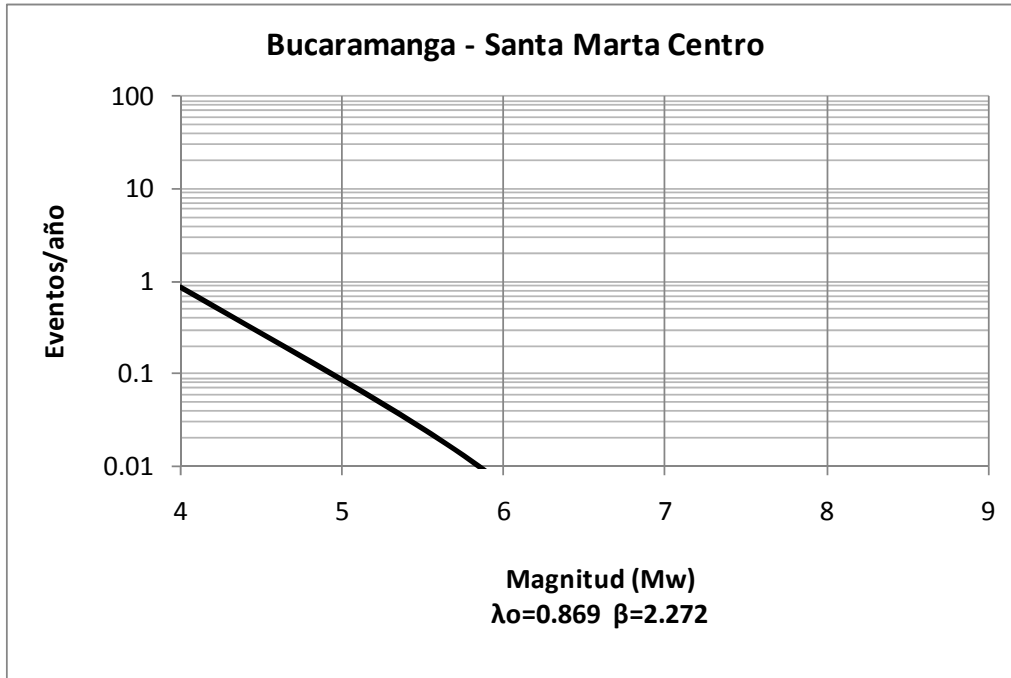


Figura 138 Tasa de excedencia para la falla Bucaramanga - Santa Marta Centro

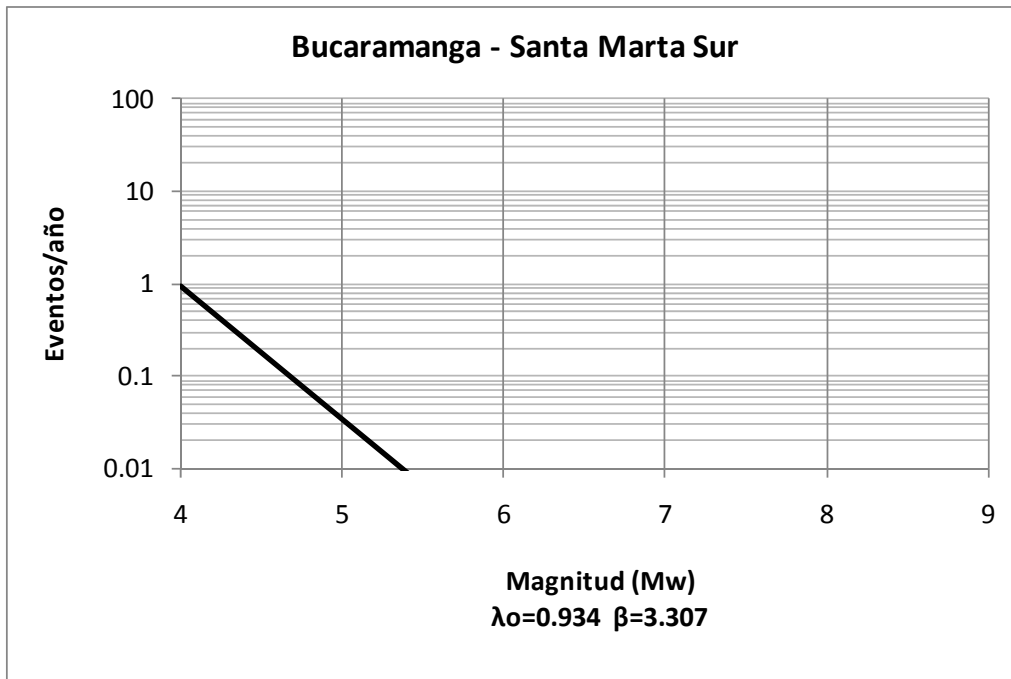


Figura 139 Tasa de excedencia para la falla Bucaramanga - Santa Marta Sur

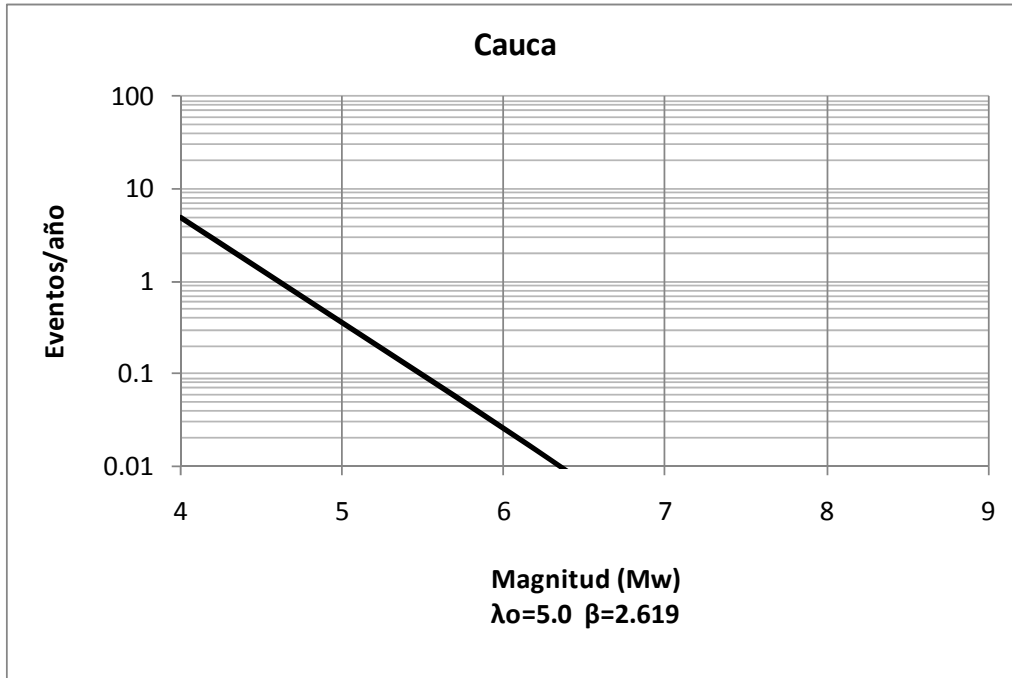


Figura 140 Tasa de excedencia para la falla Cauca

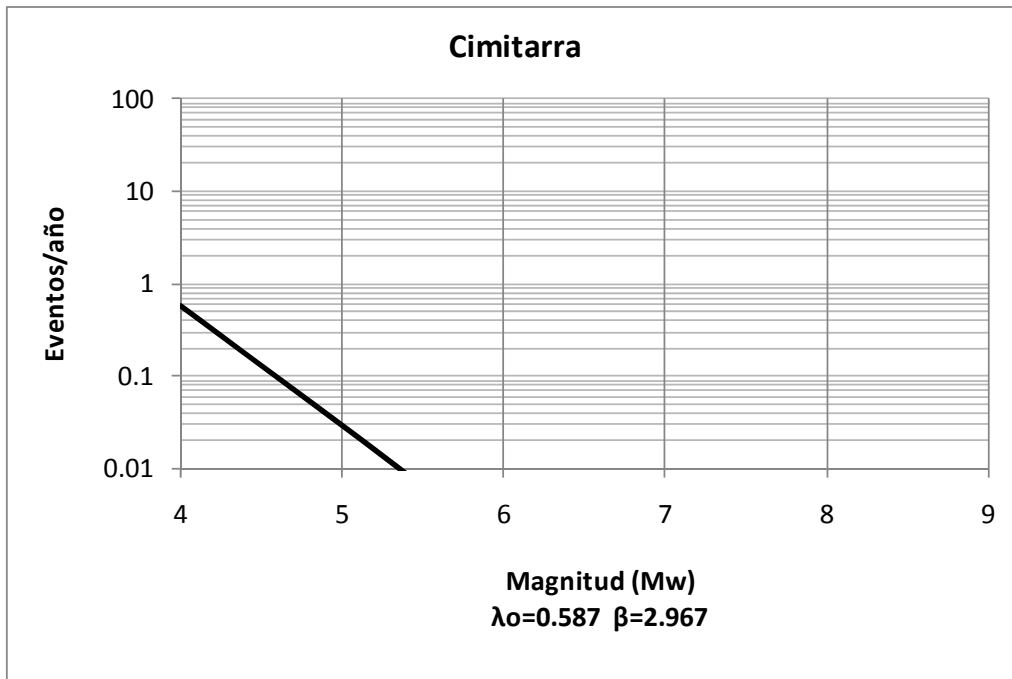


Figura 141 Tasa de excedencia para la falla Cimitarra

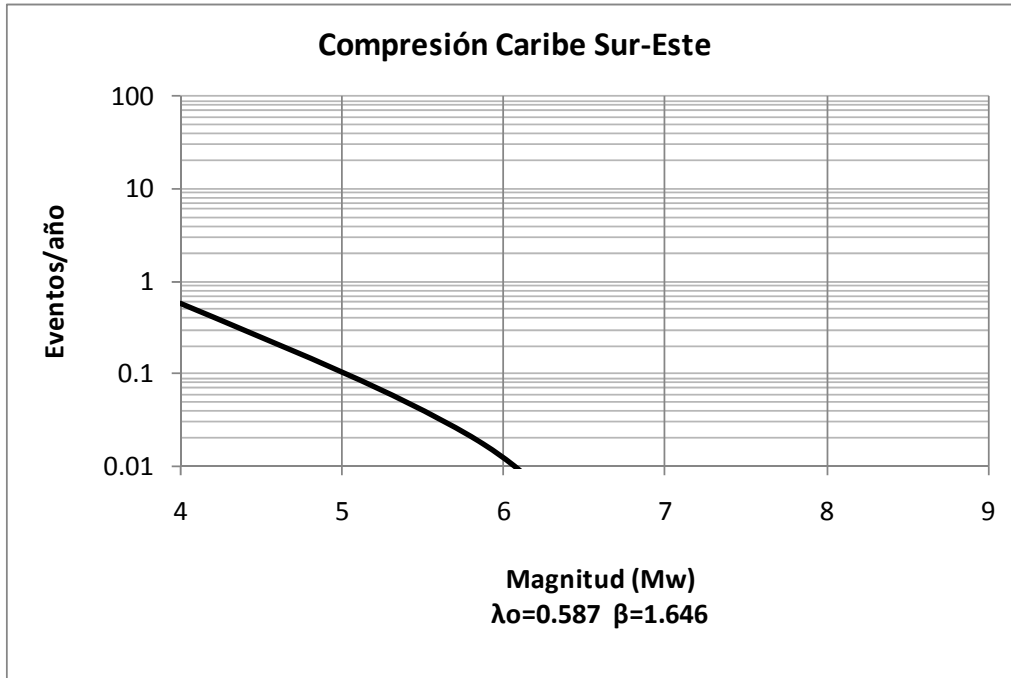


Figura 142 Tasa de excedencia para la falla Compresión Caribe Sur - Este

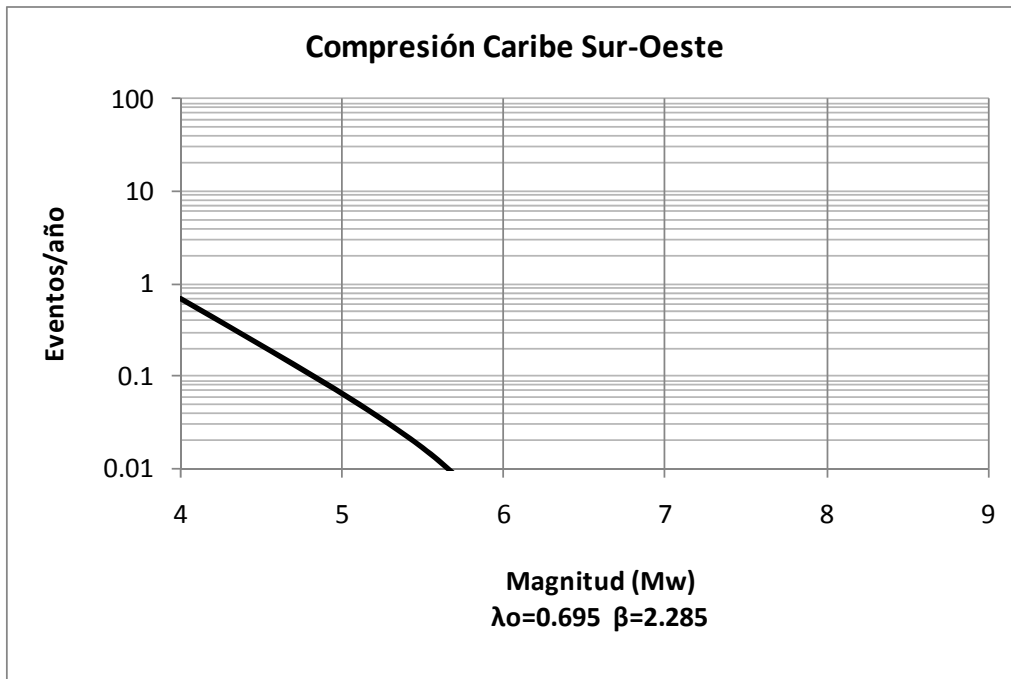


Figura 143 Tasa de excedencia para la falla Compresión Caribe Sur - Oeste

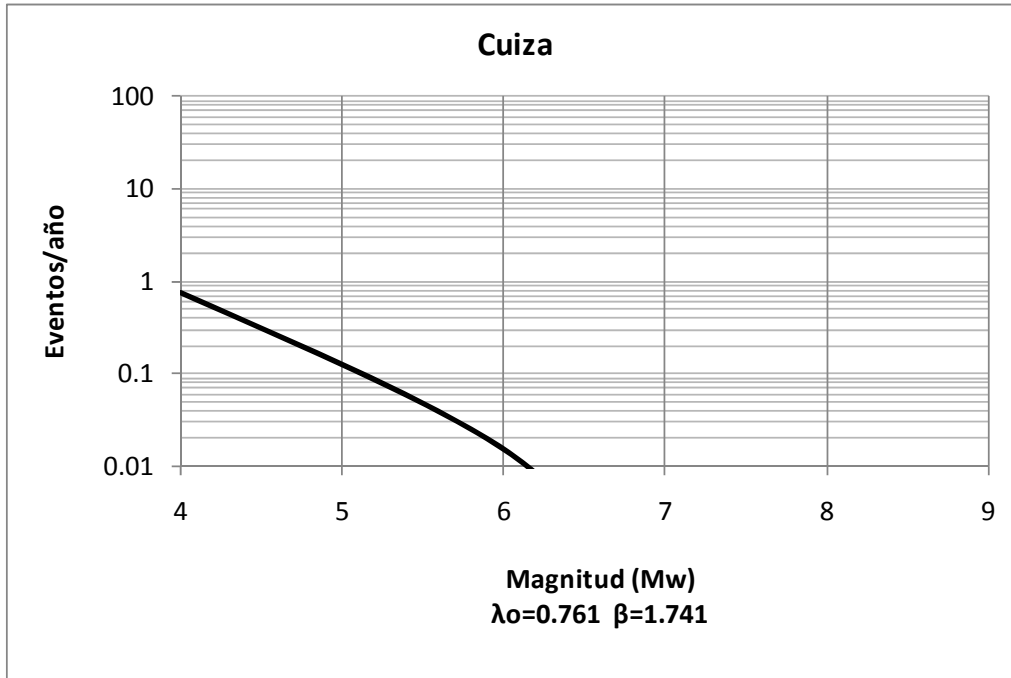


Figura 144 Tasa de excedencia para la falla Cuiza

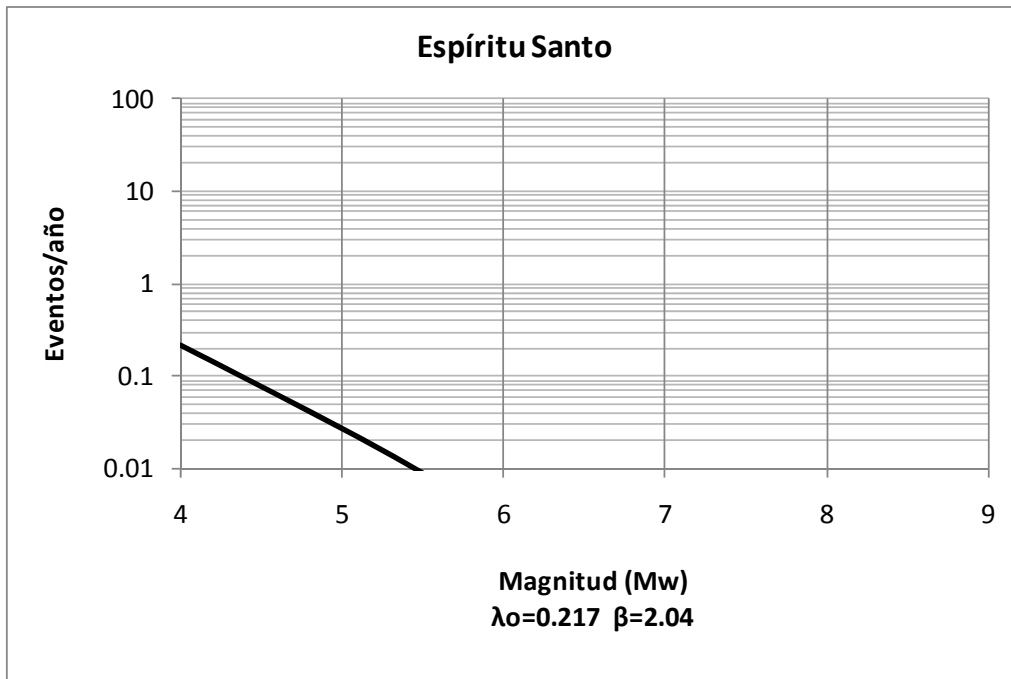


Figura 145 Tasa de excedencia para la falla Espíritu Santo

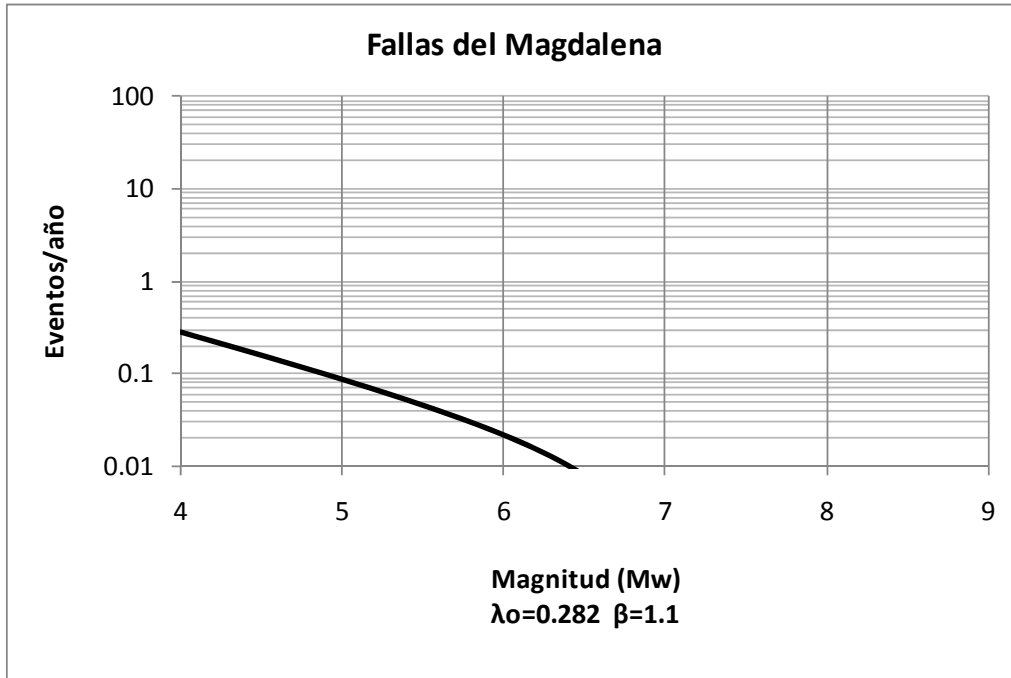


Figura 146 Tasa de excedencia para la falla Fallas del Magdalena

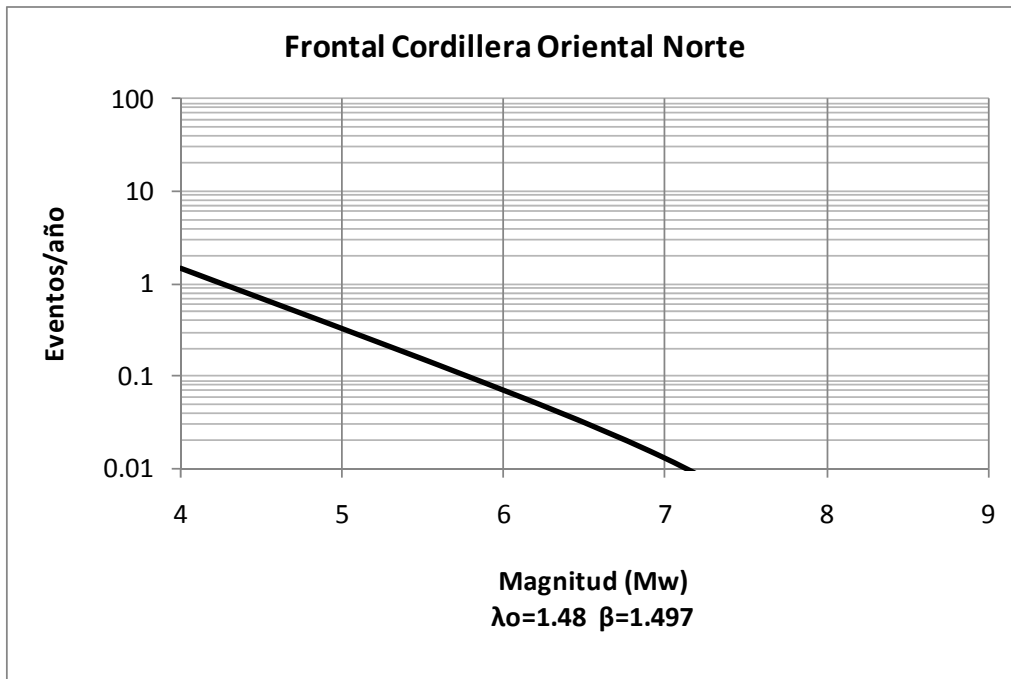


Figura 147 Tasa de excedencia para la falla Frontal Cordillera Oriental Norte

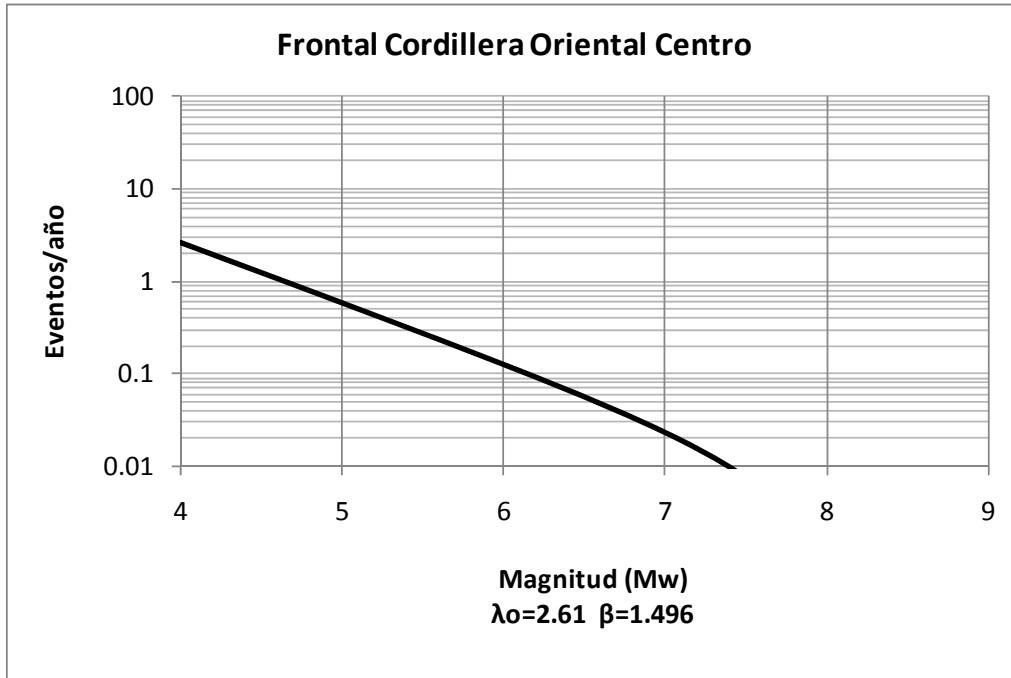


Figura 148 Tasa de excedencia para la falla Frontal Cordillera Oriental Centro

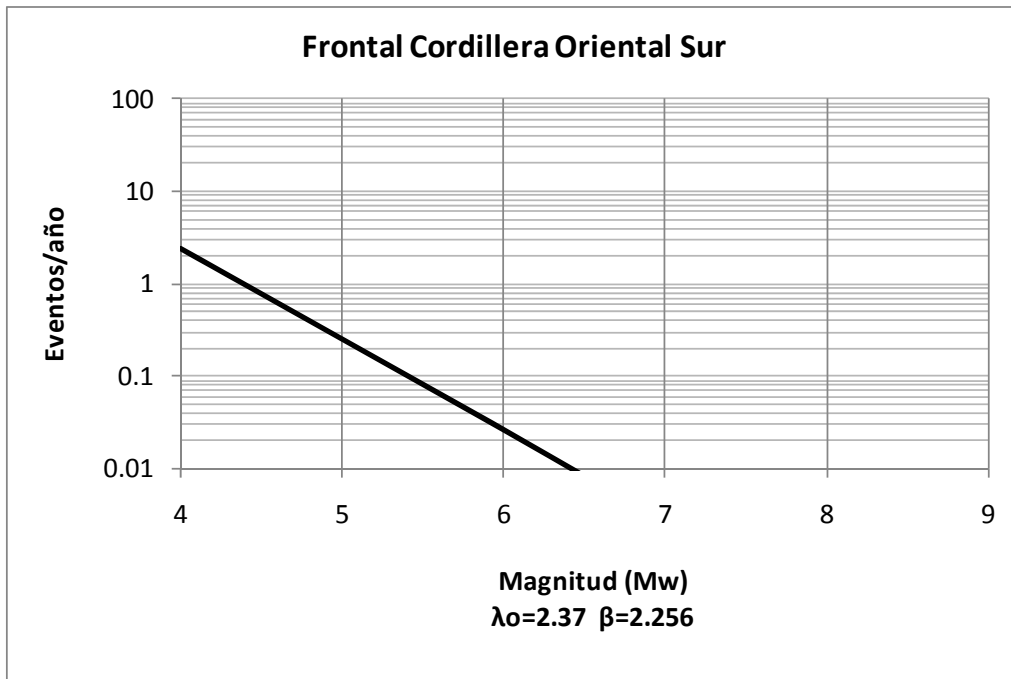


Figura 149 Tasa de excedencia para la falla Frontal Cordillera Oriental Sur

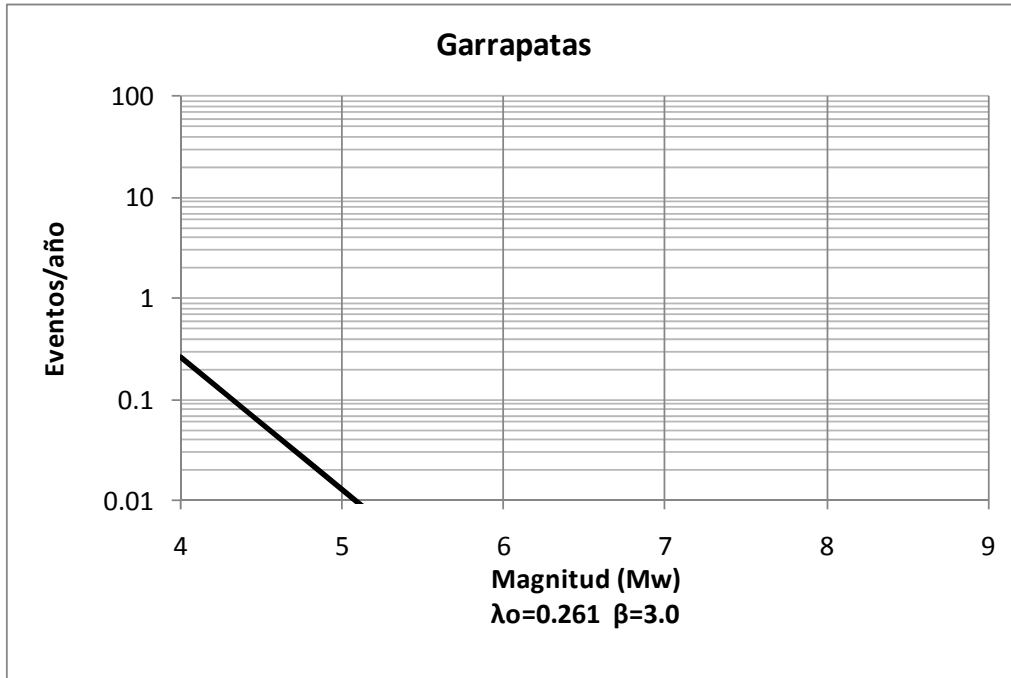


Figura 150 Tasa de excedencia para la falla Garrapatas

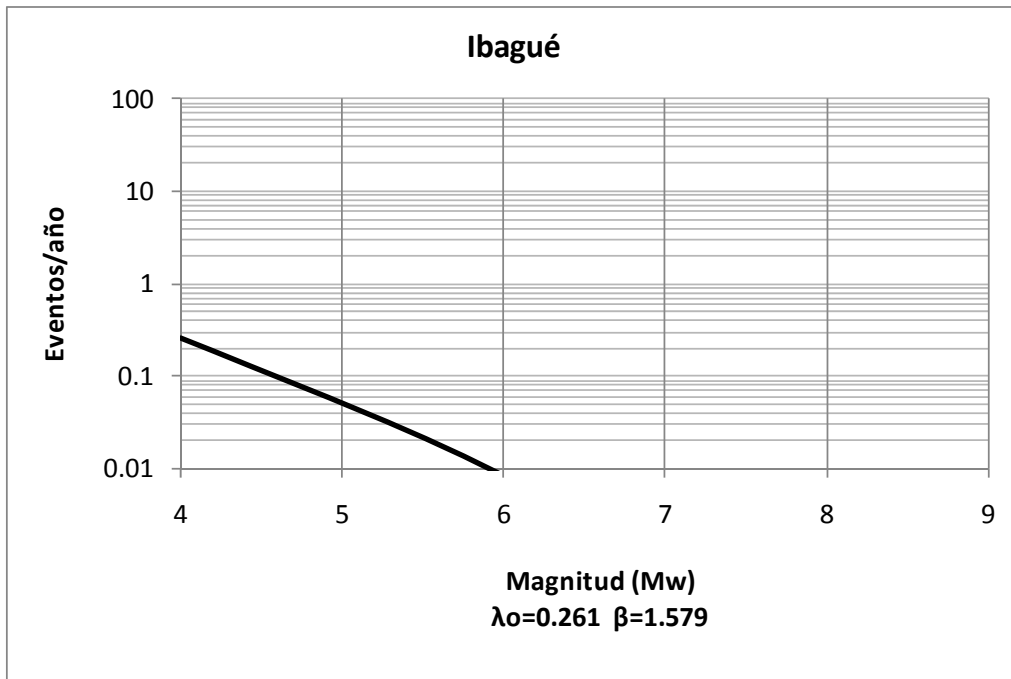


Figura 151 Tasa de excedencia para la falla Ibagué

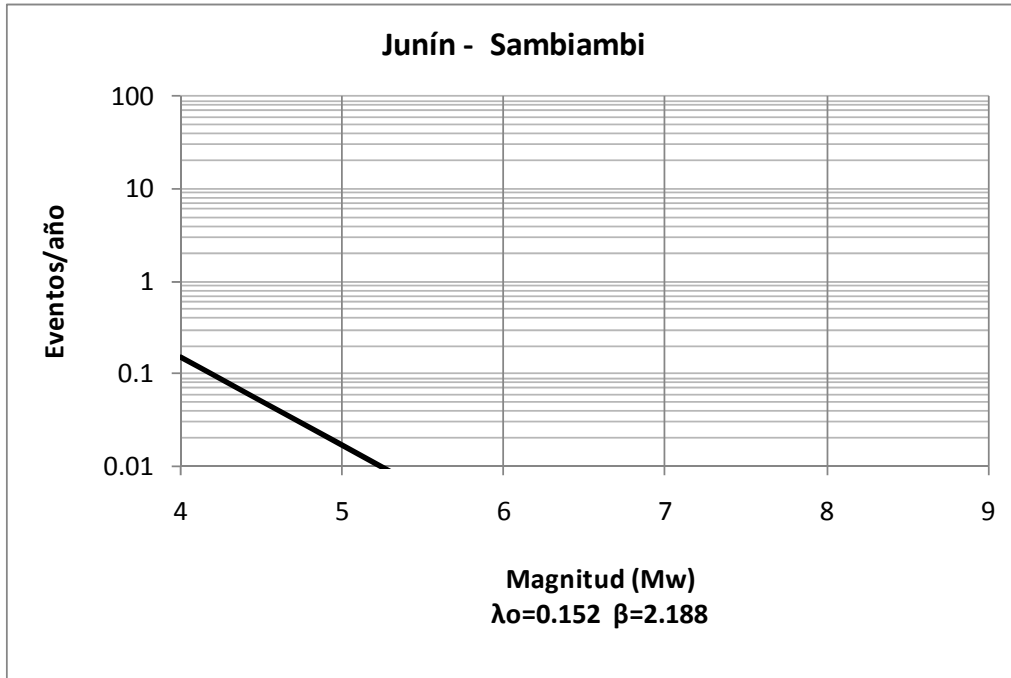


Figura 152 Tasa de excedencia para la falla Junín - Sambiambi

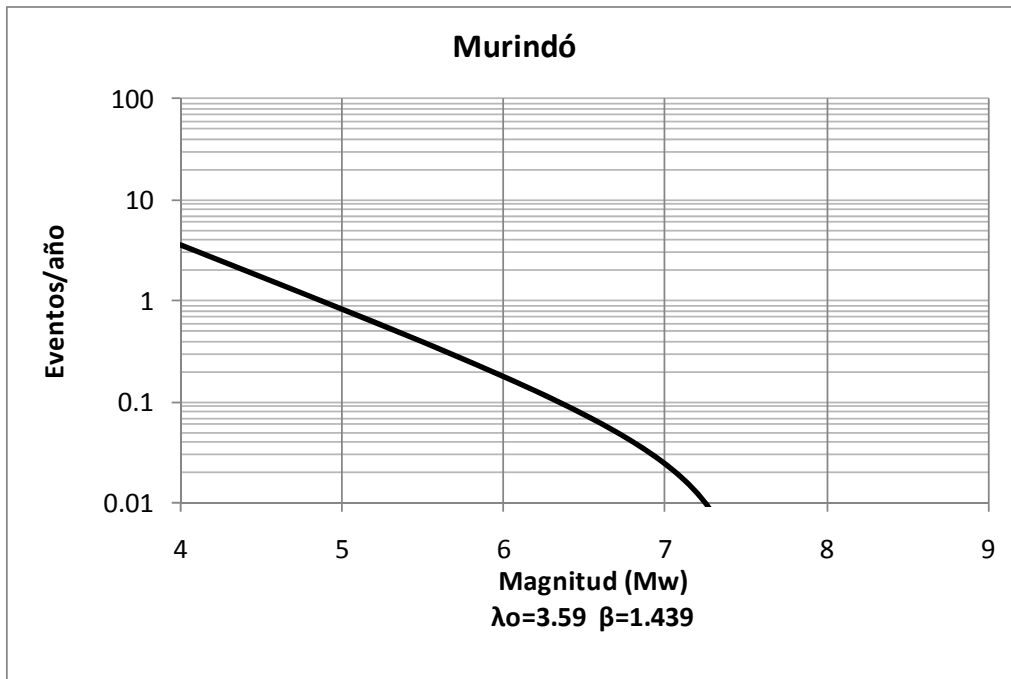


Figura 153 Tasa de excedencia para la falla Murindó

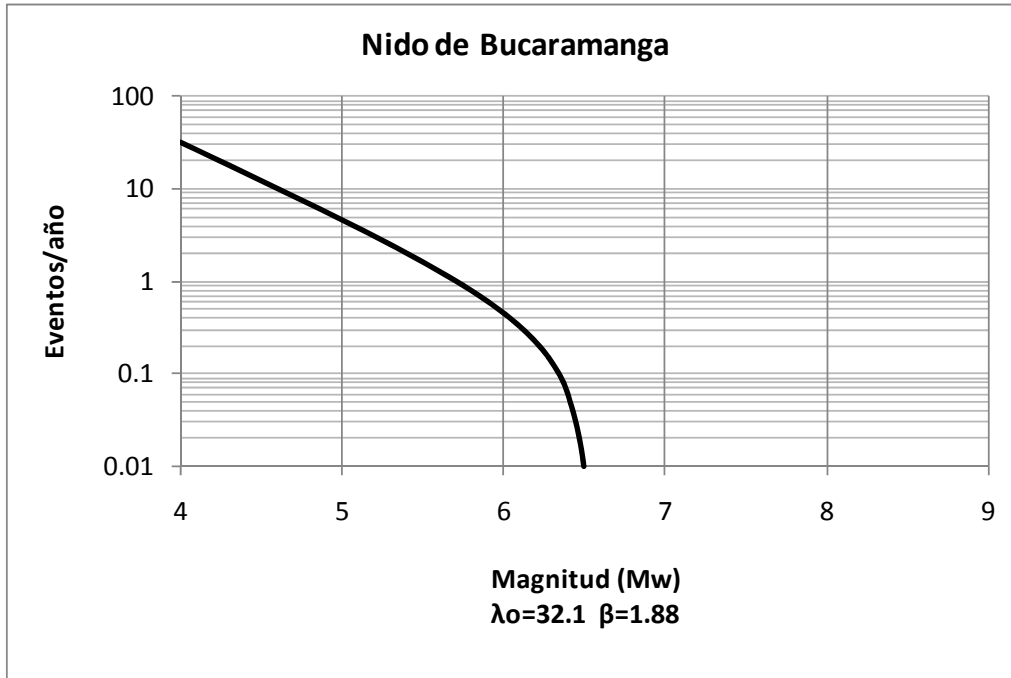


Figura 154 Tasa de excedencia para la falla Nido de Bucaramanga

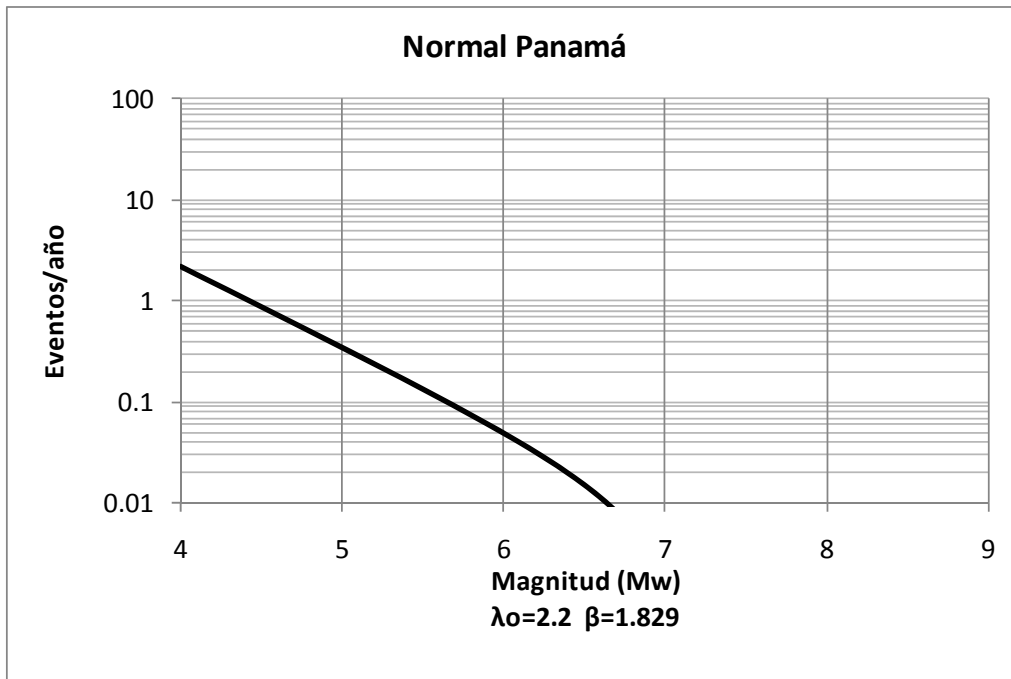


Figura 155 Tasa de excedencia para la falla Normal Panamá

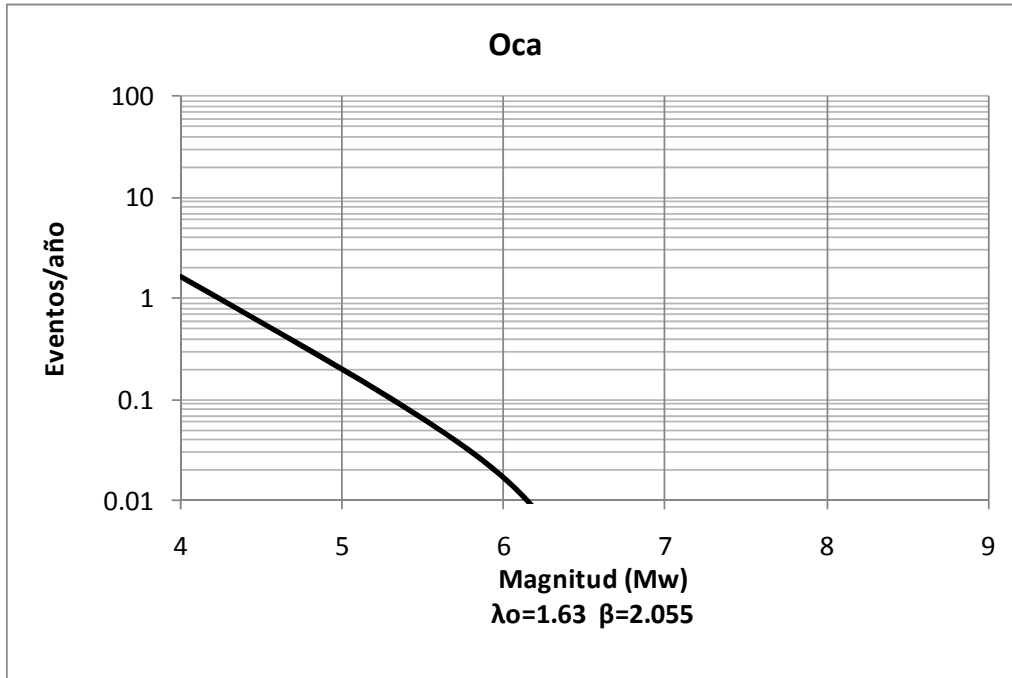


Figura 156 Tasa de excedencia para la falla Oca

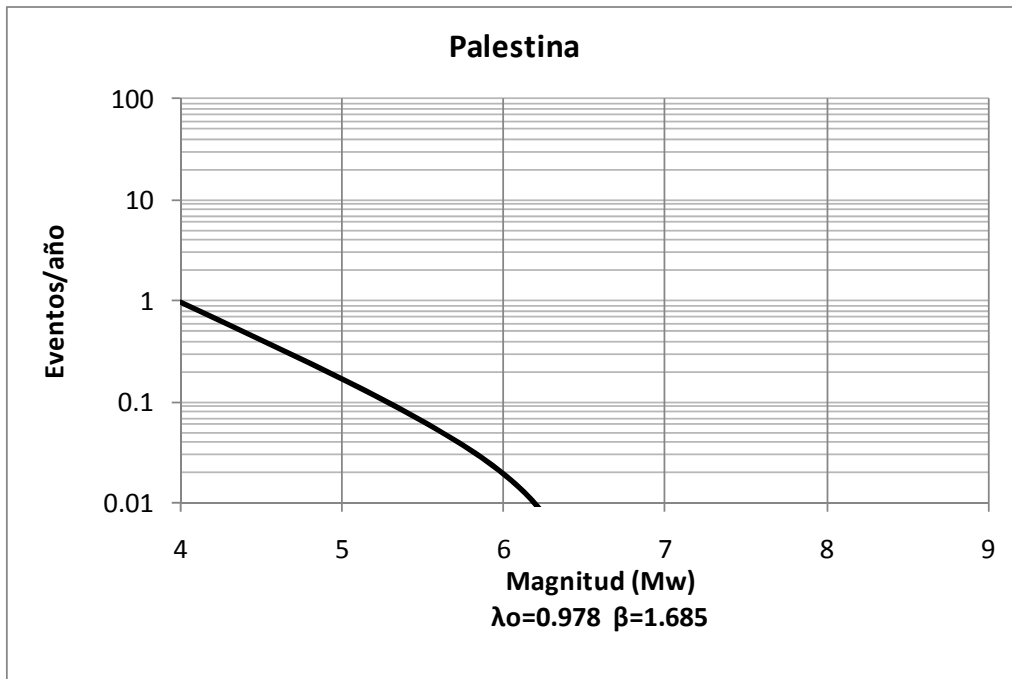


Figura 157 Tasa de excedencia para la falla Palestina

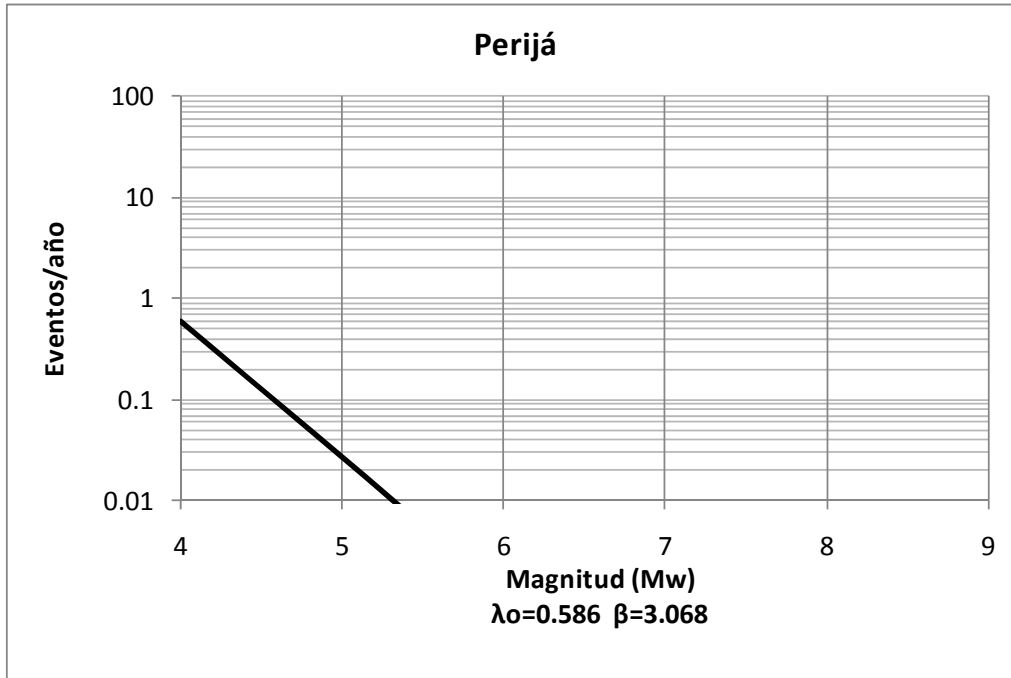


Figura 158 Tasa de excedencia para la falla Perijá

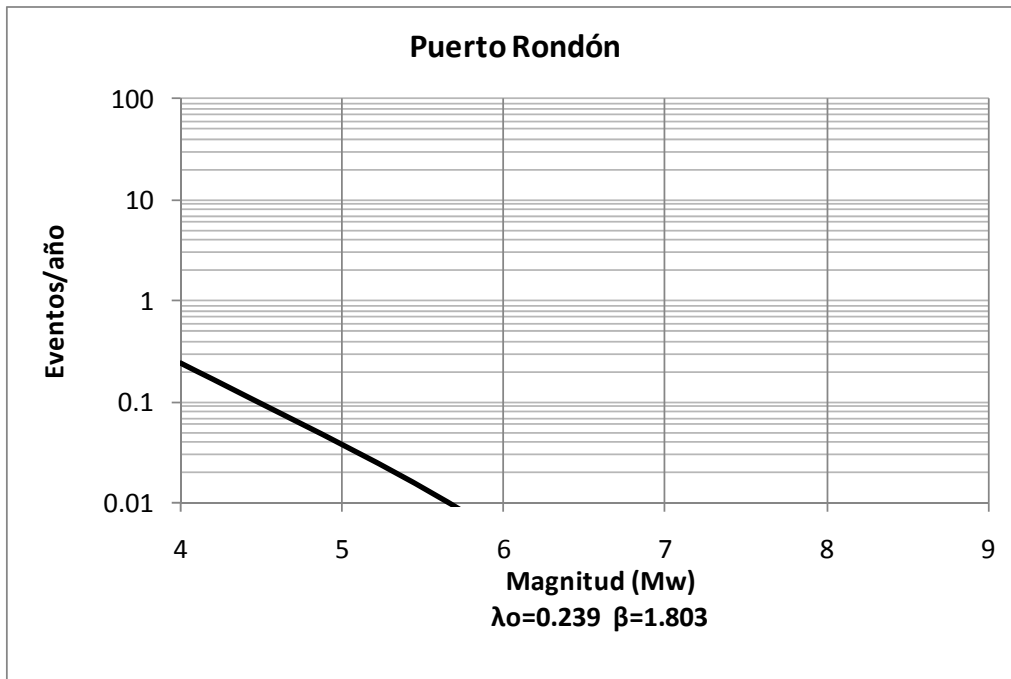


Figura 159 Tasa de excedencia para la falla Puerto Rondón

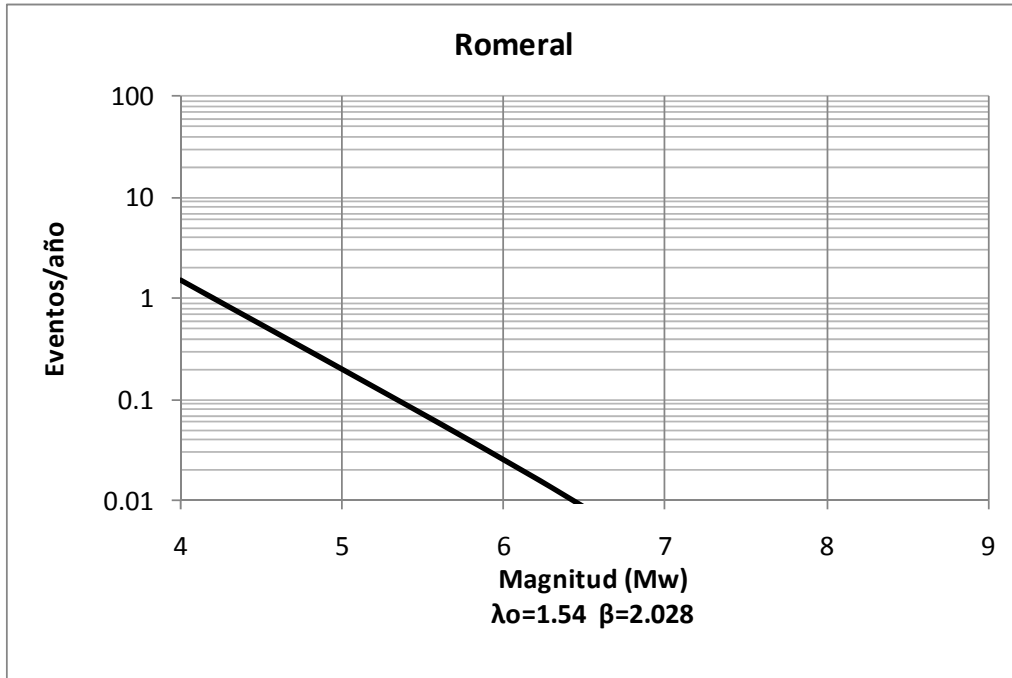


Figura 160 Tasa de excedencia para la falla Romeral

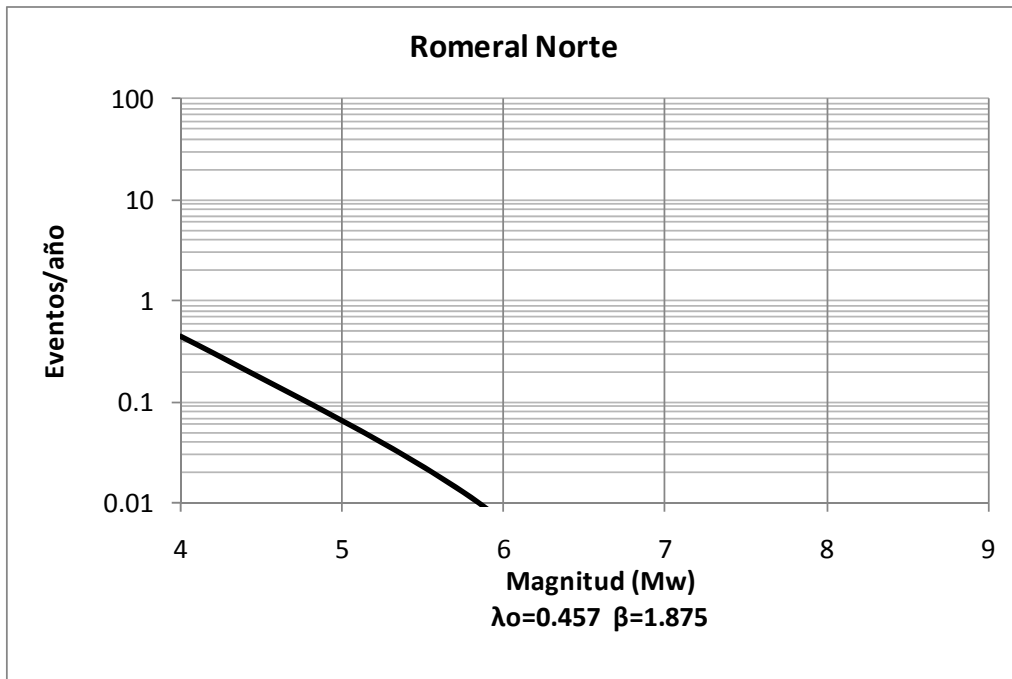


Figura 161 Tasa de excedencia para la falla Romeral Norte

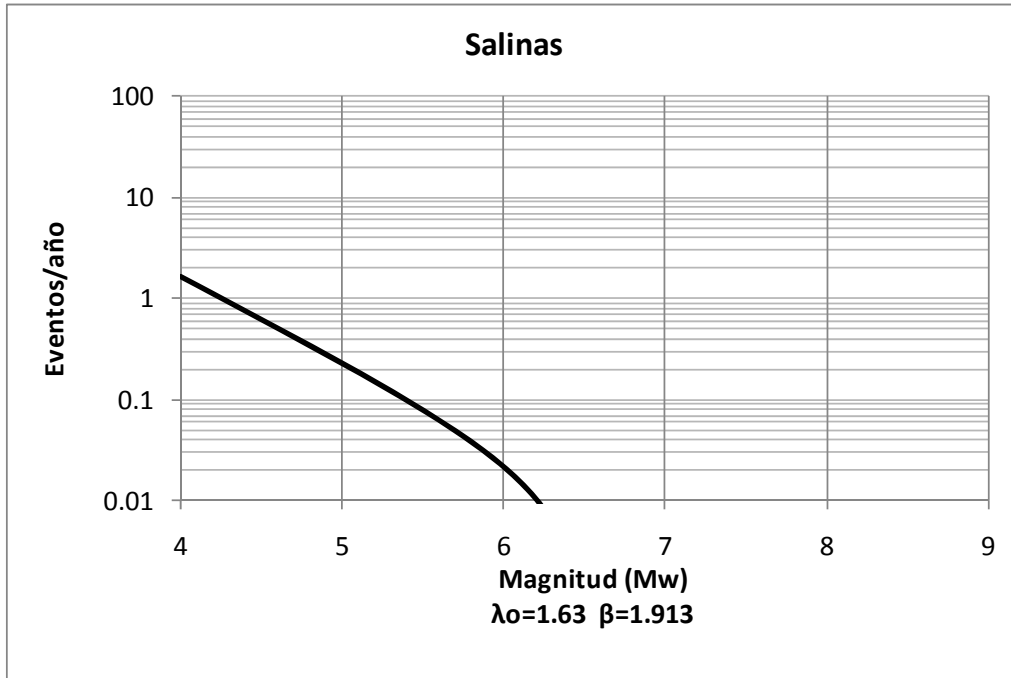


Figura 162 Tasa de excedencia para la falla Salinas

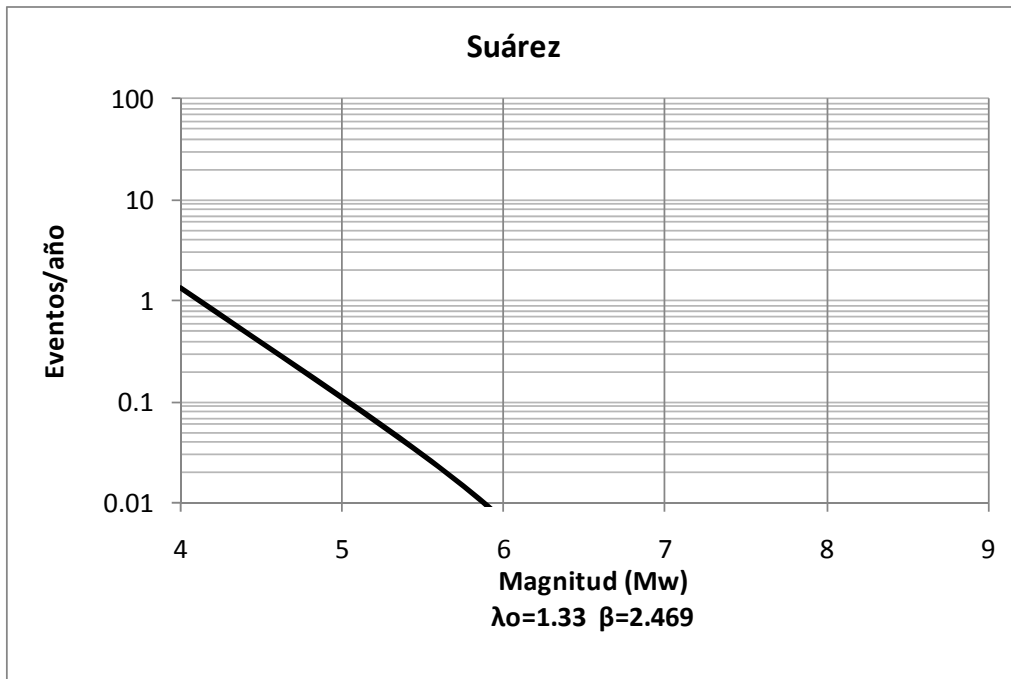


Figura 163 Tasa de excedencia para la falla Suárez

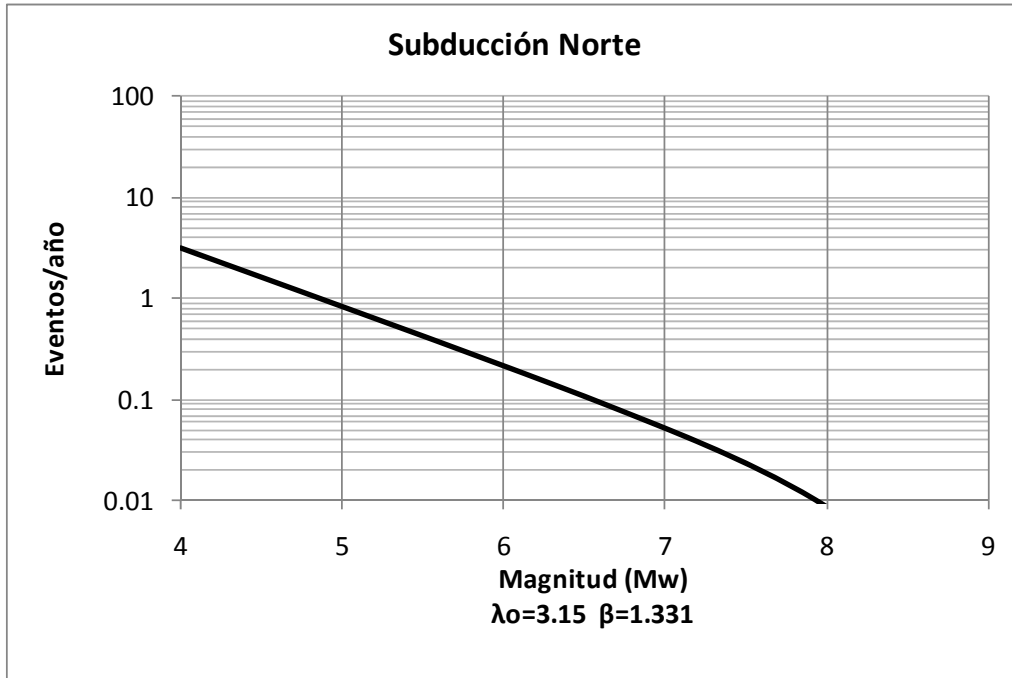


Figura 164 Tasa de excedencia para la falla Subducción Norte

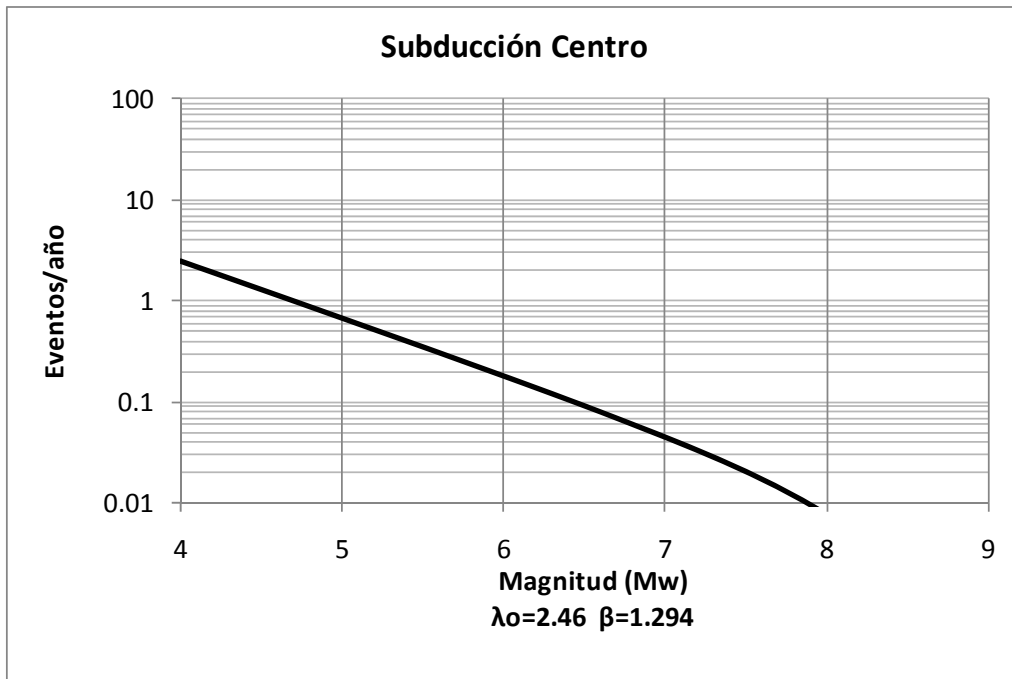


Figura 165 Tasa de excedencia para la falla Subducción Centro

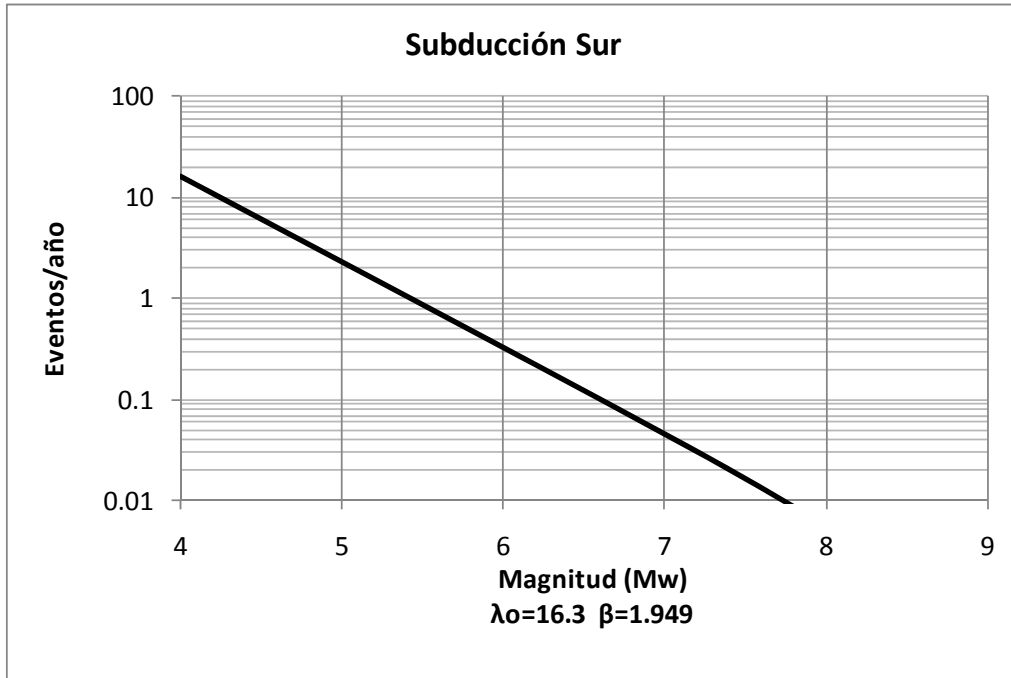


Figura 166 Tasa de excedencia para la falla Subducción Sur

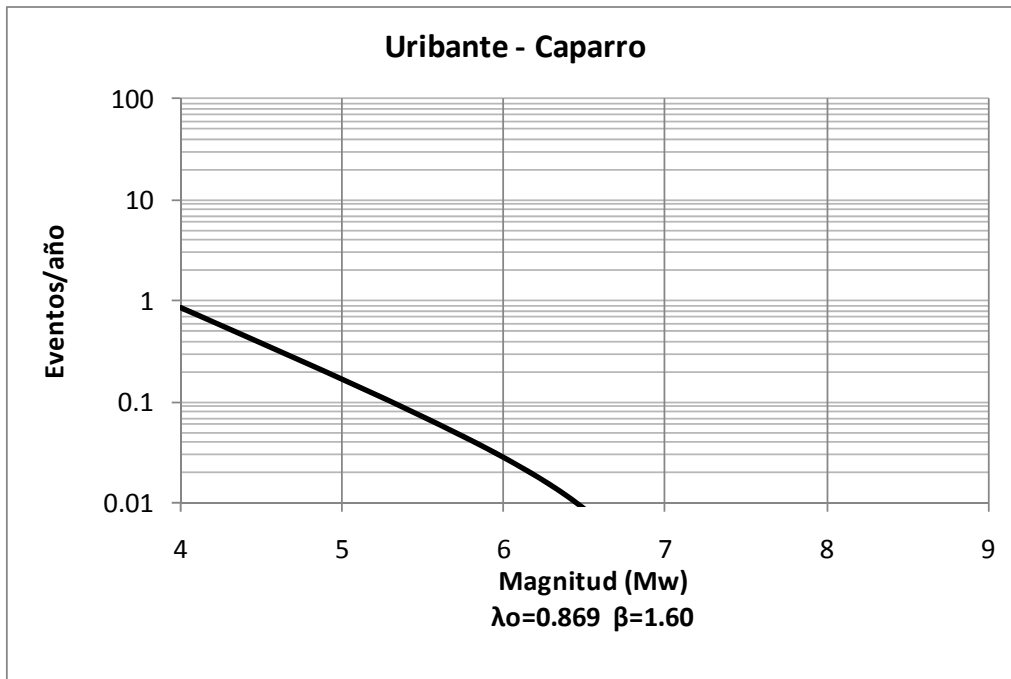


Figura 167 Tasa de excedencia para la falla Uribante - Caparro

Anexo 3

Espectros de amenaza uniforme para las capitales de departamento para diferentes períodos de retorno

Arauca

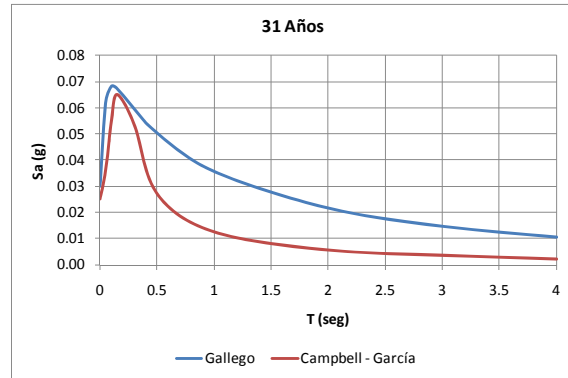


Figura 168 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 31 años



Figura 169 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 225 años

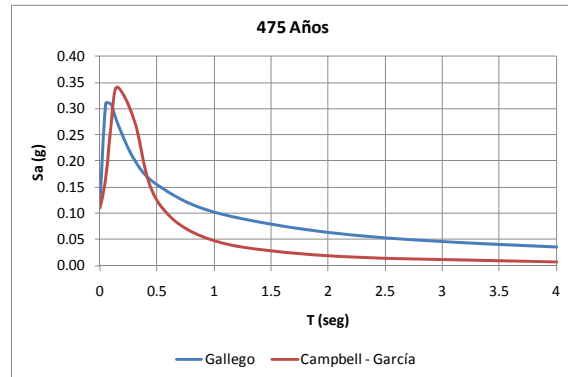


Figura 170 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 475 años

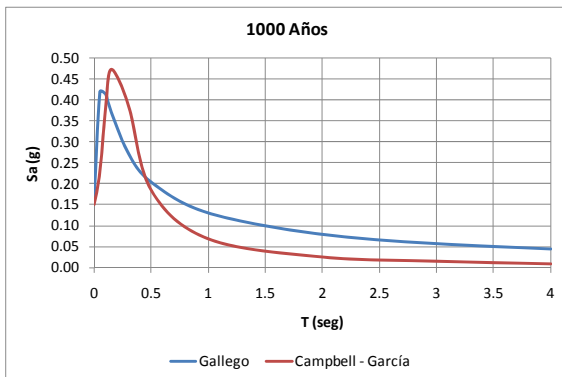


Figura 171 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 1000 años

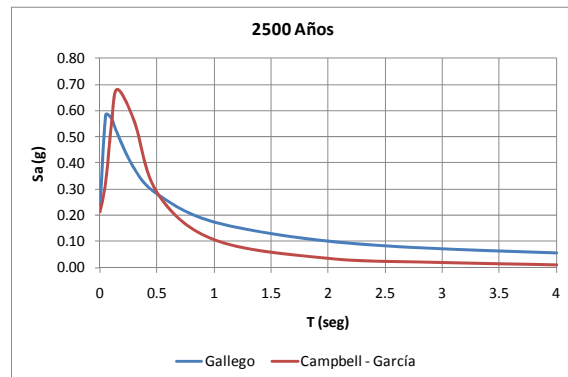


Figura 172 Espectros amenaza uniforme Arauca. Período de retorno: 2500 años

Armenia

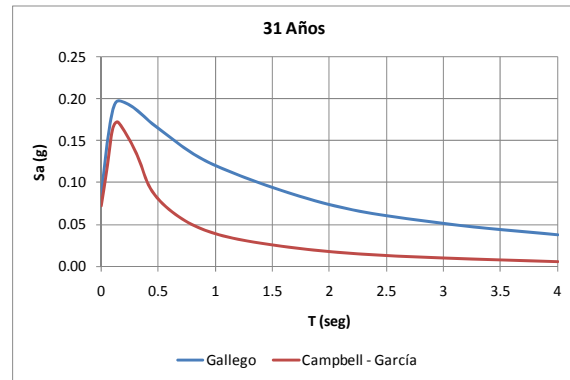


Figura 173 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 31 años

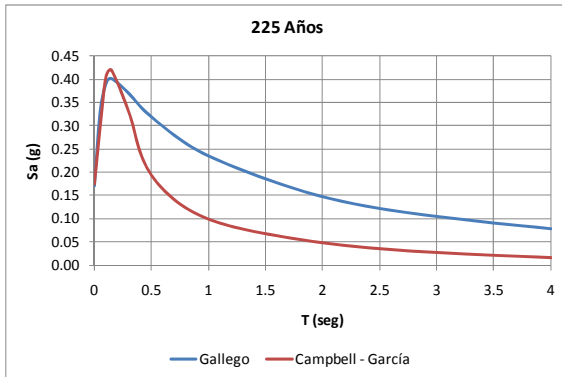


Figura 174 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 225 años

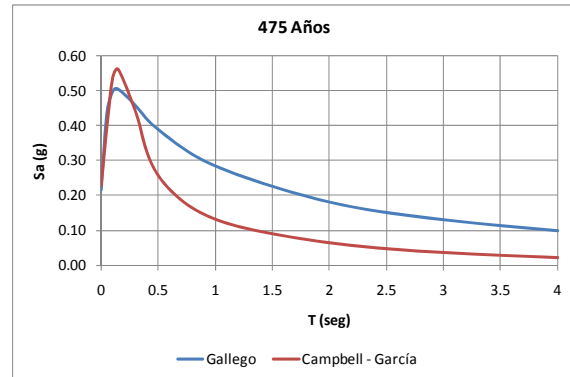


Figura 175 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 475 años

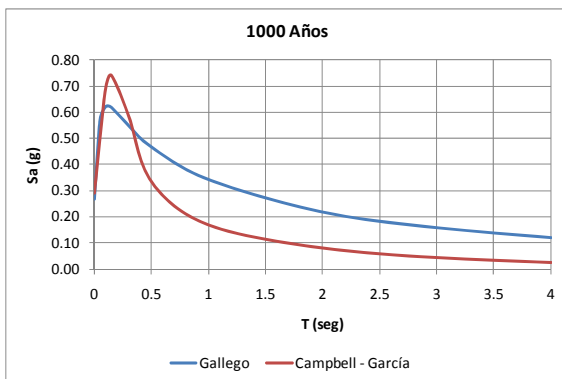


Figura 176 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 1000 años

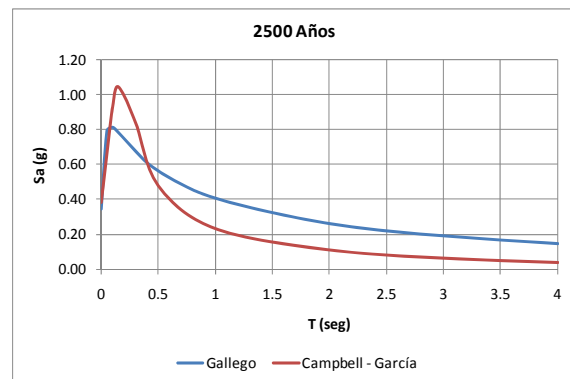


Figura 177 Espectros amenaza uniforme Armenia. Período de retorno: 2500 años

Barranquilla

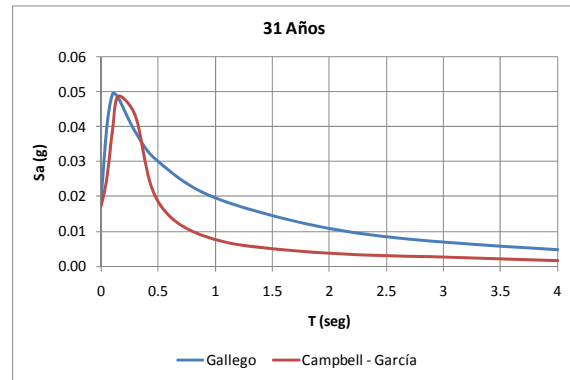


Figura 178 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 31 años

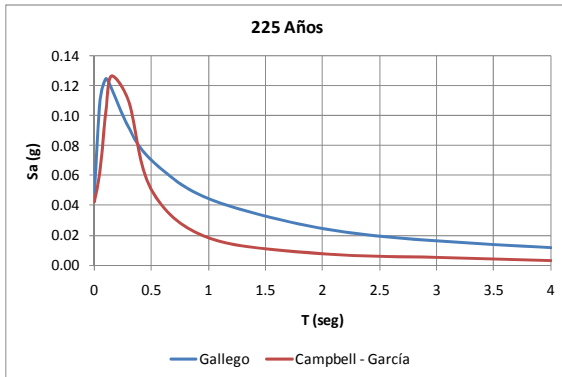


Figura 179 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 225 años

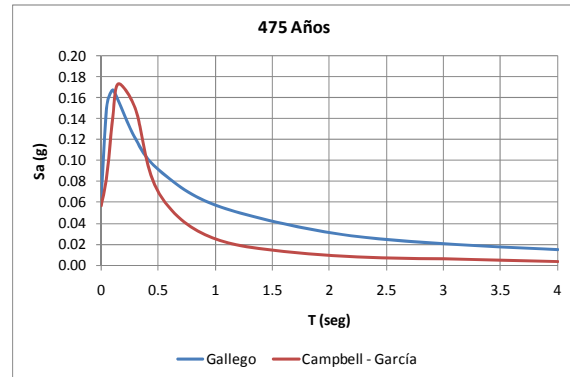


Figura 180 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 475 años

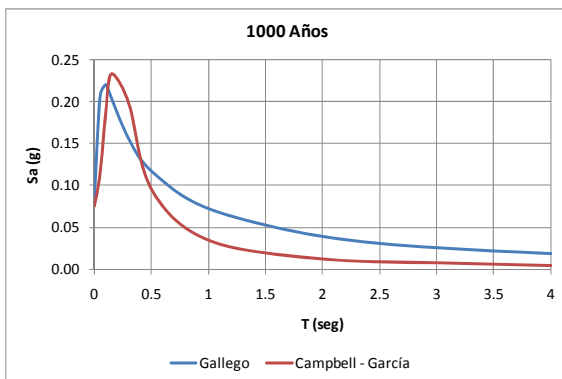


Figura 181 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 1000 años

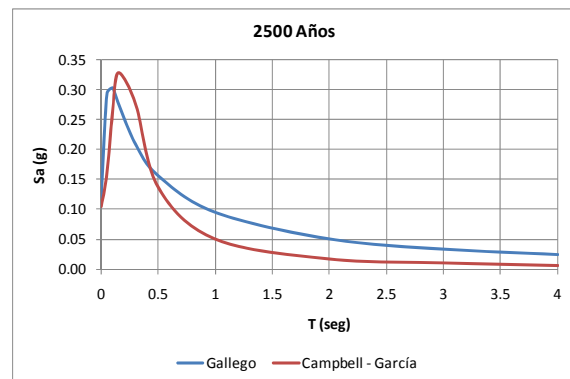


Figura 182 Espectros amenaza uniforme Barranquilla. Período de retorno: 2500 años

Bogotá, D.C.

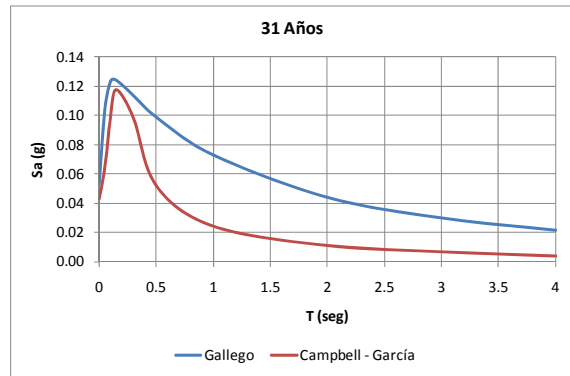


Figura 183 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 31 años

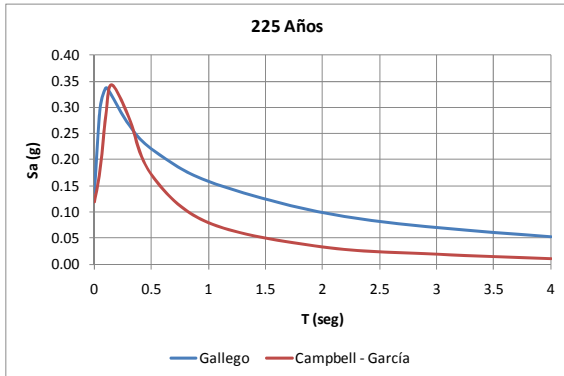


Figura 184 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 225 años

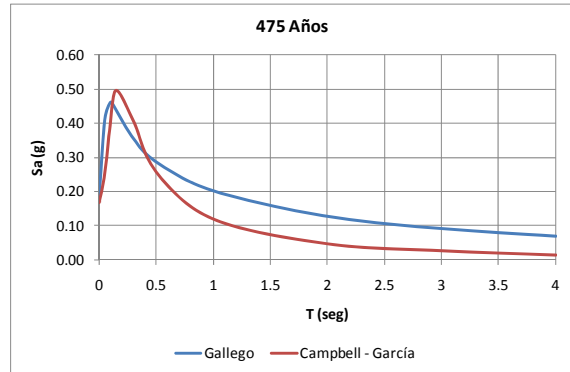


Figura 185 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 475 años

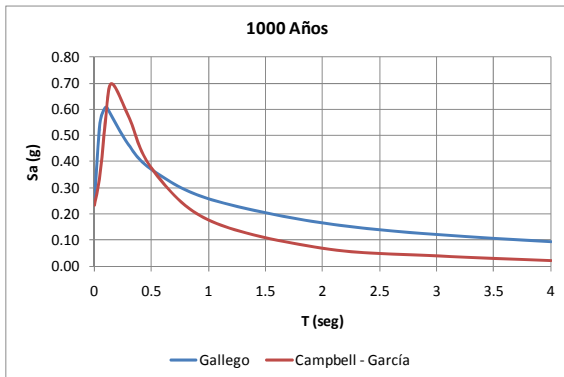


Figura 186 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 1000 años

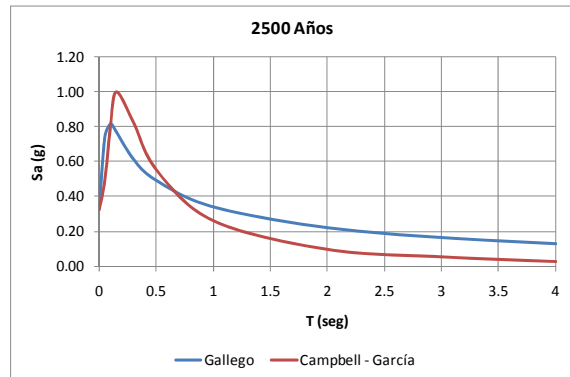


Figura 187 Espectros amenaza uniforme Bogotá. Período de retorno: 2500 años

Bucaramanga

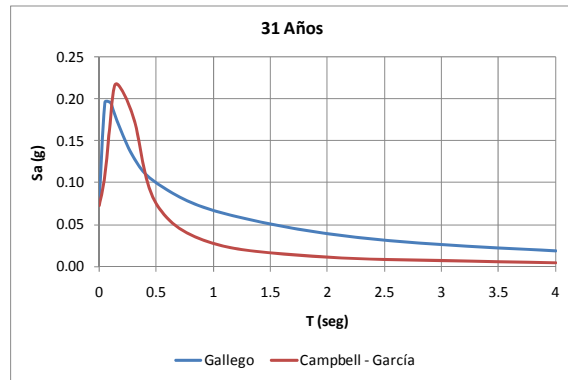


Figura 188 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 31 años

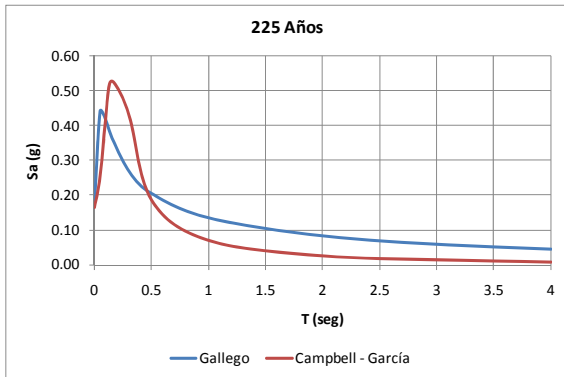


Figura 189 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 225 años

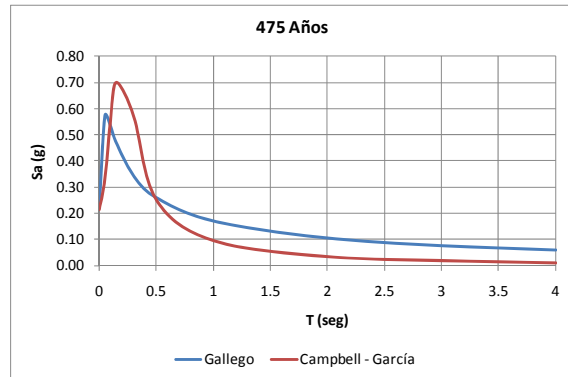


Figura 190 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 475 años

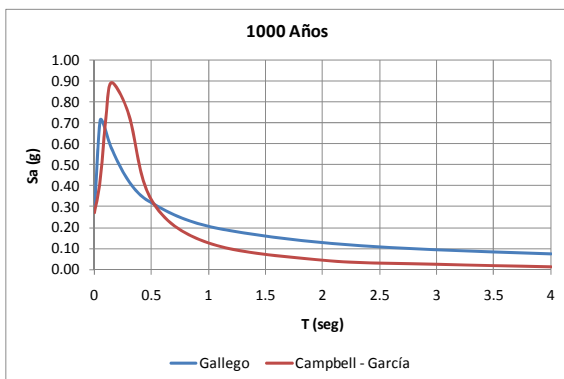


Figura 191 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 1000 años

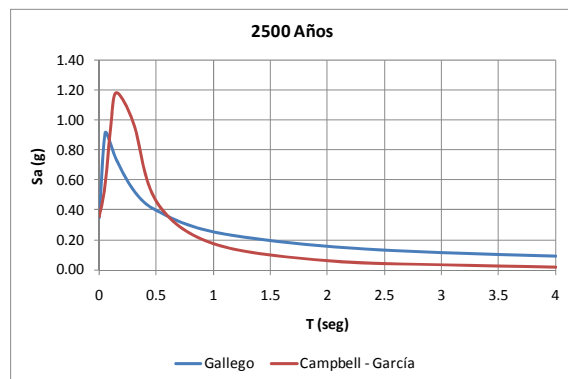


Figura 192 Espectros amenaza uniforme Bucaramanga. Período de retorno: 2500 años

Cali

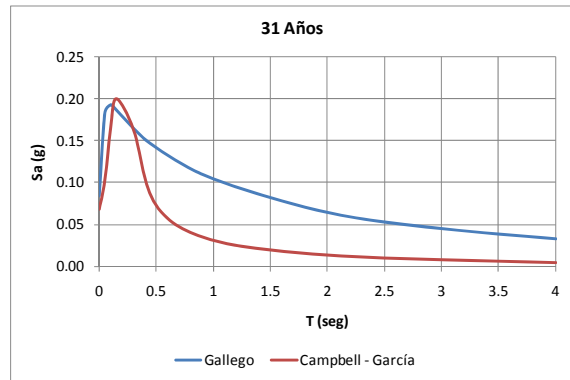


Figura 193 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 31 años

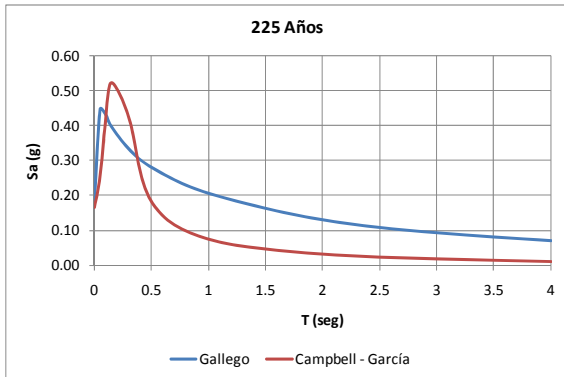


Figura 194 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 225 años

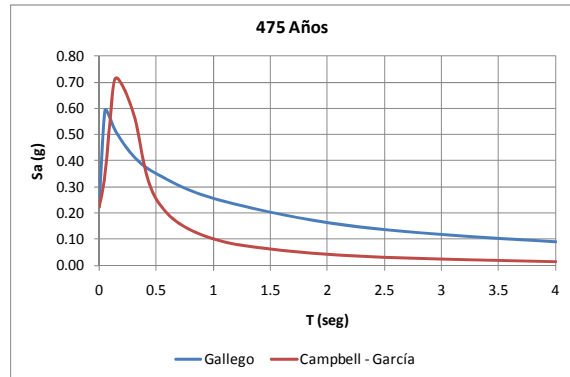


Figura 195 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 475 años

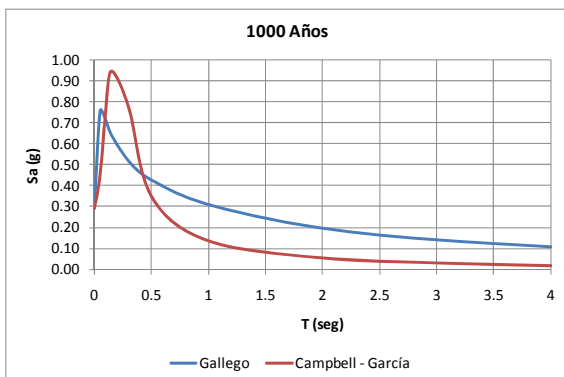


Figura 196 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 1000 años

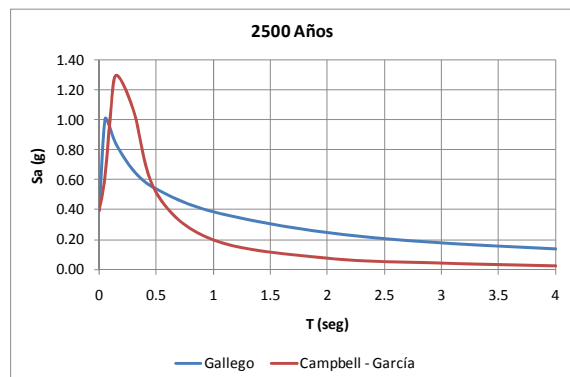


Figura 197 Espectros amenaza uniforme Cali. Período de retorno: 2500 años

Cartagena

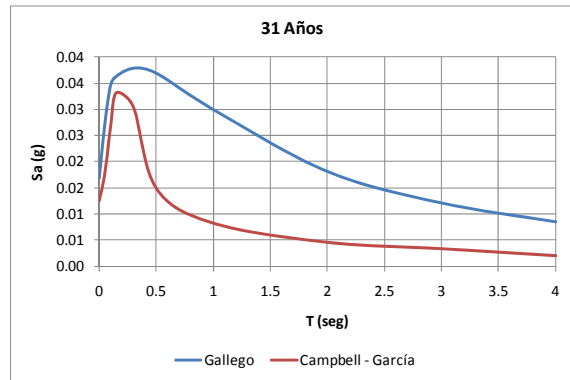


Figura 198 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 31 años

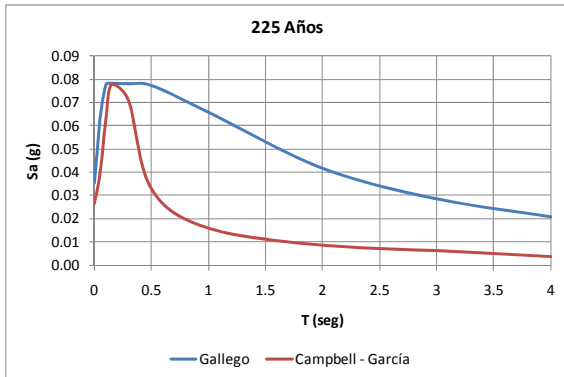


Figura 199 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 225 años

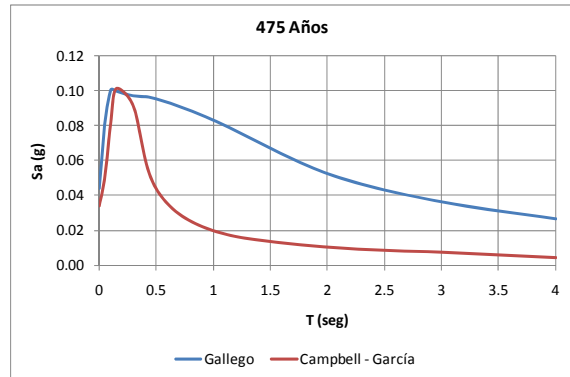


Figura 200 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 475 años

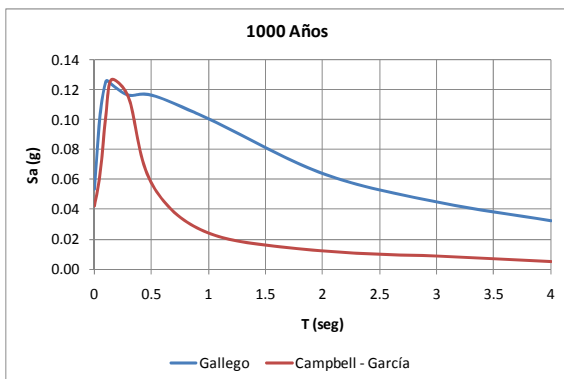


Figura 201 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 1000 años

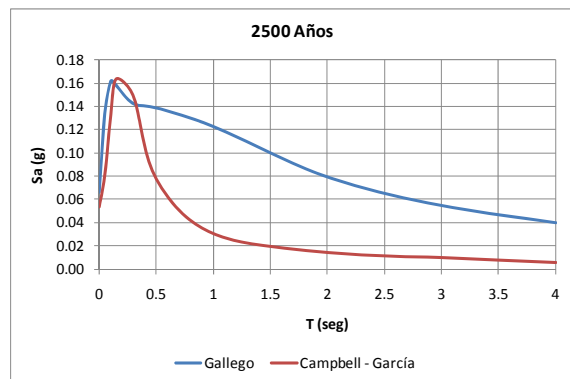


Figura 202 Espectros amenaza uniforme Cartagena. Período de retorno: 2500 años

Cúcuta

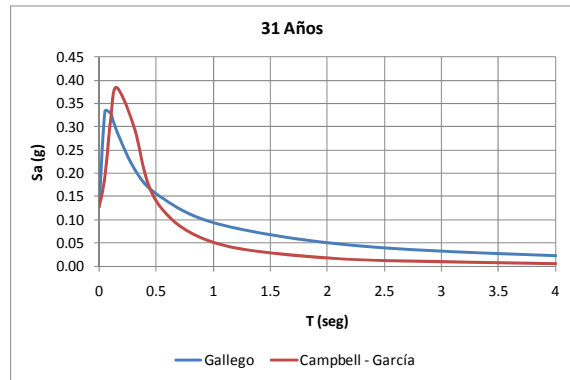


Figura 203 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 31 años

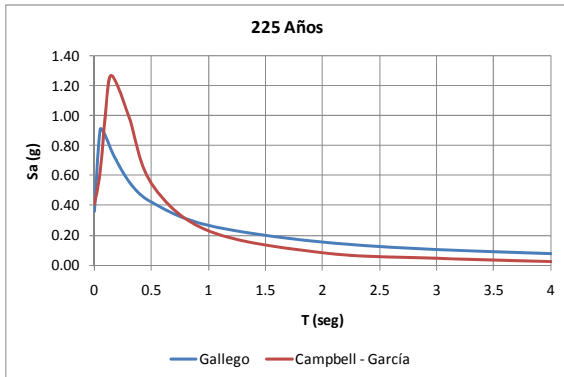


Figura 204 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 225 años

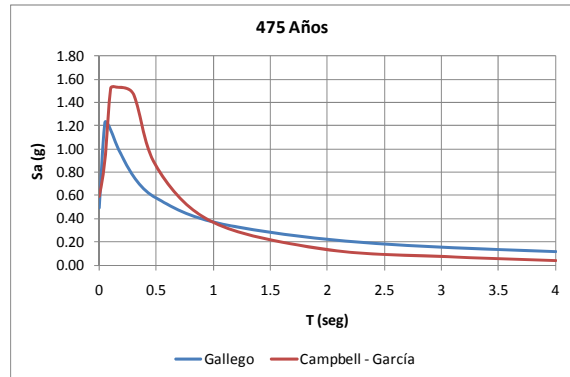


Figura 205 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 475 años

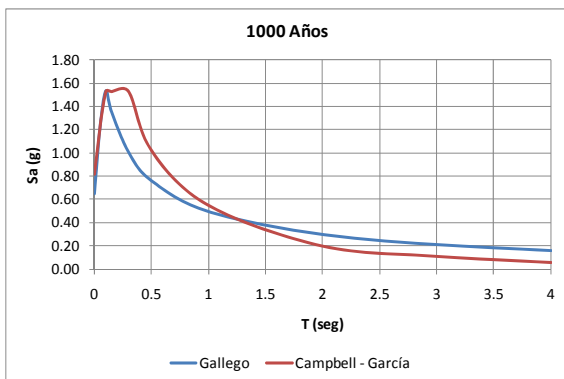


Figura 206 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 1000 años

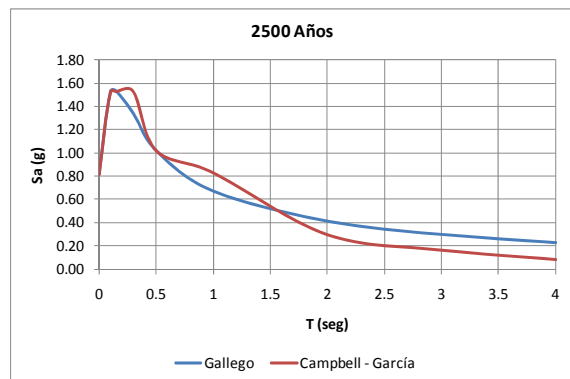


Figura 207 Espectros amenaza uniforme Cúcuta. Período de retorno: 2500 años

Florencia

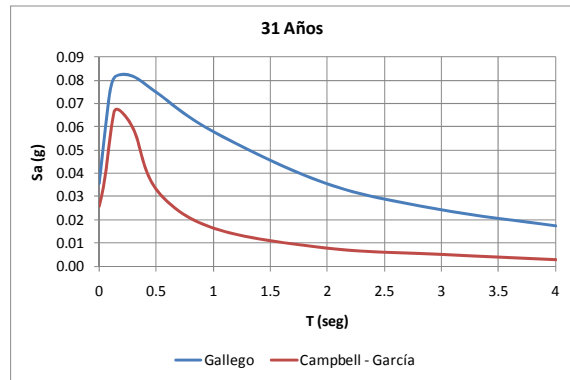


Figura 208 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 31 años

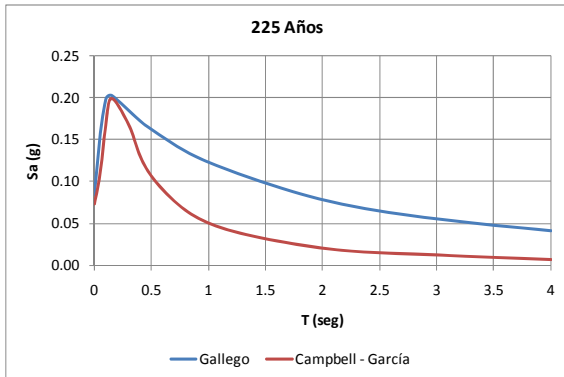


Figura 209 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 225 años

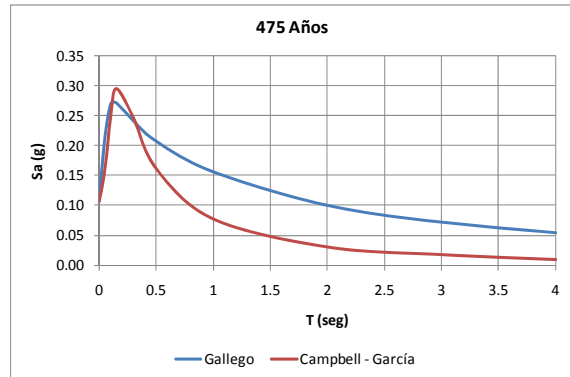


Figura 210 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 475 años

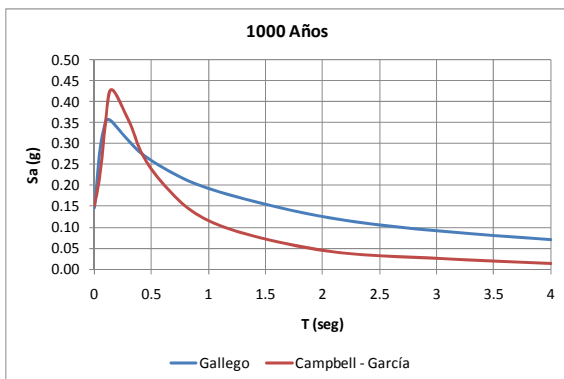


Figura 211 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 1000 años

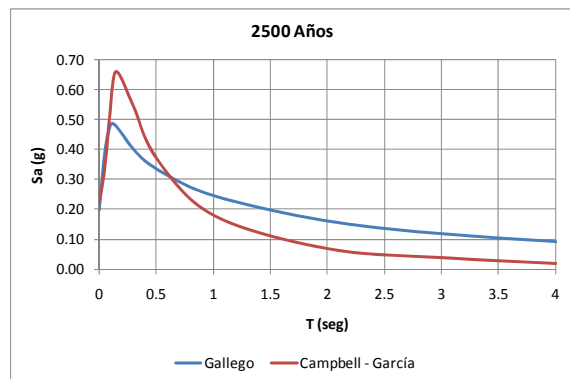


Figura 212 Espectros amenaza uniforme Florencia. Período de retorno: 2500 años

Ibagué

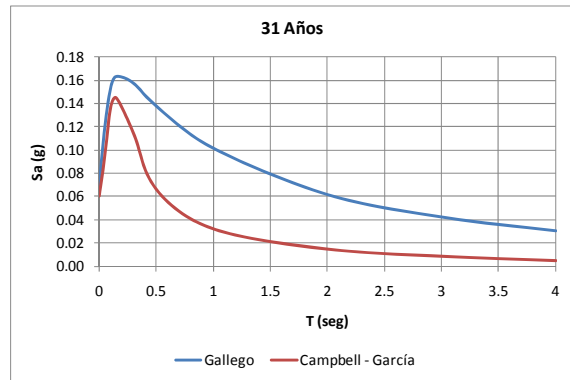


Figura 213 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 31 años

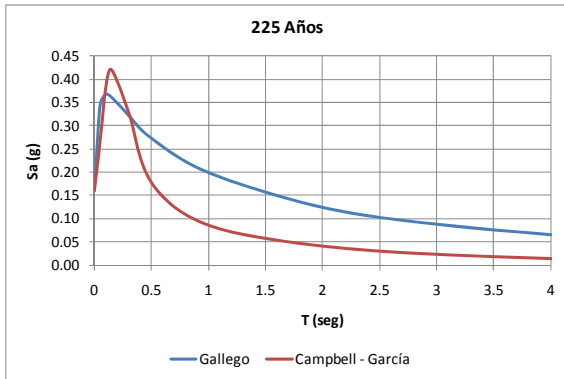


Figura 214 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 225 años

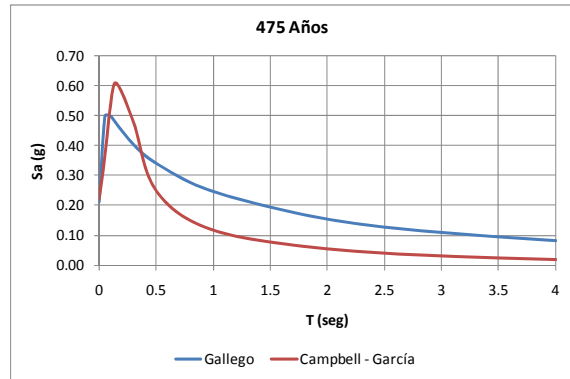


Figura 215 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 475 años

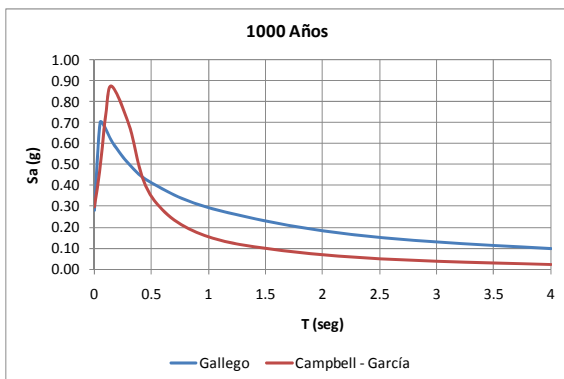


Figura 216 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 1000 años

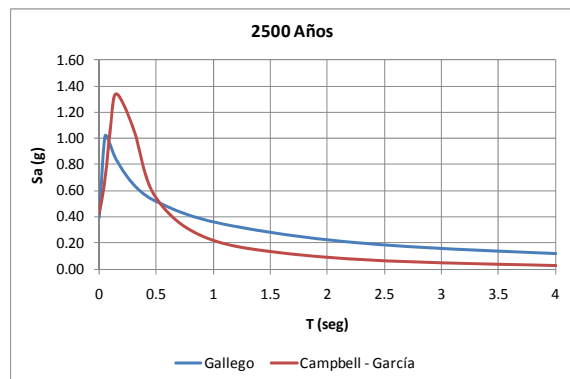


Figura 217 Espectros amenaza uniforme Ibagué. Período de retorno: 2500 años

Manizales

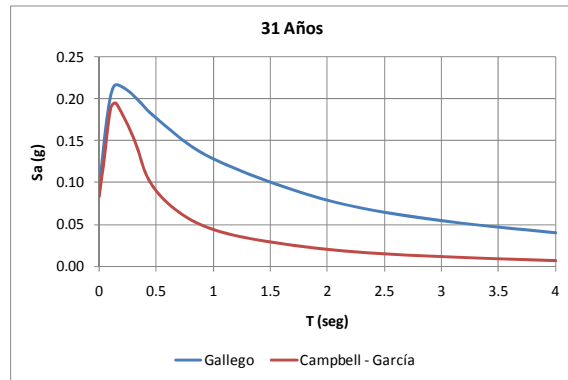


Figura 218 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 31 años

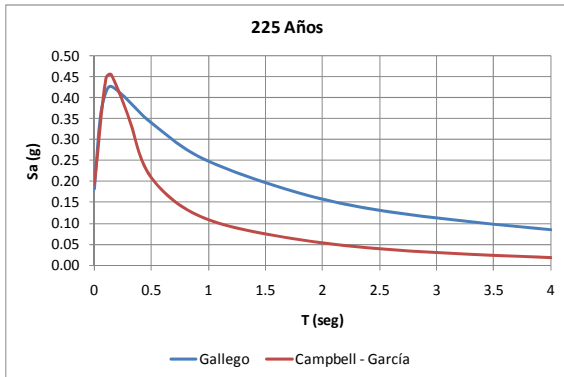


Figura 219 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 225 años

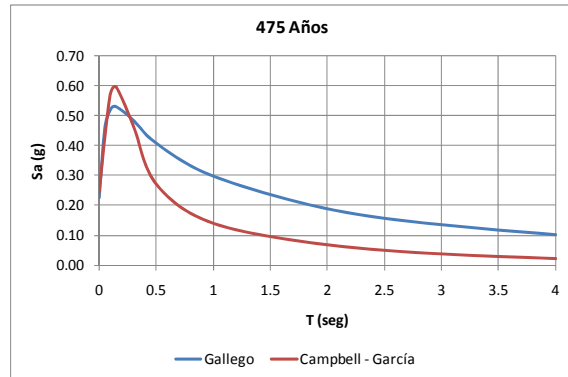


Figura 220 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 475 años

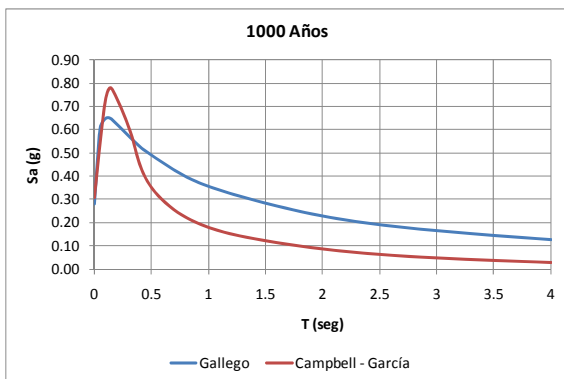


Figura 221 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 1000 años

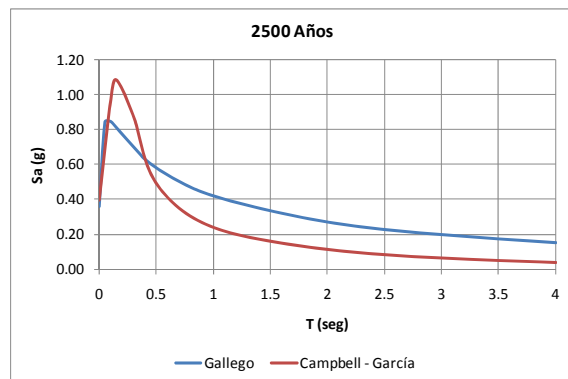


Figura 222 Espectros amenaza uniforme Manizales. Período de retorno: 2500 años

Medellín

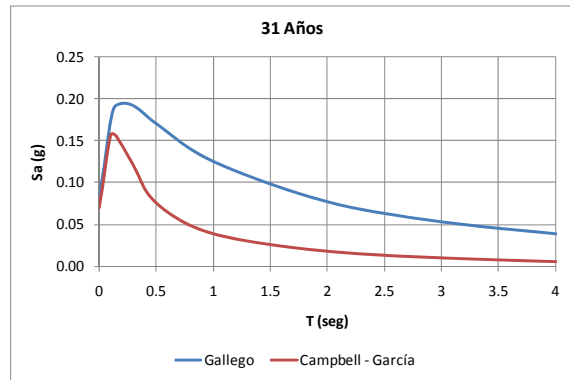


Figura 223 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 31 años

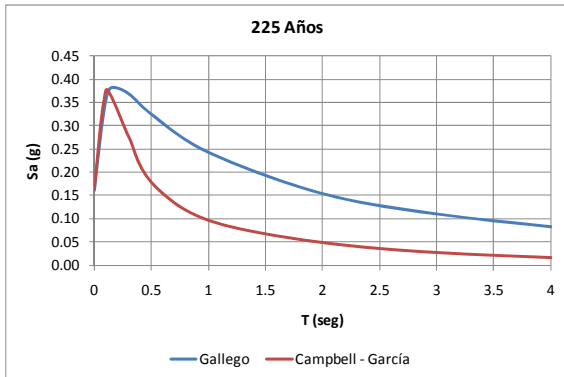


Figura 224 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 225 años

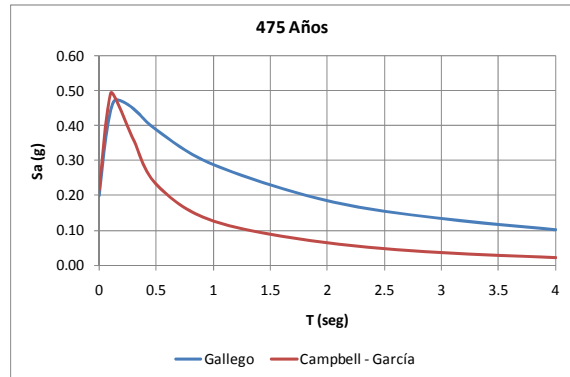


Figura 225 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 475 años

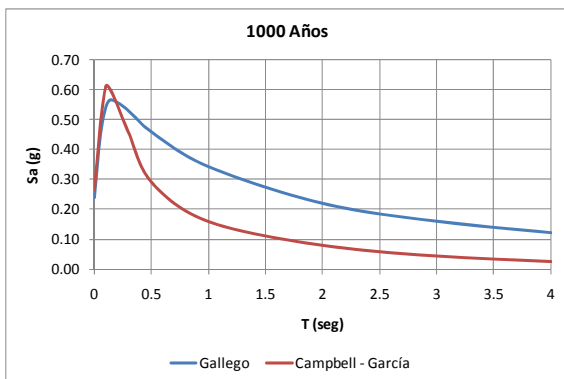


Figura 226 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 1000 años

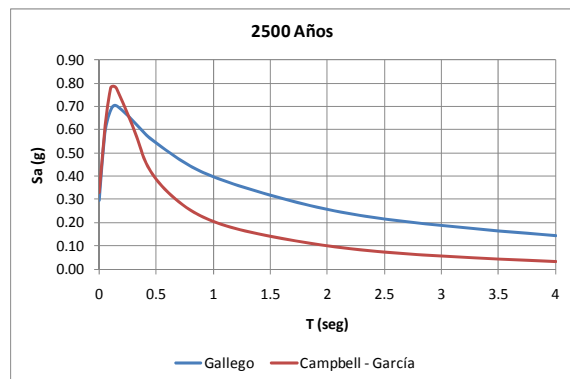


Figura 227 Espectros amenaza uniforme Medellín. Período de retorno: 2500 años

Mocoa

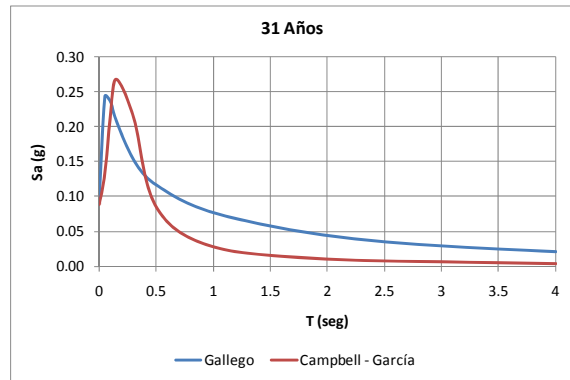


Figura 228 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 31 años

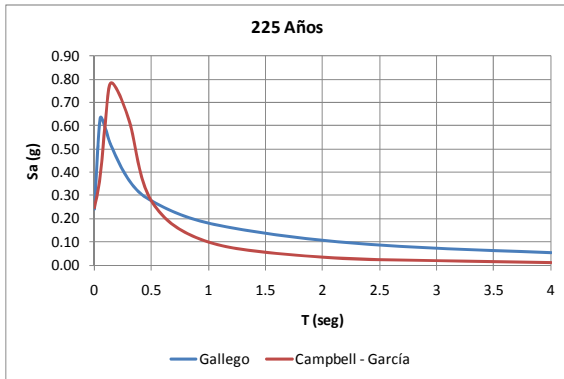


Figura 229 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 225 años

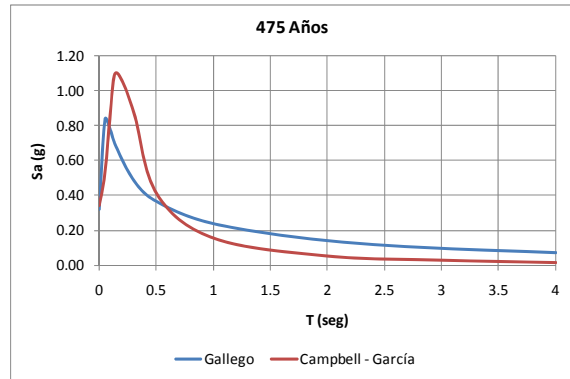


Figura 230 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 475 años

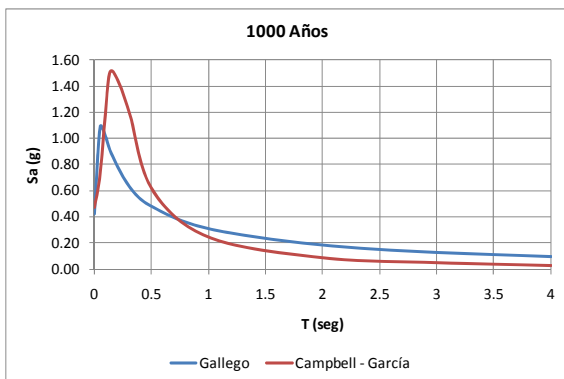


Figura 231 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 1000 años

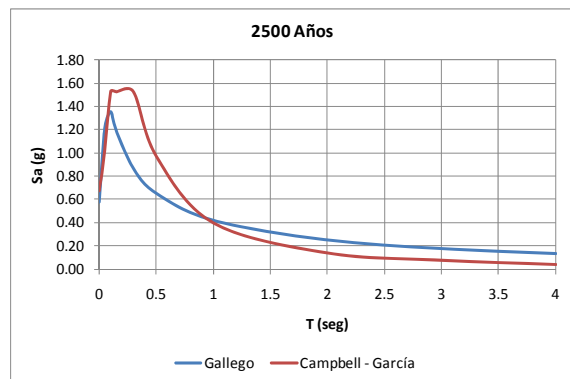


Figura 232 Espectros amenaza uniforme Mocoa. Período de retorno: 2500 años

Montería

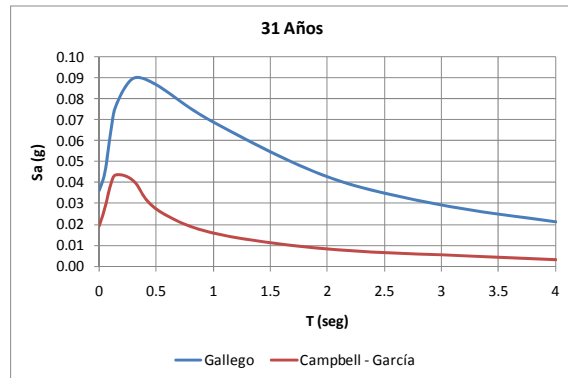


Figura 233 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 31 años

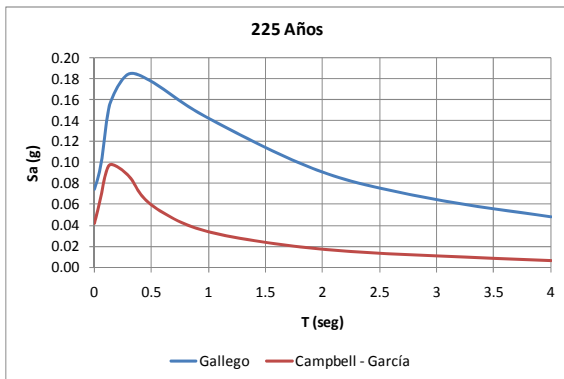


Figura 234 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 225 años

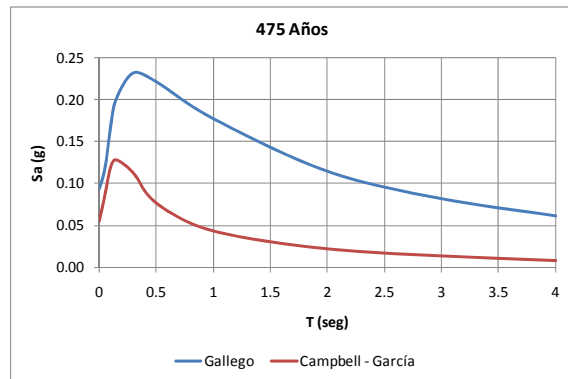


Figura 235 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 475 años

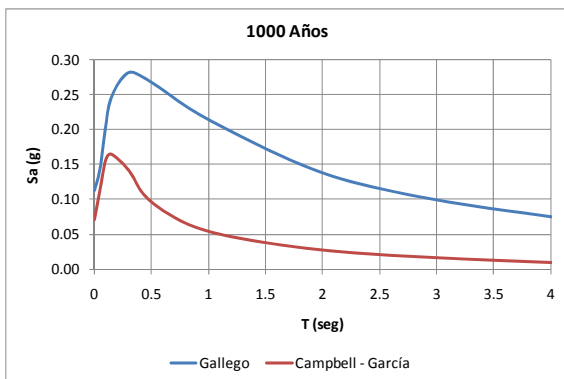


Figura 236 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 1000 años

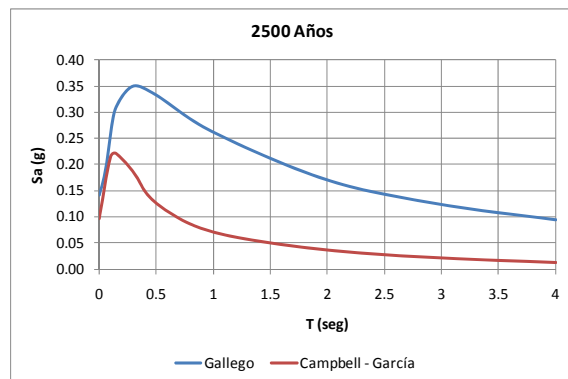


Figura 237 Espectros amenaza uniforme Montería. Período de retorno: 2500 años

Neiva

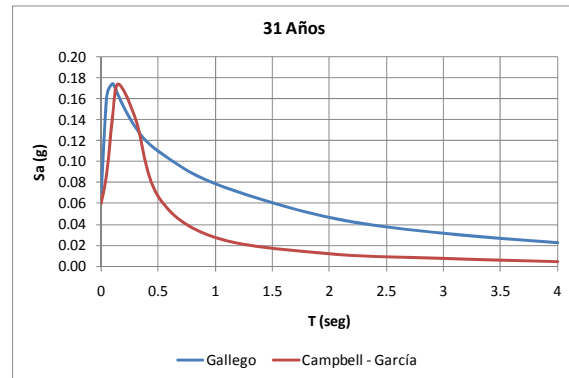


Figura 238 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 31 años

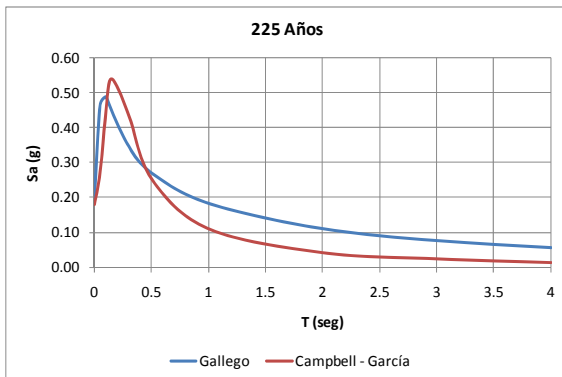


Figura 239 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 225 años

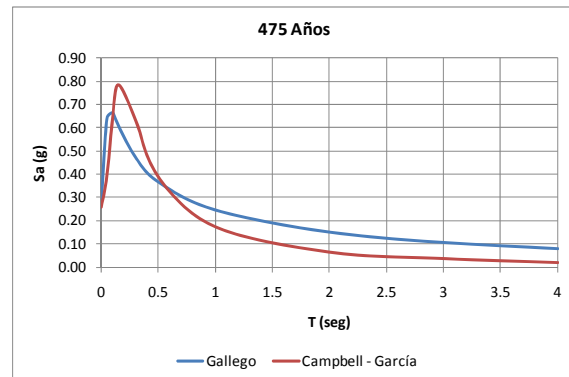


Figura 240 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 475 años

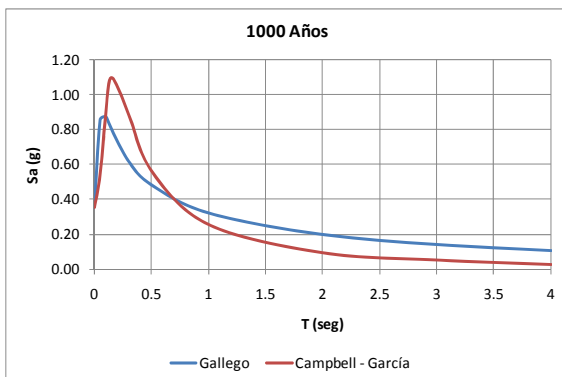


Figura 241 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 1000 años

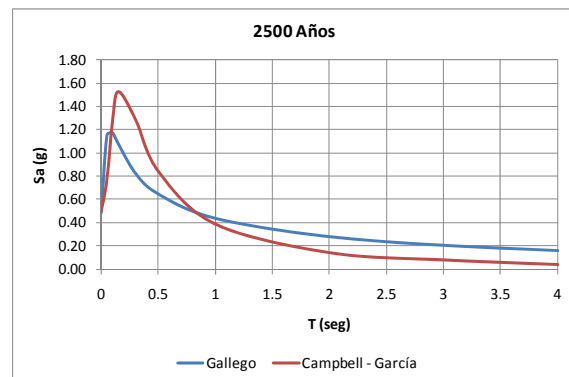


Figura 242 Espectros amenaza uniforme Neiva. Período de retorno: 2500 años

Pasto

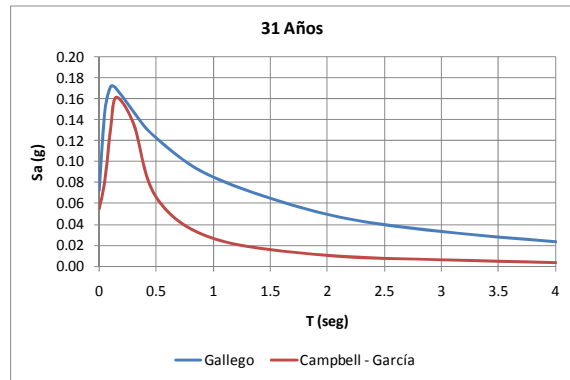


Figura 243 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 31 años

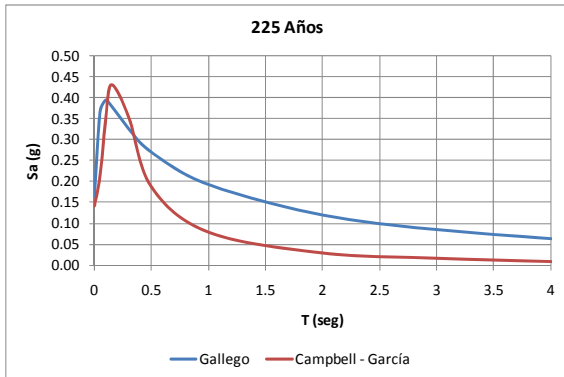


Figura 244 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 225 años

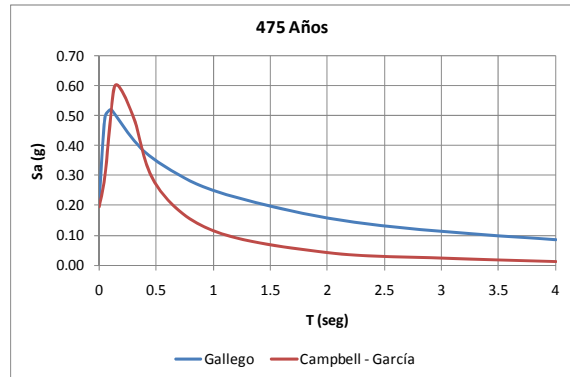


Figura 245 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 475 años

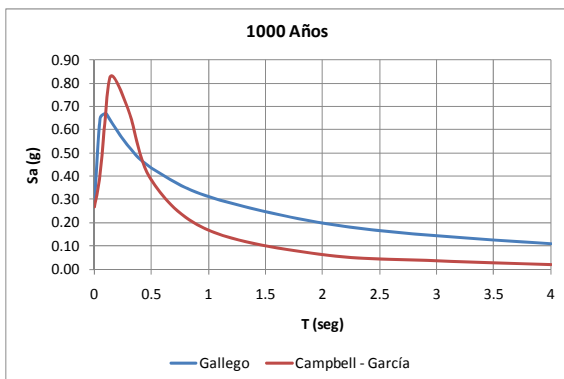


Figura 246 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 1000 años

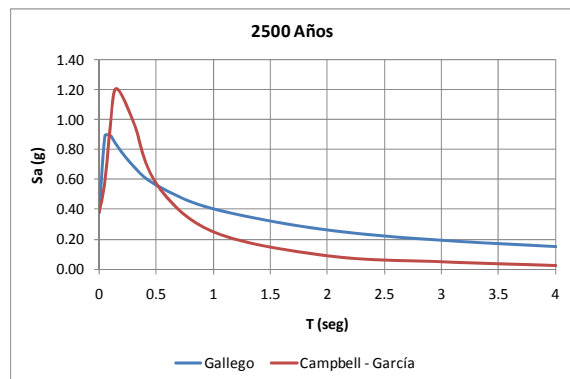


Figura 247 Espectros amenaza uniforme Pasto. Período de retorno: 2500 años

Pereira

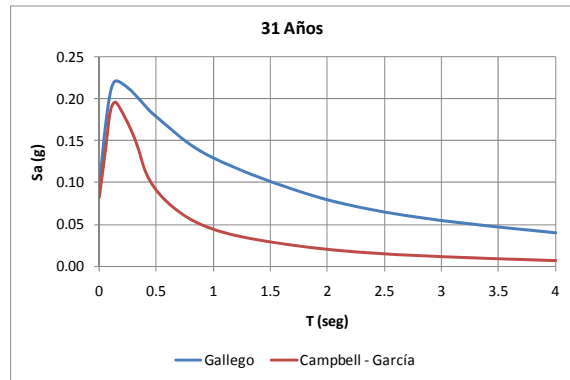


Figura 248 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 31 años

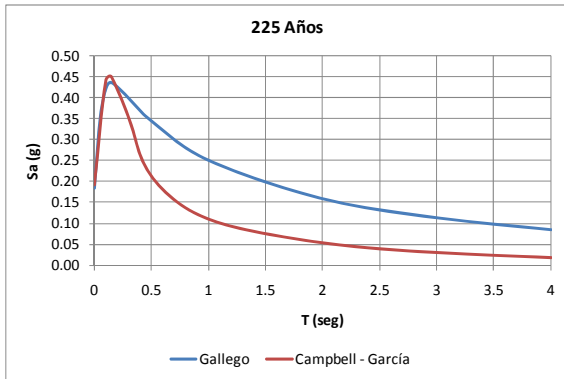


Figura 249 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 225 años

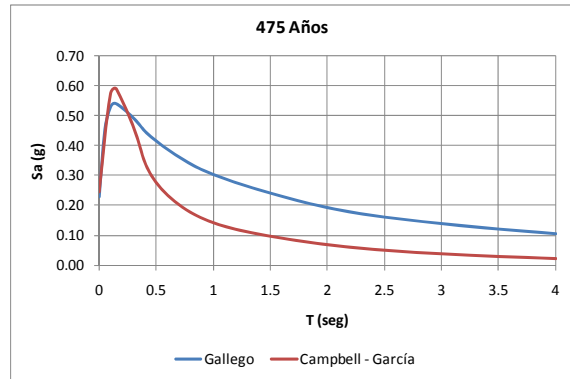


Figura 250 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 475 años

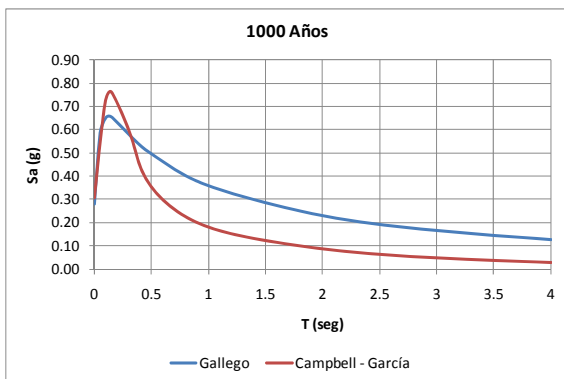


Figura 251 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 1000 años

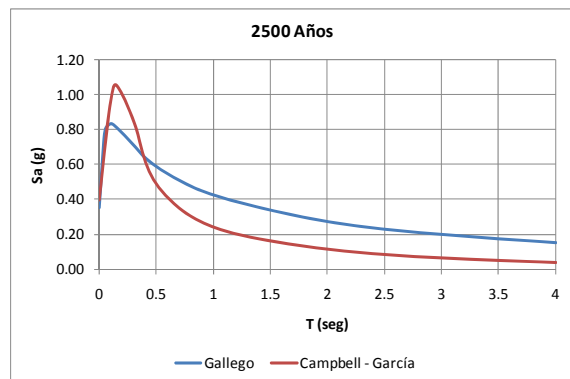


Figura 252 Espectros amenaza uniforme Pereira. Período de retorno: 2500 años

Popayán

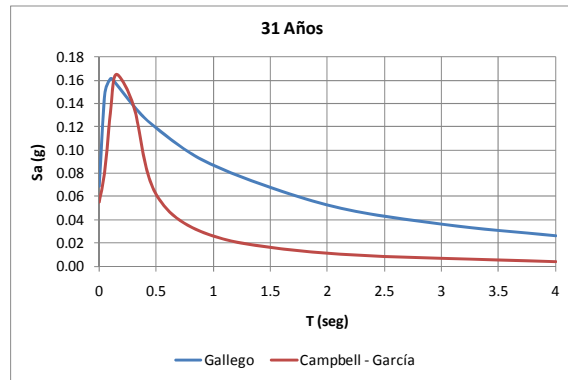


Figura 253 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 31 años

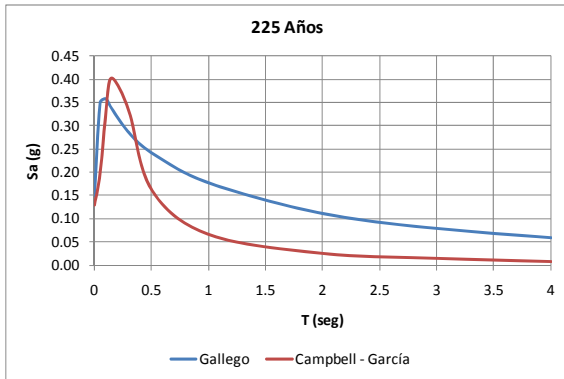


Figura 254 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 225 años

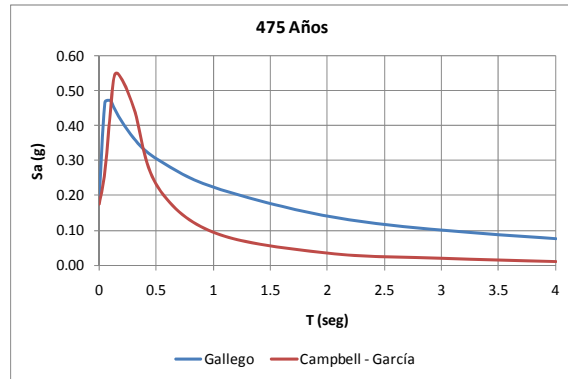


Figura 255 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 475 años

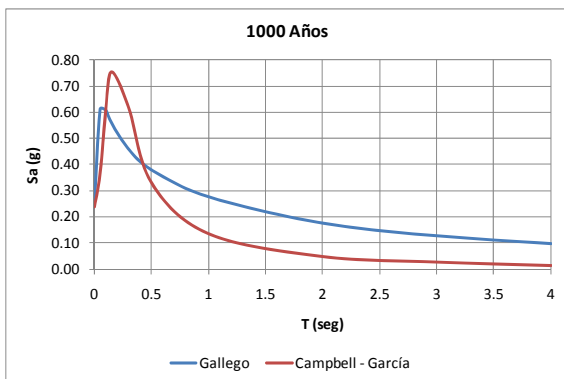


Figura 256 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 1000 años

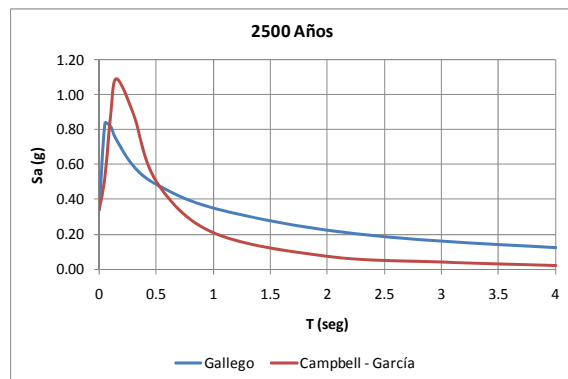


Figura 257 Espectros amenaza uniforme Popayán. Período de retorno: 2500 años

Quibdó

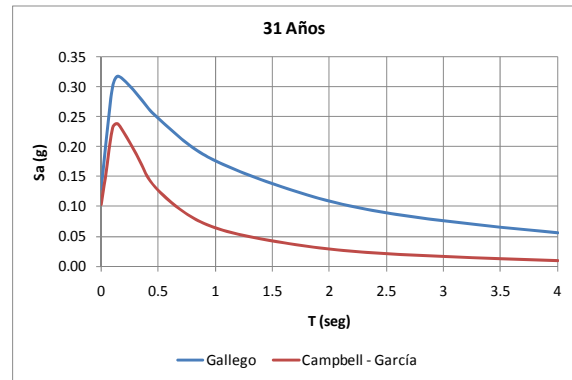


Figura 258 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 31 años

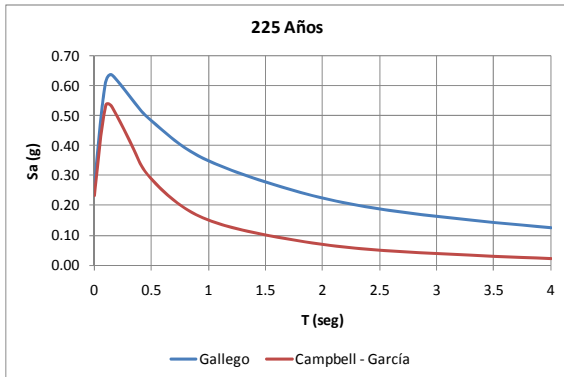


Figura 259 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 225 años

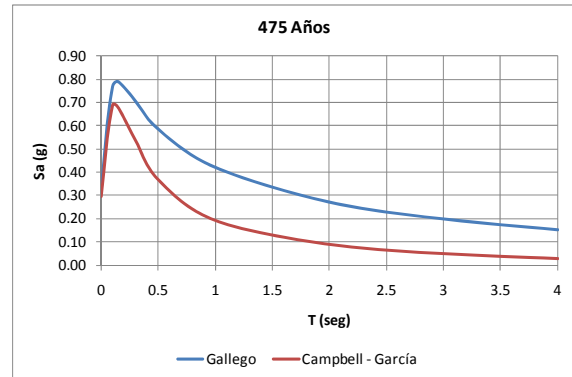


Figura 260 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 475 años

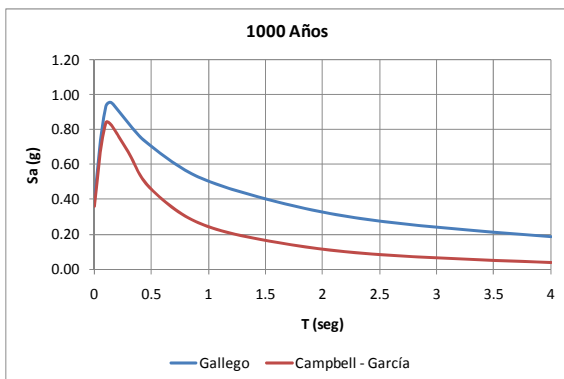


Figura 261 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 1000 años

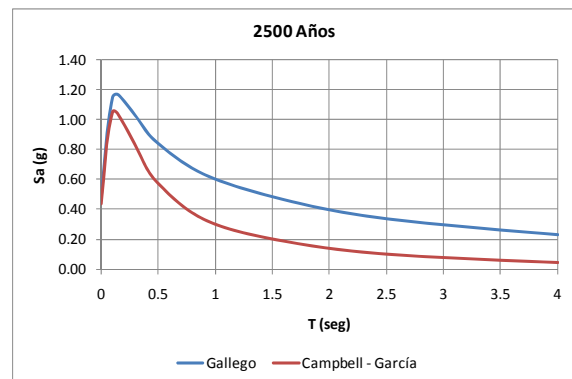


Figura 262 Espectros amenaza uniforme Quibdó. Período de retorno: 2500 años

Riohacha

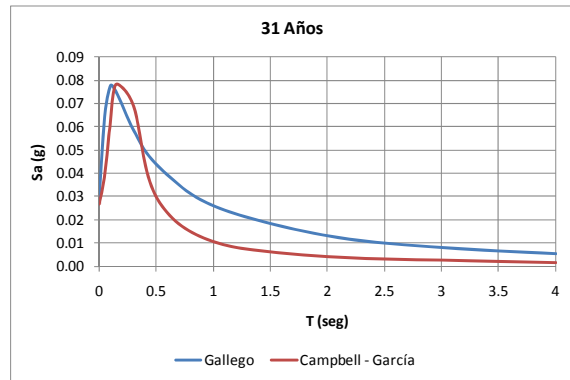


Figura 263 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 31 años

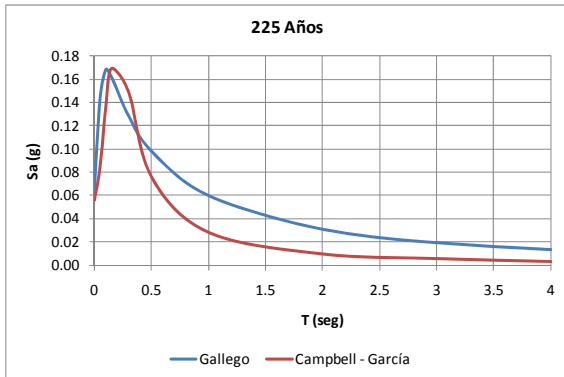


Figura 264 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 225 años

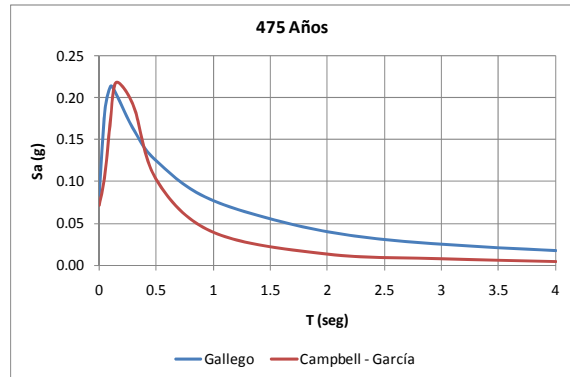


Figura 265 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 475 años

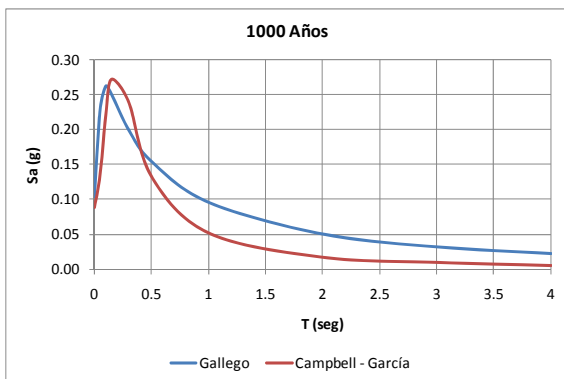


Figura 266 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 1000 años

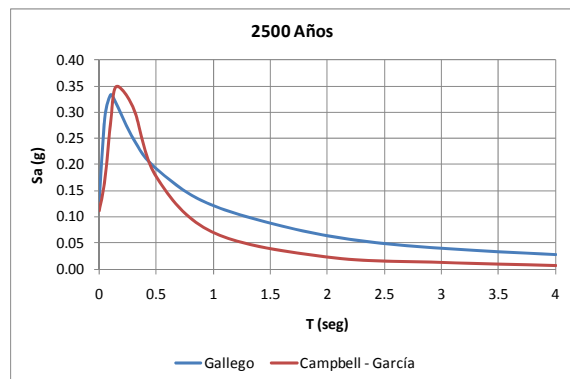


Figura 267 Espectros amenaza uniforme Riohacha. Período de retorno: 2500 años

Santa Marta

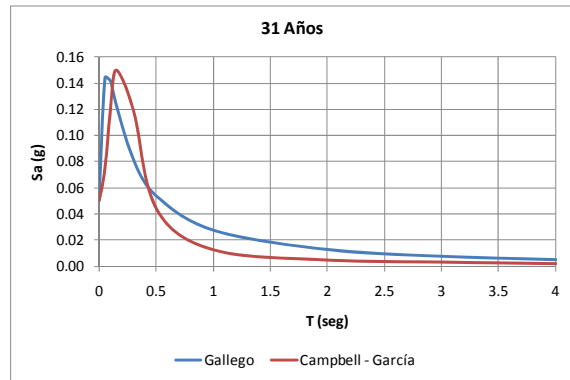


Figura 268 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno: 31 años

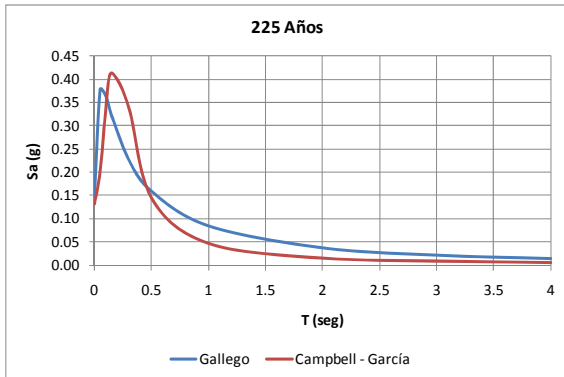


Figura 269 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno: 225 años

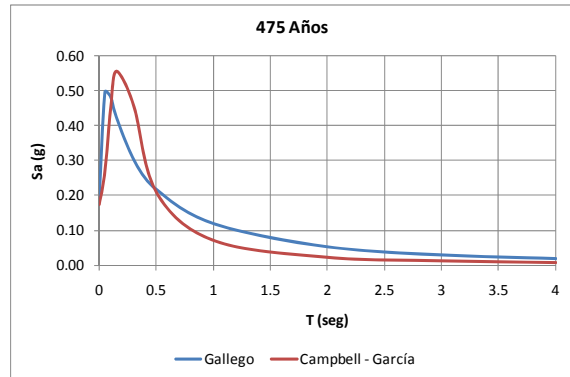


Figura 270 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno: 475 años

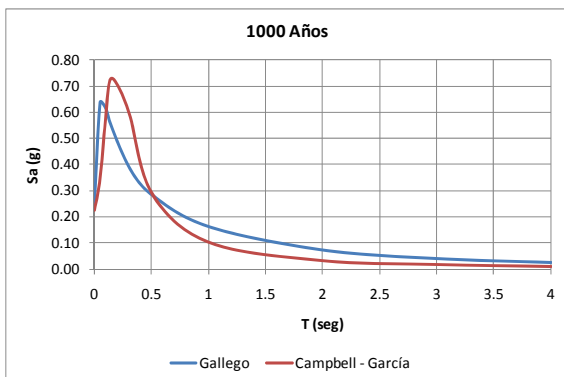


Figura 271 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno: 1000 años

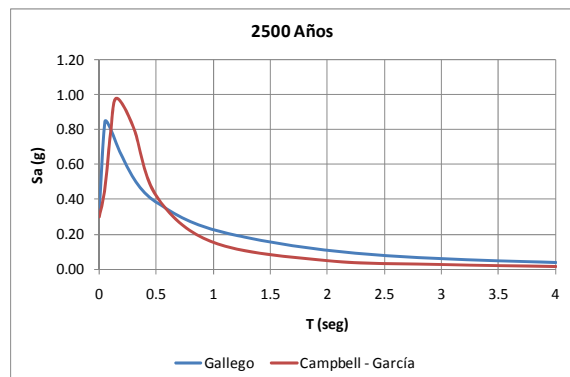


Figura 272 Espectros amenaza uniforme Santa Marta. Período de retorno: 2500 años

Sincelejo

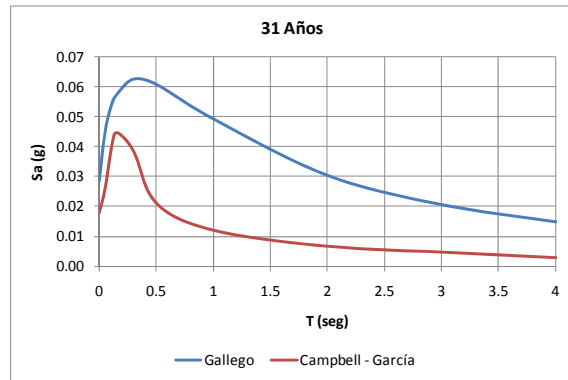


Figura 273 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 31 años

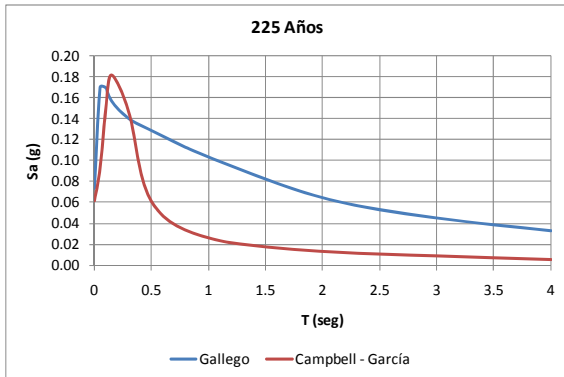


Figura 274 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 225 años

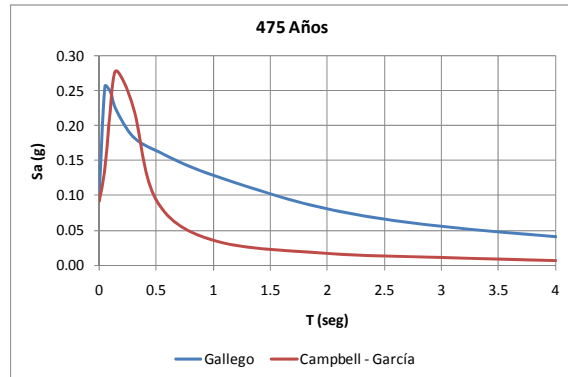


Figura 275 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 475 años

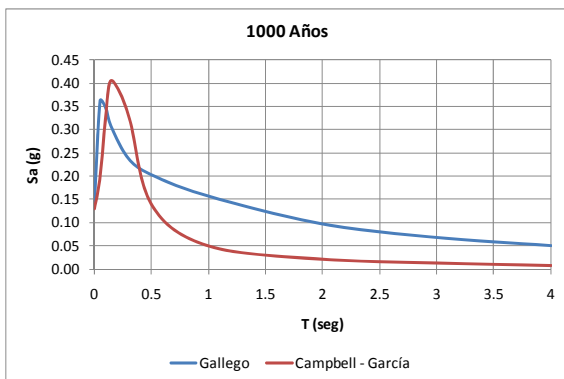


Figura 276 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 1000 años

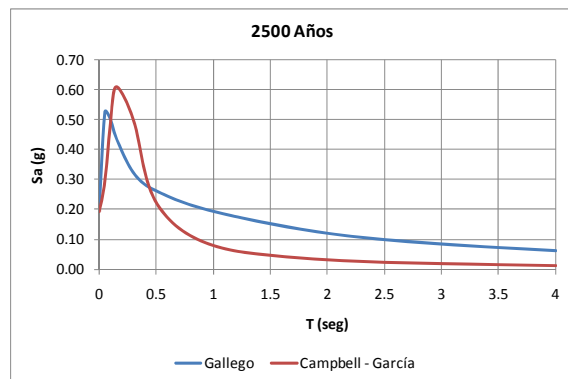


Figura 277 Espectros amenaza uniforme Sincelejo. Período de retorno: 2500 años

Tunja

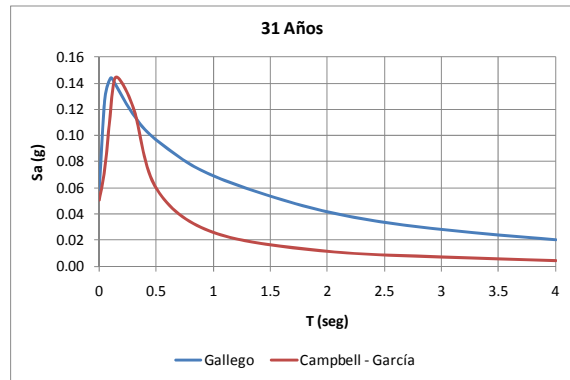


Figura 278 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 31 años

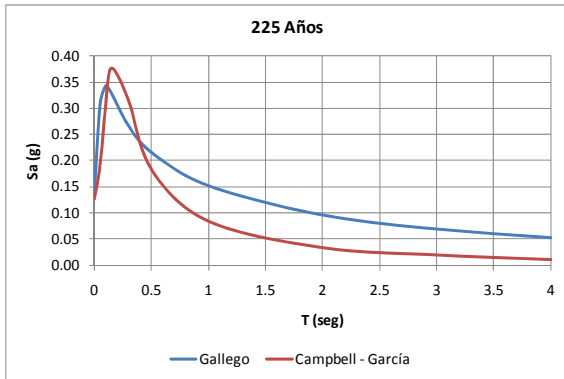


Figura 279 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 225 años

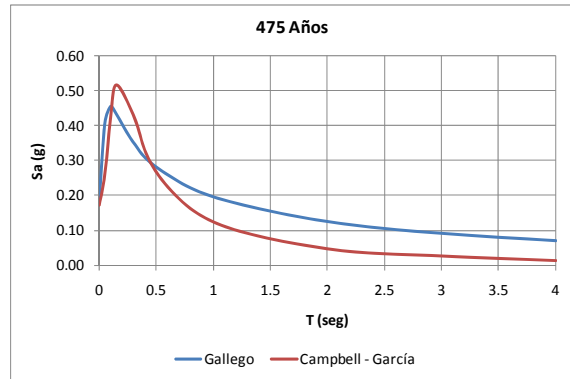


Figura 280 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 475 años

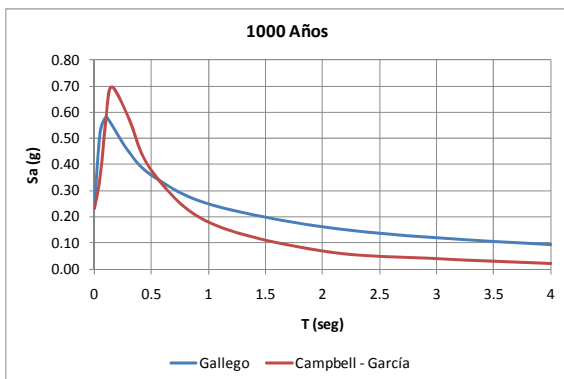


Figura 281 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 1000 años

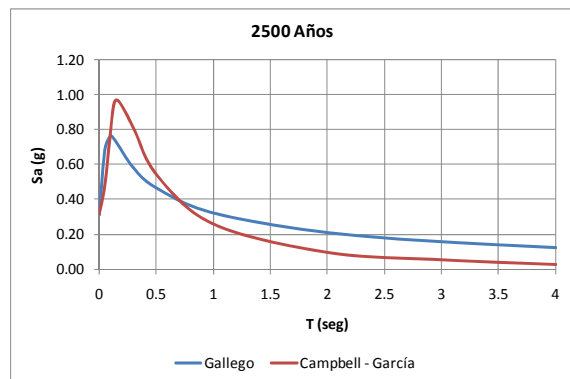


Figura 282 Espectros amenaza uniforme Tunja. Período de retorno: 2500 años

Valledupar

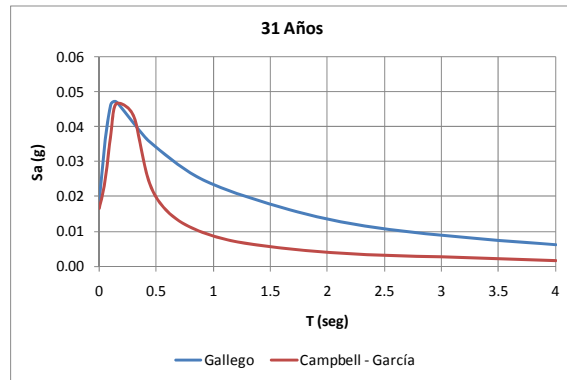


Figura 283 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 31 años

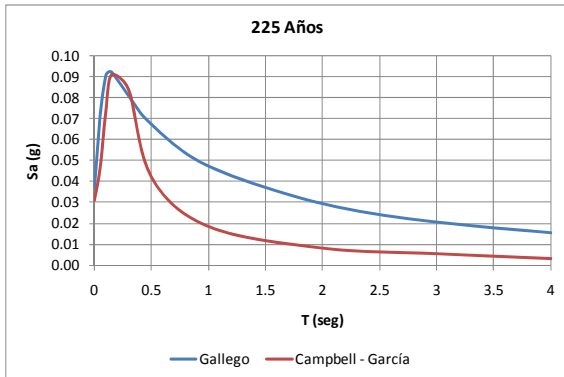


Figura 284 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 225 años

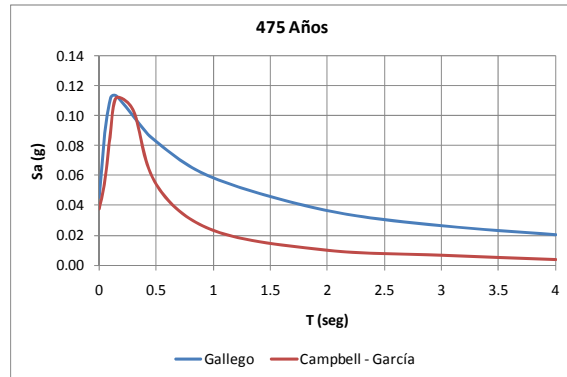


Figura 285 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 475 años

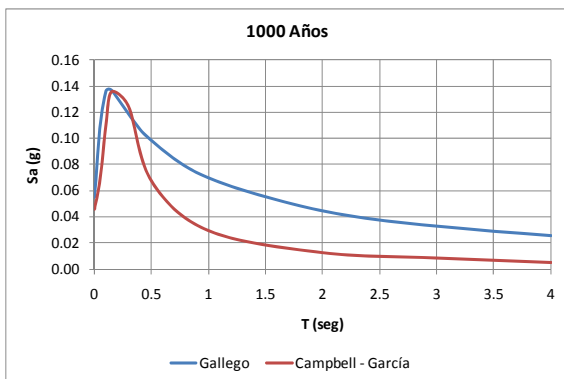


Figura 286 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 1000 años

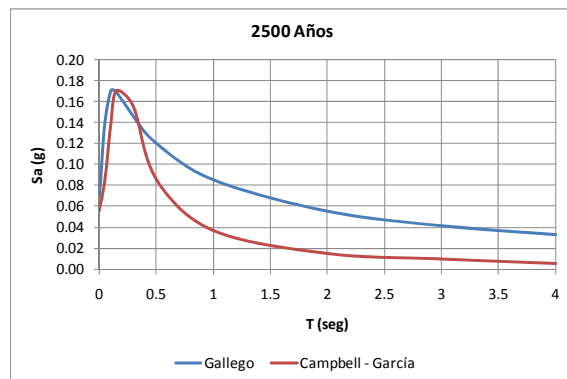


Figura 287 Espectros amenaza uniforme Valledupar. Período de retorno: 2500 años

Villavicencio

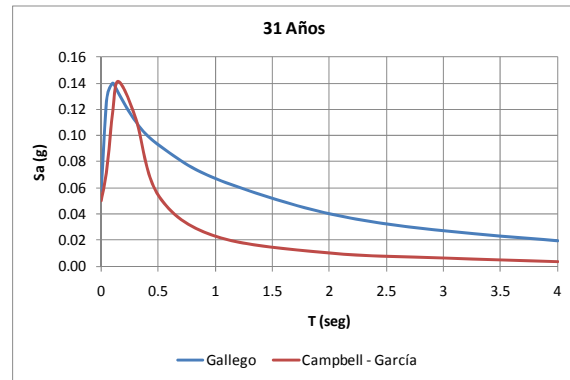


Figura 288 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno: 31 años

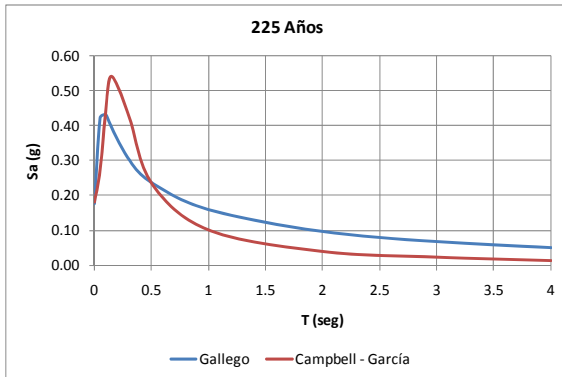


Figura 289 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno: 225 años

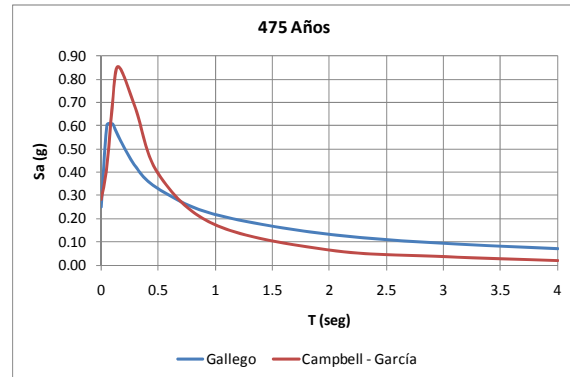


Figura 290 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno: 475 años

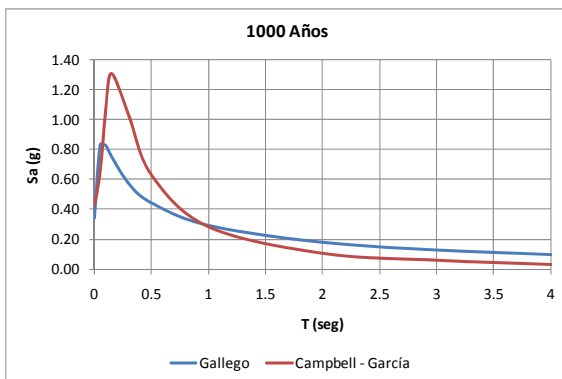


Figura 291 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno: 1000 años

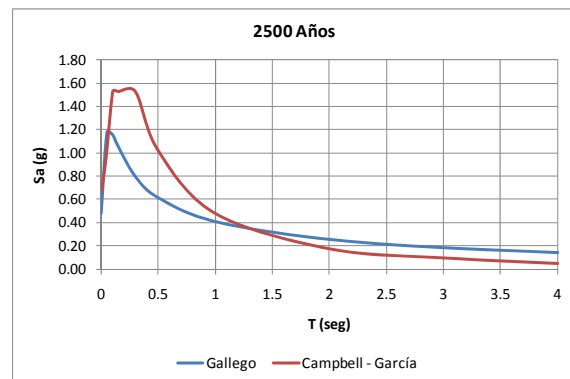


Figura 292 Espectros amenaza uniforme Villavicencio. Período de retorno: 2500 años

Yopal

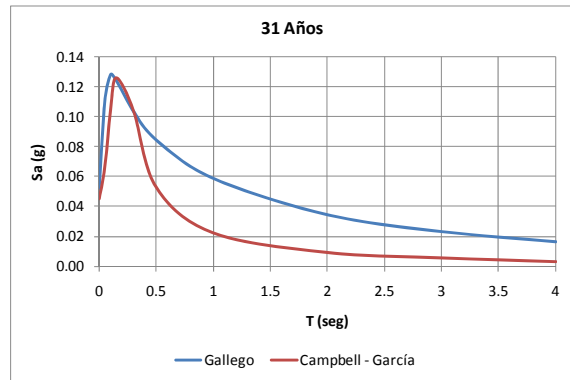


Figura 293 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 31 años

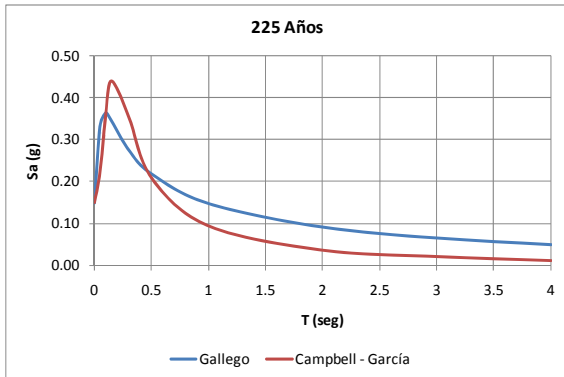


Figura 294 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 225 años

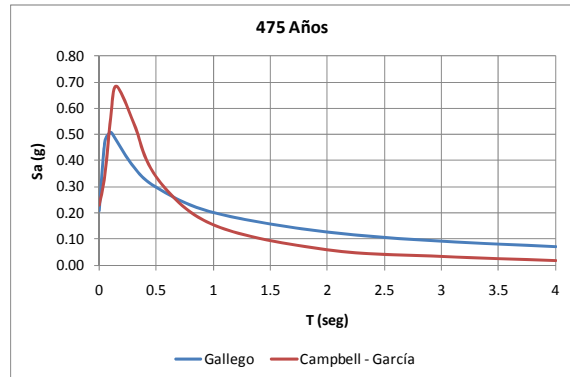


Figura 295 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 475 años

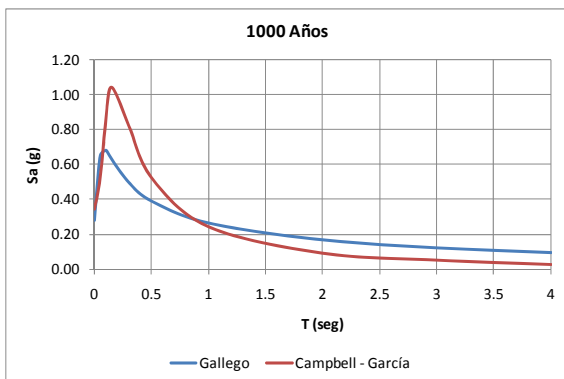


Figura 296 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 1000 años

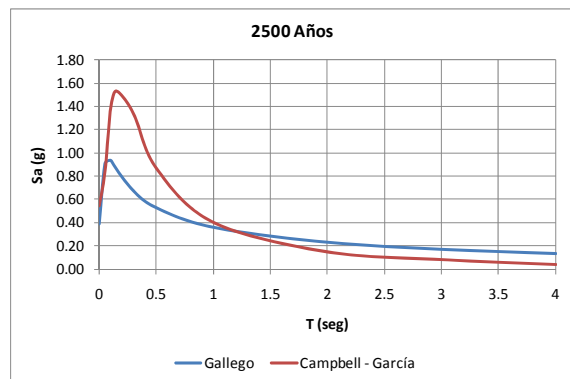


Figura 297 Espectros amenaza uniforme Yopal. Período de retorno: 2500 años



Anexo 4

Comparación de espectros de amenaza uniforme para
475 años de período de retorno con los espectros de
diseño de las Normas NSR-10

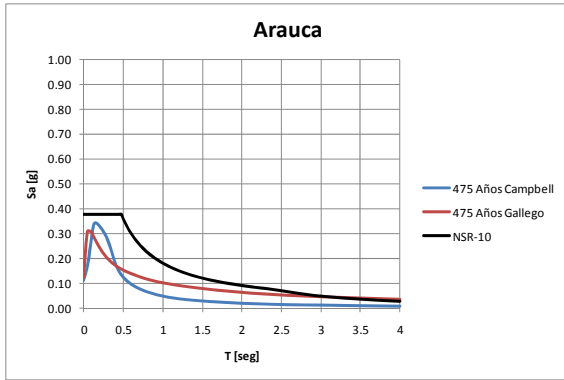


Figura 298 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Arauca

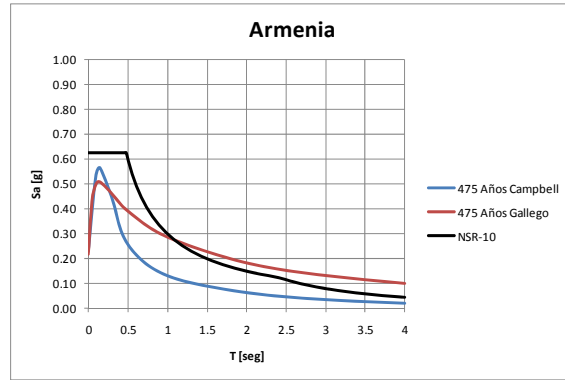


Figura 299 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Armenia

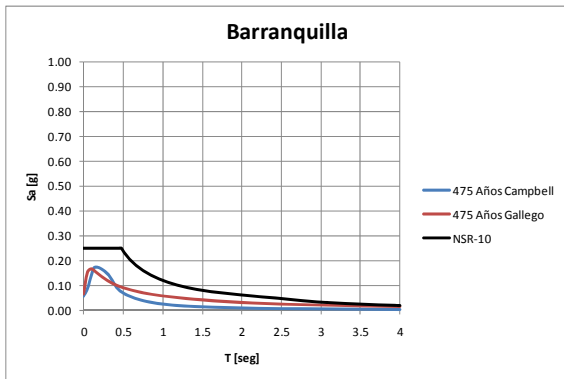


Figura 300 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Barranquilla

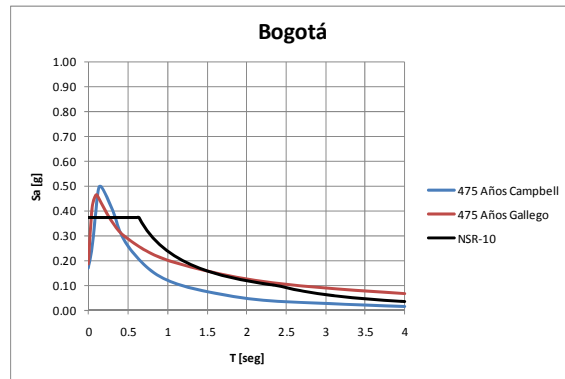


Figura 301 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Bogotá

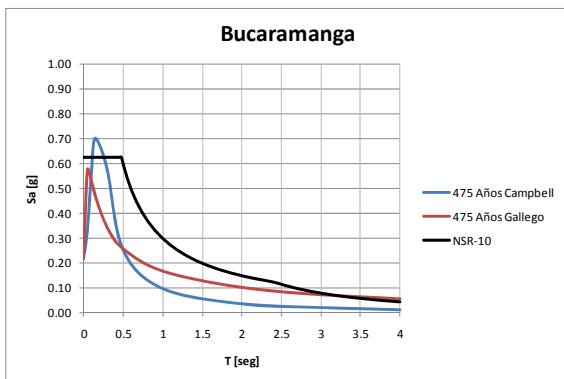


Figura 302 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Bucaramanga

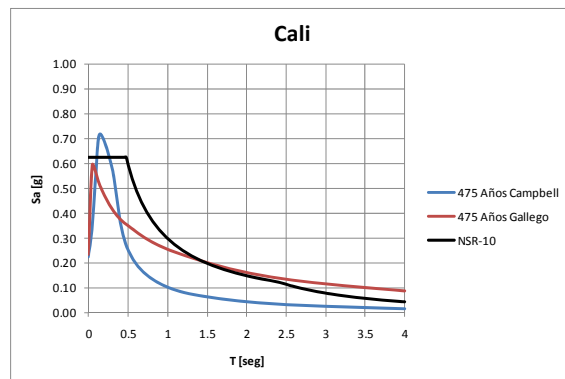


Figura 303 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Cali

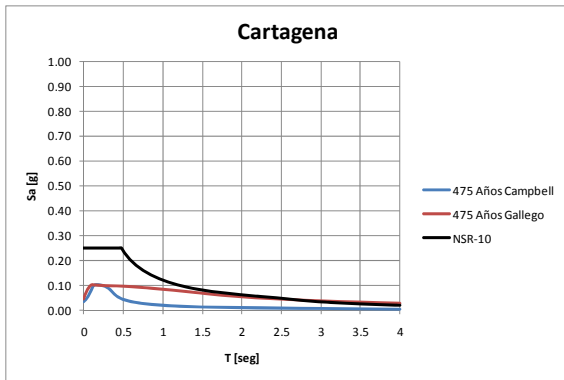


Figura 304 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Cartagena

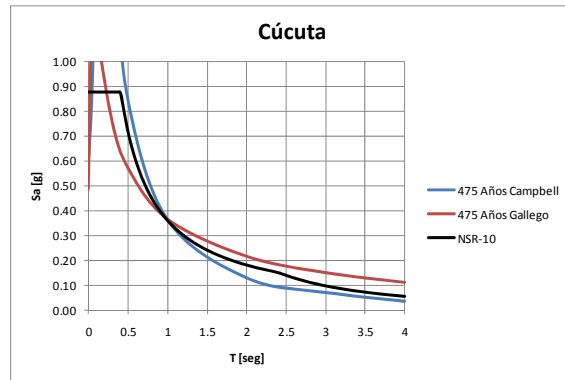


Figura 305 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Cúcuta

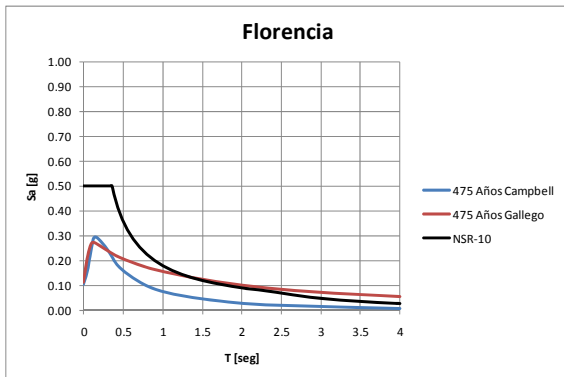


Figura 306 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Florencia

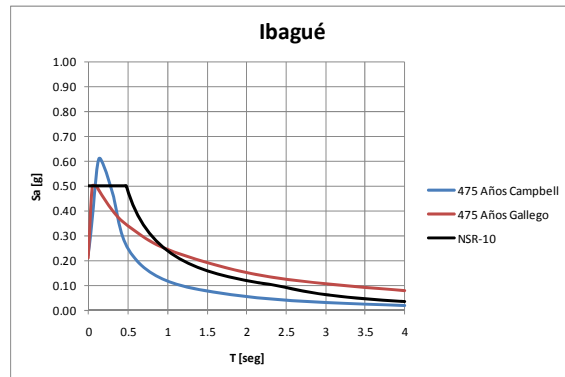


Figura 307 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Ibagué

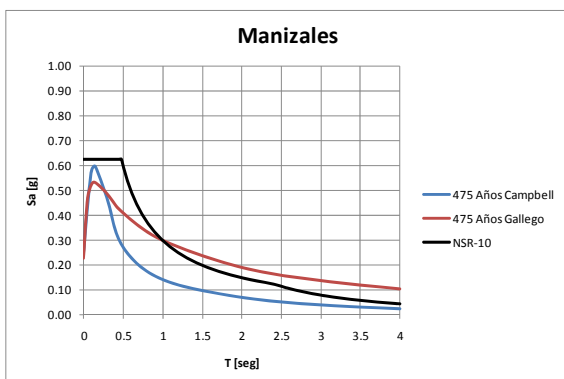


Figura 308 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Manizales

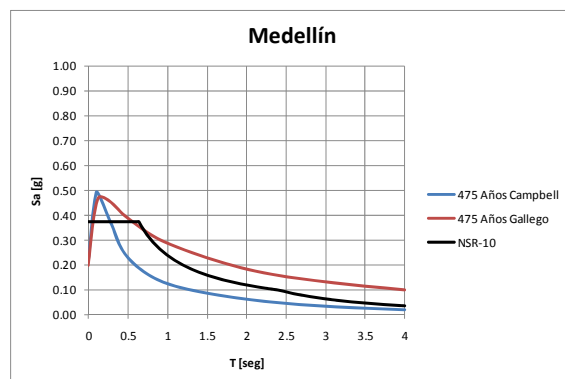


Figura 309 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Medellín

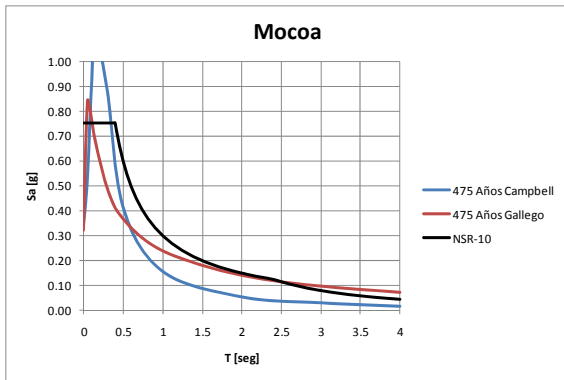


Figura 310 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Mocoa

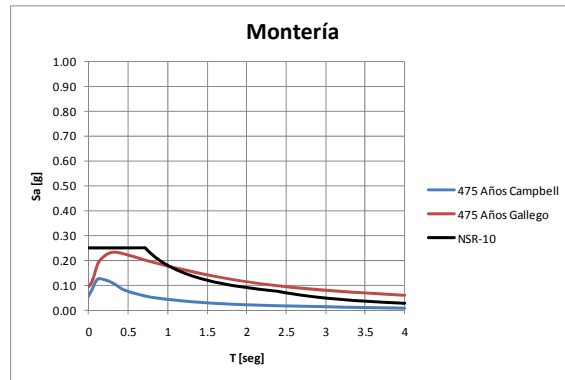


Figura 311 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Montería

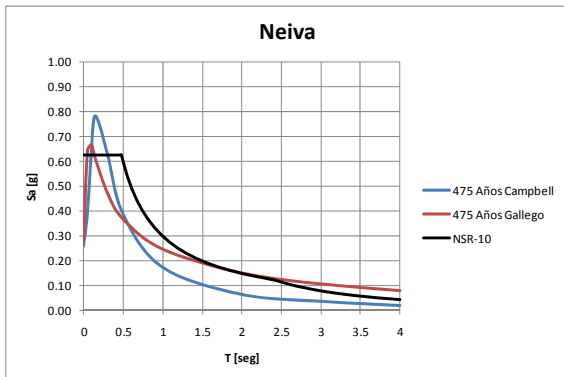


Figura 312 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Neiva

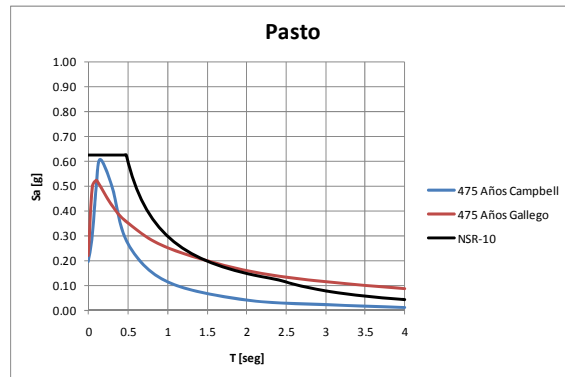


Figura 313 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Pasto

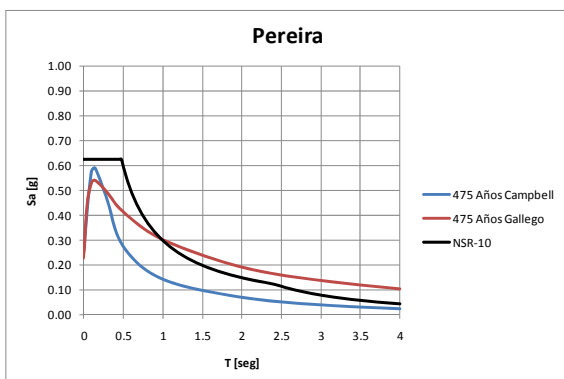


Figura 314 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Pereira

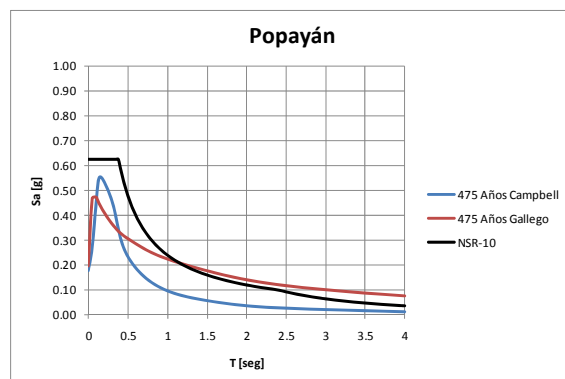


Figura 315 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Popayán

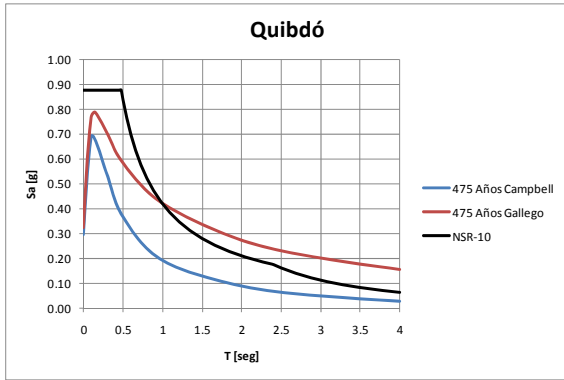


Figura 316 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Quibdó

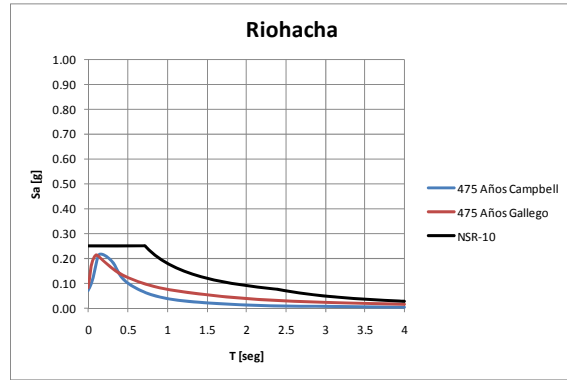


Figura 317 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Riohacha

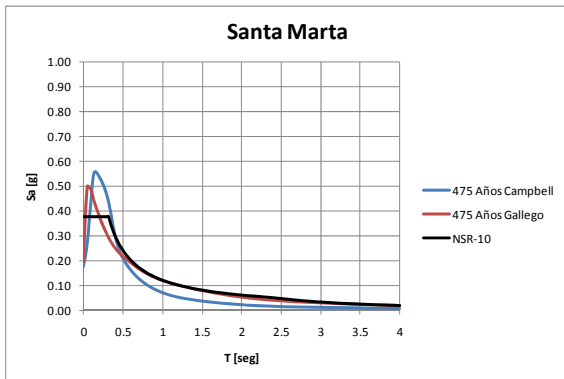


Figura 318 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Santa Marta

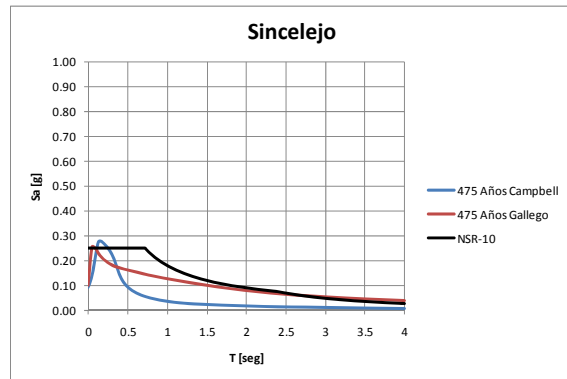


Figura 319 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Sincelejo

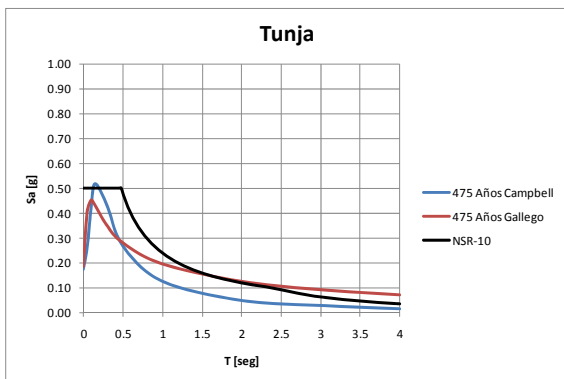


Figura 320 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Tunja

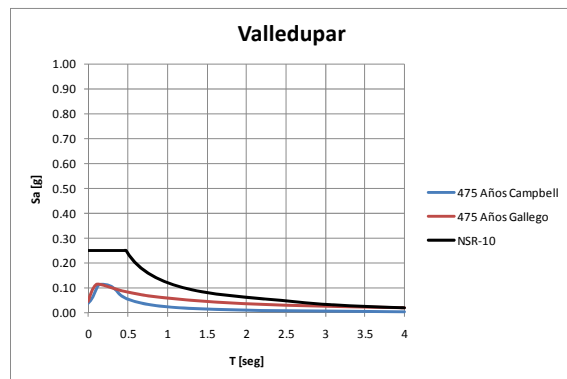


Figura 321 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Valledupar

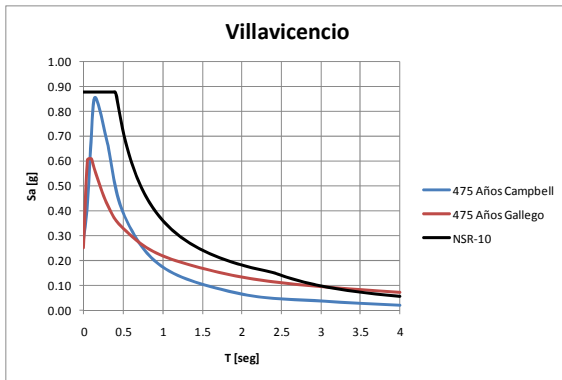


Figura 322 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Villavicencio

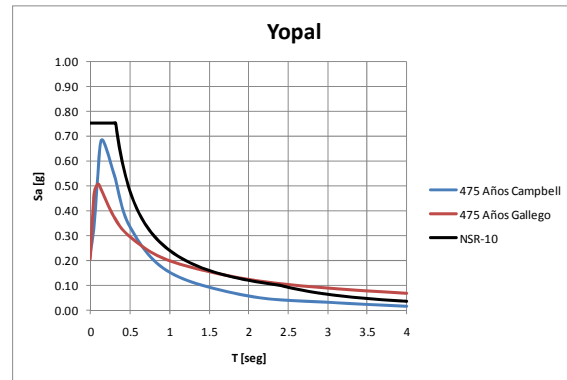


Figura 323 Comparación espectros amenaza uniforme con NSR-10 Yopal

Anexo 5

Inferencia de los valores de aceleración máxima
horizontal a partir del catálogo sísmico

Aceleración A_a Histórica Inferida - Ecuación Donovan 1

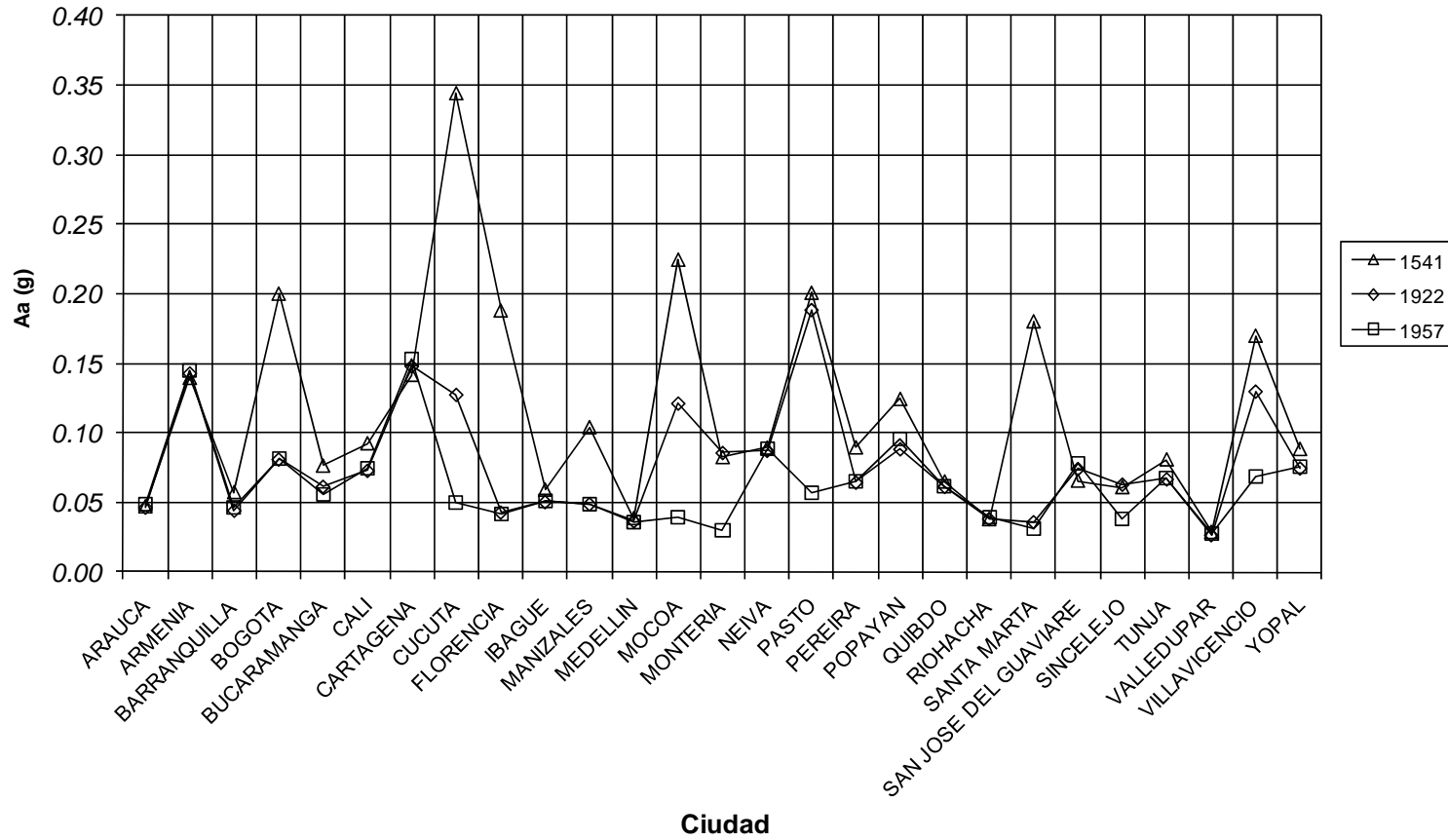


Figura 324 Aceleración histórica inferida a partir del catálogo de eventos sísmicos. Ecuación de atenuación Donovan 1

Aceleración A_a Histórica Inferida - Ecuación Donovan 2

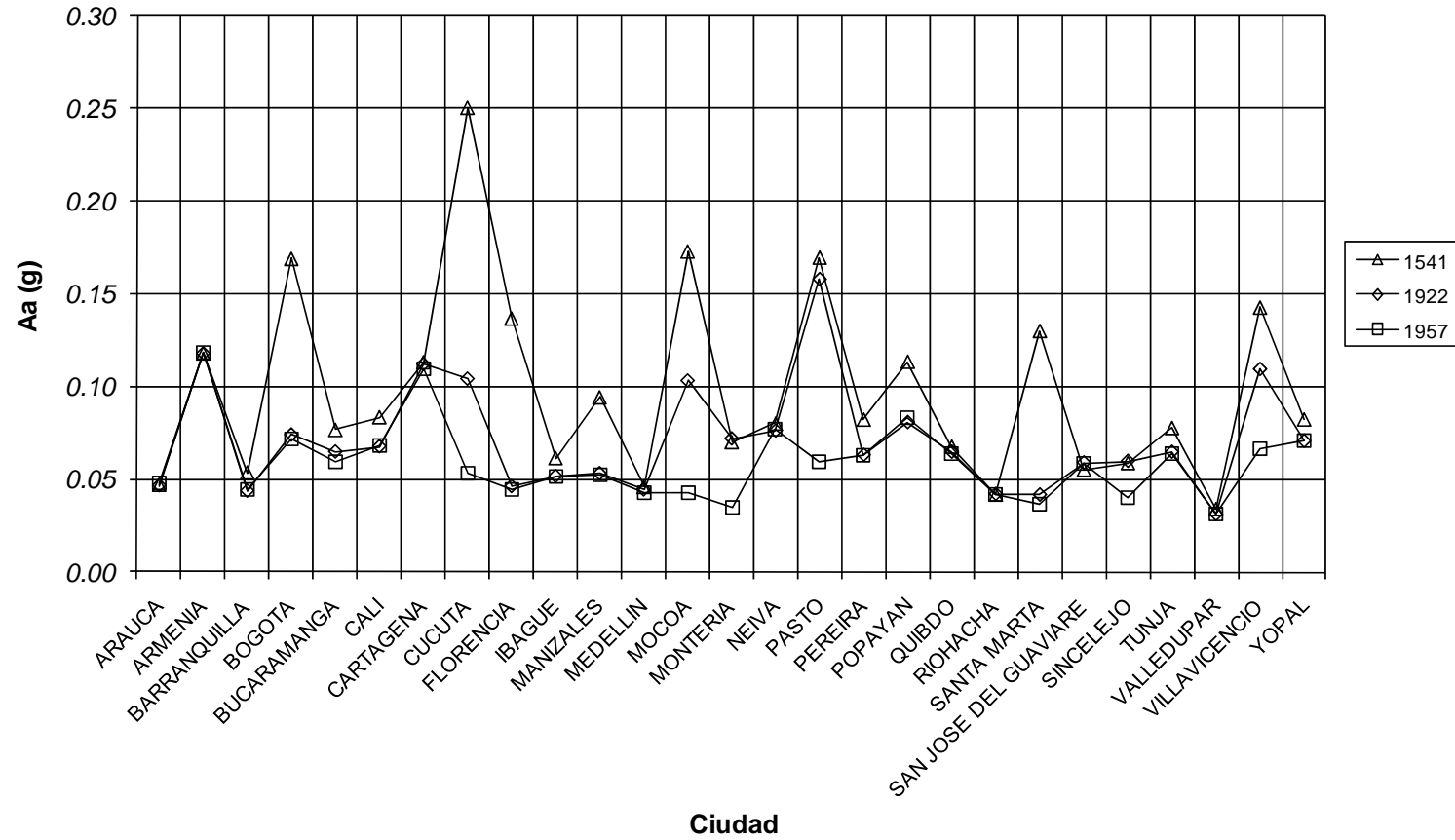


Figura 325 Aceleración histórica inferida a partir del catálogo de eventos sísmicos. Ecuación de atenuación Donovan 2

BOGOTÁ

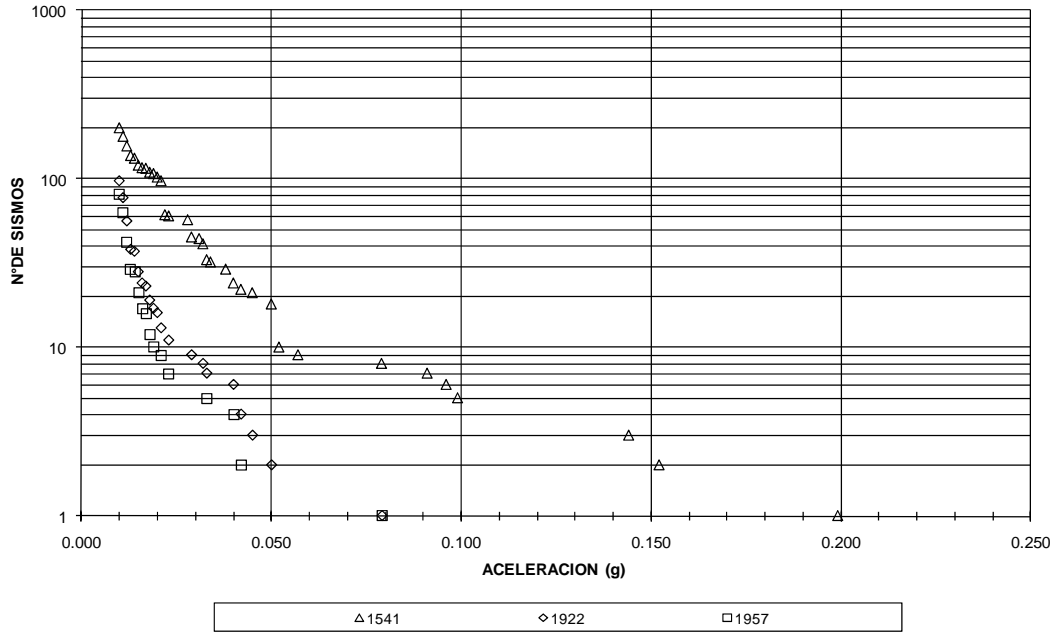


Figura 326 Aceleración máxima inferida para Bogotá. Donovan 1

BOGOTÁ

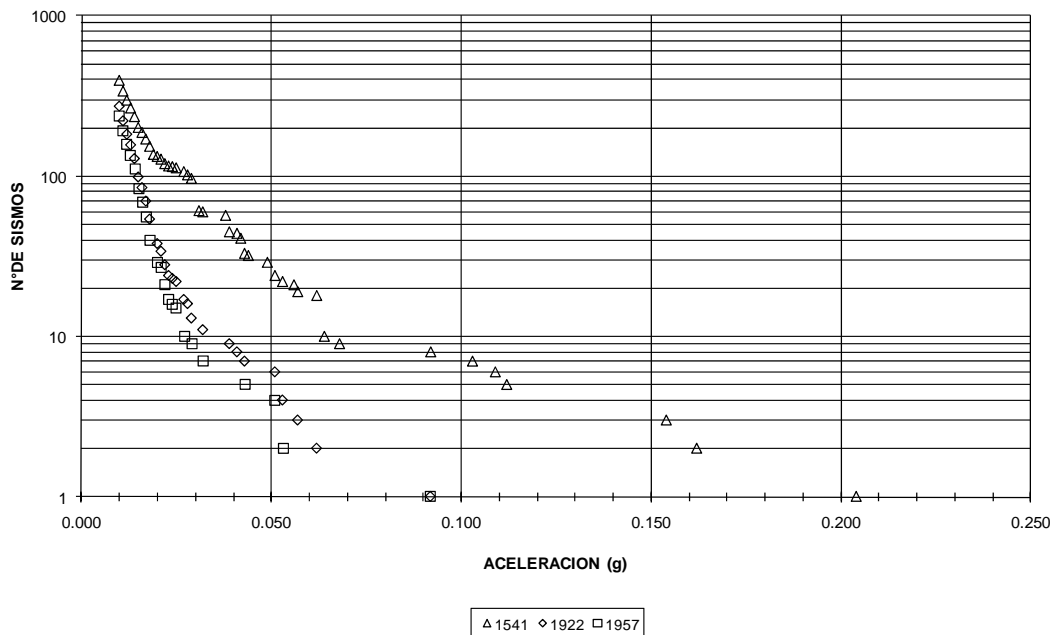


Figura 327 Aceleración máxima inferida para Bogotá. Donovan 2

CARTAGENA

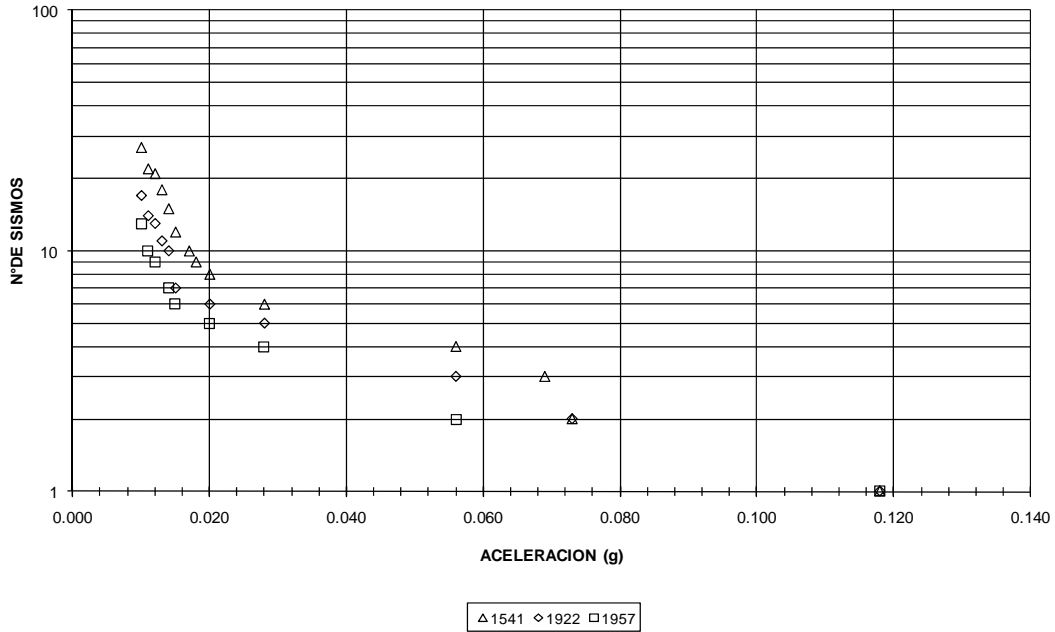


Figura 328 Aceleración máxima inferida para Cartagena. Donovan 1

CARTAGENA

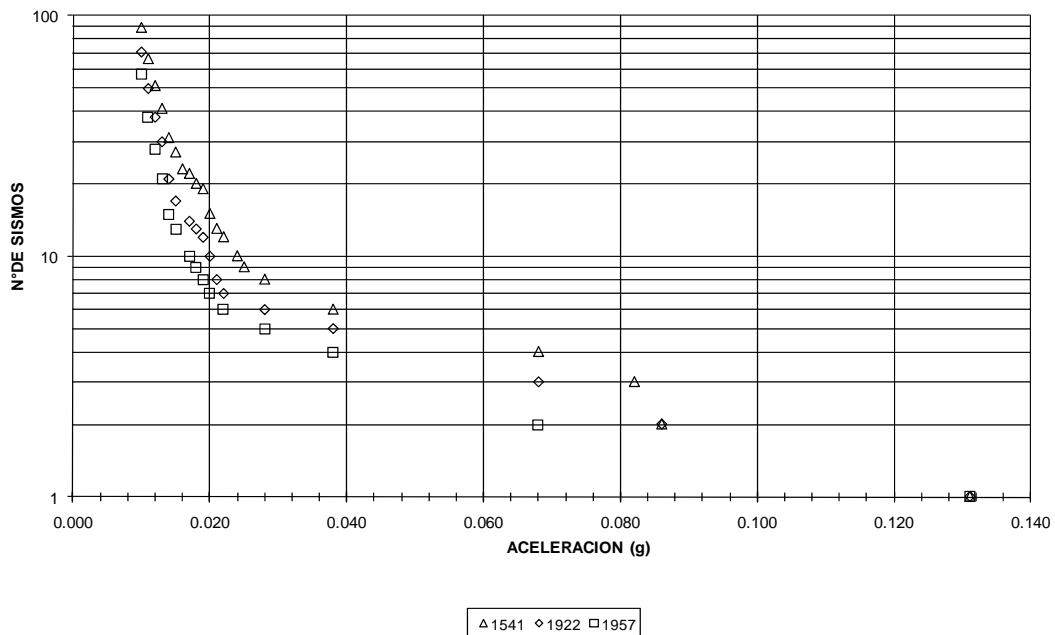


Figura 329 Aceleración máxima inferida para Cartagena. Donovan 2

CÚCUTA

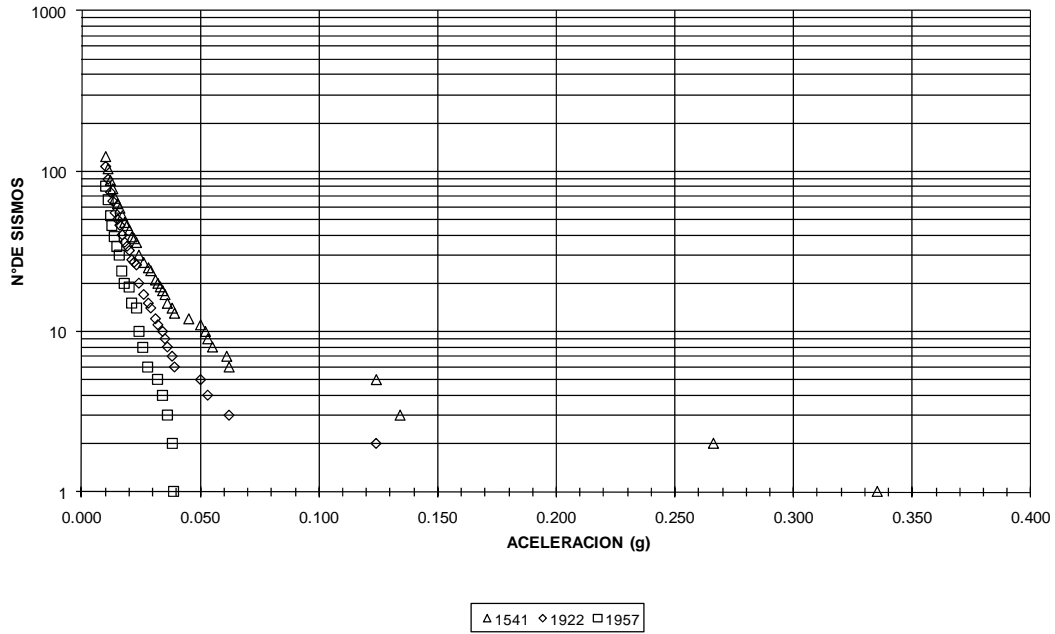


Figura 330 Aceleración máxima inferida para Cúcuta. Donovan 1

CÚCUTA

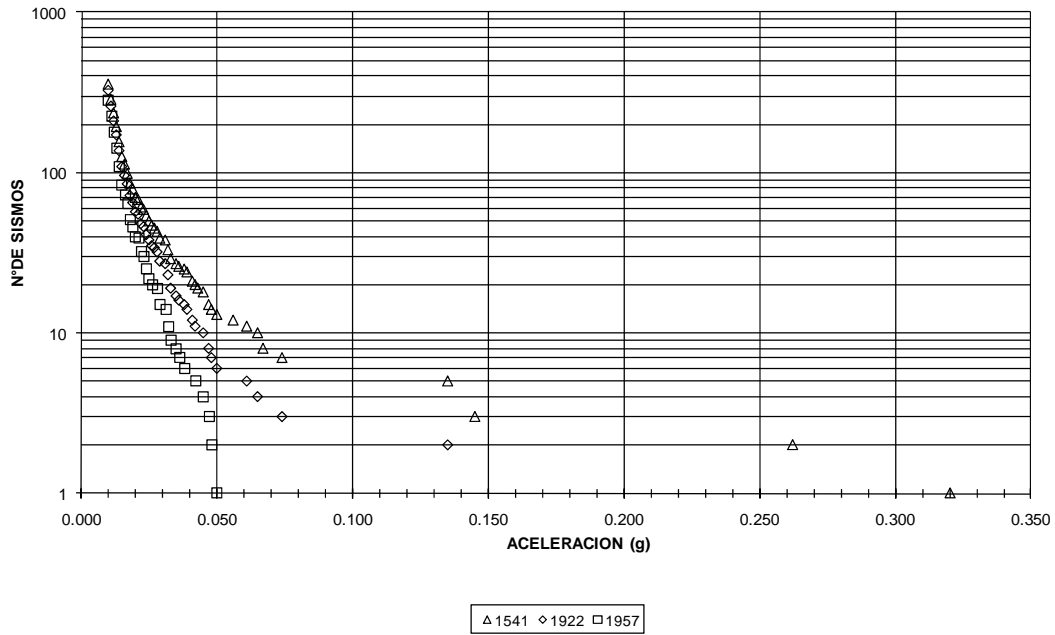


Figura 331 Aceleración máxima inferida para Cúcuta. Donovan 2