

Modelo nacional de **amenaza** **sísmica** para Colombia

Modelo nacional de **amenaza sísmica** para Colombia

Servicio Geológico Colombiano ©
Fundación Global Earthquake Model ©

ISBN impreso: 978-958-52794-5-2

ISBN digital: 978-958-52794-6-9

DOI: <https://doi.org/10.32685/9789585279469>

Colección: **Publicaciones Geológicas Especiales vol. 43**

Oscar Paredes Zapata

Director general

Marta Lucía Calvache Velasco

Directora técnica de Geoamenazas

María Mónica Arcila Rivera

Gerente del proyecto Amenaza y riesgo sísmico en Colombia

Autores

María Mónica Arcila Rivera - Servicio Geológico Colombiano

Julio García - Fundación Global Earthquake Model

Julián Santiago Montejo Espitia - Servicio Geológico Colombiano

Jaime Fernando Eraso - Servicio Geológico Colombiano

Jairo Andrés Valcárcel Torres - Servicio Geológico Colombiano

Miguel Genaro Mora Cuevas - Servicio Geológico Colombiano

Daniele Viganò - Fundación Global Earthquake Model

Marco Pagani - Fundación Global Earthquake Model

Fernando Javier Díaz Parra - Servicio Geológico Colombiano

Comité Editorial

Presidente

Virgilio Amaris Ibáñez

Integrantes

Mario Andrés Cuéllar

Gloria Prieto Rincón

Marta Calvache Velasco

Hernán Olaya Dávila

Humberto Andrés Fuenzalida

Hernando Camargo

Margarita Bravo Guerrero

Viviana Dionicio

Teresa Duque

Julián Escallón

Armando Espinosa

Juan Guillermo Ramírez

Manuel Hernando Romero

Diagonal 53 n.º 34-53

Bogotá D. C., Colombia

Teléfono: 220 0200, ext.: 3048

ceditorial@sgc.gov.co

Corrección de estilo

Edgar Ordóñez

Diseño y diagramación

Diana Paola Abadía

Editora general

Carolina Hernández

Julio, 2020

Citación:

Arcila, M. García, J., Montejo, J., Eraso, J., Valcarcel, J., Mora, M., Viganò, D., Pagani, M. y Díaz, F. (2020). *Modelo nacional de amenaza sísmica para Colombia*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano y Fundación Global Earthquake Model. <https://doi.org/10.32685/9789585279469>

Modelo nacional de **amenaza sísmica** para Colombia

CONTENIDO

	Presentación	13
	Agradecimientos y reconocimientos	15
1	Introducción	17
	1.1 Principales sismos ocurridos en el país	18
	1.2 Estudios previos de amenaza sísmica	22
	1.3 Estructura de la publicación y del modelo de amenaza sísmica	28
2	Objetivos y alcance	31
	2.1 Objetivos	31
	2.2 Alcances y limitaciones	32
3	Conjunto de datos básicos	35
	3.1 Catálogo Sísmico Integrado	36
	3.1.1 Catálogos sísmicos utilizados	36
	3.1.2 Priorización e integración de los catálogos seleccionados	37
	3.1.3 Homogeneización de magnitudes	41
	3.1.4 Características del CSI	43
	3.1.5 Remoción de eventos dependientes del Catálogo Sísmico Integrado	44
	3.1.6 Análisis de completitud	45
	3.2 Base de datos de fallas activas	47
	3.3. Base de datos de movimientos fuertes	50
	3.3.1 Información por región tectónica	50
	3.3.2 Base de datos de estaciones	52
	3.3.3 Procesamiento de acelerogramas	55
4	Modelo de fuentes sísmicas	57
	4.1 Clasificación tectónica de la sismicidad	60
	4.1.1 Ambiente cortical	61
	4.1.2 Zona de subducción del Pacífico (interplaca)	62
	4.1.3 Zona de Benioff	63
	4.1.4 Sismicidad intraplaca del nido sísmico de Bucaramanga	64
	4.1.5 Criterios para la clasificación de sismos según ambientes tectónicos	64
	4.2. Árbol lógico de fuentes sísmicas adoptado para Colombia	67
	4.3 Modelación de fuentes sísmicas	68
	4.3.1 Fuentes superficiales tipo área (volumétricas)	68
	4.3.2 Modelo de sismicidad suavizada y de fuentes tipo falla	74
	4.3.3 Modelación de fuentes de subducción y profundas	83

5	Selección de ecuaciones de atenuación	95
	5.1 Preselección de ecuaciones de atenuación	96
	5.2 Evaluación de ecuaciones de atenuación	99
	5.2.1 Definición de árboles lógicos de ecuaciones de atenuación	99
6	Cálculo de la amenaza sísmica	109
	6.1 Metodología para estimar la amenaza sísmica	110
	6.1.1 Componentes del modelo de amenaza	110
	6.1.2 Fuentes de incertidumbre en la evaluación de la amenaza sísmica	111
	6.1.3 Evaluación de curvas de amenaza	112
	6.1.4 Estimación de espectros de amenaza uniforme y mapas de amenaza	114
	6.2 Requerimientos computacionales	114
7	Resultados del estudio de amenaza sísmica	117
	7.1 Mapas de amenaza en roca firme	117
	7.1.1 Relaciones entre las aceleraciones pico obtenidas con diferentes periodos de retorno	120
	7.1.2 Ambientes tectónicos predominantes en la evaluación de la amenaza sísmica	121
	7.2 Curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme	124
	7.3 Desagregación de la amenaza sísmica	124
8	Conclusiones y recomendaciones	129
	8.1 Conjunto de datos básicos	130
	8.2 Modelo de fuentes sísmicas	131
	8.3 Ecuaciones de atenuación	133
	8.4 Resultados	133
	8.5 Recomendaciones	134
	Referencias	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de intensidades máximas observadas en Colombia	21
Figura 2.	a) Mapa de intensidades macrosísmicas esperadas; b) aceleración pico. Ventana de observación de cien años	22
Figura 3.	Valores de aceleración horizontal máxima esperada. Tiempo de exposición: 50 años; probabilidad de excedencia de 0,1; corrección por incertidumbre del 90%	23
Figura 4.	Mapa del valor promedio de aceleraciones pico efectivas. Periodo de retorno 475 años	24
Figura 5.	Mapa nacional de amenaza sísmica. Periodo de retorno: 475 años	25
Figura 6.	Aceleración pico para un periodo de retorno de 475 años. a) Ecuación de atenuación de Gallego (2000); b) ecuación de atenuación de Campbell (1997) y García <i>et al.</i> (2005)	26
Figura 7.	Esquema metodológico del modelo de amenaza sísmica	27
Figura 8.	Participación de las agencias en términos de magnitud y localización de los eventos	39
Figura 9.	Soluciones preferidas de los catálogos consultados	40
Figura 10.	Soluciones preferidas de los catálogos regionales consultados	40
Figura 11.	Soluciones preferidas del catálogo del Servicio Geológico Colombiano	41
Figura 12.	Relación entre magnitudes Mw (GCMT) y mb (NEIC-GCMT) en 37.849 eventos	42
Figura 13.	Relación entre magnitudes Mw (GCMT) y Ms (NEIC-GCMT) en 21.070 eventos	42
Figura 14.	Relación entre mb (ISC) y ML (SGC) en 1.599 eventos	43
Figura 15.	Mapa de distribución de epicentros contenidos en el Catálogo Sísmico Integrado. Periodo comprendido entre los años 1610 y 2014	43
Figura 16.	Ventanas espacio-temporales implementadas en la herramienta HMTK para remover eventos dependientes siguiendo el método propuesto por Gardner y Knopoff (1974)	44
Figura 17.	Eventos principales resultado de la remoción de eventos dependientes: a) método de Gardner y Knopoff clásico; b) método de Gardner y Knopoff usando la aproximación propuesta por Uhrhammer (1986)	45
Figura 18.	Variación en el tiempo (años) de la magnitud de completitud (M_c) y su desviación estándar (σ_λ) usando el método de Stepp (1972)	46
Figura 19.	Base de datos de fallas activas del proyecto SARA (v. 1.0). Las estructuras han sido representadas por la traza superficial	48
Figura 20.	Mapas de fallas cuaternarias	49
Figura 21.	Base de datos de fallas activas utilizadas en el modelo. Las estructuras han sido representadas por la traza superficial	50

Figura 22.	a) Distribución de los registros de la base de datos de movimiento fuerte.	
	b) Distribución de las profundidades de los eventos	51
Figura 23.	Distribución de magnitudes (M_w) de los eventos seleccionados	51
Figura 24.	Distribución de mecanismos focales por región tectónica. a) Nido.	
	b) Cortical. c) Interface. d) Benioff	52
Figura 25.	$V_{s_{30}}$ (m/s) inferido en las estaciones de registro	53
Figura 26.	a) Z_1 . b) $Z_{2.5}$ (m) inferido de las estaciones de registro	53
Figura 27.	Distribución de las estaciones de registro alrededor del arco volcánico	54
Figura 28.	Esquema de procesamiento de acelerogramas	55
Figura 29.	Fuentes sismogénicas propuestas por la AIS (2009): a) superficiales;	
	b) profundas; c) zonificación propuesta por el Ingeominas y la Universidad Nacional de Colombia (2010)	58
Figura 30.	Esquema general de actividades del modelo de fuentes sísmicas	59
Figura 31.	Tectónica regional	60
Figura 32.	Configuración neotectónica de la región Caribe y el norte de los Andes	61
Figura 33.	Mapa del límite de la transición corteza-manto (“moho”) en la región de estudio	62
Figura 34.	Esquema del proceso de subducción	62
Figura 35.	Secciones transversales perpendiculares a la trinchera del Pacífico	63
Figura 36.	Secciones transversales en la localización del nido sísmico de Bucaramanga	64
Figura 37.	Ambientes tectónicos definidos en el modelo	65
Figura 38.	Clasificación sismotectónica de los eventos del Catálogo (sin eventos dependientes): a) eventos corticales; b) eventos de subducción y profundos: interplaca (símbolo verde); intraplaca-zona Benioff (símbolo celeste); nido sísmico de Bucaramanga (símbolo azul oscuro)	66
Figura 39.	Estructura del modelo según profundidad y tipo de fuentes sísmicas	67
Figura 40.	Árbol lógico del modelo de fuentes sísmicas adoptado	68
Figura 41.	Esquema del procedimiento para la definición de la geometría de fuentes sísmicas superficiales	69
Figura 42.	Modelo de fuentes corticales tipo área propuesto por el SGC-IGME	69
Figura 43.	Ejemplo de distribución Gutenberg-Richter doblemente truncada	71
Figura 44.	Ejemplo de fuentes tipo área	72
Figura 45.	Ejemplo de histogramas de eventos en profundidad	72
Figura 46.	Ejemplos de análisis de mecanismos focales y orientación preferencial y cinemática	72
Figura 47.	Parámetro a: fuentes corticales tipo área	73
Figura 48.	Parámetro b: fuentes corticales tipo área	73

Figura 49.	Magnitud máxima. Fuentes corticales tipo área	73
Figura 50.	Modelo de fuentes corticales considerando fuentes tipo falla y modelos de sismicidad distribuida	74
Figura 51.	Parámetros de sismicidad de macrozonas consideradas en el modelo de sismicidad suavizada	75
Figura 52.	Ejemplo de fuentes puntuales. a) Diferencias según relaciones de escala y de aspecto. b) Diferencias según buzamiento. c) Rumbo. d) Profundidades hipocentrales	76
Figura 53.	Ejemplo de fuente tipo falla con rupturas flotantes	77
Figura 54.	Distribución de recurrencia de magnitudes en las fallas activas de la macro zona C02	78
Figura 55.	Distribución de recurrencia de magnitudes de fallas activas de la macro zona C03	78
Figura 56.	Parámetros para caracterizar fallas activas	82
Figura 57.	Mapas con las secciones creadas para para definir la geometría de a) subducción Nazca/Suramérica y b) sismicidad profunda (Bucaramanga). La escala representa la profundidad de los eventos presentes en el Catálogo	84
Figura 58.	Ejemplo de secciones creadas para para definir la geometría del proceso de subducción entre las placas Nazca y Suramérica	85
Figura 59.	Ejemplo de secciones creadas para para definir la geometría de la sismicidad del nido de Bucaramanga	85
Figura 60.	Tope del volumen de subducción entre las placas Nazca y Suramérica en la región colombo-ecuatoriana: a) variaciones en profundidad; b) superficie 2,5D obtenida	86
Figura 61.	Tope del volumen subducido en la región del nido sísmico de Bucaramanga (sismicidad profunda): a) variaciones en profundidad; b) superficie 2,5D obtenida	86
Figura 62.	Dimensiones de fuentes interplaca; profundidad de los límites: mínimo y máximo	87
Figura 63.	Segmentación de la zona de subducción de Colombia	88
Figura 64.	Parámetros de sismicidad de fuentes interplaca del proceso de subducción del Pacífico: a) modelo no segmentado; b) modelo segmentado	89
Figura 65.	Parámetros de sismicidad de fuentes de la zona Benioff	90
Figura 66.	Parámetros de sismicidad de fuentes del nido de Bucaramanga	90
Figura 67.	Ejemplo de una falla compleja	91
Figura 68.	Profundidad de la superficie de fuentes interplaca. Modelo no segmentado	92

Figura 69.	Vista en planta de la malla que representa la placa en la zona de Benioff, correspondiente a una magnitud de 6,05 Mw	92
Figura 70.	Malla de puntos de la placa de la zona de Benioff correspondiente a una magnitud de 6,05 Mw	93
Figura 71.	Procedimiento empleado en la selección de ecuaciones de atenuación	96
Figura 72.	Tipos de medidas de la distancia entre sitios de análisis y rupturas	99
Figura 73.	Datos de movimiento fuerte en la zona de Benioff	101
Figura 74.	Resultados estadísticos de la zona de Benioff	101
Figura 75.	Datos de movimiento fuerte del nido de Bucaramanga	102
Figura 76.	Resultados estadísticos del nido de Bucaramanga	103
Figura 77.	Datos de movimiento fuerte de la zona de Interplaca	104
Figura 78.	Resultados estadísticos de la zona de interplaca	104
Figura 79.	Datos de movimiento fuerte en eventos corticales	105
Figura 80.	Resultados estadísticos de eventos corticales	106
Figura 81.	Realizaciones para la estimación de la amenaza sísmica	112
Figura 82.	Componentes del cálculo del modelo de amenaza sísmica	113
Figura 83.	Mapa de aceleraciones pico. Periodo de retorno: 475 años	119
Figura 84.	Mapa de aceleraciones pico. Periodo de retorno: 975 años	119
Figura 85.	Mapa de aceleraciones pico. Periodo de retorno: 2.475 años	119
Figura 86.	Cociente entre aceleraciones pico correspondientes a diferentes periodos de retorno: a) 975/475; b) 2.475/475	121
Figura 87.	Ambiente tectónico de mayor aceleración pico (periodo de retorno de 475 años)	122
Figura 88.	Ambiente tectónico de segunda mayor aceleración pico (Tr 475 años)	123
Figura 89.	a) Curva de amenaza; b) espectro de amenaza uniforme (Tr. 475 años) correspondiente a un punto del municipio de Pasto	124
Figura 90.	Desagregación de la amenaza sísmica en Pasto según a) distancia y b) magnitud de las rupturas (TR 475, PGA)	125
Figura 91.	Resultados de la desagregación de la amenaza sísmica en Popayán según ambientes tectónicos y periodos de vibración de a) Tr. = 475 años y b) 975 años	125
Figura 92.	Distribución geográfica de la contribución de las rupturas a la amenaza sísmica de Popayán según ambientes tectónicos a) corticales, b) interplaca y c) zona Benioff. Periodo de retorno: 475 años	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Resumen de daños observados en los principales eventos históricos	18
Tabla 2.	Características generales de la información usada de los catálogos globales y locales en la construcción del catálogo integrado	37
Tabla 3.	Criterios de priorización para la localización de los sismos	38
Tabla 4.	Criterios de priorización para la magnitud de los sismos	38
Tabla 5.	Criterios de priorización según el tipo de magnitud	38
Tabla 6.	Matriz de prioridad para localización correspondiente a cada uno de los catálogos seleccionados	38
Tabla 7.	Matriz de priorización por magnitud correspondiente a cada uno de los catálogos seleccionados	39
Tabla 8.	Número de eventos aportados por agencia luego de la priorización	39
Tabla 9.	Relaciones obtenidas entre magnitud Mw (GCMT) y mb (NEIC-GCMT)	42
Tabla 10.	Relaciones obtenidas entre magnitudes Mw (GCMT) y ms (NEIC-GCMT)	42
Tabla 11.	Relaciones entre magnitudes Mb (ISC) y ML (SGC)	43
Tabla 12.	Características generales del Catálogo Final Integrado	43
Tabla 13.	Clasificación sismo-tectónica de la sismicidad de eventos del catálogo (sin eventos dependientes), según modelos de fuentes	45
Tabla 14.	Rangos de completitud correspondientes al Catálogo Integrado del SGC	47
Tabla 15.	Estructura de la base de datos paramétrica de las fallas activas	48
Tabla 16.	Registros acelerográficos por ambiente tectónico	50
Tabla 17.	Número y tipos de mecanismos focales por región tectónica	52
Tabla 18.	Número de eventos por rango de V_{s30} y fuente sísmica	54
Tabla 19.	Clasificación sismo-tectónica de la sismicidad de eventos del catálogo (sin eventos dependientes), según modelos de fuentes	66
Tabla 20.	Ejemplo de descripción de una zona sismogénica	70
Tabla 21.	Principales parámetros de sismicidad de las fuentes sísmicas pertenecientes al modelo zonificado de fuentes corticales	71
Tabla 22.	Parámetros principales de las macrozonas consideradas en el modelo de sismicidad distribuida (tipo Kernel)	75
Tabla 23.	Parámetros principales de las fuentes sísmicas tipo fallas simples, pertenecientes al modelo cortical	79
Tabla 24.	Características de los segmentos de la zona de subducción	89
Tabla 25.	Ecuaciones preseleccionadas para eventos corticales	97
Tabla 26.	Ecuaciones pre seleccionadas para eventos de Interplaca	98
Tabla 27.	Ecuaciones pre seleccionadas para eventos de Intraplaca.	98
Tabla 28.	Parámetros de evaluación	100
Tabla 29.	Pesos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación correspondiente a la zona de Benioff	100

Tabla 30. Pesos definitivos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación correspondiente al nido de Bucaramanga	102
Tabla 31. Pesos definitivos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación correspondiente a la zona de Interplaca	103
Tabla 32. Pesos definitivos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación de eventos corticales	105
Tabla 33. Modelo de fuentes sísmicas	110
Tabla 34. Árbol lógico de ecuaciones de atenuación de cada ambiente tectónico	111
Tabla 35. Aceleración pico en roca estimada en capitales departamentales y para diferentes periodos de retorno	120
Tabla 36. Descripción general de los eventos de la base de datos de movimiento fuerte	130
Tabla 37. Resumen del árbol lógico de fuentes sísmicas	132
Tabla 38. Resumen del árbol lógico de ecuaciones de atenuación	133

LISTA DE ANEXOS

A	Catálogos sísmicos utilizados	149
B	Base de datos de movimiento fuerte	155
C	Metodología adoptada para la corrección de línea base y filtrado de acelerogramas	159
D	Distribuciones de magnitud-frecuencia en fuentes corticales tipo área	163
E	Distribuciones de magnitud-frecuencia en macrozonas del modelo de sismicidad suavizado	169
F	Distribuciones de magnitud-frecuencia en fallas activas	173
G	Distribuciones de magnitud-frecuencia en fuentes interplaca (subducción), Benioff y nido sísmico de Bucaramanga	203
H	Metodologías utilizadas en la selección ecuaciones de atenuación	207
I	Propiedades geométricas utilizadas en ecuaciones de atenuación	213
J	Resultados de la selección de ecuaciones de atenuación según ambiente tectónico	244
K	Resultados de amenaza sísmica para las capitales departamentales	265
L	Descripción del sistema de consulta del modelo y de los resultados de la amenaza sísmica	299

Presentación



Colombia ocupa un territorio en el que las fuerzas de la naturaleza y su expresión geológica producen eventos que pueden ser peligrosos para la población. Este ambiente es un reto que demanda al país (y a nosotros, como ciudadanos) los mejores esfuerzos para entender la dinámica de la tierra, de tal forma que podamos diseñar nuestras ciudades e infraestructura de la mejor manera posible, valiéndonos del conocimiento disponible.

En este camino de aprendizaje, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha sido encargado, por medio del Decreto 2703 de 2013, de una importante misión respecto al conocimiento e investigación de amenazas de origen geológico y del riesgo físico asociado. Esto significa que no solo debemos preocuparnos por los eventos detonantes (los sismos, los volcanes), sino también por las potenciales consecuencias y daños esperados.

En particular, el SGC es responsable de la producción de lineamientos para evaluar tales amenazas, así como del apoyo a entes territoriales e instituciones del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres y del Sistema Nacional Ambiental sobre análisis de la amenaza y riesgo físico, y de su incorporación en la planificación y el ordenamiento territorial.

En cumplimiento de estas responsabilidades, desde hace varios años el SGC ha venido trabajando con compromiso y rigor en el conocimiento y modelación de la amenaza sísmica. Esto ha implicado la revisión y discusión del catálogo de eventos sísmicos, la delimitación juiciosa de las zonas que producen terremotos, así como la evaluación y selección de las ecuaciones que relacionan la magnitud de los sismos con las intensidades (aceleraciones, velocidades) que pueden llegar a presentarse en cualquier punto del territorio.

El reto del conocimiento de la amenaza y del riesgo sísmico lo asumimos con legitimidad y observancia científica. Somos conscientes de que el conocimiento no nace de una sola organización y que debe construirse con el aporte de una comunidad técnica. A la vez, la curiosidad propia de los investigadores y el deseo de un mejor conocimiento han permitido que el SGC explore metodologías novedosas y establezca alianzas con expertos nacionales e internacionales para desarrollar un modelo de amenaza sísmica nacional. Teniendo en cuenta estos preceptos, queremos proveer a los tomadores de decisiones la mejor información existente sobre la amenaza y el riesgo sísmico.

Cada estructura que edificamos, nuestras viviendas, los edificios en donde trabajamos, los puentes por los que transitamos, la infraestructura de servicios públicos, etc., en algún momento de la historia podrán ser puestos a prueba por la ocurrencia inesperada de un sismo, y de su resistencia dependerá la seguridad de la vida de todos. Por lo tanto, como comunidad debemos tejer el conocimiento sobre el riesgo sísmico con un hilo que conecte los movimientos telúricos con nuestra ocupación del territorio, el diseño de estructuras y la seguridad de la población.

Finalmente, los invito a usar con sentido crítico los resultados de este estudio. Las observaciones y los aportes para mejorar este modelo son bienvenidos, al igual que la discusión de la información aquí consignada.

Oscar Paredes Zapata
Director general Servicio Geológico Colombiano

Agradecimientos y reconocimientos



El equipo agradece especialmente a Oscar Paredes Zapata, director general del Servicio Geológico Colombiano, y a Marta Lucía Calvache Velasco, directora técnica de Geoamenazas, por su apoyo incondicional para la elaboración de esta publicación.

Igualmente, agradece a Diana Rocío Barbosa Castro y a Héctor José Pérez Barrera por su colaboración durante este proceso, y al grupo de Evaluación y Monitoreo de la Actividad Sísmica del Servicio Geológico Colombiano.

Esta publicación utiliza datos obtenidos y resultados generados en el desarrollo de los convenios especiales de cooperación suscritos entre el Servicio Geológico Colombiano y la Fundación Global Earthquake Model entre 2016 y 2018.

El documento final se estructuró en 2018, en 2019 se oficializó, se entregó a las autoridades, se complementaron los resultados para las ciudades capitales y se adaptó la versión para publicar el documento. En 2020 se generó el proceso para publicación, revisión de estilo, diseño y diagramación.



Introducción



De manera general, la amenaza sísmica representa la severidad y la frecuencia de los sismos que pueden ocurrir en un determinado sitio. En el caso de Colombia, la amenaza sísmica está asociada a la convergencia de las placas litosféricas de Nazca, Sudamérica y Caribe, cuya compleja dinámica da origen a sismos de diferentes características a lo largo del territorio nacional, que pueden tener un alto potencial destructivo.

Como respuesta a la ocurrencia de sismos y de sus efectos devastadores, en los últimos cincuenta años se han llevado a cabo esfuerzos con el fin de construir catálogos de sismos, identificar fuentes sísmicas, desarrollar redes de monitoreo sísmico y elaborar modelos de amenaza.

Entre los eventos más recientes y de mayores efectos se encuentran los sismos de Popayán de 1983 (magnitud 5,6 Mw) y el sismo del eje cafetero, del 25 de enero de 1999 (magnitud 6,1 Mw), que en gran parte causaron una amplia destrucción de edificios e infraestructura, cuyos impac-

tos sociales y económicos fueron notables para el país. Tales eventos señalaron la importancia de un trabajo continuo tanto en el conocimiento de la amenaza sísmica como en las medidas de protección ante estos eventos.

En lo que respecta al conocimiento de la amenaza sísmica, el Servicio Geológico Colombiano, como instituto científico y técnico del Gobierno nacional, tiene a su cargo la investigación de los procesos geológicos generadores de amenazas y la evaluación de las amenazas que estos representan a escalas nacional y regional, entre ellas la amenaza sísmica. Asimismo, se encarga de proponer, evaluar y difundir metodologías de evaluación de amenazas con afectaciones departamentales y municipales. Igualmente, busca proveer información sobre las amenazas y el riesgo físico de origen geológico entre las instancias y autoridades competentes y la comunidad, con fines de planificación, ordenamiento territorial y gestión del riesgo.

En el marco de sus funciones, el SGC, en conjunto con la Fundación Global Earthquake Model, elaboró un modelo nacional de amenaza sísmica. Mediante este modelo se busca zonificar y analizar la recurrencia de sismos de diferentes características (p. ej., su magnitud), así como estimar las intensidades del movimiento que tales eventos podrían producir en el territorio nacional (p. ej., aceleraciones). A partir de esta información, y con una metodología probabilística, la amenaza sísmica de un sitio específico se mide en términos de la probabilidad de que el movimiento sobrepase una determinada intensidad, considerando un periodo de observación dado.

En este capítulo se presenta una descripción de los principales sismos ocurridos en el país, de tal manera que se pueda tener una aproximación a la dis-

tribución geográfica de la amenaza. A la vez, se presentan las principales experiencias de modelación de la amenaza sísmica, con el fin de identificar los logros alcanzados en estudios previos, así como de exponer los aportes de este estudio.

1.1 Principales sismos ocurridos en el país

La tabla 1 presenta descripciones de algunos de los daños observados en los principales sismos ocurridos en Colombia. Tales sismos se seleccionaron teniendo en cuenta el número de reportes del evento y sus magnitudes e intensidades macrosísmicas estimadas. La descripción de daños se realizó a partir de los datos disponibles en el Sistema de Información de Sismicidad Histórica de Colombia del SGC (SGC, s/f).

Tabla 1. Resumen de daños observados en los principales eventos históricos

Fecha	Magnitud (Mw)	Sitio relacionado	Descripción de daños
1644/01/16	6,5	Pamplona (Norte de Santander)	Dstrucción generalizada en Pamplona (Norte de Santander) y San Cristóbal (Venezuela). Colapsos de iglesias de estas ciudades.
1827/11/16	7,1	Altamira (Huila)	Se considera uno de los sismos más destructivos del país, cuyos efectos más graves se observaron en el departamento del Huila. Se presentaron colapsos de la mayoría de las viviendas en los municipios de Timaná, Tarquí y Garzón. En otros municipios, como Gigante, Guadalupe, Palermo, Villavieja y Acevedo, se presentaron daños en numerosas viviendas y en las iglesias. Este evento detonó un conjunto de deslizamientos y represamientos en diferentes cuerpos de agua que, a su vez, generaron flujos de lodo que afectaron otras poblaciones.
1875/05/18	6,8	Cúcuta (Norte de Santander)	Dstrucción casi total de los municipios de Cúcuta y Villa del Rosario (Norte de Santander), así como de poblaciones limítrofes con Venezuela. Hubo daños considerables en Pamplona, Cucutilla, Chinácota, Matanza y en otras poblaciones del estado del Táchira, como San Cristóbal, Colón, Palmira y Tariba. Se presentaron licuaciones de suelo en Cúcuta, Villa del Rosario, Ureña y San Antonio, en la vega de los ríos Pamplonita y Táchira.
1906/01/31	8,8	Costa pacífica, Pacífico	Los daños más notables ocasionados, tanto por el sismo como por el consecuente tsunami, se presentaron en las costas de los departamentos de Nariño y Cauca (Colombia), y en la provincia de Esmeraldas (Ecuador). Playas de municipios como Tumaco, Francisco Pizarro (Salahonda), Mosquera, Olaya Herrera (Bocas de Satinga), La Tola, El Charco, Santa Bárbara (Iscuandé), Guapi y Timbiquí quedaron sumergidas por las olas del tsunami, el cual causó numerosas muertes.
1917/08/31	6,7	Villavicencio (Meta)	La mayoría de las construcciones de Villavicencio y del municipio de San Martín quedaron averiadas; asimismo, se presentaron algunos colapsos en San Martín y Cáuzeza. En Bogotá se registraron más de trescientas edificaciones averiadas y cerca de cuarenta destruidas. Adicionalmente, este evento detonó movimientos en masa que afectaron diferentes poblaciones.
1938/02/04	7,0	Eje cafetero	Se presentaron colapsos en los municipios de Aguadas (Caldas), Santa Rosa de Cabal (Risaralda), Salento (Quindío) y en pueblos del sur de Antioquia, como Santa Bárbara, Tâmesis y Mesopotamia. El sismo causó daños leves en municipios alejados del epicentro, tales como Quibdó, Tunja, Bogotá, Popayán, Cúcuta y Bucaramanga, entre otros.

(.../...)

Fecha	Magnitud (Mw)	Sitio relacionado	Descripción de daños
1947/07/14	6,0	Pasto (Nariño)	En el municipio de Pasto se presentaron daños en edificios públicos y de atención a la comunidad, tales como el Hospital San Pedro (que tuvo que ser demolido), el Palacio Municipal, el Palacio de la Gobernación, la plaza de mercado, el Matadero Municipal, la Universidad de Nariño y el colegio San Francisco Javier. También se presentaron daños en las torres y estructura de las iglesias de San Felipe, Pandiaco y Santiago. Por otro lado, se demolieron cerca de quinientas casas de adobe o de ladrillo sin refuerzo, que resultaron afectadas.
1950/07/08	6,1	Arboledas, (Norte de Santander)	En los municipios de Arboledas y Cucutilla, la mayoría de edificaciones quedaron inservibles, y muchas quedaron destruidas completamente. En los corregimientos de Villa Sucre y San José de la Montaña se presentaron múltiples colapsos, así como daños en viviendas rurales. En el municipio de Salazar todas las casas resultaron agrietadas.
1962/07/30	6,5	Eje cafetero	Se presentaron colapsos de edificaciones en zonas en que la mayoría de viviendas eran de tapia y bahareque, en los municipios del sur de Antioquia (Sonsón, Nariño y Valparaíso), en Caldas (Aguadas, Pácora, Anserma), en Risaralda (Quinchía) y en el Valle del Cauca (El Águila y Ansermanuevo). Se reportaron daños moderados en poblaciones de Tolima y Cauca.
1967/02/09	7,0	Colombia (Huila)	Los daños más significativos ocurrieron en el departamento del Huila, en los municipios de Colombia y Campoalegre, donde muchas viviendas y edificios públicos colapsaron, y el resto de construcciones presentaron averías. En Neiva, Altamira y Suaza se reportó la destrucción de viviendas, así como agrietamiento de muros y techos de varias edificaciones. Se estima que en el departamento del Huila resultaron destruidos o averiados cerca de 8.000 inmuebles, incluyendo casas, edificios públicos, colegios, cuarteles de policía e iglesias.
1967/07/29	6,8	Betulia (Santander)	Algunas viviendas de tapia pisada, así como escuelas, iglesias y edificios públicos, colapsaron en los municipios de Betulia, Hato, Zapatoca, Mogotes, San Vicente de Chucurí, Galán, El Guacamayo, San Joaquín y Palmar.
1976/07/11	7,3	Darién (Colombia) y Darién (Panamá)	En el municipio de Juradó varias viviendas y escuelas quedaron seriamente averiadas. En Riosucio, Bojayá y Bahía Solano se produjeron agrietamientos en los muros de algunas casas. Se evidenciaron efectos de licuación de suelos y deslizamientos a lo largo de la costa en dirección a la frontera con Colombia, que afectaron varios cultivos.
1979/11/23	7,2	Eje cafetero	En Manizales se presentó el colapso de algunas viviendas y de un colegio y quedaron averiados importantes edificios. El sismo detonó un deslizamiento que derrumbó algunas viviendas. En Jardín y Andes colapsaron varias casas y los templos quedaron semidestruídos. En Pereira, Aguadas, Pueblo Rico, Támesis, Sonsón y Valparaíso resultaron destruidas pocas viviendas. En Medellín resultaron averiados un hospital, un teatro y varias casas. En Cali, numerosas casas, una iglesia y edificios de oficinas presentaron daños considerables. En Armenia se agrietaron considerablemente algunas construcciones.
1979/12/12	8,1	Costa pacífica, Pacífico	En Arma (corregimiento de Aguadas) se presentó un deslizamiento en el casco urbano que destruyó varias viviendas situadas alrededor de la plaza principal. Este sismo generó un tsunami que afectó toda la costa comprendida entre Guapi, al norte, y Tumaco, al sur, cuyas olas causaron destrucción de construcciones y viviendas y serios efectos en la población.
1983/03/31	5,6	Popayán (Cauca)	Este sismo afectó al departamento del Cauca, principalmente las poblaciones de Cajete, Cajibío, Julumito, Popayán y Timbío. Se estima que en el departamento del Cauca 4.964 construcciones quedaron destruidas y 13.796 viviendas presentaron daños muy graves. En Popayán, gran parte del patrimonio histórico arquitectónico del centro de la ciudad presentó daños profundos y colapsos; asimismo, se presentaron daños considerables en tuberías de agua potable. En los municipios de Cajete y Cajibío se estimó una destrucción del 80%.

(.../...)

Fecha	Magnitud (Mw)	Sitio relacionado	Descripción de daños
1992/10/18	7,1	Murindó (Antioquia)	<p>En Murindó y en el pueblo indígena La Isla (Murindó) se presentó destrucción total de casi todas las construcciones. En Bojayá y Belén de Bajirá (departamento del Chocó), colapsaron viviendas. Otros daños graves se registraron en las poblaciones de Bejuquillo, Buchadó, Cañasgordas, Dabeiba, Mutatá, Pavarandocito, San José de Urama y Vigía del Fuerte (departamento de Antioquia). A raíz de los destrozos ocasionados por este evento se vio la necesidad de reubicar a los habitantes de Murindó.</p> <p>Este sismo detonó fenómenos de licuación de suelos y procesos de remoción en masa que abarcaron una extensión de cientos de kilómetros del Atrato medio y el Urabá antioqueño.</p> <p>A la vez, este sismo detonó la explosión del volcán de lodo Cacahual, localizado en el municipio de Turbo. Tal erupción sepultó algunas viviendas y causó daños en la cobertura vegetal, cultivos y ecosistemas.</p>
1995/01/19	6,5	Tauramena (Casanare)	<p>Se presentaron colapsos y daños severos en las construcciones, especialmente en el área rural de los municipios de San Luis de Gaceno, Páez y Campohermoso, en Boyacá, y Sabanalarga y Monterrey, en Casanare. En el área epicentral ocurrieron numerosos deslizamientos de diferente tipo que afectaron viviendas, vías y cultivos.</p>
1995/02/08	6,4	Calima (Darién), Valle del Cauca	<p>Los municipios más afectados fueron El Cairo, La Unión, Bolívar, Trujillo, Calima y Ansermanuevo (Valle del Cauca). En Dosquebradas y Pereira (Risaralda), al igual que en San José del Palmar y Sipí (Chocó) se presentaron daños considerables en las construcciones.</p>
1999/01/25	6,1	Eje cafetero	<p>Este sismo produjo daños graves en municipios de los departamentos de Quindío, Caldas, Risaralda, Tolima y Valle del Cauca.</p> <p>De acuerdo con el informe elaborado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 1999), cerca del 84% de las construcciones escolares presentaron daños mayores y colapsos. En el caso de instalaciones de salud, 61 resultaron dañadas, de las cuales 52 presentaron daños leves, una necesitó una reconstrucción parcial y ocho tuvieron que ser demolidas para su total reconstrucción. En cuanto a los daños a las viviendas, cerca de 79.500 resultaron afectadas, de las cuales casi 43.500 presentaron daños parciales y alrededor de 36.000 quedaron entre inhabitables y destruidas.</p>
2004/11/15	7,2	Bajo Baudó (Pizarro, Chocó)	<p>En el municipio de Bajo Baudó (Chocó), así como en varios caseríos aledaños se presentó la destrucción de viviendas, colapsos de escuelas y puentes, así como daños en capillas y puestos de salud.</p> <p>En Buenaventura se presentó el colapso de construcciones, la mayoría de ellas palafíticas. En la zona epicentral se presentaron fenómenos de licuación y agrietamiento del suelo, e inundaciones temporales asociadas a licuación.</p>

Los daños presentados en la tabla 1 permiten hacerse una idea aproximada sobre el potencial destructivo de los sismos en Colombia, así como una distribución geográfica de las zonas históricamente más afectadas. Se destacan el departamento de Norte de Santander, en la frontera con Venezuela, la región del eje cafetero y la costa pacífica (al sur, entre Nariño y Cauca, así como al norte, en el departamento de Chocó). También se observan eventos importantes en los departamentos de Huila y Meta.

Con el fin de brindar una visión más completa de los eventos sísmicos históricos, la figura 1 presenta un mapa de intensidades máximas observadas en el país

(SGC, 2015). Esta figura resulta de la identificación, en cada punto de análisis, de las intensidades macrosísmicas máximas estimadas para todos los eventos compilados en la Base de Datos de Sismicidad Histórica del SGC.

La figura 1 revela que las zonas con mayores intensidades (en la Escala Macrosísmica Europea) son similares a las descritas en la tabla 1. Se resalta que a pesar de que este mapa no refleja información sobre la frecuencia de ocurrencia de los sismos, presenta un resumen de la distribución geográfica de los eventos y de su impacto, que puede ser útil para entender la amenaza sísmica.

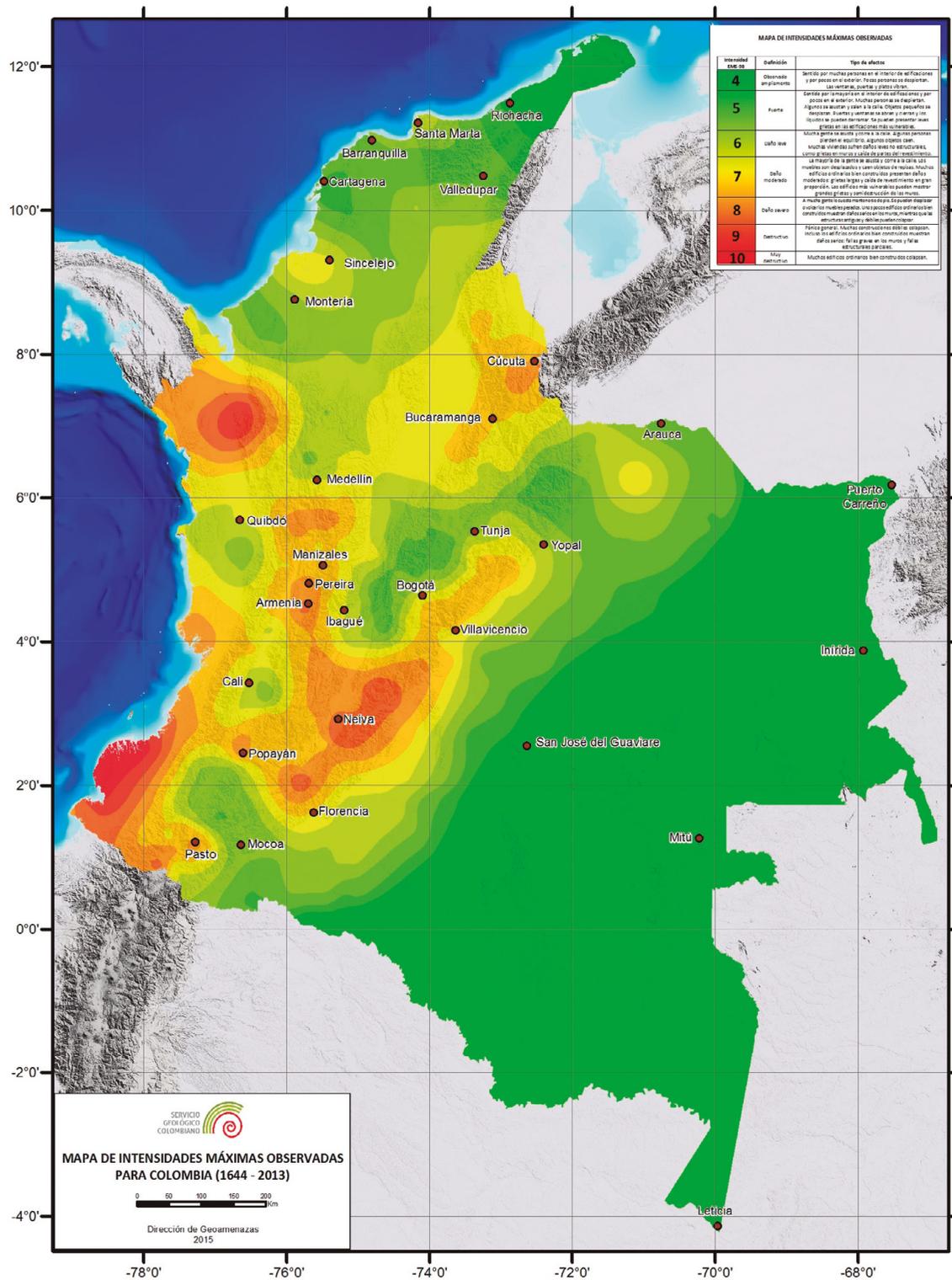


Figura 1. Mapa de intensidades máximas observadas en Colombia
Fuente: SGC (2015)

1.2 Estudios previos de amenaza sísmica

Teniendo en cuenta la historia sísmica y el potencial destructivo de los sismos ocurridos en el país, es evidente la necesidad de desarrollar modelos de amenaza que permitan estimar las posibles intensidades del movimiento y los efectos a los que pueden estar expuestas la población y la infraestructura.

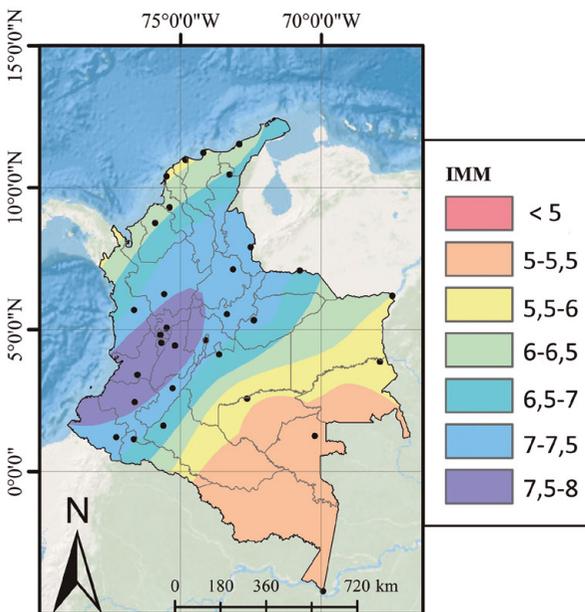
El estudio de la amenaza sísmica en el país ha sido un esfuerzo constante desde hace más de cincuenta años. Respecto al desarrollo de catálogos sísmicos, Ramírez y Forero Durán (1957) elaboraron un mapa sísmico y tectónico de Colombia en el que incluyeron los epicentros de los principales sismos ocurridos entre 1566 y 1956, así como la localización y características de las fallas.

Entre los primeros estudios de amenaza se encuentra el mapa elaborado por Estrada Uribe y Ramírez (1977), en el que se presentan intensidades

macrosísmicas esperadas en una ventana de observación de cien años. Los valores de la figura 2b fueron obtenidos transformando la intensidad macrosísmica de Mercalli Modificada (MMI) del mapa presentado en la figura 2a, en aceleraciones pico, usando la relación propuesta por Wald *et al.* (1999).

En la figura 2 se observa que las mayores intensidades macrosísmicas (cercas a 8), se identificaron hacia el suroccidente del país. Las zonas de intensidades cercanas a 7 cubren la cordillera de los Andes. Por último, en las zonas de los Llanos Orientales y de la Amazonia, así como en la costa atlántica, se obtuvieron los menores valores de la intensidad esperada. En términos de aceleraciones pico, en un periodo de observación de cien años se encuentra que pueden variar entre 0,4 y 0,5 g en las zonas de mayor aceleración, entre 0,3 y 0,4 g en las zonas de cordillera, y menores de 0,2 g en las zonas de la región amazónica.

(a) Intensidades macrosísmicas



(b) Aceleración pico

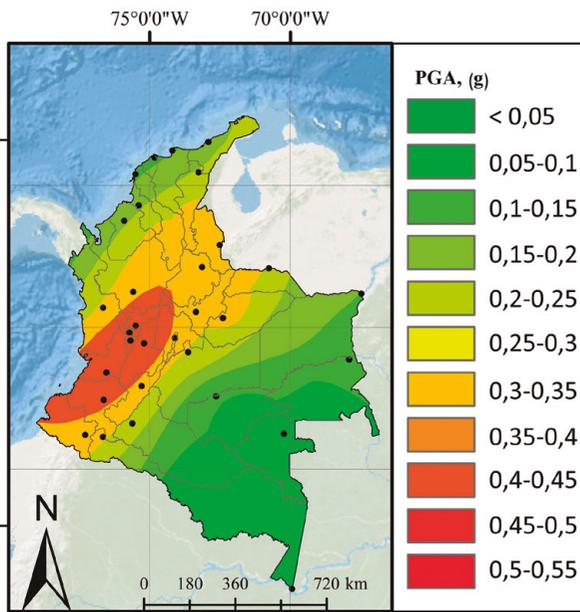


Figura 2. a) Mapa de intensidades macrosísmicas esperadas; b) aceleración pico. Ventana de observación de cien años
Nota: Se resalta que el mapa del valor esperado de las intensidades de la figura 2 corresponde a los valores interpolados obtenidos de las isólinas de intensidades macrosísmicas evaluadas por Estrada y Ramírez (1977); por lo tanto, pueden presentarse diferencias con los valores originales. Esta figura se considera de referencia. Mayores detalles de evaluaciones de amenaza realizadas entre 1972 y 1996 se presentan en AIS *et al.* (1996).
Fuente: tomado y modificado de AIS *et al.* (1996)

Como respuesta a los daños del terremoto de Popayán de 1983, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) llevó a cabo un análisis probabilista de amenaza. En dicho estudio se utilizó un catálogo de sismos compilado y procesado por el Instituto Geofísico de los Andes y la firma ITEC Ltda. para el Centro Regional de Sismología para América del Sur (Ceresis). Los sismos reseñados en dicho catálogo se asignaron a 22 fuentes sísmicas que comprenden las zonas de subducción y Benioff, así como un conjunto de fallas geológicas. Por su parte, para el cálculo de intensidades del movimiento se utilizaron las ecuaciones de atenuación de Donovan (1973) y McGuire (1974). Mayores detalles de este estudio se encuentran en García *et al.* (1984).

En la figura 3 se presentan valores interpolados de la aceleración horizontal máxima esperada, considerando un periodo de exposición de 50 años, una probabilidad de excedencia del 10% y una corrección por incertidumbre del 90%, que corresponden a un periodo de retorno de 475 años.

Los resultados del estudio de García *et al.* (1984) sirvieron de referencia para definir los mapas de coeficientes de aceleración pico efectiva (A_a) del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (CCCSR-84), adoptado mediante el Decreto 1400/1984.

Se resalta que en la obtención de coeficientes de diseño sismorresistente se involucran, además de los análisis de amenaza sísmica, criterios de índole económica, social e ingenieril. Por esta razón, los mapas de coeficientes sísmicos de las normas sismorresistentes pueden ser diferentes de los resultados “crudos” obtenidos de la modelación de la amenaza.

En la figura 3 se encuentra que la distribución geográfica de la amenaza considerada para la elaboración del CCSR-84 se asemeja más a la historia de eventos descrita según las intensidades máximas observadas (véase la figura 1), lo cual se explica, en parte, por el uso de un catálogo sísmico.

Posteriormente, en 1996 el Comité AIS 300, con la participación de la Universidad de los Andes y del Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeo-

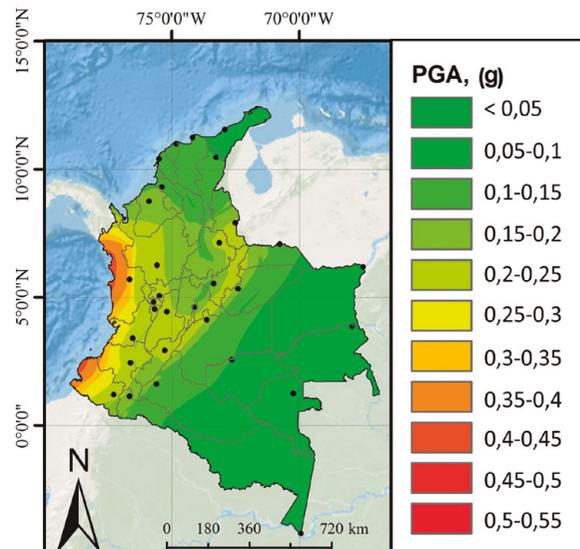


Figura 3. Valores de aceleración horizontal máxima esperada. Tiempo de exposición: 50 años; probabilidad de excedencia de 0,1; corrección por incertidumbre del 90%

Nota: La figura 3 corresponde a los valores interpolados de las isocintas de aceleración horizontal máxima esperada (figura 6.3 de García *et al.*, 1984). Pueden presentarse diferencias con los valores originales estimados en dicho estudio. Estos valores se consideran de referencia.

Fuente: tomado y modificado de García *et al.* (1984)

minas, hoy Servicio Geológico Colombiano), llevaron a cabo un estudio probabilista de la amenaza sísmica (véanse detalles en AIS *et al.*, 1996).

En ese estudio se elaboró un catálogo de eventos sísmicos en el que se integraron diferentes fuentes de información, entre ellas, catálogos de estudios previos y los datos provenientes de la Red Sismológica Nacional del Ingeominas. En el análisis se consideraron 32 sistemas de fallas y se utilizaron las ecuaciones de atenuación propuestas por Donovan (1973) y McGuire (1974).

En cuanto al cálculo de la amenaza, se establecieron diferentes alternativas para la asignación de eventos a las fuentes sísmicas (fallas), así como para la estimación de la magnitud máxima de las fuentes a partir de relaciones empíricas entre la longitud de ruptura de la falla y la magnitud máxima. De esta manera, se realizaron veinticinco evaluaciones de la amenaza según diferentes alternativas de análisis.

La Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes se apoyó

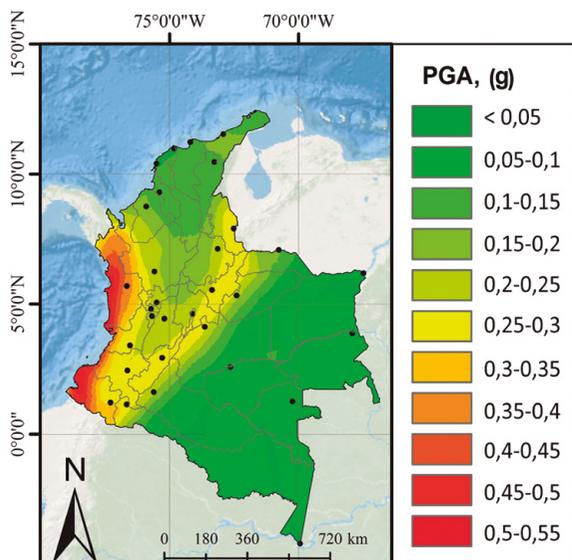


Figura 4. Mapa del valor promedio de aceleraciones pico efectivas. Periodo de retorno 475 años

Nota: La figura 4 corresponde a los valores interpolados obtenidos de las isolinéas de aceleración pico efectivas (valor promedio) presentadas en el anexo L (figura L.5) del *Estudio general de amenaza sísmica* (AIS *et al.*, 1996). Por lo tanto, pueden presentarse diferencias con los valores originales estimados en dicho estudio.

Fuente: tomado y modificado de AIS *et al.* (1996)

en los resultados de ese estudio para definir los coeficientes sísmicos de diseño de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. La figura 4 presenta los valores promedio (crudos) de la aceleración pico efectiva correspondientes a un periodo de retorno de 475 años. Esos valores sirven de referencia para conocer la distribución geográfica de la amenaza sísmica.

En la figura 4 se observan similitudes con el modelo planteado para el CCSR-84 en términos de que la mayor peligrosidad se centra en la costa pacífica, donde se observan valores de aceleración pico efectiva de hasta 0,5 g, considerando un periodo de retorno de 475 años. Para la zona de Santander y Norte de Santander se estimaron valores de aceleración pico efectiva cercanos a 0,3 g.

Con posterioridad a las modelaciones de amenaza para la NSR-98, el SGC y la Universidad Nacional de Colombia llevaron a cabo un modelo de amenaza sísmica según un enfoque probabilista, que se construyó a partir de información histórica, instrumental,

geológica y sismotectónica, y considerando la base de datos de sismos disponible en aquella época (Ingeominas y Universidad Nacional de Colombia, 2010).

En ese estudio se realizó una depuración y análisis de un catálogo sísmico utilizando la información más reciente de la Red Sismológica Nacional del SGC. Por su parte, la sismicidad del país se clasificó en los siguientes ambientes tectónicos: zona cortical (superficial), zona de subducción y de sismicidad intermedia (sobre el nido sísmico de Bucaramanga). La figura 5 presenta los resultados de aceleración pico obtenidos para un periodo de retorno de 475 años.

Por su parte, el Comité AIS 300 realizó una evaluación de la amenaza sísmica nacional con el fin de definir los movimientos sísmicos de diseño del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (véase AIS, 2009; MAVDT, 2010).

En AIS (2009) se depuró el catálogo sísmico suministrado por el Ingeominas en 2009. Las fuentes sísmicas superficiales se modelaron como “corredores” (de 60 km de ancho) a lo largo de las principales fallas identificadas (fuentes tipo área). También se consideraron fuentes tipo área para modelar fuentes profundas asociadas a los procesos de subducción del Pacífico, a la zona de Benioff y al nido sísmico de Bucaramanga.

Para cada ambiente se llevó a cabo una revisión y selección de ecuaciones de atenuación según una evaluación del sesgo y de la desviación estándar de los residuales obtenidos entre las aceleraciones observadas y las estimadas mediante las ecuaciones de atenuación. Como resultado, se seleccionaron las ecuaciones de Campbell (1997) para las zonas cortical y de subducción, y de García *et al.* (2005) para la zona de Benioff.

A pesar de que las ecuaciones de Gallego (2000) no presentaban el mejor comportamiento (según el análisis de sesgos realizado), fueron seleccionadas, tal como lo señalan los autores del estudio AIS (2009), por haber sido ampliamente usadas en estudios previos y debido a su buen comportamiento respecto a las intensidades observadas durante el sismo del eje cafetero de 1999.

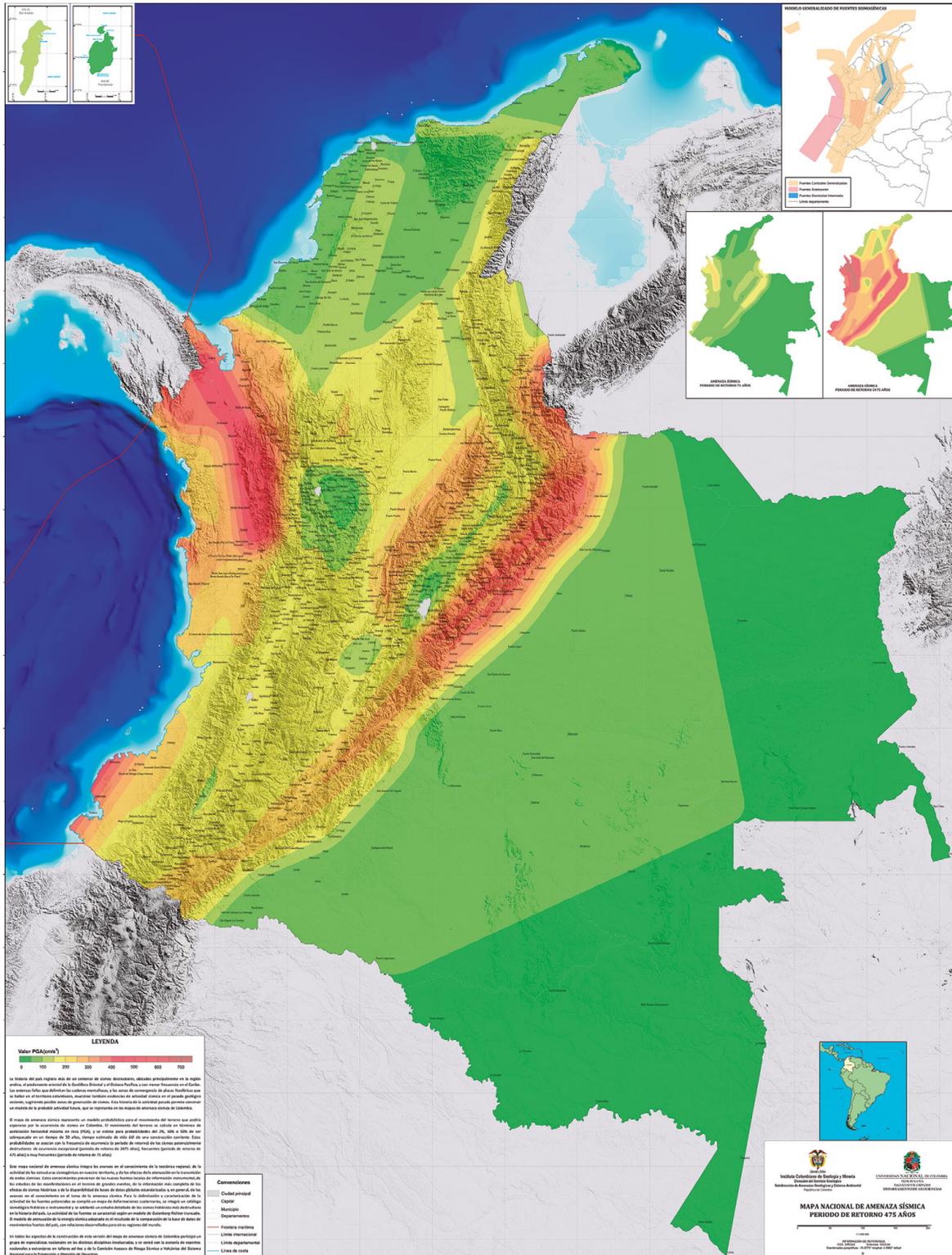


Figura 5. Mapa nacional de amenaza sísmica. Periodo de retorno: 475 años
 Fuente: Ingeominas y Universidad Nacional de Colombia (2010)

Como complemento al análisis probabilista, en el estudio AIS (2009) se llevó a cabo un análisis determinista en el que se evaluó la aceleración máxima utilizando sismos históricos como fuentes sísmicas y las ecuaciones de atenuación de Donovan (1973).

En el estudio AIS (2009) se obtuvieron, para un periodo de retorno de 475 años, aceleraciones espectrales correspondientes a los siguientes periodos de vibración: 0,1, 0,3, 0,5, 1 y 2 segundos. Asimismo, se elaboraron mapas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos máximos del terreno para los siguientes periodos de retorno: 31, 225, 475, 1.000 y 2.500 años. Para ambos casos se consideraron las ecuaciones de atenuación de Gallego (2000), así como las de Campbell (1997) y García *et al.* (2005).

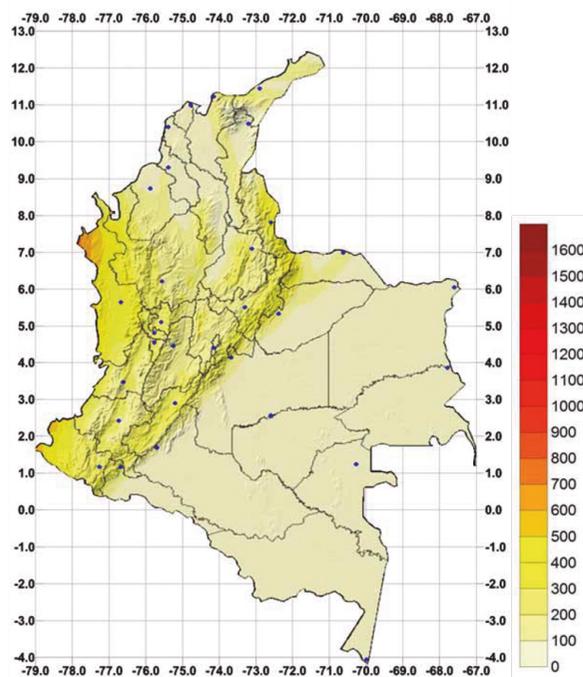
La figura 6 presenta aceleraciones máximas estimadas considerando, a) la ecuación de atenuación de Gallego (2000), y b) el modelo de atenuación Campbell

(1997) y García *et al.* (2005). Los resultados de ese estudio se encuentran publicados en Salgado *et al.* (2010).

En la figura 6 se observa una distribución similar a la obtenida en los estudios de AIS, Uniandes e Ingeominas y García *et al.* (1984). Las zonas de mayor amenaza se encuentran al norte del departamento de Nariño y de Chocó, así como en el departamento de Norte de Santander y Arauca, en la frontera con Venezuela. En estas zonas, las aceleraciones pico varían entre 0,4 y 0,5 g.

Entre las evaluaciones más recientes de amenaza sísmica se encuentra el modelo generado por Bernal (2014), que incluyó el desarrollo de ecuaciones de atenuación para el país siguiendo un enfoque de espectro de fuente. Estos resultados se usaron en la definición de parámetros de diseño de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14 (MinTransporte, 2015), y fueron publicados por Salgado *et al.* (2016).

(a) Ecuación de atenuación de Gallego (2000)



(b) Modelo de atenuación Campbell (1997) y García *et al.* (2005)

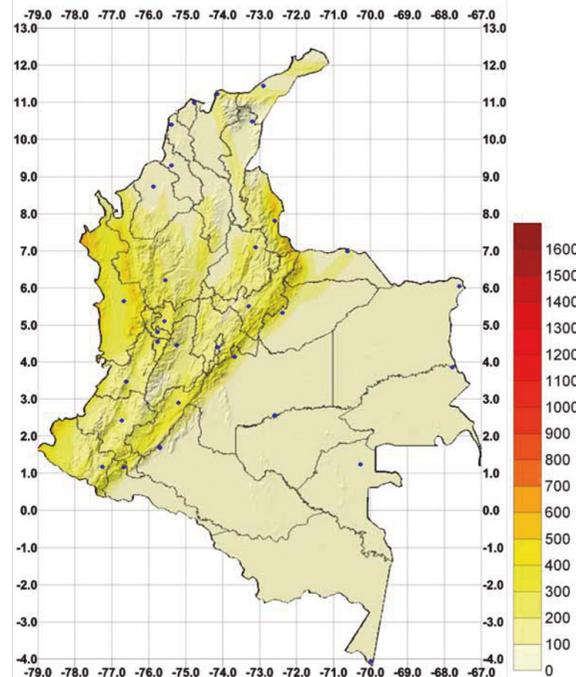


Figura 6. Aceleración pico para un periodo de retorno de 475 años. **a)** Ecuación de atenuación de Gallego (2000); **b)** ecuación de atenuación de Campbell (1997) y García *et al.* (2005)
Fuente: AIS (2009)

De los antecedentes de la evaluación de la amenaza sísmica en Colombia se destaca la consideración de diferentes alternativas de análisis en el modelo AIS *et al.* (1996), así como la evaluación de ecuaciones de atenuación llevada a cabo en los modelos de Ingeominas y Universidad Nacional de Colombia (2010) y AIS (2009) y en Bernal (2014).

Teniendo en cuenta las anteriores experiencias, el SGC considera que pueden enfocarse mejoras en el entendimiento y modelación de la amenaza sísmica en los siguientes tópicos, entre otros:

- ▮ Inclusión de criterios geofísicos, de información geológica, tectónica y del catálogo de eventos sísmicos para una mejor definición de la geometría de las fuentes sísmicas.
- ▮ Consideración de modelos de sismicidad suavizada con el fin de reducir la subjetividad en la definición de la geometría de fuentes sísmicas.
- ▮ Caracterización de fallas activas para la modelación de fuentes sísmicas superficiales desde un punto de vista tectónico.
- ▮ Revisión de la geometría y de los parámetros de sismicidad de las fuentes de subducción.
- ▮ Evaluación y selección de ecuaciones de atenuación que mejor representen las intensidades del movimiento observadas según los diferentes ambientes tectónicos.

Considerando los anteriores tópicos, y con el fin de contribuir al conocimiento de la amenaza sísmica del país, el SGC y la Fundación Global Earthquake Model llevaron a cabo un modelo de amenaza sísmica cuyas principales características y resultados se describen en el presente estudio.

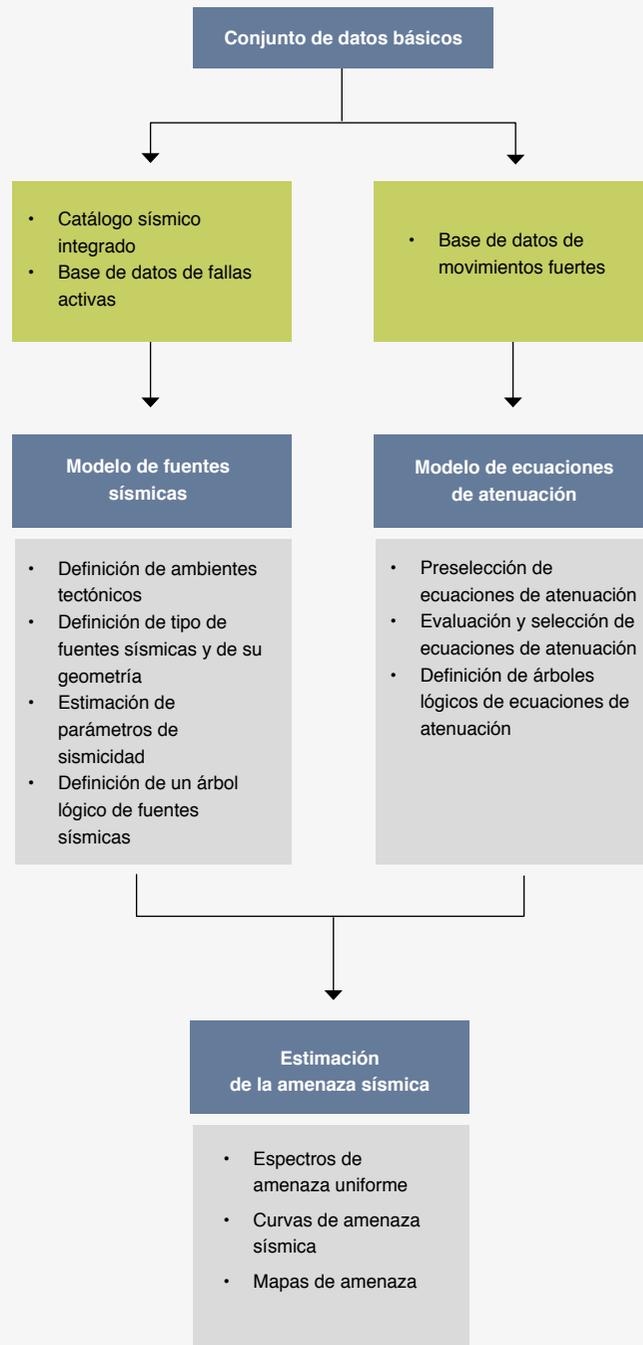


Figura 7. Esquema metodológico del modelo de amenaza sísmica

1.3 Estructura de la publicación y del modelo de amenaza sísmica

La figura 7 presenta un esquema metodológico del modelo de amenaza sísmica y de la estructura del presente estudio. El capítulo 2 presenta los objetivos y alcances; en el capítulo 3 se describen las fuentes de información y los insumos para la construcción del modelo de amenaza sísmica, que corresponden a la conformación de un catálogo sísmico integrado, una base de datos de fallas activas y una base de datos de movimiento fuerte.

El capítulo 4 se dedica a la definición de las fuentes sísmicas, su caracterización sismotectónica, su distribución geográfica y la definición de relaciones de recurrencia de magnitudes. Al respecto, se realiza una caracterización de la sismicidad según ambientes tectónicos, se describe el tipo de fuentes sísmicas y se estiman sus parámetros de sismicidad a partir de los datos del catálogo sísmico integrado o usando criterios tectónicos.

Se consideran diferentes alternativas para modelar la sismicidad superficial mediante fallas activas,

modelos de sismicidad suavizada y modelos de sismicidad equiprobable. A la vez, para modelar la sismicidad interplaca del Pacífico se consideran diferentes fuentes, según las profundidades de los eventos y la segmentación de las fuentes. De modo similar, para la zona de Benioff se consideran diferentes fuentes, según la profundidad de los sismos. Las anteriores alternativas de modelación se resumen en un árbol lógico de fuentes sísmicas.

En el capítulo 5 se detalla el proceso de selección de las ecuaciones de atenuación que se utilizarán para calcular las intensidades del movimiento. Para cada ambiente tectónico se preselecciona un conjunto de ecuaciones que se evalúan según su ajuste con los datos observados, disponibles en la base de datos de movimiento fuerte. Como resultado se define un árbol lógico de ecuaciones según ambiente tectónico.

La metodología de cálculo de la amenaza sísmica se describe en el capítulo 6. Por último, los resultados de la estimación probabilista de la amenaza sísmica nacional se presentan en el capítulo 7.



Objetivos y alcance



2.1 Objetivos

El presente estudio tiene como objetivo general elaborar un modelo probabilista de amenaza sísmica para Colombia. Los objetivos específicos son los siguientes:

Consolidación de datos básicos para el análisis

- || Crear un catálogo integrado de eventos sísmicos, considerando los eventos registrados por la Red Sismológica Nacional, registros de eventos históricos, así como catálogos internacionales.
- || Consolidar una base de datos de fallas activas con información relevante para la modelación de la amenaza sísmica.
- || Conformar una base de datos de movimiento fuerte a partir de registros de la Red Nacional de Acelerógrafos del SGC.

Definición de fuentes sísmicas

- || Definir ambientes tectónicos y clasificar la sismicidad según esos ambientes.

- || Para cada ambiente tectónico, identificar el tipo de fuentes sísmicas adoptadas para la modelación y establecer los principales supuestos.
- || Modelar la sismicidad superficial a partir de modelos alternativos (equiprobable y de sismicidad suavizada). Complementar los análisis con información de fallas activas.
- || Proponer una geometría de las fuentes sísmicas asociadas al proceso de subducción del Pacífico, así como a la zona de Benioff y el nido sísmico de Bucaramanga, teniendo en cuenta la distribución geográfica de magnitudes y profundidad de las fuentes.
- || Estimar los parámetros de sismicidad de las fuentes identificadas en el estudio.
- || Elaborar un árbol lógico de fuentes sísmicas en el que se consideren incertidumbres asociadas a la definición de las fuentes y el estado actual del conocimiento.

Selección de ecuaciones de atenuación

- || Para cada ambiente tectónico reconocido, preseleccionar un conjunto de ecuaciones de atenuación aplicables para estimar la intensidad del movimiento del terreno, considerando desarrollos recientes, modelos existentes en la bibliografía técnica y criterios objetivos para tal preselección.
- || Realizar un proceso de selección cuantitativo de las ecuaciones de atenuación preseleccionadas para identificar las que mejor se ajusten a las intensidades del movimiento observadas.
- || Elaborar un árbol lógico de ecuaciones de atenuación correspondiente a cada ambiente tectónico.

Evaluación de la amenaza sísmica

- || Obtener mapas de aceleraciones espectrales a escala nacional considerando diferentes periodos de vibración y periodos de retorno.
- || Estimar curvas de excedencia de intensidades del movimiento, así como espectros de amenaza uniforme correspondientes a una malla de puntos del país.

2.2 Alcances y limitaciones

En este estudio de amenaza sísmica se estiman, dado un periodo de exposición, las probabilidades de excedencia de diferentes intensidades del movimiento del terreno. Dichas intensidades se expresan en términos de aceleraciones espectrales, que se calculan a nivel de roca firme, con velocidad de onda de corte promedio en los 30 m superficiales de 760 m/s. En este estudio no se presentan estimaciones de amenaza sísmica considerando efectos de sitio.

A continuación se presentan alcances y limitaciones en términos del área de estudio, los insumos utilizados, la metodología de cálculo y los resultados obtenidos.

Área de estudio. La amenaza sísmica se calcula en una malla de puntos que abarca el territorio colombiano. En cada punto se obtienen curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme de los centros poblados

del país, de acuerdo con la información cartográfica disponible en el Marco Geoestadístico Nacional del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Insumos para el análisis de amenaza sísmica. Para la elaboración del modelo de amenaza sísmica se utilizaron diversas fuentes de información, tanto para la caracterización de las fuentes sísmicas (dónde ocurren los sismos y cuáles son sus características), como para el cálculo de las intensidades del movimiento, teniendo en cuenta diferentes ecuaciones de atenuación. Descripciones generales de los datos utilizados se presentan a continuación, y en el capítulo 3 se presentan mayores detalles sobre los insumos básicos utilizados para la modelación de la amenaza sísmica.

Catálogos sísmicos. Se recopiló información de catálogos sísmicos de diferentes instituciones de orden global y nacional. Los datos utilizados corresponden a los disponibles en septiembre de 2014.

Base de datos de movimiento fuerte. Se recopiló y procesó información de la red nacional de acelerógrafos registrada entre junio de 1994 y abril de 2017. También se consideró información registrada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica de Ecuador respecto al sismo de Pedernales del 16 de abril de 2016 y sus réplicas.

Información geológica y sismológica. Para definir fuentes sísmicas corticales se emplearon datos geológicos recientes sobre la definición del límite de Mohorovičić, así como resultados de estudios de la anomalía de Bouguer, espesor de la corteza y gradiente térmico. Se utilizó información del SGC y de instituciones globales sobre mecanismos focales de los sismos y trayectorias de máximos esfuerzos.

Base de datos de fallas activas. Se cuenta con una base de datos de fallas activas en la que se incluye información sobre la geometría y las características

geodinámicas de las fallas, útil para caracterizar su sismicidad.

Metodología de análisis. Para calcular la amenaza sísmica se adopta una metodología probabilista. Entre los principales supuestos del modelo se encuentra la independencia de los eventos, de tal manera que la ocurrencia de un sismo no afecta las probabilidades de ocurrencia de otro. Bajo este supuesto, la ocurrencia de sismos se modela mediante una distribución de Poisson en la cual se asume que la tasa de ocurrencia de movimientos telúricos es constante en el tiempo. En el presente estudio no se consideran modelos de sismicidad que dependan del tiempo.

Teniendo en cuenta que pueden existir diferentes alternativas para el cálculo de la amenaza según los modelos de sismicidad utilizados, diferentes propuestas de la geometría de las fuentes sísmicas y diferentes ecuaciones de atenuación aplicables, se elaboró un árbol lógico en el que se definen múltiples casos de análisis y se les asignan distintos pesos, según el criterio de los autores.

Uso de los resultados. Los resultados del presente estudio corresponden a mapas de amenaza, curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme en roca firme, y pueden ser utilizados como referencia para actividades de conocimiento y reducción del riesgo sísmico, así como para fortalecer la capacidad de respuesta ante desastres de escalas nacional y regional, en términos de factibilidad.

Los resultados del presente estudio en ningún caso reemplazan los coeficientes sísmicos de diseño establecidos en algún reglamento de diseño sismo-

resistente, o bien los resultados de estudios específicos llevados a cabo sobre obras de infraestructura.

El Modelo Nacional de Amenaza Sísmica fue concebido, principalmente, para la estimación de intensidades sísmicas a nivel de roca firme; sin embargo, a juicio del usuario, el modelo podrá utilizarse en la estimación de intensidades sísmicas en superficie a partir de dos enfoques:

- a. Mediante la propagación de la amenaza en roca, a superficie, a través de funciones de transferencia obtenidas del análisis de la respuesta dinámica de los depósitos de suelo en el sitio bajo estudio. Este enfoque deberá emplearse en estudios de microzonificación sísmica, y en estudios particulares de sitio.
- b. Mediante la adopción/asignación de perfiles de velocidad de onda de corte (V_s) para los sitios de análisis, y su evaluación directa en las ecuaciones de atenuación que conforman el modelo de movimiento fuerte del modelo. Se aclara que las ecuaciones de atenuación deberán usarse únicamente en el rango de valores de V_s para el cual fueron calibradas, y el usuario será responsable de revisar dichos rangos en la literatura correspondiente citada en este documento. Claramente, este enfoque deberá emplearse en estudios regionales y/o locales de amenaza sísmica, para los cuales la escala de análisis e incertidumbre en la estimación de intensidades sísmicas en superficie sea aceptable.

Para la ejecución del segundo enfoque se requerirán modelos (perfiles) detallados de V_s , como el modelo nacional (Eraso y Montejo, 2019), desarrollado a escala 1:3.000.000, por ejemplo.



Conjunto de datos básicos



En Colombia, la información existente sobre sismos es de variada índole. Por un lado, se cuenta con datos de carácter histórico y geográfico, a partir de los cuales se infiere la localización y severidad de terremotos ocurridos en épocas en que no se contaba con instrumentos para su registro. Por otro lado, existen bases de datos provenientes de redes instrumentales, a través de las cuales se obtienen parámetros objetivos que describen los sismos.

Por otra parte, en el país existe información derivada de la observación geológica, mediante la cual es posible localizar fallas, describir su geometría y estimar su actividad sísmica. A partir de la compilación y los análisis de los datos existentes es recomendable elaborar modelos y estimaciones que permitan a la comunidad en general estar al tanto de la amenaza sísmica a la que está expuesta. Tales actividades hacen parte de las funciones del Servicio Geológico Colombiano relacionadas con la integración de conocimien-

tos, compilación de información y evaluación de amenazas geológicas.

A partir del conocimiento actual del SGC no es posible determinar con exactitud dónde y cuándo se presentarán sismos, ni las intensidades del movimiento que éstos generarán en el territorio. Dada esta limitación, en el presente estudio se adopta una metodología probabilista mediante la cual es posible obtener, entre otros resultados, el valor promedio y rangos de variación de las intensidades del movimiento para correspondientes a determinados periodos de retorno.

En este capítulo se presenta el conjunto de datos básicos que respaldan el modelo y las estimaciones de amenaza sísmica obtenidas para Colombia. Por un lado, se describe la elaboración de un catálogo sísmico integrado que corresponde a la compilación y el análisis de información de sismos que se han presentado en la zona de estudio, en términos de su localización, magnitud y profundidad, entre otras características. Entre los objetivos

de dicho catálogo se encuentra la obtención de una adecuada cobertura espacial y temporal de eventos sísmicos, de tal manera que se tenga información suficiente para definir la geometría de las fuentes sísmicas y para caracterizar su tasa de actividad.

Como complemento a la definición de fuentes sísmicas, en este capítulo se presenta una base de datos de fallas activas que corresponde a la caracterización sistemática de la geometría y las características geodinámicas de fallas activas identificadas en Colombia.

Por otro lado, se describe la información disponible en los registros acelerográficos de sismos ocurridos en la zona de estudio, así como los procedimientos de procesamiento aplicados a dichos registros. Esta información permite conocer las intensidades de tales eventos en diferentes puntos de observación. A partir de estos datos es posible realizar simplificaciones para calcular de manera aproximada las aceleraciones esperadas en un sitio analizado, debido a la ocurrencia de un sismo de ciertas características, situado a una distancia determinada.

3.1 Catálogo Sísmico Integrado

El SGC elaboró el Catálogo Sísmico Integrado (CSI) a partir de la compilación y revisión de información de sismos registrados en diferentes catálogos globales y nacionales. Para elaborar el CSI se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- || Priorización e integración de catálogos, actividad que corresponde a la selección de la información más confiable de cada catálogo y la remoción de soluciones (eventos) duplicadas.
- || Homogeneización del tipo de magnitud a momento sísmico (M_w), que incluye información de estudios de sismicidad histórica desarrollados por el SGC.
- || Remoción de eventos dependientes.
- || Análisis de completitud.

En las siguientes secciones se presentan los catálogos sísmicos utilizados, los procedimientos de in-

tegración y homogeneización de datos, así como los principales resultados del CSI.

3.1.1 Catálogos sísmicos utilizados

Para la construcción del CSI se utilizaron catálogos de agencias globales y nacionales. Los catálogos globales consultados fueron los siguientes:

- || *EHB*: Engdahl, van der Hilst and Buland catalogue (ISC, 2012; Engdahl *et al.*, 1998)
- || *ISC-GEM*: International Seismological Centre-Global Earthquake Model (Di Giacomo *et al.*, 2014; Storchak *et al.*, 2013)
- || *ISC*: International Seismological Centre (ISC) (Bondár y Storchak, 2011)
- || *Centennial* (Engdahl y Villaseñor, 2002)
- || *ANNS Composite (ANSS)* (NCEDC, 2013)
- || *NEIC-ANSS Comprehensive* (USGS, 2014)
- || *GCMT*: Global Centroid Moment Tensor Catalog (GCMT) (Dziewonski *et al.*, 1981; Ekström *et al.*, 2012; Storchak *et al.* 2013)
- || *IDC* International Data Center (IDC) (ISC, 2015)

Los catálogos nacionales utilizados fueron los siguientes:

- || *SGC*: Servicio Geológico Colombiano (Colombia)
- || *IGEPN*: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica (Ecuador) (Beauval *et al.*, 2013)
- || *CASC*: Centro Sismológico de América Central (Alvarenga *et al.*, 1998)
- || *Funvisis*: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Venezuela)
- || *Ineter*: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter, 2016)

La tabla 2 resume las principales características de cada uno de los catálogos consultados. Se aclara que el número de eventos de cada catálogo corresponde al número de sismos considerados en el desarrollo del CSI del modelo nacional de amenaza sísmica de Colombia. En el anexo A se presenta una breve descripción de los catálogos consultados.

Tabla 2. Características generales de la información usada de los catálogos globales y locales en la construcción del catálogo integrado

Catálogo	Período		Tipo de magnitud	N.º de eventos
	Desde	Hasta		
EHB	1906	2009	mb Ms	2.140
ISC-GEM	1906	2012	Mw	664
ISC	1904	2012	Ms mb	19.217
Centennial	1901	1959	Mw mB Ms Unk	57
ANNS	1930	1972	mb Ms Unk	1.790
NEIC	1973	2014	Mw Ms mb me	8.320
GCMT	1976	2014	Mo	703
IDC	2013	2014	mb	290
SGC	1993	2014	ML Mw	23.336
IGEPN	1994	2009	Md mb	3.899
CASC	1992	2013	md MW	751
Funvisis	2008	2009	Md	647
Ineter	2008	2013	Mw	7

Nota. Tipos de magnitudes consideradas: magnitud de ondas de cuerpo-periodo corto (mb); magnitud de ondas de cuerpo-banda ancha (mB); magnitud de ondas superficiales (Ms); magnitud de energía (me) Mo: momento sísmico escalar; magnitud local (ML); magnitud momento (Mw); magnitud de duración (Md); desconocida (Unk).

3.1.2 Priorización e integración de los catálogos seleccionados

El principal objetivo de la integración de catálogos es obtener una base de datos de sismos homogénea, en la cual se encuentre una única descripción de cada evento. El proceso de comparación y unificación de catálogos intenta resolver las siguientes particularidades:

- || *Periodos de información.* El periodo de información reportada por una agencia, o contenido en un catálogo, no es el mismo en todos.
- || *Calidad de la información y variación temporal de la cobertura.* La cobertura de la red de estaciones de las agencias en la zona de análisis no es la misma y varía con el tiempo. Adicionalmente, la calidad de la información varía entre catálogos dependiendo de la cobertura de la red de estaciones y del tipo de procedimiento utilizado para analizar la información registrada.

|| *Procesamiento y compilación de datos de los catálogos seleccionados.* Para la unificación de catálogos es necesario distinguir entre datos generados directamente por una agencia y datos generados a partir de compilación de información de varias fuentes. También es posible que los datos de un mismo sismo provengan de diferentes catálogos. Por ejemplo, la información de la solución hipocentral puede provenir de una agencia, mientras que los datos de su magnitud pueden provenir de otra.

Para abordar estos puntos se estableció un conjunto de criterios de priorización que facilita la integración de la información de los catálogos sísmicos. Tales criterios permiten elegir qué información de un catálogo se prefiere a la de otro, en caso de que dos o más catálogos ofrezcan una solución sobre un mismo evento. En las siguientes secciones se describen los criterios de priorización adoptados.

3.1.2.1 Criterios generales de priorización

De la tabla 3 a la 5 se presentan los criterios adoptados para priorizar la calidad de la información registrada en los catálogos utilizados, en cuanto a localización, magnitud y tipo de magnitud. En estas tablas, la prioridad expresa el orden en que deben escogerse los catálogos (cuanto menor sea el valor, mayor será la prioridad).

Tabla 3. Criterios de priorización para la localización de los sismos

Prioridad	Descripción
1	La agencia/catálogo reporta su propia localización/re-localización con metodologías mejoradas, para todo el periodo del catálogo integrado.
2	La agencia/catálogo reporta su propia localización/re-localización con metodologías mejoradas, para un periodo específico del catálogo.
3	La agencia/catálogo reporta localizaciones de otras agencias con metodologías reconocidas.

Tabla 4. Criterios de priorización para la magnitud de los sismos

Prioridad	Descripción
1	La agencia reporta su propio cálculo/recálculo con metodologías conocidas para todo el periodo del catálogo integrado.
2	La agencia reporta un recálculo de magnitud con metodologías conocidas para todo el periodo del catálogo integrado.
3	La agencia reporta una aproximación de la magnitud con un proxy reconocido para todo el periodo del catálogo integrado.
4	Que se cumplan las anteriores, para periodos específicos del catálogo.
5	La agencia reporta magnitudes de otras agencias con metodologías reconocidas.

Tabla 5. Criterios de priorización según el tipo de magnitud

Prioridad	Descripción
1	Magnitud de momento (Mw)
2	Magnitud de ondas de superficie (Ms y MS)
3	Magnitud de ondas de cuerpo (mb)
4	Magnitud local (ML)
5	Otras, de las cuales se conozca un proxy reconocido para Mw

3.1.2.2 Matrices de priorización

A partir de los anteriores criterios se definieron matrices de priorización para localización, considerando diferentes periodos y rangos de magnitudes para cada una de las agencias o catálogos seleccionados.

En la tabla 6 se presenta la matriz de priorización para localización. Al respecto, se señala que las agen-

cias IGEPN, CASC y SGC únicamente aportan al catálogo a partir de los años noventa. Por su parte, el aporte del catálogo IDC se aprecia desde comienzos de los años dos mil. Cada uno de los periodos corresponde a un hito o hecho histórico que afecta la capacidad de registro y análisis de la información sísmica.

Tabla 6. Matriz de prioridad para localización correspondiente a cada uno de los catálogos seleccionados

Fuente	Prioridad
SGCi	1
ISC-GEM	2
EHB	3
CENT	4
ISC-REV	5
IDC	6
GUTE	7
NEIC	8
ISC	9
IGEPN	10
CASC	11
SGCo	12

Nota: El catálogo SGCi corresponde a eventos ubicados al interior de la zona de confiabilidad definida según parámetros de error en la localización en latitud, longitud y profundidad, además de los límites de los ángulos de mayores aberturas azimutales entre estaciones (GAP). Por su parte, el catálogo SGCo corresponde a eventos ubicados fuera de la zona de confiabilidad. Detalles sobre estos catálogos se encuentran en el anexo A.

La tabla 7 presenta la matriz de priorización por magnitud correspondiente a cada uno de los catálogos seleccionados, de acuerdo con los criterios adoptados. Las matrices presentadas en las tablas 6 y 7 permiten identificar y seleccionar una solución preferida en los casos en que exista más de una solución para un mismo evento. A partir de estas matrices es posible identificar y remover eventos repetidos de catálogos o fuentes de información de menor prioridad.

Además de las matrices de prioridad, se señala que para la construcción del CSI se dio prelación a las soluciones de los eventos sísmicos provenientes del catálogo de sismos históricos del SGC (SGC-H), que contiene soluciones revisadas de sismos desde el año 1644.

La tabla 8 y la figura 8 presentan el número de eventos aportados según agencia y los criterios de localización y magnitud. En esa figura se puede observar que la mayor cantidad de soluciones utilizadas son tomadas del SGC, seguidas por las del ISC-REV, mientras que las agencias que menos aportan son CENT y GUTE.

Tabla 7. Matriz de priorización por magnitud correspondiente a cada uno de los catálogos seleccionados

Catálogo	Mw	me	MS	Ms	Ms	mb	mB	Mb	ML	Md
GCMT	1									
ISC-GEM	2									
CENT	3			7			15			
NEIC	4	5		11	10	17		18		
ISC-REV			6			13				
PAS			8							
EHB				9				16		
SGCi	12								19	
IDC						14				
IGEPN										20
CASC	21					22				
SGCo	23								24	

Tabla 8. Número de eventos aportados por agencia luego de la priorización

Agencia	N.º localización	N.º magnitud
CASC	446	455
CENT	3	9
EHB	1.411	27
GCMT	0	701
IDC	205	179
IGEPN	3.113	3.635
ISC-GEM	532	297
ISC-REV	5.693	7.532
NEIC	391	691
PAS	0	25
	SGC-H	40
SGC	SGCi	19.376
	SGCo	1.714
GUTE	25	0

La figura 8 presenta las soluciones preferidas de acuerdo con los criterios de priorización adoptados para la selección de la localización. En esta figura se observa la relevancia de los catálogos ISC-REV, ISC-GEM, EHB y NEIC en términos de número de eventos. Asimismo, se destacan los aportes de los catálogos ISC-GEM, GUTE y SGC en cuanto a la magnitud de los sismos.

En la figura 9 se puede observar la importancia de los catálogos ISC-REV y EHB para modelar la sismicidad en el Pacífico colombiano y en el nido sísmico de Bucaramanga. A la vez, se considera que el catálogo SGCi puede tener mayor influencia en la definición de la sismicidad cortical.

Sobre los resultados de la figura 9 vale la pena resaltar que el catálogo GCMT es una fuente prioritaria para la definición de la magnitud Mw de los sismos. No obstante, este catálogo no se incluye dentro de las prioridades presentadas en la tabla 6 para establecer la ubicación de los eventos. Por esta razón, en la figura 9 no se encuentran eventos localizados según el catálogo GCMT.

En cuanto a la distribución geográfica de los sismos, en la figura 10 se puede observar la contribución de catálogos de tipo regional y local fuera de Colombia, tales como los catálogos de CASC y de IGEPN.

La figura 11 presenta la distribución geográfica de los sismos aportados por el SGC (en términos de localización). En esta figura se puede observar que el mayor número de eventos corresponden al catálogo SGCi, seguido del SGCo y finalmente del SGC-H. Sin embargo, cabe resaltar la importancia del aporte de los sismos históricos debido a que todos los eventos tienen valores de Mw mayores de 5.

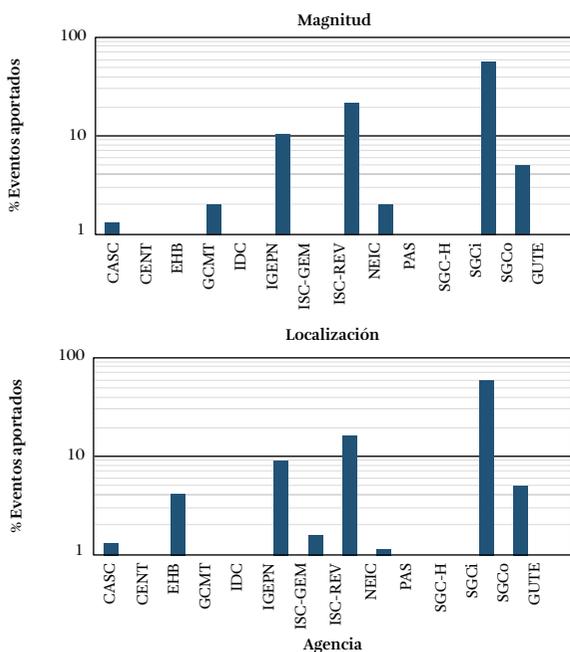


Figura 8. Participación de las agencias en términos de magnitud y localización de los eventos

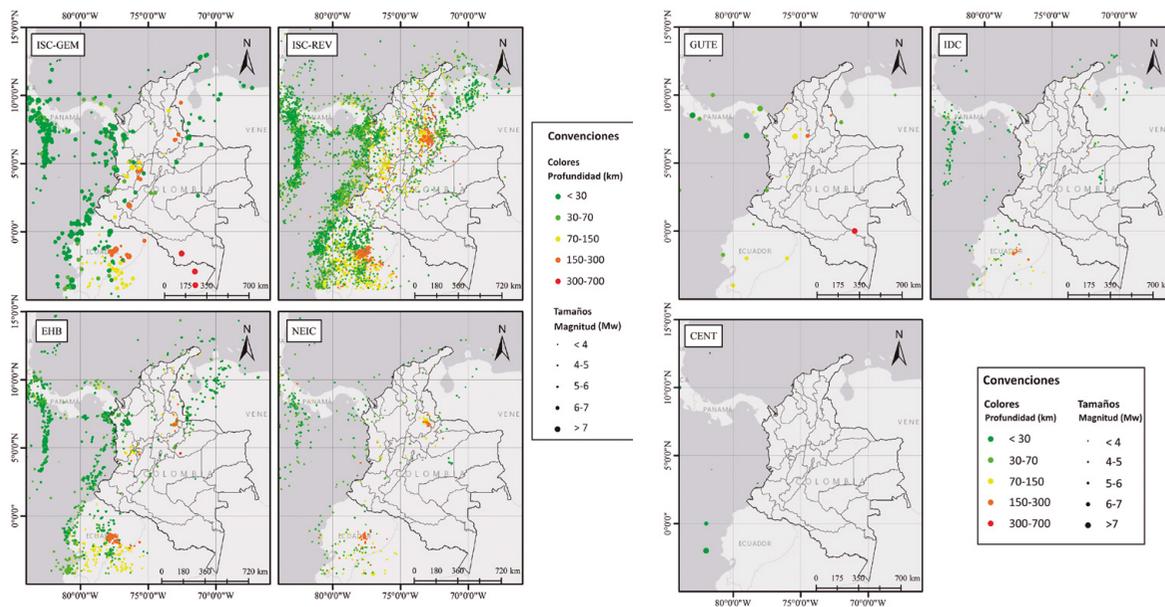


Figura 9. Soluciones preferidas de los catálogos consultados

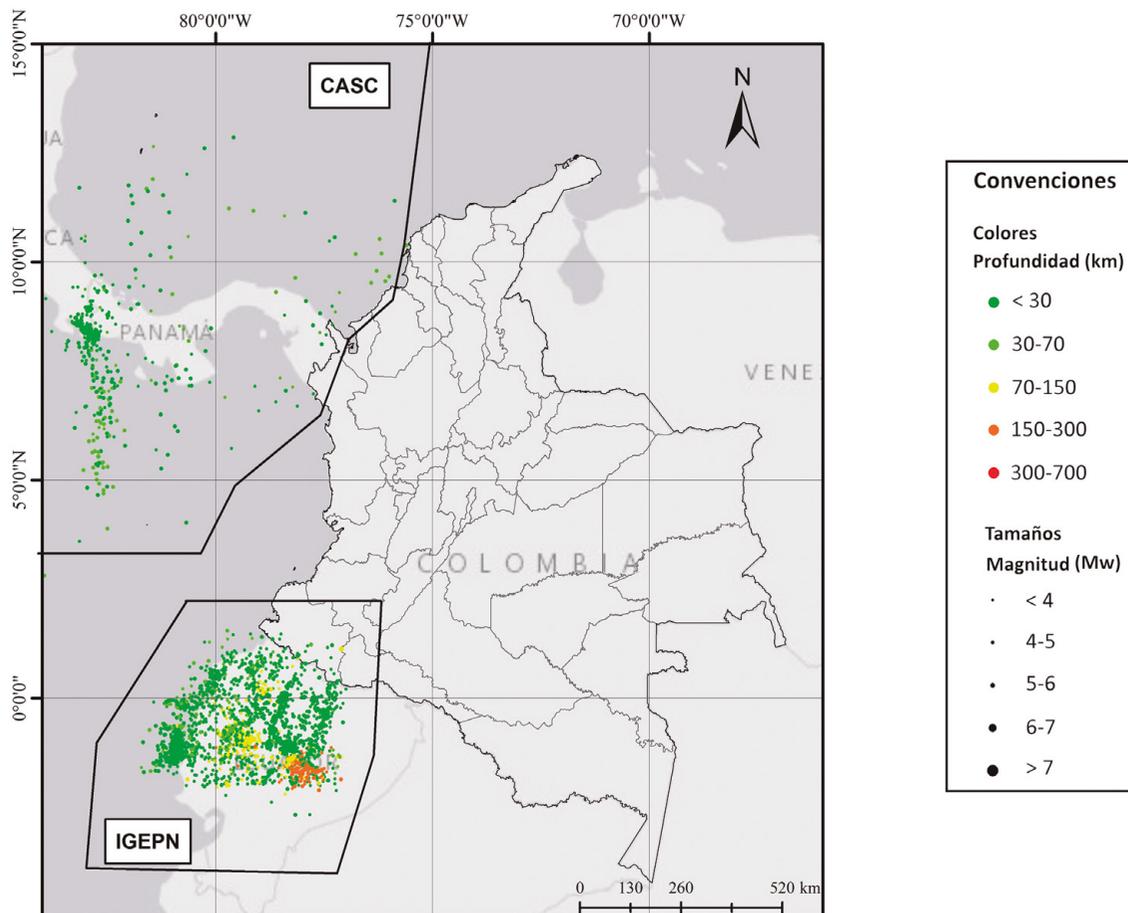


Figura 10. Soluciones preferidas de los catálogos regionales consultados

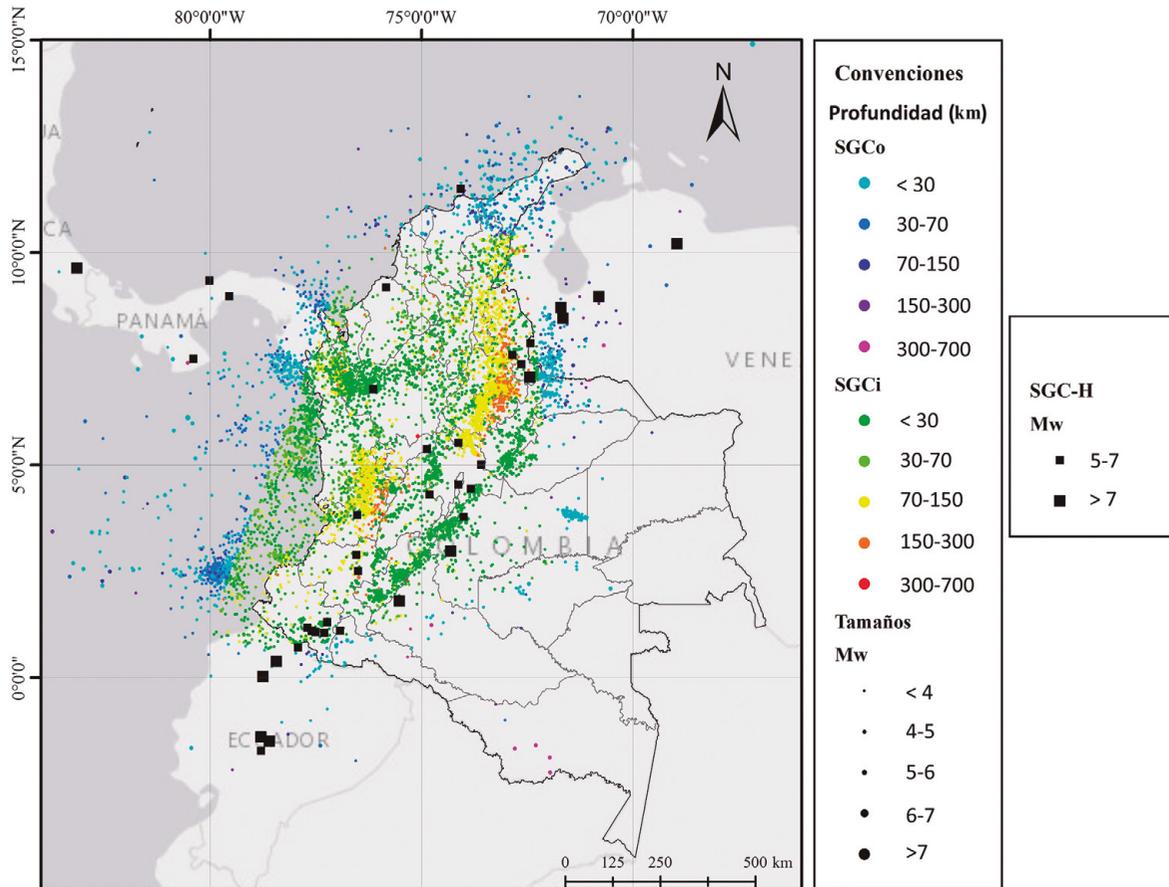


Figura 11. Soluciones preferidas del catálogo del Servicio Geológico Colombiano

3.1.3 Homogeneización de magnitudes

Los diferentes tipos de magnitudes reportadas por los catálogos seleccionados fueron homogeneizados a Mw. Esta homogeneización obedece principalmente a que las ecuaciones de predicción del movimiento del suelo (GMPE, por sus siglas en inglés) usadas para la estimación de la amenaza sísmica están en función de Mw. Además, la magnitud de momento refleja más adecuadamente las características de la fuente sísmica y es más estable en un rango de valores de magnitud más amplio.

Se plantearon diferentes alternativas de relaciones globales desarrolladas por varios autores, relacionando Mw con otro tipo de magnitud, como las presentadas en Di Giacomo *et al.* (2014), Bondár y Storchak (2011) y Bormann *et al.* (2009), entre otros.

Sin embargo, estas relaciones presentan una gran variación en los parámetros obtenidos. Tal variación se debe, entre otros factores, al tipo de relación calculada, al número de eventos, la fuente de información usada y el rango de validez de las mismas. De esta manera, es posible obtener una marcada sub o sobrestimación de magnitudes, según el caso.

Con el fin de evitar la subjetividad en la selección de una u otra relación entre magnitudes, o bien el uso de diferentes relaciones de una misma magnitud, se calcularon relaciones usando valores de Mw estimados a partir de Mo (reportado por el GCMT por medio del tensor de momento). También se consideraron los valores de mb y Ms estimados por el NEIC y presentados por el GCMT, correspondientes a los mismos eventos que cuentan con magnitud Mw.

Debido a la distribución de los datos, se usaron relaciones exponenciales y bilineales (Scordillis, 2006) que presentan un ajuste adecuado. Se utilizó información de sismos ocurridos entre 1976 y 2015, para un total de 37.849 eventos para mb y 21.070 eventos para Ms.

Finalmente, las relaciones bilineales fueron preferidas a las exponenciales debido a su mejor ajuste a la población de datos, especialmente en magnitudes mayores de 6.

A continuación se presentan las relaciones desarrolladas para Mw-mb, Mw-Ms y Ms-Mw.

En el catálogo del IGEPN se usó la relación entre Mw y Md desarrollada por sus autores (Beauval *et al.*, 2013). Teniendo en cuenta los criterios y matrices de priorización adoptados según magnitudes, no se consideró necesario utilizar relaciones con otro tipo de magnitudes.

3.1.3.1 Relación entre Mw (GCMT) y mb (NEIC-GCMT)

La tabla 9 presenta los parámetros obtenidos en el cálculo de magnitudes Mw a partir de magnitudes mb. En la figura 12 se presentan los datos observados y las relaciones obtenidas.

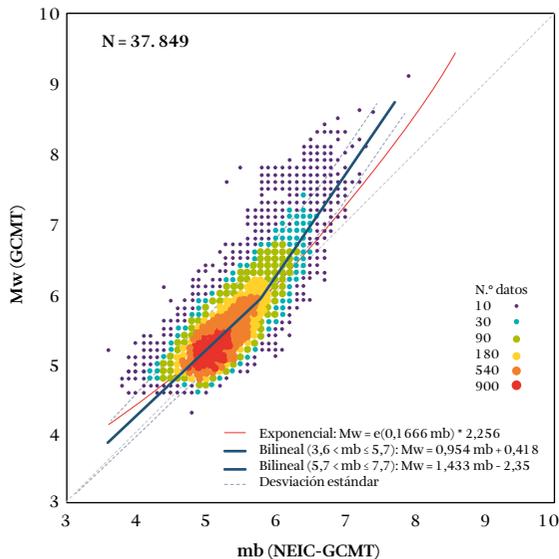


Figura 12. Relación entre magnitudes Mw (GCMT) y mb (NEIC-GCMT) en 37.849 eventos

Tabla 9. Relaciones obtenidas entre magnitud Mw (GCMT) y mb (NEIC-GCMT)

Relación	rms	R ²	σ
Mw (3,6 < mb ≤ 5,7) = 0,954 mb + 0,42	0,08	0,64	0,28
Mw (5,7 < mb ≤ 7,7) = 1,433 mb - 2,35	0,13	0,5	0,36

3.1.3.2 Relación entre Mw (GCMT) y Ms (NEIC-GCMT)

La tabla 10 presenta los parámetros obtenidos para el cálculo de magnitudes Mw a partir de magnitudes Ms. En la figura 13 se presentan los datos observados y las relaciones obtenidas.

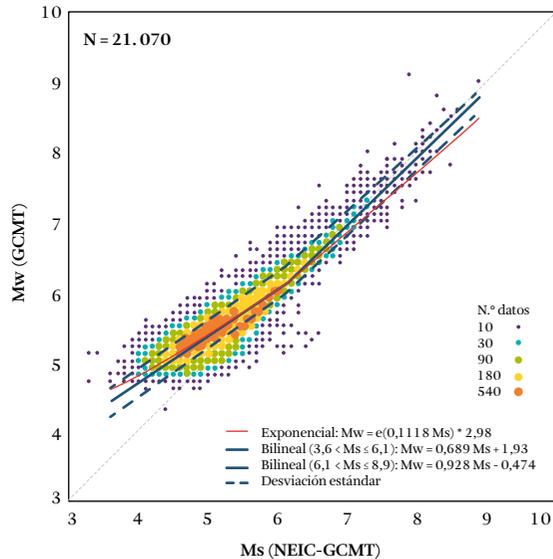


Figura 13. Relación entre magnitudes Mw (GCMT) y Ms (NEIC-GCMT) en 21.070 eventos

Tabla 10. Relaciones obtenidas entre magnitudes Mw (GCMT) y ms (NEIC-GCMT)

Relación	rms	R ²	σ
Mw (3,6 < Ms ≤ 6,1) = 0,689 Ms + 1,93	0,04	0,83	0,20
Mw (6,1 < Ms ≤ 8,9) = 0,928 Ms + 0,474	0,03	0,84	0,18

3.1.3.3 Relación entre Mw (GCMT) y ML (SGC)

En el presente estudio se considera que no existe información suficiente para una establecer una relación estadísticamente robusta entre eventos reportados con Mw por agencias globales y magnitudes ML calculadas por el SGC. Dada esta limitación, se llevó a cabo la siguiente aproximación: se estimó primero una relación entre mb (ISC) y ML (SGC); posteriormente se usó la relación esti-

mada entre mb y Mw. Detalles de la relación obtenida se encuentran en la tabla 11 y en la figura 14.

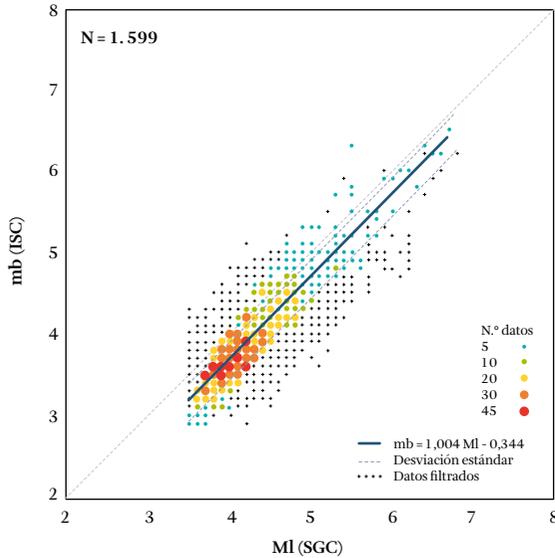


Figura 14. Relación entre mb (ISC) y ML (SGC) en 1.599 eventos

Tabla 11. Relaciones entre magnitudes Mb (ISC) y ML (SGC)

Relación	rms	R ²	σ
$mb[ML_{SGC}] (2,9 < ML \leq 6,1) = 1,0044 ML - 0,344$	0,05	0,81	0,22

Reemplazando estos resultados en la relación obtenida entre Mw y mb (véase la tabla 9), en el rango válido de datos del SGC, se obtiene la siguiente relación:

$$Mw (2,9 < ML \leq 6,1) = 0,958 ML + 0,1 (\sigma = 0,50)$$

3.1.3.4 Relación entre Mw (GCMT) y Md (IGEPN)

La siguiente expresión corresponde a la relación entre magnitudes Mw (GCMT) y Md (IGEPN). Esta relación es válida en todo el rango de valores de magnitudes contenidas en el catálogo del IGEPN, desarrollado por Beauval *et al.* (2013).

$$Mw = 0,93 (MD, Md, D) + 0,6 (\sigma = 0,3)$$

3.1.4 Características del CSI

El Catálogo Sísmico Integrado (CSI) resulta de la identificación de una solución preferida para cada evento, de acuerdo con las matrices de priorización definidas para los catálogos sísmicos utilizados, así como de la

homogeneización de magnitudes a la magnitud Mw. La tabla 12 presenta características generales del CSI. La figura 15 presenta la distribución epicentral de los eventos, que cubren el área geográfica de interés relativa a la amenaza sísmica en Colombia, comprendida entre las coordenadas -84,0° y -66,8° de longitud, y -4,8° y 14,9° de latitud.

Tabla 12. Características generales del CSI

Característica	Descripción
Número de eventos	34.681
Periodo (años)	1610-2014
Tipo de magnitud	Mw (homogeneizada)
Rango de magnitud	2,9-8,4
Rango de sigma Mw	0,0-1,18
Rango de profundidad (km)	0,0-700
Rango de valores de GAP (°)	0,0-360 (no disponible en algunas agencias)
Rango de número de estaciones	0-1.371 (no disponible en algunas agencias)
Rango de valor del RMS*	0-66,5 (no disponible en algunas agencias)

*GAP: ángulo máximo entre las líneas de conexión entre el epicentro del sismo y las estaciones de la red.

* RMS: Error cuadrático medio de los tiempos de viaje entre estaciones.

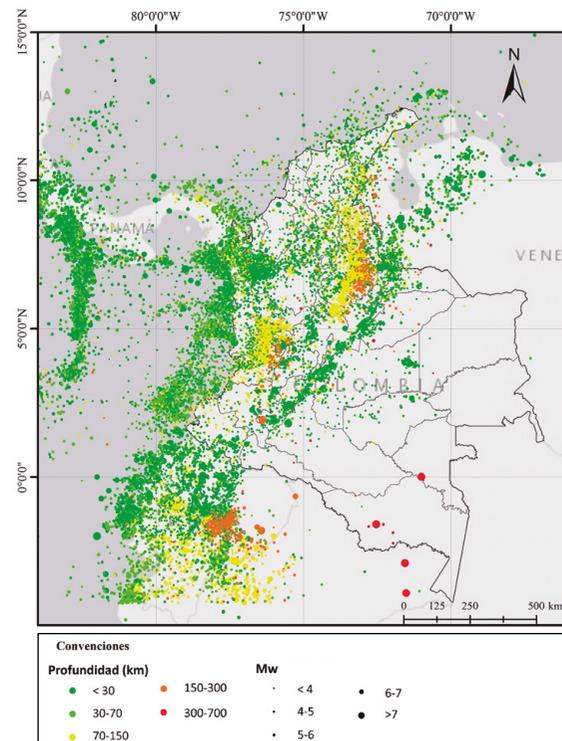


Figura 15. Mapa de distribución de hipocentros contenidos en el CSI. Periodo comprendido entre los años 1610 y 2014

3.1.5 Remoción de eventos dependientes del Catálogo Sísmico Integrado

Para la modelación de la amenaza se supone que los sismos son eventos aleatorios independientes. Bajo este supuesto, la ocurrencia de un sismo no afecta la de otro, siendo así constante la tasa de ocurrencia de eventos (tal tasa no varía ni depende del tiempo).

Para modelar un proceso estocástico en el que la tasa de ocurrencia de eventos es constante, es posible utilizar una distribución de probabilidad de Poisson. Para estimar dicha tasa de sismicidad es necesario identificar los eventos dependientes (tales como premonitores, réplicas y enjambres) y aislarlos de los eventos principales o independientes. A este proceso de remover eventos dependientes que forman agrupaciones o *clusters*, y que están relacionados en el tiempo y en el espacio, se lo conoce como *declustering*.

Existen diversos algoritmos para identificar eventos dependientes y remover los dependientes, entre los que se destacan los desarrollados por Gardner y Knopoff (1974); Reasenberg (1985); Aftoran (Musson, 1999); Zhuang *et al.* (2002); Hainzl *et al.* (2006), entre otros.

En el presente estudio se usó el algoritmo de Gardner y Knopoff implementado en la herramienta Hazard Modeller's Toolkit (HMTK) del motor de cálculo OpenQuake (Weatherill, 2014). Dicho algoritmo permite la identificación de eventos principales y la remoción de eventos dependientes a partir de la definición de una ventana espacio-temporal capaz de discriminar los premonitores y las réplicas a partir de la magnitud de los eventos principales y su relación geográfica y espacial con eventos de magnitud inferior.

Así, un evento se considera dependiente si ha ocurrido a cierta distancia y en un intervalo de tiempo del evento principal, y su magnitud es inferior a la del evento principal. Para definir estas ventanas existen diversas metodologías, tales como las descritas en Gardner y Knopoff (1974) y las aproximaciones propuestas posteriormente por Uhrhammer (1986) y Grünthal (véase Van Stiphout *et al.*, 2012). La figura 16 presenta las ventanas disponibles en la herramienta HMTK.

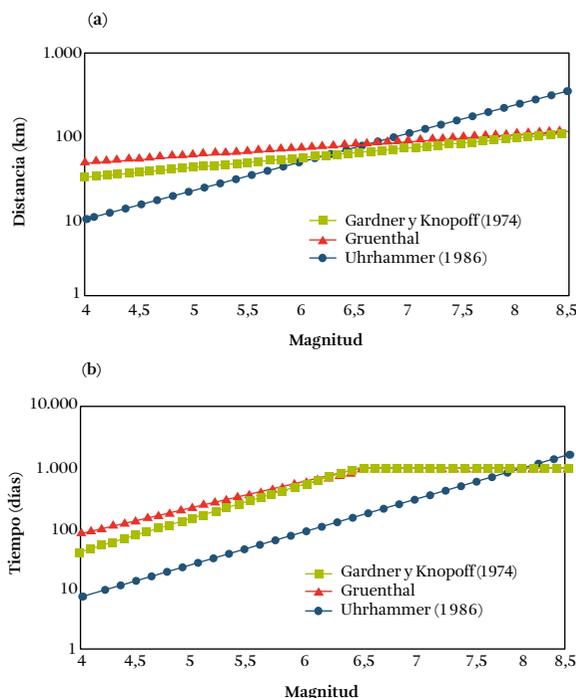


Figura 16. Ventanas espacio-temporales implementadas en la herramienta HMTK para remover eventos dependientes siguiendo el método propuesto por Gardner y Knopoff (1974)

La ventana temporal utilizada para identificar eventos premonitores se definió como una fracción proporcional a la ventana de las réplicas. Ventanas iguales tienen un factor igual a 1. En ventanas de tiempo menores o mayores este parámetro se debe reducir o incrementar, respectivamente. Para el *declustering* del CSI se utilizó un factor de 0,9.

El proceso de *declustering* fue realizado según el ambiente tectónico predominante¹, teniendo en cuenta que la ocurrencia de sismos principales y dependientes no es exclusiva de un ambiente tectónico específico. Por ejemplo, eventos en la zona interplaca de la subducción del Pacífico pueden causar réplicas en la zona cortical.

Por esta razón, los eventos se separaron en dos grupos: a) corticales y de interplaca, y b) intraplaca de profundidad intermedia. Los eventos principales identificados en estos grupos fueron posteriormente

¹ Una descripción de los ambientes tectónicos considerados en el modelo de amenaza sísmica de Colombia se encuentra en el capítulo 4.

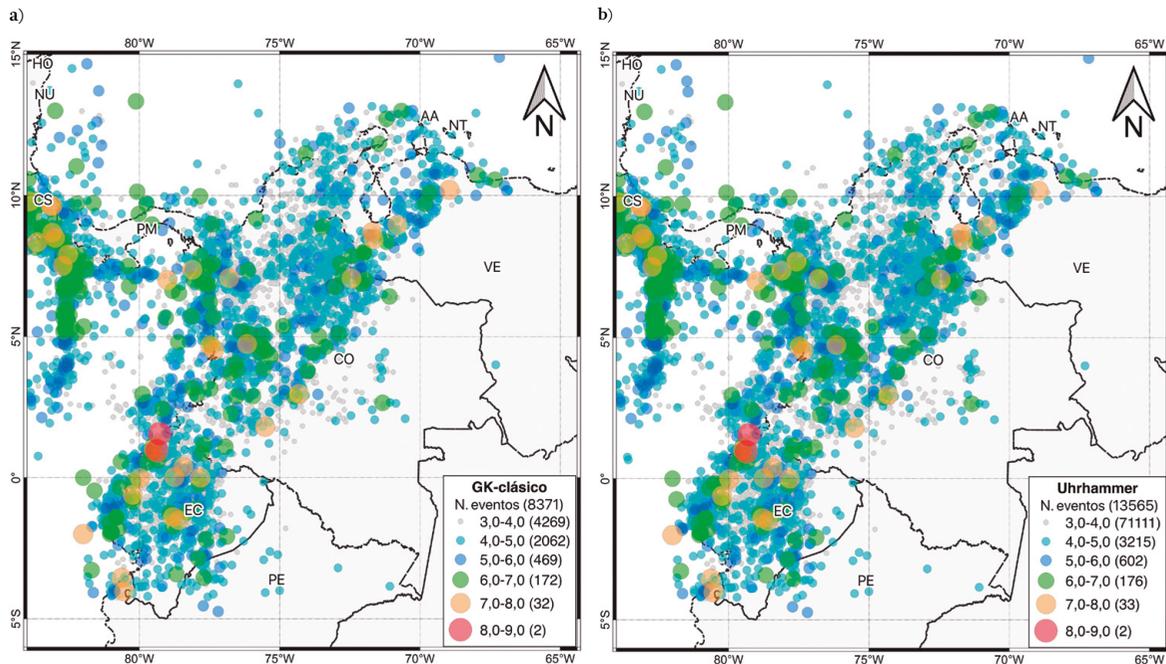


Figura 17. Eventos principales resultado de la remoción de eventos dependientes: a) método de Gardner y Knopoff clásico; b) método de Gardner y Knopoff usando la aproximación propuesta por Uhrhammer (1986)

discriminados según el ambiente tectónico predominante. Los resultados obtenidos usando la aproximación propuesta por Uhrhammer (1986) se consideran apropiados, teniendo en cuenta la estabilidad del parámetro b de la distribución Gutenberg-Richter y la posibilidad de utilizar un rango de magnitudes mayor.

La figura 17 presenta los resultados de la remoción de eventos dependientes usando el método de Gardner y Knopoff con dos ventanas espacio-temporales diversas: a) clásica y b) Uhrhammer. De esta figura se resalta la diferencia en el número de eventos obtenidos en el rango de magnitudes entre 3 y 5.

La tabla 13 presenta los eventos independientes clasificados según modelos de fuentes y ambientes tectónicos. El porcentaje de remoción o identificación de eventos dependientes usando el catálogo total es significativamente alto. Esto se debe a que un amplio porcentaje del catálogo corresponde a sismicidad intermedia, principalmente de la fuente del nido sísmico de Bucaramanga, por la gran concentración de sismos en un volumen muy restringido y claro.

Para esta fuente, las características de generación de sismos, en términos de magnitud, distancia y

tiempo, no corresponden a las relaciones clásicas de sismos principales y réplicas o premonitores.

Tabla 13. Clasificación sismo-tectónica de la sismicidad de eventos del catálogo (sin eventos dependientes), según modelos de fuentes

Ambiente tectónico	N.º eventos (modelo b1)	N.º eventos (modelo b2)
Cortical	9.054	8.991
Interplaca	311	365
Intraplaca (zona Benioff)	760	790
Profundos (Bucaramanga)	3.440	3.415
Total	13.565	13.561

Nota: La descripción de los modelos de fuentes b1 y b2 se presenta en el capítulo 4.

3.1.6 Análisis de completitud

Un catálogo sísmico es una herramienta para establecer tasas de actividad sísmica de las fuentes, entre otras aplicaciones que se definieron previamente. Estas tasas relacionan la cantidad de eventos (según magnitudes) que pueden ocurrir en un periodo de tiempo. Al respecto, es recomendable considerar que a medida que se remonta en el tiempo es posible que se pierda o falte información en tales catálogos.

De los periodos más antiguos, la información proporcionada en los catálogos sísmicos es escasa o in-

completa debido a factores como la ausencia de equipos de registro sísmico, la caracterización de eventos según criterios diferentes de los usados por las metodologías actuales, o bien porque solo se caracterizaban eventos muy fuertes (de magnitud elevada), y se dejaban por fuera eventos de magnitudes menores.

Luego, en periodos en que se comenzó la instrumentación de las redes sísmica, la falta de cobertura de redes sísmicas o deficiencias en los procedimientos de detección y localización de eventos, entre otras limitaciones, contribuyen a la falta de consistencia y homogeneidad de los datos.

En los periodos más recientes, el incremento de redes globales, el mejoramiento en la calidad y sensibilidad en detección y registro de equipos sísmológicos, el empleo de métodos y procedimientos de localización y estimación de magnitudes más precisos, entre otros factores, incrementan la densidad y calidad de la información de los catálogos sísmicos, lo que redundan en la completitud de datos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, para estimar tasas de actividad sísmica confiables se establecen periodos en los que exista cierta certeza (o pueda admitirse) que el registro de eventos presentes en el catálogo esta completo en un rango de magnitudes determinadas.

En la evaluación de la completitud de un catálogo se identifica la magnitud más baja (M_c), para la cual se supone que el 100% de los sismos de magnitudes mayores o iguales a m_c han sido registrados (Woessner y Wiemer, 2005). Dicha magnitud mínima se conoce como *magnitud de completitud*.

Para el cálculo de la completitud, en el CSI se utilizó el método de Stepp (1972), que consiste en identificar intervalos de tiempo en los que la información del catálogo sísmico se considere completa a partir de una magnitud determinada.

Según Stepp (1972), la desviación estándar (σ_λ) de la tasa media de ocurrencia de sismos (λ) en un periodo de tiempo (T) está descrita por

$$\sigma_\lambda = \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{T}} \tag{3.1}$$

Un rango de magnitud durante un periodo de tiempo dado es completo si la variación o tendencia de σ_λ es similar a la de $1/\sqrt{T}$. En caso contrario, el periodo de tiempo evaluado no es suficiente, o el rango de magnitud considerado no es completo.

En la figura 18 se muestra la variación en el tiempo de σ_λ , correspondiente a diferentes periodos, y la estimación de su magnitud de completitud (M_c) correspondiente al CSI del SGC, utilizando un intervalo

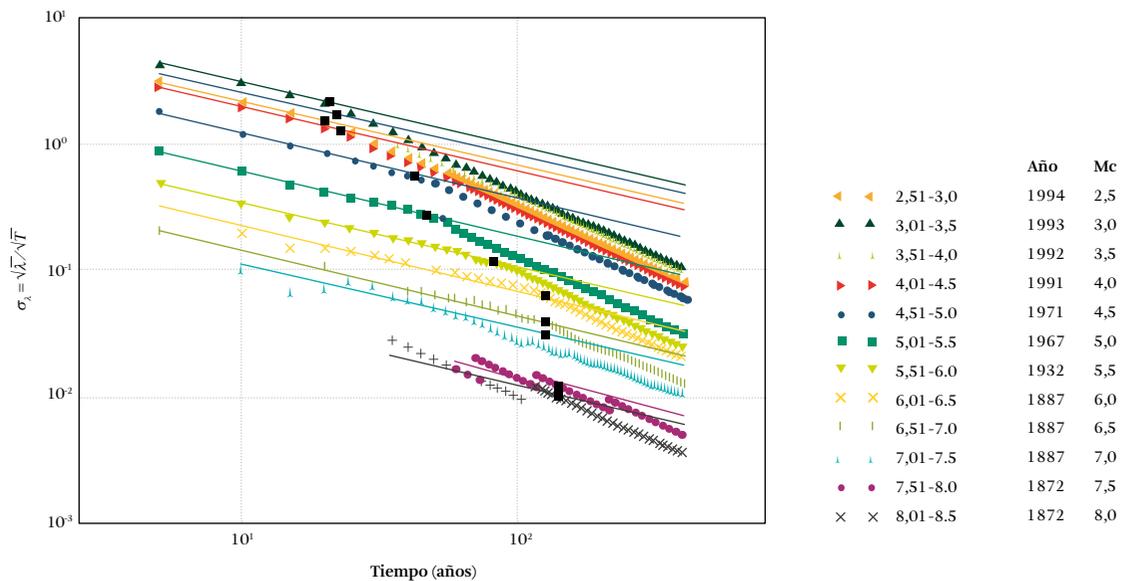


Figura 18. Variación en el tiempo (años) de la magnitud de completitud (M_c) y su desviación estándar (σ_λ) usando el método de Stepp (1972) en el CSI

de magnitud $\Delta M = 0,5$. Los puntos negros corresponden a la M_c de cada periodo.

En la tabla 14 se presentan periodos según rangos de magnitudes de completitud.

Tabla 14. Rangos de completitud correspondientes al CSI del SGC

Periodo	Intervalo de magnitud (Mw)
1994-2014	3,5-4,0
1971-1994	4,0-4,5
1964-1971	4,5-5,0
1932-1964	5,0-5,5
1887-1932	5,5-7,0
1872-1887	7,0-7,5
1610-1872	$\geq 7,5$

3.2 Base de datos de fallas activas

En la actualidad es cada vez más frecuente incluir un modelo de fallas activas (potencialmente peligrosas) en el análisis de la amenaza sísmica. Esta información es particularmente relevante en regiones donde la información registrada en el catálogo no logra cubrir el intervalo reconocido de ocurrencia de grandes rupturas sísmicas asociadas a estructuras neotectónicas corticales.

La Fundación GEM ha promovido la creación de bases de datos de fallas activas (Pagani *et al.*, 2015; Pagani *et al.*, 2016) en las que se compile y ponga a disposición de la comunidad científica información relevante, o al menos mínima, que pueda ser utilizada en la creación de fuentes sísmicas con esta tipología.

En el caso específico de Suramérica, las deformaciones cuaternarias son principalmente el resultado de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Suramericana a lo largo de la costa oeste en Colombia, Ecuador, Perú y Chile, así como del movimiento transcurrente dextral de la placa del Caribe con respecto a la placa de Suramérica a lo largo de la costa norte del subcontinente en Colombia y Venezuela.

Sismos importantes asociados a fallas, aunque menos frecuentes, son conocidos y han causado daños importantes en Argentina (San Juan, 1994), Perú (Ancash, 1946), Colombia (eje cafetero, 1999) y Venezuela (Caracas, 1967).

El estudio de las deformaciones cuaternarias y su aporte a la caracterización de las fallas consideradas sísmogénicas en Suramérica se inició de forma siste-

mática en los años noventa con los estudios realizados para el proyecto global ILP “World map of major active faults” (Trifonov y Machette, 1993).

En el marco de este proyecto se creó un grupo regional de expertos (Grupo Suramericano de Neotectónica, GSN), que mediante proyectos de colaboración científica internacional, o bien mediante esfuerzos nacionales, fue enriqueciendo una base de datos regional, principalmente de parámetros neotectónicos, que se compiló usando diversos criterios y metodologías (véase, por ejemplo, Audemard *et al.*, 2000; Egüez *et al.*, 2003; Paris *et al.*, 2000).

Esta base inicial fue posteriormente enriquecida en el marco de dos proyectos regionales: el proyecto Multinacional Andino (MAP *et al.*, 2000; Proyecto Multinacional Andino, 2008) y en el proyecto South America Risk Assessment (SARA) (García *et al.*, 2017), promovido por la Fundación GEM. En particular, el proyecto MAP contribuyó a la compilación de aproximadamente seiscientos estructuras neotectónicas organizadas en una base digital georeferenciada, muchas de ellas nuevas o una versión revisada de la propuesta precedente. Un buen resumen del estado del conocimiento sobre esta temática a escala continental es presentado por Costa *et al.* (2006).

Por otra parte, en el marco de las actividades del proyecto SARA fue posible revisar y mejorar la información recopilada por los expertos nacionales, y homogeneizarla a nivel continental (García *et al.*, 2017). En el proceso de revisión y homogeneización de las estructuras neotectónicas, a pesar de la variabilidad y la calidad de la información, fue posible identificar estructuras prioritarias desde un punto de vista sísmo-tectónico, así como determinar su posible contribución a la amenaza continental desde un punto de vista puramente geotectónico (figura 19).

El SGC ha participado en todas las iniciativas citadas. La compilación de las estructuras neotectónicas de Colombia en el GSN ha tenido como punto de partida el estudio de Paris *et al.* (2000), realizado en el marco del proyecto ILP (véase la figura 20). De manera simultánea, el SGC creó una base de datos

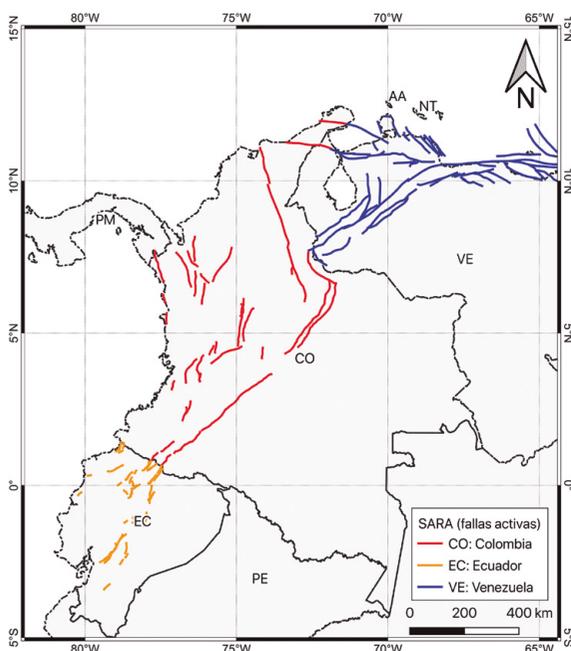


Figura 19. Base de datos de fallas activas del proyecto SARA (v. 1.0). Las estructuras han sido representadas por la traza superficial

de fallas activas (Montes y Sandoval, 2001). Estas compilaciones recogen información en muchos casos obtenida durante proyectos de reconocimiento regional, y, en unos pocos casos, son el resultado de trabajos de exploración realizados por especialistas en neotectónica.

Con el fin de incluir fallas activas en el modelo de amenaza sísmica de Colombia, en el presente estudio se utilizó una versión revisada de la base de datos nacional creada en el marco del proyecto SARA. Esta base de datos contiene información sobre estructuras neotectónicas (o fallas activas prioritarias) escogidas siguiendo tres criterios fundamentales:

- || La tasa de deformación anual referida a la falla es igual o mayor de 0,1 mm/año
- || Evidencia de actividad tectónica confirmada en el Pleistoceno tardío
- || Evidencia de actividad sísmica, confirmada o inferida, en sismos con magnitud (M_w) mayor de 5,5

Tabla 15. Estructura de la base de datos paramétrica de las fallas activas

Parámetro	Formato	Descripción
		Características generales
id	Texto	Identificador de la falla o segmento de falla
accuracy	Texto	Escala a la que fue cartografiada la traza
is_active	Entero	Grado de certeza de actividad cuaternaria
name	Texto	Nombre de la falla
fs_name	Texto	Nombre del sistema de fallas (si es necesario)
last_movement	Texto	Fecha del último movimiento reconocido
exposure_quality	Entero	Cuán visible es la traza en superficie
epistemic_quality	Entero	Grado de certeza
reference	Texto	Referencias bibliográficas
notes	Texto	Información adicional relevante
Características geométricas		
average_dip	Tupla	Ángulo de buzamiento promedio
dip_dir	Texto	Dirección del buzamiento
downthrown_side_id	Texto	Dirección del labio hundido de la falla
wkt_geometry	Texto	Geometría de la falla en formato WKT (<i>well-known text</i>)
Características geodinámicas		
slip_type	Texto	Tipo de movimiento cinemático predominante
net_slip_rate	Tupla	Tasa de deslizamiento anual total
strike_slip_rate	Tupla	Tasa de deslizamiento anual en la dirección del rumbo
vert_slip_rate	Tupla	Tasa de deslizamiento anual vertical
shortening_rate	Tupla	Tasa de deslizamiento anual horizontal
average rake	Tupla	<i>Rake</i> de la falla según la convención propuesta por Aki y Richards (1980)

Formatos

Tupla. Es un trío de números enteros, o de punto flotante, que representan la incertidumbre de una variable o parámetro que caracteriza una falla (p. ej., tasa de deslizamiento anual). En este caso específico tiene el siguiente significado: (valor preferido, valor mínimo, valor máximo).

Entero. Formato numérico usado para categorizar variables referidas a la incertidumbre/calidad de la información compilada (p. ej., *epistemic_quality*: 1: alta certeza, 2: certeza moderada, 3: incierta).

Texto. Término referido a datos tipo texto (p. ej., *dip_dir*: N, norte geográfico).

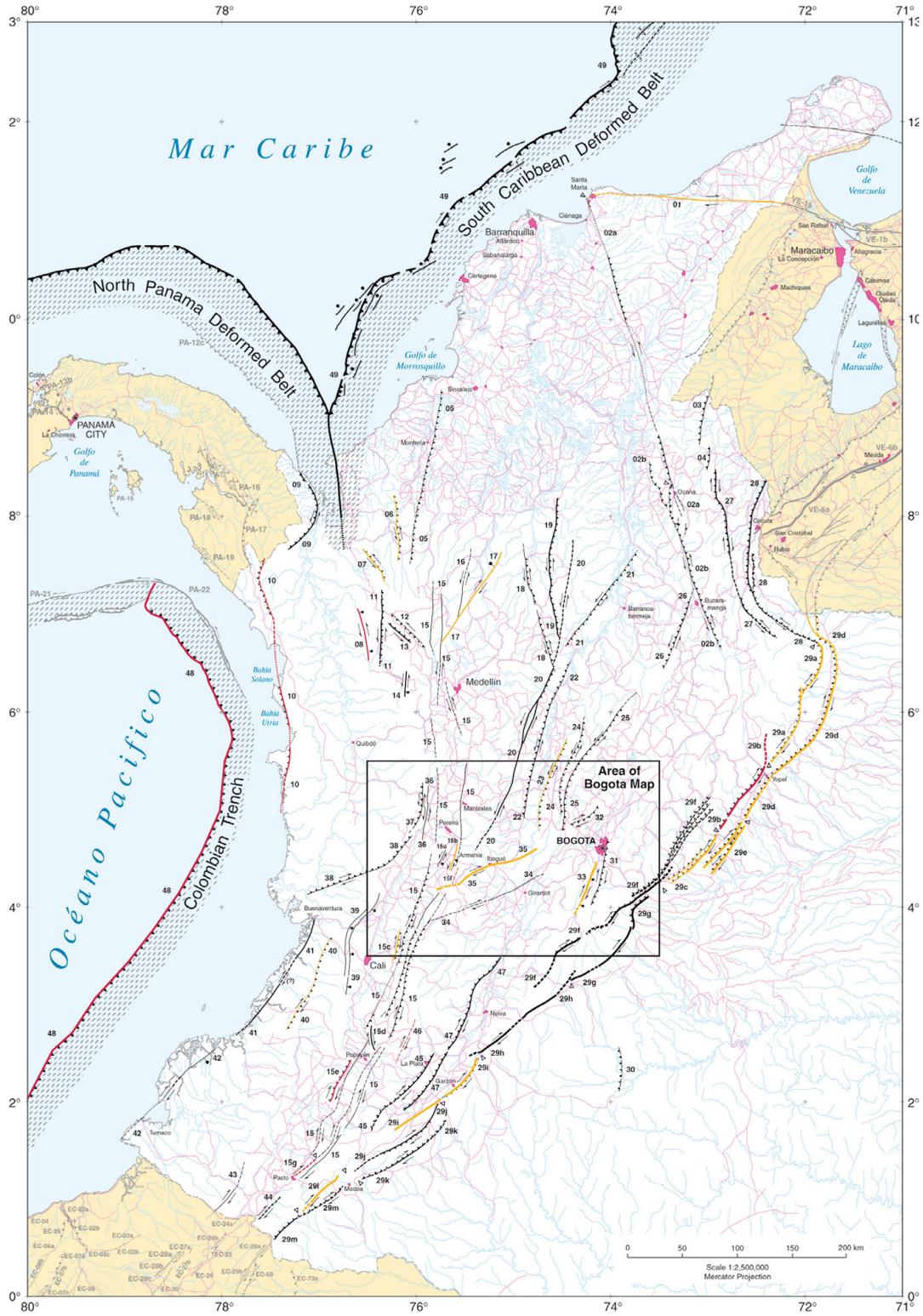


Figura 20. Mapas de fallas cuaternarias
Fuente: Paris et al. (2000)

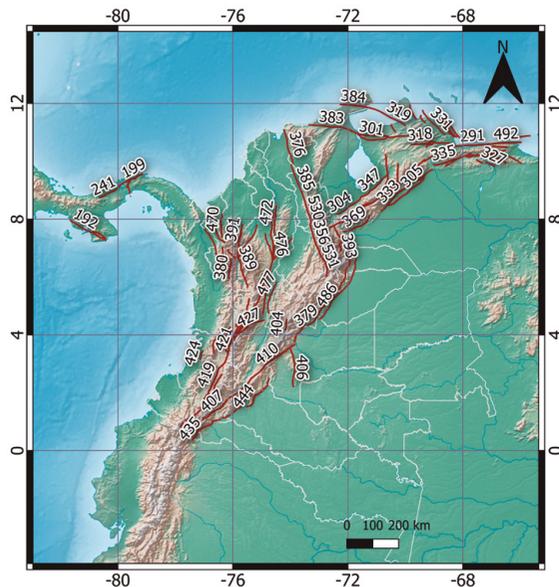


Figura 21. Base de datos de fallas activas utilizadas en el modelo. Las estructuras han sido representadas por la traza superficial

La figura 21 presenta la base de datos de fallas compilada de Colombia y países colindantes, como Venezuela y Panamá. Por su parte, la tabla 15 presenta los parámetros (y su formato) que caracterizan cada una de las estructuras.

3.3. Base de datos de movimientos fuertes

La base de datos de movimientos fuertes corresponde a la consolidación de un conjunto de registros acelerográficos de eventos sísmicos. De cada evento se encuentra información suficiente para determinar su ubicación, magnitud y mecanismo focal. Asimismo, la base de datos de movimientos fuertes cuenta con información de las estaciones de la Red Acelerográfica, de tal manera que es posible caracterizar los posibles efectos sísmicos locales de cada estación utilizando

parámetros relacionados con la velocidad de onda de corte a diferentes profundidades.

La base de datos de movimientos fuertes está organizada según las regiones tectónicas identificadas en el modelo de fuentes sísmogénicas del país (véase el capítulo 4). Esta base de datos es útil para obtener las aceleraciones espectrales de los sismos registrados. Estos datos también se utilizan para seleccionar las ecuaciones de atenuación que mejor se ajustan a las intensidades del movimiento observadas (véase el capítulo 5).

3.3.1 Información por región tectónica

En la base de datos de movimiento fuerte se usaron eventos sísmicos con mecanismo focal determinado en el Catálogo del GCMT (Elkstrom et al., 2012), los cuales fueron clasificados según la región tectónica a la que pertenecen. En el área de estudio se reconocen cuatro regiones tectónicas principales: corteza activa (cortical), zona de subducción (interplaca) en la costa pacífica, zona de Benioff (intraplaca) y zona del nido sísmico de Bucaramanga (intraplaca). El modelo de fuentes se amplía en el capítulo 4.

Por otro lado, la base de acelerogramas está construida a partir de los registros de la Red de Acelerógrafos del SGC y de los registros del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador (IGEPN, 2018; IGEPN, 2016) correspondientes al sismo de abril de 2016 y sus réplicas. En total, se encuentran 1.786 registros (triaxiales) de 118 eventos. El ambiente tectónico del que se tienen más registros es el cortical, con más de 600 acelerogramas, mientras que la zona interplaca en la subducción del Pacífico tiene el menor número de registros: aproximadamente 250 (tabla 16). La distribución de los acelerogramas registrados se puede observar en la figura 22a.

Tabla 16. Registros acelerográficos por ambiente tectónico

Ambiente tectónico	N.º de Registros	Profundidad promedio (km)	Rango Mw
Cortical	607	25	4,8-7
Nido	485	147	4,8-6,25
Benioff	435	131	4,8-7,3
Interplaca	259	22	5-7,8

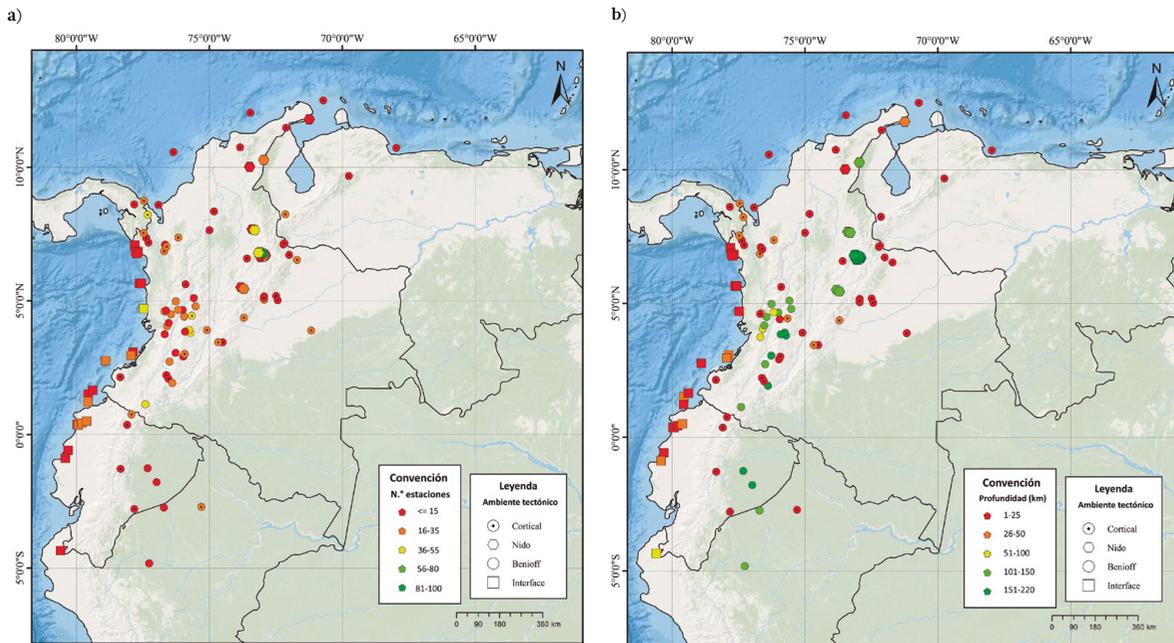


Figura 22. a) Distribución de los registros de la base de datos de movimiento fuerte. b) Distribución de las profundidades de los eventos

Además del número de registros, es importante observar tanto la profundidad como la magnitud de los eventos. En cuanto a las profundidades promedio, hay dos zonas con profundidades menores de 30 km: la zona cortical y la zona interplaca. En cambio, en las zonas de Benioff y nido se observan profundidades que por lo general superan los 100 km (tabla 16). La distribución de las profundidades de los eventos se puede observar en la figura 22b.

La figura 23 presenta la distribución de los eventos según magnitudes y ambiente tectónico. En esta figura se observa que las mayores magnitudes se encuentran en la zona de subducción del Pacífico, con valores mayores de 7.5 en términos de M_w , mientras que la mayoría de eventos registrados tienen magnitudes menores de 6.

Los mecanismos focales fueron agrupados en normales (N), inversos (R) y *strike-slip* (S) (Kaverina *et al.*, 1996). En la figura 24 se observa que en la zona interplaca predominan los sismos de mecanismo inverso a lo largo de toda la costa pacífica, desde el norte de Perú hasta la frontera entre Colombia y Panamá. Por otro lado, los de tipo *strike-slip* predominan en la zona cortical. En las zonas intraplaca, o *inslab*, se encuentran

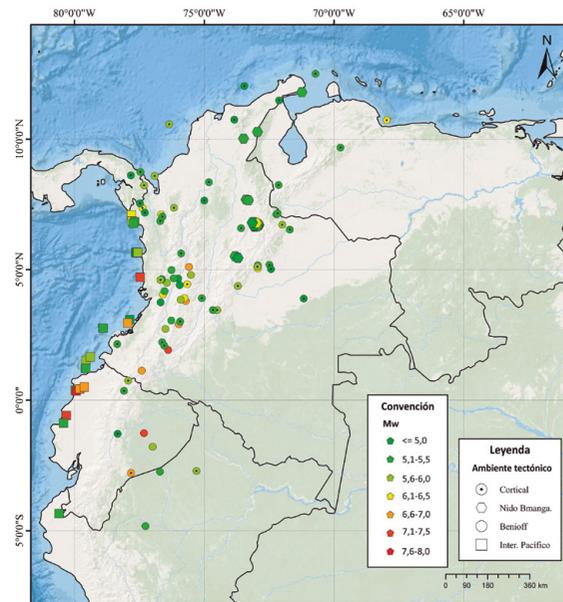


Figura 23. Distribución de magnitudes (M_w) de los eventos seleccionados

zonas complejas compuestas por sismos de diversos mecanismos en un área muy reducida. En la tabla 17 se puede observar el número de eventos por mecanismo focal en cada una de las cuatro regiones tectónicas.

Para mayor detalle sobre la base de datos de movimiento fuerte se recomienda consultar el anexo B.

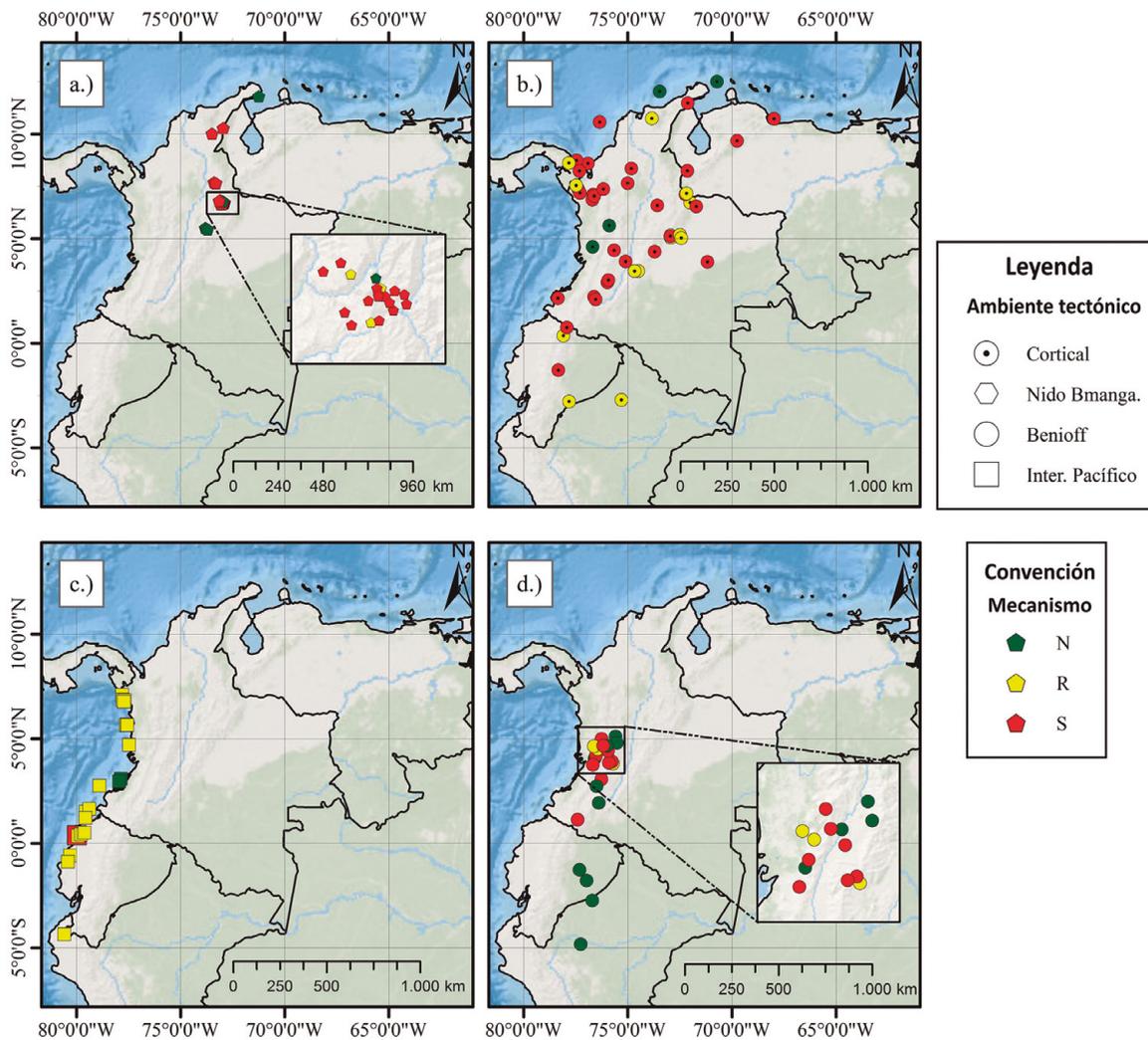


Figura 24. Distribución de mecanismos focales por región tectónica. a) Nido. b) Cortical. c) Interface. d) Benioff

Tabla 17. Número y tipos de mecanismos focales por región tectónica

Ambiente tectónico	Normal (N)	Inverso (R)	Strike slip (S)
Cortical	4	14	31
Nido	4	3	19
Benioff	10	3	9
Interface	2	18	1

3.3.2 Base de datos de estaciones

Con el fin de identificar posibles efectos de sitio en las estaciones de monitoreo sísmico, se definieron las variables geotécnicas y geofísicas de mayor relevancia correspondientes a la localización de cada estación. De esta manera se calcularon los valores de Z_1 y $Z_{2,5}$, que corresponden a las profundidades en las que se

encuentran velocidades de onda cortante (V_s) de 1 y 2,5 Km/s, respectivamente. Además, se calculó el valor de $V_{s_{30}}$ en cada estación, que corresponde al promedio de la velocidad de onda de corte en los 30 metros más superficiales del suelo.

El valor de $V_{s_{30}}$ ha sido utilizado ampliamente en la clasificación de suelos, la definición de factores

de amplificación y en la estimación simplificada de efectos de sitio (Dobry *et al.*, 2000). En la figura 25 se presenta la localización de las 206 estaciones de las que se tienen registros y los valores de V_{s30} correspondientes.

Los valores de V_{s30} fueron estimados cuando no se tuvo una medición directa, siguiendo las metodologías sugeridas por Wald y Allen (2009), Wald *et al.* (2011), Thompson y Wald (2012) y Thompson *et al.* (2014). De esta manera, el valor de V_{s30} fue asignado a las estaciones utilizando la versión actualizada del mapa nacional realizado por el SGC en el año 2016, con una resolución de 7,5 arcosegundos.

En el cálculo de Z_1 y $Z_{2,5}$ en el territorio colombiano (continental e insular) se usó información disponible generada por mediciones geofísicas o directas como perforaciones, además de estudios de tomografía y los mapas de variación de la velocidad de onda de corte (V_s) en la corteza intermedia y superior en la zona de estudio (Poveda *et al.*, 2018).

Debido a que esta información no cubre el área total estudiada, se utilizó una malla igualmente espaciada de aproximadamente 10 x 10 km en la que se asignaron valores promedio de Z_1 y $Z_{2,5}$, siguiendo las ecuaciones que relacionan V_{s30} y Z_1 , como las desarrolladas por Abrahamson y Silva (2008), Chiou y Youngs (2008) y Chiou y Youngs (2014).

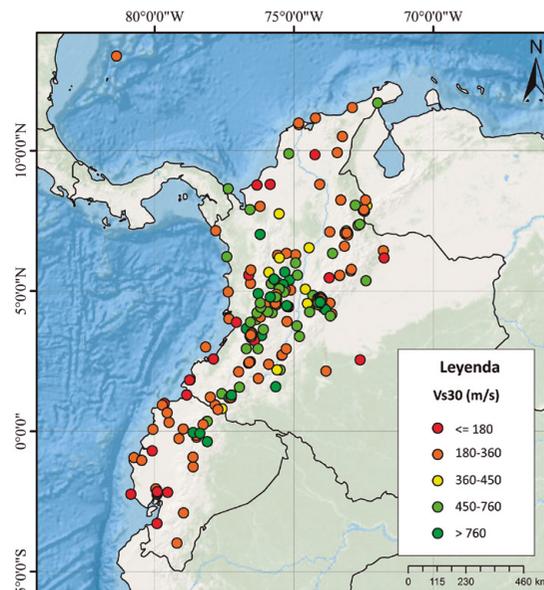


Figura 25. V_{s30} (m/s) inferido en las estaciones de registro

Para el cálculo de Z_1 se seleccionaron valores estimados a partir de Abrahamson y Silva (2008), después de un análisis de control, coherencia y ajuste con los datos existentes. Para la estimación de $Z_{2,5}$, en los casos en que no había información disponible, se usó la ecuación propuesta por Campbell y Bozorgnia (2007).

Con el fin de observar los contrastes de frontera de estos modelos y ajustar los calculados, se compararon los valores de Poveda *et al.* (2018) y los calculados con Abrahamson y Silva (2008). Por último, los

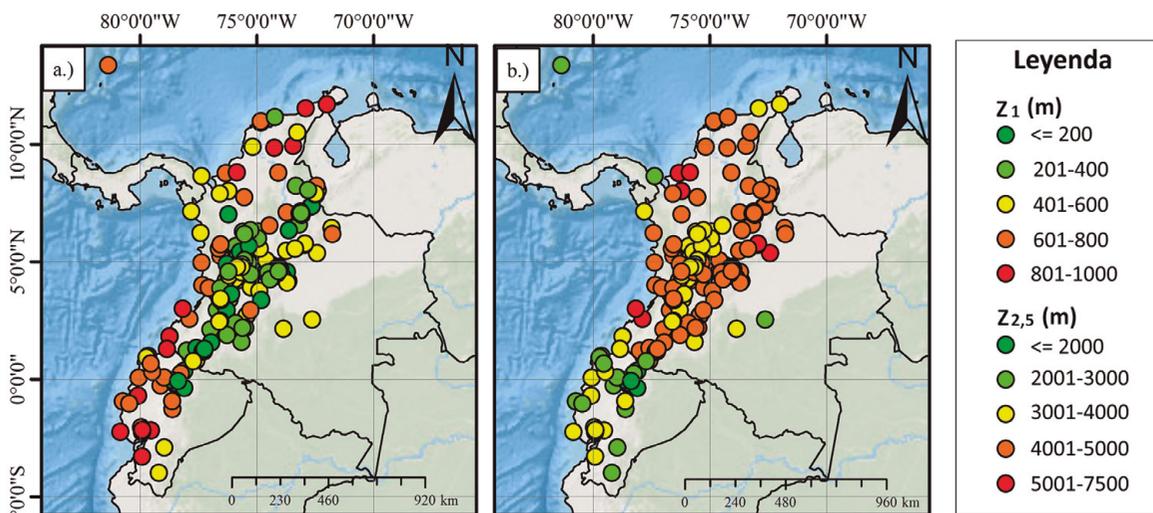


Figura 26. a.) Z_1 , b.) $Z_{2,5}$ (m) inferido de las estaciones de registro

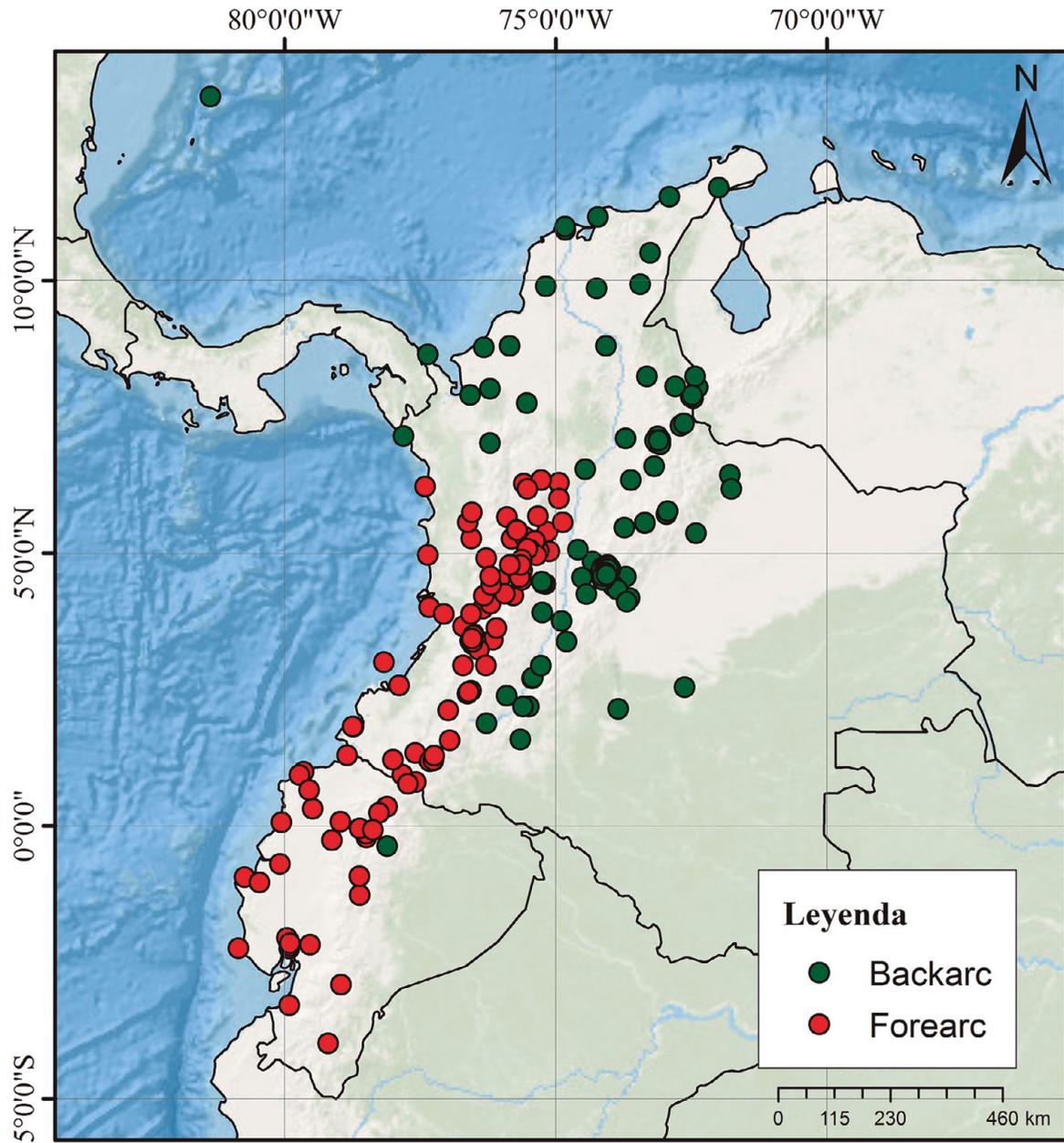


Figura 27. Distribución de las estaciones de registro alrededor del arco volcánico

Tabla 18. Número de eventos por rango de $V_{s_{30}}$ y fuente sísmica

Rango $V_{s_{30}}$	Cortical	Bucaramanga	Benioff	Interplaca	Total
< 180	36	56	35	41	168
180-360	252	199	175	124	750
360-450	31	27	12	2	72
450-760	197	149	122	52	520
> 760	91	54	91	40	276
Total	607	485	435	259	1.786

valores estimados de Z_1 y $Z_{2,5}$ fueron integrados a la información disponible para generar un modelo final. Los valores de Z_1 y $Z_{2,5}$ asignados a las estaciones acelerográficas se presentan en la figura 26.

Además de estos valores, que permiten estimar el efecto de las cuencas en los registros sísmicos, se asignó a cada estación una variable que permite validar la posición de cada estación con respecto al arco volcánico (véase la figura 27).

A partir de la caracterización de las estaciones, la tabla 18 presenta el número de registros por rango de V_{s30} y fuente sísmogénica. Esta clasificación es útil para incluir de manera aproximada los efectos de sitio en la estimación de la amenaza sísmica.

3.3.3 Procesamiento de acelerogramas

Los registros acelerográficos del catálogo construido fueron procesados con una adaptación de la metodología desarrollada por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (Ancheta *et al.*, 2013), que se resume en un proceso iterativo en el que el registro se somete a una corrección de línea base y a un proceso de filtrado en el dominio de la frecuencia.

En la figura 28 se presenta un esquema del proceso de filtrado adaptado en el presente estudio, partiendo de que las señales que se van a analizar ya contienen una corrección instrumental. El proceso detallado del procesamiento de las señales de aceleración se presenta en el anexo C.

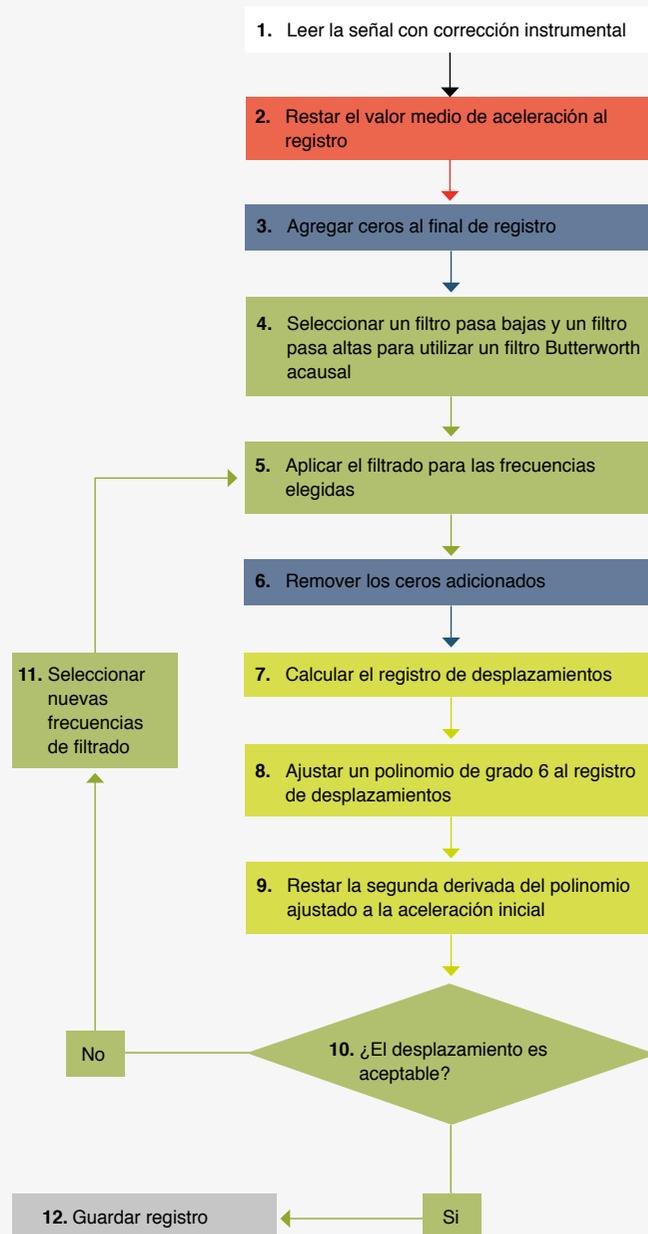


Figura 28. Esquema de procesamiento de acelerogramas



Modelo de fuentes sísmicas



Entre los componentes del análisis de amenaza sísmica, un modelo de fuentes es una herramienta para caracterizar una zona de estudio según la magnitud y recurrencia de los sismos que puede generar. Para este fin, es necesario identificar y definir las fuentes presentes en dicha zona.

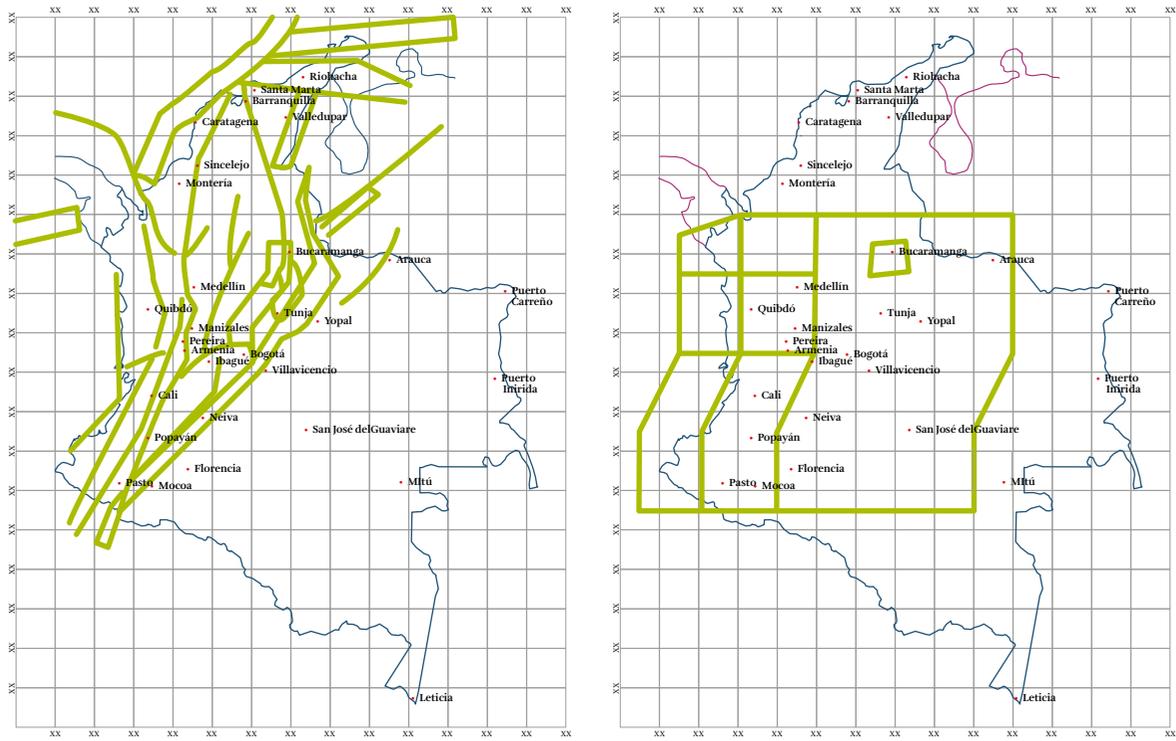
En geología, una fuente sísmica es un volumen de la litósfera en el que, se presume, pueden ocurrir sismos con origen tectónico similar (Sarria, 1995). Para definir estas fuentes es relevante conocer su ubicación, su actividad (descrita en términos de la recurrencia de magnitudes de sismos asociados a dicha fuente), así como la magnitud máxima de los sismos que pueden producir (Sarria, 1995).

En Colombia se han propuesto diferentes modelos de fuentes sísmicas. Entre los más recientes se encuentran los elaborados por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2009, publicado en Salgado *et al.*, 2010), que han servido de soporte para la definición de coeficientes sísmicos de diseño del Reglamento

Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (MAVDT, 2010). En dicho estudio se determinó un conjunto de polígonos para describir la sismicidad de fuentes superficiales, así como un conjunto de zonas para modelar sismos profundos relacionados con procesos de subducción en el Pacífico y en el nido sísmico de Bucaramanga (véase la figura 29).

Por su parte, el Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas, hoy Servicio Geológico Colombiano) y la Universidad Nacional de Colombia elaboraron en conjunto un modelo de amenaza sísmica (Ingeominas y Universidad Nacional de Colombia, 2010). La figura 29c presenta las fuentes consideradas en dicho modelo.

Tanto los modelos como los resultados de los anteriores estudios (Comité AIS 300 e Ingeominas y Universidad Nacional de Colombia) fueron revisados por el doctor Mario Ordaz, en el marco de un convenio en el que participaron el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territo-



(a) Plano de fuentes superficiales

(b) Plano de fuentes profundas

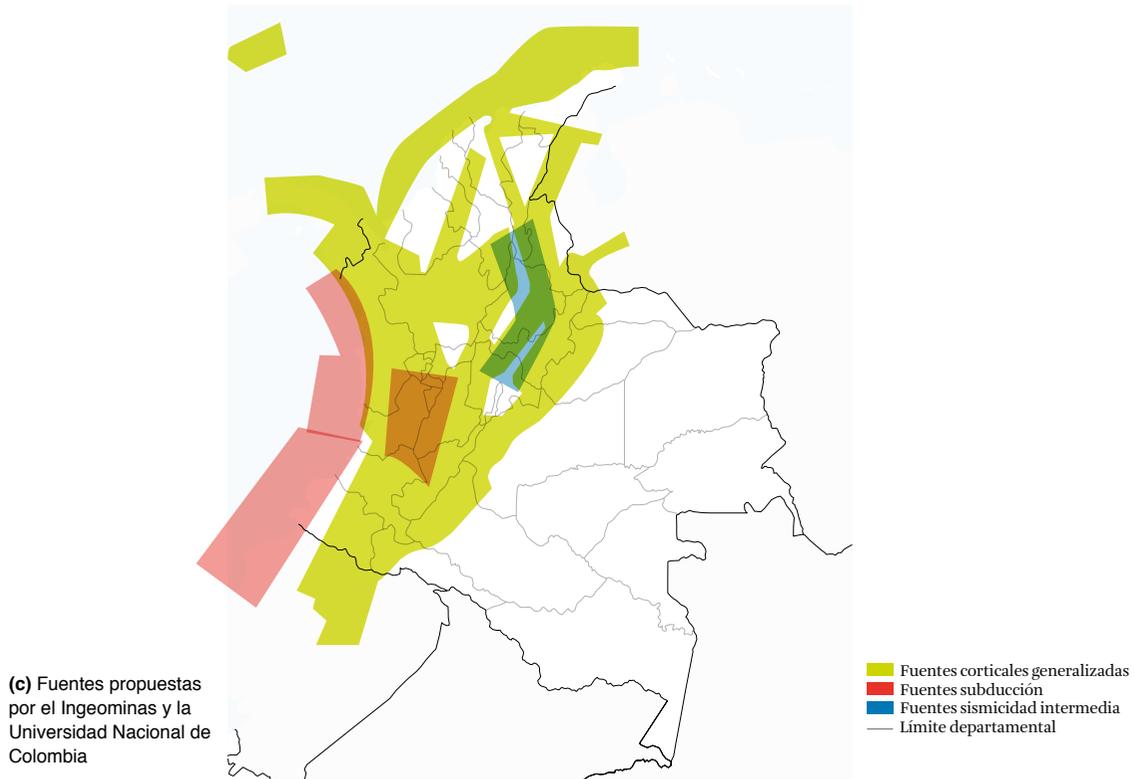


Figura 29. Fuentes sismogénicas propuestas por la AIS (2009): a) superficiales; b) profundas; c) zonificación propuesta por el Ingeominas y la Universidad Nacional de Colombia (2010)

rial y la AIS. Mediante dicho convenio se buscó tener un control de calidad de los estudios de amenaza existentes. Como resultado de esa revisión se obtuvieron diversos comentarios y observaciones sobre cada modelo, que fueron atendidos por los autores, y a partir de los cuales se elaboró uno definitivo (MAVDT, 2010).

Entre los resultados de dicho proceso de evaluación vale la pena resaltar que, a juicio del revisor, las fuentes propuestas por el Ingeominas (véase figura 29c) reflejaban un buen conocimiento de los procesos tectónicos del país, y merece ser valorado como un modelo de fuentes más avanzado que el utilizado en los cálculos del mapa de amenaza de la Norma Sismo Resistente NSR-98 (Ordaz, 2009).

Considerando que la definición de fuentes sísmicas puede ser subjetiva y puede estar determinada por el criterio de expertos (Ansari *et al.*, 2015), el SGC, en conjunto con investigadores del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), elaboró un procedimiento para la definición de fuentes sísmicas. Dicho procedimiento fue aplicado al caso de Colombia (Arcila *et al.*, 2017), y sus resultados han sido presentados en foros de amenaza sísmica promovidos por el SGC.

A partir del conocimiento existente, y con el fin de contribuir a la definición de fuentes sísmicas con

fin de evaluación de amenaza, el SGC y la Fundación Global Earthquake Model (GEM) elaboraron en conjunto un modelo cuyas principales características se describen en este capítulo. En la figura 30 se presenta un esquema de las principales actividades y componentes de dicho modelo.

De acuerdo con García Mayordomo (2015), las fuentes sísmicas determinan la distribución geográfica del peligro sísmico. Por esta razón, es relevante dedicar esfuerzos a la definición de un modelo de fuentes sísmicas a partir de datos actualizados, con la participación de un equipo multidisciplinario que vincule criterios geológicos, sismológicos y estadísticos orientados a la estimación de la amenaza en formatos que sean de utilidad para la comunidad general. Tales son los principios orientadores que el SGC acogió para elaborar el modelo de fuentes sísmicas y, en general, el modelo de amenaza del presente estudio.

En este capítulo se presenta una descripción de los insumos, metodologías y resultados relacionados con la caracterización de fuentes sísmicas de Colombia, considerando diferentes ambientes tectónicos, distintas alternativas de modelación de la sismicidad y diversos supuestos sobre la geometría de las fuentes.

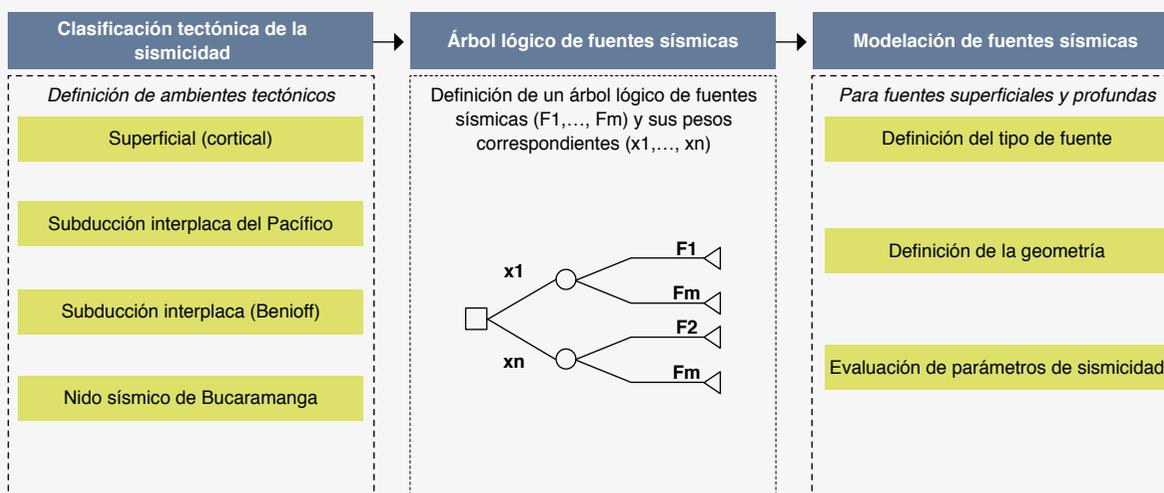


Figura 30. Esquema general de actividades del modelo de fuentes sísmicas

4.1 Clasificación tectónica de la sismicidad

Entre los esfuerzos para comprender la amenaza sísmica, el estudio de la tectónica es útil para identificar procesos de deformación de la corteza terrestre, que determinan la distribución geográfica, ocurrencia y características de los sismos. Tal análisis es relevante, entre otros aspectos, para identificar regiones (ambientes tectónicos) que originen sismos de propiedades similares.

A nivel global existen diversos estudios en los que se ha llevado a cabo una regionalización tectónica. En Chen *et al.* (2018) se presenta una metodología y resultados para llevar a cabo una regionalización útil para la evaluación de la amenaza sísmica, a partir de información de catálogos sísmicos e información geológica y sismológica, entre otras fuentes.

En Chen *et al.* (2018), las zonas se clasifican en regiones oceánicas (estables o activas), regiones continentales (estable o superficial activa), así como zonas de procesos de subducción (véase la figura 31). A partir de este análisis se encuentra que en el territorio colombiano se encuentran, principalmente, regiones

superficiales activas, procesos de subducción y zonas continentales estables (no cratónicas).

En el estudio de la tectónica del territorio colombiano se han propuesto diferentes modelos (por ejemplo, Taboada *et al.*, 1998; Taboada *et al.*, 2000) que examinan los complejos procesos geodinámicos presentes en la región. En tales modelos se consideran, entre otras, las siguientes dinámicas (véase la figura 32):

- || La convergencia de las placas de Nazca y del Caribe hacia la placa de Suramérica
- || El desplazamiento del bloque de Panamá en sentido W-E hacia la placa de Suramérica
- || El desplazamiento del bloque de los Andes en dirección SSW-NNE

De acuerdo con Taboada *et al.* (1998), en Colombia se presentan principalmente los siguientes ambientes tectónicos: i) sismos de corteza asociados a los principales sistemas de fallas (sismicidad andina); ii) sismicidad de subducción del Pacífico; iii) sismicidad intermedia de Boyacá-Santander y Nido de Bucaramanga; iv) sismicidad de corteza difusa.

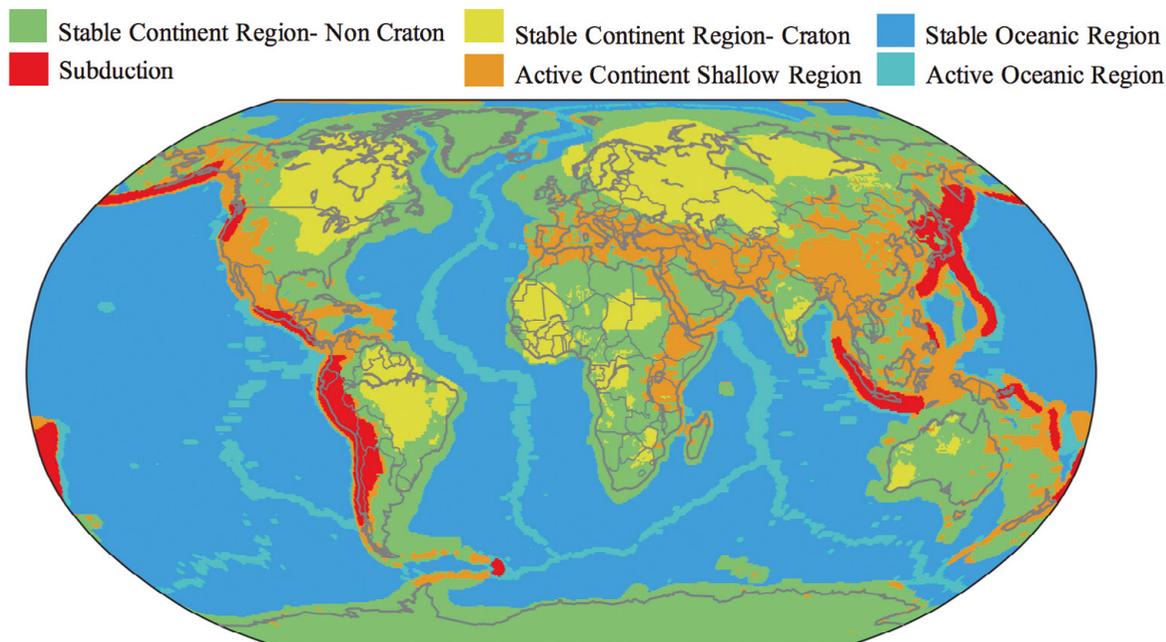


Figura 31. Tectónica regional
Fuente: Chen *et al.* (2018)

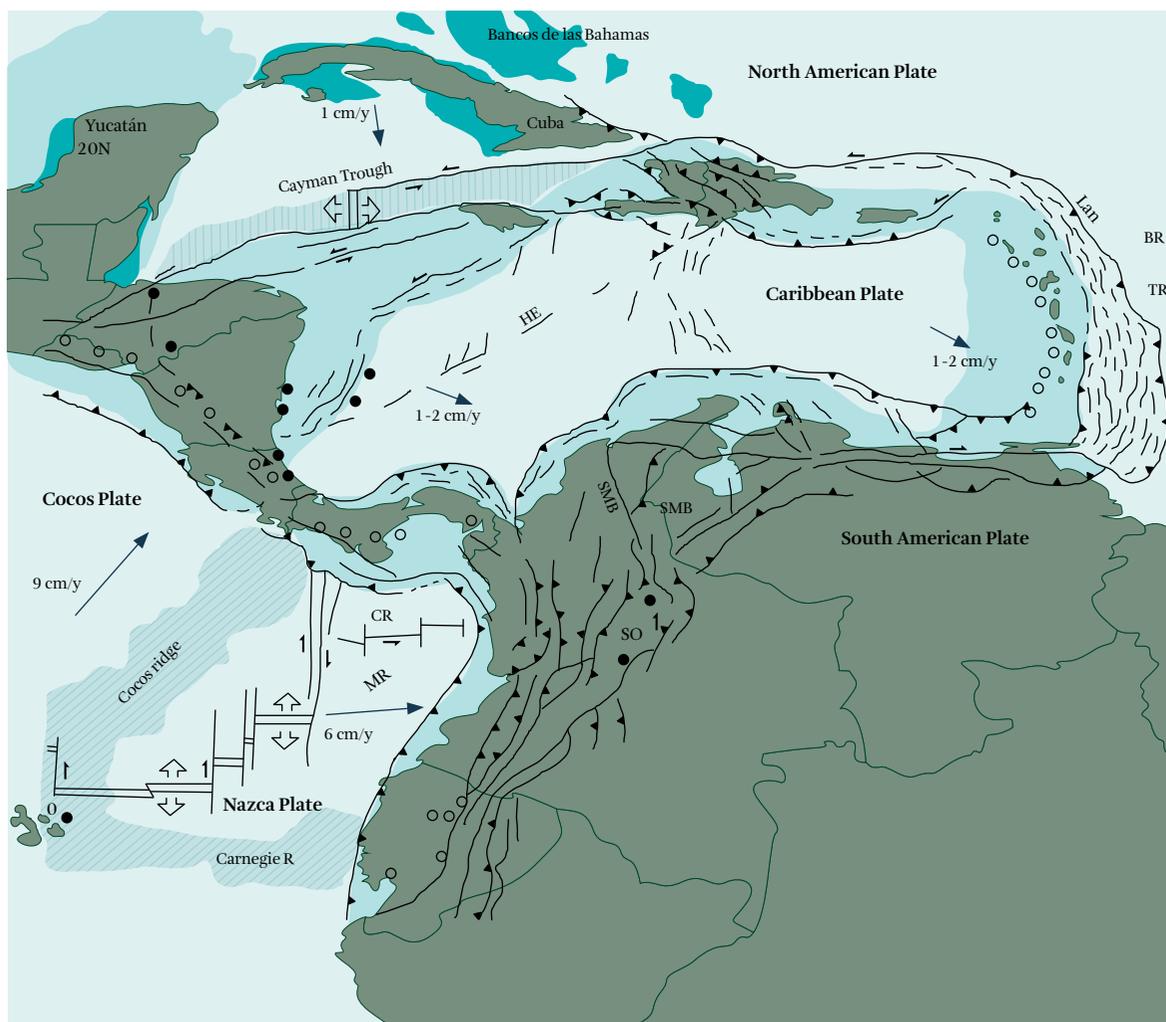


Figura 32. Configuración neotectónica de la región Caribe y el norte de los Andes
Fuente: tomado y modificado de Taboada *et al.* (2000)

A partir del conocimiento tectónico existente, relevante para la modelación de la amenaza sísmica, en el presente estudio se han considerado los siguientes ambientes tectónicos: i) superficial (cortical); ii) zona interplaca del proceso de subducción del Pacífico; iii) zona intraplaca (profunda) del proceso de subducción del Pacífico (Benioff); iv) zona de subducción profunda del Nido de Bucaramanga. A continuación se presenta una breve descripción de estos ambientes.

4.1.1 Ambiente cortical

La actividad sísmica cortical (superficial) está acotada por el límite corteza-manto superior o discontinui-

dad de Mohorovičić (“moho”). Generalmente, este límite se asocia con profundidades menores de 70 km. No obstante, este límite es variable y debe ser bien establecido en regiones como Colombia, en donde diversos tipos de ambientes tectónicos están intrínsecamente relacionados.

Existen varios modelos que predicen este límite (o el espesor de la corteza) utilizando diferentes metodologías y escalas (Laske *et al.*, 2013; Pasyanos *et al.*, 2014; Van der Meijde *et al.*, 2013). En el presente estudio se adoptó un modelo predictivo de la profundidad del límite moho, que fue creado por especialistas del SGC (véase la figura 33).

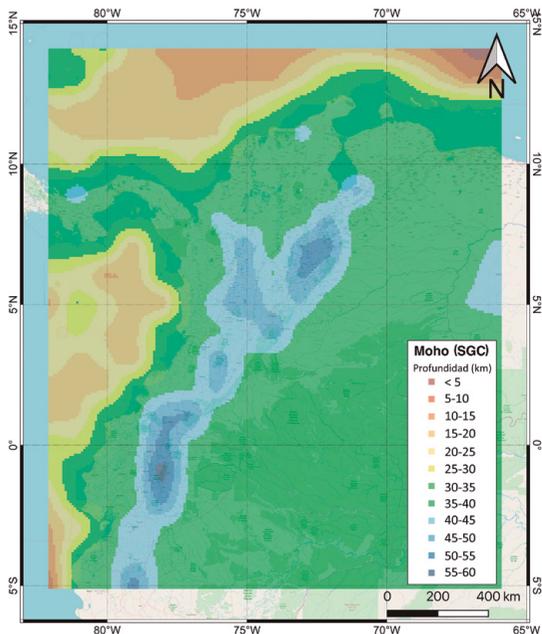


Figura 33. Mapa del límite de la transición corteza-manto ("moho") en la región de estudio
Fuente: Arcila (inédito)

4.1.2 Zona de subducción del Pacífico (interplaca)

En términos generales, un proceso de subducción corresponde al choque entre placas litosféricas, en el cual una de las placas se desliza por debajo de la otra (figura 34). A los sismos que ocurren entre los límites de convergencia de dos placas se les denomina *interplaca* (Sarría, 1995).

En particular, la subducción del Pacífico colombiano corresponde a la zona de contacto entre la placa de Nazca y la placa Suramérica. En esta zona se han originado sismos de magnitudes considerables, como los ocurridos cerca de Tumaco en enero de 1906 (magnitud 8,8 Mw) y el de diciembre de 1979 (magnitud 8,1 Mw). Estos sismos causaron colapsos y daños significativos en los municipios vecinos, tanto por los movimientos del terreno como por las olas de tsunami generadas.

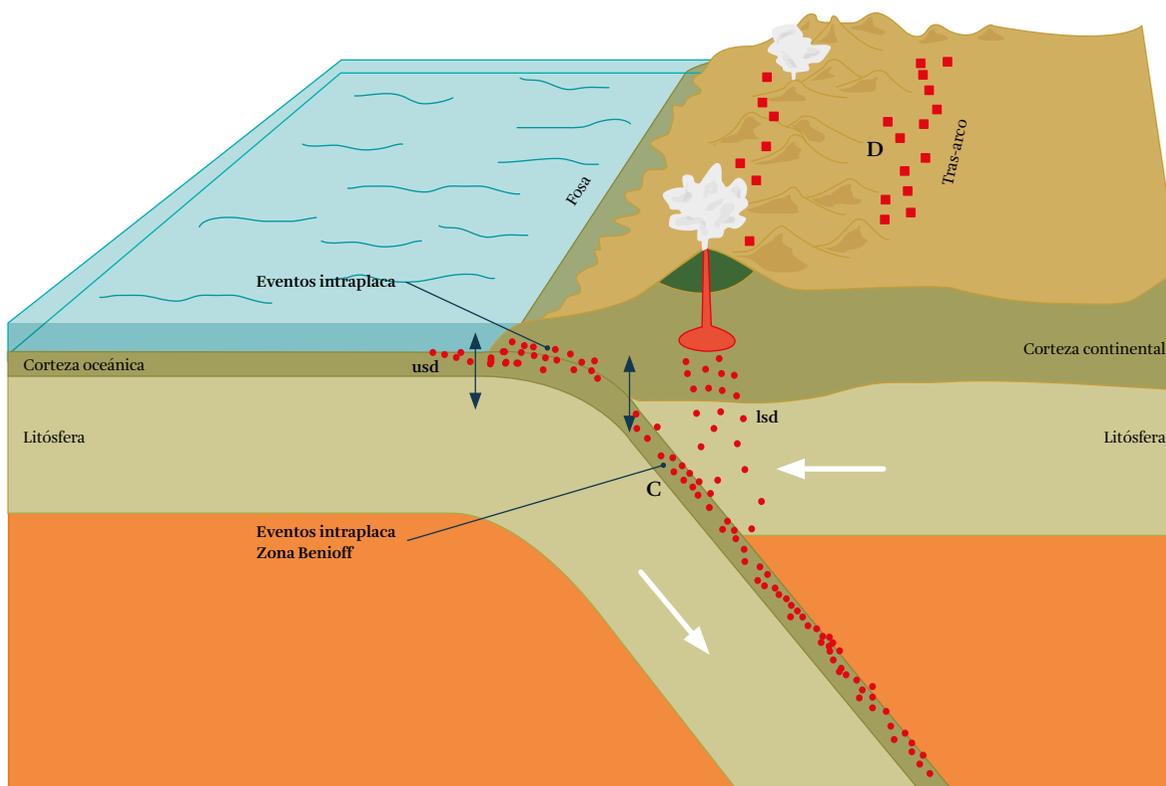


Figura 34. Esquema del proceso de subducción
Fuente: Tomado y modificado de CSN (s/f)

4.1.3 Zona de Benioff

La zona de Benioff es un ambiente tectónico que hace parte del proceso de subducción. Corresponde a la parte de la placa que penetra (subduce) bajo la otra, con una inclinación gobernada por condiciones regionales, con ángulos variables (Sarria, 1995). A los sismos que ocurren dentro del volumen subducido se les denomina *intraplaca* y se asocian a la zona de Benioff. En la figura 34 se presenta un esquema de dicha zona.

En particular, la zona de subducción del Pacífico se desarrolla desde el Pacífico hacia el interior del continente, en un rango de 300 km (véase la figura 35).

En términos generales, para diferenciar los eventos interplaca de los intraplaca (de la zona de Benioff), se consideran, entre otros, los siguientes criterios: la profundidad de los sismos (son más profundos los intraplaca); la localización del arco volcánico, que está relacionada con la zona de Benioff (figura 35); el tipo de mecanismos focales, que en su mayoría son de tipo

inverso (*reverse*) en sismos interplaca, mientras que mecanismos compuestos o normales se observan en eventos intraplaca.

Los sismos intraplaca de la zona de Benioff pueden contribuir notablemente a la amenaza de una región. Ejemplos de este tipo de eventos corresponden a los siguientes sismos ocurridos en México: el de 1858 ($M \sim 7,7$), que tuvo efectos en la Ciudad de México (García *et al.*, 2005); el sismo de 1931 ($M_w 7,8$), que causó gran destrucción en la ciudad de Oaxaca; el terremoto de 2017 en Puebla y Morelos ($M_w 7,1$), que causó numerosos colapsos y daños graves en construcciones (Singh *et al.*, 2018). En particular, Singh *et al.* (2018) señalan que, en el caso de Ciudad de México, los registros de los eventos intraplaca de 2017 tuvieron mayores aceleraciones que los registros de eventos interplaca del sismo de 1985 ($M_w 8,1$) en periodos de vibración menores de 0,6 segundos. En Colombia, sismos de este tipo han ocurrido, entre otros, en los años 1938, 1961, 1962, 1979 y 1995.

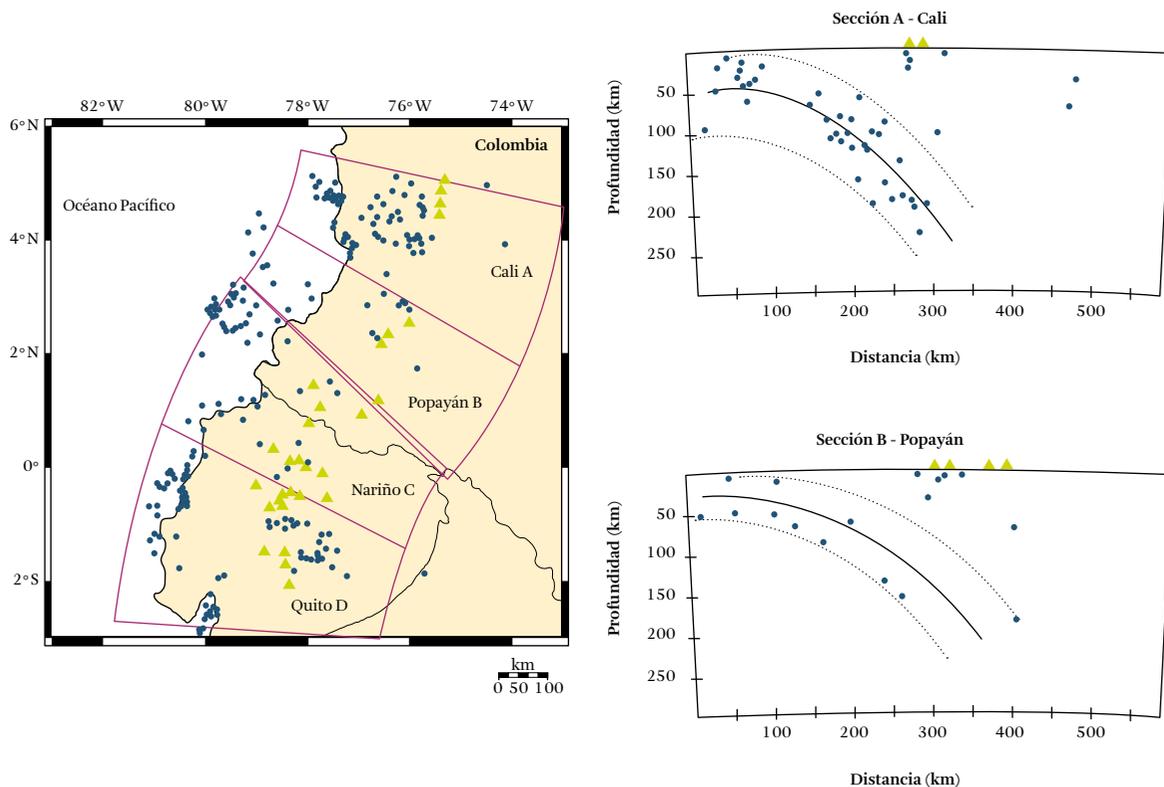


Figura 35. Secciones transversales perpendiculares a la trinchera del Pacífico
Fuente: Pedraza *et al.* (2007)

4.1.4 Sismicidad intraplaca del nido sísmico de Bucaramanga

Un nido sísmico es un volumen de actividad sísmica intensa, persistente en el tiempo y aislado de la actividad de sus alrededores. El nido sísmico de Bucaramanga corresponde a una zona en la que frecuentemente se generan sismos de magnitudes M_w entre 4 y 5, a profundidades de 140 a 200 km (Prieto *et al.*, 2012).

De acuerdo con Schneider *et al.* (1987), el reducido tamaño del nido sísmico de Bucaramanga, la variabilidad de los mecanismos focales identificados y la escasez de sismicidad en los alrededores hacen difícil que se presente una explicación coherente del origen de tal nido.

En Sepúlveda Jaimes y Cabrera Zambrano (2018) se presenta un recuento de diferentes modelos planteados sobre el nido sísmico de Bucaramanga. Los autores resaltan que, debido a la complejidad del proceso, resulta difícil establecer cuál es la placa que subduce: podría ser que la placa Caribe subduce bajo la placa de Suramérica (de acuerdo con Pennington, 1983), o el nido podría estar relacionado con la placa de Nazca, en un segmento denominado bloque de Bucaramanga (según Van der Hilst y Mann, 1994), o estar relacionado con el choque de las placas Nazca y Caribe (según Zarifi *et al.*, 2007).

La figura 36 presenta la localización del nido sísmico de Bucaramanga, así como secciones transversales que permiten identificar la profundidad y ubicación de los sismos correspondientes.

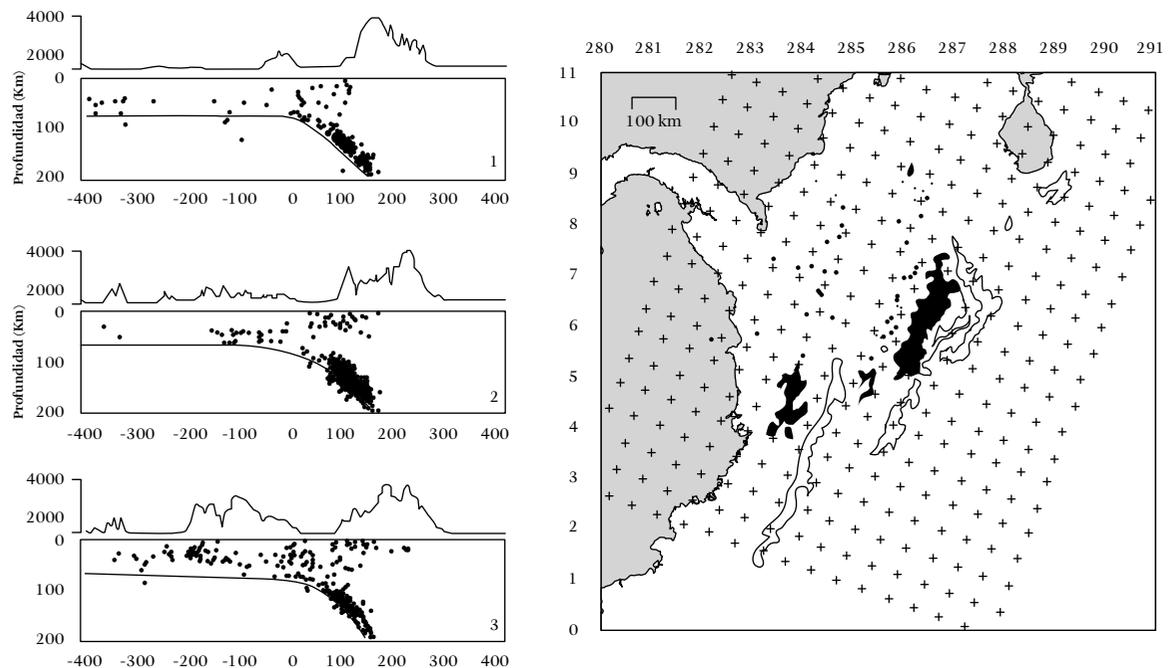


Figura 36. Secciones transversales en la localización del nido sísmico de Bucaramanga
Fuente: Chiarabba *et al.* (2016)

4.1.5 Criterios para la clasificación de sismos según ambientes tectónicos

La clasificación sismotectónica de la sismicidad es un procedimiento relevante para definir las fuentes sísmicas. Con el fin de enfrentar el complejo ambiente

sismotectónico del país y realizar una clasificación objetiva, en el presente estudio se adoptó un procedimiento similar a los propuestos por Zhao *et al.* (2015) y García *et al.* (2012), en el cual a cada evento del catálogo se le otorga un ambiente sismotectónico

unívoco (cortical, interplaca, Benioff, nido sísmico de Bucaramanga) (figura 37), siguiendo un esquema de clasificación específico.

Dicho esquema de clasificación se determina según la proximidad del hipocentro de los sismos a los límites definidos a priori para cada ambiente tectónico (moho, límite-corteza manto, límite superior e inferior de la subducción, límite último entre la zona interplaca y la zona intraplaca). Los criterios adoptados para clasificar sismos según ambientes tectónicos son los siguientes:

- ||| *Clasificación de eventos corticales.* En este paso se verifica si la profundidad del evento está acotada por el límite corteza-manto superior o moho (figura 33).
- ||| *Clasificación de eventos interplaca e intraplaca.* Los eventos pertenecientes a la zona interplaca son clasificados según su proximidad a los límites geométricos definidos en este modelo (figura 37). Si un evento ya clasificado como cortical se encuentra dentro de los límites del ambiente

eventos pertenecientes a la zona intraplaca y del nido de Bucaramanga se sigue un procedimiento similar a la hora de clasificarlos o reclasificarlos.

- ||| *Ajuste y corrección.* A partir de una inspección visual de la clasificación se realiza un ajuste o modificación de la misma, en especial si se trata de eventos históricos o preinstrumentales, de los cuales se cuenta con una pobre definición de la profundidad hipocentral. Entre los ajustes realizados se encuentran los siguientes casos: a) clasificación específica de un conjunto de hipocentros delimitados por un polígono en cierta región (exclusión de sismos volcánicos o inducidos); b) filtrado de eventos de determinado intervalo de magnitud en una ventana temporal específica.

En el presente estudio, eventos con profundidades mayores de 400 km no se clasifican a priori en algún ambiente tectónico; por lo tanto, estos eventos no se utilizan, pues difícilmente generan en superfi-

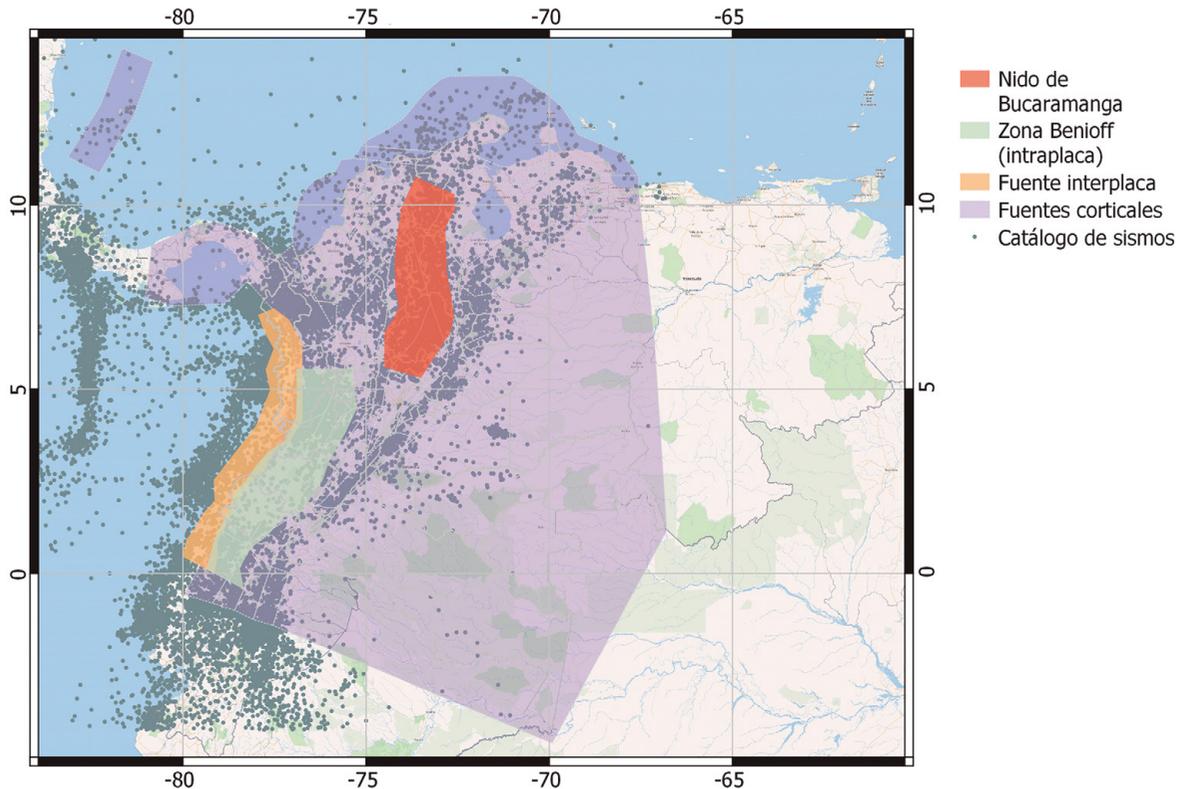


Figura 37. Ambientes tectónicos definidos en el modelo

Nota: A lo largo del capítulo se presentan detalles de la geometría de las fuentes según ambientes tectónicos.

El proceso de clasificación tectónica de la sismicidad se realizó utilizando la herramienta Subduction Toolkit, que está disponible en el componente Model Building Toolkit del motor de cálculo OpenQuake (GEM ScienceTools - oq-mbtk), que permite implementar los criterios y límites establecidos para cada ambiente tectónico.

Sobre este procedimiento es relevante anotar que tanto la definición de los límites como la localización de los eventos del catálogo constituyen un proceso incierto, razón por la cual durante el proceso de clasificación existe la posibilidad de introducir incertidumbres a la geometría definida de cada límite tectónico.

La tabla 19 presenta los resultados de la clasificación de eventos según modelos de fuentes y ambientes tectónicos. La descripción de los modelos de fuentes (b1 y b2) se presenta en la figura 40.

Se resalta que el esquema de clasificación de sismicidad adoptado se aplicó para determinar el régimen sismotectónico de los eventos de la base de datos de movimientos fuertes presentados en el capítulo 3. La figura 38 presenta resultados de la clasificación tectónica para eventos: a) corticales, b) subducción (interplaca, Benioff) y nido de Bucaramanga.

Tabla 19. Clasificación sismo-tectónica de la sismicidad de eventos del catálogo (sin eventos dependientes), según modelos de fuentes

Ambiente tectónico	N.º eventos (modelo b1)	N.º eventos (modelo b2)
Cortical	9.054	8.991
Interplaca	311	365
Intraplaca (zona Benioff)	760	790
Profundos (Bucaramanga)	3.440	3.415
Total	13.565	13.561

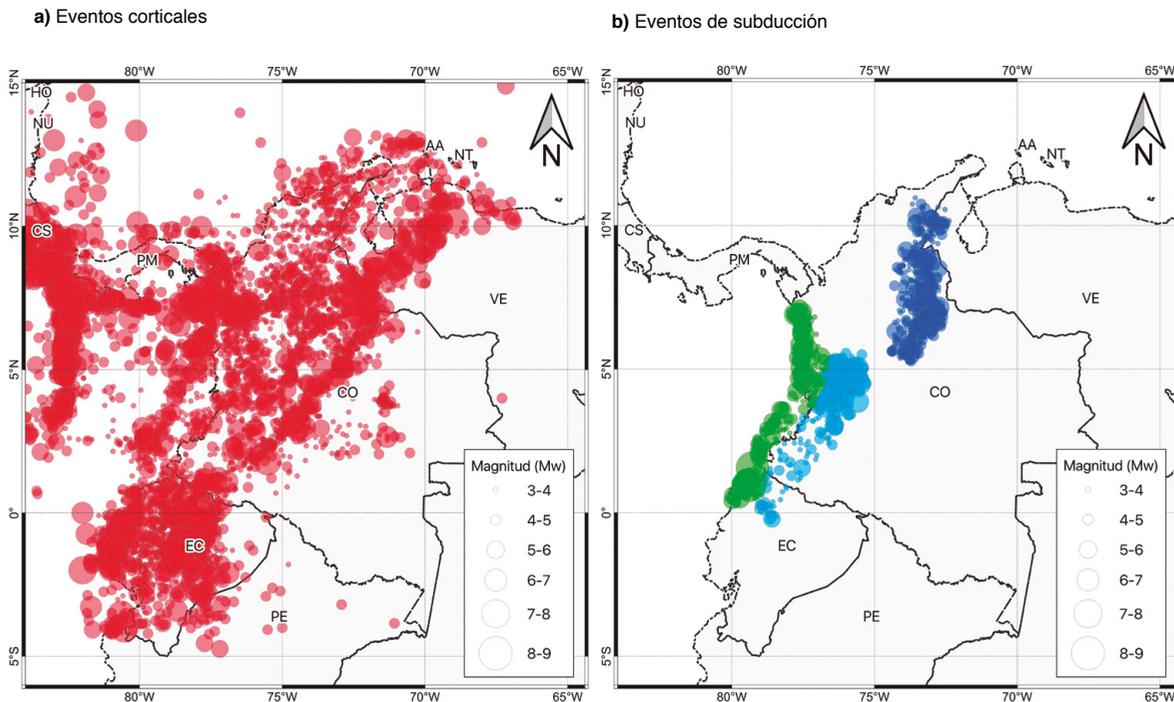


Figura 38. Clasificación sismotectónica de los eventos del Catálogo (sin eventos dependientes): a) eventos corticales; b) eventos de subducción y profundos: interplaca (símbolo verde); intraplaca-zona Benioff (símbolo celeste); nido sísmico de Bucaramanga (símbolo azul oscuro)

4.2. Árbol lógico de fuentes sísmicas adoptado para Colombia

Partiendo de los logros alcanzados en estudios previos (tales como García *et al.*, 1984; AIS *et al.*, 1996; AIS, 2009), en el presente estudio se proponen las siguientes alternativas (véase la figura 39) para contribuir a una mejor comprensión y modelación de fuentes sísmicas:

- ▮ **Fuentes superficiales.** Las fuentes superficiales se modelan considerando dos alternativas: i) fuentes volumétricas tipo área (de sismicidad equiprobable); ii) modelo compuesto por fallas activas y de sismicidad suavizada.
- ▮ **Fuentes interplaca en la subducción del Pacífico.** Se consideran dos alternativas de análisis: i) modelo segmentado cuyo límite superior de sismicidad es de 40 km; ii) modelo no segmentado, cuyo límite superior de sismicidad es de 50 km.
- ▮ **Fuentes en la zona Benioff (intraplaca).** se consideran dos alternativas de geometría, con límites superiores de sismicidad de 40 y 50 km.
- ▮ **Fuentes profundas.** Se considera solo un modelo de fuentes para la sismicidad intraplaca del nido sísmico de Bucaramanga.

Con el fin de armonizar y consolidar los resultados de los diferentes enfoques y tipos de fuentes, en el

presente estudio se elaboró un árbol lógico de fuentes sísmicas (figura 40).

Las alternativas propuestas para la modelación de fuentes superficiales buscan atender incertidumbres epistémicas según el tipo de fuente y la distribución de los parámetros de sismicidad. Por otro lado, las alternativas propuestas para las fuentes interplaca y de la zona de Benioff buscan atender incertidumbres asociadas con la geometría de tales fuentes. Del presente análisis se resalta la consideración de variaciones de la profundidad y de los límites que las definen.

Respecto a los pesos asignados a los modelos de fuentes, en el presente estudio se considera que, en fuentes superficiales, la incertidumbre en la caracterización del modelo de fallas activas y de sismicidad suavizada es mayor que la del modelo de sismicidad equiprobable. Por lo tanto, se asigna un menor grado de creencia (un menor peso) al modelo de fallas activas y de sismicidad suavizada.

Por otro lado, para el proceso de subducción del Pacífico, un modelo segmentado de fuentes representa un mayor detalle en la distribución geográfica de los parámetros de sismicidad y, por lo tanto, una descripción más detallada de la amenaza. Por esta razón se asigna un mayor grado de creencia (un mayor peso) al modelo segmentado.

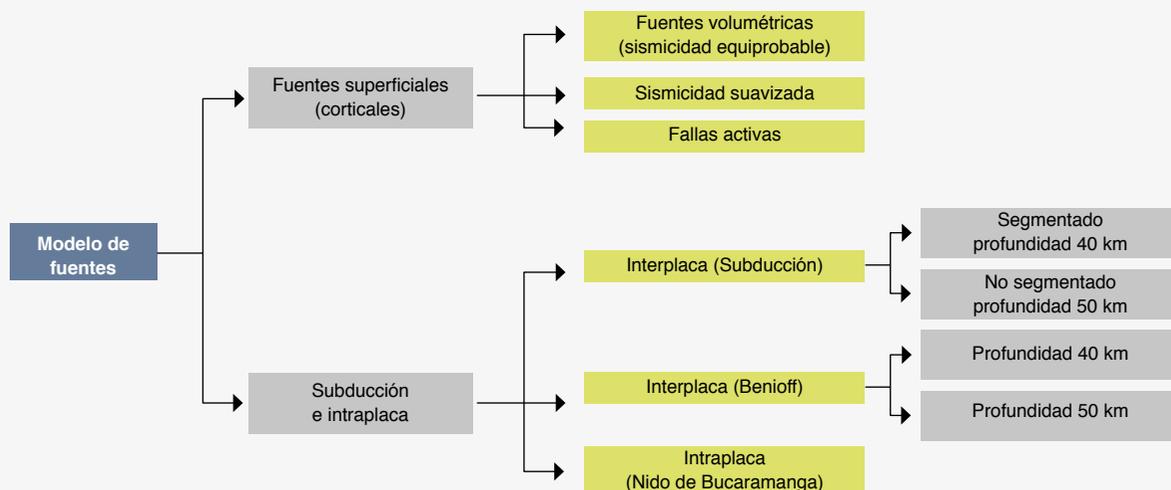


Figura 39. Estructura del modelo según profundidad y tipo de fuentes sísmicas

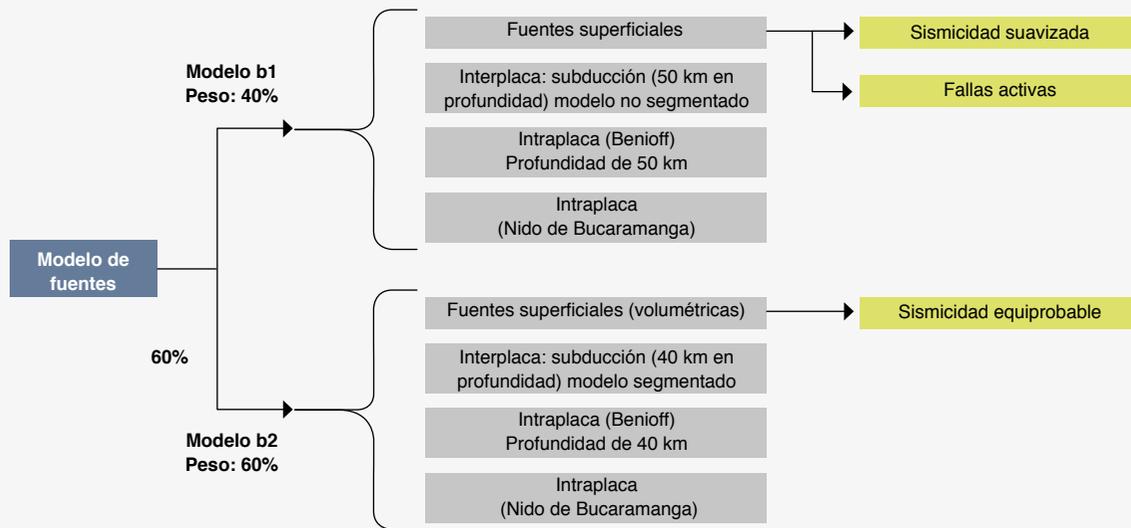


Figura 40. Árbol lógico del modelo de fuentes sísmicas adoptado

4.3 Modelación de fuentes sísmicas

En las siguientes secciones se presentan detalles sobre la caracterización de las fuentes consideradas en el modelo según ambientes tectónicos, así como de su implementación en el motor de cálculo OpenQuake.

4.3.1 Fuentes superficiales tipo área (volumétricas)

Las fuentes tipo área (volumétricas) se adoptan para describir la sismicidad en regiones amplias, cuya sismicidad se considera igualmente distribuida en su interior. Para definir los límites de estas fuentes, en este estudio se consideran parámetros geológicos y tectónicos. Para caracterizar la sismicidad de estas fuentes se utiliza la información contenida en catálogos sísmicos. Mayores detalles sobre estos procedimientos se presentan a continuación.

4.3.1.1 Definición de la geometría de fuentes superficiales tipo área

De acuerdo con Ansari *et al.* (2015), la incertidumbre en los modelos de fuentes sísmicas se debe principalmente a la definición de la geometría de las fuentes, así como a la definición de su sismicidad a partir del catálogo de eventos observados. Esta condición se hace más relevante teniendo en cuenta que los perio-

dos de observación de sismos son relativamente cortos, que se cuenta con información difusa de los sismos y que existen dificultades para la identificación de fallas activas. Ante estas limitaciones, la definición de fuentes sísmicas puede ser subjetiva y estar determinada por el criterio del modelador.

Con el fin de reducir en alguna medida la subjetividad en la definición de la geometría de las fuentes, en el presente estudio se adoptó el procedimiento propuesto por Arcila *et al.* (2017), en el que se utiliza información tectónica, geológica y sismológica con el fin de tener una aproximación a los procesos dinámicos de la corteza terrestre que originan los sismos.

El procedimiento adoptado comprende las siguientes etapas: i) análisis de información geológica y sísmica; ii) georreferenciación de zonas y documentación de criterios; iii) comprobación estadística y parametrización; iv) presentación pública. La figura 41 presenta un esquema de este procedimiento.

La metodología descrita relativa a la definición de la geometría y caracterización de fuentes sísmicas fue aplicada en Colombia en un trabajo conjunto de investigadores del SGC y del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Como resultado se obtuvieron treinta áreas sismogénicas independientes que cubren todo el territorio (figura 42).

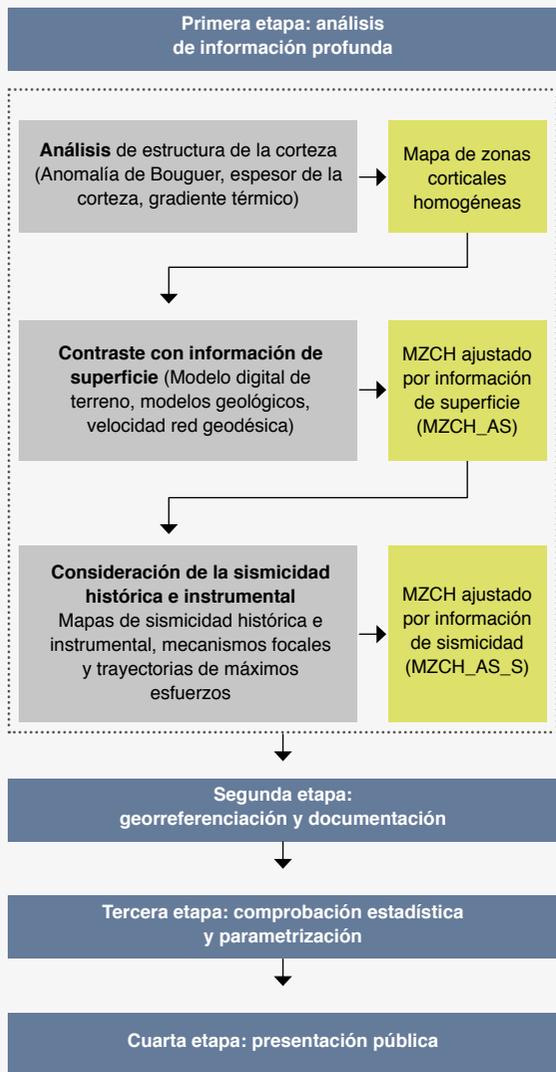


Figura 41. Esquema del procedimiento para la definición de la geometría de fuentes sísmicas superficiales

La geometría de tales fuentes se definió mediante polígonos (o volúmenes), delineando regiones con un comportamiento homogéneo de la sismicidad desde un punto de vista espacio-temporal. Sobre el procedimiento adoptado para definir la geometría de fuentes superficiales, se resalta que también puede considerarse una referencia para establecer los límites geométricos de las zonas de subducción.

La tabla 20 presenta un ejemplo de cuadro-resumen de las características, los parámetros obtenidos y los criterios adoptados para caracterizar cada fuente.

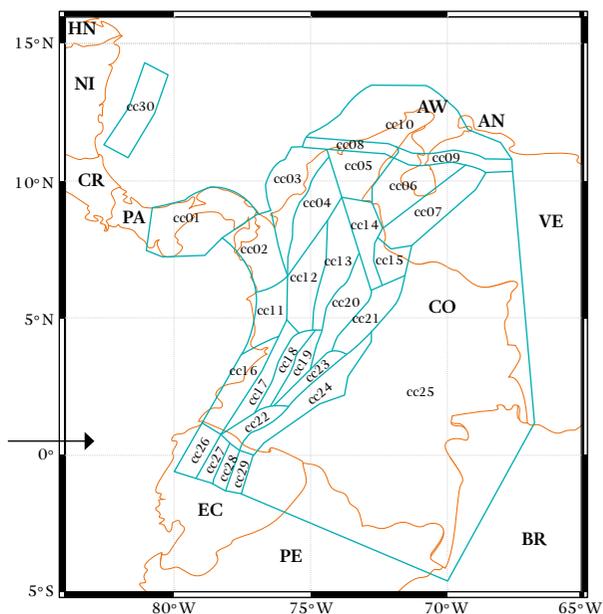


Figura 42. Modelo de fuentes corticales tipo área propuesto por el SGC-IGME

Tabla 20. Ejemplo de descripción de una zona sismogénica

Zona	Corteza y esfuerzos	Superficie y fallas activas	Sismicidad	Parámetros sísmicos	Criterios, alternativas y comentarios
Cordillera Oriental y borde llanero	Corteza continental zengrosada H = 40-50 km GT = datos disponibles poco representativos Shmáx = E-W a NW-SE Régimen: compresivo	Vertiente oriental de la cordillera y franja de los Llanos, donde se infiere continuidad de las estructuras compresivas. Cabalgamientos considerados activos durante el Cuaternario a lo largo del frente montañoso, tanto en el propio borde, Llanos y algunos kilómetros hacia el interior de la cordillera: Sistema de Guaicaramo. Tectónica predominante: cabalgamientos.	Tamaño de la muestra sísmica, aparentemente abundante. Distribución de la muestra bastante homogénea, si bien parece que hacia el NE la densidad de epicentros aumenta. Existen varios registros con I = VII o Mw ≥ 5,5. Uno de 6,7 (1917). Máxima Mw registrada en el CSI = 6,7. Terremotos significativos: 1917, 1995	λ(4,0) = 3,64 b = 0,9 Mwmáx = 6,8 ± 0,3 Mecanismo de rotura predominante: inverso	Criterio: comprender el frente activo de la cordillera Oriental y su extensión por la franja adyacente del borde llanero. Esta zona presenta un contrastado aumento de sismicidad en relación con el interior de la cordillera y con los Llanos. En cuanto a la corteza, se observa gradiente gravimétrico positivo hacia el interior de los Llanos, que muestra el adelgazamiento de la cadena. Borde NW representado por disminución de la sismicidad y el paso de corteza engrosada a la parte central de la cordillera. Borde SE representado por la disminución de epicentros y de estructuras compresivas cartografiadas, en su paso hacia la corteza adelgazada de los Llanos. Borde S representado por la aparición de la zona de deformación de la falla de Algeciras. Borde N representado por la aparición de estructuras norteadas, deformaciones relacionadas con la zona de falla de Boconó y un aumento relativo de la sismicidad. Alternativas: ¿zona de indentación Boconó y escapes laterales de la cordillera?

4.3.1.2 Estimación de parámetros de sismicidad para fuentes tipo área

Uno de los principales supuestos del modelo de amenaza sísmica adoptado en el presente estudio es que las rupturas son eventos independientes, de tal manera que la ocurrencia de un sismo no influye en las probabilidades de ocurrencia de otro. Así pues, las tasas de ocurrencia de sismos no varían con el tiempo.

En el presente estudio, la caracterización de la sismicidad de las fuentes tipo área se determina mediante una ley de recurrencia de Gutenberg-Richter (1954), que considera que los sismos siguen una distribución exponencial. Según esta ley de recurrencia, el número de eventos de magnitudes iguales o superiores a *m* (*N_m*), en una determinada ventana de observación, puede estimarse a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Log}_{10}(N_m) = a - bm \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Los parámetros *a* y *b* de dicha distribución se denominan *parámetros de sismicidad* y pueden estimarse a partir del análisis estadístico del catálogo de eventos (sin eventos dependientes), considerando únicamente los sismos pertenecientes a la fuente de interés.

En términos generales, el parámetro *a* representa la tasa general de actividad (recurrencia) de eventos en la zona. Por su parte, el parámetro *b* está relacionado con la sismotectónica de la región y se estima considerando el rango de magnitudes y la magnitud mínima observada en el Catálogo.

Los parámetros *a* y *b* fueron obtenidos usando el método de máxima verosimilitud propuesto por Weichert (1980), disponible en la herramienta HMTK (Weatherill, 2014). La figura 43 presenta un ejemplo de la distribución de recurrencia de magnitudes obtenida para la fuente CC_10, que corresponde a la zona norte del departamento de La Guajira.

La tabla 21 presenta un resumen de los parámetros principales de cada una de las fuentes sísmicas. En esta tabla, *Id* representa un identificador de la fuente sísmica; el campo *Nombre* corresponde al nombre de la fuente sísmica, referido a la región geográfica donde la misma está localizada o la componente tectónica predominante (p. ej., Cratón). Por su parte, los campos *a* y *b* representan los parámetros de la distribución magnitud frecuencia. Por último, los campos *M_{mín}* y *M_{máx}* representan la magnitud (*M_w*) mínima y máxima, respectivamente. En el anexo D se presentan las distribuciones de magnitud-frecuencia de cada fuente.

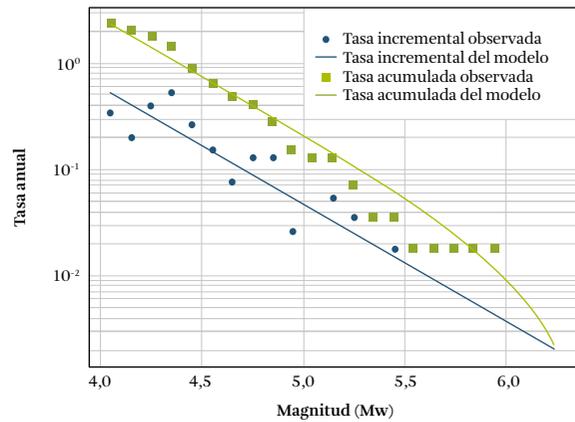


Figura 43. Ejemplo de distribución Gutenberg-Richter doblemente truncada

Tabla 21. Principales parámetros de sismicidad de las fuentes sísmicas pertenecientes al modelo zonificado de fuentes corticales

Id	Nombre	a	b	M _{mín}	M _{máx}
cc01	Oriente de Panamá	3,82	1,00	5,0	7,2
cc02	Pacífico norte (Darién)	4,62	1,00	5,0	7,4
cc03	Sabanas costeñas	3,61	0,94	5,0	6,8
cc04	Ciénagas del Caribe	3,45	0,83	5,0	6,5
cc05	Perijá-Sierra Nevada	3,48	0,92	5,0	6,5
cc06	Depresión de Maracaibo	1,59	0,43	5,0	6,5
cc07	Andes de Mérida	4,15	0,90	5,0	7,9
cc08	Transversal del Caribe (Oca)	2,75	0,80	5,0	6,7
cc09	Transversal de Falcón	3,12	0,79	5,0	6,7
cc10	Guajira-Paraguaná	4,78	1,10	5,0	6,7
cc11	Pacífico central	4,23	1,02	5,0	6,5
cc12	Norte de la cordillera Central	3,66	0,92	5,0	6,5
cc13	Magdalena medio	3,35	0,78	5,0	6,5
cc14	Norte Santander	4,18	1,06	5,0	6,5
cc15	Cocuy	3,72	0,86	5,0	7,5
cc16	Pacífico sur	2,82	0,74	5,0	6,8
cc17	Cauca-Paíña	2,05	0,61	5,0	6,8
cc18	Central Cordillera Central	2,55	0,70	5,0	7,1
cc19	Valle alto del Magdalena	3,65	1,09	5,0	6,5
cc20	Altiplano cundiboyacense	3,14	0,83	5,0	6,8
cc21	Piedemonte de la Orinoquia	4,16	0,97	5,0	6,8
cc22	Zona andina nariñense	2,63	0,69	5,0	7,0
cc23	Sur de la cordillera Oriental	4,75	1,17	5,0	7,0
cc24	Piedemonte de la Amazonia	3,76	1,03	5,0	7,4
cc25	Cratón	3,55	0,93	5,0	6,6
cc26	Pacífico ecuatoriano	5,13	1,27	5,0	7,5
cc27	Sierra occidental ecuatoriana	5,66	1,34	5,0	7,6
cc28	Sierra oriental ecuatoriana	5,22	1,22	5,0	7,4
cc29	Piedemonte ecuatoriano	4,91	1,23	5,0	6,7
cc30	Zona insular de San Andrés	1,74	0,54	5,0	6,5

4.3.1.3 Modelación de las fuentes tipo área

Para modelar las fuentes tipo área en el motor de cálculo OpenQuake se requieren los siguientes insumos:

- || Polígonos que definen los límites de la fuente (véase la sección 4.3.1.1)
- || Límites inferiores y superiores de profundidad de ocurrencia de sismos

- || Leyes de distribución de frecuencia de magnitudes (véase la sección 4.3.1.2)
- || Relaciones de escala de magnitudes y razones de aspecto de la ruptura
- || Geometría de las rupturas en términos de los ángulos de rumbo (*strike*), buzamiento (*dip*) y deslizamiento (*rake*)

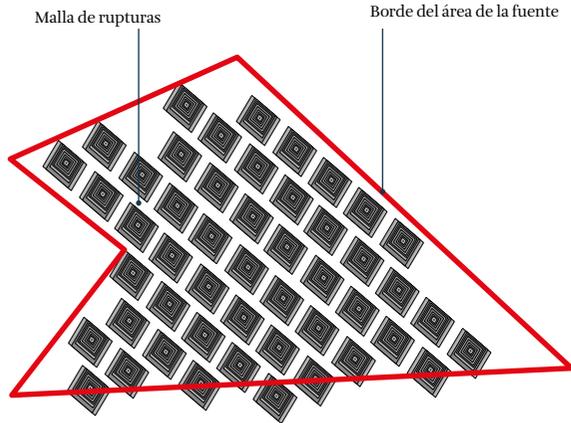


Figura 44. Ejemplo de fuentes tipo área
Fuente: Pagani *et al.* (2014b)

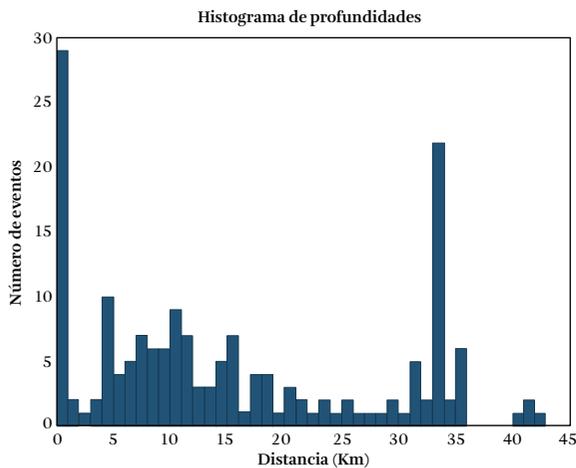


Figura 45. Ejemplo de histogramas de eventos en profundidad

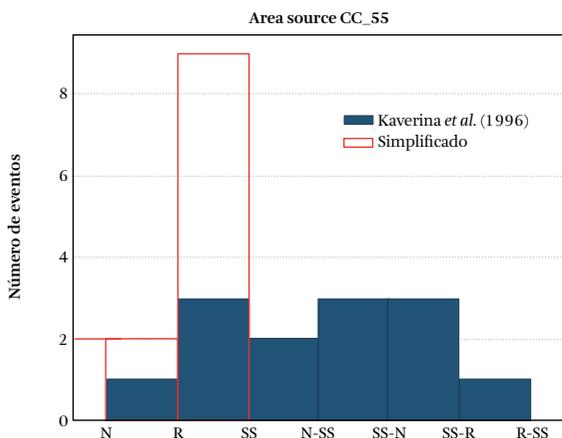


Figura 46. Ejemplos de análisis de mecanismos focales y orientación preferencial y cinemática

La figura 44 presenta un ejemplo de modelación de una fuente tipo área en OpenQuake Engine.

A continuación se describen los principales supuestos y consideraciones sobre los parámetros que caracterizan las fuentes tipo área del modelo de fuentes corticales.

- || **Magnitud mínima.** Fijada arbitrariamente en $M_w = 5$.
- || **Magnitud máxima.** Obtenida como el valor de magnitud máxima observada (M_w), incrementada en 0,3 unidades de magnitud. Si la magnitud máxima obtenida de una zona es menor que 6,5, la magnitud máxima asignada será 6,5.
- || **Espesor sismogénico.** Los límites superior e inferior de la capa sismogénica fueron definidos a partir de un análisis estadístico de la ocurrencia de terremotos instrumentales y la profundidad de la discontinuidad de Mohorovičić.
- || **Distribución de eventos en profundidad.** A partir de histogramas de eventos en profundidad, fue definida la probabilidad de ocurrencia de tres profundidades definidas a priori (5, 20 y 35 km). En la figura 45 se presenta un ejemplo de los eventos según los rangos de profundidad.

Sobre la distribución en profundidad, vale la pena resaltar que debido a las limitaciones de los modelos de velocidades utilizados en la localización de los sismos, es posible encontrar picos a profundidades fijadas (tal como se presenta en la figura 45 para 0 y 33 km), que pueden corresponder a soluciones por defecto, en los casos en que no es posible resolver con precisión la localización de los sismos.

- a) **Tipo de ruptura predominante y su orientación.** Obtenido a partir del análisis de los mecanismos focales de los eventos, así como de la orientación preferencial y la cinemática de las fallas del área. La figura 46 presenta un ejemplo del análisis de mecanismos focales y de la orientación preferencial, considerando clasificaciones sugeridas por Kaverina *et al.* (1996), así como una clasificación simplificada.

b) **Actividad sísmica.** Representada por una distribución Gutenberg-Richter (Gutenberg y Richter, 1954) doblemente truncada, asumiendo un intervalo de magnitud de 0,1, + una magnitud mínima (M_w 4) y máxima (variable según la potencialidad de la zona).

Las figuras 47 y 48 presentan los parámetros *a* y *b*, respectivamente, de las fuentes corticales tipo área. De estas figuras se resaltan los siguientes sectores: el sur del departamento de Nariño, en la frontera con Ecuador; el norte del departamento de La Guajira; el borde de la cordillera Oriental, sobre los departamentos del Huila y Meta, así como el noroccidente del departamento del Chocó.

La figura 49 presenta la magnitud máxima asignada a cada fuente. En esta figura se observa que los mayores valores se encuentran al nororiente en la frontera con Venezuela (en zonas de Norte de Santander y Arauca), al noroccidente del departamento de Chocó, en los departamentos de Huila y Meta (sobre la cordillera Oriental), así como al suroccidente, en la frontera con Ecuador.

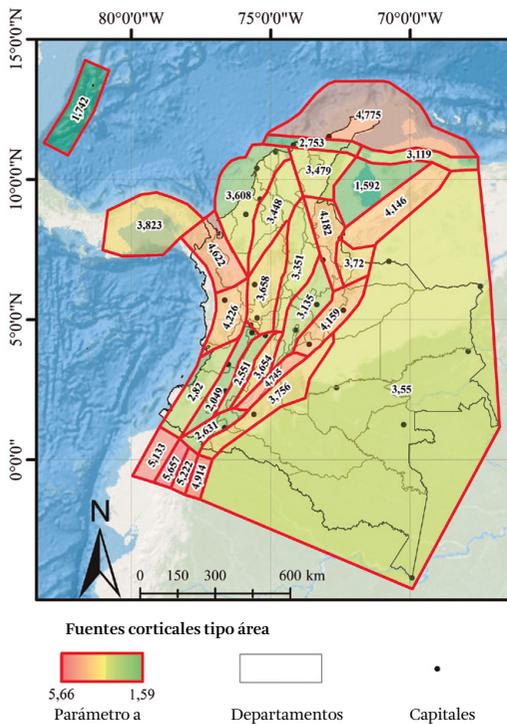


Figura 47. Parámetro a: fuentes corticales tipo área

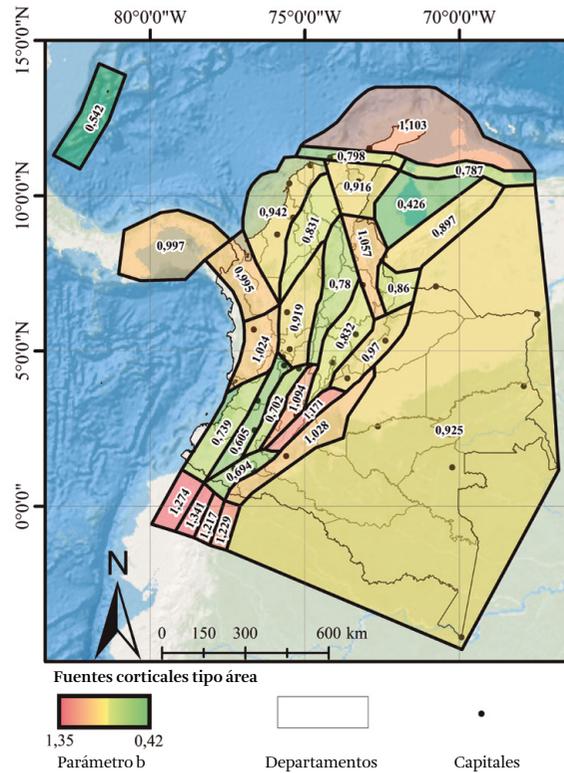


Figura 48. Parámetro b: fuentes corticales tipo área

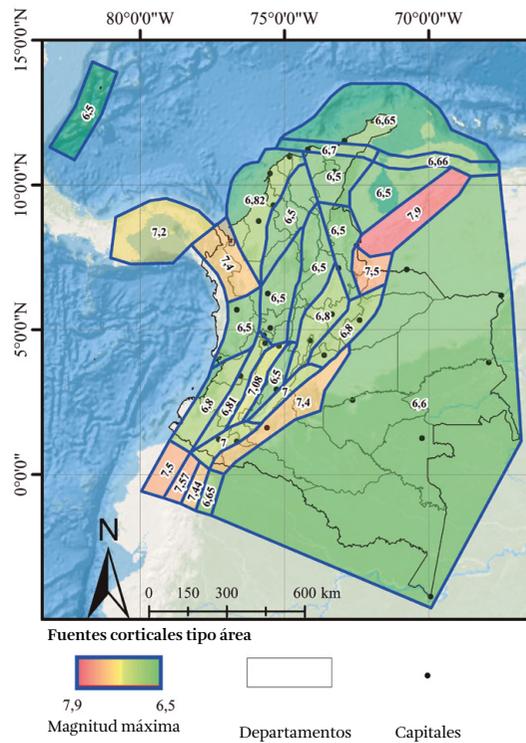


Figura 49. Magnitud máxima. Fuentes corticales tipo área

4.3.2 Modelo de sismicidad suavizada y de fuentes tipo falla

En este modelo se integra un análisis de sismicidad suavizada con un modelo geotectónico de fallas activas mediante un procedimiento que pretende minimizar un conteo doble de la sismicidad en la región donde las fuentes tipo área/grid y falla se superponen geográficamente.

En la figura 50, los polígonos azules representan macrozonas dentro de las cuales se lleva a cabo un análisis de sismicidad suavizada, con excepción del polígono identificado con el ID c07, en el que se consideró un área fuente como la descrita en la sección 4.3.1. Por otro lado, las líneas rojas son las trazas de las fuentes sísmicas tipo falla activa, mientras que los polígonos anaranjados (fallas 3D) representan la proyección superficial de la falla. A continuación se presentan detalles de la modelación de estos tipos de fuentes.

De las macrozonas definidas se resalta que para la modelación de San Andrés y Providencia se utiliza una fuente idéntica a la establecida en el modelo de sismicidad equiprobable.

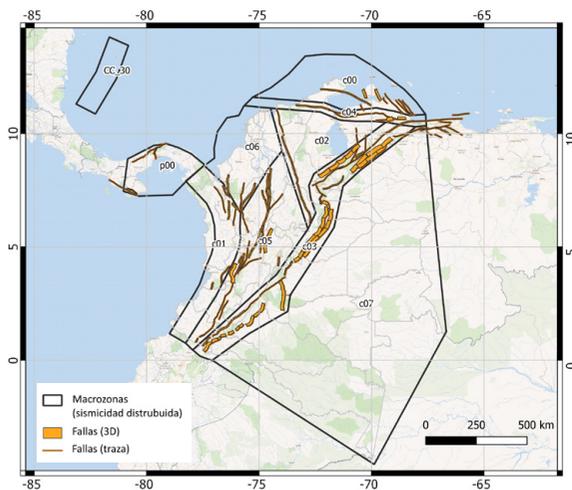


Figura 50. Modelo de fuentes corticales considerando fuentes tipo falla y modelos de sismicidad distribuida

4.3.2.1 Modelo de sismicidad suavizada

Teniendo en cuenta que en la construcción de modelos zonificados pueden existir diferentes criterios e incertidumbres en la definición de límites y geome-

trías de fuentes sísmicas, los modelos de sismicidad suavizada representan una alternativa basada principalmente en catálogos de eventos. Con este enfoque se establece una malla regular para realizar, en cada celda, un conteo de eventos de magnitudes iguales o superiores a determinados rangos de magnitudes, considerando intervalos de 0,1 Mw.

Estos valores son posteriormente ajustados para obtener valores suavizados en el territorio, y son usados para estimar, de cada sitio de interés, tasas anuales de ocurrencia de sismos a ciertas distancias y magnitudes. Detalles de la estimación de la amenaza sísmica con modelos suavizados se encuentran en Frankel (1995) y Woo (1996). En Monelli *et al.* (2014) se presentan procesos de implementación de este análisis en el motor de cálculo OpenQuake.

Con este modelo se definieron y caracterizaron nueve macrozonas de ambiente sísmo-tectónico similar. La caracterización de las macrozonas se realiza del mismo modo que con el modelo de fuentes tipo área (véase la figura 51). La tabla 22 presenta un resumen de los parámetros principales de cada una de las macrozonas consideradas en el modelo suavizado. En el anexo E se presentan las distribuciones de magnitud-frecuencia en cada una de ellas.

De cada macrozona se establece un subcatálogo de eventos principales. A la vez, se definen fuentes puntuales distribuidas en una malla equiespaciada de 0,1° en cada una de las macrozonas.

La transformación del modelo tipo área a tipo fuente puntual (tipo kernel suavizado) se realiza aplicando un filtro gaussiano al subcatálogo de sismos principales de cada una de las macrozonas. Posteriormente se calcula la fracción de la tasa de ocurrencia total que puede ser referida espacialmente al nodo/localización donde se encuentra cada fuente puntual.

En una determinada fuente puntual, la tasa de ocurrencia está condicionada por la distribución de magnitud-frecuencia obtenida de la macrozona, y comparte el mismo valor de b y tasas de ocurrencia producto del filtraje espacial gaussiano.

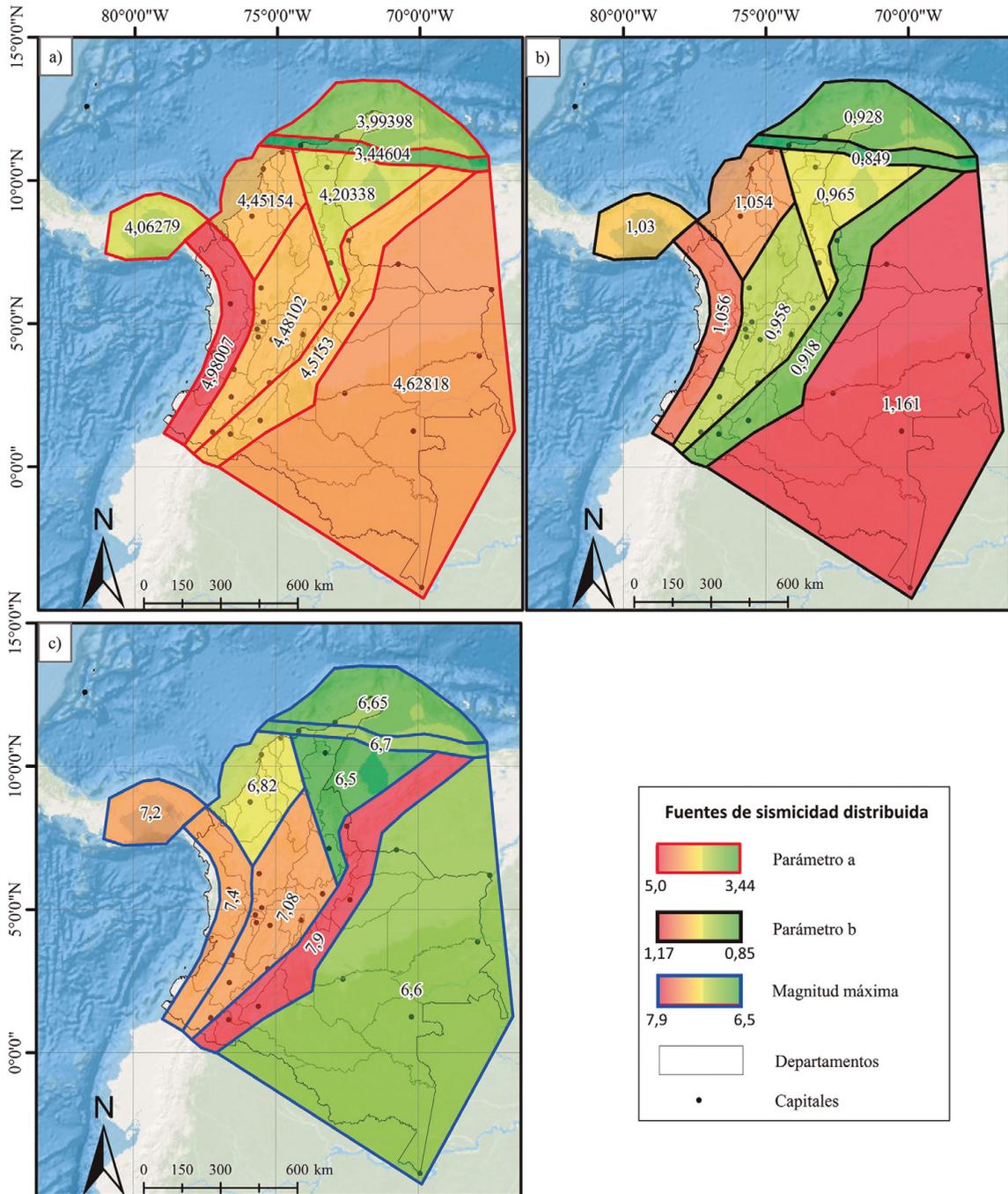


Figura 51. Parámetros de sismicidad de macrozonas consideradas en el modelo de sismicidad suavizada

Tabla 22. Parámetros principales de las macrozonas consideradas en el modelo de sismicidad distribuida (tipo Kernel)

Id	Nombre	a	b	Mmín	Mmáx
p00	Panamá	4,06	1,03	5,0	7,2
c00	Guajira-Paraguaná	3,99	0,93	5,0	6,7
c01	Pacífica	4,98	1,06	5,0	7,4

(.../...)

Id	Nombre	a	b	Mmín	Mmáx
c04	Oca-Falcón	3,45	0,85	5,0	6,7
c06	Caribe	4,45	1,05	5,0	6,8
c05	Andina	4,48	0,96	5,0	7,1
c02	Nororiental	4,20	0,97	5,0	6,5
c03	Piedemonte oriental	4,52	0,92	5,0	7,9
c07	Cratón	4,63	1,16	5,0	6,6
cc30	San Andrés	1,74	0,54	5,0	6,5

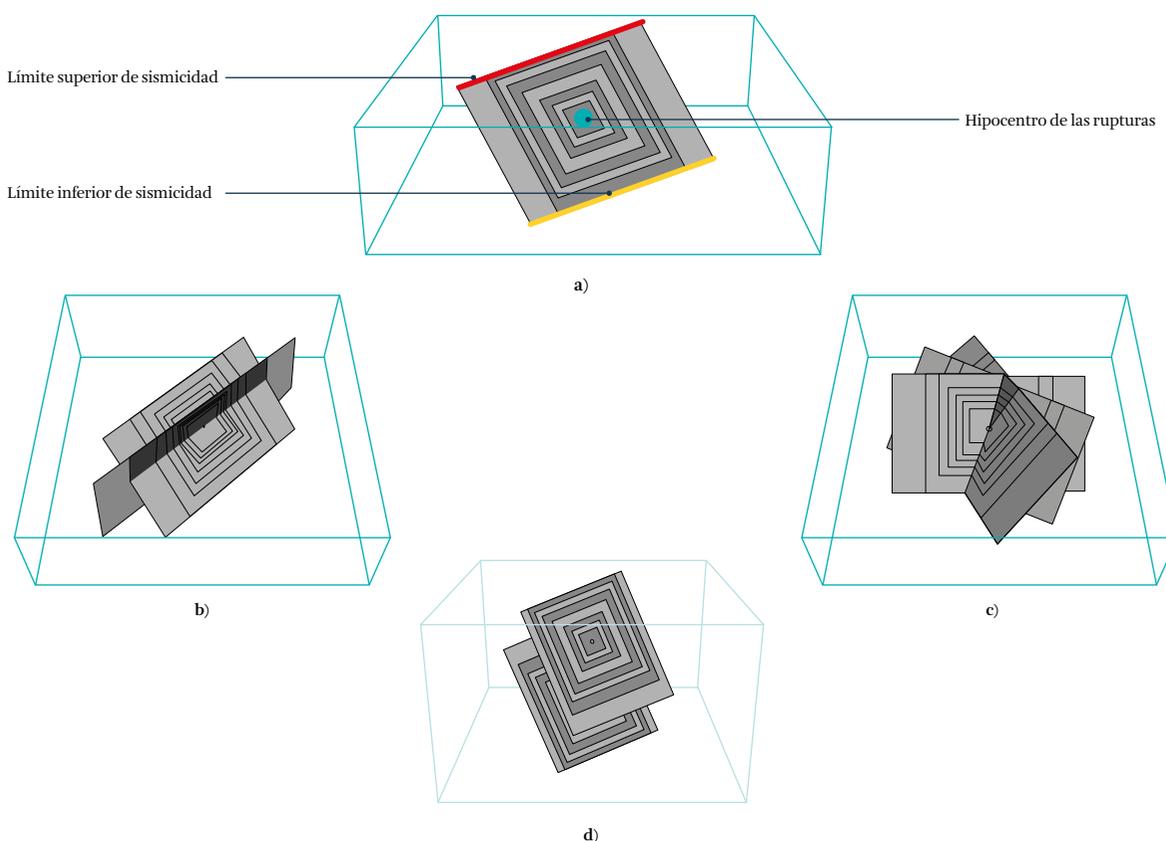


Figura 52. Ejemplo de fuentes puntuales. **a)** Diferencias según relaciones de escala y de aspecto. **b)** Diferencias según buzamiento. **c)** Rumbo. **d)** Profundidades hipocentrales
Fuente: tomado y modificado de Pagani *et al.* (2014b)

Para elaborar el modelo de sismicidad suavizada se utilizaron herramientas creadas por la fundación GEM para este propósito, con las que se obtuvo un conjunto de fuentes puntuales. Estas fuentes se definen a partir de las coordenadas del punto, los límites inferiores y superiores de profundidad de ocurrencia de sismos, relaciones de escala de magnitudes, razones de aspecto de la ruptura, tasas de ocurrencia de eventos según magnitudes y la geometría de

las rupturas, descrita en términos de los ángulos de rumbo (*strike*), buzamiento (*dip*) y deslizamiento (*rake*). La figura 52 presenta un esquema de las fuentes puntuales modeladas en el motor de cálculo OpenQuake.

Al comparar los parámetros de las macrozonas (véase la figura 51) con los parámetros asignados a las áreas fuente del modelo de sismicidad equiprobable (véanse las figuras 47, 48 y 49), se observa que las ma-

crozonas adoptan valores cercanos a los máximos de las áreas fuente que abarcan.

Por ejemplo, el modelo de sismicidad equiprobable correspondiente a la costa pacífica tiene fuentes con magnitudes máximas de 7,4 Mw en el norte de Chocó (ID CC02, tabla 21) y de 7,5 Mw en el sur de Nariño (ID CC26, tabla 21). En el modelo de sismicidad distribuida, el Pacífico está representado en una macrozona (ID C01, tabla 22) cuya magnitud máxima es 7,4. De esta manera, los parámetros de las macrozonas pueden representar una mayor sismicidad. Estos valores se armonizaron con la actividad sísmica de fallas activas, tal como se describe en la siguiente sección.

4.3.2.2 Caracterización de fallas activas

Las fallas activas fueron determinadas a partir de un enfoque geotectónico. De esta manera, para caracterizar la actividad sísmica de estas fuentes no se utiliza información del Catálogo Sísmico Integrado.

En la modelación de fuentes tipo falla se supone que los eventos ocurren en el entorno de la misma.

Ante limitaciones en el conocimiento de la geometría (en superficie y en profundidad), se optó por un tipo de falla simple (según la nomenclatura del motor de cálculo OpenQuake), que se describe a partir de los siguientes parámetros: traza de la falla en superficie; una distribución de frecuencia de magnitudes; una relación de escala de magnitudes; geometría de las rupturas en términos de los ángulos de rumbo (*strike*), buzamiento (*dip*) y deslizamiento (*rake*), y límites superior e inferior de la profundidad de la capa sísmoactiva.

En el motor de cálculo OpenQuake, las rupturas se obtienen al trasladar la traza de la falla (en superficie) al límite inferior de profundidad de las rupturas con una inclinación acorde con el ángulo de buzamiento y azimut. En este tipo de fuente, los límites inferior y superior delimitan la región donde pueden ocurrir rupturas en la falla (Pagani *et al.*, 2014b). La figura 53 presenta un ejemplo de la fuente tipo falla con ruptura flotante, de acuerdo con la modelación realizada en OpenQuake.

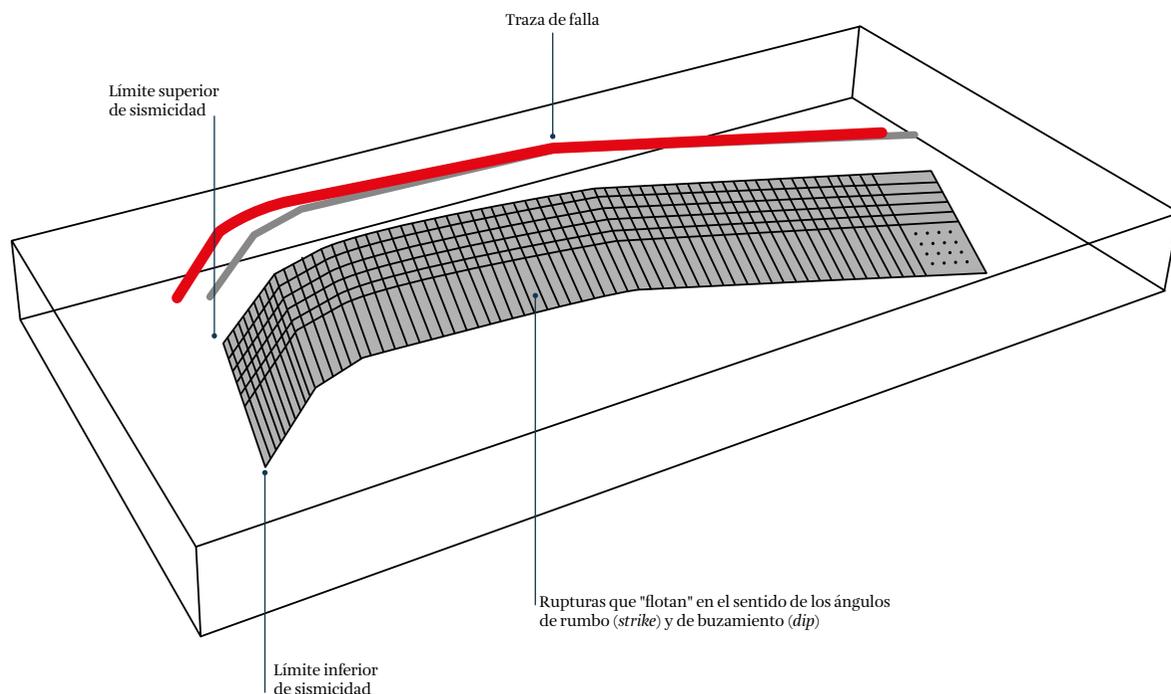


Figura 53. Ejemplo de fuente tipo falla con rupturas flotantes
Fuente: tomado y modificado de Pagani *et al.* (2014b)

A continuación se presentan los parámetros adoptados para la definición de las fallas activas:

- a) **Magnitud mínima.** Fijada en $M_w = 6,5$, asumiendo que solo en eventos con esta magnitud, o mayores, es posible reconocer que la ruptura llega a la superficie.
- b) **Magnitud máxima.** Obtenida usando los parámetros geométricos que caracterizan la falla (o segmento de ella) y la función de escala propuesta por Leonard (2010). Si la magnitud máxima obtenida es inferior a la magnitud mínima, la falla no viene considerada como fuente sísmica.
- c) **Función de escala entre la magnitud y el área de ruptura.** Leonard (2010).
- d) **Espesor sísmogenético.** El límite superior es fijado arbitrariamente en 0 km de profundidad, suponiendo que las rupturas en eventos con $M_w \geq 6,5$ son reconocidas en la superficie. El límite inferior varía según las dimensiones de la falla (o segmento de ella considerado) y su cinemática (véanse detalles en Leonard, 2010).
- e) **Actividad sísmica.** Representada por una distribución Gutenberg-Richter doblemente truncada, asumiendo un intervalo de magnitud 0,1, una magnitud mínima ($M_w 6,5$) y máxima obtenida, como se explicó.

En este caso, la actividad sísmica se calcula usando la información geológica y cinemática contenida en la base de fallas activas, y no de forma directa del Catálogo Sísmico Integrado, como en el caso de las fuentes tipo área o de sismicidad distribuida.

Para analizar la actividad sísmica se utiliza la metodología propuesta por Anderson y Luco (1983), que supone posible encontrar un balance entre la productividad de la falla (número de terremotos promedio entre la magnitud mínima y máxima) y la tasa de liberación de momento total, representado por la tasa de deslizamiento anual.

El valor del parámetro b se fijó a priori como el valor obtenido en la macrozona (fuente tipo área) a la que pertenece la falla. Por otro lado, el valor del parámetro a se ajustó de modo que la tasa de

liberación de momento total equivale a la tasa de acumulación del momento sísmico. El modelo de recurrencia considerado fue el exponencial propuesto por Youngs y Coppersmith (1985).

La figura 54 y la figura 55 presentan ejemplos de distribuciones de recurrencia de magnitudes de fallas pertenecientes a las macrozonas C02 y C03, respectivamente. En estas figuras, las líneas rojas punteadas corresponden a la distribución de recurrencia de magnitudes de la macrozona; las líneas amarillas, a las distribuciones individuales de cada falla, y la azul corresponde a la suma de las distribuciones de las fallas.

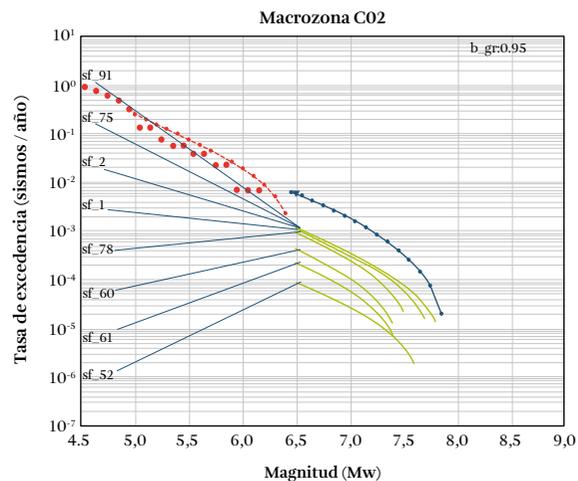


Figura 54. Distribución de recurrencia de magnitudes en las fallas activas de la macro zona C02

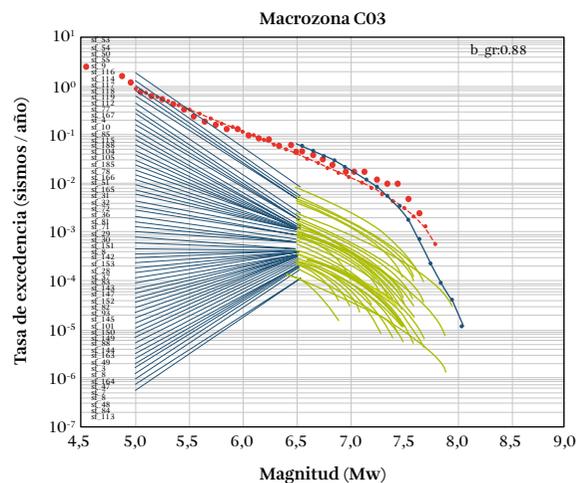


Figura 55. Distribución de recurrencia de magnitudes de fallas activas de la macro zona C03

En la figura 54 se observa que la distribución de magnitudes de la macrozona C02 tiene una magnitud máxima de 6,5 Mw. Dicha distribución se complementa con la suma de las distribuciones de magnitudes de las fallas, de tal manera que se puede tener una evaluación de la amenaza sísmica en un rango de magnitudes superiores a 6,5 Mw.

En la figura 55 se observa que la macrozona C03 tiene una distribución de magnitudes con magnitud máxima superior a 7,5 Mw. En esta figura se observa un buen ajuste entre la distribución de magnitudes de la macrozona y la suma de distribuciones individuales de fallas pertenecientes a dicha macrozona.

La tabla 23 presenta un resumen de los parámetros principales de cada una de las fallas consideradas en el modelo. El campo *Id* corresponde al identificador de la falla, o segmento de ella; los campos *Usd* y *Lsd* representan los límites superior e inferior de la capa sismoactiva, respectivamente; el campo *Dip* corresponde al ángulo de buzamiento promedio de la falla, o segmento de ella; el campo *Rake* corresponde al ángulo de deslizamiento promedio de la falla, o segmento de ella, y el campo *Slip* corresponde a la tasa anual de desplazamiento (en mm/año).

Tabla 23. Parámetros principales de las fuentes sísmicas tipo fallas simples, pertenecientes al modelo cortical

Id	Nombre	Usd	Lsd	Dip	Rake	Slip
sf_192	Azuero Fault	0	17	90	0	4,500
sf_194	Azuero Fault	0	17	90	0	4,500
sf_195	Azuero Fault Zone	0	17	80	-45	0,900
sf_199	Río Gatun Fault	0	17	90	0	7,200
sf_200	Limón Fault	0	17	80	-135	1,640
sf_240	Pedro Miguel Fault	0	17	90	180	4,500
sf_241	Río Gatún Fault	0	17	90	0	4,500
sf_242	Río Gatún Fault	0	17	90	0	4,500
sf_243	Río Gatún Fault	0	17	90	0	4,500
sf_287	La Victoria-El Horno	0	17	90	180	0,450
sf_288	La Victoria-La Cabrera	0	16	90	180	0,900
sf_289	Tácata-Tácata	0	16	72	180	0,400
sf_290	Aragüita-Aragüita	0	17	90	180	0,400
sf_291	San Sebastián-Centro	0	17	90	180	2,700
sf_293	Tacagua-El Ávila-El Ávila	0	17	90	180	0,400
sf_294	Tuñame-Norte	0	19	72	-90	0,450
sf_295	Boconó-Lagunillas-Los Mirtos	0	17	90	180	4,500
sf_296	Lagarto-Lagarto	0	17	90	180	0,180
sf_297	Los Médanos-Los Médanos	0	17	60	-90	0,180
sf_298	La Soledad-La Soledad	0	17	90	-135	0,270
sf_299	Costa NE de Falcón-Este	0	17	90	-135	0,270
sf_301	Oca-Ancón-Ancón	0	17	90	180	1,350
sf_302	Oca-Ancón-Camare-Paraíso 2	0	17	90	135	1,800
sf_303	Oca-Ancón-Socremo	0	16	52	135	0,900
sf_304	Flanco Norandino-Suroeste	0	10	30	90	0,180
sf_305	Flanco Surandino-Sur 2	0	7	20	90	0,450
sf_306	Burbusay-Burbusay	0	17	90	0	0,900
sf_307	Boconó-Santa Cruz de Mora-Los Frailes	0	17	90	180	5,400
sf_308	Boconó-Cabudare-Morón	0	16	72	135	0,900
sf_309	La Victoria-Guacamaya Este	0	17	90	180	0,450
sf_310	Valera-Norte 1	0	17	90	0	0,450
sf_311	Valera-río Momboy	0	18	90	-45	0,450
sf_318	Siquisique-Siquisique	0	17	90	135	0,630
sf_319	Río Seco-Este	0	16	72	135	0,320
sf_325	La Victoria-La Victoria	0	17	90	180	0,450
sf_327	Río Guárico-Sur	0	17	90	180	0,300
sf_328	Río Guárico-Centro	0	15	90	180	0,300
sf_329	Boconó-Boconó-Palo Colorado	0	17	90	180	0,900
sf_331	Costa NE de Falcón-Oeste	0	17	90	-135	0,270
sf_332	Oca-Ancón-Churuguara	0	17	90	-135	1,800

(.../...)

Id	Nombre	Usd	Lsd	Dip	Rake	Slip
sf_333	Flanco Surandino-Norte 1	0	7	20	90	0,230
sf_334	Boconó-Mucuchíes-Anzoátegui	0	17	90	180	8,100
sf_335	La Victoria-Guacamaya Oeste	0	17	90	180	0,450
sf_336	Costa NE de Falcón-Costa Oriental Falcón	0	17	90	-135	0,270
sf_340	Moroturo-Moroturo	0	10	30	90	0,180
sf_343	La Victoria-Pichao	0	17	90	180	0,500
sf_345	Paraguaná Oeste-Paraguaná Oeste	0	17	60	-90	0,180
sf_346	Oca-Ancón-Oca Este	0	17	90	135	0,450
sf_347	Flanco Norandino-Noreste	0	10	30	90	0,230
sf_348	Boconó-Anzoátegui-Barquisimeto	0	17	90	180	4,500
sf_349	Valera-Páramo Miranda	0	20	90	-45	0,450
sf_351	Río Seco-Centro	0	16	72	135	0,320
sf_352	Murri	0	19	72	45	0,090
sf_353	Cubara	0	14	45	90	0,900
sf_355	Sección Yopal A	0	12	37	90	1,130
sf_356	Bucaramanga	0	16	72	45	0,900
sf_357	Tucura	0	19	72	90	0,450
sf_358	Mutatá	0	16	72	45	0,450
sf_360	Jetudo	0	19	72	45	0,090
sf_361	El Reposo-El Reposo	0	17	90	45	0,270
sf_362	Espiritu Santo	0	19	72	-135	0,450
sf_363	Cañas Gordas	0	19	72	45	0,450
sf_365	Flanco Surandino-Sur 1	0	7	20	90	0,450
sf_366	La Tortuga-La Tortuga	0	17	90	180	1,000
sf_367	Costa NE de Falcón-Centro	0	17	90	-135	0,270
sf_368	Oca-Ancón-Camare-Paraiso 1	0	17	90	135	1,800
sf_369	Caparo-Oeste	0	16	72	180	0,900
sf_370	Valera-Norte 2	0	17	90	0	0,900
sf_373	Murindó	0	17	90	45	0,450
sf_374	Cubará	0	11	45	90	0,900
sf_375	Honda	0	16	52	45	0,090
sf_376	Santa Marta	0	17	90	0	0,900
sf_377	Sección Guaicaramo Norte	0	12	37	90	1,440
sf_378	Sección Guaicaramo Central	0	12	37	90	1,440
sf_379	Sección Guaicaramo Sur	0	12	37	90	1,440
sf_380	Urrao	0	17	90	0	0,450
sf_383	Oca Oeste	0	16	72	135	2,250
sf_384	Río Seco-Oeste	0	16	72	135	0,320
sf_385	Falla de Algarrobo	0	16	72	0	0,900
sf_387	Santa Bárbara	0	17	90	0	0,090
sf_388	Sopetrán	0	17	90	0	0,180
sf_389	San Jerónimo	0	17	90	0	0,090
sf_390	Sabanalarga	0	17	90	0	0,090
sf_391	Sabanalarga	0	17	90	0	0,090
sf_392	Cimitarra	0	17	90	0	0,180
sf_393	Aguas Calientes S	0	15	72	135	0,450
sf_394	Sección Yopal B	0	12	37	90	1,130
sf_395	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_396	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_397	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_398	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_399	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_400	Aguas Calientes N	0	14	72	135	0,450
sf_401	Otú-Norte	0	16	72	45	0,450
sf_402	Bagre-Norte	0	16	72	45	0,180
sf_403	Oca-Ancón-Oca Centro	0	17	90	135	0,410
sf_404	Usme	0	19	72	-135	0,900
sf_405	Guayuriba	0	16	72	135	1,350
sf_406	La Macarena	0	14	45	90	0,090
sf_407	San Juan de Villalobos-Yunguillo	0	19	72	135	1,800
sf_408	Sibundoy-La Cocha	0	15	90	180	1,800
sf_409	Altamira-Pitalito	0	19	72	135	1,800

(.../...)

Id	Nombre	Usd	Lsd	Dip	Rake	Slip
sf_410	Algeciras-Balsillas	0	17	90	180	1,800
sf_411	Zuluaga-Garzón	0	17	90	180	1,800
sf_412	Afiladores	0	19	72	135	1,800
sf_413	Guachucal Norte	0	13	72	135	0,900
sf_415	Guachucal Centro	0	13	72	135	0,900
sf_416	Buesaco-Aranda	0	17	90	180	1,800
sf_417	La Cruz	0	15	90	180	0,450
sf_418	San Pablo	0	17	90	180	0,450
sf_419	San Pablo	0	17	90	180	0,450
sf_420	Corinto	0	17	90	180	0,450
sf_421	Buenavista	0	17	90	180	0,450
sf_422	San Sebastián	0	17	90	180	0,450
sf_423	Sotará	0	17	90	180	0,450
sf_424	El Tambor	0	19	72	135	0,450
sf_425	Dagua Calima	0	16	72	-45	0,450
sf_426	Saliente de Buga	0	12	37	90	0,270
sf_427	Ibagué	0	17	90	180	1,350
sf_428	Montenegro	0	16	72	-45	0,450
sf_429	Pijao	0	17	90	180	0,450
sf_430	Armenia	0	19	72	-45	0,450
sf_432	Campanario	0	17	90	180	0,450
sf_433	Aranzazu-Manizales	0	14	90	0	0,090
sf_435	Borde Amazónico	0	14	45	90	0,450
sf_436	Borde Amazónico	0	14	45	90	0,450
sf_437	Borde Amazónico	0	11	45	90	0,450
sf_438	Borde Amazónico	0	13	45	90	0,450
sf_440	Borde Amazónico	0	13	45	90	0,450
sf_442	Borde Amazónico	0	11	45	90	0,450
sf_443	Borde Amazónico	0	12	45	90	0,450
sf_444	Borde Amazónico	0	14	45	90	0,450
sf_445	Borde Amazónico	0	13	45	90	0,450
sf_446	Borde Amazónico	0	14	45	90	0,450
sf_464	Flanco Surandino-Norte 1	0	7	20	90	0,230
sf_465	Flanco Norandino-Noreste	0	10	30	90	0,230
sf_466	Sección Yopal A	0	12	37	90	1,130
sf_467	Sección Yopal A	0	12	37	90	1,130
sf_468	Sección Guaicaramo Norte	0	12	37	90	1,440
sf_469	Sección Guaicaramo Central	0	12	37	90	1,440
sf_470	Tucura	0	19	72	90	0,450
sf_471	Espiritu Santo	0	19	72	-135	0,450
sf_472	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_473	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_474	Cimitarra	0	17	90	0	0,180
sf_475	Otú-Norte	0	16	72	45	0,450
sf_476	Bagre-Norte	0	16	72	45	0,180
sf_477	Honda	0	16	52	45	0,090
sf_478	Honda	0	16	52	45	0,090
sf_479	Jetudo	0	19	72	45	0,090
sf_480	Jetudo	0	19	72	45	0,090
sf_482	Aranzazu-Manizales	0	17	90	0	0,090
sf_483	Aranzazu-Manizales	0	17	90	0	0,090
sf_484	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_485	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_486	Sección Yopal B	0	12	37	90	1,130
sf_492	San Sebastián-Centro	0	17	90	180	3,000
sf_529	Murrí	0	19	72	45	0,090
sf_530	Falla de Algarrobo	0	16	72	0	0,900
sf_531	Bucaramanga	0	16	72	45	0,900
sf_532	Flanco Norandino-Noreste	0	10	30	90	0,230
sf_534	Sección Guaicaramo Central	0	12	37	90	1,440
sf_535	Flanco Surandino-Norte 1	0	7	20	90	0,230
sf_536	Flanco Surandino-Sur 1	0	7	20	90	0,450
sf_537	Flanco Norandino-Noreste	0	10	30	90	0,230

(.../...)

Id	Nombre	Usd	Lsd	Dip	Rake	Slip
sf_538	Flanco Surandino-Norte 1	0	7	20	90	0,230
sf_539	Boconó-Anzoátegui-Barquisimeto	0	17	90	180	4,500
sf_540	Sección Guaicaramo Central	0	12	37	90	1,440
sf_541	Palestina	0	19	72	45	0,180
sf_542	Palestina	0	14	72	45	0,180
sf_543	Espíritu Santo	0	19	72	-135	0,450

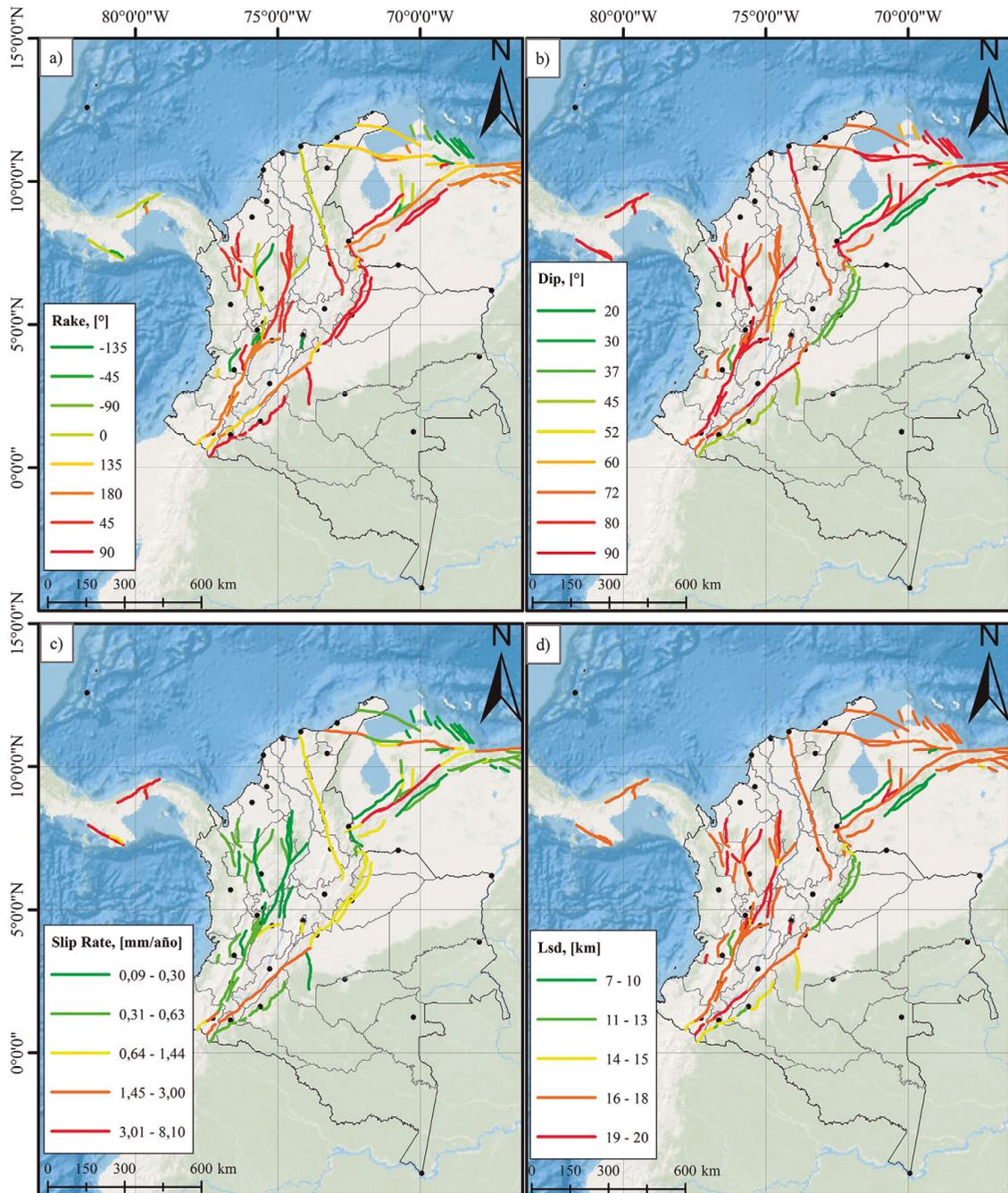


Figura 56. Parámetros para caracterizar fallas activas

En la figura 56 se presenta la distribución geográfica de las fallas activas incluyendo los parámetros de la tabla 23. En el anexo F se incluyen las distribuciones de magnitud-frecuencia de cada falla.

4.3.2.3 Integración del modelo de sismicidad suavizada y de fallas

La integración del modelo de fuentes puntuales (o sismicidad distribuida tipo kernel) y las fuentes tipo fallas simples es un paso necesario para evitar un doble conteo de la sismicidad en el entorno geográfico donde ambos modelos se superponen.

Para reducir este efecto, una alternativa de integración consiste en cortar las distribuciones de recurrencia de magnitudes de las fuentes puntuales, considerando como límite máximo la magnitud mínima de la distribución de recurrencia de magnitudes que describe las fallas activas (Pagani *et al.*, 2016; García *et al.*, 2017). De esta manera se obtiene un empalme de curvas de recurrencia de magnitudes que restringe el doble conteo de sismos.

4.3.3 Modelación de fuentes de subducción y profundas

Generalmente, la modelación de la actividad sísmica en zonas de subducción involucra dos tipologías de fuentes: fuentes en la zona de contacto entre las placas (denominadas *interplaca*) y fuentes intraplaca en la zona de Benioff (denominadas *intraplaca*, *intra-slab* o *inslab*).

Las fuentes tipo interplaca, como su nombre lo indica, representan la sismicidad producida en el contacto entre las placas involucradas en el proceso de subducción, en la zona de mayor acoplamiento entre ellas. Por su parte, las fuentes intraplaca representan la sismicidad que ocurre dentro del volumen que subduce, así como en su entorno (figura 34).

Las fuentes de subducción se definieron y caracterizaron a partir de las experiencias regionales en Suramérica y el Caribe, tales como los proyectos South America Risk Assessment (SARA) (García *et al.*, 2017) y Central America Risk Assessment (CCARA), liderados por la Fundación GEM, que contaron con la participación de investigadores locales.

Por otra parte, se consideraron experiencias del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), de Heuret *et al.* (2011) y de Heuret *et al.* (2015), respecto a la definición de la geometría de la subducción, la tipología de fuentes, la estimación de parámetros de sismicidad y la segmentación de las fuentes (García *et al.*, 2017).

Para la modelación de las fuentes de subducción se adoptó el siguiente procedimiento:

- ||| Definición de la geometría de la placa subducida utilizando un modelo 2,5D, con el que se busca representar en una superficie 2D el volumen de la placa 3D.
- ||| Subdivisión geométrica de la placa subducida en zona de interplaca, Benioff y profunda (nido de Bucaramanga).
- ||| Selección de eventos de cada una de las fuentes (según tipología) y caracterización sísmica.
- ||| Implementación de las fuentes en el motor de cálculo OpenQuake.

En las siguientes secciones se presentan detalles de cada uno de estos pasos.

4.3.3.1 Definición de la geometría de la placa subducida

La definición de la geometría de la placa subducida es el primer paso, y uno de los más importantes, en la caracterización de estas fuentes. Para este propósito se define un número de secciones a lo largo de la trinchera, y perpendiculares a la zona de Benioff, donde la placa de Nazca se introduce debajo de la placa de Suramérica. El principal objetivo es caracterizar, desde un punto sismotectónico, la distribución de eventos en profundidad en cada perfil y obtener una geometría generalizada de la placa en términos de los límites superior e inferior, cambios en la orientación y profundidad, así como criterios válidos para una posible segmentación.

La figura 57 presenta las secciones utilizadas para a) la región colombo-ecuatorial y b) el nido sísmico de Bucaramanga. El número de secciones que deben construirse a lo largo de la trinchera, o perfil geográ-

fico tomado como referencia, se definió a partir de la densidad de la información usada en el análisis y su resolución en profundidad a lo largo de cada una de las secciones. También se tuvo en cuenta que dicha información no fuera redundante y que permitiera la inferencia de la geometría de la placa subducida.

La figura 58 presenta ejemplos de secciones creadas para caracterizar el proceso de subducción entre las placas Nazca y Suramérica. De forma similar, la figura 59 presenta secciones para caracterizar la sismicidad profunda del nido de Bucaramanga. A partir de estos perfiles y de la distribución de hipocentros de sismos a lo largo de éstos, es posible identificar la profundidad indicativa del límite superior de la placa subducida (línea negra discontinua).

A la vez, en estas secciones se incluyen clasificaciones de los mecanismos de ruptura (según Kaverina *et al.*, 1996), que también permiten realizar una dife-

renciación de las zonas interplaca (mayoritariamente de tipo inverso o *reverse*) y Benioff, en las cuales la mayoría de eventos son de tipo normal y *strike slip*.

Los análisis realizados en cada perfil se integraron en un modelo 2,5D, de lo que se obtuvo una superficie que representa el límite superior de la placa subducida. Las figuras 60 y 61 presentan las superficies obtenidas de la subducción colombo-ecuatoriana, así como la obtenida del nido sísmico de Bucaramanga, respectivamente. Mediante este modelo también se obtiene una aproximación a la geometría de la placa subducida y a sus variaciones en profundidad.

Por otro lado, el límite inferior de la placa subducida se define utilizando la información contenida en los perfiles y el conocimiento acumulado en estudios sobre el proceso de subducción en el Pacífico colombiano (Pedraza García *et al.*, 2007; Chiarabba *et al.*, 2016).

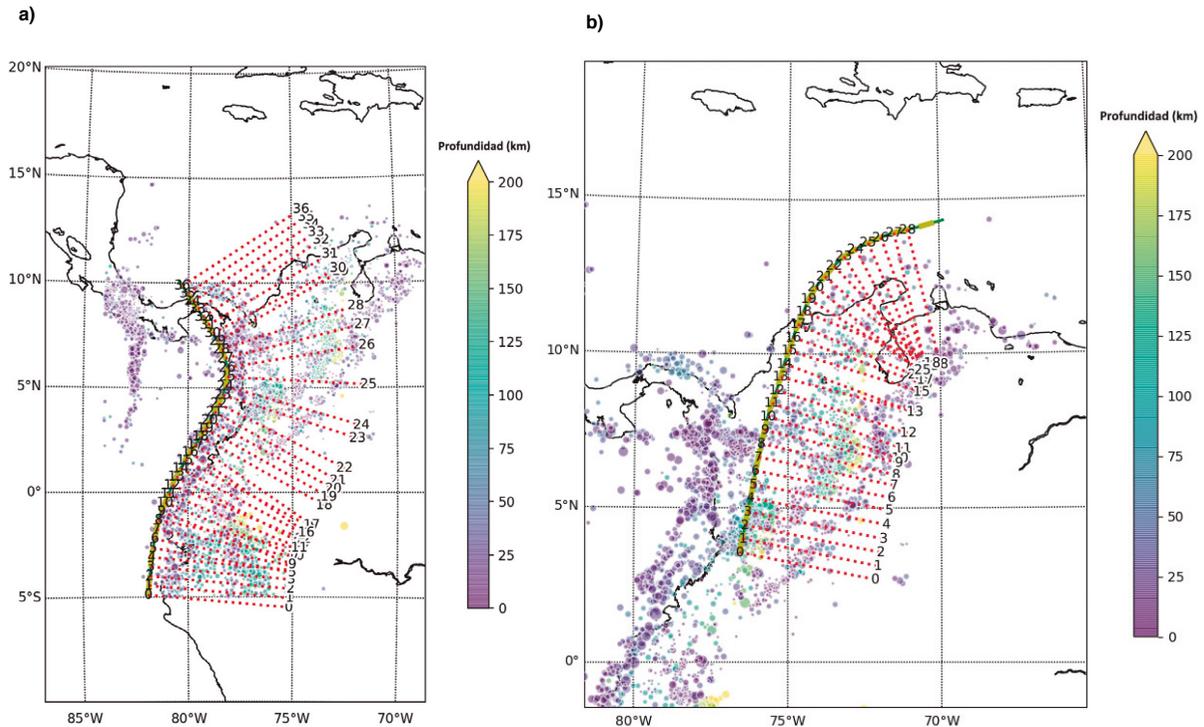


Figura 57. Mapas con las secciones creadas para definir la geometría de a) subducción Nazca/Suramérica y b) sismicidad profunda (Bucaramanga). La escala representa la profundidad de los eventos presentes en el Catálogo

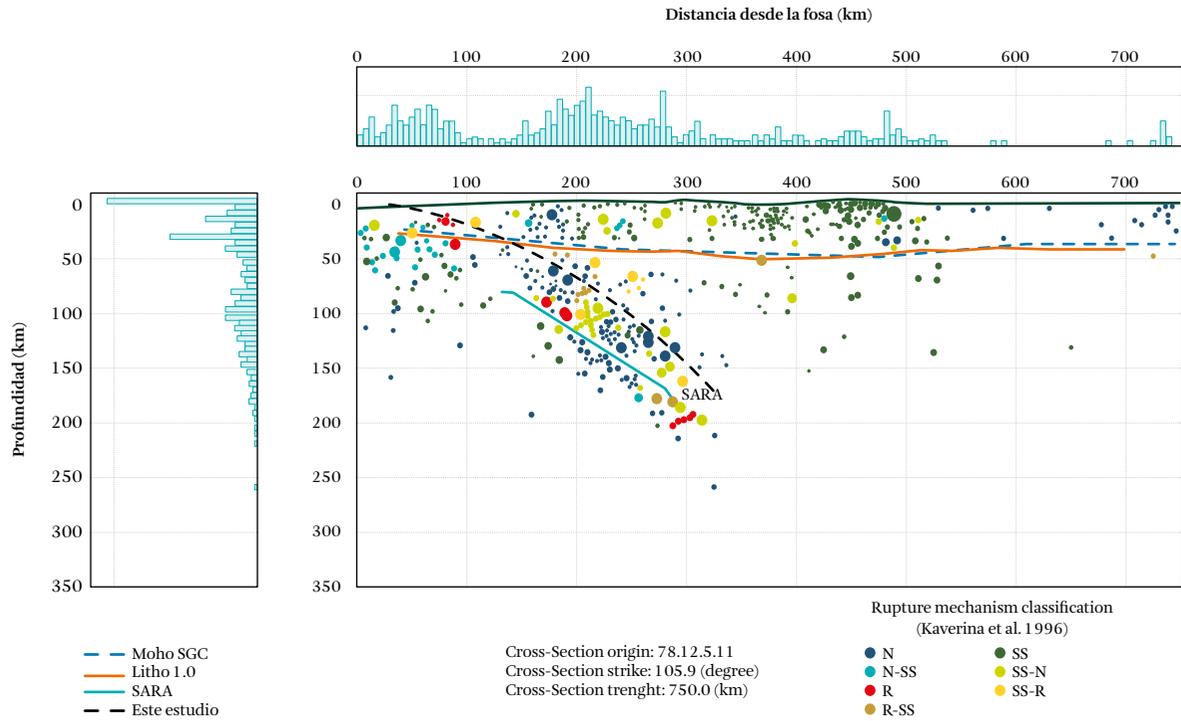


Figura 58. Ejemplo de secciones creadas para para definir la geometría del proceso de subducción entre las placas Nazca y Suramérica

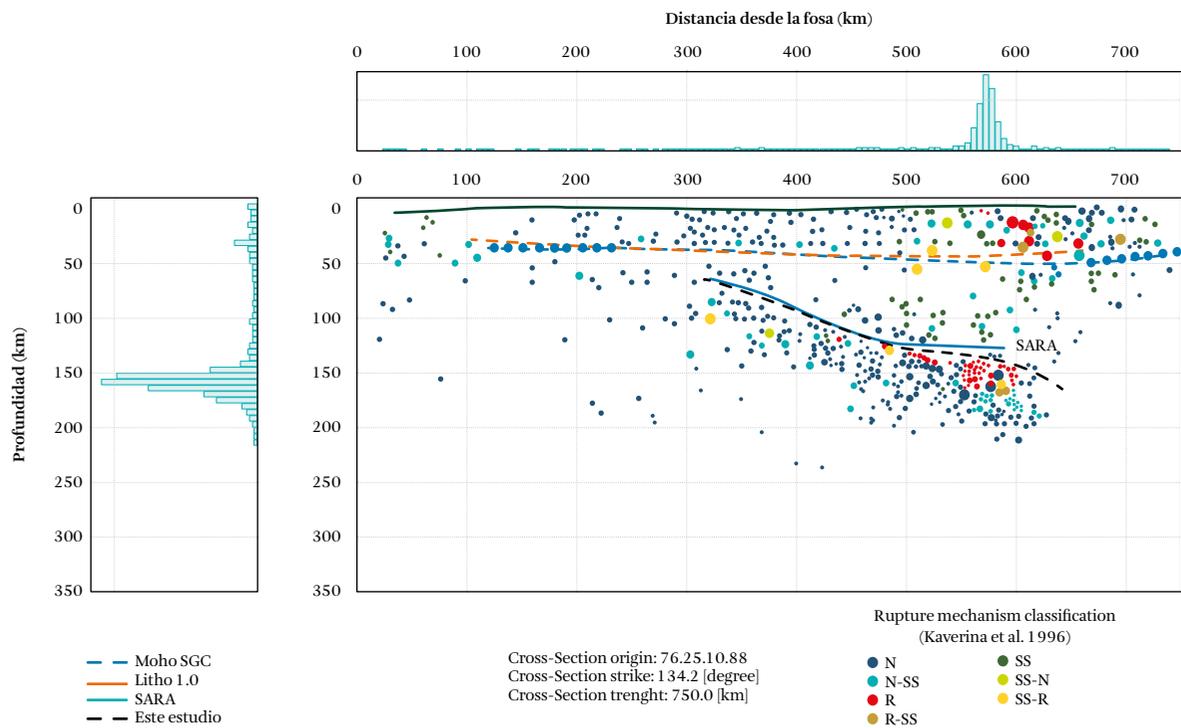


Figura 59. Ejemplo de secciones creadas para para definir la geometría de la sismicidad del nido de Bucaramanga

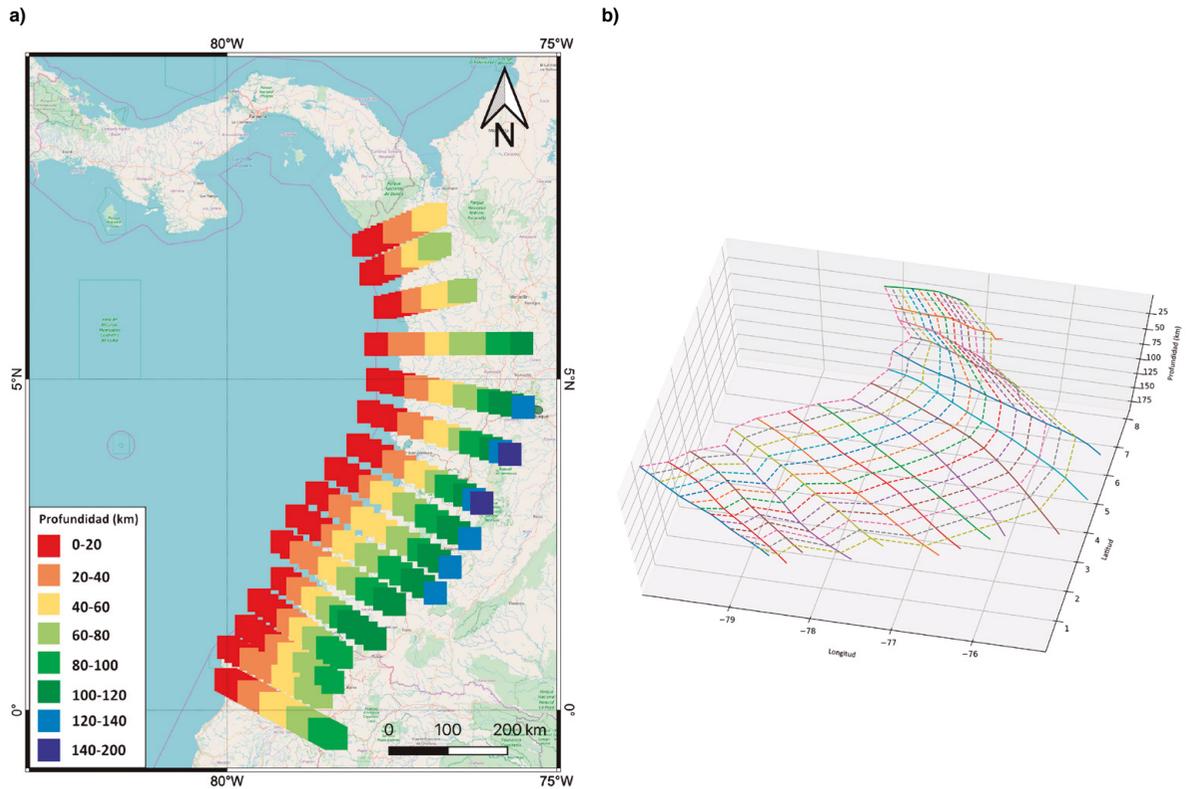


Figura 60. Tope del volumen de subducción entre las placas Nazca y Suramérica en la región colombo-ecuatoriana: **a)** variaciones en profundidad; **b)** superficie 2,5D obtenida

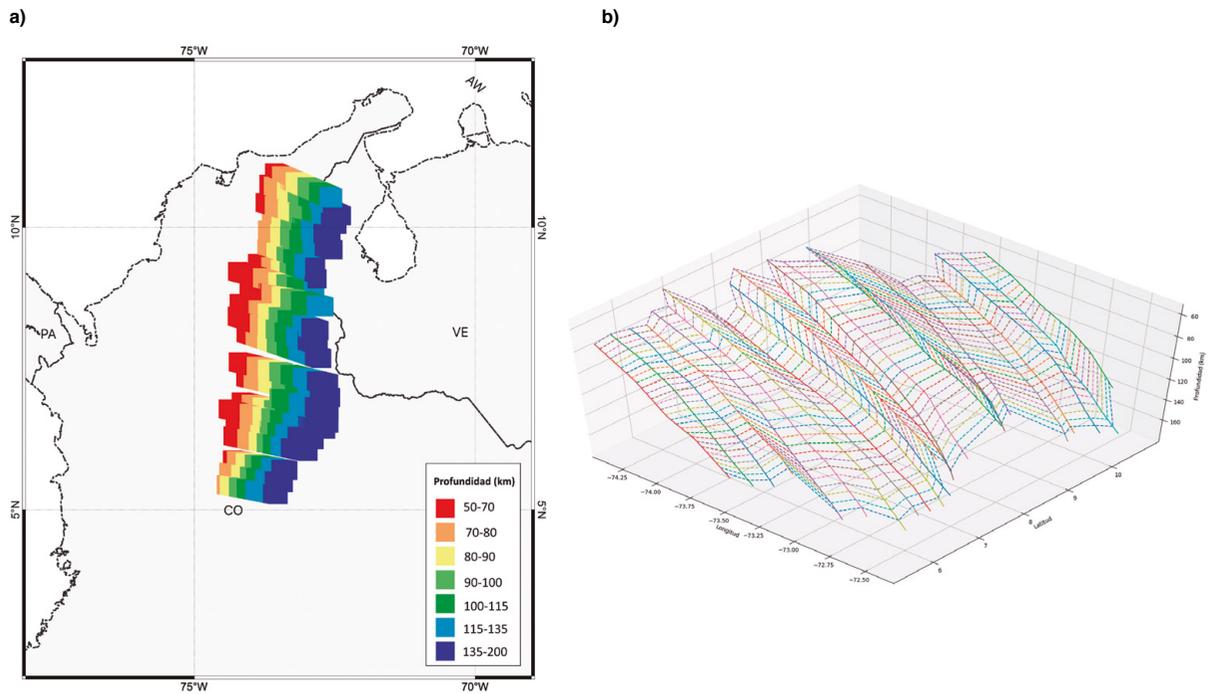


Figura 61. Tope del volumen subducido en la región del nido sísmico de Bucaramanga (sismicidad profunda): **a)** variaciones en profundidad; **b)** superficie 2,5D obtenida

4.3.3.2 Subdivisión geométrica de la placa subducida en zonas interplaca y Benioff

Para el análisis de amenaza, además de conocer la geometría de la placa subducida, es necesario discriminar dicha placa en zonas interplaca e intraplaca, ya que en esas zonas se generan rupturas de diferentes características (mecanismos focales, magnitudes y profundidades).

En el caso de las fuentes interplaca, se asume que los eventos ocurren en la superficie del tope de la placa subducida, o en su entorno, si se consideran incertidumbres asociadas a su definición. De esta manera, es relevante definir las profundidades superior (*usd*) e inferior (*lsd*) de la zona interplaca, así como la variación de la profundidad en la dirección del buzamiento promedio del proceso de subducción (figura 34).

Como referencia, la figura 62 presenta rangos de profundidades de las fuentes interplaca pertenecientes a los modelos de amenaza compilados en la base de datos de la Fundación GEM (versión 2017): RES12 (Benito *et al.*, 2012 para Centroamérica); SOA10 (Petersen *et al.*, 2010 para Suramérica) y SAR16 (García *et al.*, 2017), proyecto SARA para Suramérica. En esta figura se observa que se han utilizado profundidades de 10 a 15 km (líneas punteadas) para establecer el límite superior de la zona interplaca.

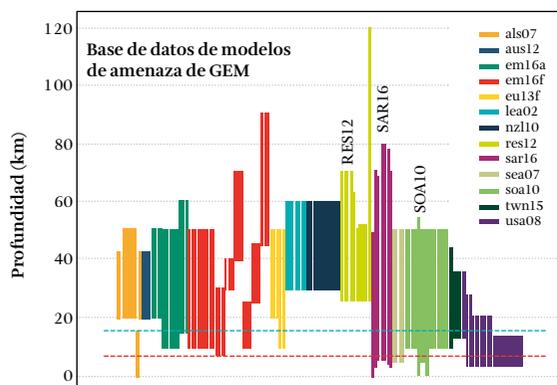


Figura 62. Dimensiones de fuentes interplaca; profundidad de los límites: mínimo y máximo

La delimitación en profundidad de los límites (mínimo y máximo) de las fuentes interplaca se reali-

zó a partir de la información contenida en las secciones definidas de la placa de subducción del Pacífico, respecto a mecanismos focales, dimensión, orientación y tipología predominante de las rupturas.

Tal análisis se complementó con experiencias de modelos compilados por la Fundación GEM (figura 62) y con estudios previos enfocados en la definición de la geometría del proceso de subducción del Pacífico colombiano (Pedraza García *et al.*, 2007). Como referencia, se consideraron también los resultados de Lay *et al.* (2012), Thingbaijam y Mai (2016) y Heuret *et al.* (2011).

Con el fin de considerar incertidumbres (epistémicas) asociadas a las limitaciones en el conocimiento del proceso de subducción y de las fuentes interplaca, se plantearon dos modelos alternativos, que varían en los siguientes aspectos:

- || Profundidad de diferenciación entre zonas interplaca y Benioff. Al respecto se consideran dos profundidades (40 y 50 km) como el límite inferior (*lsd*) de las fuentes interplaca. Vale la pena señalar que la selección de tales profundidades también define el límite superior (*usd*) de la zona Benioff. Las figuras 64 y 65 presentan la geometría en planta y los límites de profundidad de estas fuentes.
- || Segmentación de la placa. Al respecto, se consideran dos aproximaciones: i) un modelo no segmentado, para el cual se estiman los parámetros de sismicidad en toda la fuente; ii) un modelo segmentado en el que, para cada segmento, se estiman los parámetros de sismicidad.

De acuerdo con una revisión de la sismicidad de la subducción del Pacífico colombiano, Sarria (1995) señala que se encuentran más sismos con magnitudes iguales o superiores a 5 en el sur del país, en el borde con Ecuador, que en la parte norte. De esta manera, se considera conveniente dividir la subducción para comprender mejor la amenaza.

Según Arcila y Dimaté (2005) y Monsalve *et al.* (2009), a partir de un análisis que combina la distribución geográfica de la sismicidad, anomalías

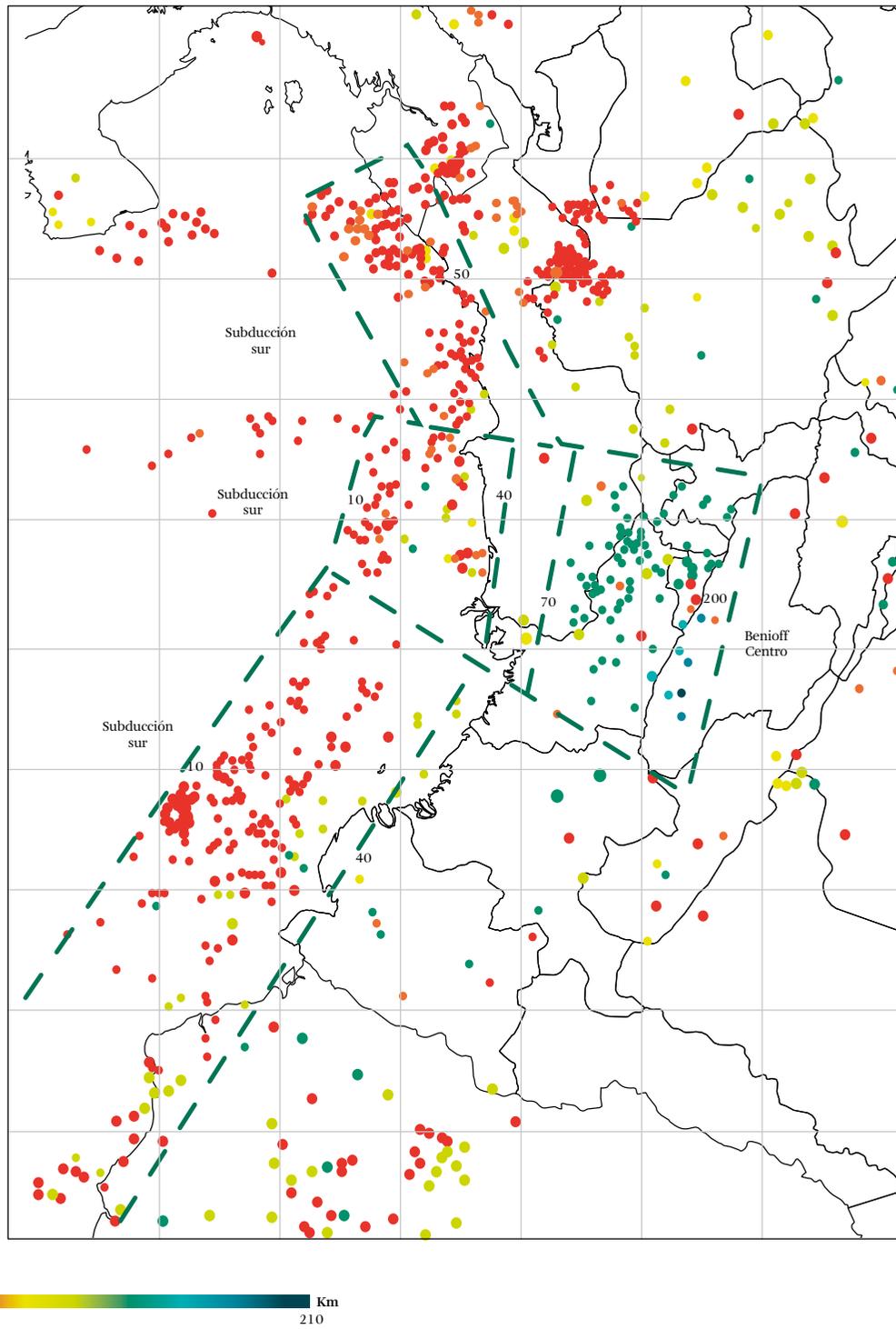


Figura 63. Segmentación de la zona de subducción de Colombia
Fuente: Arcila y Dimaté (2005)

gravimétricas y la morfología de la parte oriental de la cuenca de Panamá y la fosa colombiana, se proponen las siguientes zonas de comportamiento similar en la zona de subducción del Pacífico:

- ▮ *Subducción norte.* Corresponde a la subducción del bloque Coiba bajo el noroeste de Colombia.
- ▮ *Subducción centro.* Localizada en el sur del departamento de Chocó y en el departamento del Valle del Cauca.
- ▮ *Subducción sur.* Localizada en los departamentos de Cauca, Nariño y en el norte de Ecuador.

La tabla 24 y la figura 63 presentan las características de los segmentos de la zona de subducción definidos por Arcila y Dimaté (2005).

En el modelo no segmentado, la zona interplaca abarca desde la costa norte de Ecuador hasta Panamá; los límites de profundidad (*usd, lsd*) se estiman en 5 y 50 km de profundidad. Por otro lado, en el modelo segmentado estos límites son fijados en 5 y 40 km. La figura 64 presenta la geometría de las fuentes interplaca correspondiente a los modelos no segmentado y segmentado.

Tabla 24. Características de los segmentos de la zona de subducción

Segmento	Longitud en la fosa (km)	Orientación (azimut)	Buzamiento	Magnitud máxima (Mw)
Norte	170	130°	25°-40°	7,8
Centro	160	20°	40°-110°	7,8
Sur	550	40°	30°-130°	8,8

Fuente: Arcila y Dimaté (2005)

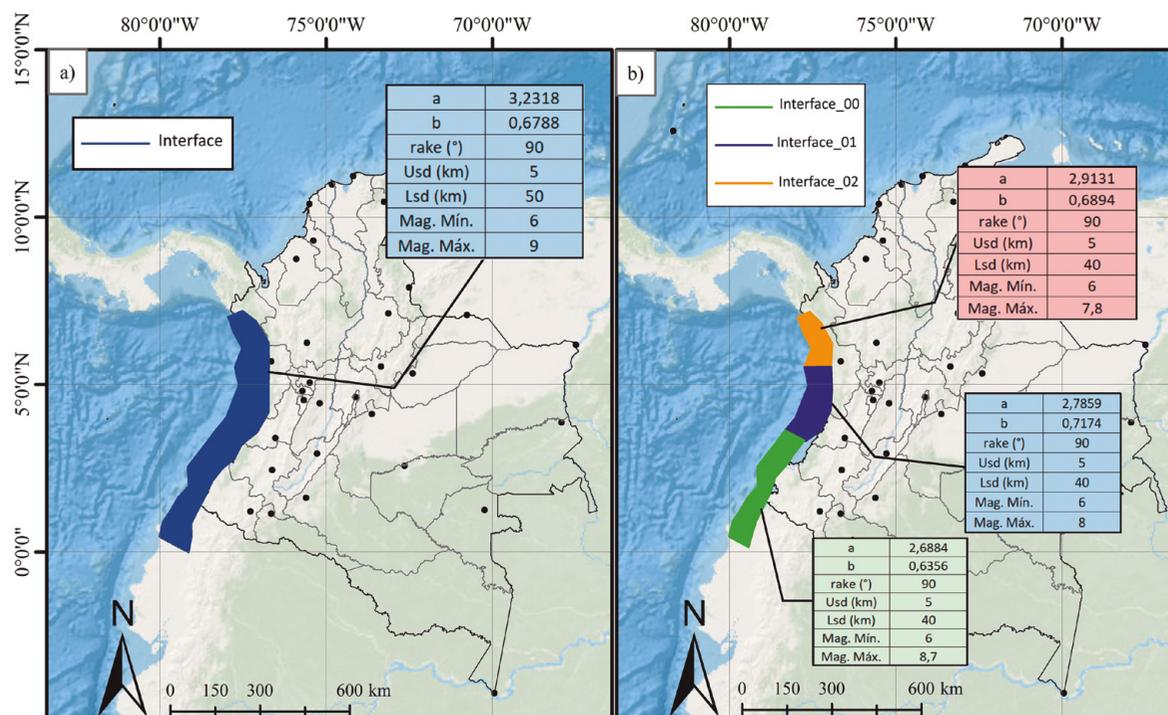


Figura 64. Parámetros de sismicidad de fuentes interplaca del proceso de subducción del Pacífico: **a)** modelo no segmentado; **b)** modelo segmentado

4.3.3.3 Selección de eventos de cada una de las fuentes, según su tipología y caracterización sísmica

La selección de los eventos de cada una de las fuentes y su clasificación se han efectuado siguiendo el procedimiento descrito en la sección 4.1.5. Al respecto, se resalta que las geometrías definidas de las zonas interplaca e intraplaca (tanto en planta como en profundidad) se utilizaron para seleccionar subconjuntos de eventos del Catálogo Sísmico Integrado depurado (sin eventos dependientes). Tales subconjuntos se utilizaron para caracterizar las fuentes sísmicas según su clasificación tectónica.

Asimismo, vale la pena señalar que en el proceso de selección se consideró como referencia la siguiente información:

- ▮ **Mecanismos focales.** Teniendo en cuenta el tipo de ruptura y su orientación, se encuentra que la mayoría de los sismos interplaca son de tipo inverso (*reverse*), mientras que en la zona Benioff, la mayoría son de tipo normal y *strike-slip*.
- ▮ **Modelos estructurales.** Límite Moho, límite corteza/manto (Moho, figura 33).
- ▮ **Topografía/batimetría.** Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) topography (Farr *et al.*, 2007).
- ▮ **General Bathymetric Charts of the Ocean (Gebco) bathymetry** (Weatherall *et al.*, 2015).
- ▮ **Volcanes.** Se utiliza la localización de los volcanes como indicadores de variaciones en la geometría de la placa subducente y del límite interplaca/Benioff.
- ▮ **Otros modelos.** Geometría de la placa según los modelos SLAB1.0, SLAB2.0, (Hayes *et al.*, 2012; Hayes *et al.*, 2018); proyecto SARA (García *et al.*, 2017).

Una vez seleccionados los eventos se procedió a calcular los parámetros de sismicidad de las fuentes. Los parámetros *a* y *b* fueron obtenidos usando el método de máxima verisimilitud propuesto por Weichert (1980), disponible en la herramienta HMTK (Weatherill, 2014). Un resumen de dichos parámetros se presentan en las figuras 64 (para fuentes inter-

placa), 65 (fuentes de la zona Benioff) y 66 (fuentes del nido sísmico de Bucaramanga).

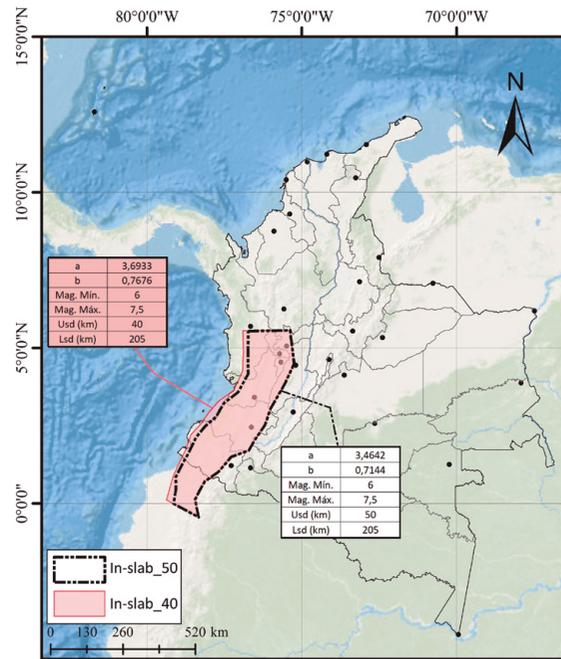


Figura 65. Parámetros de sismicidad de fuentes de la zona Benioff

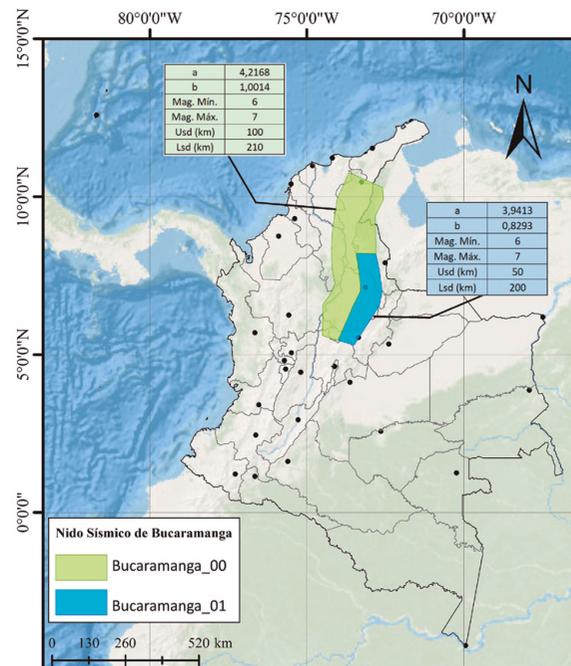


Figura 66. Parámetros de sismicidad de fuentes del nido de Bucaramanga

4.3.3.4 Modelación de fuentes interplaca

Para modelar las fuentes interplaca se utilizó un tipo de fuente denominado “falla compleja” del motor de cálculo OpenQuake. Este tipo de fuente permite considerar variaciones de la profundidad en la geometría de la falla, lo cual posibilita un mayor refinamiento en la simulación de posibles rupturas de la fuente.

Para definir la geometría de la fuente se definen dos bordes que limitan la superficie superior e inferior en la dirección de buzamiento de la placa subducente. Además, se definen límites intermedios a lo largo de fuente (figura 67). El borde superior se definió en 5 km, y el borde inferior varía entre 40 y 50 km, según las alternativas descritas en la sección 4.3.3.2.

Además de la geometría, para caracterizar estas fuentes se requieren los siguientes parámetros:

- ||| *Distribución de frecuencia de magnitudes:* Obtenida a partir del análisis de parámetros de sismicidad.
- ||| *Relación de escala de magnitudes:* Se considera la relación propuesta por Strasser *et al.* (2010).
- ||| *Relación de aspecto del área de ruptura:* Se adopta un valor de 4.
- ||| *Geometría de la ruptura:* Corresponde el ángulo de deslizamiento (*rake*) de las rupturas. Se considera un valor de 90.

Mediante este tipo de fuente, en un rango específico de magnitudes (según la distribución de magnitud-frecuencia), las rupturas “flotan” a lo largo de la superficie de la falla.

La figura 68 presenta variaciones de la profundidad de la superficie de fuentes interplaca en el modelo no segmentado, en el que se considera una profundidad límite de 50 km.

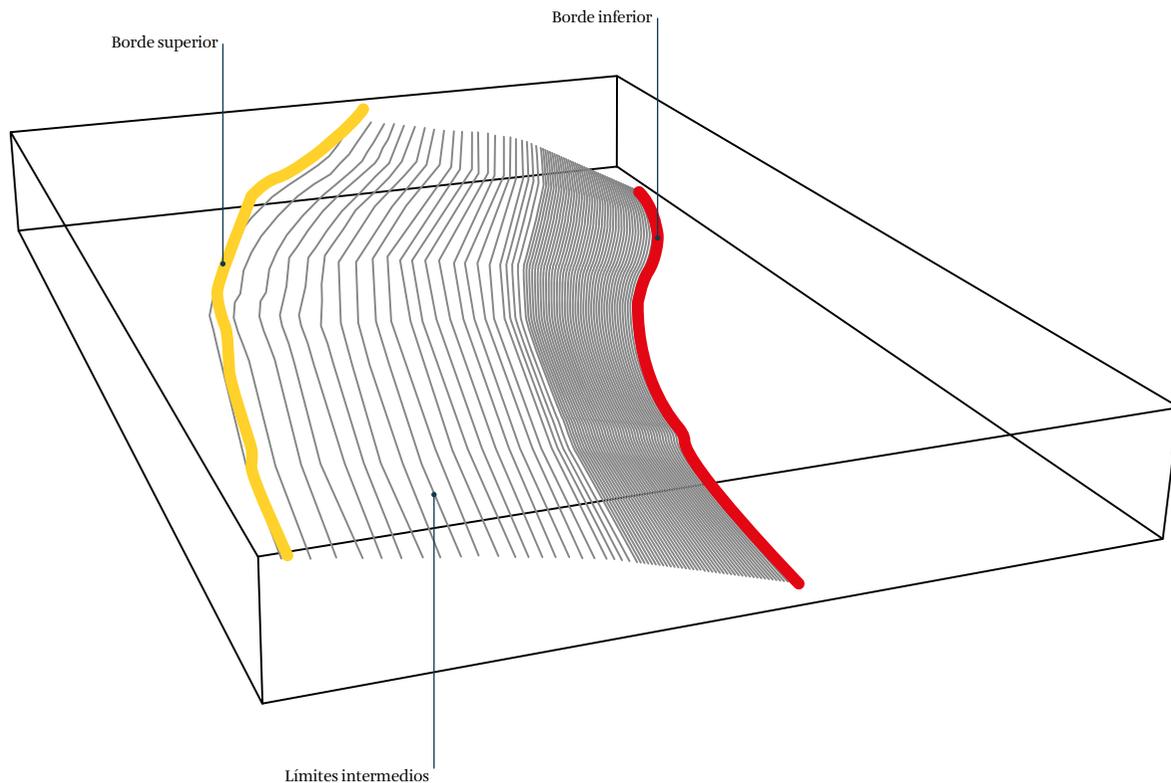


Figura 67. Ejemplo de una falla compleja
Fuente: Adoptado de Pagani *et al.* (2014b)

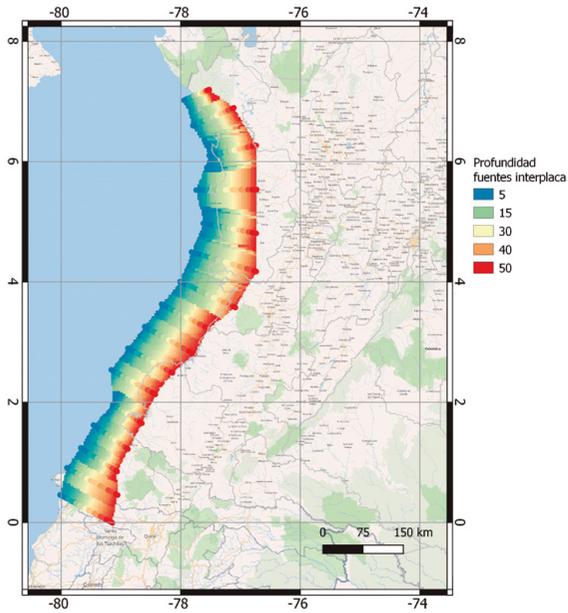


Figura 68. Profundidad de la superficie de fuentes interplaca. Modelo no segmentado

4.3.3.5 Modelación de fuentes intraplaca

Para la modelación de las fuentes de la zona de Benioff y del nido sísmico de Bucaramanga se utilizó el tipo de fuentes no paramétricas establecido en el motor de cálculo OpenQuake. Este tipo de fuente representa una colección de rupturas. Esta colección se define a partir de un algoritmo que modela la ruptura como una malla de puntos que representan una aproximación de la placa que subduce más allá del límite último de profundidad de la zona de interplaca.

La geometría de las rupturas está restringida en la dirección del buzamiento de la placa y en su dirección conjugada, y está confinada dentro del volumen de la placa que subduce. Las figuras 69 y 70 presentan, respectivamente, la vista en planta y en profundidad de la malla de puntos definida en rupturas de magnitud 6,05 en la zona de Benioff.

Para caracterizar la ocurrencia de terremotos de cada una de las fuentes de subducción e intraplaca se usa un catálogo regionalizado según ambientes tectónicos (véase la sección 4.1), considerando una distribución de Gutenberg-Richter doblemente truncada, similar a los casos descritos.

La magnitud mínima considerada en las distribuciones de magnitud frecuencia es de 6 Mw, mientras que la magnitud máxima ha sido definida de acuerdo con una función de escala (Strasser *et al.*, 2010), teniendo en cuenta la geometría de la fuente, así como información de terremotos históricos.

Vale destacar que en las zonas intraplaca (Benioff), las tasas de ocurrencia de cada una de las rupturas no paramétricas fueron obtenidas a partir de las tasas de ocurrencia de la distribución de magnitud frecuencia de todo el volumen.

De cada ruptura se definen magnitudes, la localización del hipocentro y su geometría, y se le asignan probabilidades de ocurrencia en un periodo de investigación.

En el anexo G se presentan detalles de las distribuciones de magnitud frecuencia de las fuentes de interplaca, de la zona Benioff y del nido sísmico de Bucaramanga.

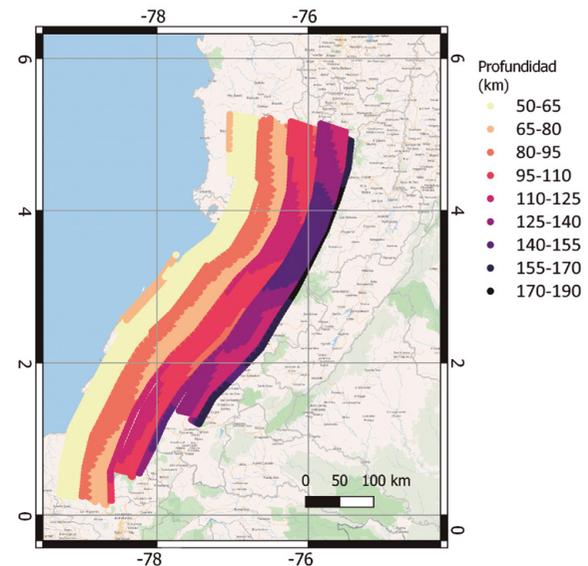


Figura 69. Vista en planta de la malla que representa la placa en la zona de Benioff, correspondiente a una magnitud de 6,05 Mw

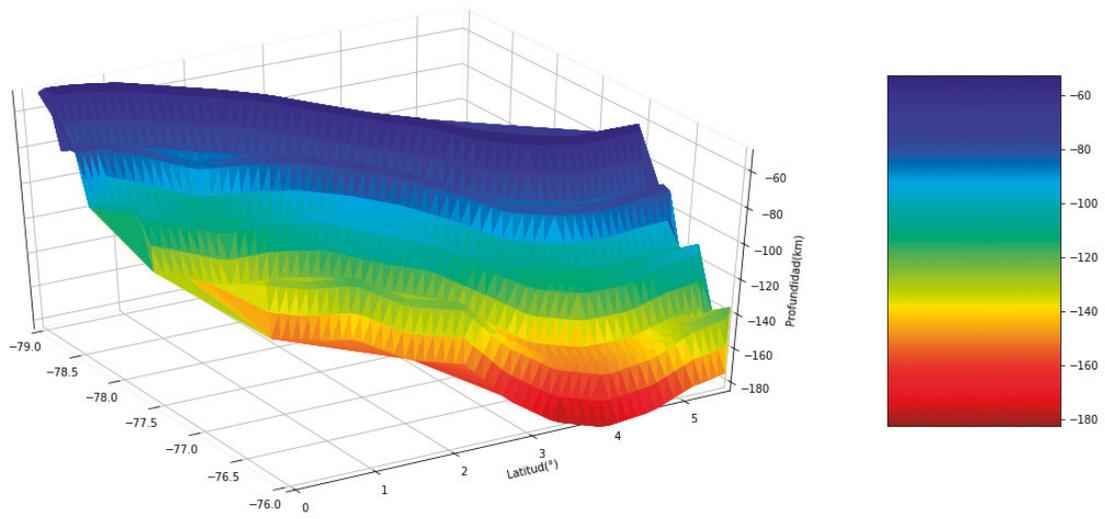


Figura 70. Malla de puntos de la placa de la zona de Benioff correspondiente a una magnitud de 6,05 Mw



Selección de ecuaciones de atenuación



Las ecuaciones de atenuación (GMPE, por la sigla en inglés de *ground motion prediction equations*) permiten estimar, en un sitio determinado, la intensidad esperada del movimiento, en términos de aceleraciones espectrales, a partir de la magnitud de los sismos y la distancia entre el evento y el sitio de interés, entre otros parámetros de carácter sísmico, tectónico, físico y geométrico (PEER, 2013; Kaklamanos *et al.*, 2011).

A escala global, las ecuaciones de atenuación han sido desarrolladas a partir de diferentes bases de datos, enfocadas en diferentes ambientes tectónicos y con diversas métricas y formas funcionales. En Ojeda y Martínez (1997), Gallego (2000) y Bernal (2014) se encuentran ecuaciones de atenuación desarrolladas considerando registros acelerográficos de Colombia.

Entre los alcances y limitaciones de las ecuaciones de atenuación derivadas para el caso colombiano se encuentran las siguientes: i) son aplicables para estimar aceleraciones en periodos de vibración de

hasta 2 segundos; ii) en su desarrollo no se contó con datos suficientes para estimar intensidades asociadas al movimiento de los sismos con magnitudes superiores a 7 Mw; iii) en el momento de su desarrollo no se contó con una caracterización de los efectos de sitio en la localización de las estaciones; la información disponible correspondía a una clasificación geológica de la estación en las categorías “roca” y “suelo”.

Para elaborar el modelo nacional de amenaza sísmica, el SGC realizó un análisis estadístico a partir del cual se obtiene un árbol lógico que corresponde a un conjunto de ecuaciones de atenuación que mejor se ajustan a las aceleraciones espectrales observadas en el territorio nacional, así como sus porcentajes de participación correspondientes. Mediante este árbol es posible calcular un valor ponderado de las aceleraciones espectrales que se obtienen de los diferentes modelos seleccionados, considerando la incertidumbre epistémica producto de la variedad de GMPE existentes (Al Atik y Youngs, 2014).

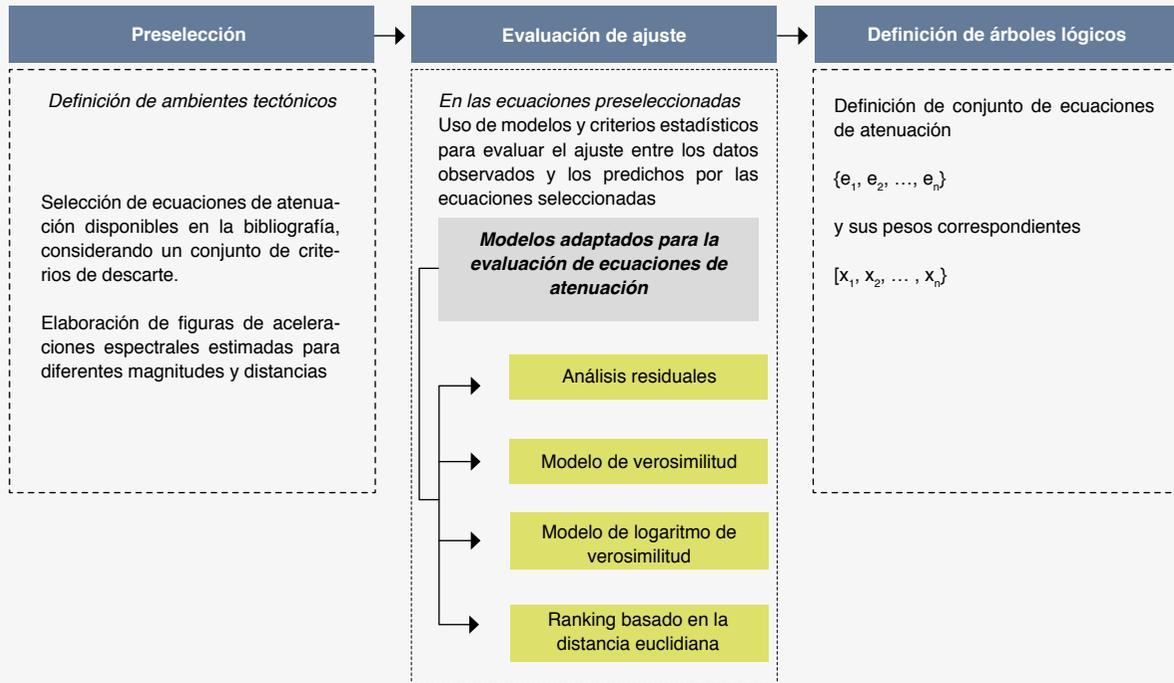


Figura 71. Procedimiento empleado en la selección de ecuaciones de atenuación

Como antecedente, en el marco del proyecto South America Risk Assessment (SARA, García *et al.*, 2017), el SGC participó en la revisión y selección de ecuaciones de atenuación con mejor ajuste a los datos observados de eventos sísmicos de Suramérica. Dicho trabajo se llevó a cabo comparando los registros sísmicos de la red de acelerógrafos con las ecuaciones más recientes en uso a escala global y nacional, y se obtuvo un conjunto de ecuaciones para los siguientes ambientes tectónicos: fuentes corticales, de interplaca e intraplaca, así como de diferentes periodos estructurales (García *et al.*, 2017).

En los siguientes numerales, se presentan el procedimiento (figura 71) y se describen los resultados obtenidos en el proceso de selección de ecuaciones y de definición de árboles lógicos de cada ambiente tectónico.

El análisis se llevó a cabo utilizando la base de datos de movimiento fuerte (véase la sección 3.3) y la caracterización de los parámetros para la estimación de efectos de sitio en la localización de las estaciones (véase la sección 3.3.2). La utilización de esta caracterización en la selección de modelos de atenuación en el país es un avance importante, ya que permite

evaluar más detalladamente las intensidades del movimiento esperadas, en contraste con los modelos en los que se consideran las categorías de “suelo” y “roca” para describir la geología de las estaciones.

5.1 Preselección de ecuaciones de atenuación

Se realizó una preselección de ecuaciones de atenuación disponibles en la bibliografía, con el fin de reducir el número de ecuaciones que se incluirían en la evaluación de ajuste respecto a los movimientos del terreno observados.

La preselección se realizó teniendo en cuenta un catálogo global de ecuaciones de atenuación (Douglas, 2018), así como la metodología y los resultados obtenidos en la preselección de ecuaciones de atenuación para diferentes ambientes tectónicos en Suramérica (García *et al.*, 2017).

La preselección realizada incluye de manera implícita los criterios propuestos por Cotton *et al.* (2006), que permiten descartar ecuaciones de atenuación, y que se presentan a continuación:

- || El modelo fue determinado para un ambiente tectónico irrelevante en la región de estudio.
- || El modelo no ha sido publicado en una revista indexada o no ha estado sometido a un proceso de revisión de pares.
- || La documentación del modelo y su set de datos se consideran insuficientes.
- || El modelo ha sido actualizado en nuevas publicaciones.
- || El rango de frecuencias definidas para el modelo es insuficiente para su aplicación en ingeniería.
- || El modelo tiene una forma funcional inapropiada.
- || Los métodos de regresión y sus coeficientes se consideran inapropiados.

En el proceso de preselección se dio prioridad a ecuaciones con periodo estructural máximo definido de al menos cinco segundos. Sobre estas ecuaciones se señala que, además de haber sido evaluadas mediante las metodologías adoptadas en el presente estudio (véase la sección 5.2), algunas fueron descartadas debido al rango de periodos estructurales para las que son válidas (menores a cinco segundos), evitando cualquier tipo de extrapolación para periodos más altos.

Las tablas 25, 26 y 27 presentan las ecuaciones preseleccionadas para los ambientes tectónico cortical, interplaca e intraplaca, respectivamente.

Tabla 25. Ecuaciones preseleccionadas para eventos corticales

Nombre	Fuente
AbrahamsonEtAI2014	Abrahamson <i>et al.</i> (2014)
AbrahamsonEtAI2014RegCHN	
AbrahamsonEtAI2014RegJPN	
AbrahamsonEtAI2014RegTWN	
AbrahamsonSilva2008	Abrahamson y Silva (2008)
AkkarCagnan2010	Akkar y Cagnan (2010)
AkkarEtAIRepi2014	Akkar <i>et al.</i> (2014)
AkkarEtAIRhyp2014	
AkkarEtAIRjb2014	
BindiEtAI2014Rhyp	Bindi <i>et al.</i> (2014)
BindiEtAI2014RhypEC8	
BindiEtAI2014RhypEC8NoSOF	
BindiEtAI2014Rjb	
BindiEtAI2014RjbEC8	
BindiEtAI2014RjbEC8NoSOF	
BooreAtkinson2008	Boore y Atkinson (2008)
BooreEtAI2014	Boore <i>et al.</i> (2014)
BooreEtAI2014CaliforniaBasin	
BooreEtAI2014CaliforniaBasinNoSOF	
BooreEtAI2014HighQ	
BooreEtAI2014HighQCaliforniaBasin	
BooreEtAI2014HighQCaliforniaBasinNoSOF	
BooreEtAI2014HighQJapanBasin	
BooreEtAI2014HighQJapanBasinNoSOF	
BooreEtAI2014HighQNoSOF	
BooreEtAI2014JapanBasin	
BooreEtAI2014JapanBasinNoSOF	
BooreEtAI2014LowQ	
BooreEtAI2014LowQCaliforniaBasin	
BooreEtAI2014LowQCaliforniaBasinNoSOF	
BooreEtAI2014LowQJapanBasin	
BooreEtAI2014LowQJapanBasinNoSOF	
BooreEtAI2014LowQNoSOF	
BooreEtAI2014NoSOF	
CampbellBozorgnia2014	Campbell y Borzognia (2014)
CampbellBozorgnia2014HighQ	
CampbellBozorgnia2014HighQJapanSite	
CampbellBozorgnia2014JapanSite	

(.../...)

Nombre	Fuente
CampbellBozorgnia2014LowQ	Campbell y Borzognia (2014)
CampbellBozorgnia2014LowQJapanSite	
CauzziEtAl2014	Cauzzi <i>et al.</i> (2014)
CauzziEtAl2014Eurocode8	
CauzziEtAl2014Eurocode8NoSOF	
CauzziEtAl2014FixedVs30	
CauzziEtAl2014FixedVs30NoSOF	
CauzziEtAl2014NoSOF	Faccioli y Cauzzi (2008)
CauzziFaccioli2008	
CauzziFaccioli2008SWISS01	
CauzziFaccioli2008SWISS04	
CauzziFaccioli2008SWISS08	Chiou y Youngs (2014)
ChiouYoungs2014	
FaccioliEtAl2010	Faccioli <i>et al.</i> (2010)
Idriss2014	Idriss (2014)
Kanno2006Deep	Kanno <i>et al.</i> (2006)
Kanno2006Shallow	
ZhaoEtAl2016Asc	Zhao <i>et al.</i> (2016a)
ZhaoEtAl2016AscSiteSigma	
ZhaoEtAl2016UpperMantle	
ZhaoEtAl2016UpperMantleSiteSigma	

Tabla 26. Ecuaciones pre seleccionadas para eventos de Interplaca

Nombre	Fuente
AbrahamsonEtAl2015SInter	Abrahamson <i>et al.</i> (2016)
AbrahamsonEtAl2015SInterHigh	
AbrahamsonEtAl2015SInterLow	Ghofrani y Atkinson (2014)
GhofraniAtkinson2014	
GhofraniAtkinson2014Cascadia	
GhofraniAtkinson2014CascadiaLower	
GhofraniAtkinson2014CascadiaUpper	
GhofraniAtkinson2014Lower	Kanno <i>et al.</i> (2006)
GhofraniAtkinson2014Upper	
Kanno2006Deep	Kanno <i>et al.</i> (2006)
Kanno2006Shallow	
LinLee2008SInter	Lin y Lee (2008)
MontalvaEtAl2016SInter	Montalva <i>et al.</i> (2017)
YoungsEtAl1997SInter	Youngs <i>et al.</i> (1997)
YoungsEtAl1997SInterNSHMP2008	
ZhaoEtAl2006SInter	Zhao <i>et al.</i> (2006)
ZhaoEtAl2006SInterNSHMP2008	
ZhaoEtAl2016SInter	Zhao <i>et al.</i> (2016b)
ZhaoEtAl2016SInterSiteSigma	

Tabla 27. Ecuaciones pre seleccionadas para eventos de Intraplaca.

Nombre	Fuente raíz
AbrahamsonEtAl2015SSlab	Abrahamson <i>et al.</i> (2016)
AbrahamsonEtAl2015SSlabHigh	
AbrahamsonEtAl2015SSlabLow	
GarciaEtAl2005SSlab	García <i>et al.</i> (2005)
GarciaEtAl2005SSlabVert	
Kanno2006Deep	Kanno <i>et al.</i> (2006)
Kanno2006Shallow	
LinLee2008SSlab	Lin y Lee (2008)
MontalvaEtAl2016SSlab	Montalva <i>et al.</i> (2017)

(.../...)

YoungsEtAl1997GSCSSlabBest	Youngs <i>et al.</i> (1997)
YoungsEtAl1997GSCSSlabLowerLimit	
YoungsEtAl1997GSCSSlabUpperLimit	
YoungsEtAl1997SSlab	Zhao <i>et al.</i> (2006)
ZhaoEtAl2006SSlab	
ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014	
ZhaoEtAl2016SSlab	Zhao <i>et al.</i> (2016c)
ZhaoEtAl2016SSlabSiteSigma	

5.2 Evaluación de ecuaciones de atenuación

En esta sección se presentan aspectos generales sobre la metodología y los resultados obtenidos del análisis estadístico de las ecuaciones de atenuación preseleccionadas. En el análisis se utilizaron los registros de la base de datos compilada en el presente estudio (véase el capítulo 3). Este análisis permite identificar, en cada ambiente tectónico, las ecuaciones con mayor ajuste entre las aceleraciones observadas y las predichas por las ecuaciones de atenuación, así como los correspondientes porcentajes de participación.

Las ecuaciones de atenuación seleccionadas utilizan diferentes mediciones para evaluar la distancia entre la ruptura y el sitio en el que se desea estimar la intensidad del movimiento. Entre los tipos de distancias adoptadas se encuentran los siguientes:

- || Joyner and Boore (R_{JB}). Representa la distancia horizontal a la proyección de la proyección en superficie de la ruptura
- || R_x . Distancia horizontal al tope superior de la ruptura
- || R_{rup} . Distancia más corta al plano de la ruptura
- || R_{hyp} . Distancia hipocentral

En la evaluación de tales distancias se utilizaron las relaciones de escala generadas por Leonard (2014) para eventos corticales y las relaciones desarrolladas por Strasser *et al.* (2010) para los ambientes tectónicos de subducción. En Klakamanos *et al.* (2011) se presentan recomendaciones para la evaluación de estas distancias. La figura 72 presenta un esquema de dichas distancias.

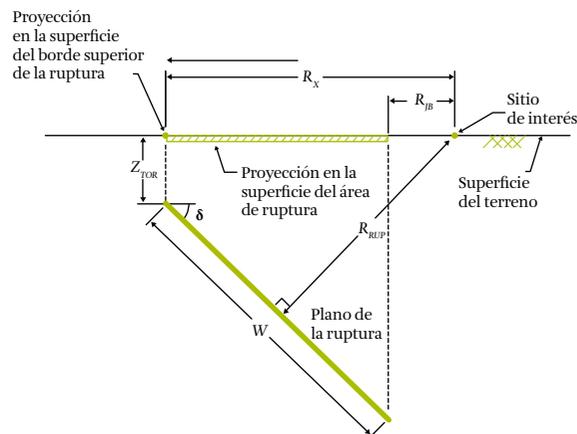


Figura 72. Tipos de medidas de la distancia entre sitios de análisis y rupturas

Fuente: tomado y modificado de Klakamanos *et al.* (2011)

Para evaluar las ecuaciones de atenuación se utilizaron los siguientes procedimientos: análisis de residuales; modelo de verosimilitud (LH, abreviatura de *likelihood*); logaritmo de verosimilitud normalizado (LLH, abreviatura de *log likelihood*); y ranking basado en la distancia euclidiana (EDR, por sus siglas en inglés). En el anexo H se presentan detalles de cada uno de los procedimientos utilizados. La evaluación se llevó a cabo usando las herramientas de análisis de movimiento fuerte (SMTK) desarrolladas por la Fundación GEM (Weatherill, 2014).

5.2.1 Definición de árboles lógicos de ecuaciones de atenuación

En la selección de las ecuaciones de atenuación, así como en la definición de los pesos del árbol lógico, se adoptó como criterio principal el valor del modelo LLH para el rango de periodos estructurales considerado en el presente estudio (entre 0 y 5 segundos, con intervalos cada 0,1 segundos).

Con las ecuaciones de mejor ajuste se realizó también el análisis de residuales, así como la evaluación mediante los modelos de verosimilitud (LH), logaritmo de verosimilitud normalizado (LHH) y el ranking basado en la distancia euclidiana normalizada (EDR). Tales análisis se ejecutaron en cada uno de los periodos estructurales con el fin de identificar si los ajustes no variaban significativamente entre periodos.

En la tabla 28 se presenta el resumen de los parámetros evaluados y el rango de valores en que se considera un buen ajuste de cada uno.

Tabla 28. Parámetros de evaluación

Parámetro	Descripción
Mediana residuales	Buen ajuste si es cercano a 0
Media residuales	Buen ajuste si es cercano a 0
Desviación residuales	Buen ajuste si es cercano a 1
LH	Buen ajuste si LH es cercano a 1
LLH	Representa mejores ajustes para menores valores de LLH
EDR	Buen ajuste si EDR es cercano a 1
K	Buen ajuste si k es cercano a 1

Usando el parámetro LHH se descartaron ecuaciones de menor ajuste hasta obtener un árbol lógico de tres ramas por cada ambiente tectónico, con un único peso, sin discriminar por periodo estructural.

En las siguientes secciones se presentan, por cada ambiente tectónico, los principales resultados de la evaluación y selección de ecuaciones de atenuación. En el anexo I se presenta un resumen de las propiedades geométricas calculadas con la herramienta SMTK, así como los valores de aceleración pico. Por su parte, en el anexo J se presentan todos los resultados según el ambiente tectónico.

5.2.1.1 Resultados obtenidos en la zona Benioff

La figura 73 presenta las siguientes relaciones encontradas en la zona de Benioff: aceleración pico (PGA) y la magnitud M_w ; PGA y la distancia hipocentral (R_{hyp}); pseudoaceleración de un oscilador de periodo de vibración de un segundo (SA(1s)) y magnitud M_w ; SA(1s) y R_{hyp} . En estos datos se observa una tendencia de las aceleraciones a disminuir con respecto a la distancia hipocentral y a aumentar con respecto a la magnitud del evento, lo cual ratifica la consistencia en los registros utilizados y los parámetros geotécnicos y geofísicos estimados.

La figura 74 presenta los resultados de los diferentes modelos aplicados a la base de datos de movimiento fuerte de la zona de Benioff, considerando diferentes periodos estructurales (Te). En esta figura se incluyen únicamente los resultados de las ecuaciones preseleccionadas en las que se encontró un mejor ajuste según el parámetro LHH.

En términos de residuales, las ecuaciones con un mejor ajuste de la media y la mediana fueron los modelos de Montalva *et al.* (2017) (modificado), Abrahamson *et al.* (2016) y de García *et al.* (2005), y muestran un comportamiento estable en todos los periodos estructurales. De este conjunto, el modelo de García es el que presenta mayores desviaciones.

En términos de los parámetros LH y el LLH, los modelos con mejor comportamiento a lo largo de todos los periodos estructurales estudiados fueron el de Montalva *et al.* (2017, modificado) y el de Abrahamson *et al.* (2016). El modelo de Zhao *et al.* (2006, versión modificada en el 2014 para el *Mapa de amenaza nacional de Estados Unidos*) mostró un mejor comportamiento que el de García únicamente en periodos menores de 1,5 segundos, a partir de los que el modelo de García presenta un mejor ajuste.

En términos del ranking basado en la distancia euclidiana (EDR), se obtienen resultados similares en todos los modelos, exceptuando en el de Zhao, en el que se observan mayores diferencias entre los datos observados y los predichos.

La tabla 29 presenta los pesos asignados al árbol lógico de ecuaciones de atenuación de la zona de Benioff. Tales valores corresponden al promedio de los pesos obtenidos del conjunto de periodos de vibración analizado. Individualmente, el peso de cada periodo de vibración se estimó usando los resultados del parámetro LLH. Este procedimiento se adoptó en los demás ambientes tectónicos.

Tabla 29. Pesos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación correspondiente a la zona de Benioff

Ecuación de atenuación	Peso
MontalvaEtAl2016SSlab	0,424
AbrahamsonEtAl2015SSlab	0,365
ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014	0,210

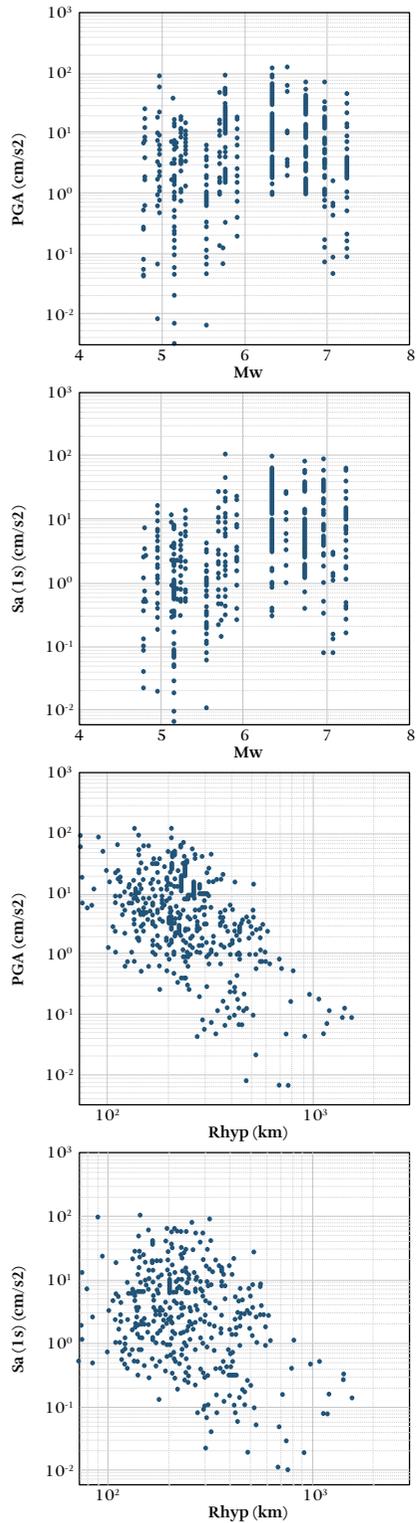


Figura 73. Datos de movimiento fuerte en la zona de Benioff

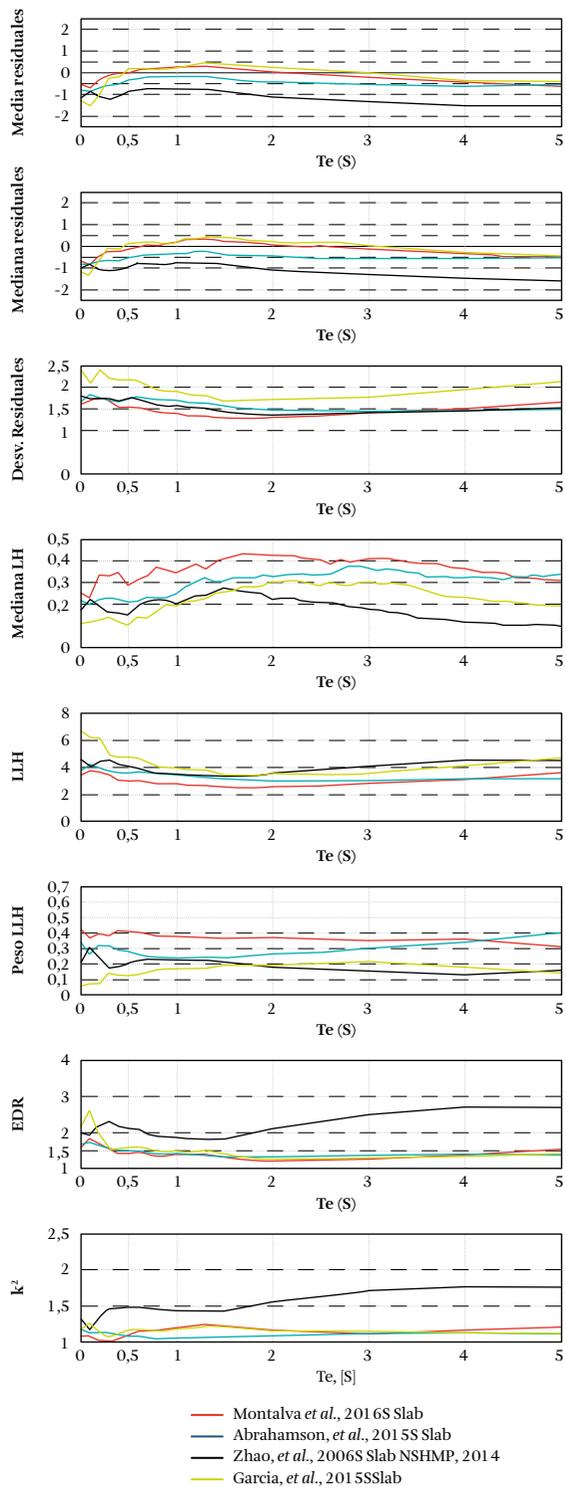


Figura 74. Resultados estadísticos de la zona de Benioff

5.2.1.2 Resultados obtenidos en el nido sísmico de Bucaramanga

La figura 75 presenta las siguientes relaciones encontradas en la zona del nido sísmico de Bucaramanga: PGA y la magnitud M_w ; PGA y R_{hyp} ; SA(1s) y la magnitud M_w ; SA(1s) y R_{hyp} . En esta figura se observa la atenuación de los valores de aceleración con respecto a la distancia. En el caso de la magnitud M_w , los valores observados se encuentran concentrados alrededor de valores de 5,0 y 6,2.

La figura 76 presenta los resultados de los diferentes procesos estadísticos aplicados a la base de datos de movimiento fuerte de la zona del nido de Bucaramanga. En esta figura se presentan únicamente los resultados de las ecuaciones con el mejor ajuste según el parámetro LHH.

En la figura 76 se observa un ajuste sobresaliente del modelo de Zhao *et al.* (2006) para periodos bajos (versión modificada). Según los resultados del parámetro LHH, dicha ecuación llega a tener un peso de alrededor de 70% en tales periodos. Este ajuste puede evidenciarse igualmente en la media y la mediana de los residuales obtenidos utilizando esta GMPE.

Los otros dos modelos con mejor ajuste fueron el de Abrahamson *et al.* (2015) y la versión previa (ajustada) del modelo de Montalva *et al.* (2017). Cabe destacar que estos modelos también tienen un adecuado desempeño para la región de Beniöff. Según el análisis de residuales normalizados y del parámetro LHH (figura 76), estos modelos tienen un comportamiento similar. En ambas ecuaciones se observan mejores ajustes a partir de periodos de 0,5 s.

La tabla 30 presenta los pesos asignados al árbol lógico de ecuaciones de atenuación del nido sísmico de Bucaramanga.

Tabla 30. Pesos definitivos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación correspondiente al nido de Bucaramanga

Ecuación de atenuación	Peso
ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014	0,443
AbrahamsonEtAl2015SSlab	0,285
MontalvaEtAl2016SSlab	0,272

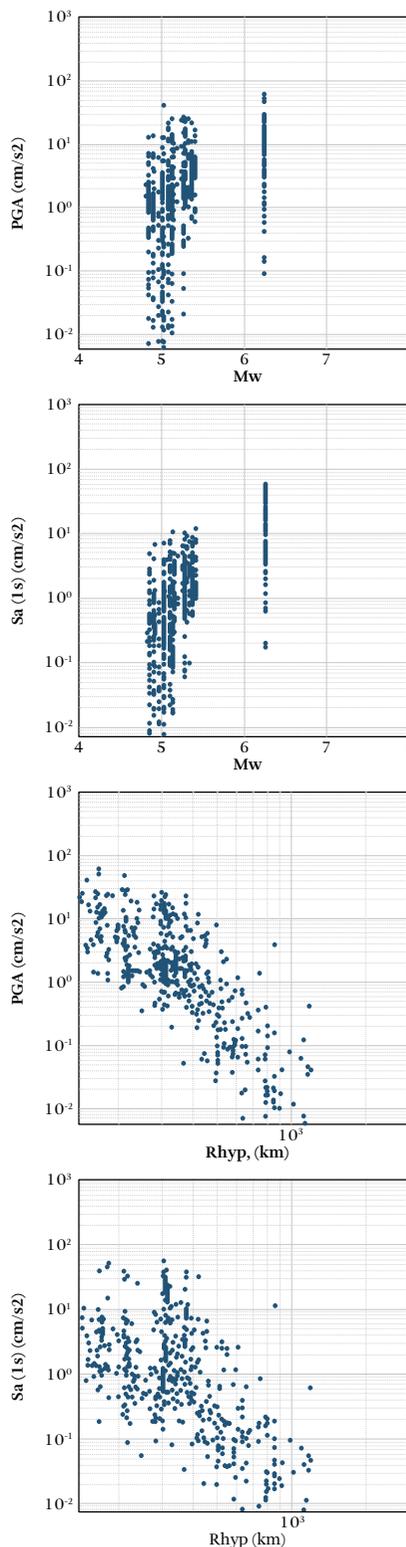


Figura 75. Datos de movimiento fuerte del nido de Bucaramanga

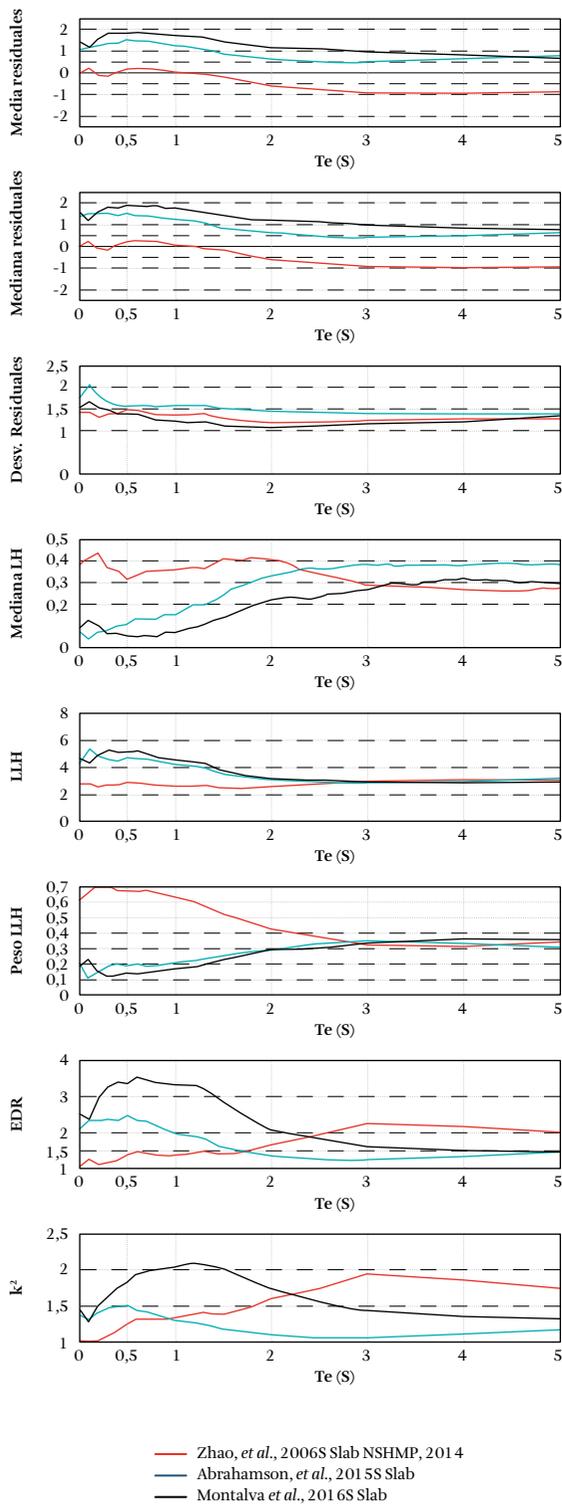


Figura 76. Resultados estadísticos del nido de Bucaramanga

5.2.1.3 Resultados obtenidos en la zona de interplaca del Pacífico

La figura 77 presenta las siguientes relaciones encontradas en la zona de interplaca de la subducción del Pacífico colombiano: PGA y magnitud M_w ; PGA y R_{hyp} ; SA(1s) y la magnitud M_w ; SA(1s) y R_{hyp} . En este caso en particular, el amplio rango de magnitudes observadas en esta región tectónica permite visualizar una relación entre los valores de aceleración y la magnitud M_w de los diferentes eventos, aclarando que este efecto depende también de otros factores como la distancia a los sitios de observación.

En la figura 77 se puede observar una relación de atenuación entre las aceleraciones registradas y la distancia hipocentral. En esta figura se encuentra una menor dispersión de los valores de PGA que en Sa (1 s).

La figura 78 presenta los resultados de los diferentes criterios estadísticos aplicados a la base de datos de movimiento fuerte de la región de interplaca en la zona de subducción del Pacífico colombiano. Los resultados corresponden a las ecuaciones con el mejor ajuste según el parámetro LLH.

En la figura 78 se observa un buen ajuste de la ecuación propuesta por Abrahamson *et al.* (2015), con valores de EDR y de K^2 cercanos a 1, lo que indica una baja diferencia entre los datos observados y los predichos. Según el análisis de residuales, el modelo de Abrahamson *et al.* (2015) presenta los mejores ajustes y los valores más estables de los periodos de vibración considerados.

Según los parámetros LH y LLH, el modelo propuesto por Zhao *et al.* (2006) presenta un buen ajuste en periodos de vibración de entre 1 y 2 segundos.

En la tabla 31 se presentan los pesos asignados al árbol lógico de ecuaciones de atenuación de la zona de interplaca del Pacífico.

Tabla 31. Pesos definitivos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación correspondiente a la zona de Interplaca del Pacífico

Ecuación de atenuación	Peso
AbrahamsonEtAl2015SInter	0,437
ZhaoEtAl2006SInterNSHMP2008	0,348
MontalvaEtAl2016SInter	0,215

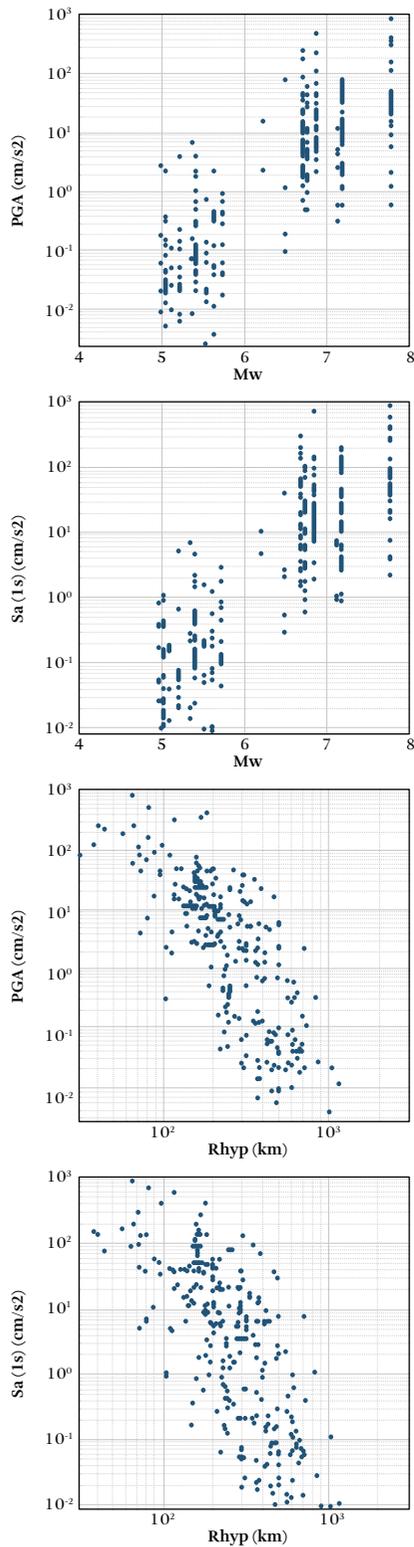


Figura 77. Datos de movimiento fuerte de la zona de Interplaca del Pacífico

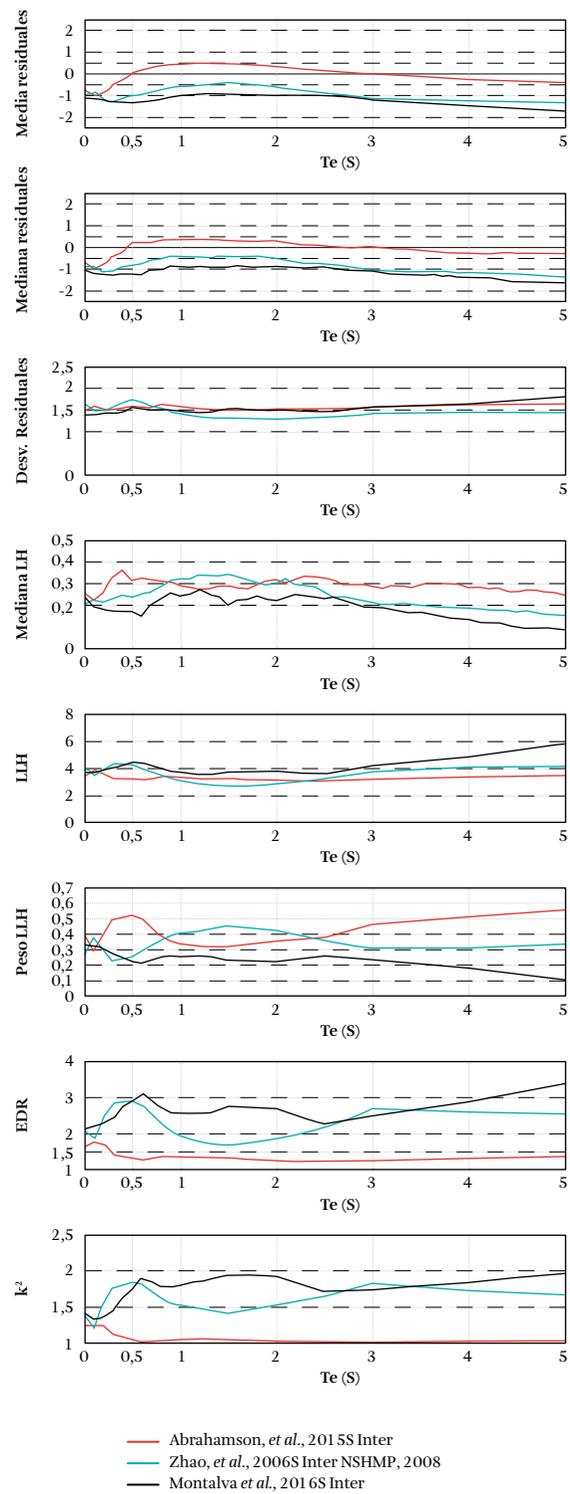


Figura 78. Resultados estadísticos de la zona de Interplaca del Pacífico

5.2.1.4 Resultados obtenidos en la zona cortical

La figura 79 presenta las siguientes relaciones encontradas en la zona cortical: PGA y la magnitud M_w ; PGA y R_{hyp} ; SA(1s) y la magnitud M_w ; SA(1s) y R_{hyp} . En esta figura se observa una relación de atenuación de las aceleraciones con respecto a la distancia hipocentral calculada. También se observan incrementos en las pseudoaceleraciones espectrales (en especial en periodos de vibración de 1 s) a medida que se aumenta la magnitud de los eventos.

La figura 80 presenta los resultados de los diferentes criterios estadísticos aplicados a la base de datos de movimiento fuerte de la zona cortical. En esta región tectónica, el mejor ajuste a los datos observados se obtiene con el modelo de Idriss (2014). Según el análisis de residuales normalizados, esta relación mostró un desempeño muy estable a lo largo de todos los periodos de vibración (la mediana de los residuales normalizados es cercana a 0). Asimismo, esta ecuación presenta una mejor calificación según el ranking basado en la distancia euclidiana (EDR), para periodos de vibración superiores a 0,5 s (figura 80).

Según el análisis de los parámetros LH y LHH, las ecuaciones de atenuación de Cauzzi *et al.* (2014) y de Idriss (2014) tienen un comportamiento similar, y su ajuste a los datos observados es mejor que el obtenido usando el modelo de Abrahamson *et al.* (2014). La tabla 32 presenta los pesos asignados al árbol lógico de ecuaciones de atenuación de la zona cortical.

Tabla 32. Pesos definitivos del árbol lógico de ecuaciones de atenuación de eventos corticales

Ecuación de atenuación	Peso
Idriss2014	0,399
CauzziEtAl2014	0,389
AbrahamsonEtAl2014	0,211

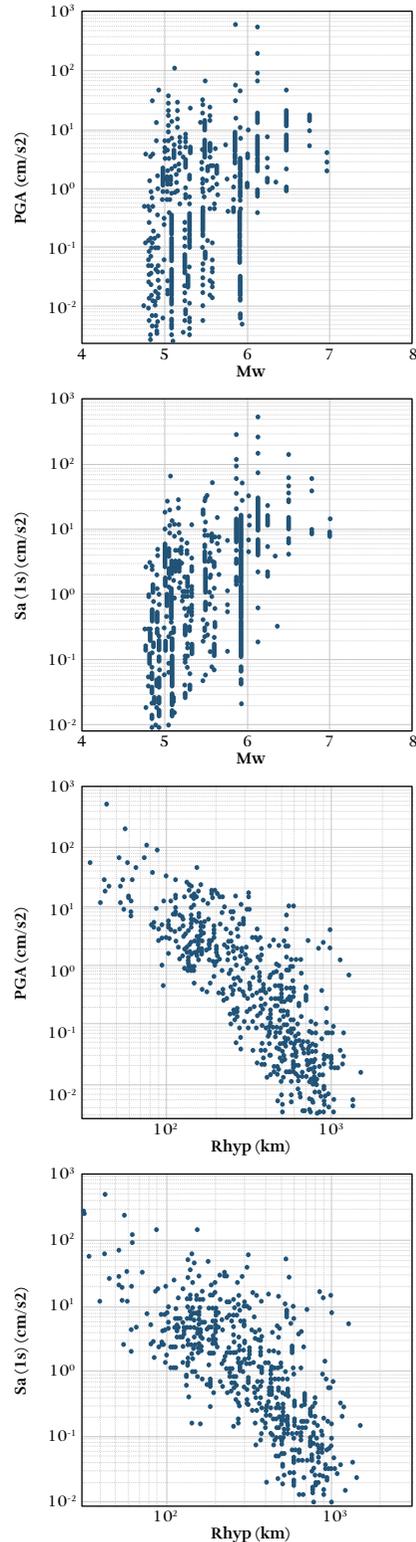


Figura 79. Datos de movimiento fuerte en eventos corticales

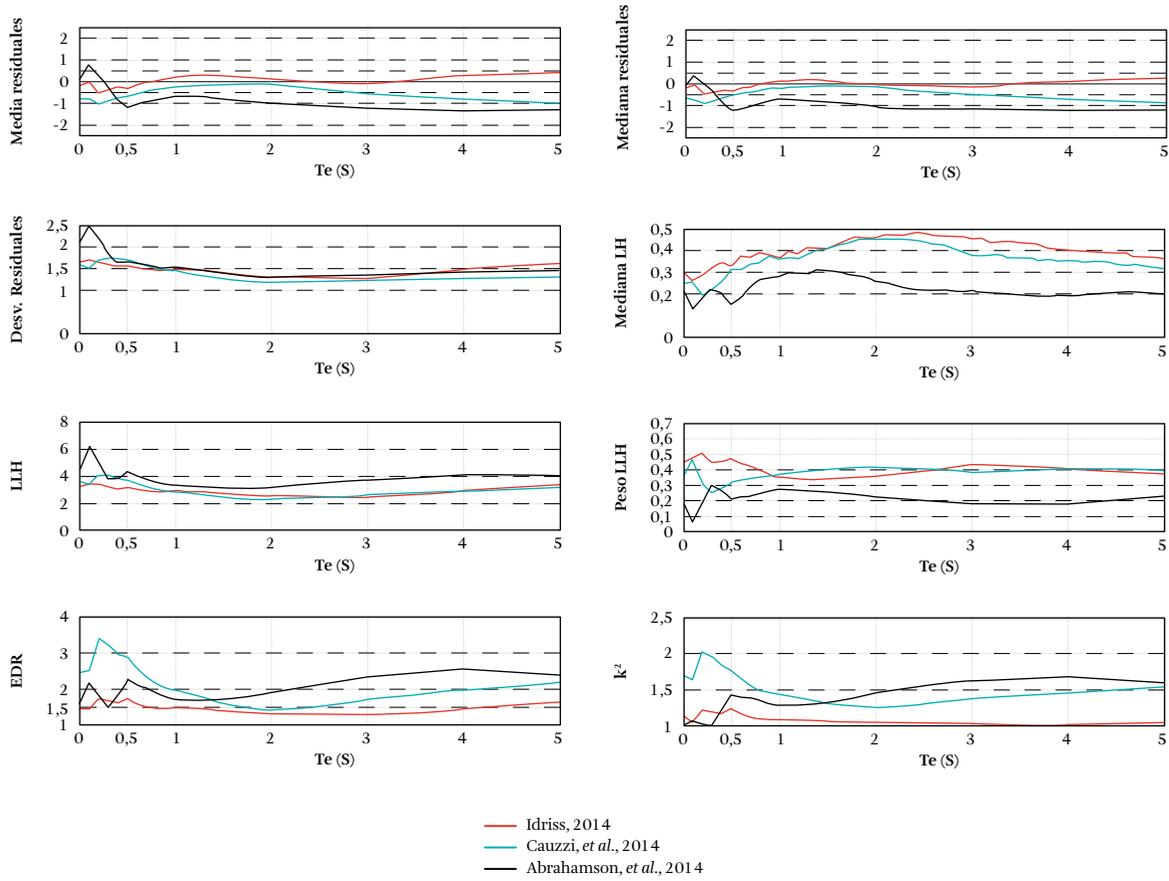


Figura 80. Resultados estadísticos de eventos corticales



Cálculo de la amenaza sísmica



De forma general, un modelo de amenaza sísmica permite cuantificar las acciones sísmicas (p. ej., intensidades, aceleraciones espectrales, entre otros parámetros de medición) a las cuales se encuentra expuesta la población y la infraestructura.

En este estudio se adopta un enfoque probabilista, en el cual la amenaza sísmica se evalúa como la probabilidad con que un cierto valor de amenaza, definido por un parámetro del movimiento del terreno (*i. e.*, aceleración pico [PGA]), es superado (excedido) en un determinado sitio o región de estudio, considerando una ventana de observación (t) dada (Cornell, 1968).

En la siguiente expresión se define genéricamente el concepto anteriormente expuesto:

$$H = P[x(s) \geq x_0; t] \quad [6.1]$$

En dónde la amenaza (H) viene representada por una función de probabilidad del parámetro que indica la intensidad del movimiento del terreno, x , en un sitio de-

terminado (s), donde $Px(s) \geq x_0$ representa la probabilidad de superación de un umbral x_0 del parámetro elegido durante una ventana de observación (t).

Usualmente, la amenaza sísmica se expresa por medio de los siguientes resultados:

- || *Curvas de amenaza.* Permiten identificar, en un sitio dado, la probabilidad de que sea excedido un conjunto de valores de intensidades del movimiento, considerando una ventana de observación (t). Así, en sitios de mayor peligro existe una mayor probabilidad de que un determinado valor de intensidad del movimiento sea excedido. Estas curvas son útiles para identificar las acciones sísmicas que pueden afectar los elementos expuestos, considerando diferentes niveles de seguridad (o periodos de retorno).
- || *Espectros de amenaza uniforme.* Estas curvas contienen, en un sitio determinado y en un periodo de retorno dado, los valores de aceleración espectral es-

timados para diferentes periodos de vibración. Estos resultados son útiles para identificar las acciones sísmicas que pueden afectar las construcciones expuestas, según sus periodos estructurales.

- ||| **Mapas de amenaza.** Corresponden a la distribución geográfica de una determinada intensidad del movimiento, en un determinado periodo de retorno. Por ejemplo, es posible obtener mapas de aceleración espectral de periodos de vibración de un segundo ($S_a(1\text{ s})$), en un periodo de retorno de 475 años.

La evaluación de la amenaza en roca firme (V_s 760 m/s) se llevó a cabo usando el motor de cálculo OpenQuake (Pagani *et al.*, 2014a) En este capítulo se describen la metodología adoptada y los principales componentes del modelo de amenaza. Más información acerca de los procedimientos de cálculo de amenaza sísmica usando OpenQuake se pueden consultar en Pagani *et al.* (2014b).

6.1 Metodología para estimar la amenaza sísmica

Para evaluar la amenaza sísmica, en este estudio se adoptan las metodologías propuestas por Budnitz *et al.* (1997), Reiter (1991) y McGuire (2004). El principal objetivo del análisis es estimar, en un sitio determinado, la probabilidad de excedencia de diferentes intensidades del movimiento del suelo, considerando todos los sismos que puedan ocurrir.

Entre los principales supuestos se encuentran los siguientes:

- ||| La sismicidad en una región (o sitio) viene caracterizada por un grupo de fuentes sísmicas independientes, lo que significa que la ocurrencia de un evento en una fuente no afecta la probabilidad de ocurrencia de un evento en las otras fuentes.

- ||| Cada fuente sísmica es capaz de generar rupturas (sismos) independientes; por lo tanto, la ocurrencia de una ruptura en una fuente no afecta la probabilidad de ocurrencia de otra potencial ruptura en la misma fuente sísmica.

6.1.1 Componentes del modelo de amenaza

Los principales componentes del modelo de amenaza sísmica son los siguientes:

- ||| **Árbol lógico de fuentes sísmicas.** Corresponde a un conjunto de fuentes sísmicas caracterizadas por su ambiente tectónico, geometría y parámetros de sismicidad. El árbol lógico de fuentes consta principalmente de dos modelos (b1 y b2), creados según las alternativas consideradas en la definición y caracterización de las fuentes. Por ejemplo, en el modelo de sismicidad superficial se consideran tres tipologías de fuente: tipo área, fallas activas, o puntuales.

Por otro lado, en el modelo de subducción, cambios en la definición de la geometría de las fuentes han sido utilizados para representar modelos alternativos y la incertidumbre epistémica asociada. En el capítulo 4 del presente estudio se presentan detalles sobre las fuentes sísmicas. En la tabla 33 se presenta un esquema del modelo de fuentes.

- ||| **Árbol lógico de ecuaciones de atenuación.** Corresponde al conjunto de ecuaciones seleccionadas para cada ambiente tectónico (véase la tabla 34). Tales ecuaciones permiten estimar, en un sitio determinado, las intensidades del movimiento esperadas dada la ocurrencia de un sismo de una cierta magnitud y a una cierta distancia. Detalles de la selección de estas ecuaciones se presentan en el capítulo 5 del presente estudio.

Tabla 33. Modelo de fuentes sísmicas

Tipo de fuente/modelo	Modelo (b1). Peso: 40 %	Modelo (b2). Peso: 60 %
Fuentes corticales	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes tipo falla (fallas activas) • Modelo de sismicidad suavizada 	Fuentes tipo área. Modelo de sismicidad equiprobable
Fuentes interplaca del proceso de subducción del Pacífico	<ul style="list-style-type: none"> • Fuentes complejas. Profundidad de fuentes: 50 km; no segmentado 	Fuentes complejas. Profundidad de fuentes: 40 km; modelo segmentado

(.../...)

Tipo de fuente/modelo	Modelo (b1). Peso: 40 %	Modelo (b2). Peso: 60 %
Zona de Benioff (proceso de subducción del Pacífico)	Fuentes paramétricas. Profundidad de fuentes: 50 km	Fuentes paramétricas. Profundidad de fuentes: 40 km
Nido sísmico de Bucaramanga	Fuentes no paramétricas	Fuentes no paramétricas

Tabla 34. Árbol lógico de ecuaciones de atenuación de cada ambiente tectónico

Fuentes corticales (superficiales)			Subducción interplaca		
Ecuación de atenuación	Peso	ID	Ecuación de atenuación	Peso	ID
Idriss2014 (Idriss, 2014)	0,399	b11	AbrahamsonEtAl2015SInter (Abrahamson <i>et al.</i> , 2016)	0,437	b31
CauzziEtAl2014 (Cauzzi <i>et al.</i> , 2014)	0,389	b12	ZhaoEtAl2006SInterNSHMP2008 (Zhao <i>et al.</i> , 2006)	0,348	b32
AbrahamsonEtAl2014 (Abrahamson <i>et al.</i> , 2014)	0,211	b13	MontalvaEtAl2016SInter (Montalva <i>et al.</i> , 2017) modificada	0,215	b33
Nido de Bucaramanga (intraplaca)			Benioff (intraplaca)		
Ecuación de atenuación	Peso	ID	Ecuación de atenuación	Peso	ID
ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014 (Zhao <i>et al.</i> , 2006)	0,443	b21	MontalvaEtAl2016SSlab (Montalva <i>et al.</i> , 2017) modificada	0,424	b41
AbrahamsonEtAl2015SSlab (Abrahamson <i>et al.</i> , 2016)	0,285	b22	AbrahamsonEtAl2015SSlab (Abrahamson <i>et al.</i> , 2016)	0,365	b42
MontalvaEtAl2016SSlab (Montalva <i>et al.</i> , 2017) modificada	0,272	b23	ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014 (Zhao <i>et al.</i> , 2006)	0,21	b43

Nota: Los acrónimos de las ecuaciones de atenuación presentadas en la tabla 34 son referidos al motor de cálculo de OpenQuake.

6.1.2 Fuentes de incertidumbre en la evaluación de la amenaza sísmica

La naturaleza aleatoria de los procesos dinámicos asociados al origen de los sismos y a la propagación de sus ondas, sumada a la falta de datos y de conocimiento de tales procesos, limita la posibilidad de estimar de manera exacta las intensidades del movimiento del terreno cuando ocurren sismos. En este contexto, una evaluación probabilista es una alternativa para estimar valores esperados, así como rangos de variación de las intensidades del movimiento. Siguiendo este enfoque, las intensidades del movimiento se consideraron como una variable aleatoria, cuyas principales fuentes de incertidumbre se describen a continuación:

- || **Incetidumbres aleatorias.** Corresponden a la variación de los datos que describen la ocurrencia de sismos y la intensidad del movimiento.
- || **Incetidumbre en las tasas de ocurrencia de los sismos.** Como se señaló en el capítulo de fuentes sísmicas, de cada fuente se determina una distribución de recurrencia de magnitudes. Por otra parte, la ocurrencia de sismos se modela mediante una distribución de Poisson. De esta manera es posible estimar, en una fuente determinada, la probabilidad de ocurrencia de sismos de deter-

minadas magnitudes en una ventana de tiempo específica.

- || **Incetidumbre en la estimación de la intensidad del movimiento.** En términos generales, para las ecuaciones de atenuación seleccionadas se considera que la intensidad del movimiento es una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad lognormal, descrita mediante un valor medio y una desviación estándar. De esta manera es posible calcular la probabilidad de que se exceda un determinado valor de intensidad del movimiento, dado que ocurre un sismo de ciertas características, como, entre otras, magnitud y distancia.
- || **Incetidumbres epistémicas.** Corresponden a la falta de conocimiento en la modelación de la amenaza. Para enfrentar esta limitación se proponen diferentes alternativas a la hora de modelar las fuentes sísmicas, así como diferentes ecuaciones de atenuación para calcular la intensidad del movimiento. De la articulación del árbol lógico de fuentes con el árbol lógico de ecuaciones de atenuación se obtiene un conjunto de casos de análisis (realizaciones), para los cuales es posible estimar sus pesos respectivos (figura 81).

6.1.3 Evaluación de curvas de amenaza

Una curva de amenaza representa la probabilidad de que sea excedida una determinada aceleración espectral en un periodo de observación dado. La estimación de curvas de amenaza de un sitio determinado comprende los siguientes pasos:

Identificación de casos de análisis. Para una determinada ruptura, perteneciente a determinado ambiente tectónico, es posible utilizar diferentes ecuaciones de atenuación. Por ejemplo, para las fuentes corticales se pueden utilizar las ecuaciones $b11$, $b12$ y $b12$ (tabla 34).

Para un determinado sitio, una de las posibles realizaciones (casos de cálculo intensidades del movimiento) puede ser la que resulta del uso del modelo de fuentes $b1$, con las ecuaciones de atenuación $b11$ (superficial), $b21$ (nido de Bucaramanga), $B31$ (zona Benioff) y $B41$ (zona interplaca del Pacífico). El peso correspondiente a este caso de análisis es $x1$. $xb11$. $xb21$. $xb31$. $xb41$. Este caso corresponde a la primera rama de la figura 81.

Con el fin de considerar todos los casos posibles, las intensidades del movimiento se estiman en todo el conjunto de combinaciones que resultan entre ambientes tectónicos y ecuaciones de atenuación.

El número de realizaciones n (ramas del árbol lógico del cálculo de amenaza) correspondientes a un determinado sitio puede estimarse como $n = M_f \times A_t^{EA}$, en donde M_f es el número de ramas del modelo de fuentes (dos en este caso: $b1$, $b2$), A_t es el número de ambientes tectónicos que influyen en el cálculo de la amenaza y EA corresponde al número de ecuaciones de atenuación por cada ambiente tectónico. Por ejemplo, si en un punto influyen rupturas de tres ambientes tectónicos, considerando tres ecuaciones de atenuación por ambiente tectónico, el número de realizaciones que se obtiene es de $54 = 2 \times 3^3$.

El número de ambientes y de fuentes que influyen en el cálculo de amenaza está sujeto a la distancia entre la localización de las rupturas y el sitio de análisis. En este sentido, es posible que se descarten rupturas muy lejanas que no tengan mayor influen-

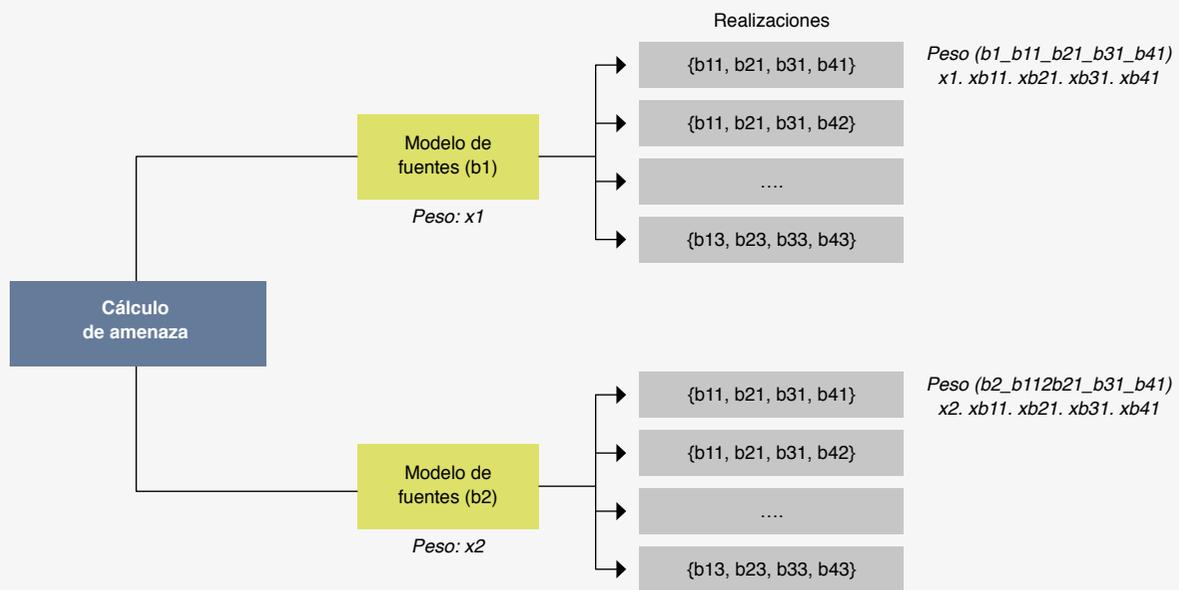


Figura 81. Realizaciones para la estimación de la amenaza sísmica

cia en el cálculo de las intensidades del movimiento. En caso de que existiera un solo modelo de fuentes y solo una ecuación de atenuación (según el ambiente tectónico), el procedimiento de cálculo resultaría más sencillo.

Creación de un listado de rupturas. A partir del árbol lógico de fuentes sísmicas se genera una lista de rupturas (sismos) acordes con los parámetros de sismicidad de tales fuentes. Asimismo, de cada ruptura se identifica su correspondiente probabilidad de ocurrencia, según la ventana de observación establecida en el análisis.

Evaluación de la probabilidad de excedencia de intensidades del movimiento. A partir de la lista de rupturas obtenidas en el paso anterior, y del árbol lógico de ecuaciones de atenuación, se calcula, para cada ruptura, intensidades del movimiento esperadas en el sitio de análisis.

Bajo el supuesto de independencia de las rupturas, y asumiendo que la ocurrencia de sismos sigue una distribución de Poisson, se estima la probabilidad de excedencia de intensidades del movimiento usando la expresión sugerida por Field *et al.* (2003), que

se encuentra implementada en el motor de cálculo OpenQuake (Pagani *et al.*, 2014b):

$$P(X \geq x | t) = 1 - \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^J P(X \geq x | t) = (1 - P_{rupi,j}(n \geq 1 | t))^{P(X \geq x | rupi,j)} \quad [6.2]$$

En donde X corresponde al parámetro de intensidad del movimiento, $P_{rupi,j}(n \geq 1 | t)$ corresponde a la probabilidad de que ocurra al menos una ruptura j en la fuente i, en la ventana de observación t; $P(X \geq x | rupi,j)$ corresponde a la probabilidad de que el parámetro de intensidad sea mayor que un valor x dado que ocurre una ruptura j en la fuente i (según las ecuaciones de atenuación). Detalles sobre este procedimiento de cálculo se encuentran en Pagani *et al.* (2014b).

Las probabilidades de excedencia estimadas mediante la ecuación 6.2 corresponden a una realización según el modelo de fuentes sísmicas (utilizado para la generación de rupturas) y las ecuaciones de atenuación usadas en el cálculo de intensidades del movimiento. Así, con el fin de considerar todos los casos posibles, tales cálculos se ejecutan en el total de realizaciones descritas en la figura 81 y se ponderan según los pesos correspondientes.

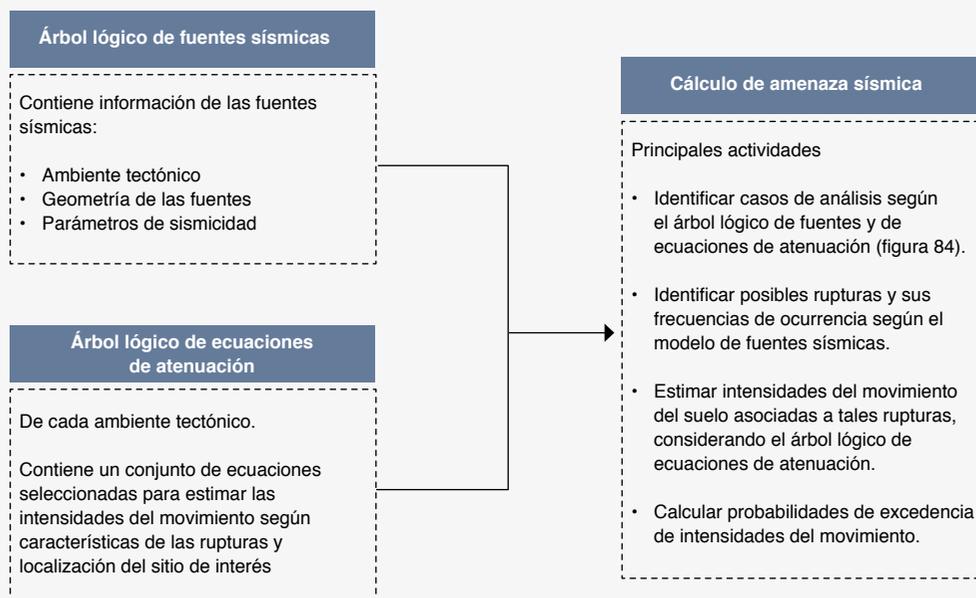


Figura 82. Componentes del cálculo del modelo de amenaza sísmica

Con este procedimiento es posible estimar el valor esperado, así como diferentes percentiles de las probabilidades de excedencia de la intensidad del movimiento. En particular, el valor esperado se puede obtener como la suma ponderada de los resultados de todas las realizaciones, considerando sus pesos correspondientes. La figura 82 presenta un esquema de los componentes y principales actividades del cálculo de probabilidades de excedencia del movimiento.

6.1.4 Estimación de espectros de amenaza uniforme y mapas de amenaza

Los espectros de amenaza uniforme representan las aceleraciones espectrales esperadas, de diferentes periodos de vibración, considerando un determinado periodo de retorno, o probabilidad de excedencia en un tiempo determinado.

Los espectros de amenaza uniforme de un sitio particular pueden obtenerse con el siguiente procedimiento:

- ▮ Definir las condiciones del análisis: establecer una probabilidad de excedencia (PE). Por ejemplo, PE anual de 0,002105, que corresponde a un periodo de retorno de 475 años; determinar un conjunto de periodos de vibración $\{0s, 0,1 s, 0,2 s, \dots, n s\}$ y de aceleraciones espectrales de interés $\{PGA, Sa(0,1 s), Sa(0,2 s) \dots Sa(n s)\}$.
- ▮ Calcular las curvas de amenaza correspondientes a cada periodo de vibración.
- ▮ Consultar, en las curvas de amenaza obtenidas, los valores de las aceleraciones espectrales correspondientes a la probabilidad de excedencia (PE).

Por su parte, los mapas de amenaza representan las aceleraciones espectrales correspondientes a un conjunto de sitios de interés, calculadas considerando un determinado periodo de vibración T y una determinada PE. Así, los mapas de amenaza pueden generarse mediante el siguiente procedimiento:

Definir las condiciones del análisis: establecer un conjunto de sitios de análisis $\{s1, s2, \dots, sn\}$, una probabilidad de excedencia PE y un periodo de vibración T .

Para cada punto del análisis, calcular curvas de amenaza de la intensidad del movimiento ($Sa(T)$) deseada.

Para cada punto de análisis, consultar en la curva de amenaza respectiva, los valores de intensidad del movimiento ($Sa(T)$) correspondientes a la PE establecida.

6.2 Requerimientos computacionales

El Modelo Nacional de Amenaza Sísmica elaborado en colaboración entre el SGC y la Fundación GEM está compuesto por un conjunto de archivos en los que se definen los árboles lógicos de fuentes sísmicas y de ecuaciones de atenuación. Dichos archivos están organizados según los formatos establecidos para el cálculo de amenaza usando el motor de cálculo OpenQuake (versión 3.2). Estos insumos se encuentran disponibles al público para consulta mediante solicitud al SGC.

De cada fuente sísmica se cuenta con un archivo en el que se definen la geometría y los parámetros de sismicidad correspondientes. Tales parámetros se establecen según el tipo de fuente (puntual, tipo área, falla, fuente compleja y no paramétrica). Una descripción de los parámetros requeridos en cada tipo de fuente se encuentra en el capítulo 4. Mayores detalles sobre los archivos de configuración de fuentes sísmicas en el motor de cálculo OpenQuake se encuentran en GEM (2018).

Por otro lado, las ecuaciones de atenuación seleccionadas para el Modelo de Amenaza Sísmica de Colombia se encuentran programadas en el motor de cálculo OpenQuake. De esta manera, no hace falta definir tablas de parámetros o rutinas de cálculo adicionales. Las ecuaciones de atenuación implementadas en OpenQuake pueden consultarse en el repositorio de GEM (GEM s/f).

En análisis posteriores, y en caso de que se considere necesario, es posible incluir otras ecuaciones de atenuación con el fin de llevar a cabo el cálculo de intensidades del movimiento, siguiendo los formatos establecidos en el uso del motor de cálculo OpenQuake.

El cálculo de la amenaza sísmica nacional se puede realizar en computador de 64 bits, con ocho procesadores principales (16 procesadores lógicos) de 3,70 GHz de velocidad, con una memoria RAM de 32 GB. En un equipo de estas características, la esti-

mación de curvas de amenaza de un tipo de intensidad del movimiento (por ejemplo, PGA), correspondiente a una malla de 7.500 sitios, como la que cubre el territorio colombiano, tiene una duración aproximada de 10 horas.



Resultados del estudio de amenaza sísmica



El principal objetivo de este estudio es estimar las probabilidades de que, en un conjunto de puntos del país, se excedan determinadas intensidades del movimiento del terreno durante un periodo de exposición específico (por ejemplo, 50 años).

Para estimar dichas probabilidades de excedencia se elaboraron un árbol lógico de fuentes sísmicas y un árbol lógico de ecuaciones de atenuación. Mediante las fuentes sísmicas se busca caracterizar el territorio en términos de la distribución geográfica de los eventos sísmicos, la magnitud máxima que pueden generar y la frecuencia de ocurrencia de sismos según sus magnitudes. Por otro lado, las ecuaciones de atenuación son útiles para estimar las aceleraciones espectrales esperadas en el territorio ante la ocurrencia de sismos. Detalles de las fuentes sísmicas, de las ecuaciones de atenuación y de la metodología de cálculo de amenaza se presentan en los capítulos 4, 5 y 6, respectivamente.

En este capítulo se presentan los principales resultados de la evaluación de la amenaza sísmica nacional, en términos de mapas de aceleraciones pico correspondientes a diferentes periodos de retorno, curvas de amenaza, espectros de amenaza uniforme y desagregaciones de la amenaza.

7.1 Mapas de amenaza en roca firme

Los mapas de amenaza contienen las aceleraciones espectrales esperadas en un conjunto de puntos, correspondientes a un periodo de retorno establecido. Las figuras 83, 84 y 85 presentan aceleraciones pico (PGA) estimadas para periodos de retorno de 475, 975 y 2.475 años, respectivamente.

En términos generales, las anteriores figuras presentan una distribución geográfica similar en cuanto a las zonas en las que se esperan mayores aceleraciones en los periodos de retorno analizados. Se destacan el Pacífico colombiano, el eje cafetero, el borde llanero y los departamentos de Arauca, Norte de Santander y Santander. A

continuación se presentan algunas observaciones sobre la distribución de la amenaza en el territorio nacional.

Pacífico colombiano

En la figura 83 se observa que, para un periodo de retorno de 475 años, los valores de PGA en su mayoría varían entre 0,4 y 0,6 g a una distancia cercana a 100 km de la costa pacífica. Los sitios de mayor PGA (0,6 y 0,9 g) se encuentran hacia el sur, en el departamento de Nariño (cerca de Tumaco, Francisco Pizarro y Mosquera) y hacia el noroccidente del departamento de Chocó (cerca de Bahía Solano). En zonas más alejadas de la costa pacífica (entre 100 y 200 km) se estiman aceleraciones en un rango entre 0,2 y 0,4 g.

Entre los eventos más relevantes que han ocurrido en el Pacífico colombiano se encuentran los sismos de 1906, de magnitud 8,8 Mw (cerca de Tumaco, a una profundidad de 20 km), y el de 1976, de magnitud 7,3 Mw (cerca de Bahía Solano, a 17,5 km de profundidad). Eventos de características similares han ocurrido en la costa ecuatoriana, tales como el sismo de 2016, de magnitud 7,8 Mw (cerca de Pedernales, a 20 km de profundidad). Estos eventos son ejemplos del potencial de generación de sismos de la subducción del Pacífico, así como de su contribución a la amenaza en dicha zona y de los cuantiosos daños que pueden ocasionar.

Eje cafetero

En los departamentos del eje cafetero (Quindío, Caldas, Risaralda) localizados a más de 150 km de la costa pacífica se estiman aceleraciones que varían entre 0,15 y 0,3 g, en un periodo de retorno de 475 años. Entre los sismos más importantes que han ocurrido en esa zona se encuentran los de 1938 (7,0 Mw, a 150 km de profundidad), de 1962 (6,5 Mw, a 64 km de profundidad) y de 1999 (6,1 Mw, a 15 km de profundidad). Por su localización, se considera que en este sector son relevantes sismos tanto de Benioff como corticales.

Norte de Santander, Santander, Boyacá y Arauca

En la figura 83 se observa que a menos de 25 km de la frontera con Venezuela, en los departamentos de

Norte de Santander y Arauca, se estiman aceleraciones entre 0,4 y 0,6 g para un periodo de retorno de 475 años.

Entre los sismos más importantes que han ocurrido en esta zona se encuentran los de 1644, en Pamplona (magnitud de 6,5 Mw; profundidad de 15 km) y Cúcuta y Villa del Rosario, en 1875 (magnitud de 6,8 Mw; profundidad de 15 km). A una distancia de 25 a 50 km de la frontera con Venezuela se estiman aceleraciones entre 0,2 y 0,4 g. Y a una situada entre 50 y 200 km de tal frontera se estiman aceleraciones de hasta 0,2 g.

Borde llanero

En las figuras 83, 84 y 85 se observa una franja sobre la cordillera Oriental en la cual se calculan aceleraciones relativamente altas si se comparan con las estimadas en el territorio nacional. En particular, considerando un periodo de retorno de 475 años, en la figura 83 se observa que dichas aceleraciones varían entre 0,2 y 0,3 g.

Entre los sismos más importantes que han ocurrido en esta zona se encuentran el de Villavicencio de 1917 (6,7 Mw; profundidad de 15 km), el de Tauramena en de 1995 (6,4 Mw, profundidad de 17 km), y el de Altamira de 1827 (7,1 Mw; profundidad de 15 km). De esta manera, se considera que los sismos de fuentes superficiales (corticales) pueden tener una significativa contribución a la amenaza de esta zona.

Costa atlántica, Llanos Orientales y Amazonia

Comparativamente, zonas de la costa atlántica situadas al norte de los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Atlántico, Magdalena y La Guajira enfrentan una menor amenaza. En estas zonas se calculan aceleraciones menores de 0,1 g, considerando un periodo de retorno de 475. Entre los eventos más relevantes que han ocurrido en esta zona se encuentra el sismo de Santa Marta de 1834 (Mw 6,4, con profundidad de 10 km).

Por otro lado, en las figuras 83, 84 y 85 se observa que, comparativamente, las zonas menos amenazadas se encuentran en la zona de Llanos Orientales, la Amazonia y parte de la Orinoquia, en los depar-

tamentos de Amazonas, Vaupés, Vichada, Guainía, Guaviare y Caquetá.

Las aceleraciones estimadas en estas zonas son menores de 0,05 g para un periodo de retorno de 475 años. La mayoría de los sismos ocurridos en esta región tienen magnitudes menores a 5,0 Mw. A pesar de que se han presentado eventos de magnitudes considerables, superiores a 7,0 Mw, éstos han ocurrido a profundidades mayores a 400 km, razón por la cual no causaron aceleraciones significativas en la superficie.

Al comparar los resultados entre los periodos de retorno de 475 años (figura 83), 975 años (figura 84) y 2.475 años (figura 85) se observa que, a medida que aumenta el periodo de retorno, la distribución geográfica de la amenaza se asemeja más a los trazos de las fallas activas consideradas en el modelo. Esta situación se puede observar sobre el trazo de las fallas de Oca, de Santa Marta, de Algarrobo, de Algeciras-Balsillas, y en las secciones de las fallas Guaicaramo y Yopal.

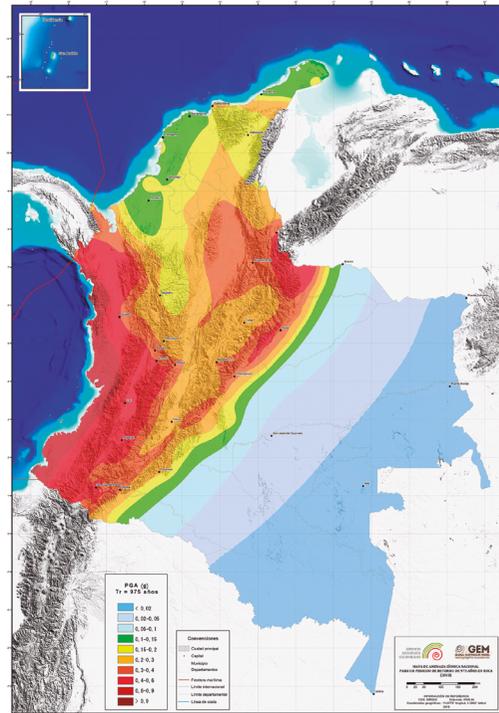


Figura 84. Mapa de aceleraciones pico. Periodo de retorno: 975 años

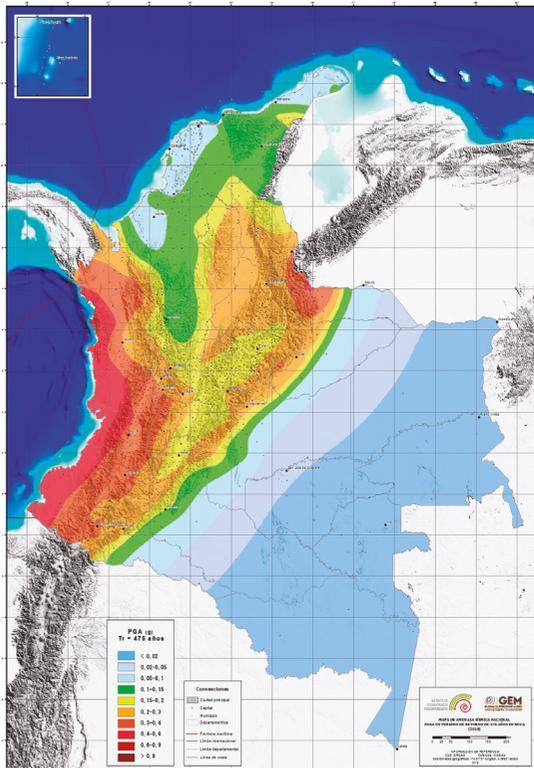


Figura 83. Mapa de aceleraciones pico. Periodo de retorno: 475 años

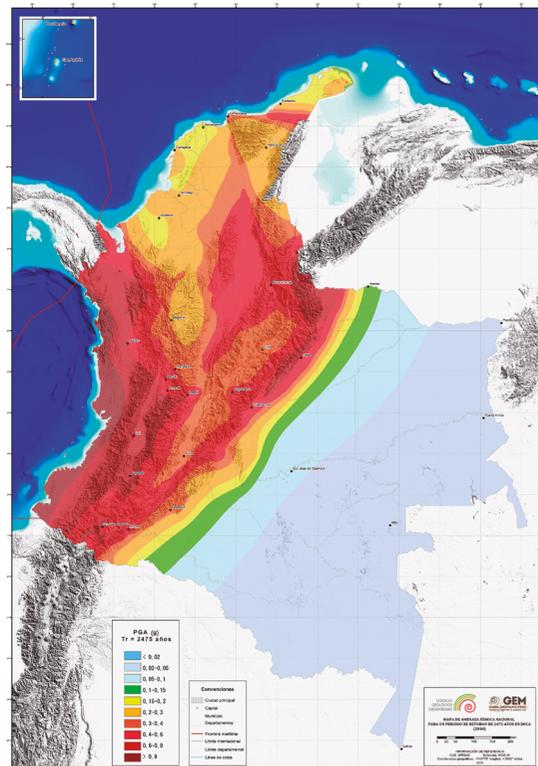


Figura 85. Mapa de aceleraciones pico. Periodo de retorno: 2.475 años

Tabla 35. Aceleración pico en roca estimada en capitales departamentales y para diferentes periodos de retorno

Departamento	Municipio	Long.	Lat.	225	475	975	2475
Antioquia	Medellín	-75,58	6,25	0,10	0,14	0,20	0,30
Atlántico	Barranquilla	-74,81	10,98	0,05	0,08	0,12	0,18
Bogotá	Bogotá, D. C.	-74,11	4,65	0,13	0,19	0,27	0,40
Bolívar	Cartagena de Indias	-75,50	10,38	0,05	0,07	0,11	0,18
Boyacá	Tunja	-73,36	5,54	0,13	0,18	0,24	0,33
Caldas	Manizales	-75,49	5,06	0,14	0,21	0,28	0,40
Caquetá	Florencia	-75,61	1,62	0,10	0,15	0,22	0,33
Cauca	Popayán	-76,60	2,46	0,23	0,32	0,44	0,63
Cesar	Valledupar	-73,26	10,46	0,07	0,11	0,16	0,24
Córdoba	Montería	-75,87	8,76	0,06	0,09	0,13	0,20
Chocó	San Francisco de Quibdó	-76,64	5,68	0,20	0,30	0,41	0,61
Huila	Neiva	-75,28	2,94	0,12	0,17	0,23	0,32
La Guajira	Riohacha	-72,91	11,53	0,06	0,10	0,14	0,23
Magdalena	Santa Marta	-74,20	11,20	0,09	0,14	0,21	0,32
Meta	Villavicencio	-73,62	4,12	0,14	0,23	0,35	0,57
Nariño	San Juan de Pasto	-77,28	1,21	0,22	0,31	0,43	0,63
Norte de Santander	Cúcuta	-72,51	7,91	0,21	0,30	0,41	0,60
Quindío	Armenia	-75,68	4,54	0,20	0,29	0,40	0,57
Risaralda	Pereira	-75,72	4,81	0,18	0,26	0,36	0,51
Santander	Bucaramanga	-73,13	7,12	0,19	0,27	0,36	0,51
Sucre	Sincelejo	-75,40	9,30	0,06	0,10	0,14	0,21
Tolima	Ibagué	-75,20	4,43	0,17	0,25	0,38	0,61
Valle del Cauca	Santiago de Cali	-76,52	3,41	0,27	0,38	0,50	0,69
Arauca	Arauca	-70,75	7,07	0,05	0,07	0,10	0,14
Casanare	Yopal	-72,40	5,33	0,16	0,25	0,38	0,61
Putumayo	Mocoa	-76,65	1,15	0,16	0,23	0,33	0,49
San Andrés y Providencia	San Andrés	-81,71	12,58	0,05	0,09	0,14	0,23
Amazonas	Leticia	-69,94	-4,20	<0,01	0,00	0,01	0,03
Guainía	Puerto Inírida	-67,92	3,87	<0,01	0,01	0,02	0,04
Guaviare	San José del Guaviare	-72,64	2,57	0,02	0,03	0,04	0,06
Vaupés	Mitú	-70,23	1,25	<0,01	0,01	0,02	0,04
Vichada	Puerto Carreño	-67,49	6,19	<0,01	0,01	0,01	0,03

Estos resultados están relacionados con la definición de magnitudes máximas más altas en el modelo de las fallas activas y sismicidad distribuida, que las asignadas a las fuentes de sismicidad equiprobable (véase la sección 4.3.2.3). De esta manera, a medida que se aumenta el periodo de retorno hay una mayor contribución de las fallas activas a la amenaza.

Como referencia, la tabla 35 presenta las aceleraciones pico estimadas en puntos ubicados en las capitales departamentales, considerando periodos de retorno de 225, 475, 975 y 2.475 años.

7.1.1 Relaciones entre las aceleraciones pico obtenidas con diferentes periodos de retorno

La figura 86 presenta el cociente entre las aceleraciones pico estimadas para periodos de retorno de a) 975

años, y b) 2.475 años, respecto a las estimadas para un periodo de retorno de 475 años.

En la figura 86 se observa que tales razones varían en el territorio y que están relacionadas con la sismicidad. En las zonas de menor amenaza del país, como la Amazonia, la razón entre las aceleraciones pico puede ser del orden de dos veces considerando un periodo de retorno (T_r) de 975 años, y del orden de cuatro veces considerando un T_r de 2.475 años. Por su parte, en las zonas de mayor amenaza, como el departamento de Nariño, tales relaciones pueden ser del orden de 1,4 a dos veces teniendo en cuenta periodos de retorno de 975 y 2.475 años, respectivamente.

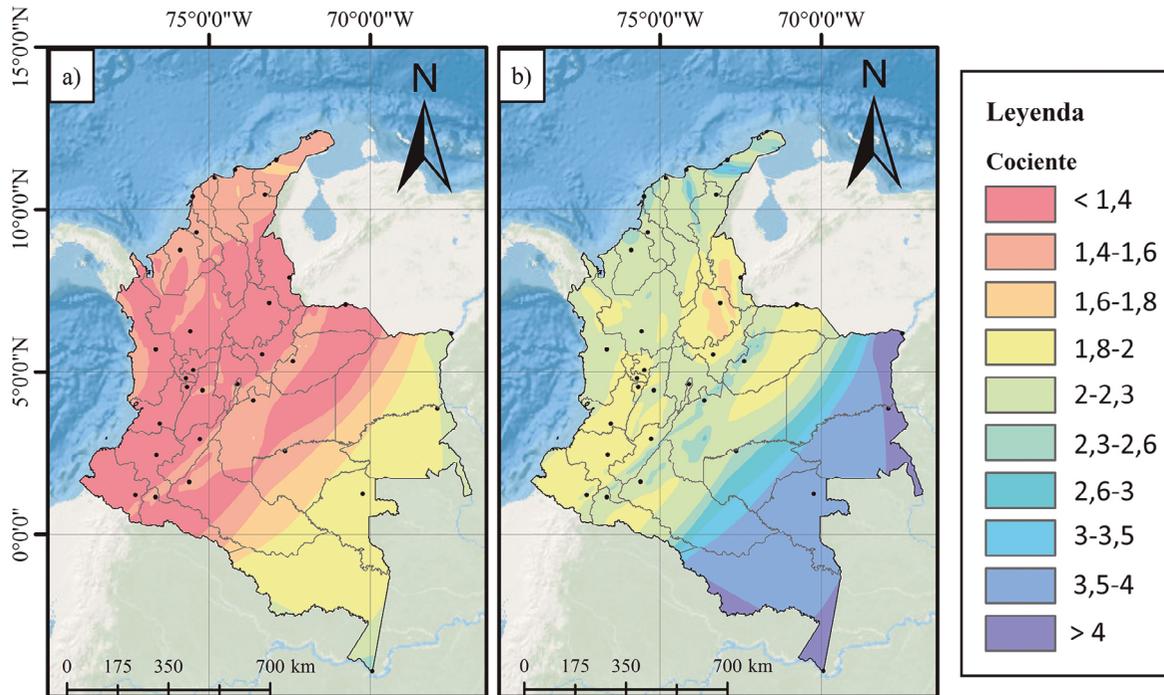


Figura 86. Cociente entre aceleraciones pico correspondientes a diferentes periodos de retorno: a) 975/475; b) 2.475/475

7.1.2 Ambientes tectónicos predominantes en la evaluación de la amenaza sísmica

Con el fin de tener una mayor comprensión de los resultados, se realizaron estimaciones de la amenaza sísmica en cada ambiente tectónico, considerando los árboles lógicos de ecuaciones de atenuación correspondientes. Los valores medios obtenidos se compararon entre sí con el fin de identificar los ambientes tectónicos que producen las aceleraciones más altas en el territorio. La figura 87 presenta la distribución geográfica de los ambientes tectónicos que generan los mayores valores de aceleración pico (PGA) considerando un periodo de retorno de 475 años.

A partir de la figura 87 se presentan las siguientes observaciones:

- || Las fuentes interplaca (del modelo unido y segmentado) producen las aceleraciones pico más altas en la zona Pacífico. Hacia el norte, esta zona tiene una extensión cercana a 200 km desde la costa pacífica, y abarca el departamento de Chocó. Hacia el sur, en los departamentos de Nariño

y Cauca, esta zona se extiende a menos de 50 km de la costa pacífica.

- || Las fuentes tipo Benioff son relevantes para los departamentos de Nariño, Cauca y Valle, e incluso llegan hasta Quindío, en una zona contigua a la de sismos interplaca. También se observan zonas de mayores aceleraciones de esta fuente hacia la zona central del departamento de Putumayo.
- || El nido sísmico de Bucaramanga contribuye en mayor medida a la amenaza sísmica del noroccidente del departamento de Norte de Santander y el sur del departamento de Santander.
- || Al norte de La Guajira y sobre las cordilleras Central y Oriental se observa que las mayores aceleraciones corresponden a fuentes de los modelos de sismicidad distribuida y de fallas activas.
- || El modelo de fuentes superficiales de sismicidad equiprobable produce las mayores aceleraciones en la costa atlántica, en los Llanos Orientales y parte de la Orinoquia, en el eje cafetero y gran parte de los departamentos de Antioquia y Tolima.

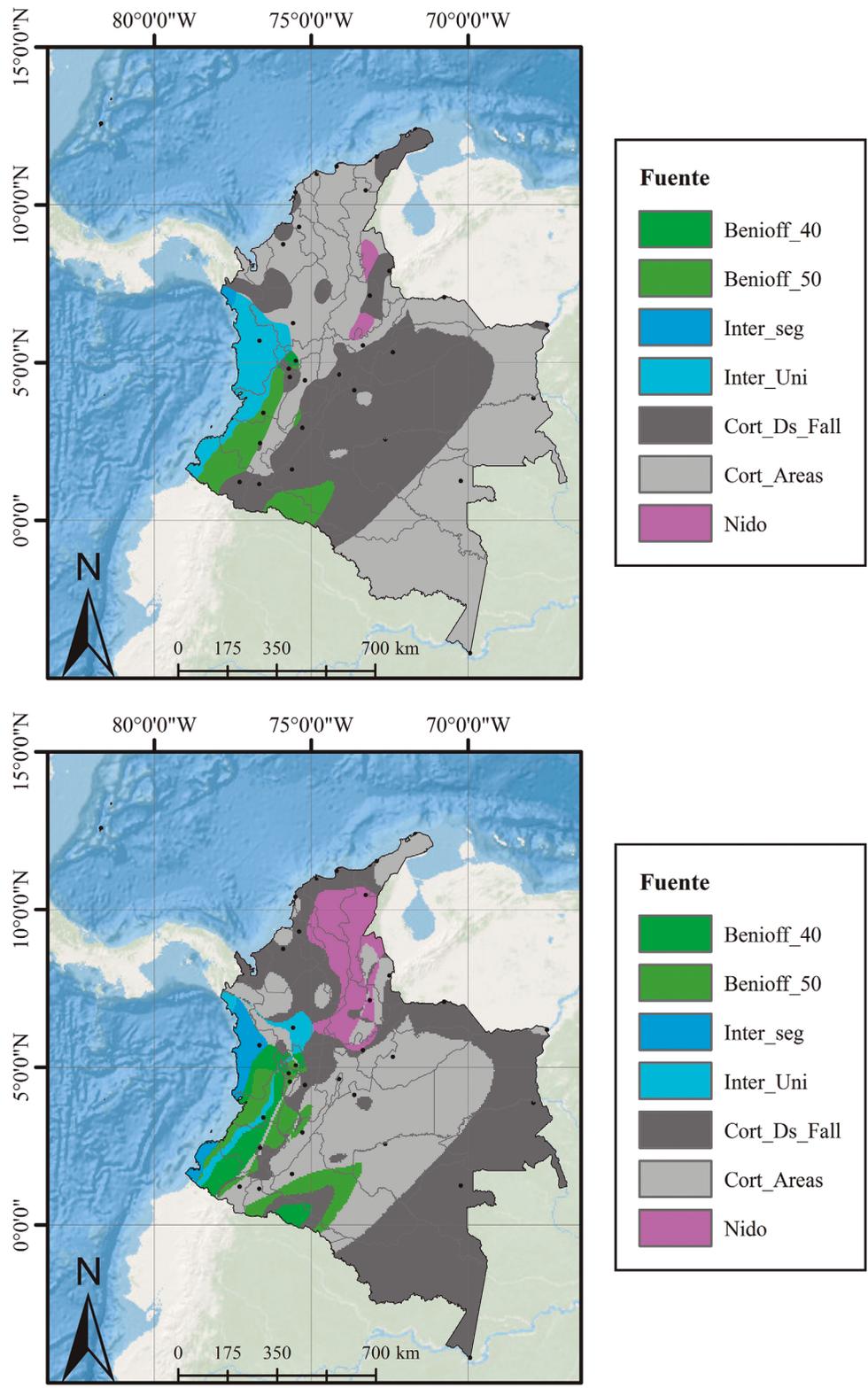


Figura 87. Ambiente tectónico de mayor aceleración pico (periodo de retorno de 475 años)

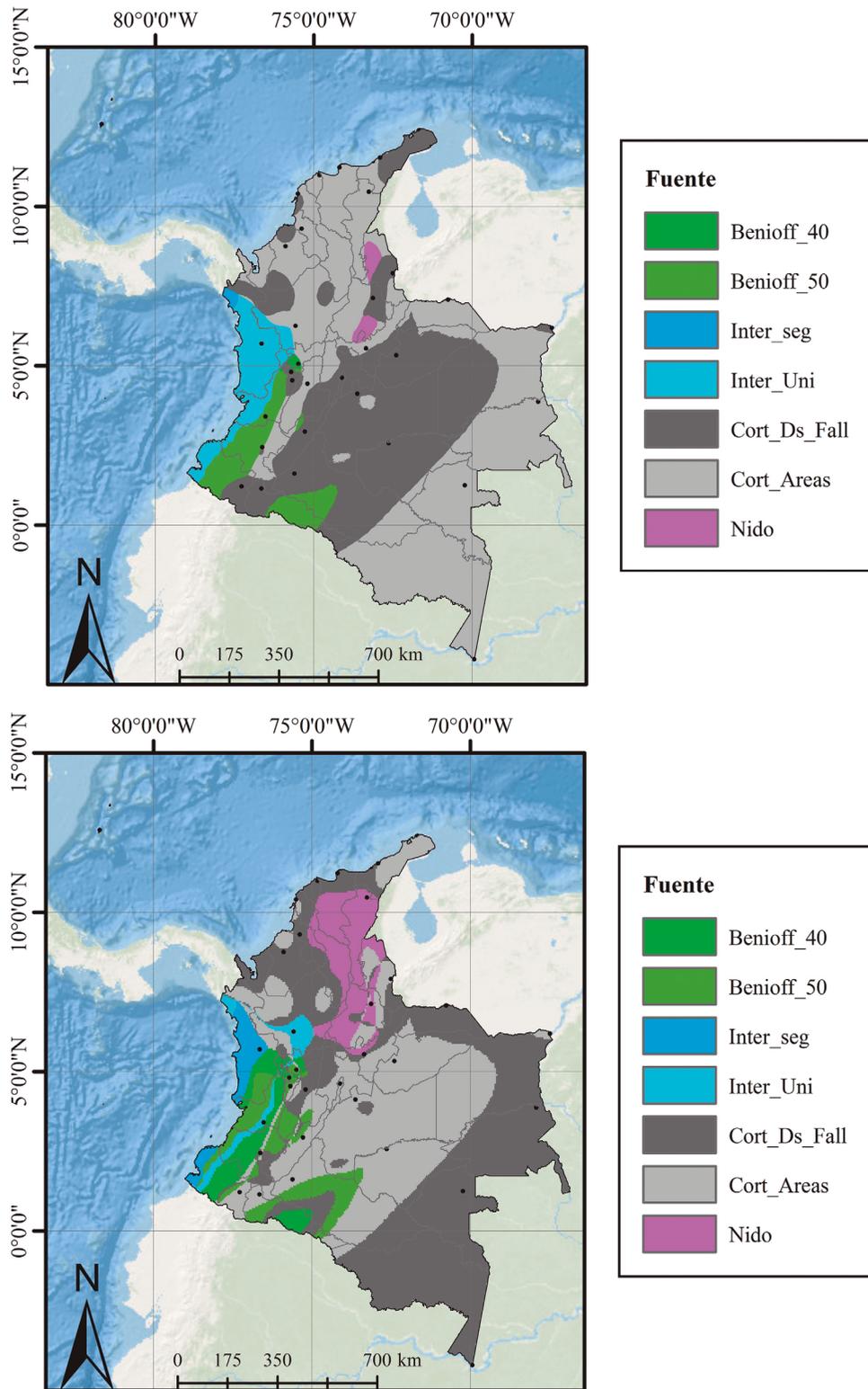


Figura 88. Ambiente tectónico de segunda mayor aceleración pico (Tr 475 años)

Como complemento al anterior análisis, la figura 88 presenta los ambientes de segunda mayor aceleración pico. A partir de esta figura se presentan las siguientes observaciones:

- ▮ El modelo de sismicidad equiprobable se complementa con el modelo de sismicidad distribuida y fallas activas.
- ▮ Las fuentes interplaca del modelo segmentado generan menores aceleraciones que las del modelo unido.
- ▮ Las fuentes de tipo Benioff, interplaca y superficiales son relevantes para los municipios del eje cafetero.
- ▮ Las fuentes de tipo Benioff son relevantes para los departamentos de Cauca, Valle y Tolima.

7.2 Curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme

La evaluación de la amenaza sísmica se ha realizado en una malla de puntos regular, así como en las localizaciones de centros poblados del país. En cada punto se encuentran curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme correspondientes a periodos de retorno de 475 y 2.475 años. La figura 89 presenta ejemplos de estos resultados en un punto del municipio de Pasto. En el anexo K se presentan los espectros de amenaza uniforme obtenidos para las principales capitales del país.

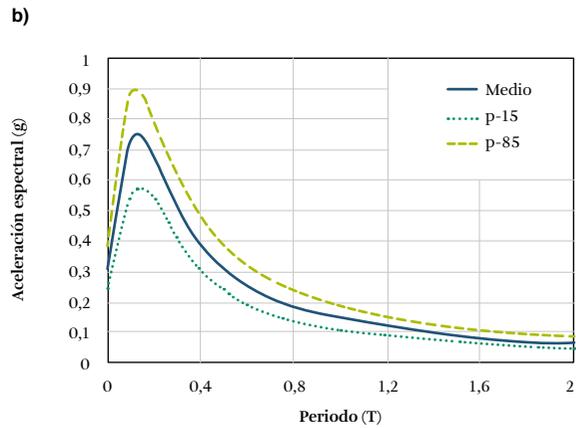
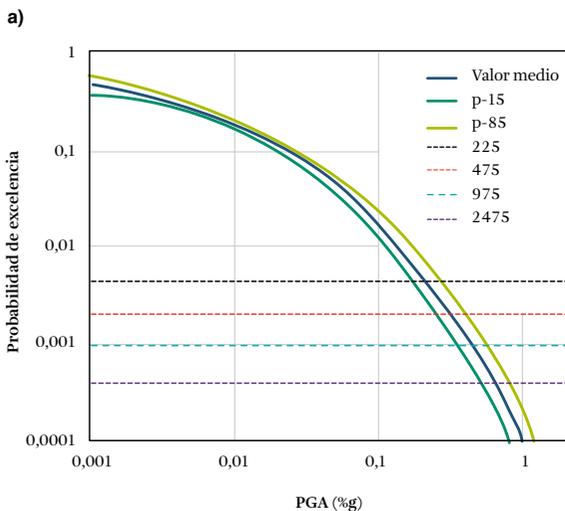


Figura 89. a) Curva de amenaza; b) espectro de amenaza uniforme (Tr. 475 años) correspondiente a un punto del municipio de Pasto

Estos resultados, sumados a mapas de amenaza con periodos de retorno de 31, 225, 475, 975 y 2.475 años se encuentran disponibles en el sitio de consulta del modelo de amenaza (SGC, 2018). Detalles del sistema de consulta se encuentran en el anexo L.

7.3 Desagregación de la amenaza sísmica

A partir del modelo elaborado es posible realizar un análisis de desagregación de la amenaza, útil para identificar el tipo de sismos de mayor contribución a la amenaza sísmica de un sitio determinado.

Con la metodología descrita en Pagani *et al.* (2014b), el análisis de desagregación se realiza teniendo en cuenta un determinado periodo de retorno, para el cual se estiman las probabilidades de excedencia de un rango de valores de intensidad del movimiento, considerando diferentes propiedades de los sismos, como su magnitud, distancia respecto al sitio de análisis, ambiente tectónico y localización geográfica de las rupturas que pueden generarse.

A continuación se describen ejemplos del tipo de resultados del análisis de desagregación. La figura 90 presenta resultados sobre el municipio de Pasto (Colombia) en cuanto a la contribución a la amenaza según la distancia y magnitud de las rupturas. Considerando que para el cálculo de la amenaza se obtiene un conjunto de realizaciones según el árbol lógico de ecuaciones de atenuación y de fuentes sísmicas, es posible calcular un rango de valores, así como el valor

esperado de la contribución según distancia y magnitudes de las rupturas.

La figura 91 presenta resultados del análisis de desagregación según el ambiente tectónico y el periodo de vibración, teniendo en cuenta periodos de retorno de 475 y 975 años. Por último, la figura 92 presenta la distribución geográfica de la contribución de las rupturas a la amenaza sísmica de Popayán según ambientes tectónicos a) corticales, b) interplaca y c) zona Benioff, considerando aceleraciones pico (PGA) de un periodo de retorno de 475 años.

Los resultados del análisis según distancias, magnitudes y ambientes tectónicos son relevantes para la selección de registros acelerográficos que sean de interés tanto para el análisis del comportamiento estructural como para el análisis de respuesta dinámica de suelos.

A la vez, estos resultados son útiles para la definición del tipo de sismos y de escenarios de daño en la formulación de planes de respuesta por terremoto.

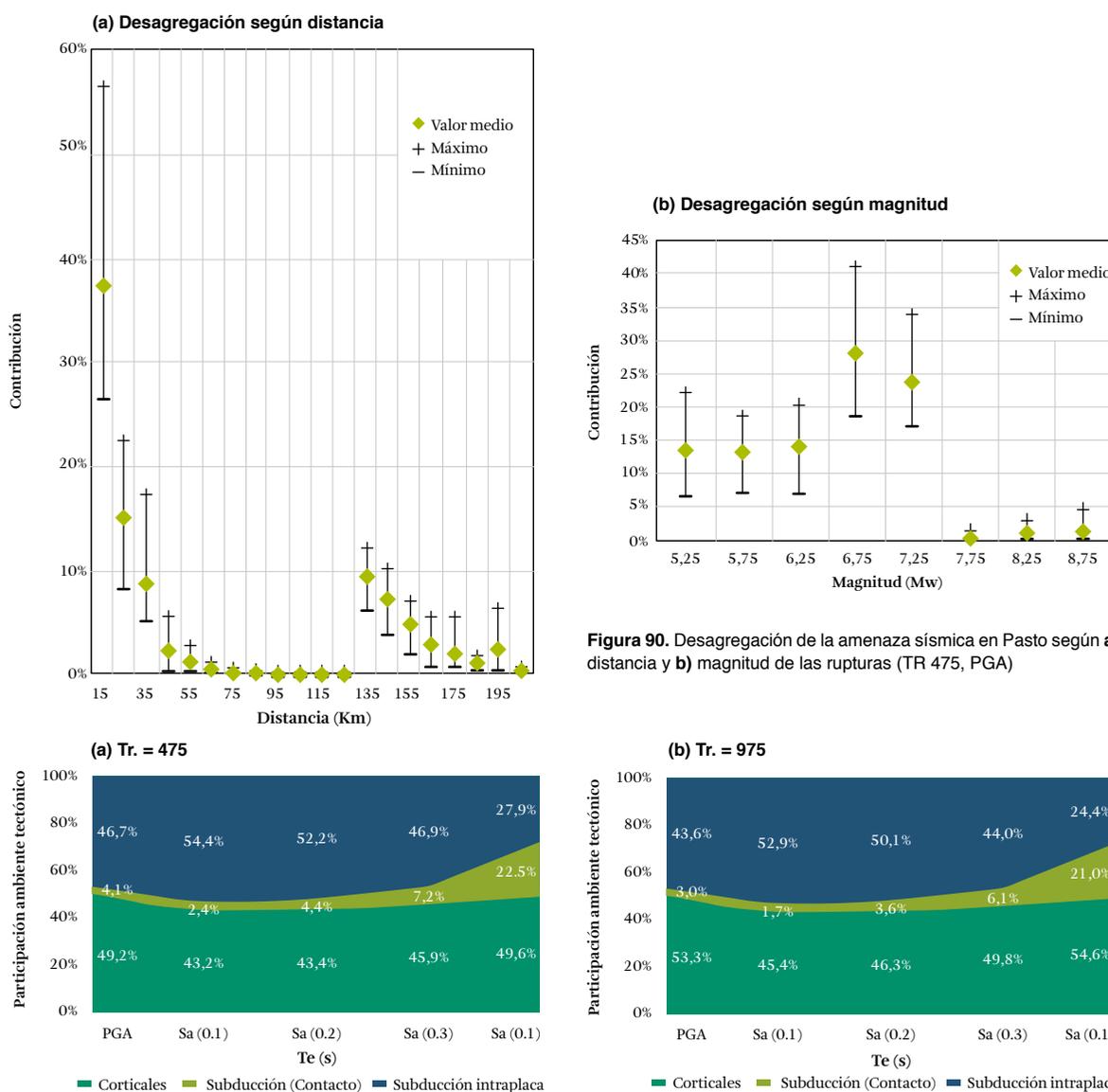


Figura 90. Desagregación de la amenaza sísmica en Pasto según a) distancia y b) magnitud de las rupturas (TR 475, PGA)

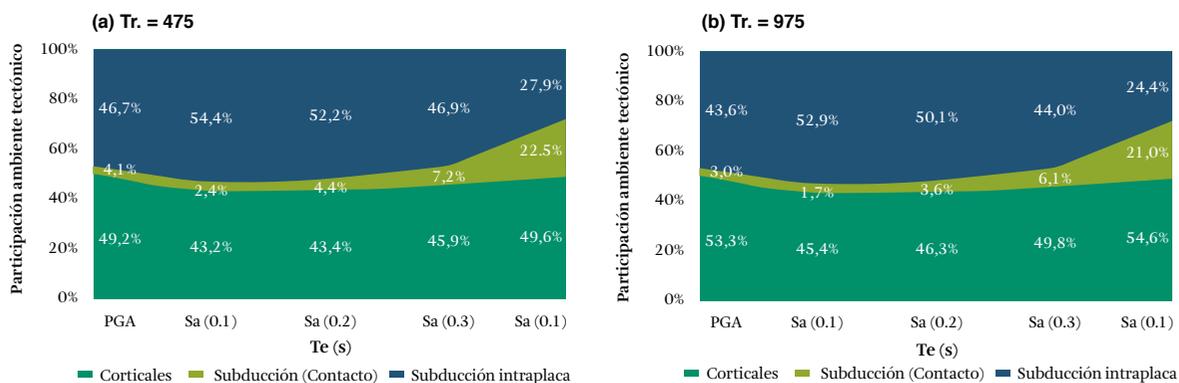
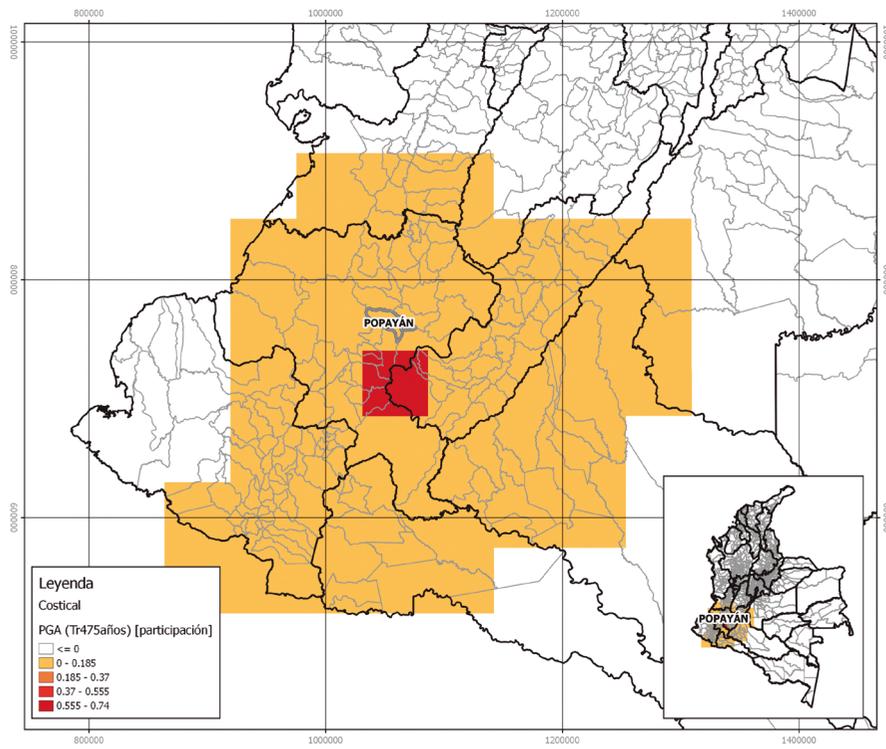
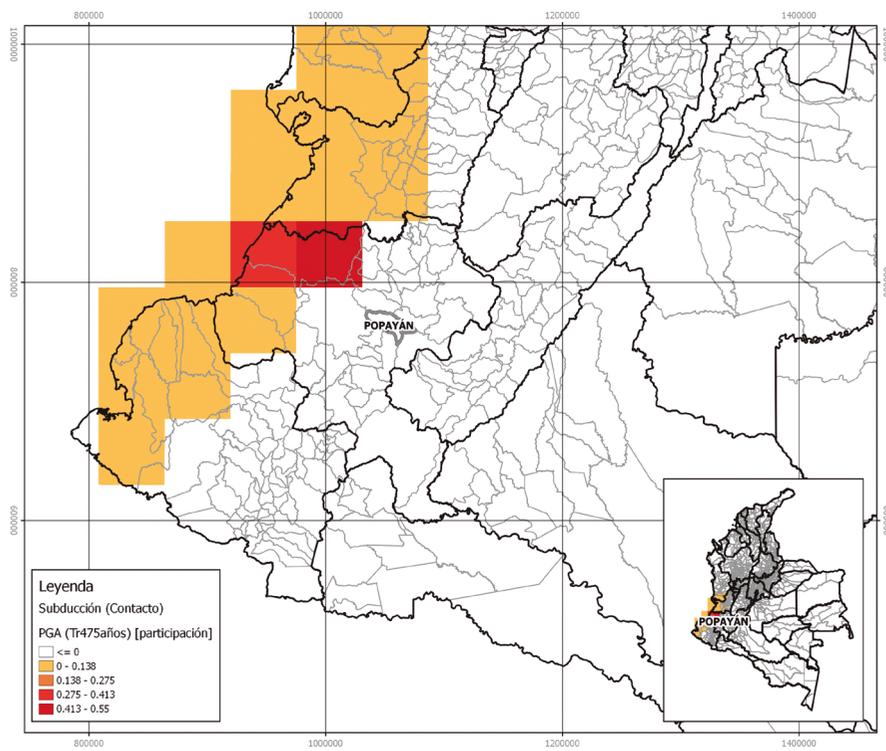


Figura 91. Resultados de la desagregación de la amenaza sísmica en Popayán según ambientes tectónicos y periodos de vibración de a) Tr. = 475 años y b) 975 años

(a) Corticales



(b) Subducción, interplaca (contacto)



(c) Zona Benioff

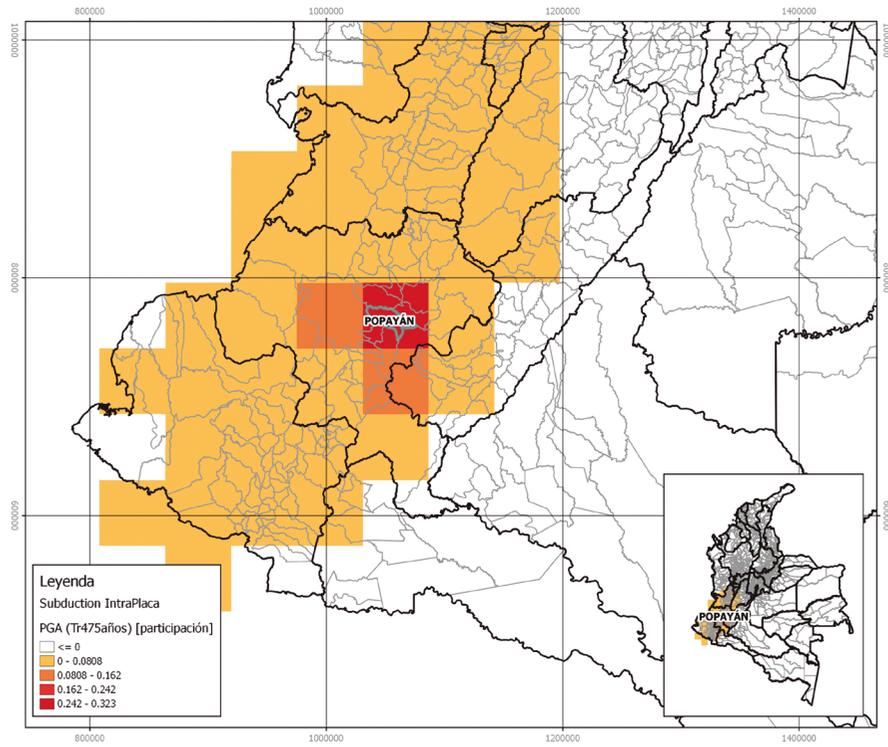


Figura 92. Distribución geográfica de la contribución de las rupturas a la amenaza sísmica de Popayán según ambientes tectónicos a) corticales, b) interplaca y c) zona Benioff. Periodo de retorno: 475 años



Conclusiones y recomendaciones



En Colombia diferentes instituciones han realizado estimaciones de amenaza sísmica. Entre los resultados más relevantes se resaltan los modelos utilizados para definir los coeficientes sísmicos que se han adoptado en las normas y reglamentos de sismorresistencia (García *et al.*, 1984; AIS *et al.*, 1996; AIS, 2009). En estos modelos se han realizado esfuerzos dirigidos a construir un catálogo de eventos, describir fuentes sísmicas y seleccionar ecuaciones de atenuación.

Partiendo de estos avances, el Servicio Geológico Colombiano, en conjunto con la Fundación Global Earthquake Model, elaboró un modelo con el fin de contribuir al conocimiento de la amenaza sísmica nacional. De esta colaboración se destacan las siguientes actividades:

Conjunto de datos básicos:

- || Elaboración de un catálogo sísmico a partir de la compilación y procesamiento de diferentes catálogos globales y nacionales.

Modelo de fuentes sísmicas:

- || Consideración de información y criterios geológicos, tectónicos y sísmológicos en la definición de la geometría de fuentes sísmicas.
- || Elaboración de modelos de sismicidad distribuida y de sismicidad equiprobable para el análisis de fuentes corticales.
- || Caracterización de fallas activas para la modelación de fuentes sísmicas superficiales desde un punto de vista tectónico.

Ecuaciones de atenuación:

- || Evaluación y selección de ecuaciones de atenuación que mejor representen las intensidades del movimiento observadas según los diferentes ambientes tectónicos.

Resultados:

- || Divulgación del modelo y de los resultados de la amenaza sísmica mediante sistemas de consulta abiertos al público.

En este capítulo se presentan los principales productos y conclusiones del modelo elaborado por la colaboración del SGC y la GEM.

8.1 Conjunto de datos básicos

Catálogo Sísmico Integrado

Se elaboró un catálogo sísmico integrado (CSI) a partir de la recopilación de información de múltiples fuentes, la depuración de eventos repetidos y la homogeneización de sus magnitudes.

Con este propósito se consultó información de los siguientes catálogos globales y nacionales:

- ▮ EHB (Engdahl *et al.*, 1998)
- ▮ ISC-GEM (Di Giacomo *et al.*, 2014; Storchak *et al.*, 2013),
- ▮ Centennial (Engdahl y Villaseñor, 2002)
- ▮ International Seismological Centre (ISC) (Bondár y Storchak, 2011)
- ▮ Global Centroid Moment Tensor Catalog (GCMT) (Storchak *et al.*, 2013)
- ▮ ANNS Composite (ANSS)
- ▮ (NCEDC, 2013)
- ▮ ANSS Comprehensive (NEIC) (USGS, 2014);
- ▮ Centro Internacional de Datos (IDC) (ISC, 2015).
- ▮ Servicio Geológico Colombiano (SGC) (Colombia)
- ▮ Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica (IGEPN) (Ecuador) (Beauval *et al.*, 2013)
- ▮ Centro Sismológico de América Central (CASC) (Alvarenga *et al.*, 1998)
- ▮ Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (Ineter, 2016)
- ▮ Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (Funvisis) (Venezuela).

Depuración de eventos repetidos. Se establecieron criterios de priorización de la información contenida

en los catálogos consultados, con el fin de identificar la información preferida de cada uno, previendo el caso de que un sismo se encontrara reportado en dos o más catálogos.

Homogeneización de magnitudes. La magnitud de los eventos del CSI se encuentra expresada en términos de la magnitud momento (Mw). Con este fin se estimaron relaciones usando valores de Mw estimados a partir de M0 (reportado por el GCMT por medio del tensor de momento). También se consideraron los valores de mb y Ms estimados por el NEIC y presentados por el GCMT en los mismos eventos que cuentan con magnitud Mw.

Como resultado de este proceso, el CSI cuenta con un total de 34.681 eventos, ocurridos a partir de 1610, cuyas magnitudes varían entre 2,9 y 8,8 Mw. Teniendo en cuenta que en el desarrollo del CSI se utilizaron eventos de bases de datos globales y nacionales, el CSI contiene información de una adecuada cobertura geográfica y temporal.

El catálogo de eventos es una herramienta relevante para definir los parámetros de sismicidad de las fuentes sísmicas identificadas. Dado que en el presente estudio se supone que los eventos son independientes, se realizó una remoción de eventos dependientes utilizando el algoritmo de Gardner y Knopoff (1974). También se realizó un análisis de periodos de completitud de magnitudes utilizando la metodología de Stepp (1972).

Base de datos de movimiento fuerte

Se consolidaron 1.786 registros (triaxiales) de 118 sismos, que fueron procesados para corregir la línea base. También se recopiló información de los eventos en términos de su ubicación, magnitud y mecanismo focal de acuerdo con las soluciones estables del catálogo GCMT.

Tabla 36. Descripción general de los eventos de la base de datos de movimiento fuerte

Ambiente tectónico	Mecanismos focales predominantes	N.º de registros	Profundidad promedio (km)	Rango Mw
Cortical	Strike-slip	607	25	4,8-7
Nido	Compuesto	485	147	4,8-6,25
Benioff		435	131	4,8-7,3
Interplaca	Inverso	259	22	5-7,8

Los eventos se clasificaron en los siguientes ambientes tectónicos: corteza activa (cortical), interplaca (subducción en la costa pacífica), intraplaca (zona de Benioff y nido sísmico de Bucaramanga). La tabla 36 presenta una descripción general de los eventos de la base de datos de movimiento fuerte.

Además de la compilación y el procesamiento de los registros acelerográficos, se realizó una base de datos de caracterización de efectos de sitio de las estaciones que abarca los siguientes parámetros: profundidades en las que se encuentran velocidades de onda cortante (V_s) de 1 y 2,5 km/s (Z_1 y $Z_{2,5}$, respectivamente), así como el promedio de la velocidad de onda de corte para los 30 metros más superficiales del suelo ($V_{s_{30}}$).

Tal caracterización es fundamental, ya que permite incluir posibles efectos de sitio en la comparación entre las aceleraciones espectrales calculadas mediante ecuaciones de atenuación y las observadas en los registros acelerográficos. De esta manera, la caracterización de las estaciones contribuye a que la amenaza sísmica se calcule en roca firme, depurando posibles efectos de sitio (teniendo en cuenta las limitaciones de los parámetros $V_{s_{30}}$, $Z_{1,0}$ y $Z_{2,5}$). Esta diferenciación según efectos de sitio tiene mayor incidencia en la estimación de aceleraciones espectrales en periodos intermedios y altos (mayores de 0,75 s).

Base de datos de fallas activas

Se revisó una base de datos de fallas activas a partir de experiencias previas regionales y nacionales. En total se compiló información de 171 estructuras, de las que se determinó información sobre sus características geométricas y geodinámicas, con las cuales es posible obtener parámetros relevantes para evaluar la amenaza sísmica.

Las características geométricas se definieron a partir del ángulo de buzamiento promedio, la dirección del buzamiento, la dirección del bloque hundido de la falla y la geometría de la falla en formato WKT (Well-Known Text).

Por su parte, las características geodinámicas se definieron a partir del tipo de movimiento cinemá-

tico predominante, la tasa de deslizamiento anual (total), la tasa de deslizamiento anual (en la dirección del rumbo), la tasa de deslizamiento anual (vertical), la tasa de deslizamiento anual (horizontal) y el ángulo de deslizamiento de la falla (*rake*).

De esta manera, la base de datos de fallas activas representa un avance en la estandarización y el aprovechamiento de la información geológica para el cálculo de la amenaza sísmica.

8.2 Modelo de fuentes sísmicas

La sismicidad de Colombia se clasificó en los siguientes ambientes tectónicos: i) sismos superficiales (corticales), de profundidad menor de 30 km, distribuidos a lo largo del territorio nacional; ii) sismos interplaca, localizados en la costa pacífica, en el contacto de las placas Nazca y Suramérica; iii) sismos intraplaca (Benioff), que ocurren en el interior de la placa de Nazca, en el volumen que subduce a la placa Suramérica, y (iv) el nido sísmico de Bucaramanga.

En cada ambiente se definió un conjunto de fuentes sísmicas, que se describieron en términos de su geometría y de su actividad. En la modelación de las fuentes se consideraron las siguientes alternativas:

- ▮ En fuentes corticales, un modelo de fuentes tipo área (de sismicidad equiprobable) y un modelo compuesto de sismicidad distribuida y de fallas activas.
- ▮ En fuentes interplaca (subducción) e intraplaca (zona Benioff) se consideraron variaciones en la profundidad y en la geometría de la fuente.

Geometría de las fuentes

La geometría de las fuentes corticales tipo área se definió a partir de un procedimiento que comprende un análisis de la estructura de la corteza terrestre, información geológica de la superficie e información de sismicidad histórica e instrumental. Este procedimiento facilita la justificación y documentación tanto de los datos como de los criterios geológicos, tectónicos y sismológicos utilizados en la definición de los límites geográficos de fuentes corticales.

En el modelo de sismicidad distribuida se delimitaron nueve macrozonas, que corresponden a la agrupación de fuentes tipo área de ambientes sismotectónicos similares. Por otra parte, a partir de la base de datos de fallas activas se definieron las trazas y demás propiedades geométricas de las fallas.

Para la definición de la geometría de las fuentes de subducción (interplaca) y de Benioff se elaboraron secciones transversales a lo largo de la trinchera del Pacífico. Sobre esas secciones se identificó la localización y la profundidad de los sismos ocurridos. A partir de esta información se infirió tanto la extensión como la variación en profundidad de la placa subducente. Un procedimiento similar se llevó a cabo para definir la geometría del nido sísmico de Bucaramanga.

Con este procedimiento es posible evaluar de forma más realista la amenaza sísmica de fuentes de subducción e intraplaca, pues se tienen en cuenta las variaciones en la profundidad de los sismos, acordes con la interacción de las placas tectónicas.

Considerando que existe incertidumbre en la definición de la profundidad en la que terminan los sismos interplaca y comienzan los de la zona de Benioff, se establecieron dos alternativas geométricas de tales fuentes, variando dicha profundidad entre 40 y 50 km.

Adicionalmente, para la modelación de fuentes de subducción se consideraron dos casos: uno en el que la fuente corresponde a un único volumen en la costa pacífica, así como un modelo segmentado, en el que la subducción se divide en tres volúmenes, cada uno descrito por diferentes parámetros de sismicidad. Esta

última aproximación permite un mayor detalle en la distribución geográfica y de magnitudes de los sismos que se pueden generar en la zona de subducción.

Parámetros de sismicidad

La actividad de las fuentes sísmicas (con excepción de las fallas activas) se determinó mediante distribuciones de recurrencia de magnitudes, que se obtuvieron utilizando el CSI depurado (sin réplicas).

La actividad sísmica de las fallas activas se determinó a partir de información geológica, considerando relaciones entre la productividad de la falla (número de terremotos promedio entre la magnitud mínima y máxima) y la tasa de liberación de momento total, representado por la tasa de deslizamiento anual.

Con este enfoque, en la estimación de la actividad de fuentes superficiales es posible tener en cuenta el potencial de ocurrencia de sismos de magnitudes considerables (por ejemplo, superiores a 6,5 Mw) que, a pesar de no estar registrados en catálogos de eventos históricos, han sido identificados mediante el reconocimiento geológico de las fallas activas. De esta manera, el análisis de amenaza se enriquece con los datos geológicos.

Árbol lógico de fuentes sísmicas

El modelo de fuentes sísmicas se resume en un árbol lógico (tabla 37). Dicho árbol contiene las diferentes alternativas de modelación de las fuentes, así como sus pesos correspondientes. Tales pesos representan el grado de creencia que los autores conceden a cada alternativa.

Tabla 37. Resumen del árbol lógico de fuentes sísmicas

Tipo de fuente/modelo	Modelo (b1.) Peso: 40 %	Modelo (b2.) Peso: 60 %
Fuentes corticales	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes tipo falla (fallas activas). Modelo de sismicidad suavizada 	<ul style="list-style-type: none"> Fuentes tipo área. Modelo de sismicidad equiprobable
Fuentes interplaca del proceso de subducción del Pacífico	<ul style="list-style-type: none"> Profundidad de fuentes: 50 km; modelo no segmentado 	<ul style="list-style-type: none"> Profundidad de fuentes: 40 km; modelo segmentado
Zona de Benioff (proceso de subducción del Pacífico)	Profundidad de fuentes: 50 km	Profundidad de fuentes: 40 km
Nido sísmico de Bucaramanga	Igual en los dos modelos	

8.3 Ecuaciones de atenuación

Las ecuaciones de atenuación son un componente importante en la modelación de la amenaza sísmica, ya que permiten estimar los valores de las intensidades del movimiento que se esperan en el territorio en caso de ocurrencia de sismos. Por lo tanto, es relevante utilizar ecuaciones con las cuales se obtenga un buen ajuste respecto a las intensidades del movimiento observadas en sismos ocurridos en el país.

Con este fin, en cada ambiente tectónico se llevó a cabo una preselección de ecuaciones disponibles en la bibliografía. Sobre esta preselección se llevaron a cabo procedimientos de evaluación para identificar, de manera cuantitativa, el ajuste entre las ecuaciones de atenuación y las aceleraciones espectrales registradas en la base de datos de movimiento fuerte.

Los procedimientos de evaluación adoptados fueron los siguientes: análisis de residuales (Stafford *et al.*, 2008), modelo de verosimilitud (LH) (Scherbaum *et al.*, 2004), modelo del logaritmo de verosi-

mitud normalizado (LLH) (Scherbaum *et al.*, 2009) y ranking basado en la distancia euclidiana (Kale y Akkar, 2013).

A partir de los métodos de evaluación mencionados se identificaron las tres ecuaciones de mejor ajuste. Utilizando el parámetro LLH se determinaron los pesos correspondientes de cada una (tabla 38). Por simplicidad, se utilizó un peso promedio en todas las ordenadas espectrales.

Dado que el proceso de selección de ecuaciones de atenuación se llevó a cabo utilizando metodologías reconocidas en publicaciones científicas y que se utilizó la base de datos de movimiento fuerte elaborada para este estudio, se considera que el resultado es objetivo, verificable y reproducible, lo que garantiza la transparencia del análisis. De esta manera, las ecuaciones seleccionadas responden a los datos disponibles y a los procedimientos adoptados. También se resalta el uso de ecuaciones del estado del conocimiento (“de nueva generación”), en las que se incorporan efectos de sitio.

Tabla 38. Resumen del árbol lógico de ecuaciones de atenuación

Fuentes corticales (superficiales)		Subducción, interplaca	
Ecuación de atenuación	Peso	Ecuación de atenuación	Peso
Idriss2014 (Idriss, 2014)	0,399	AbrahamsonEtAl2015SInter (Abrahamson <i>et al.</i> , 2016)	0,437
CauzziEtAl2014 (Cauzzi <i>et al.</i> , 2014)	0,389	ZhaoEtAl2006SInterNSHMP2008 (Zhao <i>et al.</i> , 2006)	0,348
AbrahamsonEtAl2014 (Abrahamson <i>et al.</i> , 2014)	0,211	MontalvaEtAl2016SInter (Montalva <i>et al.</i> , 2017) modificada	0,215
Nido de Bucaramanga (intraplaca)		Benioff (intraplaca)	
ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014 (Zhao <i>et al.</i> , 2006)	0,443	MontalvaEtAl2016SSlab (Montalva <i>et al.</i> , 2017) modificada	0,424
AbrahamsonEtAl2015SSlab (Abrahamson <i>et al.</i> , 2016)	0,285	AbrahamsonEtAl2015SSlab (Abrahamson <i>et al.</i> , 2016)	0,365
MontalvaEtAl2016SSlab (Montalva <i>et al.</i> , 2017) modificada	0,272	ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014 (Zhao <i>et al.</i> , 2006)	0,21

8.4 Resultados

Siguiendo una metodología probabilista se obtuvieron curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme (para diferentes percentiles), así como mapas de amenaza sísmica considerando periodos de retorno de 475, 975 y 2.475 años. Tales resultados se generaron teniendo en cuenta una malla de puntos que

cubren el territorio nacional. Los resultados del análisis se encuentran disponibles en SGC (2018).

En términos generales, en los mapas de amenaza obtenidos se observan mayores aceleraciones espectrales en el Pacífico colombiano, en el eje cafetero, el borde llanero y en los departamentos de Arauca, Norte de Santander y Santander. Tales zonas corresponden

a los sectores de los que se tienen registros históricos de eventos destructivos, tales como el de Tumaco de 1906 (magnitud 8,8 Mw), el del Eje Cafetero, en 1999 (magnitud 6,1 Mw) y el de Cúcuta y Villa del Rosario, en 1875 (magnitud 6,8 Mw).

Las zonas con las menores aceleraciones espectrales estimadas se encuentran en la Amazonia y en parte de la Orinoquia, en los departamentos de Amazonas, Vaupés, Vichada, Guainía, Guaviare y Caquetá. De estas regiones no se tienen registros de eventos que hayan afectado a la población o la infraestructura.

Los resultados del modelo de amenaza sísmica están determinados por la geometría, localización y parámetros de actividad de las fuentes sísmicas. Dado que tales parámetros dependen del catálogo depurado de sismos, los mapas de amenaza son consistentes con la distribución geográfica de la sismicidad. Esta conclusión, a pesar de que pueda resultar obvia, resalta la importancia del trabajo realizado en la construcción del CSI y en la caracterización de las fuentes sísmicas.

8.5 Recomendaciones

A partir de la colaboración del SGC y de la Fundación GEM se desarrolló un modelo y se realizaron cálculos de la amenaza sísmica en el territorio nacional. Dado el alcance geográfico y las limitaciones de conocimiento, se recomienda que el modelo y los resultados se utilicen como valores de referencia (a nivel de factibilidad) para actividades relacionadas con la gestión del riesgo sísmico a escala nacional y regional. No se recomienda hacer uso de esta información para el diseño de proyectos de infraestructura específica, ya que los resultados del presente estudio no corresponden a coeficientes sísmicos de diseño aplicables a cualquier edificio o infraestructura.

Considerando las limitaciones del conocimiento, así como las metodologías y supuestos adoptados, se reconoce que pueden existir diferentes casos de aná-

lisis y modelos de amenaza, que pueden conducir a diferentes resultados. El presente estudio ofrece una alternativa de modelación soportada en bases de datos de diferente naturaleza, que fueron procesados con herramientas y metodologías novedosas. Así, cada usuario está en potestad de elegir tanto el modelo como los resultados de amenaza que a su juicio sean de mayor pertinencia para sus fines.

El modelo y los resultados se encuentran disponibles en el sitio de consulta difundido por el SGC (SGC, 2018), de tal manera que cualquier actor interesado puede utilizarlos. Sobre su uso, el personal técnico del SGC está disponible para atender inquietudes, así como para recibir sugerencias y recomendaciones que sirvan para complementar, actualizar y mejorar los resultados.

Sobre los insumos y procedimientos de modelación de la amenaza sísmica, se resalta la importancia del trabajo realizado en colaboración por el SGC y la GEM para desarrollar bases de datos de diferente índole que sirvieron de soporte a la modelación. En este sentido, se recomienda continuar promoviendo, desde un enfoque multidisciplinario, crítico y de datos abiertos, la compilación, depuración, procesamiento y análisis de datos de catálogos sísmicos, fallas activas, registros acelerográficos e información geológica y tectónica, entre otras fuentes de información, a partir de las cuales se puedan tomar decisiones relativas a la modelación de la amenaza sísmica.

En este sentido, el SGC invita a los centros de investigación, académicos y expertos en la modelación de la amenaza sísmica a contribuir, desde diferentes disciplinas, al conocimiento de la amenaza sísmica que enfrenta el país. De esta manera se busca que, en un ambiente técnico de colaboración y coordinación, que el país cuente con el mejor conocimiento posible de este tipo de amenaza, teniendo en cuenta que el fin último de esta información es la seguridad de la población, de las construcciones y de la infraestructura.

Referencias

- Abrahamson, N. y Silva, W. (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations. *Earthquake Spectra*, 24 (1), 67-97. <http://dx.doi.org/10.1193/1.2924360>.
- Abrahamson, N., Silva, W. J. y Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1025-1055. <http://dx.doi.org/10.1193/070913EQS198M>.
- Abrahamson, N., Gregor, N. y Addo, K. (2016). BC hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32 (1), 23-44. <http://dx.doi.org/10.1193/051712EQS-188MR>.
- AIS, Uniandes e Ingeominas. (1996). *Estudio general de amenaza sísmica de Colombia*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Comité AIS-300.
- AIS. (2009). *Estudio general de amenaza sísmica de Colombia (2009)*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Comité AIS-300.
- Aki, K. y Richards, P. G. (1980). *Quantitative seismology*. Vols. I y II. San Francisco: Freeman.
- Akkar, S. y Bommer, J. (2006). Influence of long-period filter cut-off on elastic spectral displacements. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35 (9), 1145-1165. <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.577>.
- Akkar, S. y Cagnan, Z. (2010). A local ground motion predictive model for Turkey, and its comparison with other regional and global ground motion models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 10 (6), 2978-2995. <http://dx.doi.org/10.1785/0120090367>.
- Akkar, S., Sandikkaya, M. y Bommer, J. (2014). Empirical ground-motion models for point and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 359-387. <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>.
- Al Atik, L. y Youngs, R. R. (2014). Epistemic uncertainty for NGA-West2 models. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1301-1318. <https://doi.org/10.1193/062813EQS173M>.
- Albini, P., Musson, R., Gómez Capera, A., Locati, M., Rovida, A., Stucchi, M. y Vigano, D. (2013). *Global historical earthquake archive and catalogue (1000-1903)*. GEM Technical Report 2013-01 V1.0.0. Pavia, Italia: G. Foundation, Ed. <http://dx.doi.org/10.13117/GEM.GEGD.TR2013.01>.
- Alvarenga, E., Barquero, R., Boschini, I., Escobar, J. y Fernández, M. (1998). Central American Seismic Center (CASC). *Seismological Research Letters*, 69 (5), 394-399. <https://doi.org/10.1785/gssrl.69.5.394>.
- Ancheta, T. D., Darragh, R. B., Stewart, J. P., Seyhan, E., Silva, W. J., Chiou, B. S. y Donahue, J. L. (2013). "PEER NGA-West2 Database". USA.
- Anderson, J. G. y Luco, J. E. (1983). Consequences of slip rate constraints on earthquake recurrence relations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73 (2), 471-496.
- Ansari, A., Firuzi, E. y Etemadsaeed, L. (2015). Delineation of seismic sources in probabilistic seismic-hazard analysis using fuzzy cluster analysis and monte Carlo Simulation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105 (4), 2174-2191. <https://doi.org/10.1785/0120140256>.
- Arcila M. y Dimaté, C. (2005). *Caracterización de fuentes sísmicas: estudio de microzonificación sísmica de Santiago de Cali*. Informe n.º 1-6. Bogotá: Ingeominas y Dagma.
- Arcila, M., García Mayordomo, J. y López, M. C. (2017, septiembre). Modelo de zonas sismogénicas para la evaluación de la amenaza sísmica de Colombia. Ponencia presentada en el XVI Congreso Colombiano de Geología. Santa Marta, Colombia, 1540-1543.
- Audemard, F., Machette, M., Cox, J., Dart, R. y Haller, K. (2000). Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. *USGS Open File Report 00-018*, 78.
- Beauval, C., Yepes, H., Palacios, P., Segovia, M., Alvarado, A., Font y Vaca, S. (2013). An earthquake catalog for seismic hazard assessment

- in Ecuador. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103 (2A), 773-786. <https://doi.org/10.1785/0120120270>.
- Benito, M. B., Lindholm, C., Camacho, E., Climent, A., Marroquín, G., Molina, E. W., Rojas, W., Escobar, J. J., Talavera, E., Alvarado, G. E. y Torres, Y. (2012). A new evaluation of seismic hazard for the Central America region. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102 (2), 504-523. <http://dx.doi.org/10.1785/0120110015>.
- Bernal, G. (2014), *Metodología para la modelación, cálculo y calibración de parámetros de la amenaza sísmica para la evaluación probabilista del riesgo* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Bindi, D., Massa, M., Luzi, L., Ameri, G., Pacor, F., Puglia, R. y Augliera, P. (2014). Pan-European ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods up to 3.0 s using the Resorce dataset. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 391-430. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9525-5>.
- Bondár, I. y Storchak, D. (2011). Improved location procedures at the International Seismological Centre. *Geophysical Journal International*, 186 (3), 1220-1244. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05107.x>.
- Boore, D. M. y Atkinson, G. M. (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, 24 (1), 99-138. <http://dx.doi.org/10.1193/1.2830434>.
- Boore, D. M. (2010). Orientation-independent, nongeometric-mean measures of seismic intensity from two horizontal components of motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100 (4), 1830-1835. <http://dx.doi.org/10.1785/0120090400>.
- Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E. y Atkinson, G. M. (2014). NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1057-1085. <http://dx.doi.org/10.1193/070113EQS184M>.
- Bormann, P., Liu, R., Xu, Z., Zhang, L. y Wendt, S. (2009). First application of the new Iaspei teleseismic magnitude standards to data of the China National Seismographic Network. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99 (3), 1869-1891. <https://doi.org/10.1785/0120080010>.
- Budnitz, R. J., Apostalakis, G., Boore, D. M., Cluff, L. S., Coppersmith, K. J., Cornell C. A. y Morris, P. A. (1997). Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: Guidance on uncertainty and use of experts. Senior Seismic Hazard Analysis Committee (SSHAC). U. S. Nuclear Regulatory Commission U. S. Department of Energy Electric Power Research Institute. NUREG/CR-6372 UCRL-ID-122160. Vol. 1.
- Campbell, K. W. (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*, 68 (1), 154-179. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.154>.
- Campbell, K. y Borzognia, Y. (2007). NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters. PEER Report No. 2007/02, 238. Berkeley, California, USA: Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- Campbell, K. W. y Borzognia, Y. (2014). NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1087-1115. <http://dx.doi.org/10.1193/062913EQS175M>.
- Cauzzi, C., Faccioli, E., Vanini, M. y Bianchini, A. (2014). Updated predictive equations for broadband (0.01-10 s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. *Bulletin of Earth-*

- quake Engineering*, 13, 1587-1612. <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-014-9685-y>.
- Cepal. (1999). El terremoto de enero de 1999 en Colombia: impacto socioeconómico del desastre en la zona del eje cafetero. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, sede subregional en México. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia.
- Chen, Y.-S., Weatherill, G., Pagani, M. y Cotton, F. (2018). A transparent and data-driven global tectonic regionalization model for seismic hazard assessment. *Geophysical Journal International*, 213 (2), 1263-1280. <http://dx.doi.org/10.1093/gji/ggy005>.
- Chiarabba, C., De Gori, P., Faccenna, C., Speranza, F., Seccia, D., Dionicio, V. y Prieto, G. A. (2016). Subduction system and flat slab beneath the Eastern Cordillera of Colombia. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17 (1), 16-27. <http://dx.doi.org/10.1002/2015GC006048>.
- Chiou, B. S.-J. y Youngs, R. (2008). An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 24 (1), 173-215. <https://doi.org/10.1193/1.2894832>
- Chiou, B. S.-J. y Youngs, R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1117-1153. <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M>.
- Condori Quispe, C. y Pérez, J. L. (2015). Análisis de la variación espacio-temporal del valor de b en el Valle del Cauca, suroccidente de Colombia. *GEOS*, 35 (2), 1-16.
- Cornell, A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58 (5), 1583-1606.
- Costa, C., Audemard, F., Bezerra, H., Lavenu, A., Machette, M. y Paris, G. (2006). An overview of the main Quaternary deformation of South America. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 61 (4), 461-479.
- Cotton, F., Scherbaum, F., Bommer, J. J. y Bungum, H. (2006). Criteria for selecting and adjusting ground-motion models for specific target regions: Application to Central Europe and rock sites. *Journal of Seismology*, 10, 137-156. <http://dx.doi.org/10.1007/s10950-005-9006-7>.
- CSN. (s/f). Sismicidad y terremotos en Chile. Centro Sismológico Nacional. Universidad de Chile. Disponible en http://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2014/06/001_terremotos_y_sismicidad_chile.pdf
- Di Giacomo, D., Bondár, I., Storchak, D., Engdahl, R., Bormann, P. y Harris, J. (2014). ISC-GEM: Global Instrumental Earthquake Catalogue (1900-2009), III. Re-computed Ms and mb, proxy Mw, final composition and completeness assessment. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 239, 33-47. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2014.06.005>.
- Dobry, R., Borchedt, R. D., Crouse, C. B., Idriss, I. M., Joyner, W. B., Martin, G. R. y Seed, R. B. (2000). New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions. *Earthquake Spectra*, 16 (1). <https://doi.org/10.1193/1.1586082>.
- Donovan, N. C. (1973). Earthquake hazards for buildings in building practices for disaster mitigation. *National Bureau of Standards*, 46, 82-111.
- Douglas, J. (2018). *Ground motion prediction equations, 1965-2018*. Glasgow: University of Strathclyde.
- Dziewonski, A. M., Chou, T.-A. y Woodhouse, J. H. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 86 (B4), 2825-2852, <http://dx.doi.org/10.1029/JB086iB04p02825>.
- Egüez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M., Costa, C. y Dart, R. (2003). Database and map of quaternary faults and folds in Ecuador and its offshore region. *United States Geological Survey Open-File Report*, 2003-289. <https://doi.org/10.3133/ofr03289>.

- Ekström, G., Nettles, M. y Dziewonski, A. M. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200-201, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002>.
- Engdahl, E., Van der Hilst, R. y Buland, R. (1998). Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88 (3), 722-743.
- Engdahl, E. y Villaseñor, A. (2002). Global Seismicity: 1900-1999. En W. Lee, H. Kanamori, P. Jennings y C. Kisslinger, *International handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, A(41), 665-690.
- Eraso, J. y Montejo, J. (2019) "Cálculo del promedio de velocidad de onda de corte a 30 metros de profundidad (V_{s30}) en Colombia como una aproximación a la estimación de los efectos sísmicos de sitio a escala nacional" Servicio Geológico Colombiano (SGC). 27 páginas.
- Estrada Uribe, G. y Ramírez, J. (1977). *Mapa de riesgo sísmico*. Instituto Geofísico. A. M. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Faccioli, E. y Cauzzi, C. (2008). Broadband (0.05 to 20 s) prediction of displacement response spectra based on worldwide digital records. *Journal of Seismology*, 12, 453-475. <http://dx.doi.org/10.1007/s10950-008-9098-y>.
- Faccioli, E., Bianchini, A. y Villani, M. (2010). New ground motion prediction equations for $T > 1$ s and their influence on seismic hazard assessment. *Proceedings of the University of Tokyo Symposium on Long-Period Ground Motion and Urban Disaster Mitigation*. Tokyo, Japan.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodríguez, E., Roth, L. y Seal, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45 (2), <http://dx.doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- Field, E. H., Jordan, T. H. y Cornell, C. A. (2003). OpenSHA: A developing community modeling environment for seismic hazard analysis. *Seismological Research Letters*, 74 (4), 406-419. <https://doi.org/10.1785/gssrl.74.4.406>.
- Frankel, A. (1995). Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States. *Seismological Research Letters*, 66 (4), 8-21. <https://doi.org/10.1785/gssrl.66.4.8>.
- Gallego, M. (2000). *Estimación del riesgo sísmico en la República de Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, D., Singh, S. K., Herraiz, M., Ordaz, M. y Pacheco, J. F. (2005). Inslab earthquakes of Central Mexico: Peak groundmotion parameters and response spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95 (6), 2272-2282. <https://doi.org/10.1785/0120050072>.
- García, D., Wald, D. J. y Hearne, M. G. (2012). A global earthquake discrimination scheme to optimize ground-motion prediction equation selection. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102 (1), 185-203. <http://dx.doi.org/10.1785/0120110124>.
- García, J., Weatherill, G., Pagani, M., Rodríguez, L., Poggi, V. y SARA Hazard Working Group (2017, enero). *Building an open seismic hazard model for South America: The SARA-PSHA model*. Ponencia presentada en la 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017, Santiago, Chile.
- García, L. E., Sarria, A., Espinosa, S. A., Bernal, C. E. y Puccini, M. (1984). Estudio general del riesgo sísmico de Colombia. *Boletín Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica*, 28.
- García Mayordomo, J. (2015). *Creación de un modelo de zonas sismogénicas para el cálculo del mapa de peligrosidad sísmica de España*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Gardner, J. K. y Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64 (5), 1363-1367.
- GCMT. (2017). Global CMT web page. Disponible en <http://www.globalcmt.org/>

- GEM. (2018). *The OpenQuake-engine user manual. Global Earthquake Model (GEM) OpenQuake Manual for Engine version 3.2.0*. <http://dx.doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.3.2.0>.
- GEM. (s/f). Global Earthquake Model Repositories. oq-engine. Disponible en <https://github.com/gem/oq-engine/tree/master/openquake/hazard-lib/gsim>
- Getsinger, J. S. y Hickson, C. J. (2000). Multinational Andean Project (MAP): Geological co-operation across borders. *Geoscience Canada*, 27 (3). Disponible en <https://journals.lib.unb.ca/index.php/GC/article/view/4049>
- Ghofrani, H. y Atkinson, G. M. (2014). Ground-motion prediction equations for interface earthquakes of M7 to M9 based on empirical data from Japan. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 549-571. <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-013-9533-5>.
- Gutenberg, B. y Richter, C. F. (1954). *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*. Princeton: Princeton University Press.
- Hainzl, S., Scherbaum, F. y Beauval, C. (2006). Estimating background activity based on interevent-time distribution. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96 (1), 313-320, <http://dx.doi.org/10.1785/0120050053>.
- Hayes, G. P., Wald, D. J. y Johnson, R. L. (2012). Slab1.0 A three-dimensional model of global subduction zone geometries. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117 (B1). <https://doi.org/10.1029/2011JB008524>
- Hayes, G. P., Moore, G. L., Portner, D. E., Hearne, M., Flamme, H., Furtney, M. y Smoczyk, G. M. (2018). Slab2, A comprehensive subduction zone geometry model. *Science*, 362 (6410), 58-61. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aat4723>.
- Heuret, A., Lallemand, S., Funicello, F., Piromallo, C. y Faccenna, C. (2011). Physical characteristics of subduction interface type seismogenic zones revisited. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12 (1), 1-26, <http://dx.doi.org/10.1029/2010GC003230>.
- Heuret, A., Losq, J. y Lallemand, S. (2015). SubMAP (Subduction database). Disponible en <http://submap.gm.univ-montp2.fr/>
- Hutton, K., Woessner, J. y Hauksson, E. (2010). Earthquake monitoring in southern California for seventy-seven years (1932-2008). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100 (2), 423-446. <http://dx.doi.org/10.1785/0120090130>.
- Idriss, I. (2014). An NGA-West2 empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30 (3), 1155-1177. <http://dx.doi.org/10.1193/072813EQS219M>.
- IGEPN. (s/f). Descarga de datos. Disponible en <https://www.igepn.edu.ec/solicitud-de-datos/formulario-descarga-de-datos>.
- IGEPN. (2016). Observaciones del sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud Mw 7.8: intensidades y aceleraciones. Quito, Ecuador.
- IGEPN. (2018). Reporte de las réplicas del 18 de mayo de 2016. Aceleraciones. Quito, Ecuador.
- Ineter. (2016). Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Disponible en <http://www.ineter.gob.ni/>
- Ingeominas y Universidad Nacional de Colombia. (2010). Mapa nacional de amenaza sísmica. Periodo de retorno: 475 años. Disponible en <https://miig.sgc.gov.co/Paginas/Resultados.aspx?k=BusquedaPredefinida=DGAMapNacAmenSismic1500K>
- ISC. (s/fa). ISC-GEM Catalogue/download and legal. Disponible en <http://www.isc.ac.uk/iscgem/download.php>
- ISC. (s/fb). Reviewed ISC Bulletin. Disponible en <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/review/>.
- ISC. (s/fc). Bulletin of the International Seismological Centre. Disponible en <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
- ISC. (2012). International Seismological Centre, EHB Bulletin. Disponible en <http://www.isc.ac.uk/ehbulletin/> (consultado el 4 de diciembre de 2015).

- ISC. (2015). International Seismological Centre (ISC), Annual 2015 Director's Report. Report, International Seismological Centre.
- Kaklamanos, J., Baise, L. G. y Boore, D. M. (2011). Estimating unknown input parameters when implementing the NGA ground-motion prediction equations in engineering practice. *Earthquake Spectra*, 27 (4), 1219-1235.
- Kale, O. y Akkar, S. (2013). A new procedure for selecting and ranking ground-motion prediction equations (GMPEs): The euclidean distance-based ranking (EDR) method. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103 (2A), 1069-1084. <http://dx.doi.org/10.1785/0120120134>.
- Kanno, T., Narita, A., Morikawa, N., Fujiwara, H. y Fukushima, Y. (2006). A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96 (3), 879-897. <http://dx.doi.org/10.1785/0120050138>.
- Kaverina, A., Lander, A. y Prozorov, A. (1996). Global creepex distribution and its relation to earthquake-source geometry and tectonic origin. *Geophysical Journal International*, 125 (1), 249-265. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06549.x>.
- Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C. J., Koper, K. D., Huttko, A. R., Ye, L., Yue, H. y Rushing, T. M. (2012). Depth-varying rupture properties of subduction zone megathrust faults. *Journal of Geophysical Research*, 117 (B4). <http://dx.doi.org/10.1029/2011JB009133>.
- Laske, G., Masters, G., Ma, Z. y Pasyanos, M. (2013). Update on CRUST1.0 - A 1-degree global model of Earth's crust. *Geophysical Research Abstracts*, 15, EGU 2013-2658.
- Leonard, M. (2010). Earthquake fault scaling: Relating rupture length, width, average displacement, and moment release. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100 (5A), 1971-1988. <https://doi.org/10.1785/0120090189>.
- Leonard, M. (2014). Self-consistent earthquake fault-scaling relations: Update and extension to stable continental strike-slip faults. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104 (6), 2953-2965. <http://dx.doi.org/10.1785/0120140087>.
- Lin, P.-S. y Lee, C.-T. (2008). Ground-motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in Northeastern Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98 (1), 220-240. <http://dx.doi.org/10.1785/0120060002>.
- MAVDT. (2010). Ley 400 de 1997 (modificada por la Ley 1229 de 2008 y el Decreto 19 de 2012), Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, por medio del cual se adopta el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá: Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio.
- 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, Oakland, CA.
- MinTransporte. (2015). Resolución n.º 108 de 2015, por medio de la cual se adopta la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14. Bogotá: Ministerio de Transporte.
- Monelli, D., Pagani, M., Weatherill, G., Danciu, L. y García, J. (2014). Modeling distributed seismicity for probabilistic seismic-hazard analysis: Implementation and insights with the Openquake Engine. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104 (4), 1636-1649. <http://dx.doi.org/10.1785/0120130309>.
- Monsalve, M. L., Correa Tamayo, A. M., Arcila, M. y Dixon, J. (2009). Firma adakítica en los productos recientes de los volcanes Nevado del Huila y Puracé, Colombia. *Boletín Geológico*, 43, 23-39. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/boletin-geo.43.2015.27>.
- Montalva, G. A., Bastías, N. y Rodríguez Marek, A. (2017). Ground motion prediction equation for the Chilean subduction zone. *Bulletin of the Seis-*

- mological Society of America*, 107 (2), 901-911. <http://dx.doi.org/10.1785/0120160221>.
- Montes, N. E. y Sandoval, A. (2001). Base de datos de fallas activas de Colombia. Proyecto compilación y levantamiento de la información geodinámica (Proyecto RG502), Glosario: 9-26.
- Musson, R. M. W. (1999). Probabilistic seismic hazard maps for the North Balkan Region. *Annali di Geofisica*, 42 (6), 1109-1124. <https://doi.org/10.4401/ag-3772>.
- NCEDC. (2013). Northern California Earthquake Data Center. Disponible en <http://quake.geo.berkeley.edu/anss/anss-detail.html#doc>
- Ojeda, A. y Martínez, S. A. (1997). *Modelo para la atenuación de la energía sísmica en Colombia a partir de los sismos registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos*. XII Jornadas Estructurales de la Ingeniería de Colombia.
- Ordaz, M. (2009). Segundo informe sobre los modelos Ingeominas y AIS de amenaza sísmica de Colombia. Presentación.
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., Henshaw, P., Butler, L., Nastasi, M., Panzeri, L., Simionato, M. y Vigano, D. (2014a). OpenQuake Engine: An open hazard (and risk) software for the global earthquake model. *Seismological Research Letters*, 85 (3), 692-702. <http://dx.doi.org/10.1785/0220130087>.
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G. A. y García, J. (2014b). *The OpenQuake-Engine Book: Hazard global earthquake model (GEM) technical report 2014-2018*, <http://dx.doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.TR2014.08>.
- Pagani, M., García, J., Monelli, D., Weatherill, G. y Smolka, A. (2015). A summary of hazard datasets and guidelines supported by the global earthquake model during the first implementation phase. *Annals of Geophysics*, 58 (1) S0108. <http://dx.doi.org/10.4401/ag-6677>.
- Pagani, M., García, J., Poggi, V. y Weatherill, G. (2016). Probabilistic seismic hazard analysis: Issues and challenges from the gem perspective. Ponencia presentada en el 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion. Taipei, China.
- Paris, G., Machette, M., Dart, R. y Haller, K. (2000). Map and database of quaternary faults and folds in Colombia and its offshore regions. United States. *Geological Survey Open-File Report*, 00-(284), 66.
- Pasyanos, M. E., Masters, T. G., Laske, G. y Ma, Z. (2014). LITHO1.0: An updated crust and lithospheric model of the Earth. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119 (3), 2153-2173. <http://dx.doi.org/10.1002/2013jb010626>.
- PEER. (2013). GEM-PEER Task 3 Project: Selection of a global set of ground motion prediction equations.
- Pedraza García, P., Vargas, C. A. y Monsalve, H. (2007). Geometric model of the Nazca plate subduction in Southwest Colombia. *Earth Sciences Research Journal*, 11 (2), 117-130.
- Pennington, W. D. (1983). Role of shallow phase changes in the subduction of oceanic crust. *Science*, 220 (4601), 1045-1047. <http://dx.doi.org/10.1126/science.220.4601.1045>
- Petersen, M., Harmsen, S., Haller, K., Mueller, C., Luco, N., Hayes, G. y Rukstales, K. (2010). Preliminary seismic hazard model for South America. In *Proceedings of Conferencia Internacional. Homenaje a Alberto Giesecke Matto*.
- Poveda, E., Julia, J., Schimmel, M. y Pérez García, N. (2018). Upper and middle crustal velocity structure of the Colombian Andes from ambient noise tomography: Investigating subduction-related magmatism in the overriding plate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123 (2), 1459-1485. <http://dx.doi.org/10.1002/2017JB014688>.
- Prieto, G. A., Beroza, G. C., Barrett, S. A., López, G. A. y Flórez, M. (2012). Earthquake nests as natural laboratories for the study of intermediate-depth earthquake mechanics. *Tectonophysics*, 570-571, 42-56. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.07.019>.

- Proyecto Multinacional Andino. (2008). Geociencia para las comunidades andinas atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes. Servicio Nacional de Geología y Minería, *Publicación Geológica Multinacional*, 7. 1 mapa en CD-ROM.
- Ramírez, J. E. y Forero Durán, L. F. (1957). Mapa sísmico y tectónico de Colombia. Instituto Geofísico de los Andes Colombianos.
- Reasenbergh, P. (1985). Second-order moment of central California seismicity, 1969-1982, *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 90 (B7), 5479-5495.
- Reiter, L. (1991). *Earthquake hazard analysis*. New York: Columbia University Press.
- Salgado, M. A., Bernal, G. A. Yamín, L. E. y Cardona, O. D. (2010). Evaluación de la amenaza sísmica de Colombia: actualización y uso en las nuevas normas colombianas de diseño sismo resistente NSR-10. *Revista de Ingeniería*, 32, 28-37.
- Salgado Gálvez, M. A., Bernal, G. A. y Cardona, O. D. (2016). Evaluación probabilista de la amenaza sísmica de Colombia con fines de actualización de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP-14. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 32 (4), 230-239. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2015.07.001>.
- Sarria, A. (1995). *Ingeniería sísmica*. (2.^a ed.). Bogotá: Ediciones Uniandes.
- Scherbaum, F., Cotton, F. y Smit, P. (2004). On the use of response spectral-reference data for the selection and ranking of ground-motion models for seismic-hazard analysis in regions of moderate seismicity: The Case of rock motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (6), 2164-2185. <http://dx.doi.org/10.1785/0120030147>.
- Scherbaum, F., Delavaud, E. y Riggelsen, C. (2009). Model selection in seismic hazard analysis: an information-theoretic perspective. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99 (6), 3234-3247. <http://dx.doi.org/10.1785/0120080347>.
- Schneider, J. F., Pennington, W. D. y Meyer, R. P. (1987). Microseismicity and focal mechanisms of the intermediate-depth Bucaramanga Nest, Colombia. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 92 (B13), 13913-13926. <https://doi.org/10.1029/JB092iB13p13913>.
- Scordillis, E. (2006). Empirical global relations converting Ms and mb to moment magnitude. *Journal of Seismology*, 10, 225-236. <https://doi.org/10.1007/s10950-006-9012-4>.
- Sepúlveda Jaimés, F.J. y Cabrera Zambrano, F. H. (2018). Tomografía sísmica 3D del nido sísmico de Bucaramanga (Colombia). *Boletín de Geología*, 40 (2), 15-33. <http://dx.doi.org/10.18273/revbol.v40n2-2018001>.
- SGC. (2015). *Mapa de intensidades máximas observadas para Colombia*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2018). Consulta de la amenaza sísmica de Colombia. Disponible en <https://amenazasismica.sgc.gov.co/>
- SGC. (s/f). Sismicidad histórica de Colombia. Consultado en <http://sish.sgc.gov.co/visor/>
- SGC. (s/f). Consulta Catálogo Sísmico. Disponible en <https://www2.sgc.gov.co/sgc/sismos/Paginas/catalogo-sismico.aspx>
- Singh, S. K., Reinoso, E., Arroyo, D., Ordaz, M., Cruz Atienza, V., Pérez Campos, X., Iglesias, A. y Hjörleifsdóttir, V. (2018). Deadly intraslab Mexico earthquake of 19 September 2017 (Mw 7.1): Ground motion and damage pattern in Mexico City. *Seismological Research Letters*, 89 (6), 2193-2203. <https://doi.org/10.1785/0220180159>.
- Stafford, P. J., Strasser, F. O. y Bommer, J. J. (2008). An evaluation of the applicability of the NGA models to ground-motion prediction in the Euro-Mediterranean region. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6, 149-177. <http://dx.doi.org/10.1007/s10518-007-9053-2>.
- Stepp, J. (1972). Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effect on statistical estimates of earthquake hazard. *Proceedings of the International Conference on Microzonation*, 2, 897-910.

- Storchak, D., Di Giacomo, I., Bondár, I., Engdahl, R., Harris, J., Lee, W. y Bormann, P. (2013). Public release of the ISC-GEM global instrumental earthquake catalogue (1900-2009). *Seismological Research Letters*, 84 (5), 810-815. <https://doi.org/10.1785/0220130034>.
- Strasser, F., Arango, M. y Bommer, J. (2010). Scaling of the source dimensions of interface and intraslab subduction-zone earthquakes with moment magnitude. *Seismological Research Letters*, 81 (6), 941-950. <http://dx.doi.org/10.1785/gssrl.81.6.941>.
- Taboada, A., Dimaté, C. y Fuenzalida, A. (1998). Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción. *Física de la Tierra*, 10, 111-147.
- Taboada, A., Rivera, L.A., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H. y Olaya, J. (2000). Geodynamics of Northern Andes: Subduction and intra-continental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19 (5), 787-813. <https://doi.org/10.1029/2000TC900004>.
- Thingbaijam, K. K. S. y Mai, P. (2016). Evidence for truncated exponential probability distribution of earthquake slip. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106 (4), 1802-1816. <http://dx.doi.org/10.1785/0120150291>.
- Thompson, E. M. y Wald, D. J. (2012, septiembre). *Developing Vs30 site-condition maps combining observations with geologic and topographic constraints*. Ponencia presentada en el 15 World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Lisboa, Portugal.
- Thompson, E. M., Wald, D. J. y Worden, C. B. (2014). A Vs30 map for California with geologic and topographic constraints. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104 (5), 2313-2321. <http://dx.doi.org/10.1785/0120130312>.
- Trifonov, V. G. y Machette, N. M. (1993). The world map of major active faults project. *Annali di Geofisica*, 36 (3-4), 225-236.
- Uhrhammer, R. (1986). Characteristics of Northern and Central California seismicity, *Earthquake Notes*, 57 (1), 21.
- USGS. (s/fa). Centennial Earthquake Catalog. Disponible en <https://earthquake.usgs.gov/data/centennial/>
- USGS. (s/fb). Search Earthquake Catalog. Disponible en <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- USGS. (2014). USGS, About ANSS comprehensive catalog and important caveats. Disponible en http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/doc_aboutdata.php#reference
- Van der Meijde, M., Julià, J. y Assumpção, M. (2013). Gravity derived Moho for South America. *Tectonophysics*, 609, 456-467. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2013.03.023>.
- Van der Hilst, R. y Mann, P. (1994). Tectonic implication of tomographic images of subducted lithosphere beneath northwestern South America. *Geology*, 22 (5), 451-454. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1994\)022<0451:TIO-TIO>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1994)022<0451:TIO-TIO>2.3.CO;2).
- Van Stiphout, T., Zhuang, J. y Marsan, D. (2012). Theme V-Models and techniques for analysing seismicity. Technical report. Community online resource for statistical seismicity analysis. Disponible en <http://www.corssa.org>
- Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H. y Kanamori, H. (1999). Relationships between peak ground acceleration, Peak ground velocity and modified mercalli intensity in California. *Earthquake Spectra*, 15 (3), 557-564. <https://doi.org/10.1193/1.1586058>.
- Wald, D. J. y Allen, T. I. (2009). On the use of high-resolution topographic data as a proxy for seismic site conditions (VS30). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99 (2A), 935-943. <http://dx.doi.org/10.1785/0120080255>.
- Wald, D. J., McWhirter, L., Thompson, E. y Hering, A. S. (2011). A new strategy for developing Vs30 maps. 4 IASPEI-IAEE International Symposium.

- Weatherall, P., Marks, K. M., Jakobsson, M., Schmitt, T., Tani, S., Arndt, J. E., Rovere, M., Chayes, D., Ferrini, V. y Wigley, R. (2015). A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and Space Science*, 2 (8), 331-345. <http://dx.doi.org/10.1002/2015EA000107>.
- Weatherill, G. (2014). *OpenQuake hazard modeller's toolkit: User guide*. Technical Report, GEM Foundation.
- Weichert, D. H. (1980). Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 70 (4), 1337-1346.
- Woessner, J. y Wiemer, S. (2005). Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95 (2), 684-698. <https://doi.org/10.1785/0120040007>.
- Woo, G. (1996). Kernel estimation methods for seismic hazard area source modeling. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86 (2), 353-362.
- Youngs, R. R. y Abrahamson, N. A. (1992). A stable algorithm for regression analyses using the random effects model. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82 (1), 505-510.
- Youngs, R., Chiou, S., Silva, W. y Humphrey, J. (1997). Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68 (1), 58-73. <http://dx.doi.org/10.1785/gssrl.68.1.58>.
- Youngs, R. R. y Coppersmith, K. J. (1985). Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75 (4), 939-964.
- Zarifi, Z., Havskov, J. y Hanyga, A. (2007). An insight into the Bucaramanga nest. *Tectonophysics*, 443 (1-2), 93-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2007.06.004>.
- Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Toshimasa, T. y Fukushima, Y. (2006). Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96 (3), 898-913. <http://dx.doi.org/10.1785/0120050122>.
- Zhao, J. X., Zhou, S. L., Gao, P. J., Long, T., Zhang, Y. B., Thio, H. K., Lu, M. y Rhoades, D. A. (2015). An earthquake classification scheme adapted for Japan determined by the goodness-of-fit for ground-motion prediction equations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105 (5), 2750-2763. <https://doi.org/10.1785/0120150013>.
- Zhao, J. X., Zhou, S., Zhou, J., Zhao, C., Zhang, H., Zhang, Y. e Irikura, K. (2016a). Ground-motion prediction equations for shallow crustal and upper mantle earthquakes in Japan using site class and simple geometric attenuation functions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106 (4), 1552-1569. <http://dx.doi.org/10.1785/0120150063>.
- Zhao, J. X., Liang, X., Jiang, F., Xing, H., Zhu, M., Hou, E. y Somerville, P. G. (2016b). Ground-motion prediction equations for subduction interface earthquakes in Japan using site class and simple geometric attenuation functions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106 (4), 1518-1534. <http://dx.doi.org/10.1785/0120150034>.
- Zhao, J., Jiang, F., Shi, P., Xing, H., Huang, H. y Hou, R. (2016c). Ground-motion prediction equations for subduction slab earthquakes in Japan using site class and simple geometric attenuation functions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106 (4), 1535-1551. <http://dx.doi.org/10.1785/0120150056>.
- Zhuang, J., Ogata, Y. y Vere Jones, D. (2002). Stochastic declustering of space-time earthquake occurrences. *Journal of the American Statistical Association*, 97 (458), 369-380. <https://doi.org/10.1198/016214502760046925>.

ANEXOS	
A	Catálogos sísmicos utilizados En este anexo se presenta una descripción general de los catálogos utilizados para la creación del Catálogo Sísmico Integrado.
B	Base de datos de movimiento fuerte En este anexo se presentan las principales características de los eventos sísmicos que componen la base de datos de movimiento fuerte, en términos de su localización, profundidad, mecanismo focal y tipo de falla.
C	Metodología adoptada para la corrección de línea base y filtrado de acelerogramas En este anexo se describe la metodología aplicada para procesar los registros acelerográficos de la base de datos de movimiento fuerte. Esta metodología se fundamenta en la propuesta por Ancheta <i>et al.</i> (2013), y corresponde a un proceso iterativo en que el registro se somete a una corrección de línea base y a un proceso de filtrado en el dominio de la frecuencia.
D	Distribuciones de magnitud-frecuencia en fuentes corticales tipo área En este anexo se presentan las distribuciones de magnitud-frecuencia obtenidas en las fuentes corticales tipo área
E	Distribuciones de magnitud-frecuencia en macrozonas del modelo de sismicidad suavizado En este anexo se presentan las distribuciones de magnitud-frecuencia obtenida en las macrozonas establecidas en el modelo de sismicidad distribuida.
F	Distribuciones de magnitud-frecuencia en fallas activas En este anexo se presentan las distribuciones de magnitud-frecuencia obtenidas en las fallas activas.
G	Distribuciones de magnitud-frecuencia en fuentes interplaca (subducción), Benioff y nido sísmico de Bucaramanga En este anexo se presentan las distribuciones de magnitud-frecuencia obtenidas en las fuentes interplaca, de la zona Benioff y del nido sísmico de Bucaramanga.
H	Metodologías utilizadas en la selección ecuaciones de atenuación En este anexo se presenta una descripción de las siguientes metodologías empleadas para la selección de ecuaciones de atenuación: <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de residuales (Stafford <i>et al.</i>, 2008) • Modelo de verosimilitud (LH) (Scherbaum <i>et al.</i>, 2004) • Modelo del logaritmo de verosimilitud normalizado (LLH) (Scherbaum <i>et al.</i>, 2009) • Ranking basado en la distancia euclidiana (Kale y Akkar, 2013)
I	Propiedades geométricas utilizadas en ecuaciones de atenuación En este anexo se presentan las propiedades geométricas requeridas para el cálculo de intensidades sísmicas usando las ecuaciones de atenuación consideradas en este estudio. Estas propiedades se presentan según ambientes tectónicos en cada uno de los registros de la base de datos de movimiento fuerte. Estas propiedades están definidas para localizar cada estación con respecto a cada evento registrado. Asimismo, en este anexo se presentan los valores de PGA obtenidos en cada registro procesado.
J	Resultados de la selección de ecuaciones de atenuación según ambiente tectónico En este anexo se presentan los valores del parámetro LLH obtenido en las ecuaciones de atenuación preseleccionadas. Este parámetro permite evaluar el ajuste de tales ecuaciones con las aceleraciones de los eventos de la base de datos de movimiento fuerte. También se presentan, para las ecuaciones de mejor ajuste, los resultados obtenidos de otros parámetros de evaluación y diferentes periodos de vibración.
K	Resultados de amenaza sísmica para las capitales departamentales En este anexo se presentan los espectros de amenaza uniforme correspondientes a las capitales departamentales, obtenidos en diferentes periodos de retorno y percentiles. También se exponen valores medios de las curvas de amenaza correspondientes a diferentes periodos de vibración.
L	Descripción del sistema de consulta del modelo y de los resultados de la amenaza sísmica En este anexo se presenta una descripción breve del sistema de consulta, indicando su estructura principal y los resultados puestos a disposición del público.



Anexos



Descripción de catálogos sísmicos utilizados

En este anexo se presentan descripciones generales de los catálogos globales y nacionales empleados para la construcción del Catálogo Sísmico Integrado.

EHB. Engdahl, Van der Hilst and Buland catalogue

Es una versión ajustada del Boletín del Centro Internacional de Sismología (ISC) y contiene datos de 1960 a 2008. En el catálogo EHB se utilizó el algoritmo de Engdahl *et al.* (1998) para mejorar las localizaciones hipocentrales de sismos anteriores al año 2009 y registrados en los siguientes catálogos: *International Seismological Summary* (ISS), ISC y *Preliminary Determination of Epicenters* (PDE). La mayoría de las magnitudes tipo Ms y mb son tomadas del ISC. En el presente estudio se usaron eventos de magnitudes mayores de 3,0. Los eventos sísmicos del catálogo EHB se obtuvieron en el sitio de consulta del ISC (ISC, 2012).

ISC-GEM

Este catálogo es el resultado del trabajo conjunto del Centro Internacional de Sismología (ISC) y la Fundación Global Earthquake Model (GEM). En él se realizaron mejoras y refinamientos de la distribución de la sismicidad y de magnitudes. Este catálogo también integra información de magnitudes de otras agencias, como el Global Centroid Moment Tensor Catalog (GCMT) (Di Giacomo *et al.*, 2014; Storchak *et al.*, 2013). Para la construcción del catálogo ISC-GEM se usaron procesos estandarizados de relocalización homogénea de eventos ocurridos entre 1900 y 2009. También se recalcularon magnitudes tipo Ms y mb, y mediante relaciones de conversión se calcularon

magnitudes Mw. Los eventos del catálogo ISC-GEM se obtuvieron en el sitio de consulta del ISC (ISC, s/f a).

ISC-REV. Boletín sísmico revisado del Centro Internacional de Sismología

El boletín del ISC contiene información de sismos ocurridos a partir de 1900 hasta la fecha. El *Boletín* revisado del ISC cuenta con revisiones manuales en casos en los que se cuenta con información suficiente. Tal revisión se ejecuta en eventos de magnitud $\geq 2,5$ que cumplan con los siguientes criterios: que el hipocentro o los datos de arribo sean reportados por más de una agencia; que la configuración de alguna estación no sea aceptable, o bien, que un conjunto de estaciones mejoren la caracterización del evento, comparada con la información que puede suministrar una sola agencia. A la vez, todos los eventos con magnitudes mayores a 3,5 son revisados (ISC s/f b). Los sismos se localizan usando un algoritmo descrito en Bondár y Storchak (2011). Los eventos de este catálogo se obtuvieron en el sitio de consulta del ISC (ISC, s/f c).

CENT. Centennial

Contiene información de varios catálogos de sismos registrados instrumentalmente desde 1900 hasta 2008. De cada evento se cuenta con una única magnitud homologada y corregida. Este catálogo realiza una relocalización de evento según el algoritmo de Engdahl *et al.* (1998), en los casos en los que existe información suficiente. Este catálogo tomó como partida el generado por Engdahl y Villaseñor (2002) y realiza actualizaciones periódicas. Los eventos del catálogo Centennial se obtuvieron en el sitio de

consulta del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (USGS, s/f a).

NEIC (ANSS-NEIC). Centro Nacional de Información sobre Sismos del Servicio Geológico de Estados Unidos

Este catálogo contiene información de parámetros de fuente sísmica y otro tipo de información aportada por diferentes redes sísmicas. Está compuesto por datos del Advanced National Seismic System (ANSS) hasta 1972 y del NEIC a partir de 1973. Actualmente, en este catálogo está integrada información de catálogos tales como GCMT, además de información proveniente del PDE (*Preliminary Determination of Epicenters Bulletin*) (USGS, 2014). Los eventos de este catálogo se obtuvieron en el sitio de consulta del USGS (USGS, s/f b).

GCMT. Global Centroid Moment Tensor Catalogue

El catálogo del GCMT contiene el cálculo de tensores de momento sísmico correspondientes a sismos, en su mayoría, de magnitudes mayores de 5,5 (Storchak *et al.*, 2013). Este catálogo abarca eventos ocurridos a partir de 1976, de los cuales se cuenta con información de sus mecanismos focales. El catálogo del GCMT se encuentra en formato ASCII (conocido como formato *ndk*) y reporta magnitudes M_s y m_b . Es posible obtener la magnitud M_w a partir de la información del momento sísmico incluido en dicho formato. Los eventos de este catálogo se obtuvieron en el sitio de consulta del GCMT (GCMT, 2017).

IDC. Centro Internacional de Datos

El Centro Internacional de Datos (IDC) hace parte del Tratado de Prohibición de Ensayos Nucleares (CTBT) y está diseñado para recolectar, procesar, analizar y reportar datos recibidos del Sistema Internacional de Monitoreo (IMS). El umbral de magnitud para la detección de sismicidad del IDC es de 4,0 (m_b). Los eventos sísmicos no relacionados con pruebas nucleares son reportados al ISC (ISC, 2015).

Los eventos de este catálogo se obtuvieron en el sitio de consulta del *Boletín* del ISC (ISC s/f c). En la

búsqueda de estos eventos, en la sección de parámetros opcionales de consulta se seleccionó la opción “IDC” en el campo de autor de la magnitud.

GUTE. Catálogo Gutenberg-Richter

De acuerdo con Engdahl y Villaseñor (2002), entre las bases de datos más relevantes para la descripción de sismos ocurridos antes de 1950 se encuentra el catálogo elaborado por Gutenberg y Richter (1954), que contiene hipocentros y magnitudes de sismos importantes ocurridos entre 1904 y 1952.

Los eventos de este catálogo se obtuvieron en el sitio de consulta del *Boletín* del ISC (ISC s/f c). En la búsqueda de estos eventos, en la sección de parámetros opcionales de consulta se seleccionó la opción “GUTE” en el campo de autor de la magnitud.

PAS. California Institute of Technology

Este catálogo hace parte del catálogo integrado del sur de California (Hutton, Woessner y Hauksson, 2010), y es registrado por el Instituto de Tecnología de California (Caltech). Este catálogo comenzó con siete estaciones en 1932, con sismómetros de tipo Wood-Anderson o Benioff, y para determinar las localizaciones generalmente priorizaba el registro obtenido en la estación de Pasadena (PAS). Desde los años setenta, Caltech comenzó una colaboración con el USGS para constituir la Red Sismológica del Sur de California (SCSN). Los eventos de este catálogo se obtuvieron en el sitio de consulta del ISC (ISC, s/f c).

SGC. Servicio Geológico Colombiano

La Red Sismológica del SGC inició operaciones en junio de 1993 calculando inicialmente magnitud local (M_L), y a partir de 2010 se inició el cálculo de magnitudes de momento (M_w). Para este catálogo se definió una zona de confiabilidad dentro de la cual las soluciones se consideran de mayor calidad. Las soluciones obtenidas fuera de dicha zona se consideran de alta incertidumbre, razón por la cual se usan únicamente en caso de que no existan reportes de mejor calidad en otras agencias globales o nacionales.

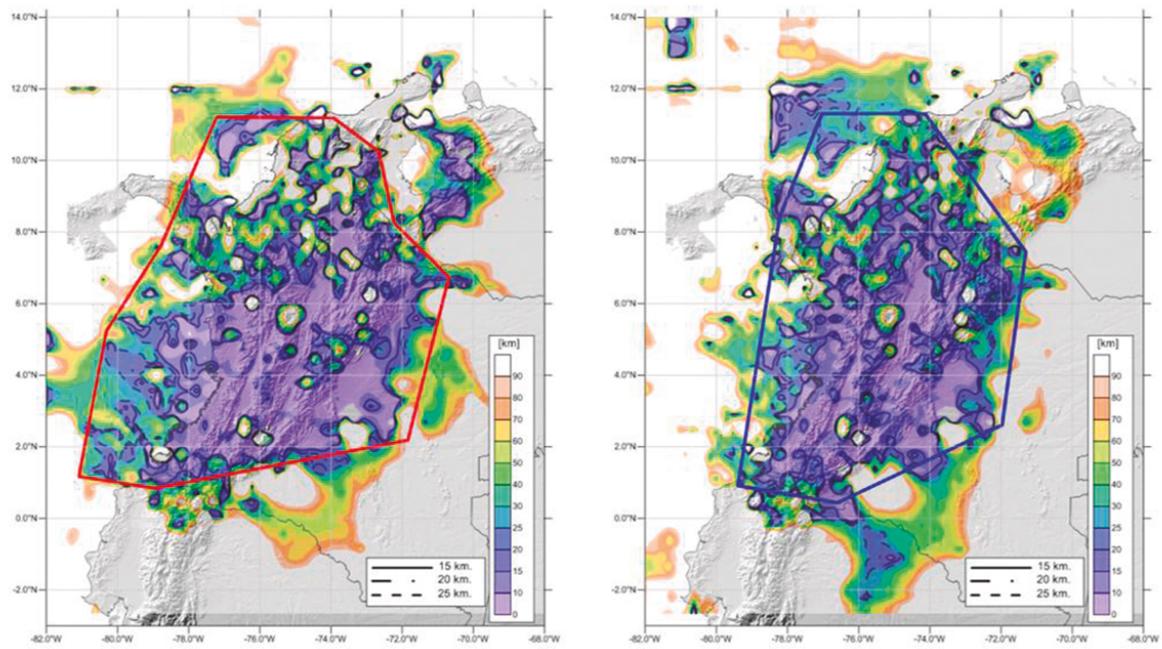


Figura A. 1 Errores en latitud y longitud de los eventos reportados en el Catálogo del SGC. Las líneas roja y azul corresponden a 15 km
Fuente: Los autores

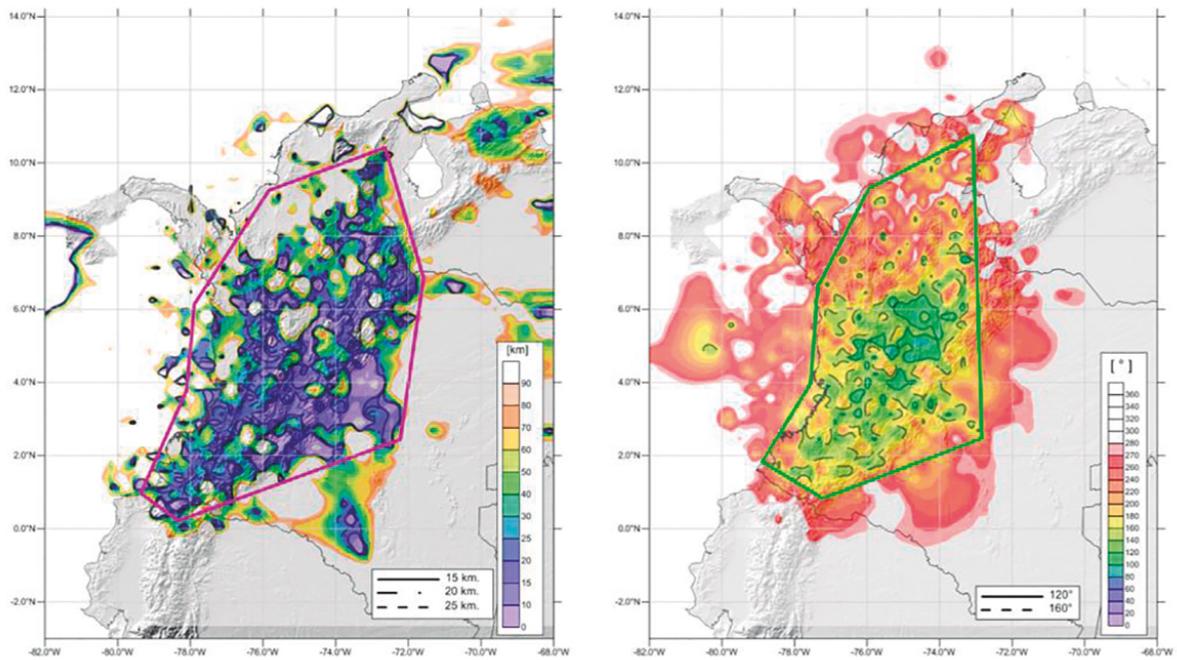


Figura A. 2 Errores en profundidad (izquierda) y GAP (derecha) de los eventos reportados en el Catálogo del SGC. La línea morada corresponde a un error de 15 km, y la verde, a un GAP de 160°
Fuente: Los autores

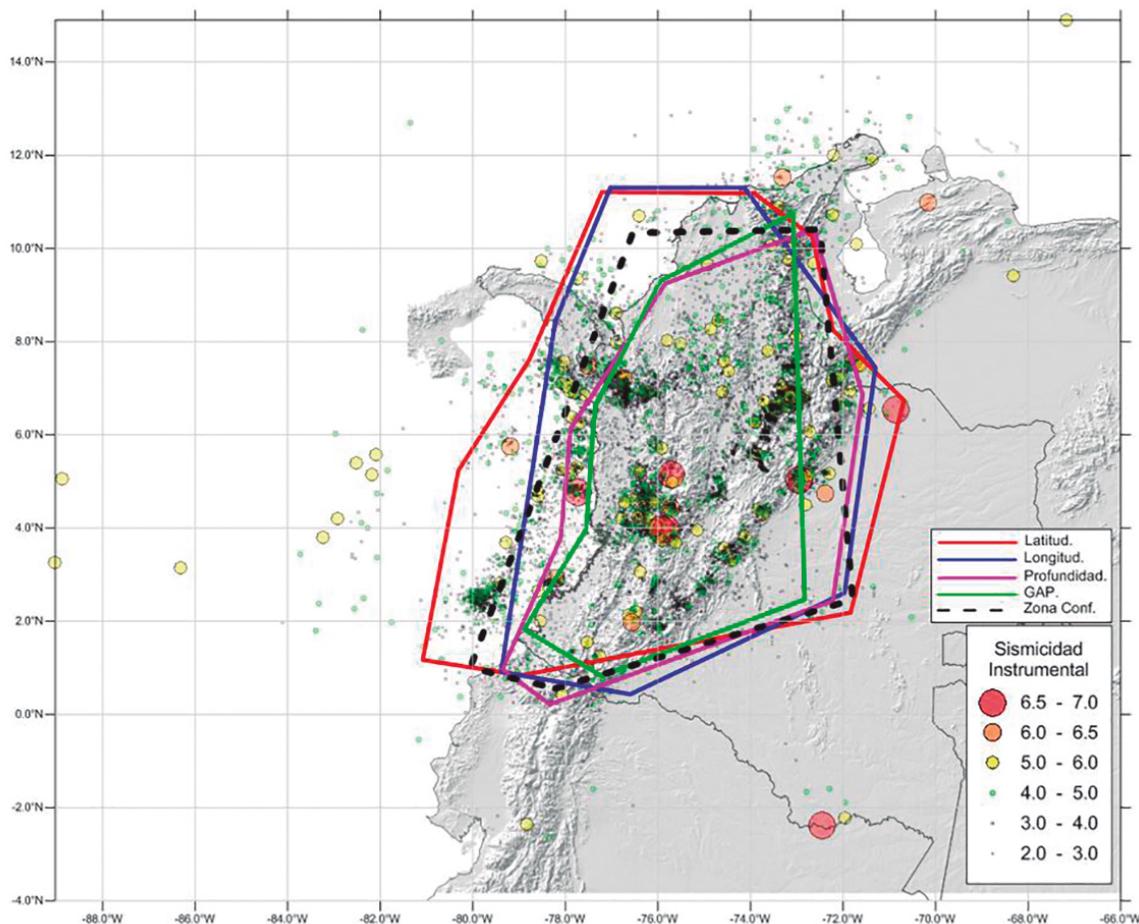


Figura A. 3 Zona de confiabilidad del Catálogo del SGC correspondiente al promedio de los límites de los errores en latitud, longitud, profundidad y GAP

Fuente: Los autores

La zona de confiabilidad se determinó utilizando el promedio de las envolventes de los valores máximos aceptables de los parámetros de error en la localización en latitud, longitud y profundidad, además de los límites de los ángulos de mayores aberturas azimutales entre estaciones (GAP). Estos límites se establecieron en 15 km para el error en la localización (latitud, longitud y profundidad, Figura A. 1) y en 160° para el GAP (Figura A. 2). Asimismo, para la definición final del polígono de la zona de confiabilidad se tuvo en cuenta la sismicidad instrumental registrada por el SGC.

Los eventos localizados en el área de confiabilidad se incluyeron en el Catálogo SGCi, y aquellos situados

fuera de dicha área, en el Catálogo “SGCo. La Figura A. 3 presenta los límites de las zonas de confiabilidad establecidas.

Por otro lado, el SGC estudia la sismicidad histórica ocurrida en la región a partir de información macrosísmica. Estos estudios, además de algunos datos tomados del estudio de sismicidad histórica de la fundación GEM (Albini *et al.*, 2013), aportan información sísmica al catálogo integrado desde 1610 hasta 1953 (SGC-H), y se reportan magnitudes M_w de 42 sismos.

El catálogo de eventos registrados por la Red Sísmológica del Servicio Geológico Colombiano se en-

cuentra disponible al público y puede ser consultado en el portal web institucional, en la sección denominada “Aplicaciones sismos” (SGC, s/f b).

IGEPN. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador

Este catálogo corresponde a una integración de información generada por diferentes agencias del mundo, siguiendo un orden de priorización para definir la localización y la magnitud de los sismos (Beauval *et al.*, 2013). El Catálogo IGEPN contiene eventos ocurridos a partir de 1995, con magnitudes mayores e iguales a 2,7Md.

Este catálogo puede obtenerse realizando una consulta en la página del IGEPN, en la sección denominada “Descarga de datos” (IGEPN, s/f). En el presente estudio se utilizó el conjunto de datos correspondiente al “Catálogo sísmico homogeneizado hasta el 2009”.

CASC. Centro Sismológico de América Central

El Centro Sismológico de América Central (CASC por sus siglas en inglés) comenzó a operar en 1992. Hacen parte de este centro los siguientes países e instituciones: Guatemala (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Insivumeh), El Salvador (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SNET), Honduras (Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH), Nicaragua (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Ineter), Costa Rica (Red Sismológica Nacional, RSN; Instituto Costarricense de Electricidad, ICE; Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica, Ovsicori) y Panamá (Universidad de Panamá, UPA). Cada institución aporta información de eventos sísmicos que son compilados y reportados al ISC. La base de datos del catálogo del CASC consta de 28.159 eventos con magnitudes mb y Mw (Alvarenga *et al.*, 1998), de los cuales 751 se encuentran en el área de estudio.



Base de datos de movimiento fuerte

En este anexo se presentan las principales características de los eventos sísmicos que componen la base de datos de movimiento fuerte. La Tabla B.1 presenta una descripción de los parámetros utilizados para caracterizar los eventos.

La Tabla B. 2 presenta los eventos pertenecientes a fuentes corticales (superficiales). La Tabla B. 3 presenta los eventos correspondientes al nido sísmico de Bucaramanga. La Tabla B. 4 presenta los eventos de la zona Benioff y la Tabla B. 5 presenta los eventos interplaca de la subducción del pacífico.

Tabla B.1 Resumen de parámetros para el resumen de eventos sísmicos

Campo	Definición
ID	ID asignado a cada evento, corresponde a un código que comienza por "EC_" para los sismos de Ecuador de 2016 y por "CO_" para los demás eventos. Luego de este código sigue un valor numérico que representa la fecha del sismo desde el año hasta minutos o segundos, de la siguiente manera: AAAAMDDHHMMSS.
Prof, [km]	Profundidad del evento en kilómetros, tomada del GCMT.
Mw	Magnitud de Momento del sismo, calculada apartir del momento escalar determinado por el GCMT.
Lat, [°]	Longitud del evento en grados, tomada del GCMT.
Lon, [°]	Latitud del evento, tomada del GCMT.
Str1, [°]	Strike del primer plano nodal, tomado del GCMT.
Dip1, [°]	Dip del primer plano nodal, tomado del GCMT.
Rake1, [°]	Rake del primer plano nodal, tomado del GCMT.
Str2, [°]	Strike del segundo plano nodal, tomado del GCMT.
Dip2, [°]	Dip del segundo plano nodal, tomado del GCMT.
Rake2, [°]	Rake del segundo plano nodal, tomado del GCMT.
Plano	Plano de solución preferida.
M. F.	Mecanismo focal simplificado según la metodología de Kaverina de 1996.

Tabla B. 2 Eventos corticales

ID	Prof, [km]	Mw	Lat, [°]	Lon, [°]	Str1, [°]	Dip1, [°]	Rake1, [°]	Str2, [°]	Dip2, [°]	Rake2, [°]	Plano	M. F.
CO_19940606204742	12	6.8	2.91	-75.98	206	76	170	299	80	14	1	S
CO_19940913100134	14	6.0	7.11	-76.67	4	64	9	270	82	153	1	S
CO_19950119150505	17	6.5	5.05	-72.94	38	33	95	212	57	87	1	R
CO_19950120135924	54.1	5.2	5.17	-72.94	170	24	50	33	72	106	1	R
CO_19950122104129	21.7	5.6	5.11	-72.95	243	36	136	10	66	62	1	S
CO_19950423235543	43.2	5.2	5.18	-72.49	68	52	133	191	55	48	1	R
CO_19951003015125	24	7.0	-2.79	-77.82	234	39	120	18	57	68	1	R
CO_19961104172500	14	6.3	7.36	-77.38	188	43	42	64	63	124	1	S
CO_19980623013633	28.1	5.7	10.57	-76.35	267	82	0	357	90	-172	2	S
CO_19990125181918	17	6.1	4.45	-75.66	8	65	-21	107	71	-153	2	S
CO_20000117122008	43.3	5.6	6.72	-72.00	154	26	71	355	65	99	1	R
CO_20000523163648	40.9	5.2	2.15	-78.35	327	27	27	213	78	115	1	S
CO_20001008201230	10	5.1	0.36	-78.10	342	42	90	162	48	90	1	R
CO_20010908224510	24.6	5.1	8.35	-74.83	310	75	2	220	88	165	1	S
CO_20020426013626	24.9	5.1	6.59	-73.58	207	38	136	334	65	61	1	S

(.../...)

ID	Prof, [km]	Mw	Lat, [°]	Lon, [°]	Str1, [°]	Dip1, [°]	Rake1, [°]	Str2, [°]	Dip2, [°]	Rake2, [°]	Plano	M. F.
CO_20040220111558	39.7	4.8	10.75	-73.85	120	51	133	244	56	50	1	R
CO_20040818070652	22.9	5.1	2.22	-76.62	69	79	8	338	82	169	1	S
CO_20070306130508	15	5.2	2.09	-76.54	102	47	1	11	89	137	1	S
CO_20070424085334	50.6	5.1	5.62	-75.90	154	23	-132	18	73	-75	2	N
CO_20070620190407	24.3	5.2	7.12	-72.22	237	42	155	346	74	51	1	S
CO_20070716225823	30.6	5.2	7.16	-72.18	227	29	108	26	62	80	1	R
CO_20080524192044	14.7	5.9	4.37	-73.71	196	82	-179	106	89	-8	2	S
CO_20090912200625	10	6.4	10.73	-67.97	184	73	8	91	83	163	1	S
CO_20100326015638	15	5.0	-1.29	-78.34	215	74	-180	125	90	-16	2	S
CO_20100605011959	18.1	4.8	5.02	-72.43	227	41	97	38	49	84	1	R
CO_20100729193445	33.1	5.1	3.91	-75.10	37	54	138	155	57	45	1	S
CO_20110302185048	33.6	5.8	8.59	-76.92	191	36	137	318	66	62	1	S
CO_20130516162918	33.4	4.8	12.04	-73.46	259	26	-89	78	64	-91	2	N
CO_20130806025012	31.3	4.9	7.19	-77.29	198	59	31	91	64	145	1	S
CO_20130825233555	24.7	4.9	7.64	-75.00	247	65	-154	145	67	-27	2	S
CO_20140105033638	32.8	5.5	4.61	-76.69	288	27	-13	30	84	-117	2	N
CO_20140109125017	15.4	5.0	3.02	-75.93	43	82	173	134	83	8	1	S
CO_20140217094136	41.1	5.3	6.54	-71.71	136	35	43	8	67	117	1	S
CO_20140219111014	19.6	5.3	9.67	-69.75	240	63	153	343	66	29	1	S
CO_20140221114325	25.6	5.1	12.50	-70.72	273	32	-92	95	58	-89	2	N
CO_20141020193321	3.1	5.6	0.75	-77.93	52	89	-179	322	89	-1	2	S
CO_20141128043623	51.4	5.1	8.74	-77.46	168	71	-174	76	84	-19	2	S
CO_20150205042151	5	5.3	8.24	-72.14	53	53	138	171	57	45	1	S
CO_20150509143151	38.7	4.9	11.48	-72.12	251	65	-7	344	84	-155	2	S
CO_20150729001025	12	5.9	8.23	-77.32	291	65	155	32	67	27	1	S
CO_20150907055117	13.6	4.9	8.61	-77.83	219	47	115	5	49	66	1	R
CO_20151012043541	10	4.9	7.54	-77.48	345	26	81	175	65	94	1	R
CO_20151128105911	15.4	4.8	3.89	-71.17	301	65	-8	34	83	-154	2	S
CO_20151229025406	5.7	5.1	6.86	-76.70	4	60	23	262	70	148	1	S
CO_20160411092928	22.8	5.3	7.03	-76.61	13	55	23	270	72	143	1	S
CO_20160914015832	18	5.9	7.37	-76.17	122	43	165	223	80	48	1	S
CO_20161031002012	33	5.6	3.45	-74.50	213	51	131	339	54	52	1	R
CO_20170206130245	38	5.5	3.45	-74.67	217	43	118	1	53	67	1	R
CO_20170418174956	14	5.9	-2.71	-75.30	17	43	90	197	47	90	1	R

Tabla B. 3 Eventos del nido sísmico de Bucaramanga

ID	Prof, [km]	Mw	Lat, [°]	Lon, [°]	Str1, [°]	Dip1, [°]	Rake1, [°]	Str2, [°]	Dip2, [°]	Rake2, [°]	Plano	M. F.
CO_19941210152420	161.4	5.2	6.75	-72.98	45	42	121	186	55	65	1	R
CO_19950520221900	146.8	5.2	5.51	-73.81	282	17	-7	20	88	-106	2	N
CO_19970101043553	160.9	5.3	6.74	-72.93	126	48	146	240	66	47	1	S
CO_19990318235411	65.1	5.1	10.02	-73.49	182	57	166	280	78	34	1	S
CO_19991108055121	161.1	5.4	6.70	-72.90	54	38	152	167	73	55	1	S
CO_20011119210124	161	5.3	6.73	-72.90	324	73	-9	56	82	-162	2	S
CO_20040618145954	150.8	4.8	6.64	-73.06	353	36	143	114	69	60	1	S
CO_20041003083030	159	4.8	6.75	-72.99	148	64	-170	54	81	-27	2	S
CO_20050225064124	158.7	5.3	6.71	-73.01	57	54	-176	325	87	-36	2	S
CO_20060101094315	69.6	5.1	11.80	-71.24	284	37	-122	143	59	-68	2	N
CO_20060110031441	156.5	5.0	6.68	-72.94	32	43	151	144	70	51	1	S
CO_20060508150739	164.4	4.9	6.73	-72.98	71	66	180	161	90	24	1	S
CO_20070506044714	161.3	5.4	6.73	-72.96	36	49	173	131	85	41	1	S
CO_20080217211502	156	5.4	6.73	-72.98	10	45	165	111	80	46	1	S
CO_20090420085402	123.7	5.1	7.68	-73.39	300	28	40	173	73	112	1	S
CO_20091027162553	159.4	5.1	6.71	-72.95	42	54	175	135	86	36	1	S
CO_20120224134317	164.1	5.1	6.65	-73.01	226	42	52	93	58	119	1	R
CO_20120901050945	163.4	5.1	6.65	-72.98	48	43	151	159	71	50	1	S
CO_20130725120926	157.3	5.0	6.68	-73.09	72	67	-166	337	77	-24	2	S
CO_20140207203711	158.3	5.3	6.79	-73.07	13	22	91	191	68	90	1	R
CO_20140314232636	131.2	5.0	10.27	-72.95	182	71	175	274	85	20	1	S
CO_20141125202015	158.8	5.0	6.83	-73.10	146	48	42	25	60	130	1	S

(.../...)

ID	Prof, [km]	Mw	Lat, [°]	Lon, [°]	Str1, [°]	Dip1, [°]	Rake1, [°]	Str2, [°]	Dip2, [°]	Rake2, [°]	Plano	M. F.
CO_20141214014930	149.4	4.8	5.45	-73.70	250	9	-18	357	87	-98	2	N
CO_20150310205544	155	6.2	6.78	-72.99	142	29	-152	26	77	-64	2	N
CO_20150322222737	154.6	4.9	6.80	-73.15	66	52	166	164	79	39	1	S
CO_20151014074719	125.7	5.1	7.65	-73.30	333	44	2	242	88	134	1	S

Tabla B. 4 Eventos de la zona de Benioff

ID	Prof, [km]	Mw	Lat, [°]	Lon, [°]	Str1, [°]	Dip1, [°]	Rake1, [°]	Str2, [°]	Dip2, [°]	Rake2, [°]	Plano	M. F.
CO_19950208184027	74	6.3	4.05	-76.59	210	21	-90	30	69	-90	2	N
CO_19950819214333	120	6.5	5.11	-75.59	204	30	-99	34	61	-85	2	N
CO_19960911062847	109	5.3	4.18	-76.53	306	51	144	61	63	45	1	S
CO_19970219182514	103.3	5.8	4.50	-76.45	138	42	105	299	50	77	1	R
CO_19970902121325	206	6.7	3.80	-75.72	256	48	62	115	49	117	1	R
CO_19971211075630	178	6.3	3.91	-75.77	249	53	31	140	66	139	1	S
CO_20010922032339	174.2	5.9	3.85	-75.91	247	53	31	137	65	139	1	S
CO_20050308155943	61.3	5.0	4.41	-75.95	265	70	12	171	79	159	1	S
CO_20050421033924	101.9	5.2	4.99	-76.26	232	56	1	141	90	146	1	S
CO_20080913093201	133.1	5.7	4.80	-75.52	227	13	-115	72	79	-85	2	N
CO_20090908082601	83.8	4.8	4.63	-76.63	273	46	115	60	49	66	1	R
CO_20091218143003	163.5	5.1	3.05	-76.27	110	46	-172	14	84	-44	2	S
CO_20100129175223	130.7	4.9	4.66	-76.01	195	41	-72	352	51	-105	2	N
CO_20100626184014	118.6	5.2	-4.83	-77.27	14	39	-66	165	55	-108	2	N
CO_20100812115416	209.9	7.1	-1.27	-77.32	153	21	-68	309	71	-98	2	N
CO_20101009140447	122.8	5.2	-2.74	-76.71	320	43	-103	157	49	-78	2	N
CO_20110815025319	176.8	5.7	-1.79	-76.99	161	24	-48	297	73	-106	2	N
CO_20120930163135	163.9	7.2	1.92	-76.40	231	39	-113	80	54	-73	2	N
CO_20130209141608	147.2	7.0	1.13	-77.41	171	75	167	265	78	15	1	S
CO_20130827232205	69.4	4.8	3.75	-76.68	63	42	136	189	63	57	1	S
CO_20150221222646	95	5.2	4.67	-76.18	93	51	-179	2	89	-39	2	S
CO_20150222125624	149	5.6	2.73	-76.50	119	45	-156	12	74	-48	2	N

Tabla B. 5 Eventos interplaca de la subducción del pacífico

ID	Prof, [km]	Mw	Lat, [°]	Lon, [°]	Str1, [°]	Dip1, [°]	Rake1, [°]	Str2, [°]	Dip2, [°]	Rake2, [°]	Plano	M. F.
CO_19980804185920	20	7.1	-0.59	-80.31	27	15	124	172	78	82	1	R
CO_20001108070000	17	6.5	7.09	-77.80	321	22	56	177	72	103	1	R
CO_20030822052915	31.4	5.0	3.08	-77.87	253	45	-73	50	47	-106	2	N
CO_20041115090656	15	7.2	4.71	-77.47	21	11	114	177	79	85	1	R
CO_20060123205046	23.4	6.2	6.86	-77.78	316	14	53	174	79	98	1	R
CO_20060124021544	25	5.4	6.83	-77.68	307	29	50	170	68	110	1	R
CO_20060129174914	15.6	5.2	6.77	-77.73	313	23	58	167	71	103	1	R
CO_20070910014914	29.3	6.7	2.96	-77.95	54	23	-95	239	67	-88	2	N
CO_20100911185524	50.1	5.2	-4.35	-80.59	13	26	113	168	66	79	1	R
CO_20101125041940	26.1	5.4	0.38	-79.97	54	23	138	184	75	72	1	S
CO_20110817080204	21	5.0	5.65	-77.64	343	25	90	164	65	90	1	R
CO_20110913043848	15	5.2	5.67	-77.59	13	14	100	182	76	88	1	R
CO_20110913044935	12.8	5.5	5.65	-77.56	360	18	89	181	72	90	1	R
CO_20120110180712	36.8	5.1	-0.88	-80.42	16	30	99	186	61	85	1	R
CO_20140309202955	25.9	5.6	1.52	-79.56	38	12	126	182	80	83	1	R
CO_20140616063932	7.3	5.7	1.65	-79.38	29	11	116	183	80	85	1	R
CO_20150530062605	13	5.4	1.22	-79.57	32	21	117	183	72	80	1	R
CO_20150719111621	10	5.0	2.76	-78.90	17	10	101	186	81	88	1	R
EC_20160416235837	21	7.8	0.35	-79.93	27	21	124	171	73	78	1	R
EC_20160518075703	16	6.7	0.43	-79.79	28	18	123	174	75	80	1	R
EC_20160518164644	30	6.9	0.50	-79.62	28	21	123	174	73	78	1	R



Metodología adoptada para la corrección de línea base y filtrado de acelerogramas

En este anexo se describe la metodología utilizada para el procesamiento de registros de la base de datos de movimiento fuerte. Esta metodología se basa en la propuesta de (Ancheta et al., 2013) y consiste en un proceso iterativo en donde el registro se somete a una corrección de línea base y a un proceso de filtrado en el dominio de la frecuencia. Este procedimiento se aplicó luego de la corrección instrumental de las señales.

A continuación se presenta una breve descripción de los pasos que componen la metodología adoptada.

1. Se lee la señal de entrada con corrección instrumental.
2. Se realiza una primera corrección de línea base del registro de aceleraciones que consta en la resta del valor de aceleración promedio calculado a todo el registro.
3. Con el fin de aplicar una transformada rápida de Fourier (*fft* por la sigla en inglés de *Fast Fourier Transform*) y realizar cálculos espectrales de los registros en el dominio de la frecuencia, se agregan ceros al final del registro hasta que el número de datos de este corresponda a una potencia de 2, un requerimiento para poder utilizar correctamente la transformada *fft* debido al número de operaciones por realizar (Cooley, Lewis, & Welch, 1967).
4. Se seleccionan las frecuencias iniciales de filtrado, que en este caso corresponden a 0.01 Hz y a $3/4$ de la frecuencia de Nyquist, que corresponde a la mayor frecuencia que puede ser captada dentro de un registro (Douglas & Boore, 2011)
5. Con las frecuencias de filtrado seleccionadas se procede a aplicar un filtro acausal, como el doble filtrado con un filtro causal (Boore D. M.). En este caso se utilizó un filtro Butterworth de orden 4 con el fin de obtener un mayor rango de periodos utilizables para un análisis de desplazamientos espectrales (Akkar & Bommer, 2006).
6. Luego de filtrada la señal se retiran del final del registro filtrado los valores correspondientes a los ceros adicionados en el paso “3”.
7. A partir del registro de aceleraciones filtrado, que se denomina $A(t)$ se calcula el registro de desplazamientos $D(t)$ por medio de una doble integración numérica.
8. Al registro de desplazamientos $D(t)$ se ajusta un polinomio de grado 6, con los coeficientes para los órdenes 0 y 1 iguales a 0. Este polinomio se denomina $D2(t)$.
9. El polinomio $D2(t)$ es derivados dos veces con respecto al tiempo para obtener un registro de aceleración denominado $A2(t)$. Paso seguido se calcula un vector de aceleración resultante como

$A_f(t) = A(t) - A_2(t)$, con el fin de realizar una segunda corrección de línea base a partir del registro de desplazamientos.

10. Se verifica si el vector de desplazamientos es aceptable. En este caso, esta verificación se realizó de dos maneras. La primera manera fue determinando si el desplazamiento final del registro fuera menor a 0.005 cm en su valor absoluto. La segunda manera fue escoger el registro con un menor desplazamiento final luego de realizar todas las iteraciones dentro del proceso de selección de frecuencias de filtrado que se presenta en el siguiente paso.
11. Se seleccionan las frecuencias de filtrado a partir de los siguientes parámetros: frecuencias de la ventana máxima de filtrado, frecuencias de la ventana mínima de filtrado, número de intervalos y número de ciclos; parámetros que se explican a continuación.

El proceso de filtrado comienza con la selección de una frecuencia inicial para un filtrado pasa bajas (f_{l1}) y para un filtrado pasa altas (f_{h1}); además de esto se seleccionan una máxima frecuencia para un filtrado pasa bajas (f_{l2}) y una mínima frecuencia para un filtrado pasa altas (f_{h2}). También se debe seleccionar un número de intervalos “ n ” que indica el número de ventanas de filtrado a iterar entre la ventana máxima y mínima seleccionadas (definidas por f_{h1} y f_{l1} y por f_{h2} y f_{l2} , respectivamente) (véase Figura C.1). Así, el proceso iterativo consta de $n+1$ ventanas de filtrado dentro de las cuales se buscará la mayor ventana que cumpla con los requisitos implantados en el paso 10 del procedimiento de filtrado, o la ventana que presente un menor desplazamiento al final del registro con el fin de encontrar un mínimo local.

Finalmente, se define un número de ciclos de iteración, que define cuantas veces se realizará el proceso iterativo pre definido. De esta manera, si no se encuentra una ventana de iteración que cumpla con el umbral máximo de desplazamiento

descrito en el paso anterior, luego de las $n+1$ iteraciones del primer ciclo, comenzará un nuevo ciclo con un máximo de $n+1$ nuevas iteraciones alrededor de la ventana que registró el mínimo desplazamiento absoluto dentro del primer ciclo. Este proceso se deberá repetir de acuerdo al número de ciclos definidos.

12. Al final del proceso de filtrado, se almacena el registro filtrado con mejores resultados.

Así, siguiendo el proceso de filtrado descrito previamente, se filtraron los acelerogramas registrados en 3 direcciones para los eventos a utilizar para la definición del árbol lógico de ecuaciones de atenuación para cada uno de los 4 ambientes tectónicos definidos dentro del modelo.

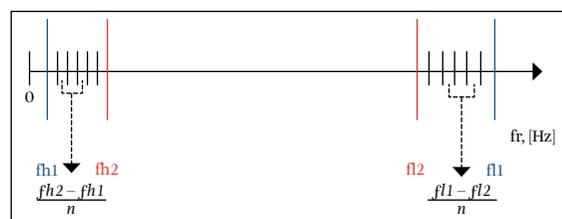


Figura C.1 Esquema de iteración para el proceso de filtrado

Referencias

- Akkar, S., & Bommer, J. (2006). "Influence of long-period filter cut-off on elastic spectral displacements". *Earthquake engineering and structural dynamics*(35), 1145-1165. doi:10.1002/eqe.577
- Ancheta, T. D., Darragh, R. B., Stewart, J. P., Seyhan, E., Silva, W. J., Chiou, B. S., Donahue, J. L. (2013). "PEER NGA-West2 Database". USA
- Boore, D. M. (s.f.). "Properties of Butterworth Filters as Used in My Record-Processing Software" (TSPP).
- Cooley, J. W., Lewis, P. A., & Welch, P. D. (1967). "Historical Notes on the Fast Fourier Transform". *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(76-79), 2. doi:10.1109/tau.1967.1161903
- Douglas, J., & Boore, D. (2011). "High-frequency filtering of strong-motion records". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9, 395-409



Distribuciones de magnitud-frecuencia en fuentes corticales tipo área

En este anexo se presentan, para cada fuente, las distribuciones de magnitud - frecuencia obtenida.

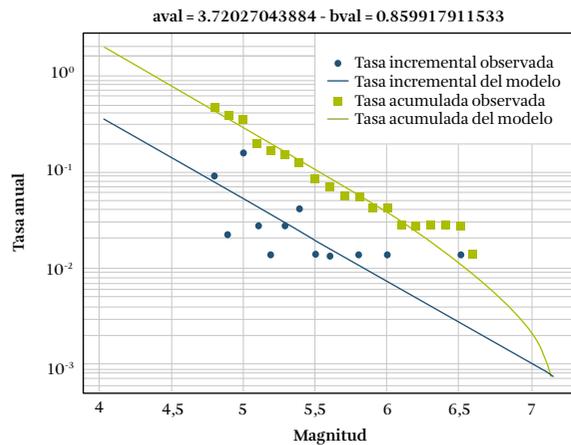


Figura D.1. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Cocuy (cc_01)

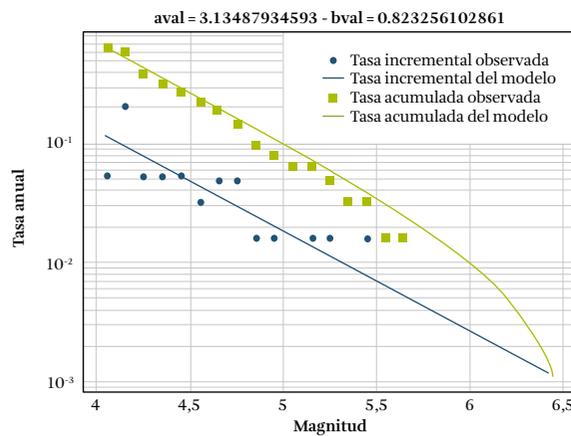


Figura D.2. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Altiplano Cundiboyacense (cc_02)

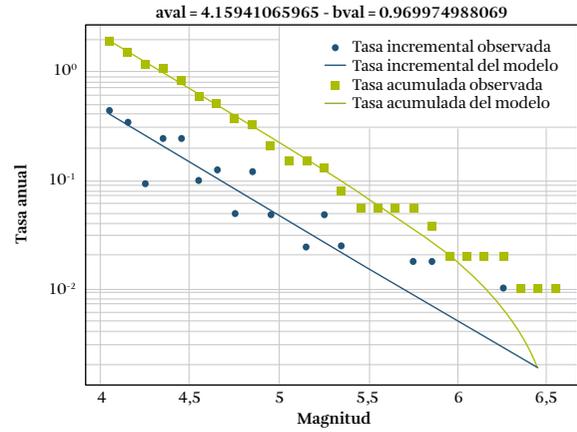


Figura D.3. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Piedemonte Orinoquía (cc_03)

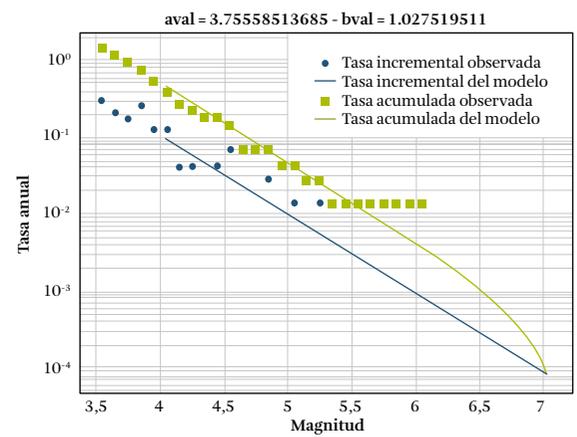


Figura D.4. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Piedemonte Amazonía (cc_04)

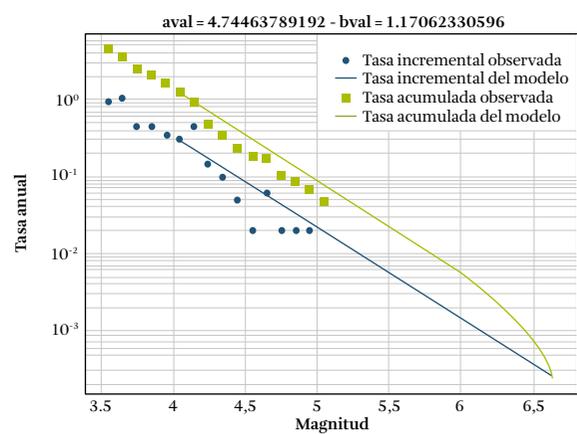


Figura D.5. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Sur Cordillera Oriental (cc_05)

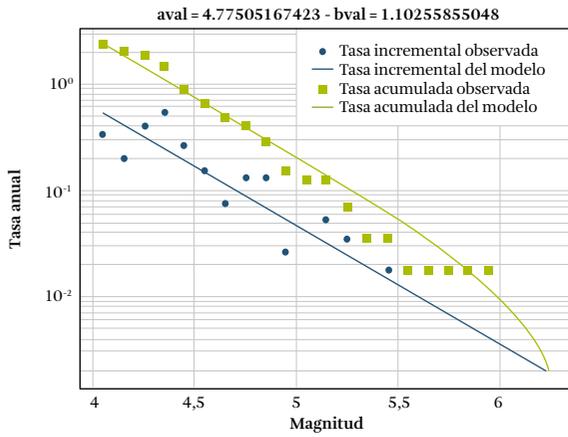


Figura D.6. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Guajira - Paraganá (cc_51)

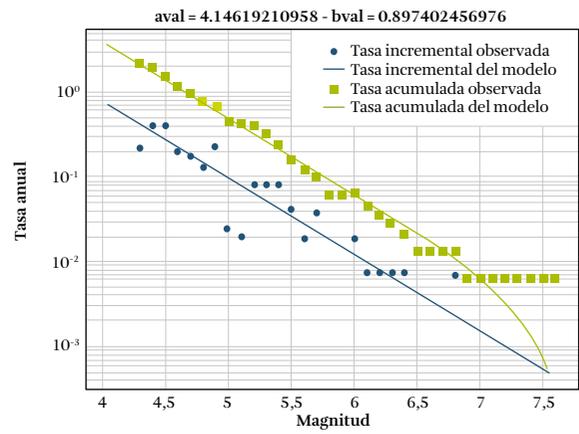


Figura D.9. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Andes de Mérida (cc_55)

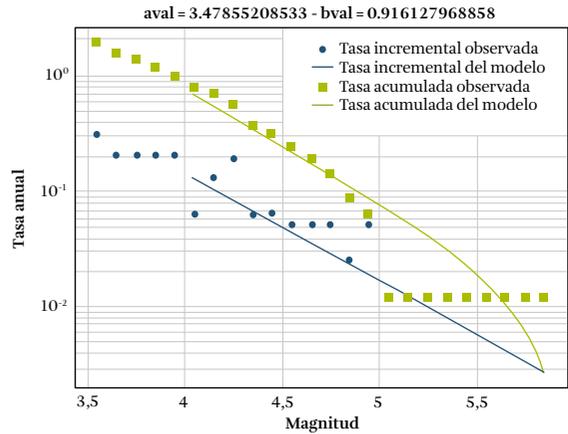


Figura D.7. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Perijá - Sierra Nevada (cc_52)

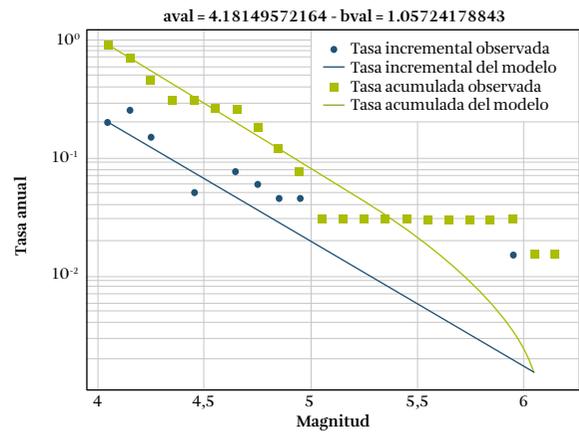


Figura D.10. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Norte Santander (cc_56)

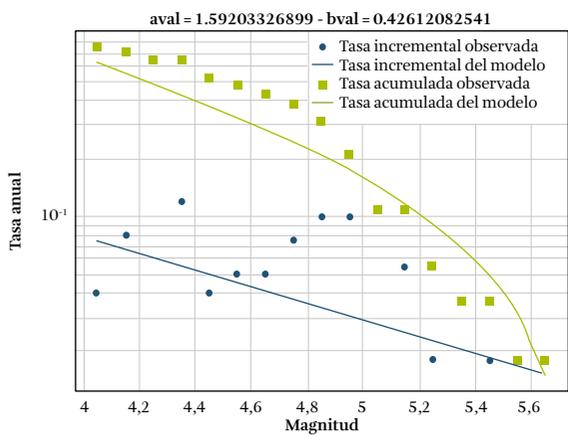


Figura D.8. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Depresión de Maracaibo (cc_53)

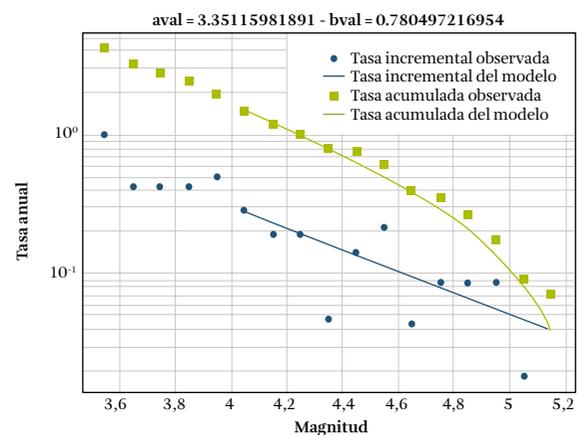


Figura D.11. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Magdalena Medio (cc_57)

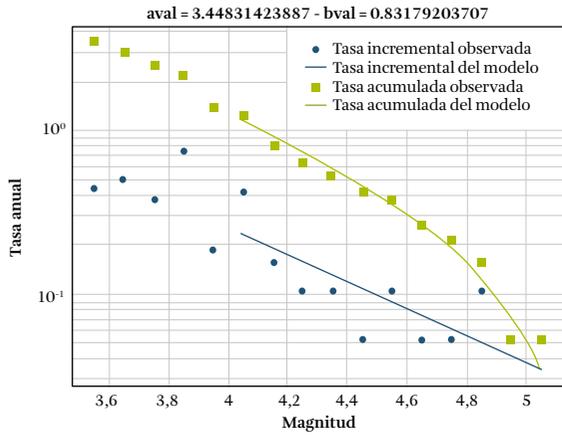


Figura D.12. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Cienagas del Caribe (cc_58)

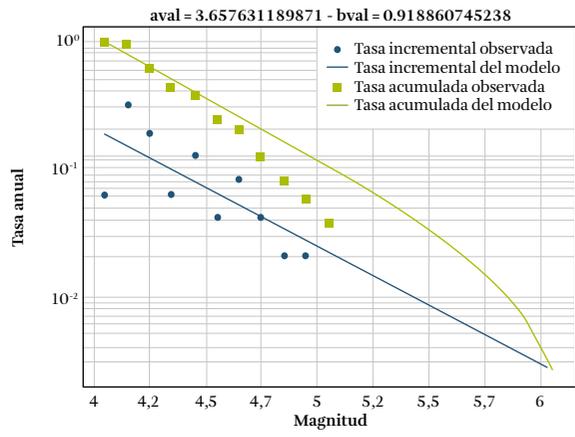


Figura D.15. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Norte Cordillera Central (cc_64)

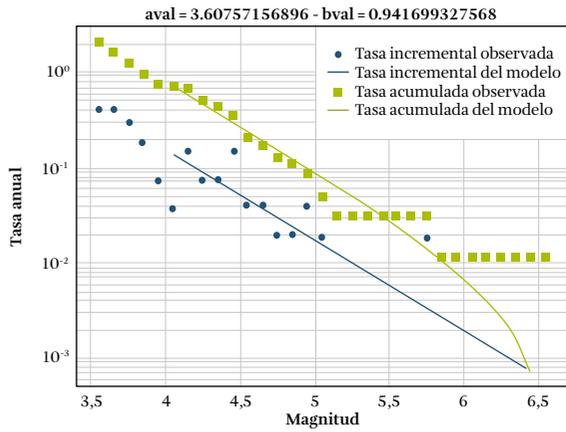


Figura D.13. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Sábanas costeñas (cc_59)

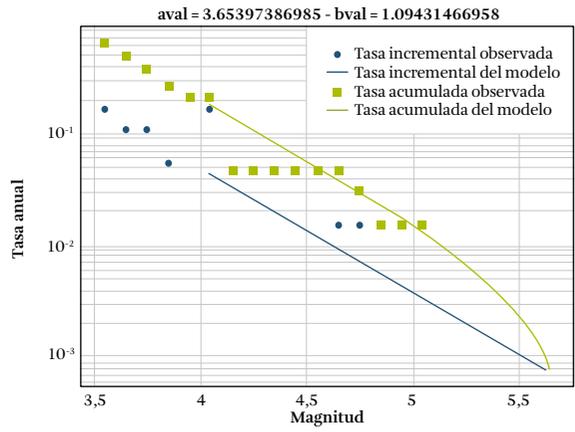


Figura D.16. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Valle Alto del Magdalena (cc_66)

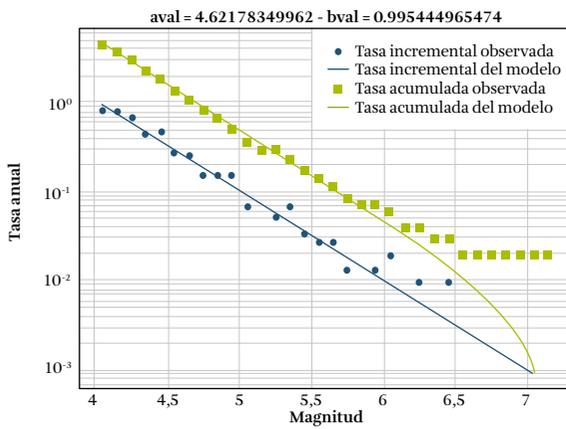


Figura D.14. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Pacifico Norte (Darién) (cc_61)

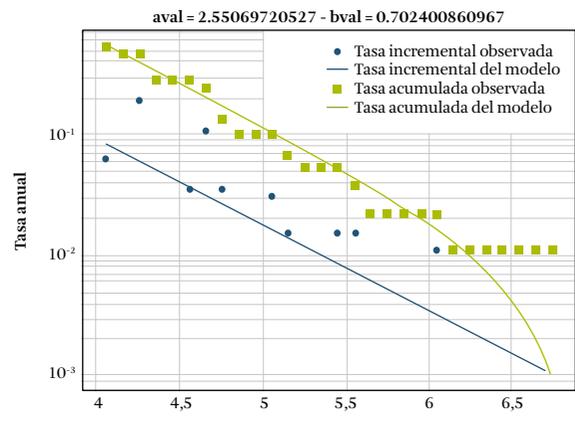


Figura D.17. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Central Cordillera Central (cc_67)

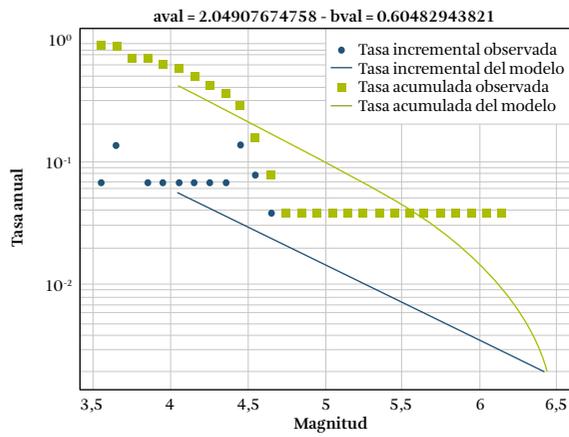


Figura D.18. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Cauca - Patía (cc_68)

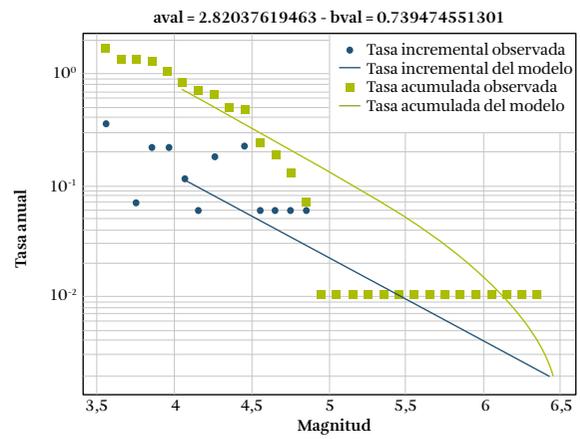


Figura D.21. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Pacífico Sur (cc_71)

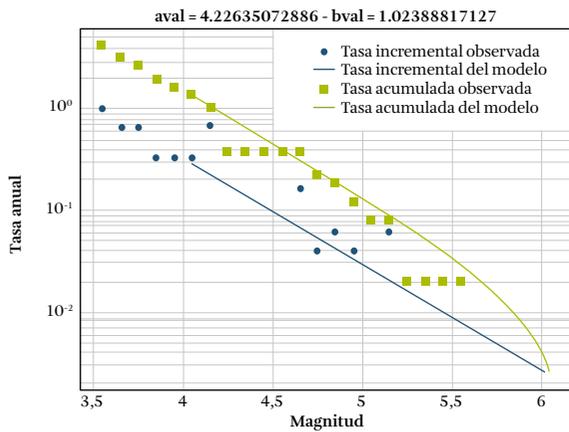


Figura D.19. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Pacífico Central (cc_69)

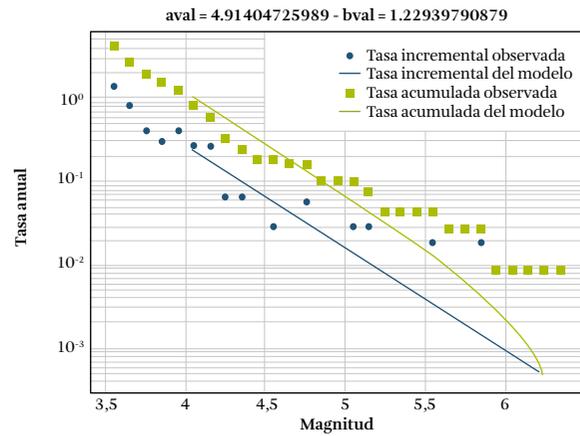


Figura D.22. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Piedemonte Ecuatoriano (cc_72)

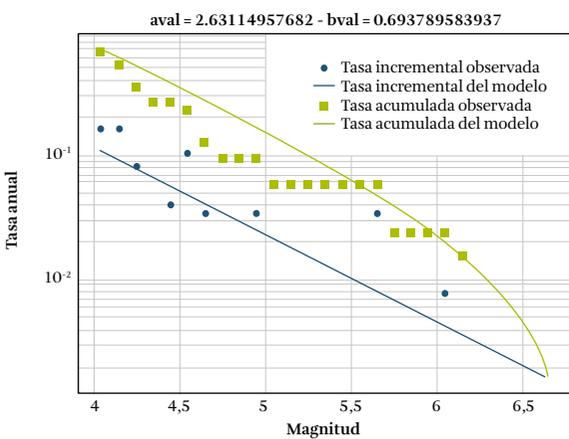


Figura D.20. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Zona Andina Nariñense (cc_70)

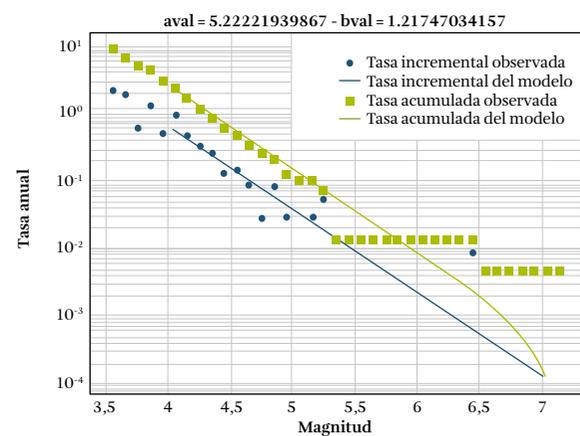


Figura D.23. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Sierra oriental ecuatoriana (cc_73)

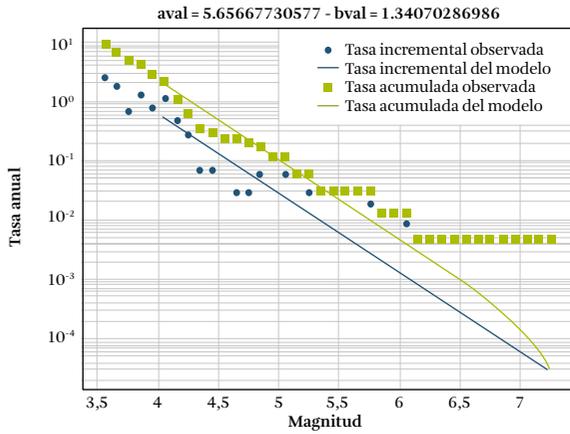


Figura D.24. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Sierra occidental ecuatoriana (cc_74)

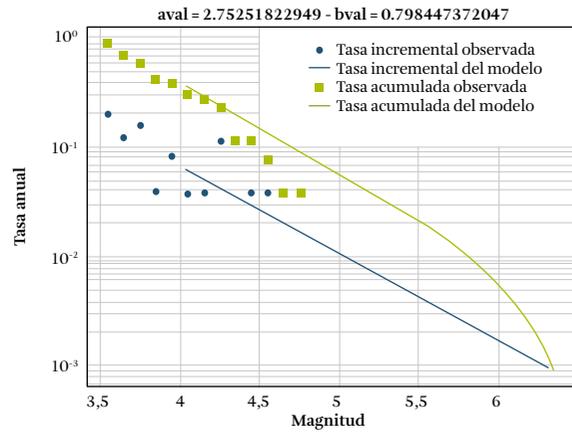


Figura D.27. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Transversal del Caribe (Oca) (cc_77)

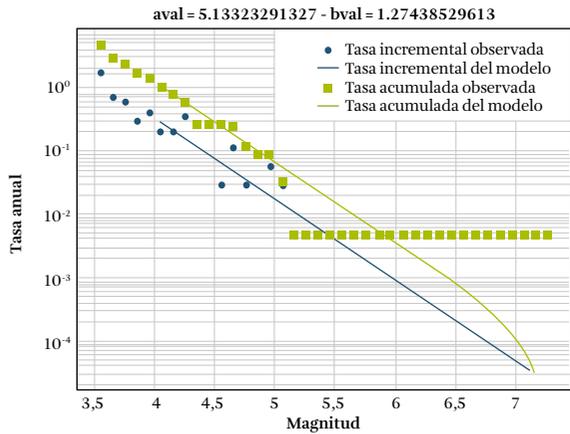


Figura D.25. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Pacífico Ecuatoriano (cc_75)

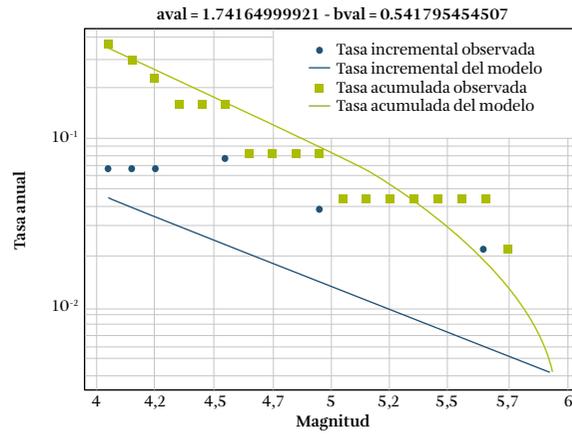


Figura D.28. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Insular San Andrés (cc_78)

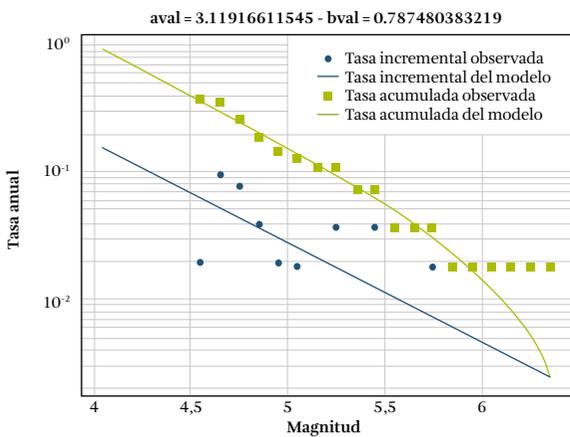


Figura D.26. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Transversal de Falcón (cc_76)

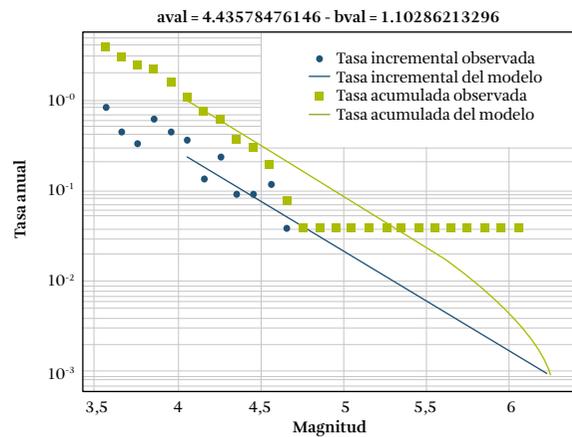


Figura D.29. Distribución de magnitud y frecuencia; fuente Craton (cc_79)



Distribuciones de magnitud-frecuencia en macrozonas del modelo de sismicidad suavizado

En este anexo se presentan, para cada macro zona, las distribuciones de magnitud - frecuencia obtenida.

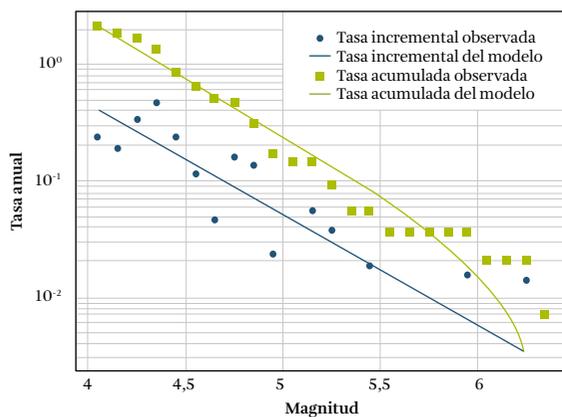


Figura E.1. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Guajira - Paraganá (c00)

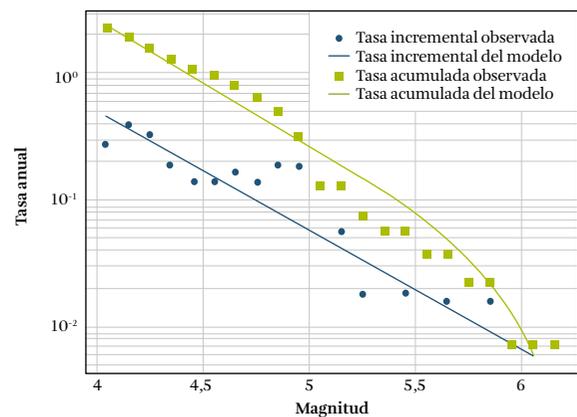


Figura E.3. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Nororiental (c02)

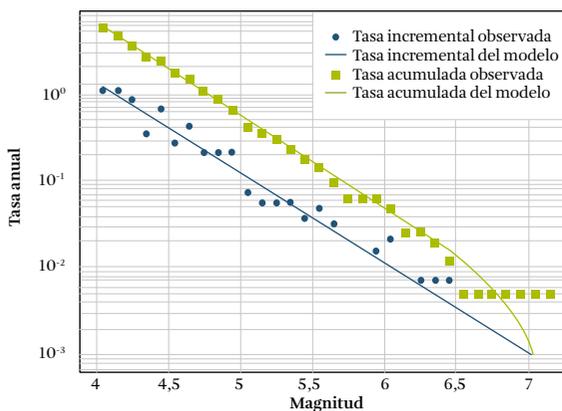


Figura E.2. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Pacífica (c01)

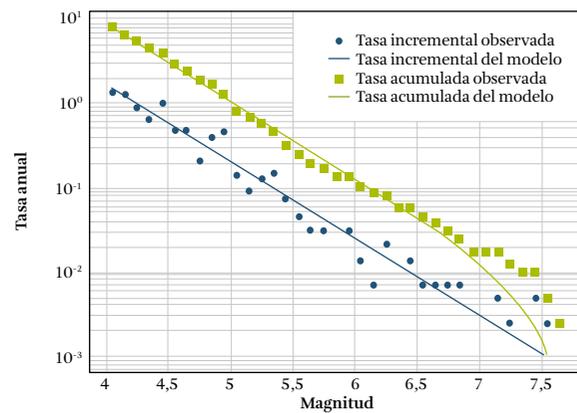


Figura E.4. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Piedemonte oriental (c03)

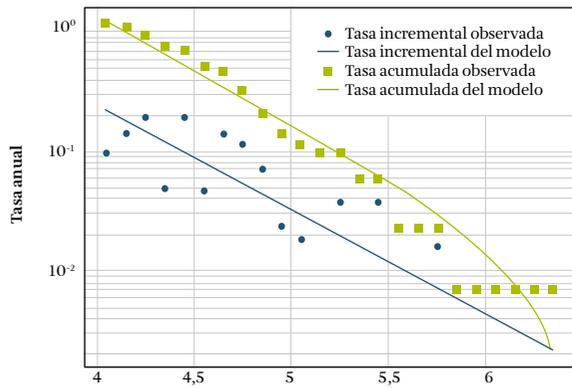


Figura E.5. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Oca - Falcón (c04)

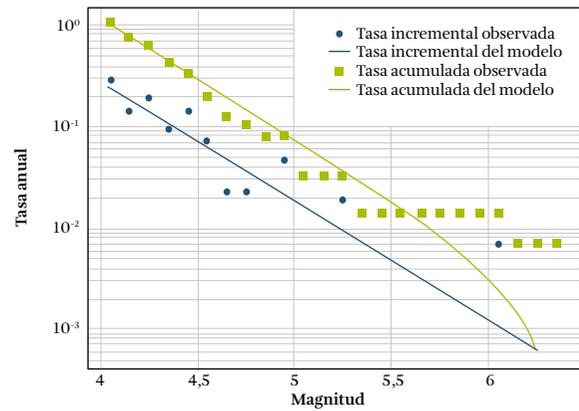


Figura E.8. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Cratón (c07)

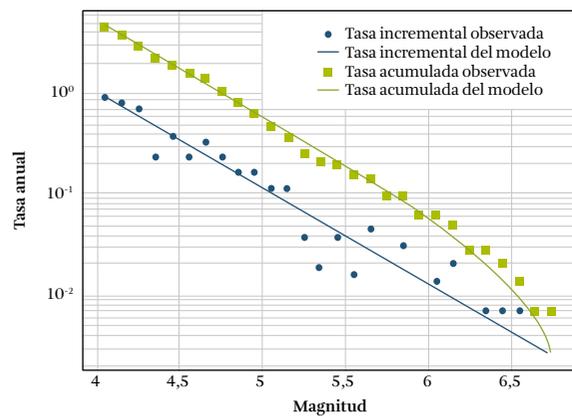


Figura E.6. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Andina (c05)

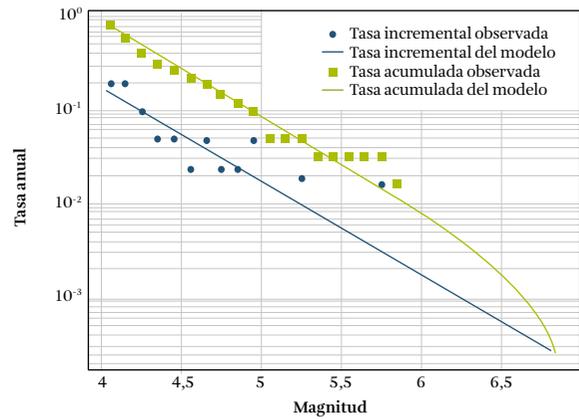


Figura E.9. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Panamá (p00)

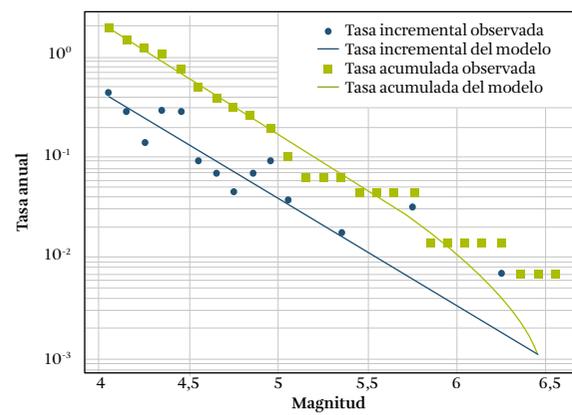


Figura E.7. Distribución de magnitud y frecuencia, fuente Caribe (c06)



Distribuciones de magnitud-frecuencia en fallas activas

En este anexo se presentan, para cada falla, las distribuciones de magnitud - frecuencia obtenidas.

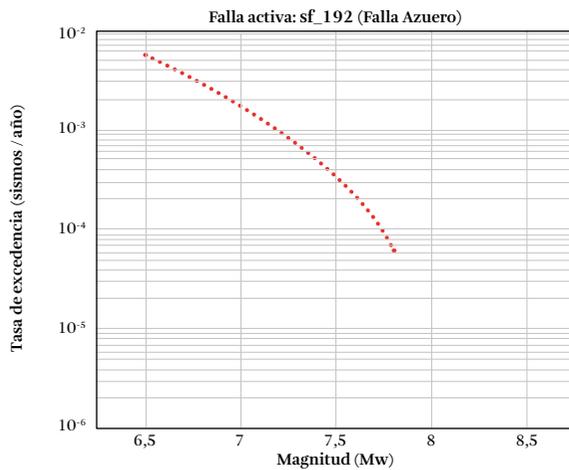


Figura F.1. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Azuero Fault (sf_192)

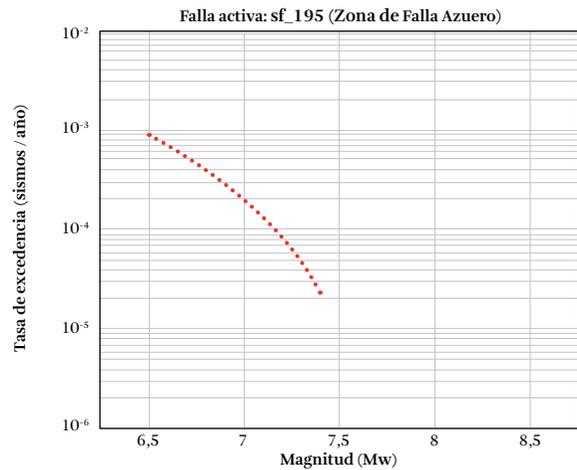


Figura F.3. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Azuero Fault Zone (sf_195)

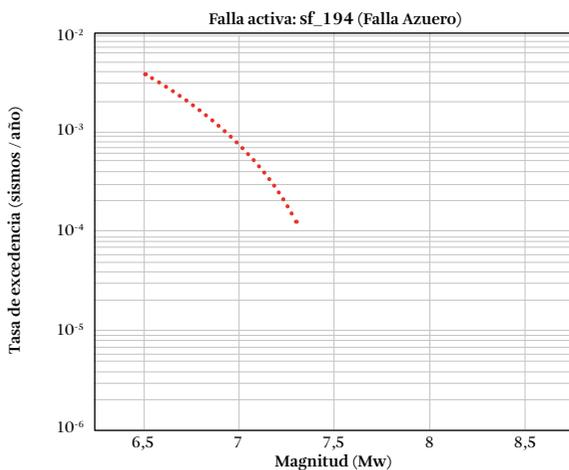


Figura F.2. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Azuero Fault (sf_194)

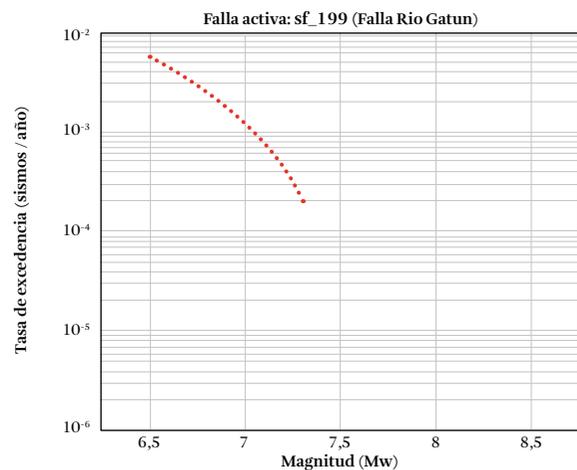


Figura F.4. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Rio Gatun Fault (sf_199)

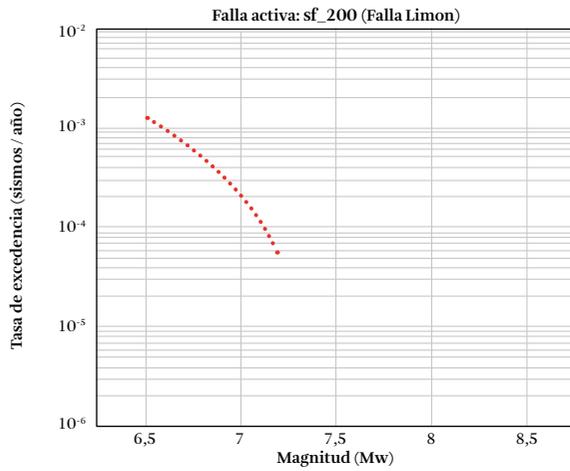


Figura F.5. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Limon Fault (sf_200)

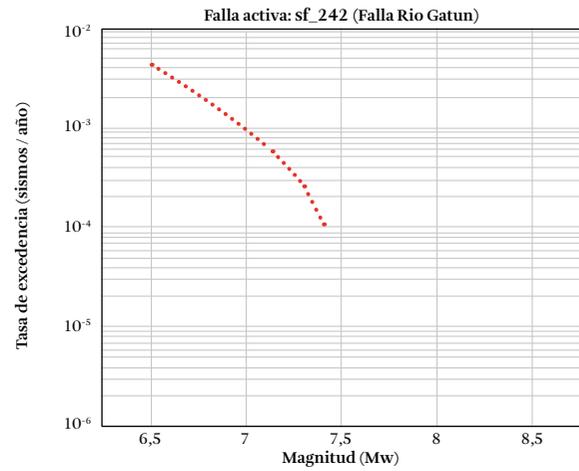


Figura F.8. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Rio Gatun Fault (sf_242)

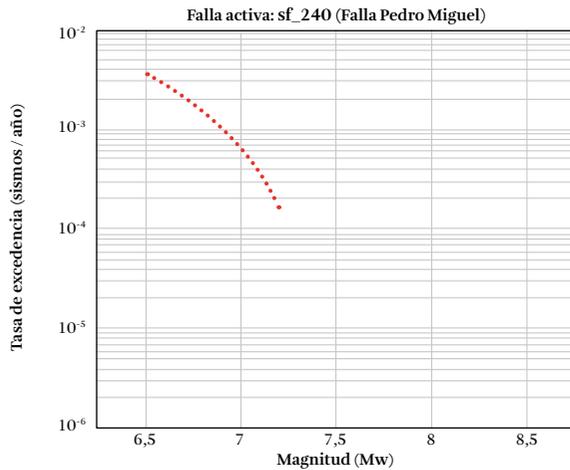


Figura F.6. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Pedro Miguel Fault (sf_240)

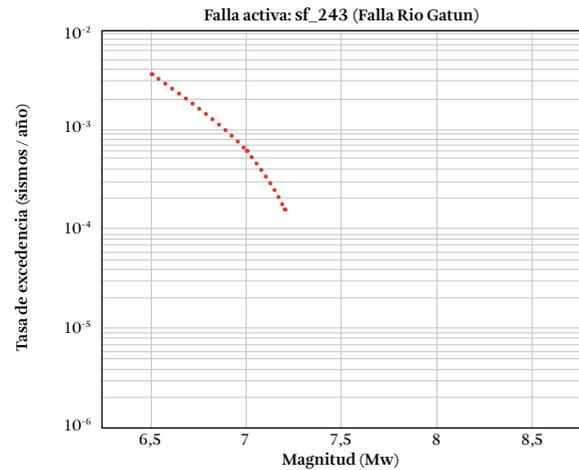


Figura F.9. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Rio Gatun Fault (sf_243)

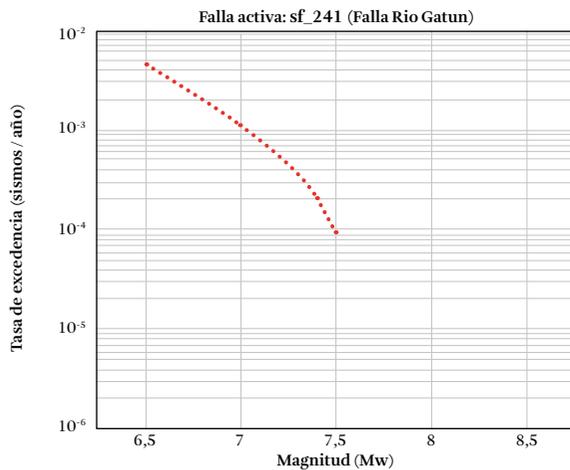


Figura F.7. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Rio Gatun Fault (sf_241)

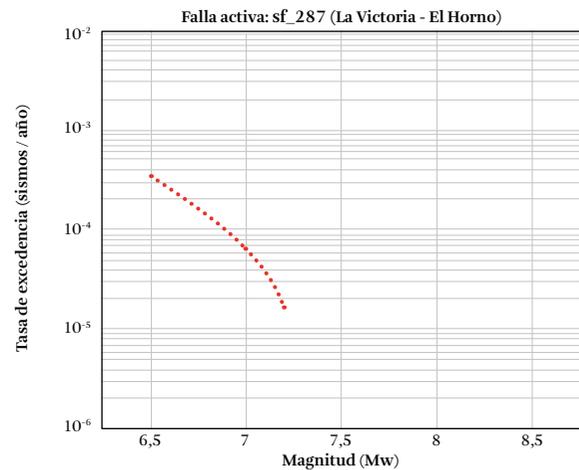


Figura F.10. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Victoria - El Horno (sf_287)

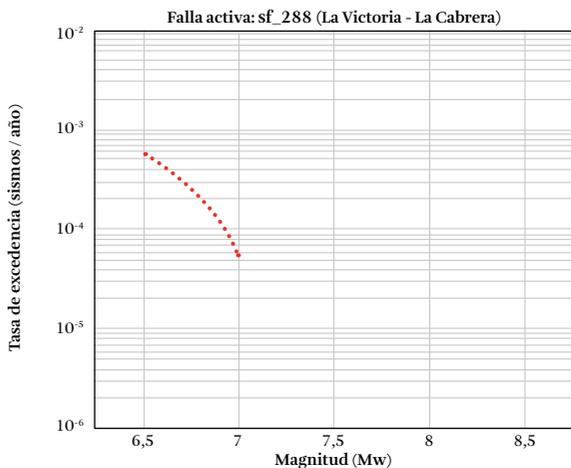


Figura F.11. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Victoria - La Cabrera (sf_288)

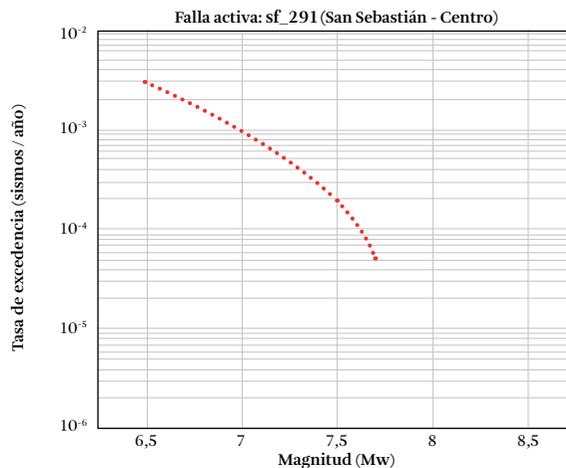


Figura F.14. Distribución de magnitud y frecuencia, falla San Sebastián - Centro (sf_291)

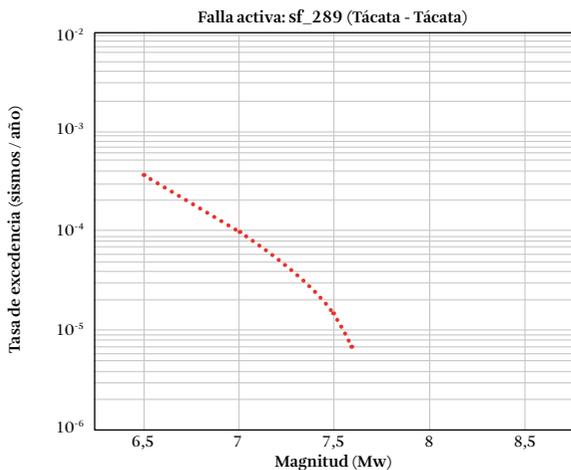


Figura F.12. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Tácata - Tácata (sf_289)

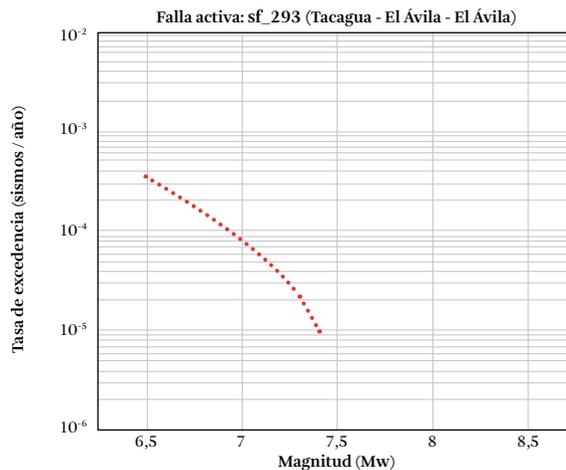


Figura F.15. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Tacagua - El Ávila - El Ávila (sf_293)

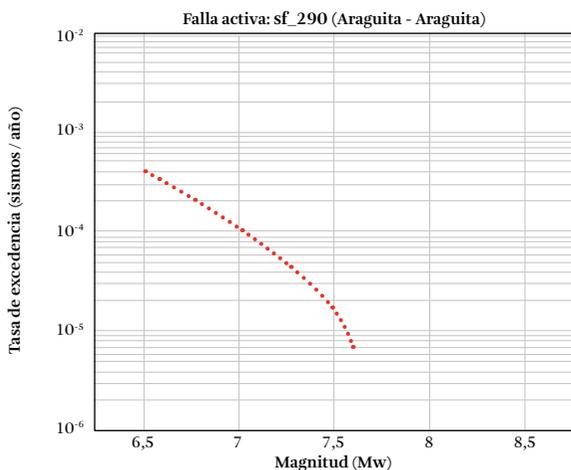


Figura F.13. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Araguita - Araguita (sf_290)

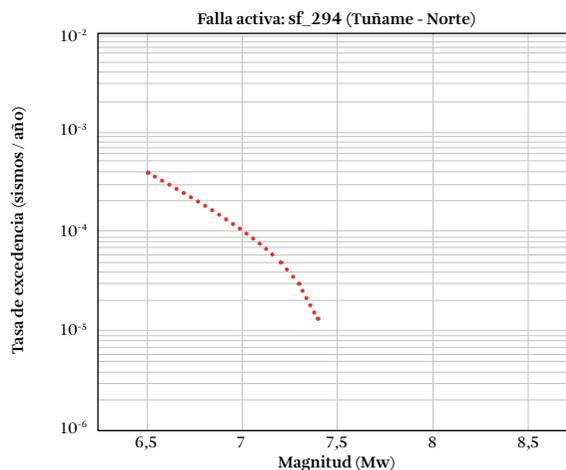


Figura F.16. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Tuñame - Norte (sf_294)

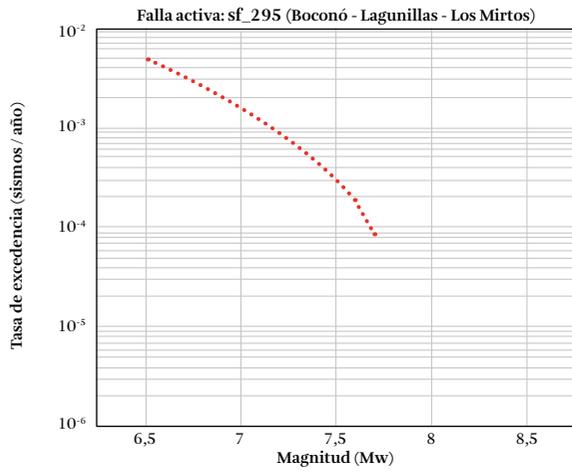


Figura F.17. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Boconó - Lagunillas - Los Mirtos (sf_295)

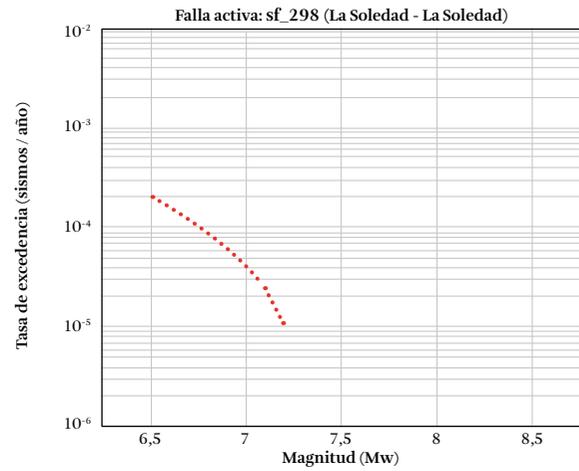


Figura F.20. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Soledad - La Soledad (sf_298)

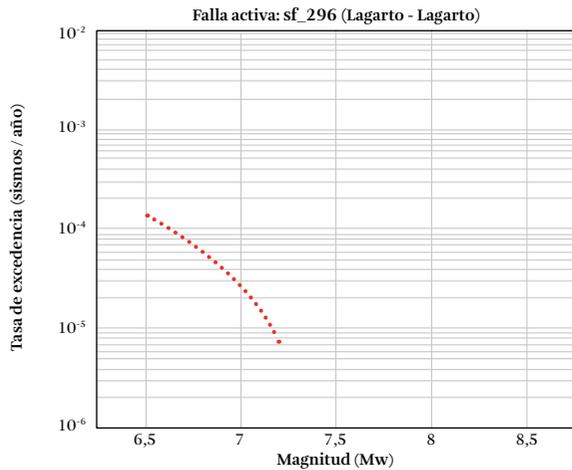


Figura F.18. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Lagarto - Lagarto (sf_296)

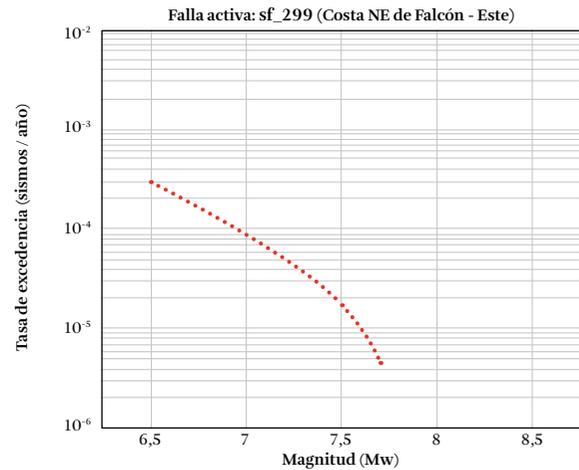


Figura F.21. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Costa NE de Falcón - Este (sf_299)

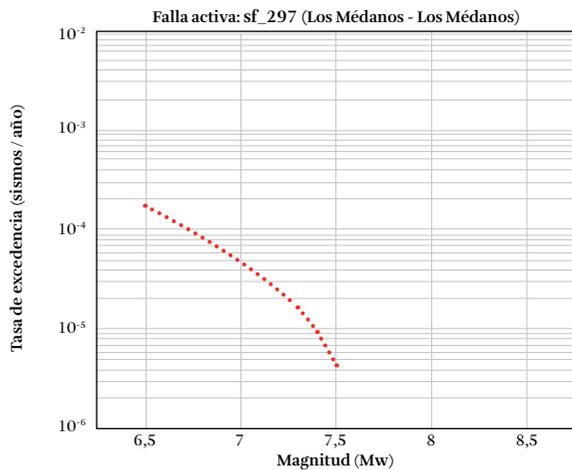


Figura F.19. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Los Médanos - Los Médanos (sf_297)

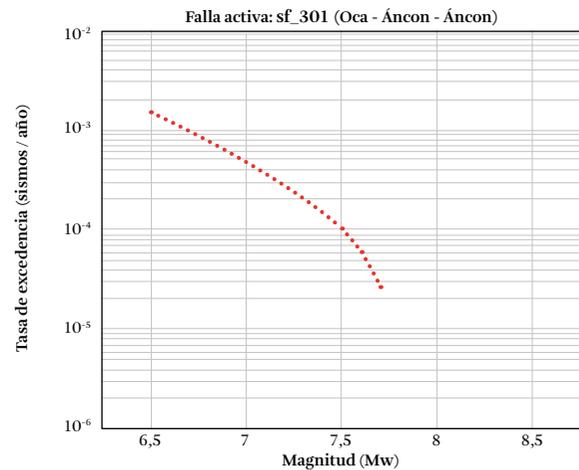


Figura F.22. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca - Ancón - Ancón (sf_301)

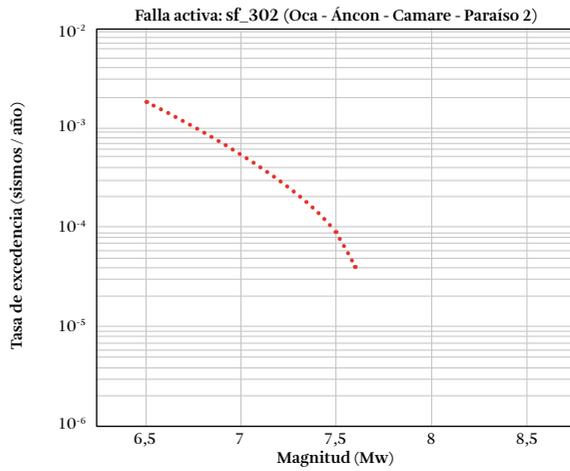


Figura F.23. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca - Ancón - Camare - Paraiso 2 (sf_302)

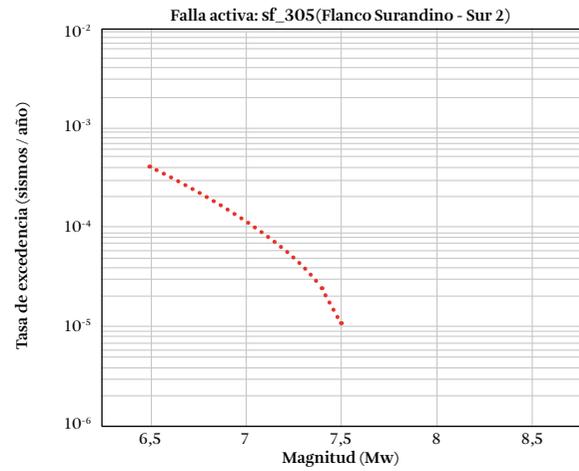


Figura F.26. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Surandino - Sur 2 (sf_305)

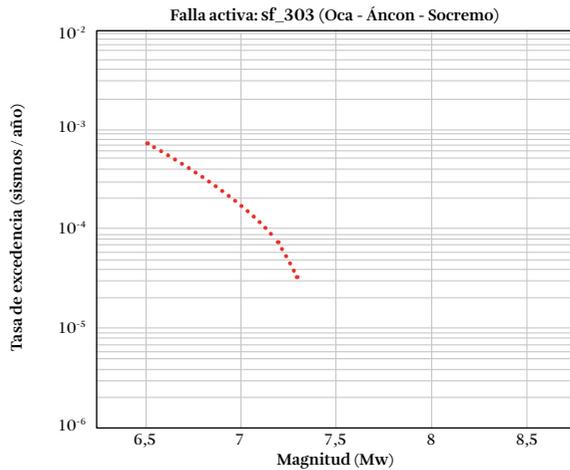


Figura F.24. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca - Ancón - Socremo (sf_303)

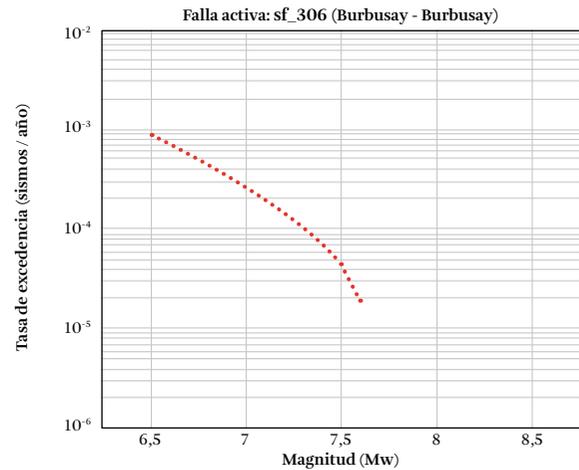


Figura F.27. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Burbusay - Burbusay (sf_306)

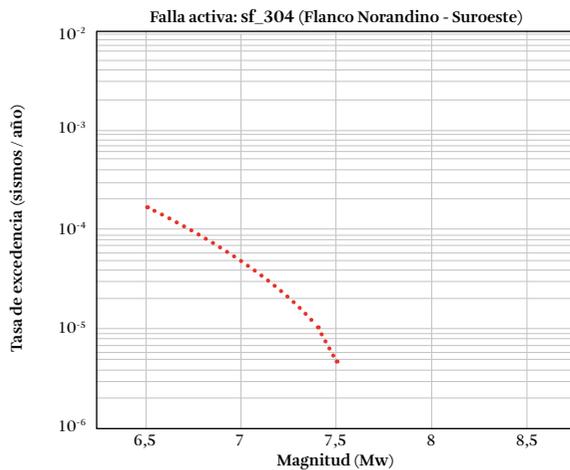


Figura F.25. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Norandino - Suroeste (sf_304)

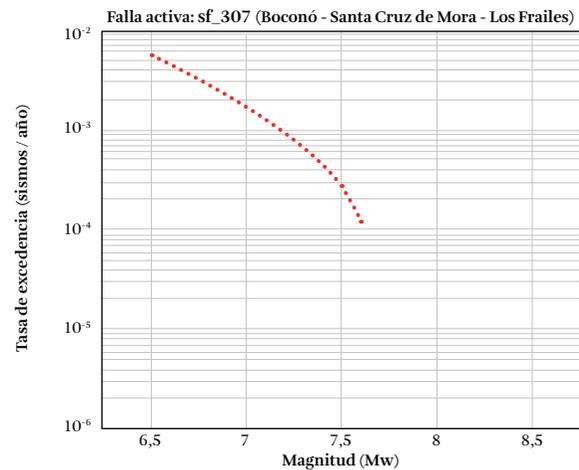


Figura F.28. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Boconó - Santa Cruz de Mora - Los Frailes (sf_307)

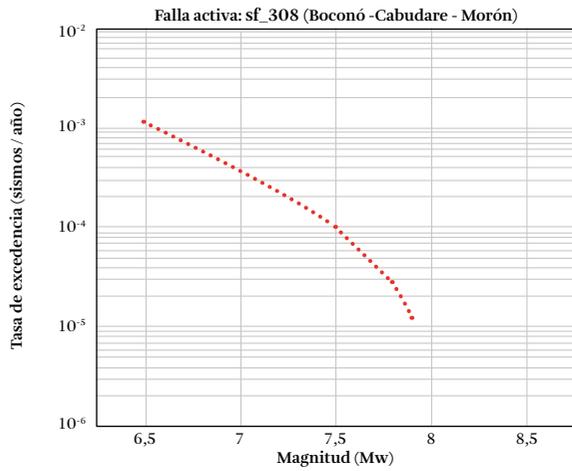


Figura F.29. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Boconó - Cabudare - Morón (sf_308)

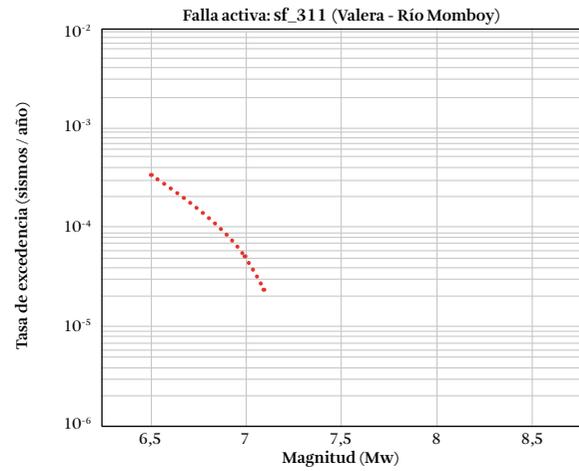


Figura F.32. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Valera - Río Momboy (sf_311)

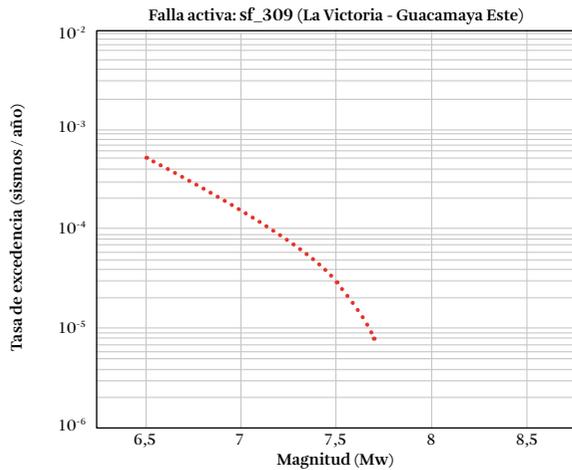


Figura F.30. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Victoria - Guacamaya Este (sf_309)

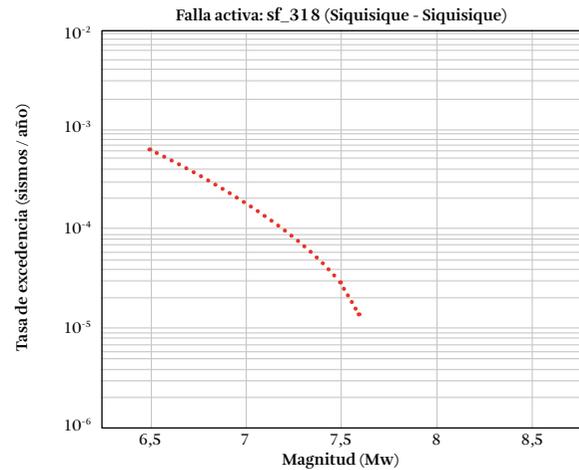


Figura F.33. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Siquisique - Siquisique (sf_318)

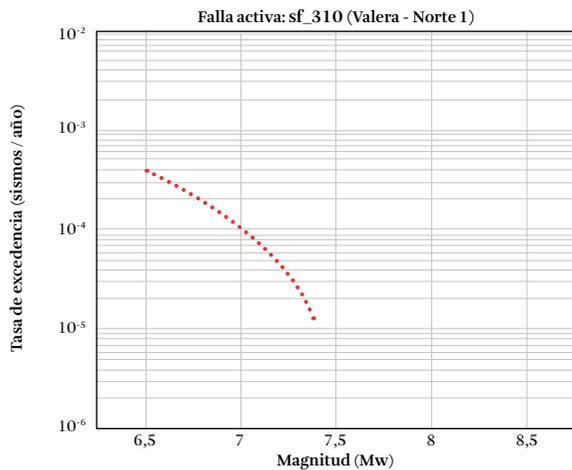


Figura F.31. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Valera - Norte 1 (sf_310)

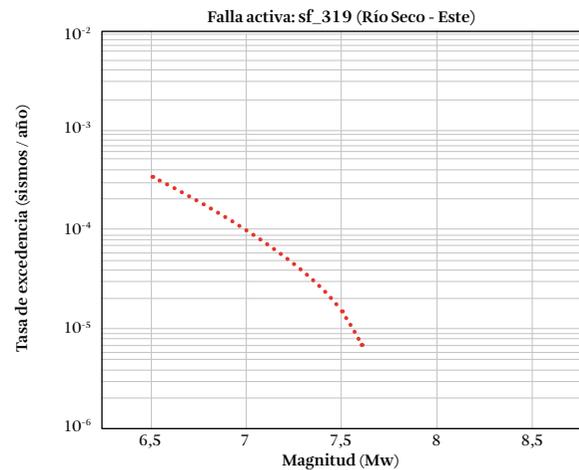


Figura F.34. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Río Seco - Este (sf_319)

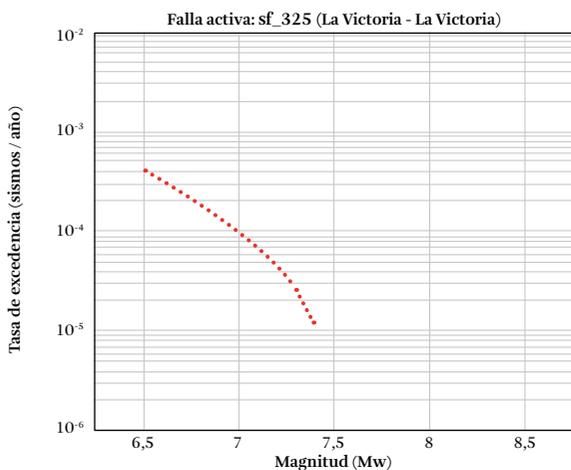


Figura F.35. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Victoria - La Victoria (sf_325)

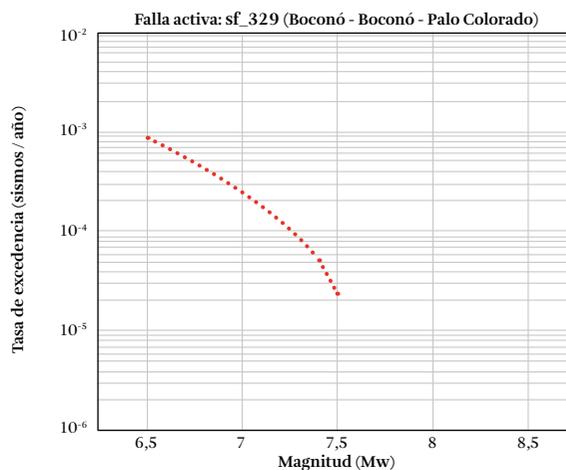


Figura F.38. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Boconó - Boconó - Palo Colorado (sf_329)

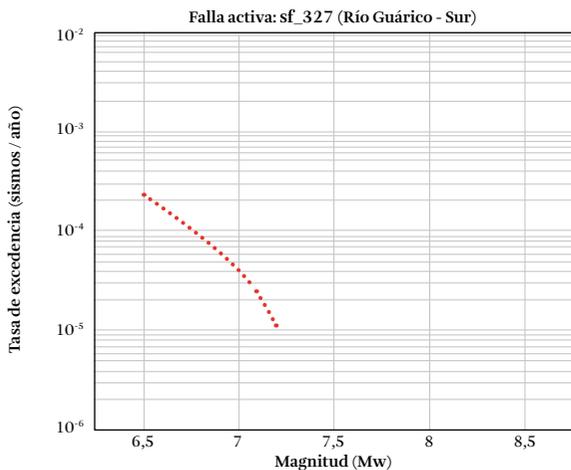


Figura F.36. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Río Guárico - Sur (sf_327)

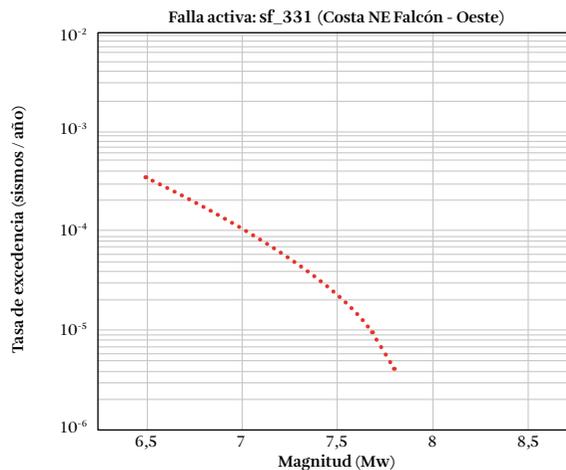


Figura F.39. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Costa NE de Falcón - Oeste (sf_331)

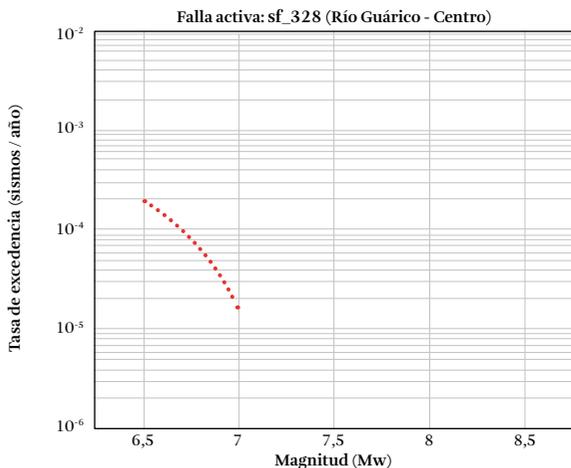


Figura F.37. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Río Guárico - Centro (sf_328)

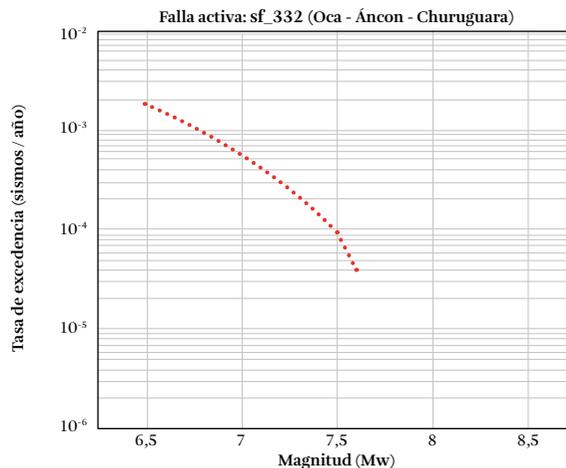


Figura F.40. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca - Ancón - Churuguara (sf_332)

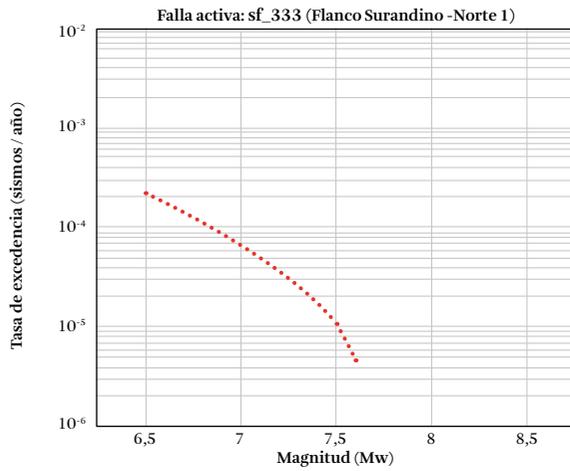


Figura F.41. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Surandino - Norte 1 (sf_333)

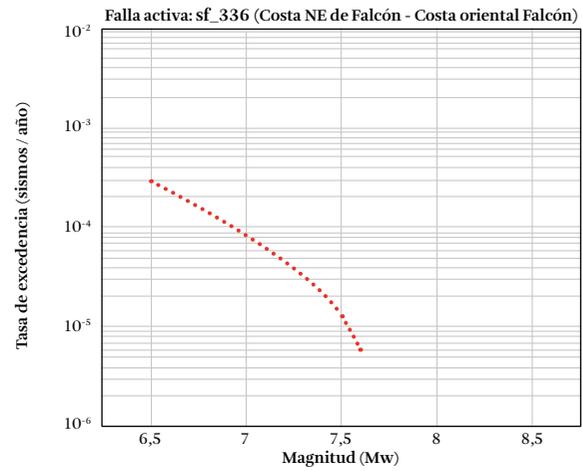


Figura F.44. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Costa NE de Falcón - Costa Oriental Falcón (sf_336)

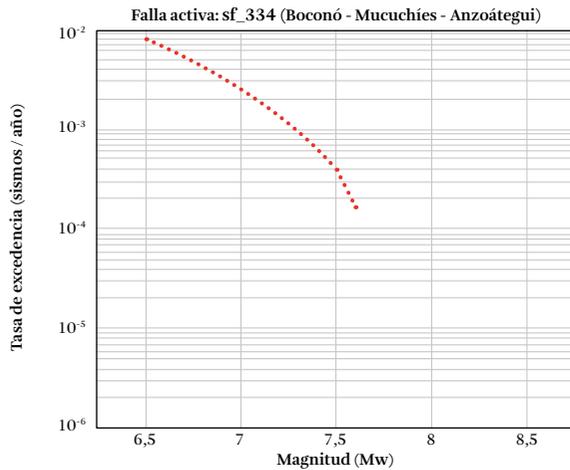


Figura F.42. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Boconó - Mucuchíes - Anzoátegui (sf_334)

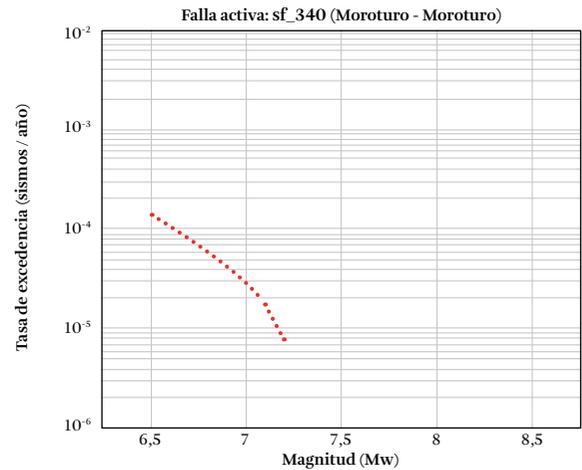


Figura F.45. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Moroturo - Moroturo (sf_340)

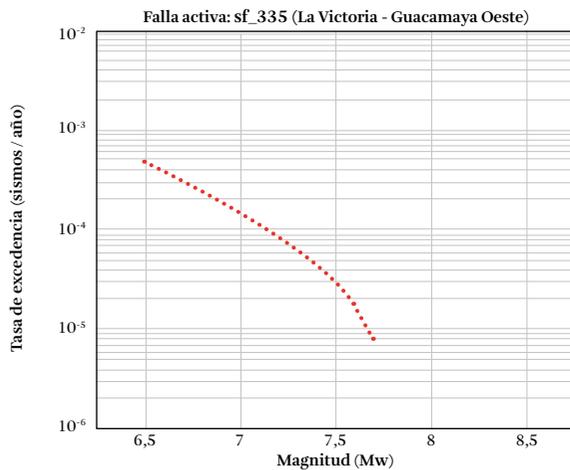


Figura F.43. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Victoria - Guacamaya Oeste (sf_335)

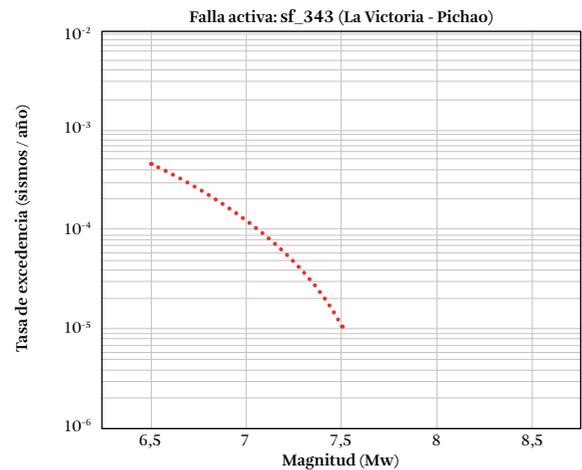


Figura F.46. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Victoria - Pichao (sf_343)

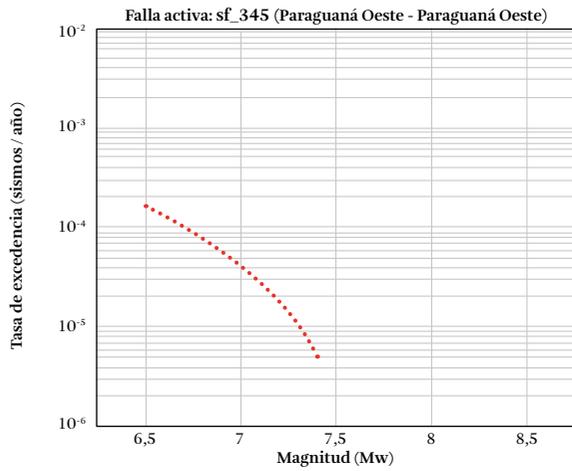


Figura F.47. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Paraguaná Oeste - Paraguaná Oeste (sf_345)

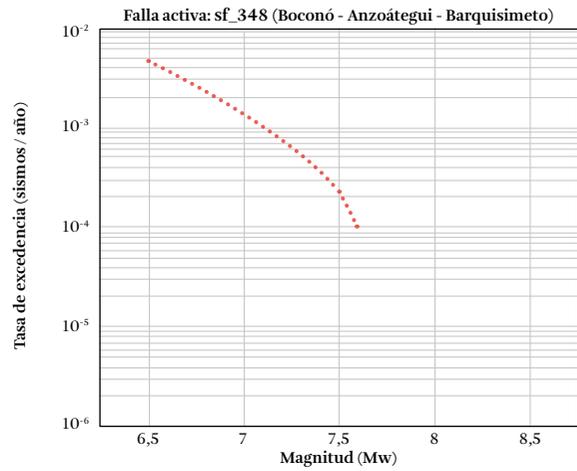


Figura F.50. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Boconó - Anzoátegui - Barquisimeto (sf_348)

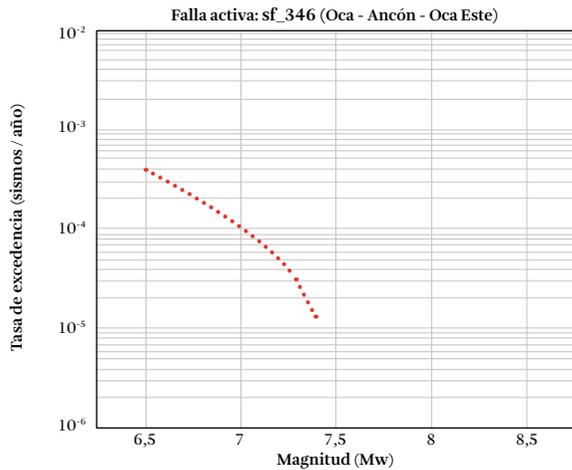


Figura F.48. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca - Ancón - Oca Este (sf_346)

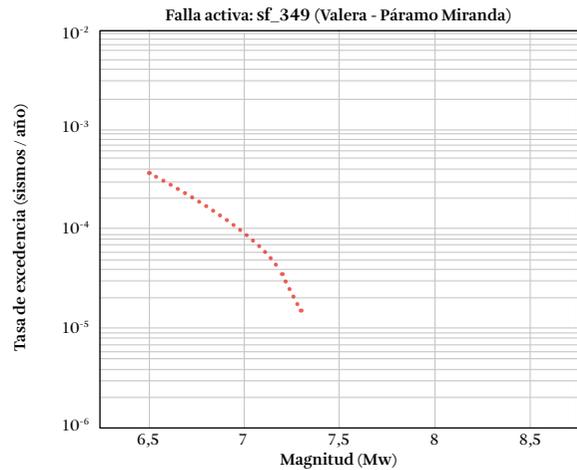


Figura F.51. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Valera - Páramo Miranda (sf_349)

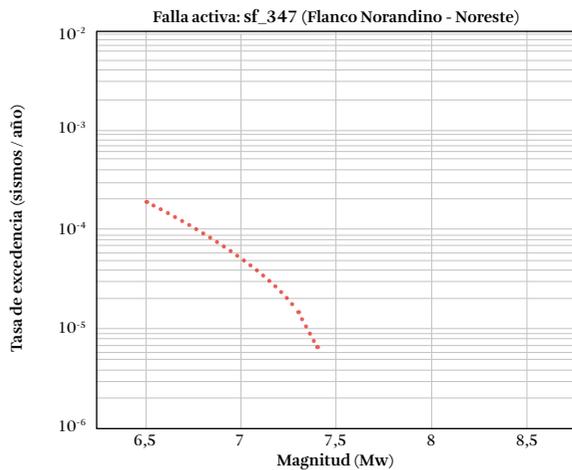


Figura F.49. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Norandino - Noreste (sf_347)

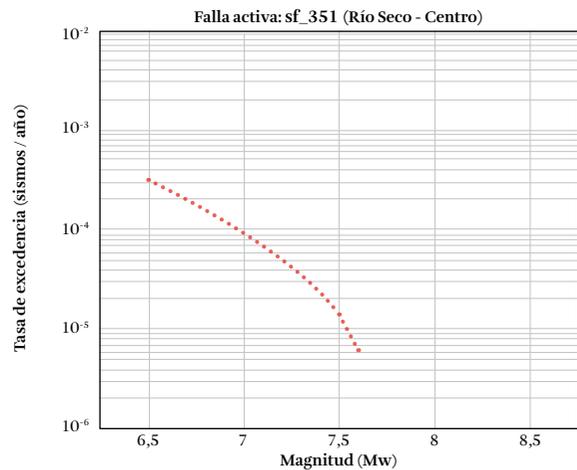


Figura F.52. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Río Seco - Centro (sf_351)

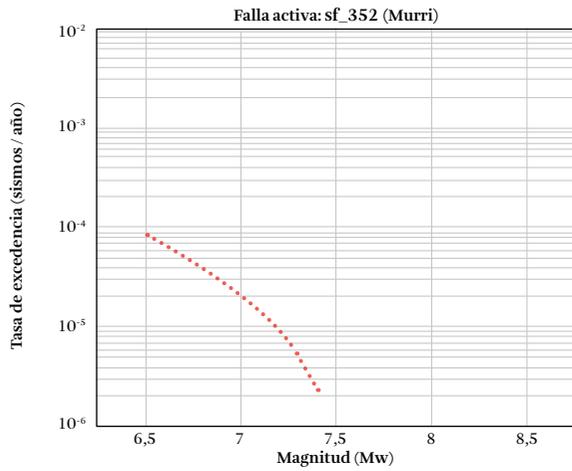


Figura F.53. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Murri (sf_352)

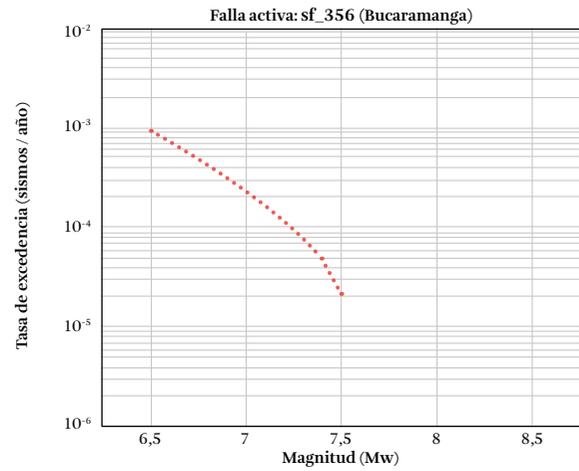


Figura F.56. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Bucaramanga (sf_356)

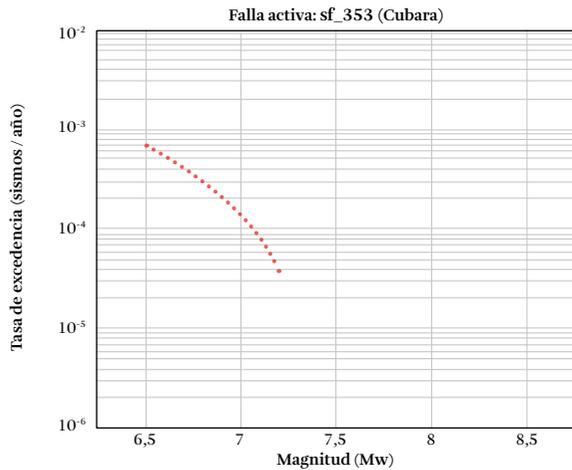


Figura F.54. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Cubara (sf_353)

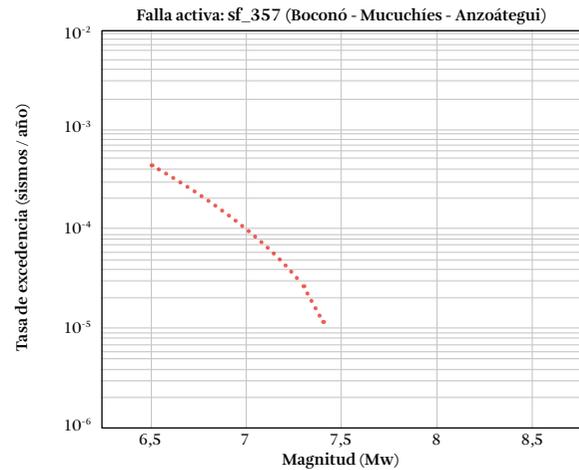


Figura F.57. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Tucurçá (sf_357)

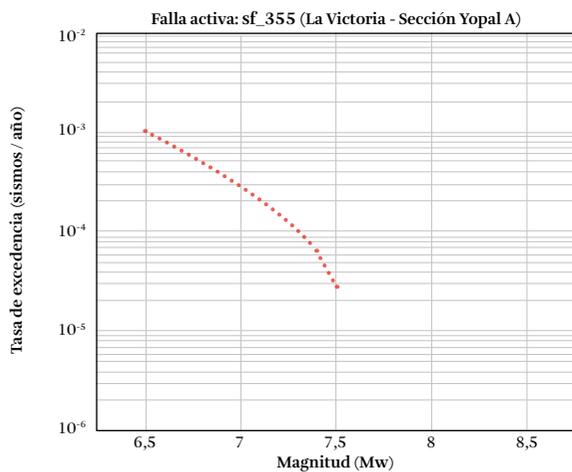


Figura F.55. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Yopal A (sf_355)

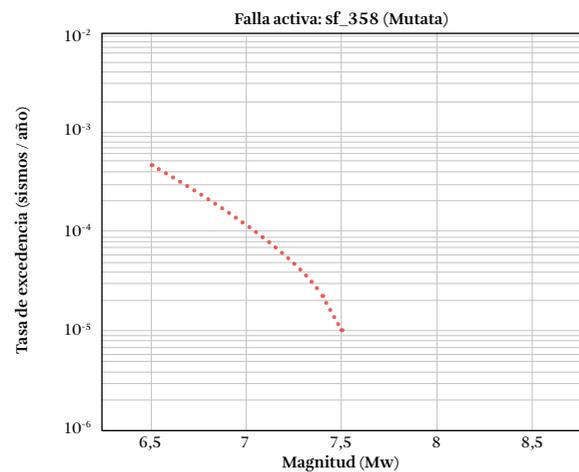


Figura F.58. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Mutata (sf_358)

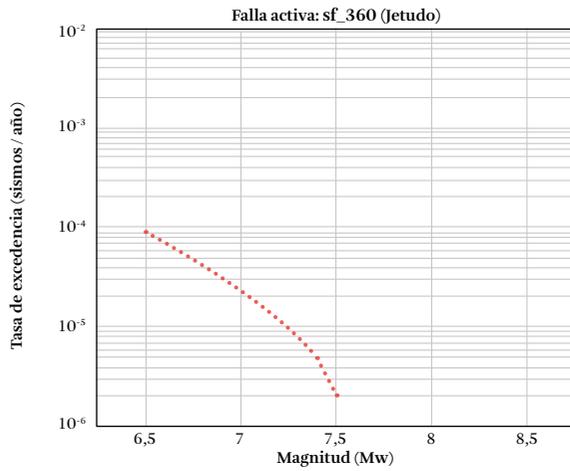


Figura F.59. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Jetudo (sf_360)

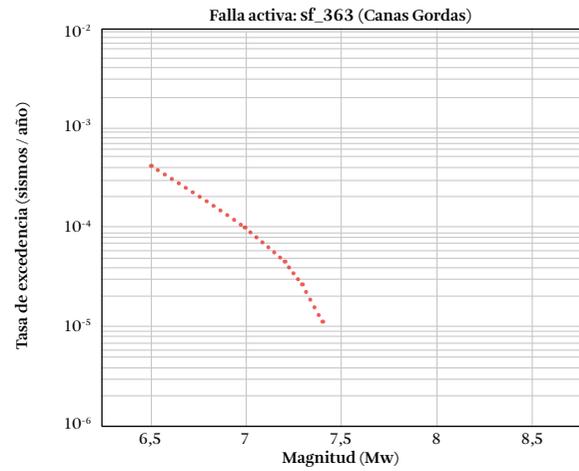


Figura F.62. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Cañas Gordas (sf_363)

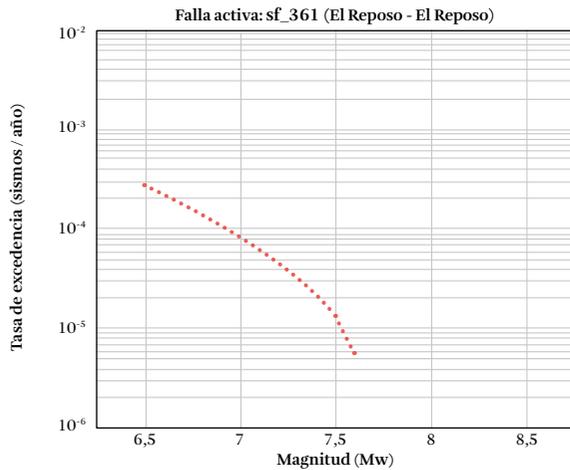


Figura F.60. Distribución de magnitud y frecuencia, falla El Reposo - El Reposo (sf_361)

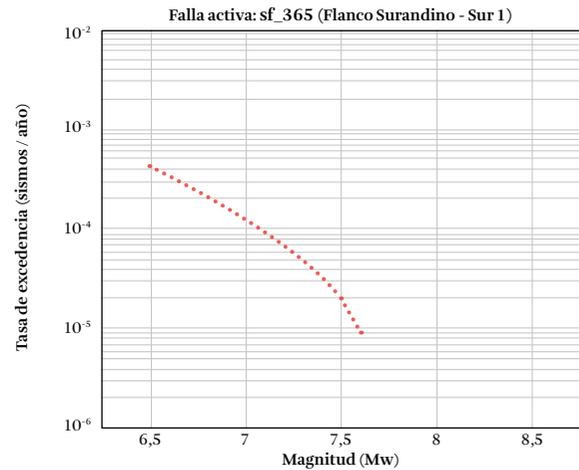


Figura F.63. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Surandino - Sur 1 (sf_365)

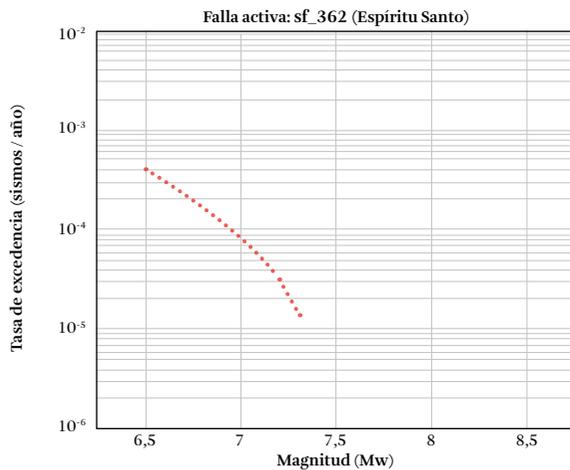


Figura F.61. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Espiritu Santo (sf_362)

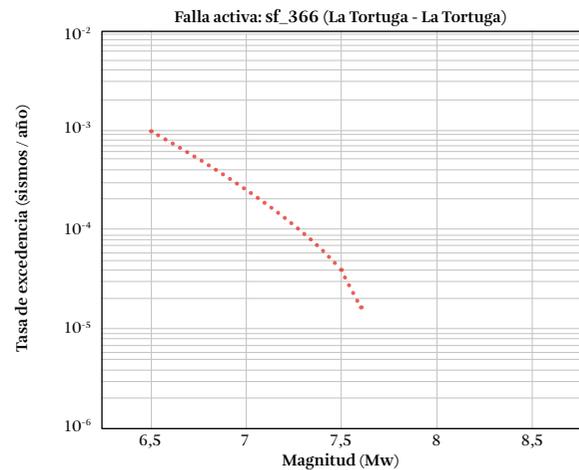


Figura F.64. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Tortuga - La Tortuga (sf_366)

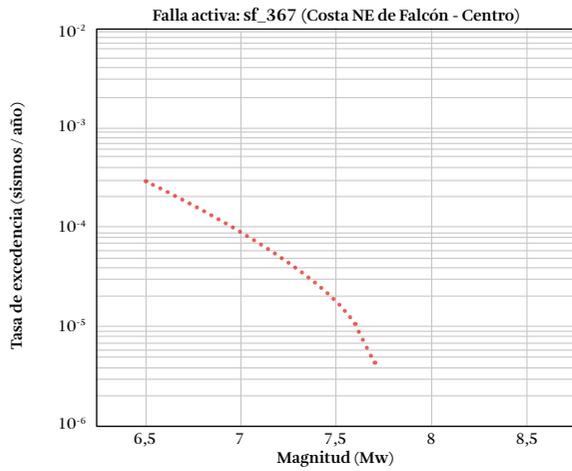


Figura F.65. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Costa NE de Falcón - Centro (sf_367)

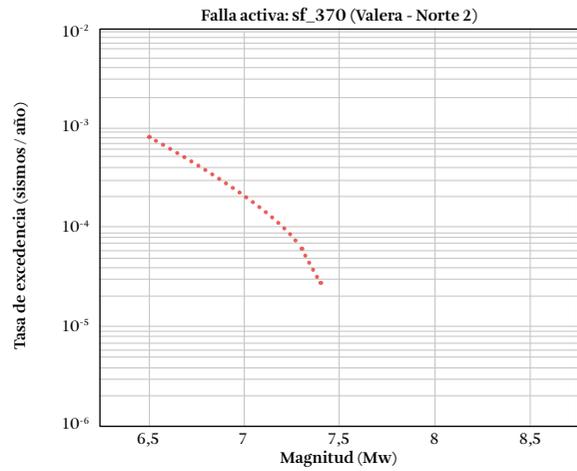


Figura F.68. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Valera - Norte 2 (sf_370)

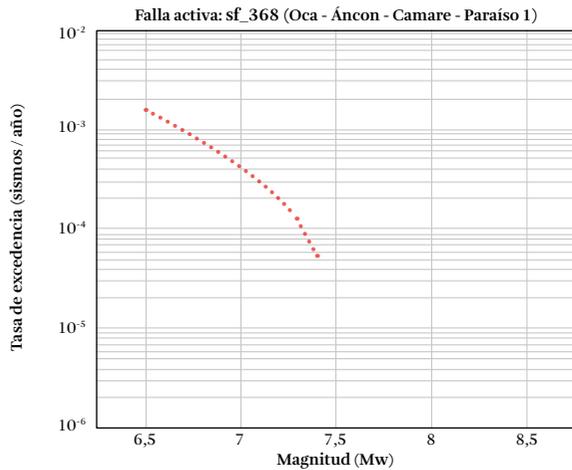


Figura F.66. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca - Ancón - Camare - Paraíso 1 (sf_368)

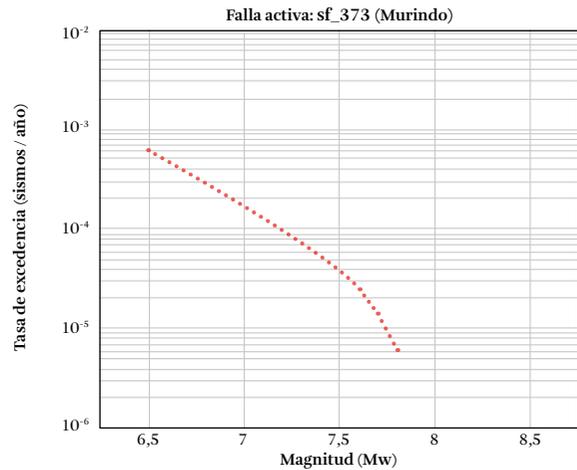


Figura F.69. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Murindo (sf_373)

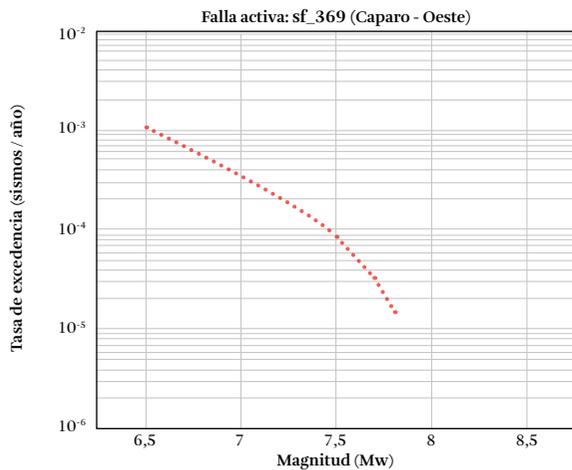


Figura F.67. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Caparo - Oeste (sf_369)

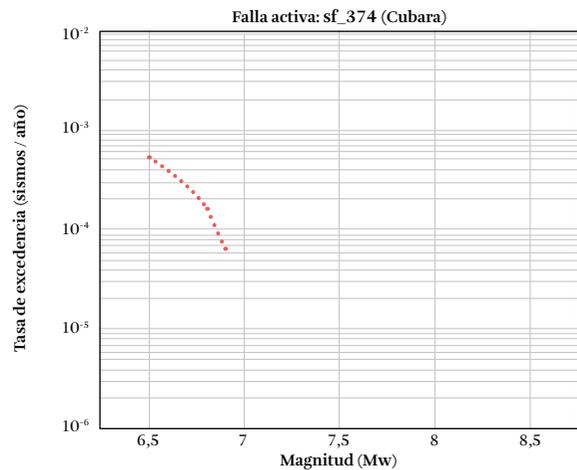


Figura F.70. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Cubara (sf_374)

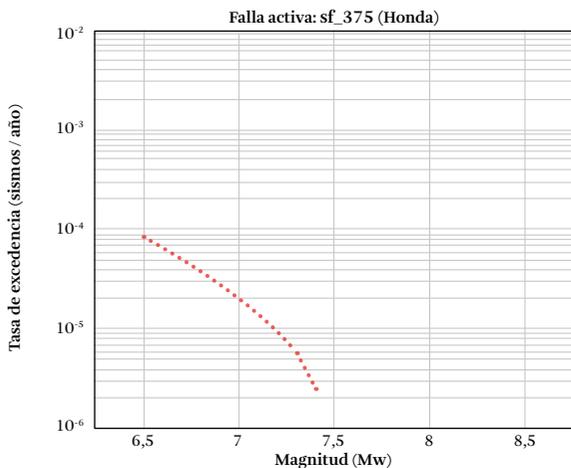


Figura F.71. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Honda (sf_375)

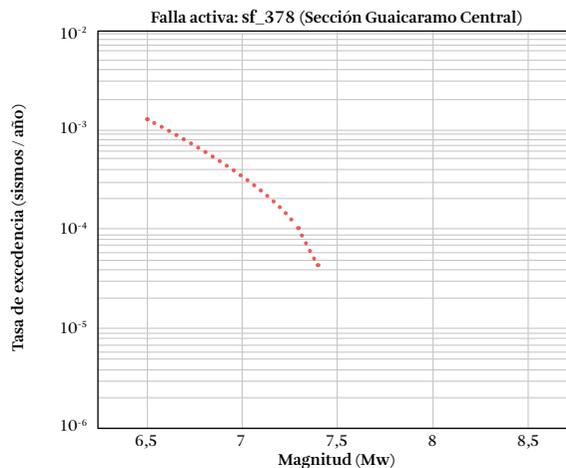


Figura F.74. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Guaicaramo Central (sf_378)

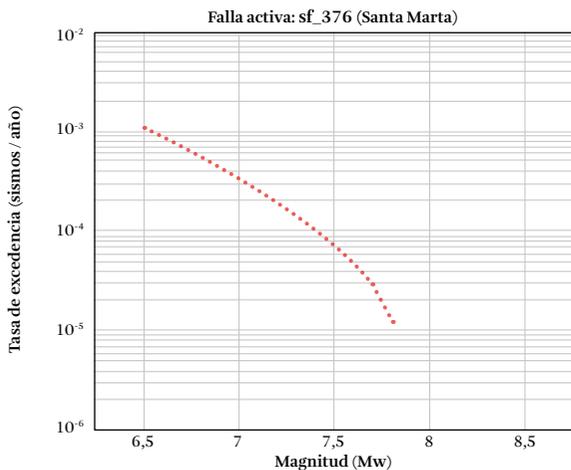


Figura F.72. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Santa Marta (sf_376)

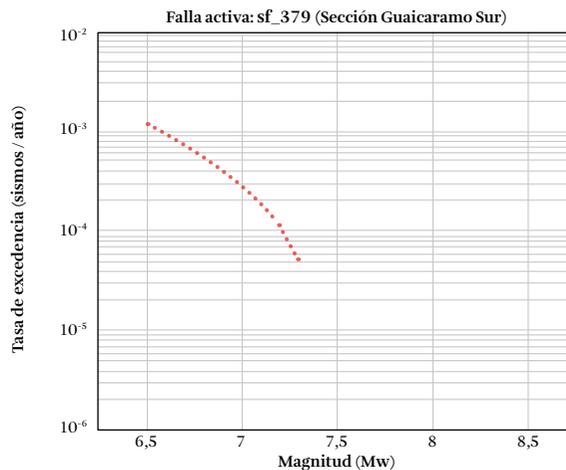


Figura F.75. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Guaicaramo Sur

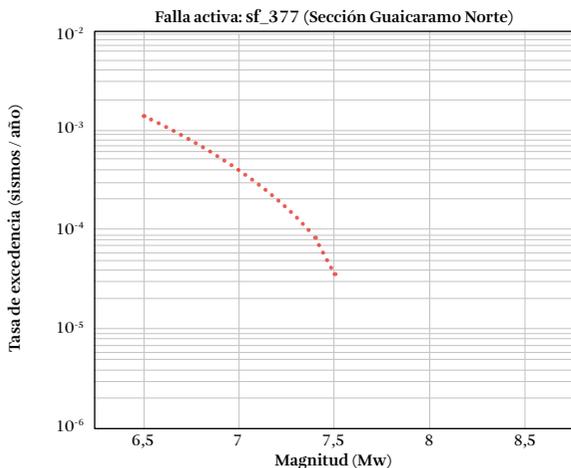


Figura F.73. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Guaicaramo Norte (sf_377)

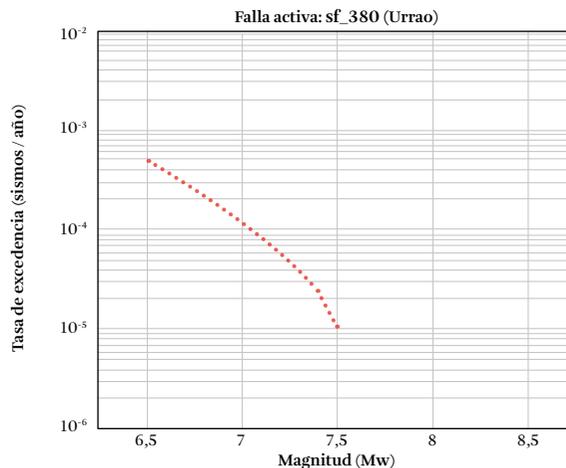


Figura F.76. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Urrao (sf_380)(sf_379)

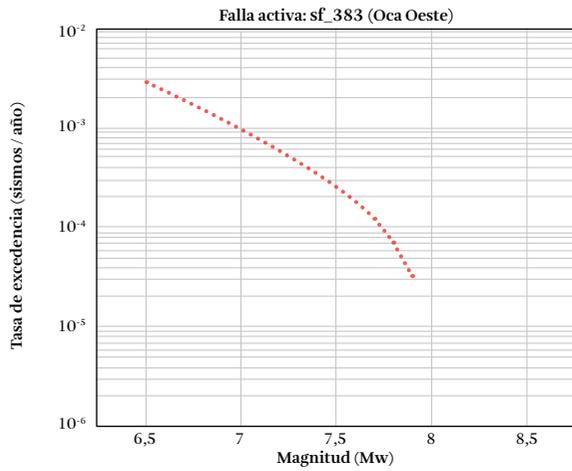


Figura F.77. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca Oeste (sf_383)

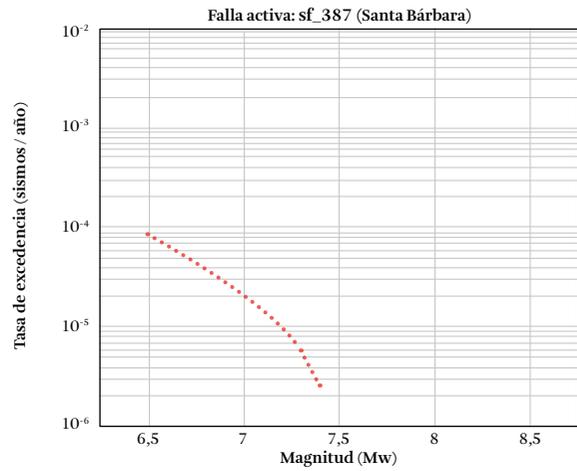


Figura F.80. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Santa Bárbara (sf_387)

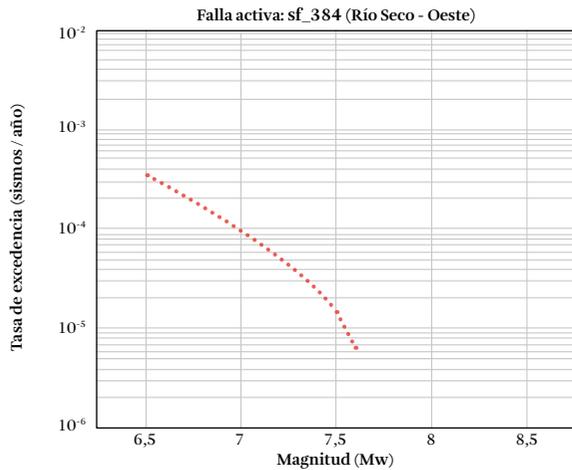


Figura F.78. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Río Seco - Oeste (sf_384)

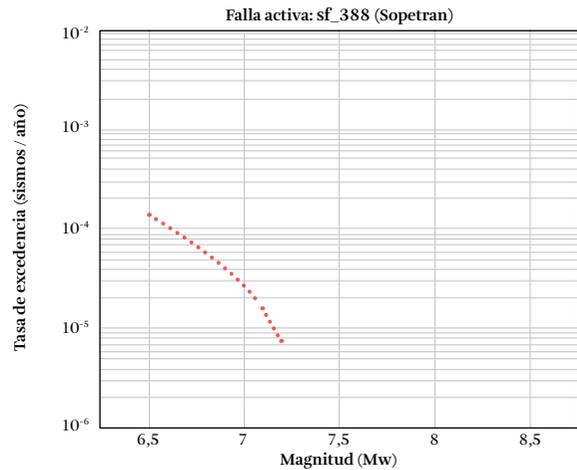


Figura F.81. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sopetran (sf_388)

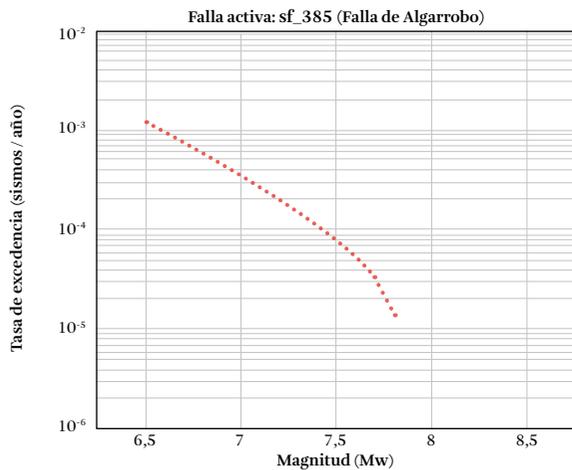


Figura F.79. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Falla de Algarrobo (sf_385)

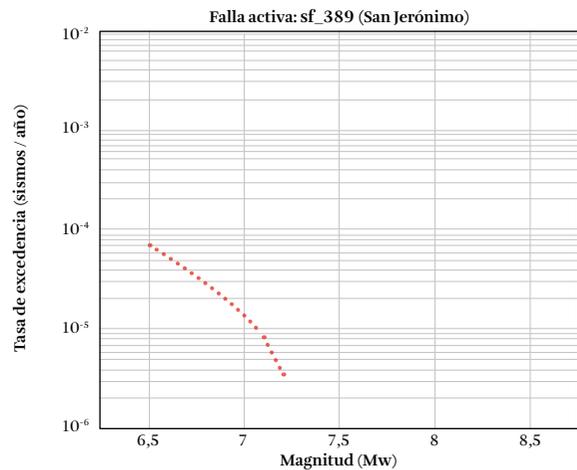


Figura F.82. Distribución de magnitud y frecuencia, falla San Jerónimo (sf_389)

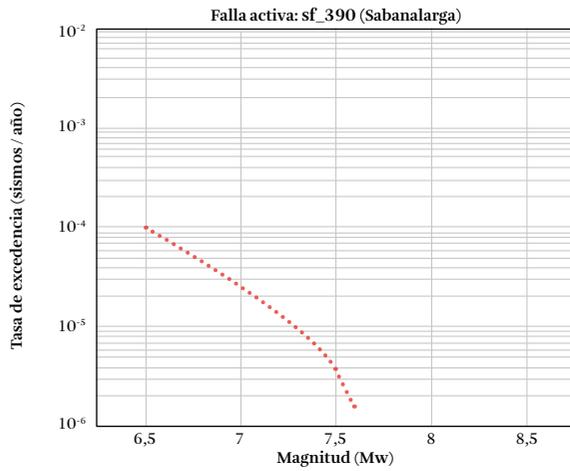


Figura F.83. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sabanalarga (sf_390)

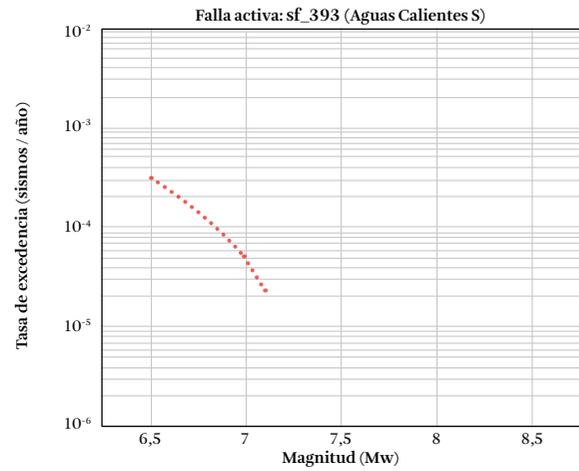


Figura F.86. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Aguas Calientes S (sf_393)

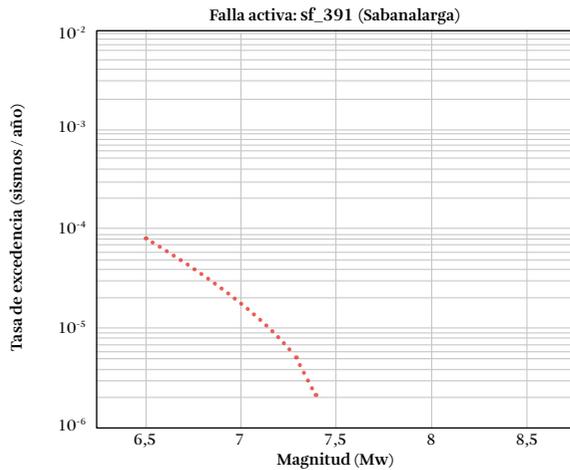


Figura F.84. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sabanalarga (sf_391)

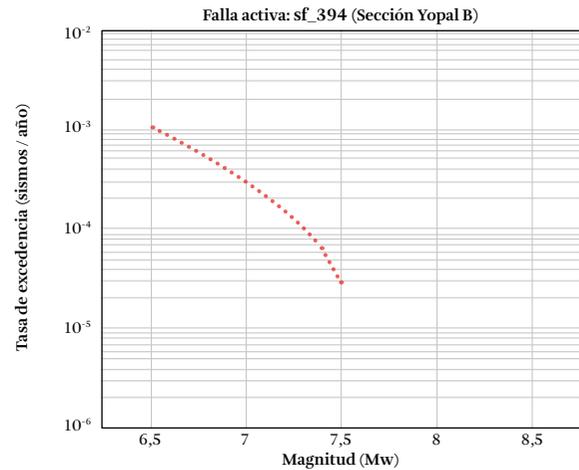


Figura F.87. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Yopal B (sf_394)

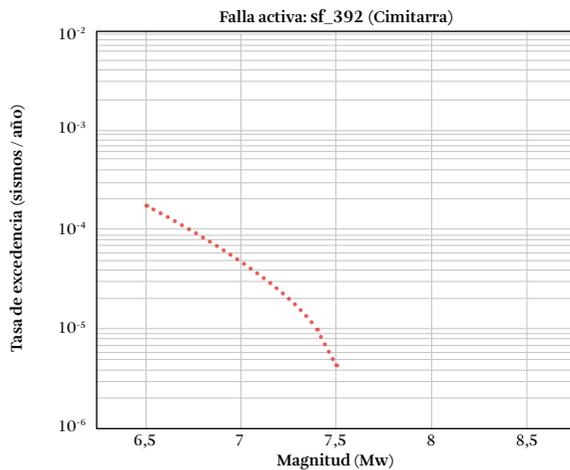


Figura F.85. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Cimitarra (sf_392)

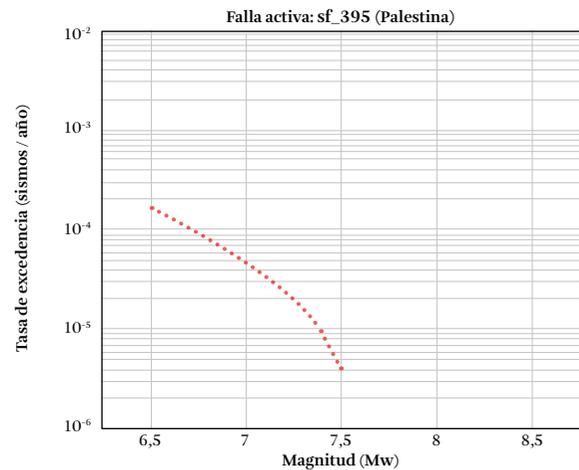


Figura F.88. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_395)

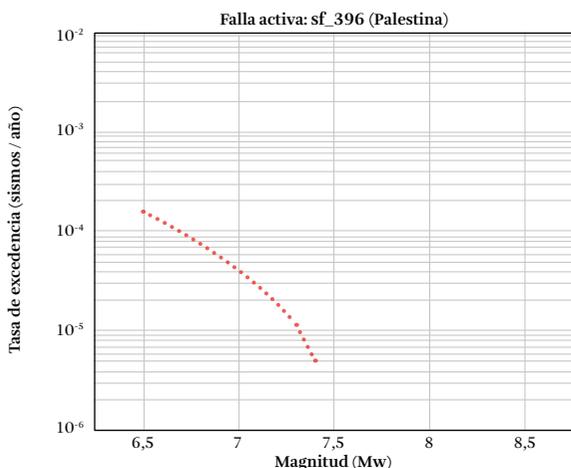


Figura F.89. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_396)

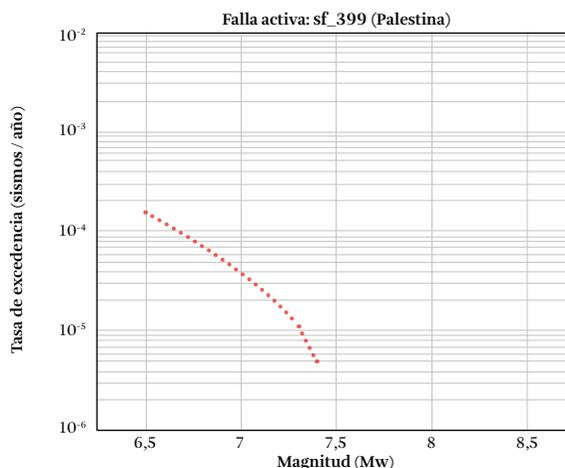


Figura F.92. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_399)

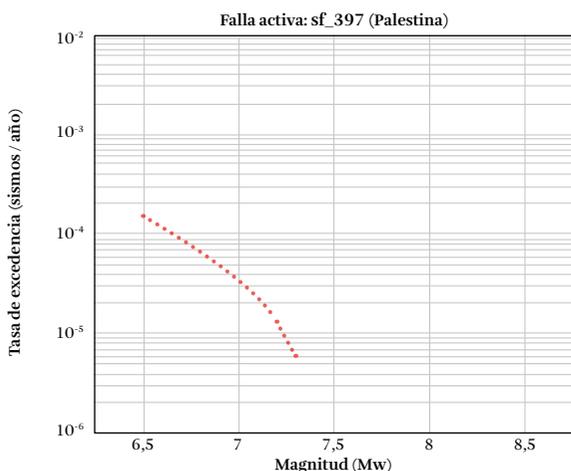


Figura F.90. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_397)

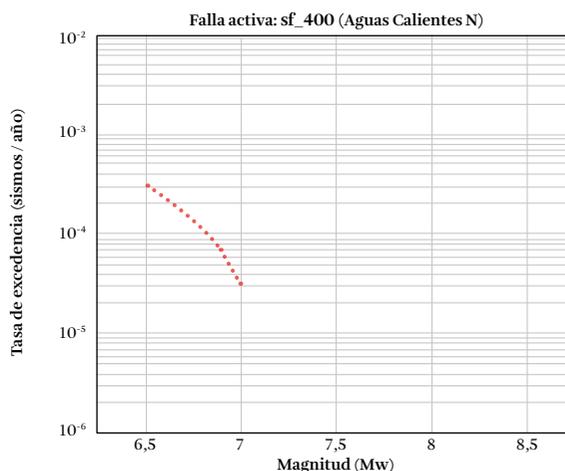


Figura F.93. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Aguas Calientes N (sf_400)

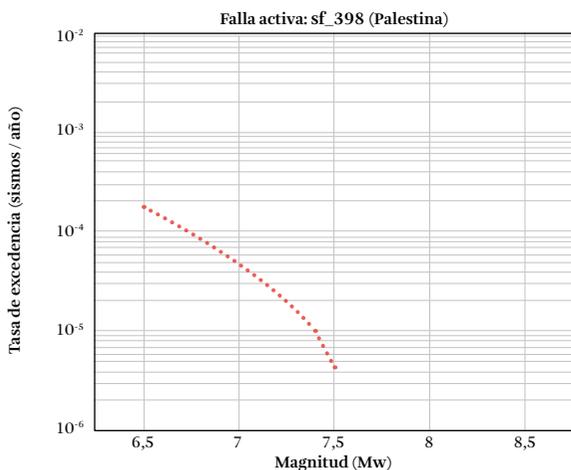


Figura F.91. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_398)

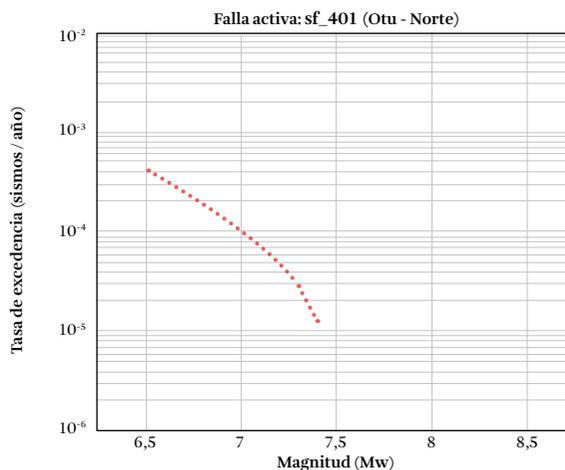


Figura F.94. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Otu-Norte (sf_401)

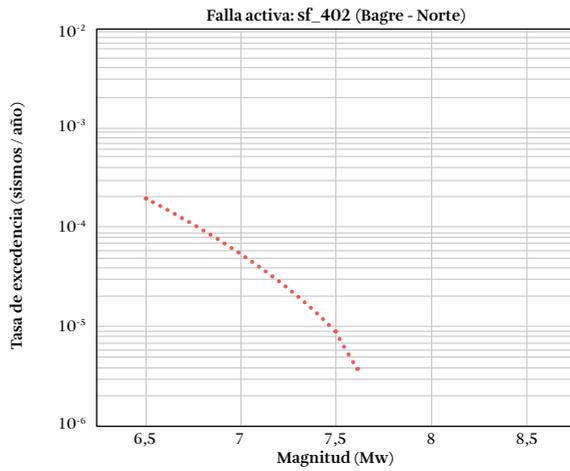


Figura F.95. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Bagre-Norte (sf_402)

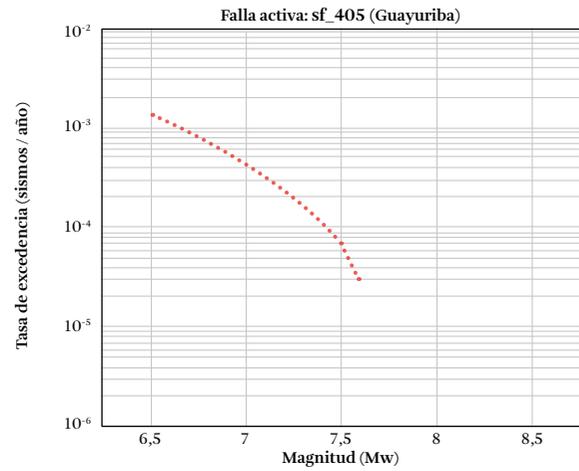


Figura F.98. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Guayuriba (sf_405)

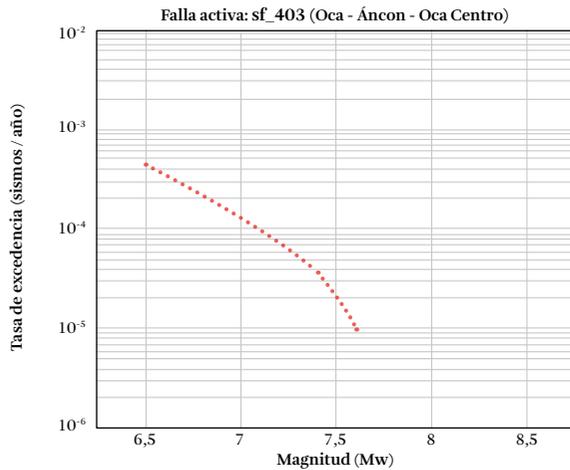


Figura F.96. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Oca - Ancón - Oca Centro (sf_403)

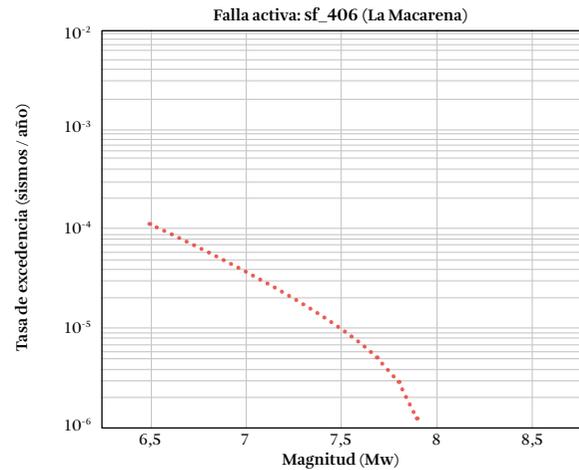


Figura F.99. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Macarena (sf_406)

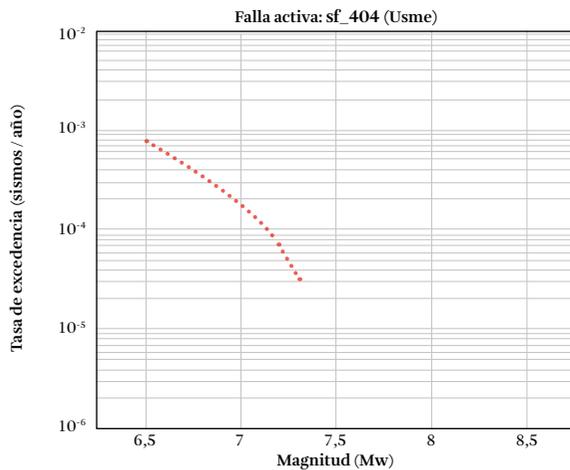


Figura F.97. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Usme (sf_404)

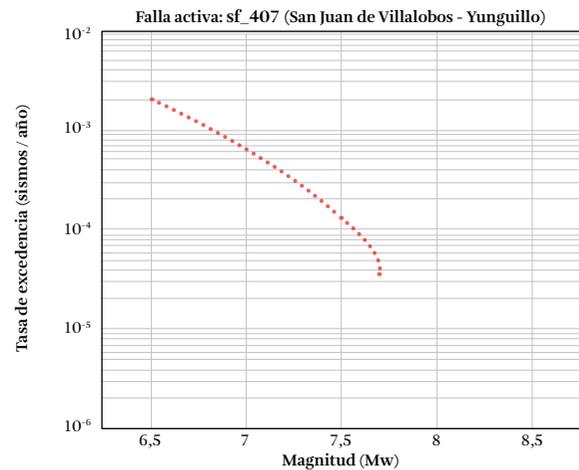


Figura F.100. Distribución de magnitud y frecuencia, falla San Juan de Villalobos-Yunguillo (sf_407)

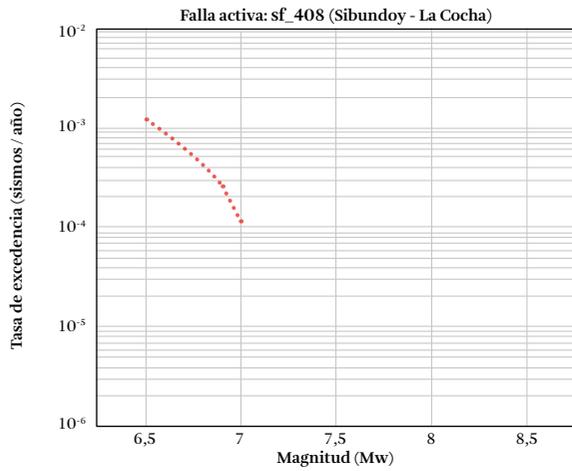


Figura F.101. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sibundoy-La Cocha (sf_408)

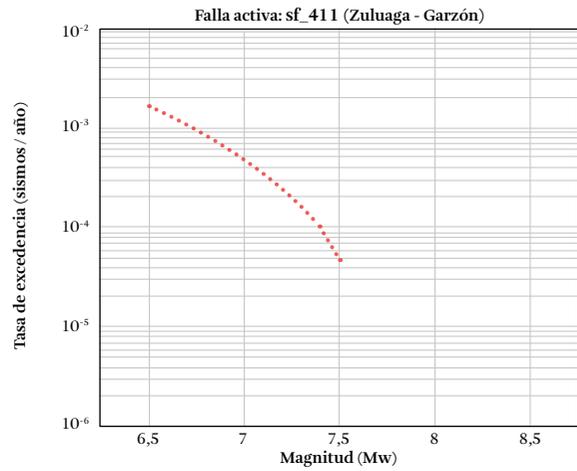


Figura F.104. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Zuluaga-Garzon (sf_411)

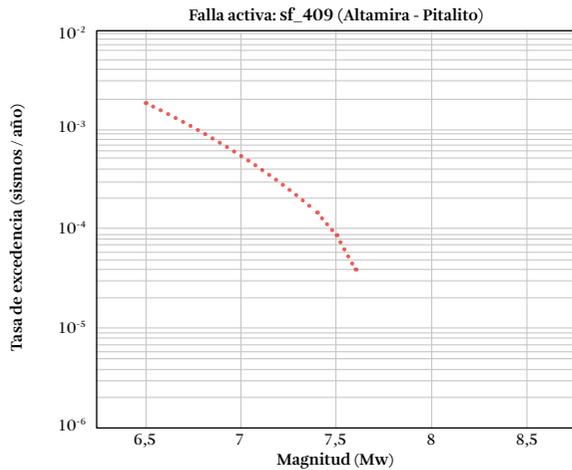


Figura F.102. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Altamira - Pitalito (sf_409)

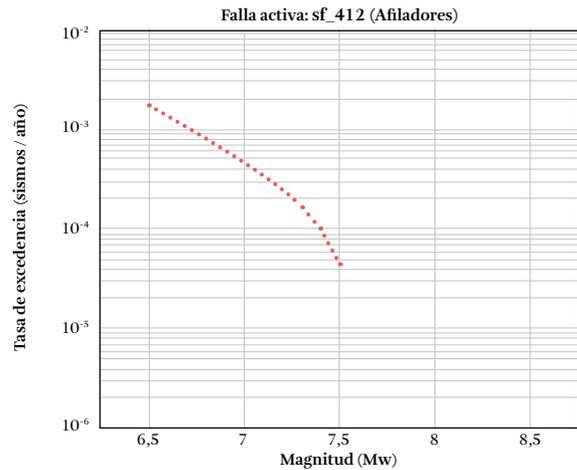


Figura F.105. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Afiladores (sf_412)

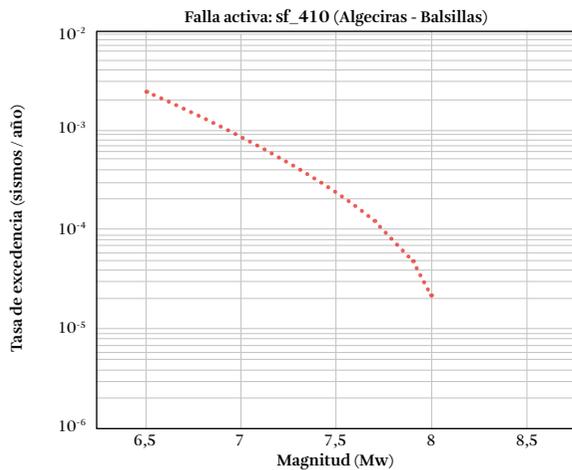


Figura F.103. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Algeciras-Balsillas (sf_410)

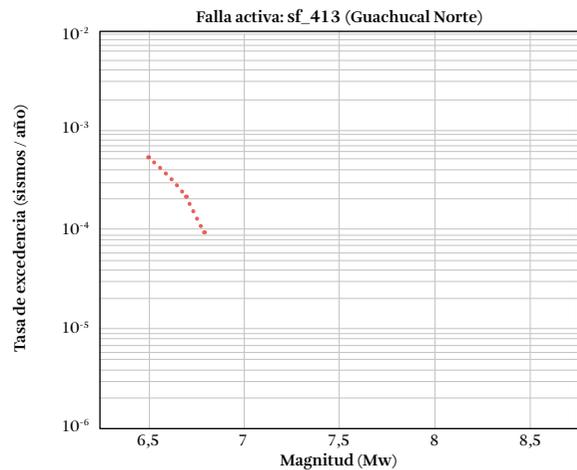


Figura F.106. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Guachucal Norte (sf_413)

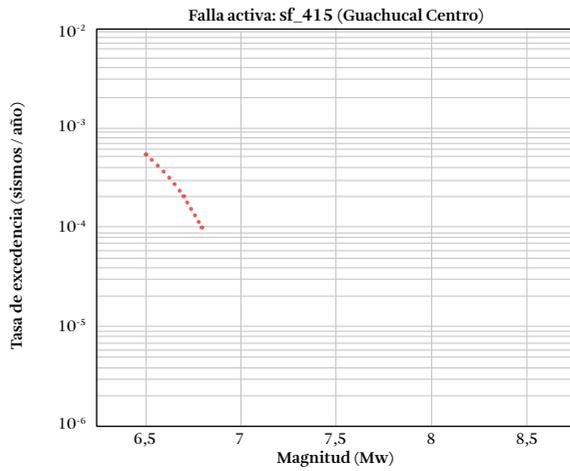


Figura F.107. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Guachucal Centro (sf_415)

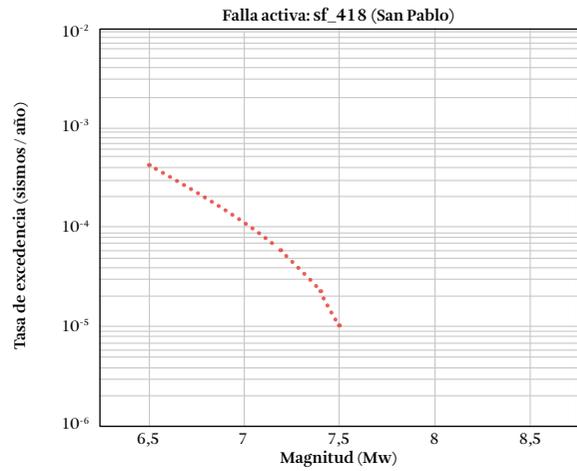


Figura F.110. Distribución de magnitud y frecuencia, falla San Pablo (sf_418)

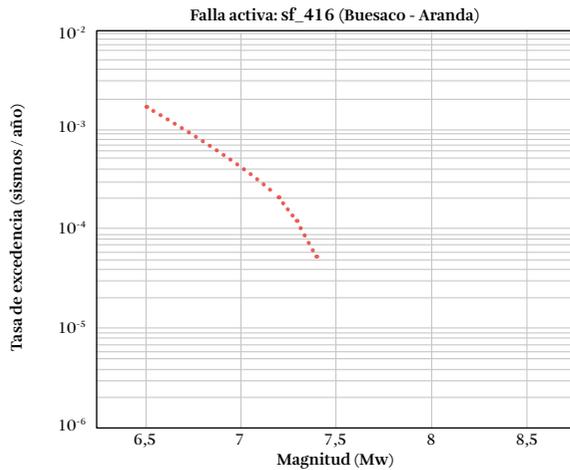


Figura F.108. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Buesaco-Aranda (sf_416)

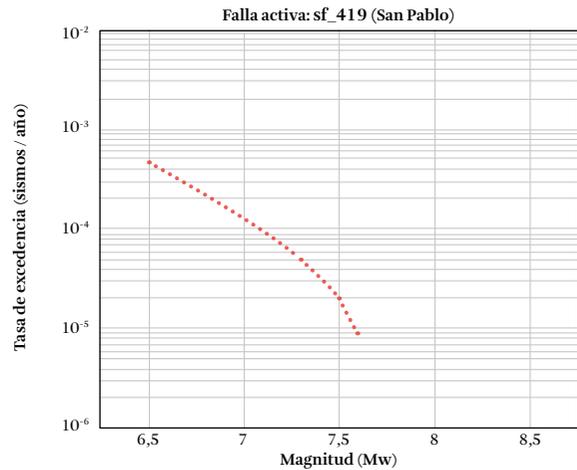


Figura F.111. Distribución de magnitud y frecuencia, falla San Pablo (sf_419)

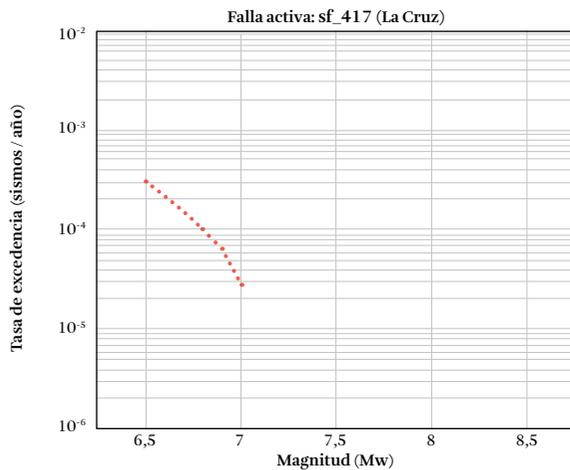


Figura F.109. Distribución de magnitud y frecuencia, falla La Cruz (sf_417)

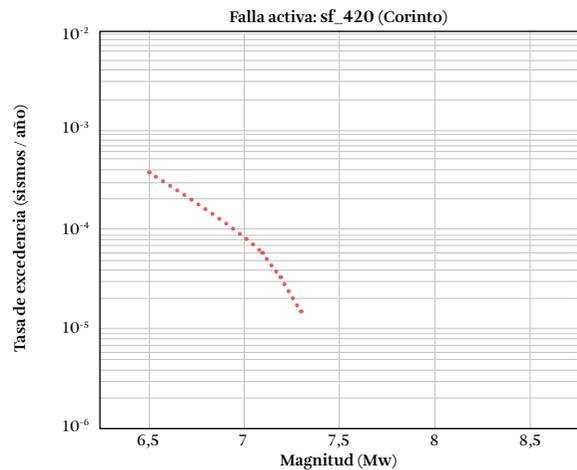


Figura F.112. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Corinto (sf_420)

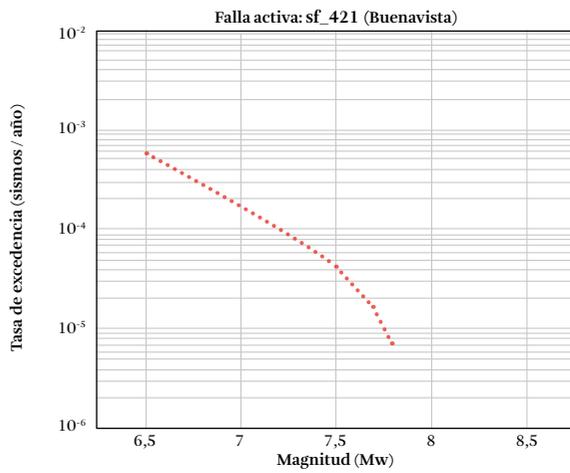


Figura F.113. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Buenavista (sf_421)

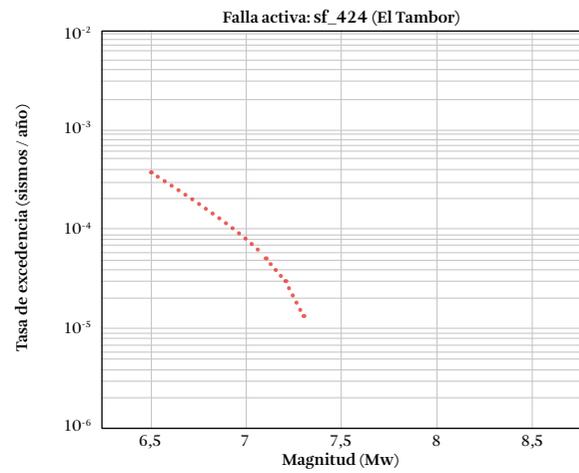


Figura F.116. Distribución de magnitud y frecuencia, falla El Tambor (sf_424)

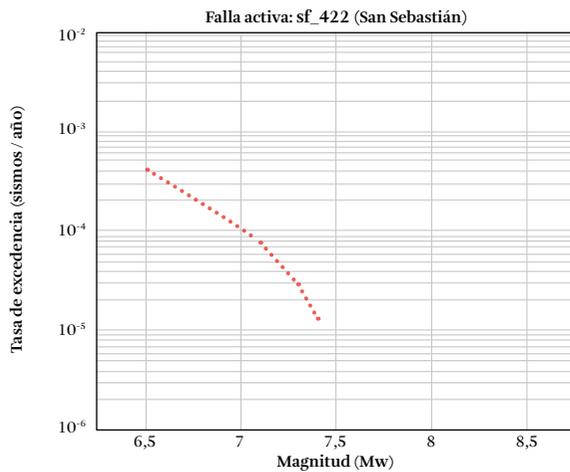


Figura F.114. Distribución de magnitud y frecuencia, falla San Sebastián (sf_422)

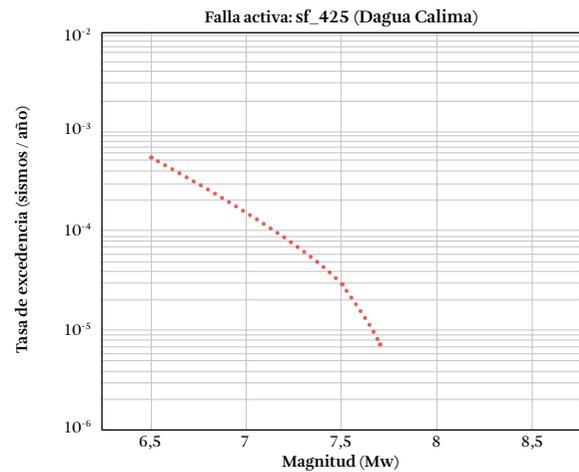


Figura F.117. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Dagua Calima (sf_425)

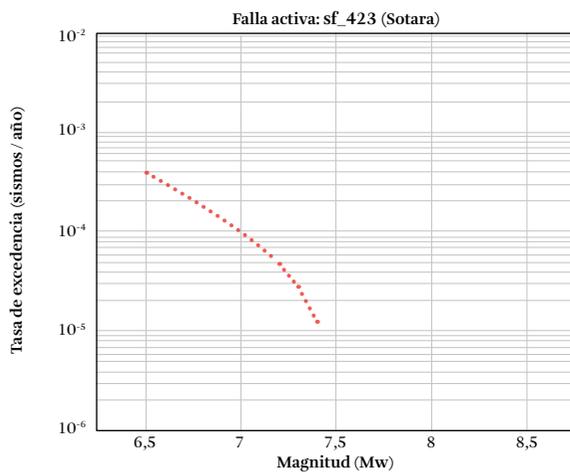


Figura F.115. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sotara (sf_423)

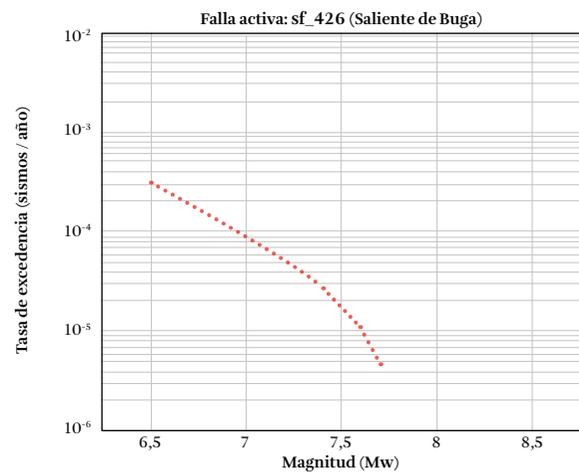


Figura F.118. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Saliente de Buga (sf_426)

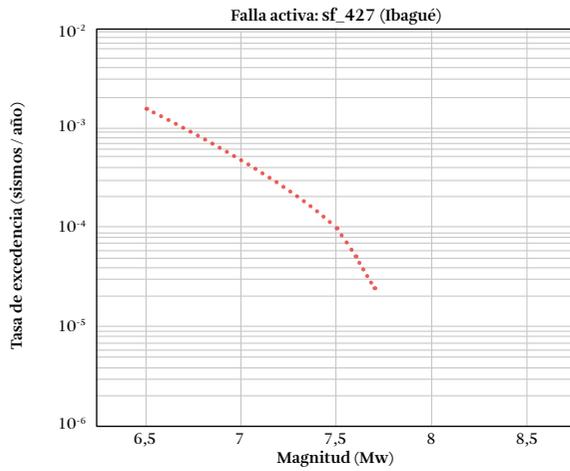


Figura F.119. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Ibagué (sf_427)

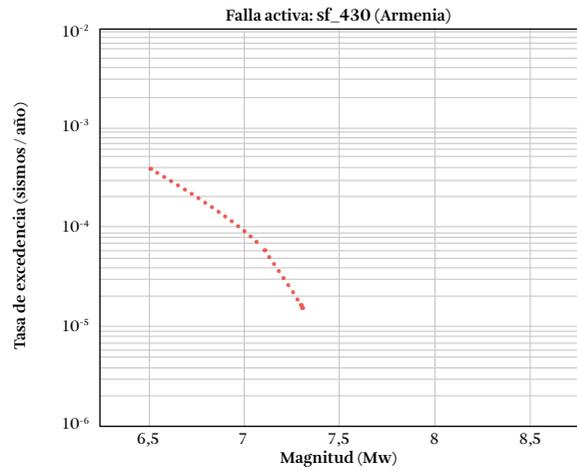


Figura F.122. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Armenia (sf_430)

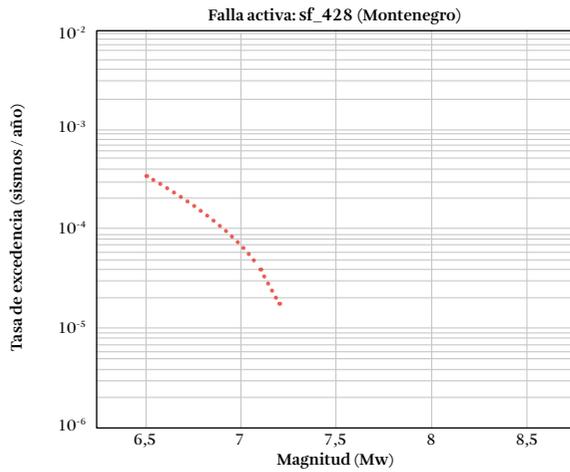


Figura F.120. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Montenegro (sf_428)

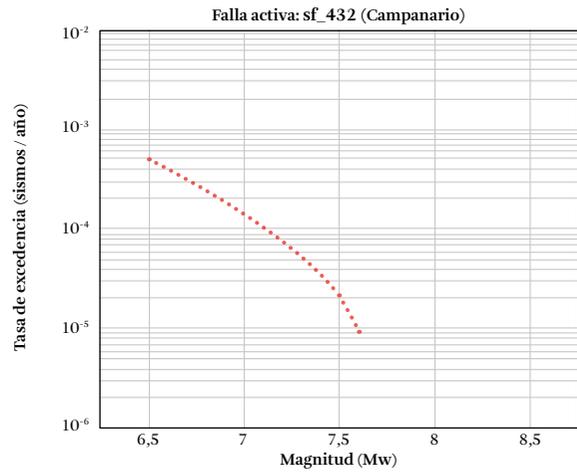


Figura F.123. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Campanario (sf_432)

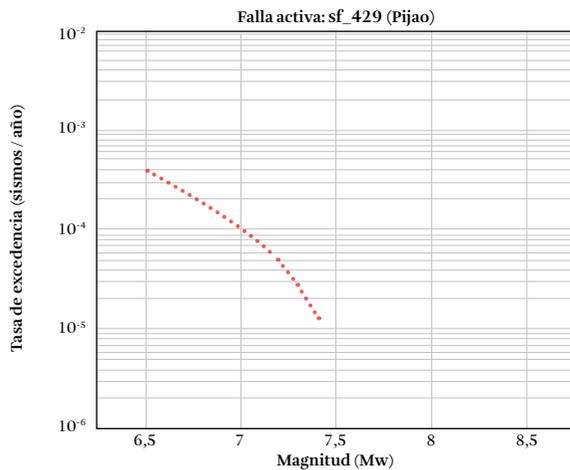


Figura F.121. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Pijao (sf_429)

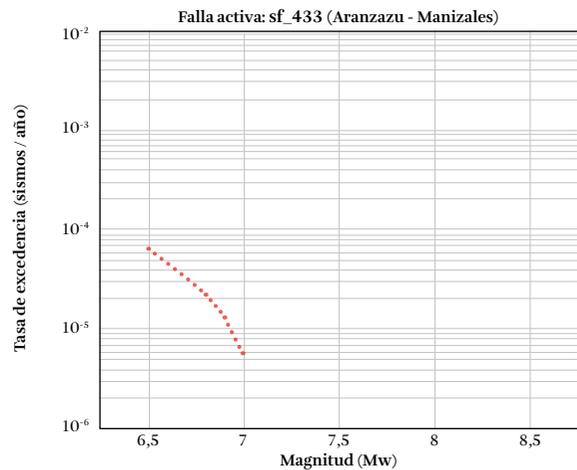


Figura F.124. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Aranzazu-Manizales (sf_433)

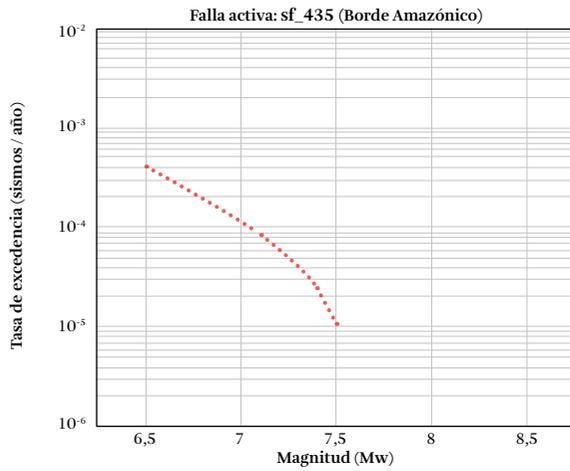


Figura F.125. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_435)

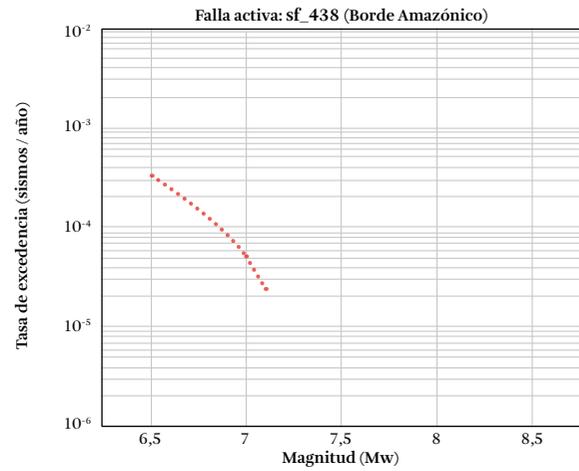


Figura F.128. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_438)

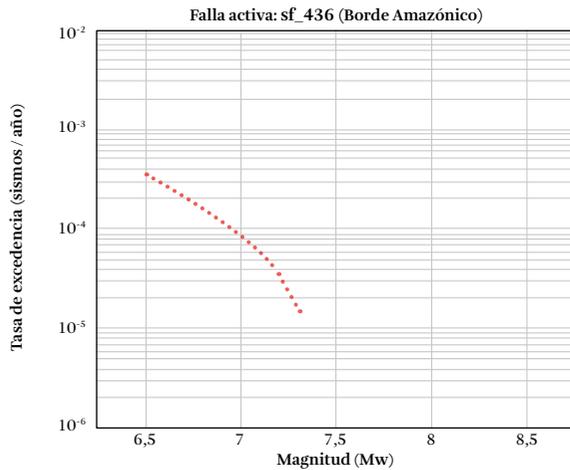


Figura F.126. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_436)

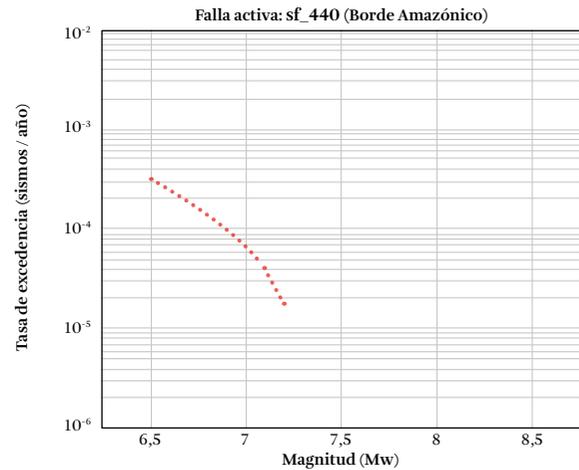


Figura F.129. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_440)

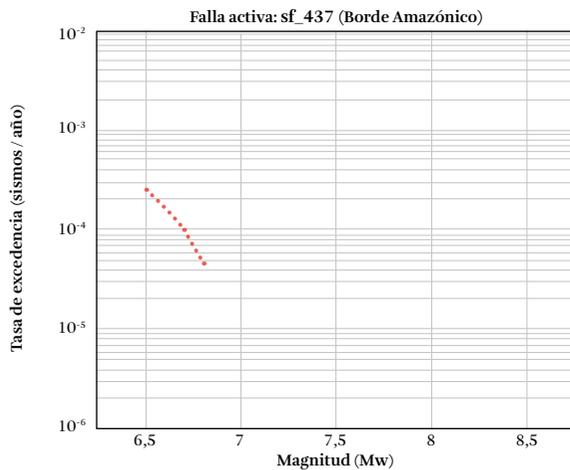


Figura F.127. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_437)

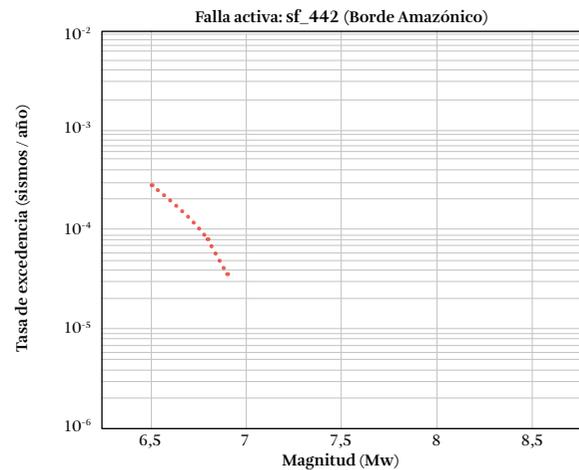


Figura F.130. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_442)

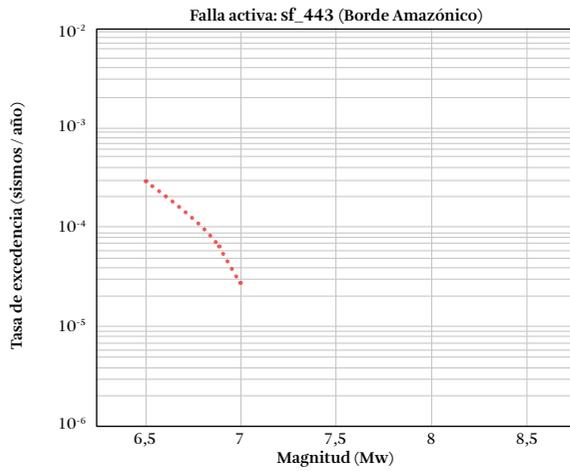


Figura F.131. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_443)

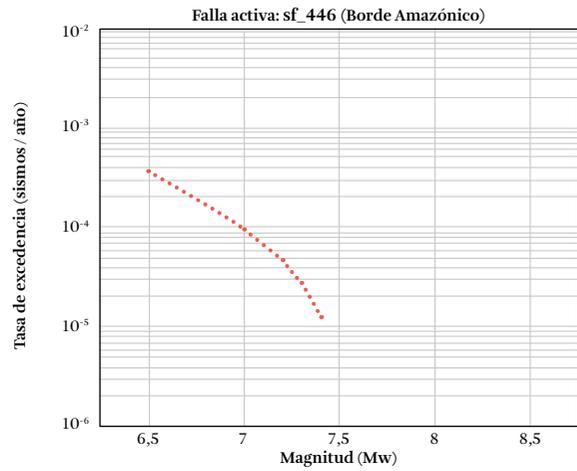


Figura F.134. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_446)

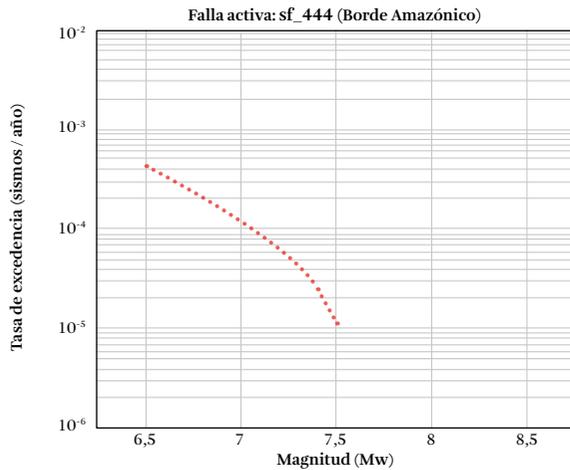


Figura F.132. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_444)

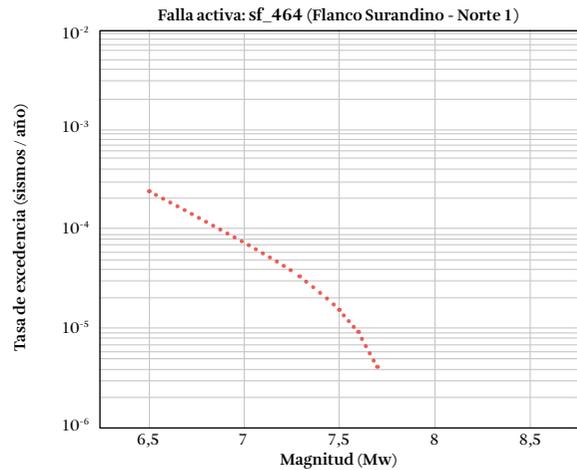


Figura F.135. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Surandino - Norte 1 (sf_464)

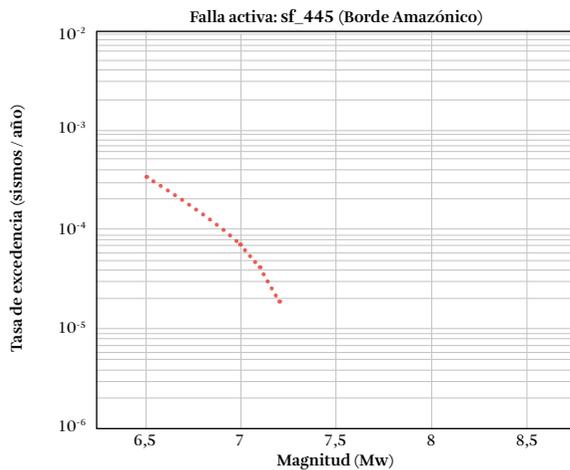


Figura F.133. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Borde Amazónico (sf_445)

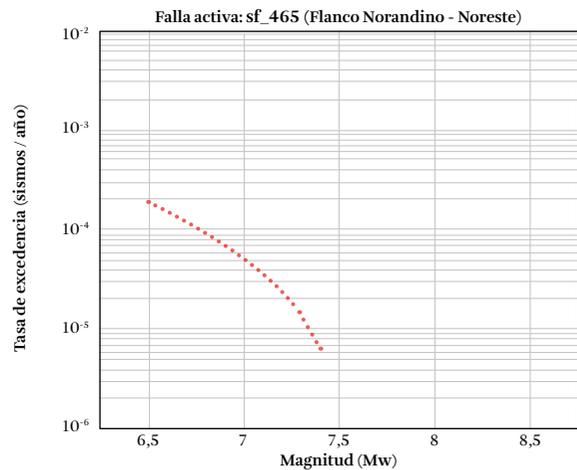


Figura F.136. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Norandino - Noreste (sf_465)

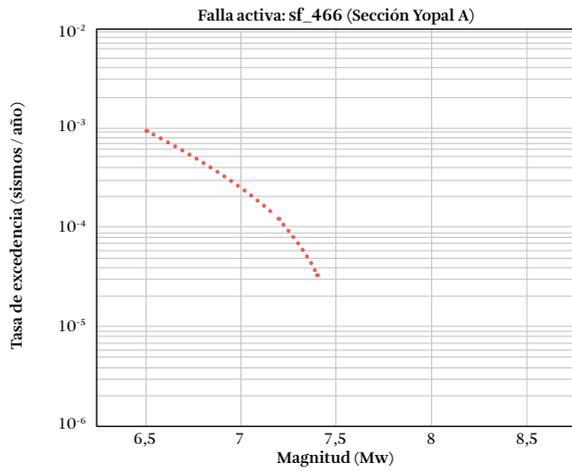


Figura F.137. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Yopal A (sf_466)

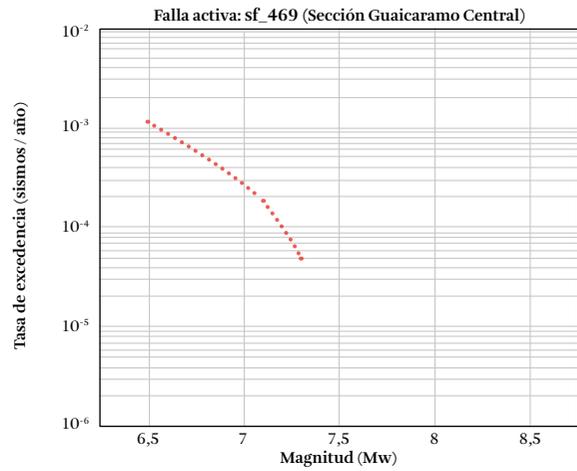


Figura F.140. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Guaicaramo Central (sf_469)

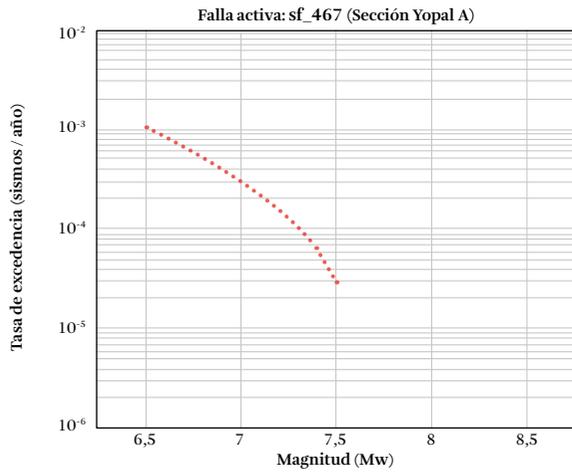


Figura F.138. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Yopal A (sf_467)

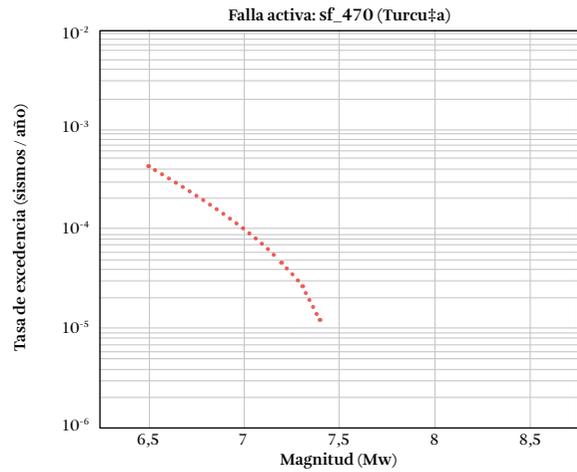


Figura F.141. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Tucurza (sf_470)

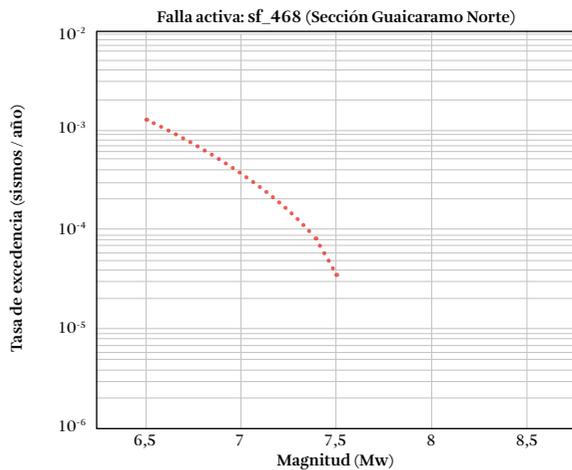


Figura F.139. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Guaicaramo Norte (sf_468)

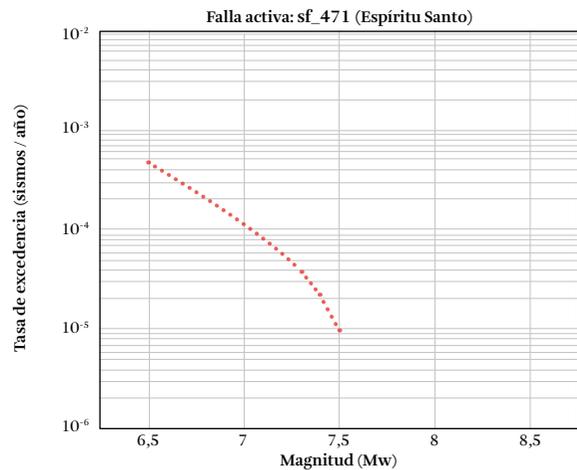


Figura F.142. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Espíritu Santo (sf_471)

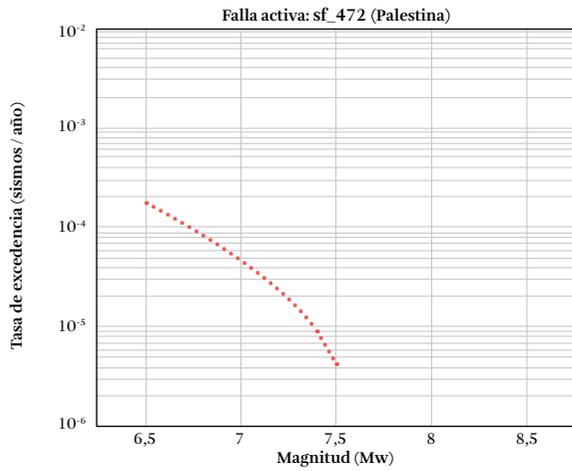


Figura F.143. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_472)

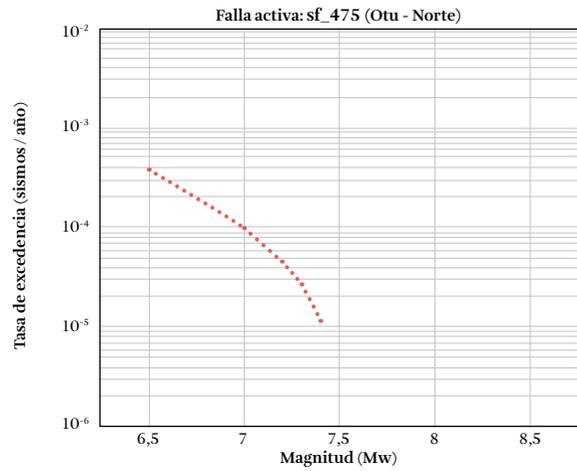


Figura F.146. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Otu-Norte (sf_475)

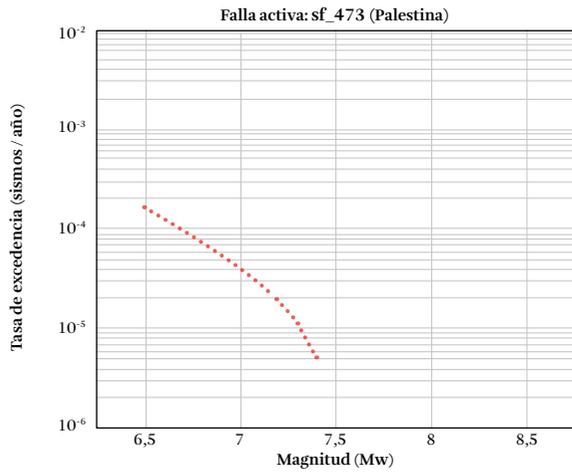


Figura F.144. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_473)

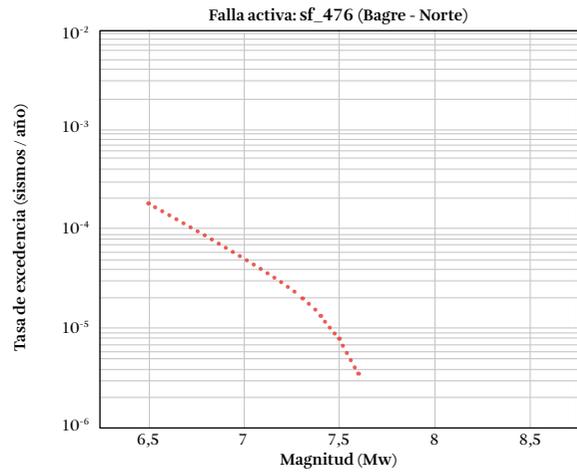


Figura F.147. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Bagre-Norte (sf_476)

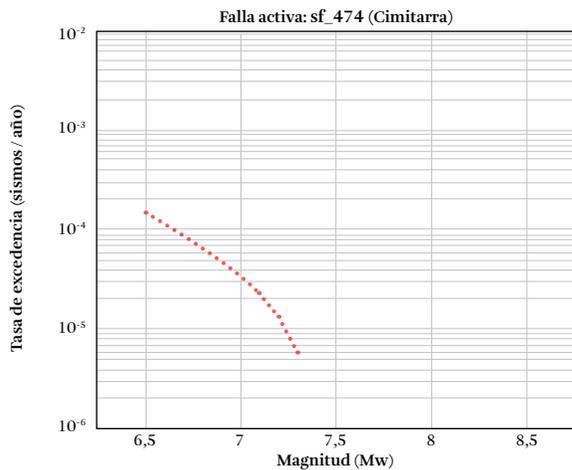


Figura F.145. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Cimitarra (sf_474)

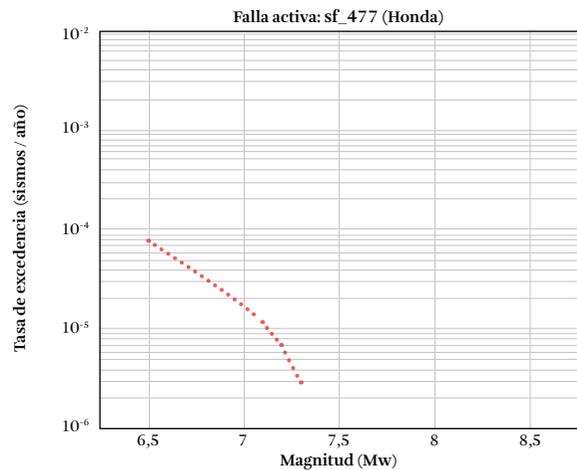


Figura F.148. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Honda (sf_477)

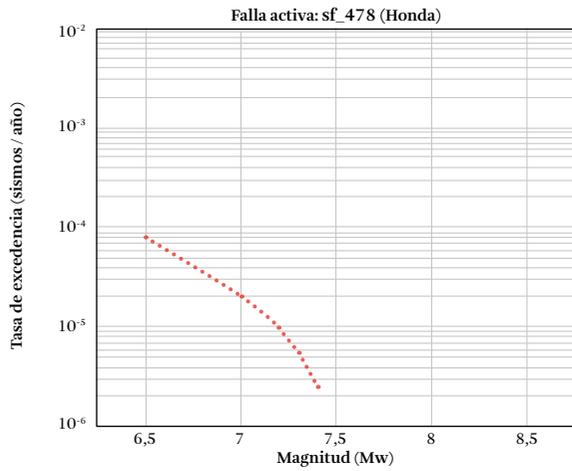


Figura F.149. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Honda (sf_478)

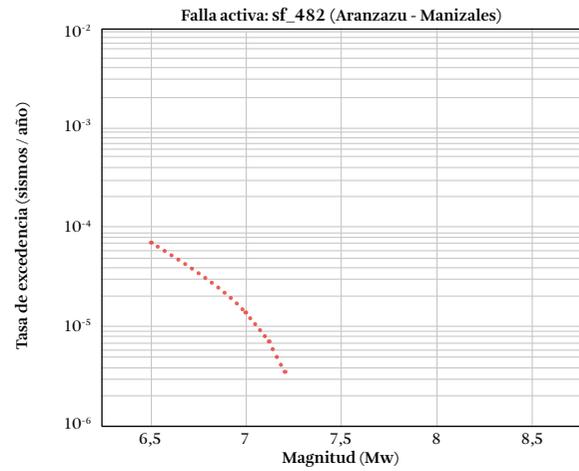


Figura F.152. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Aranzazu-Manizales (sf_482)

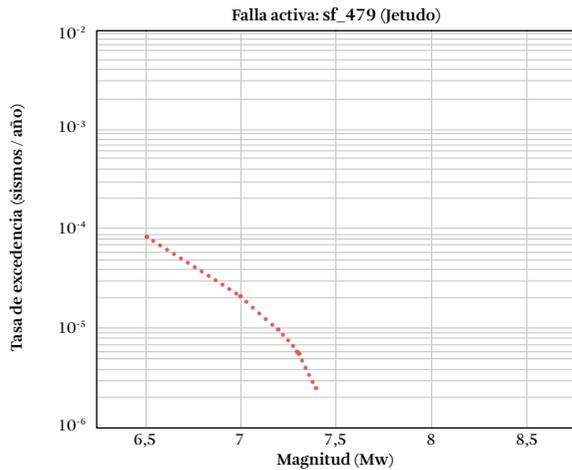


Figura F.150. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Jetudo (sf_479)

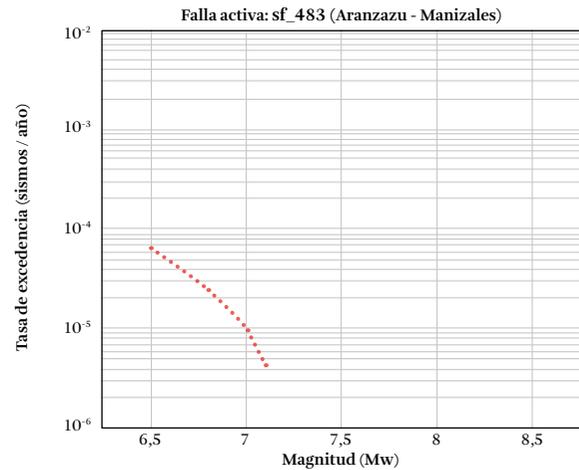


Figura F.153. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Aranzazu-Manizales (sf_483)

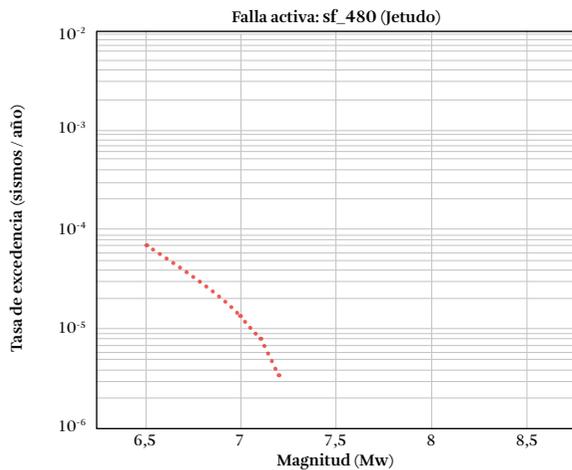


Figura F.151. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Jetudo (sf_480)

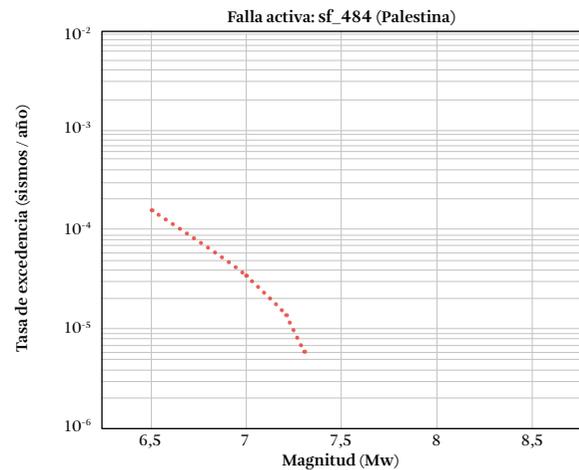


Figura F.154. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_484)

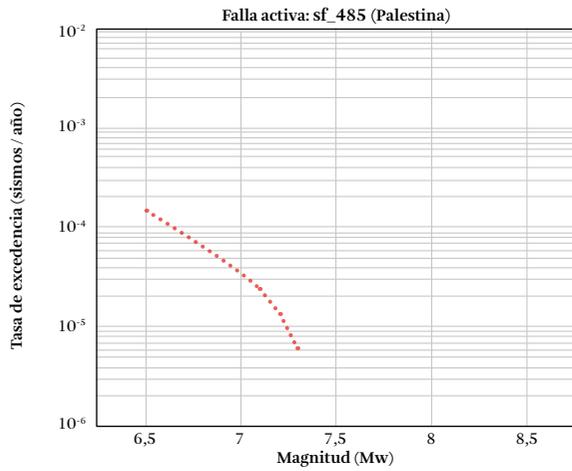


Figura F.155. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_485)

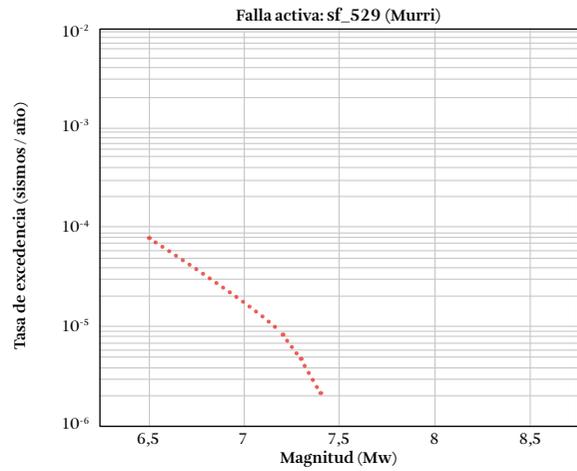


Figura F.158. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Murri (sf_529)

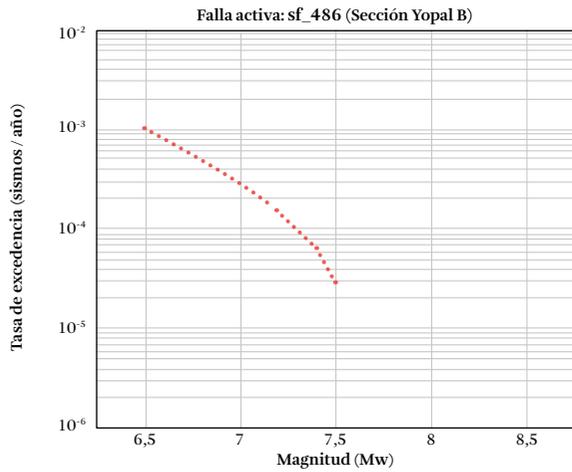


Figura F.156. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Yopal B (sf_486)

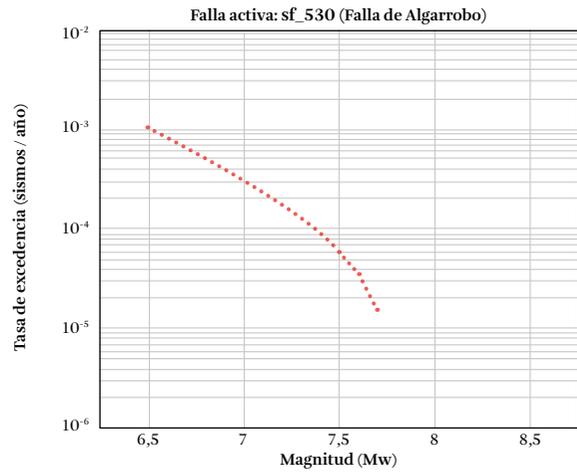


Figura F.159. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Falla de Algarrobo (sf_530)

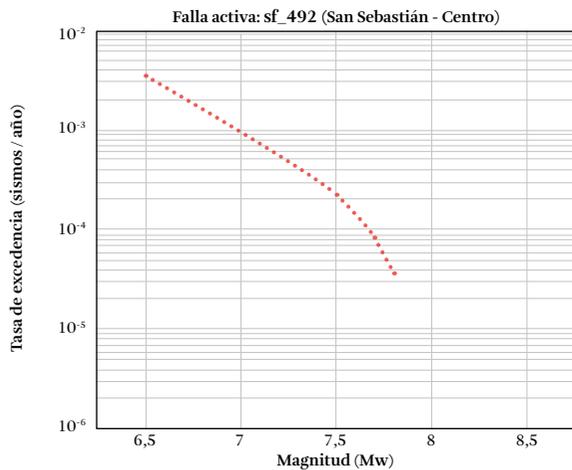


Figura F.157. Distribución de magnitud y frecuencia, falla San Sebastián - Centro (sf_492)

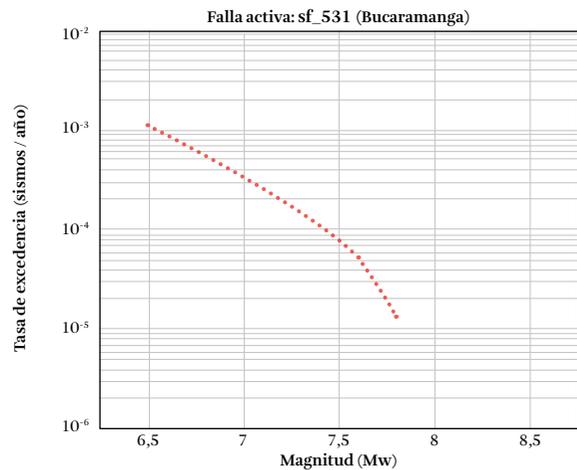


Figura F.160. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Bucaramanga (sf_531)

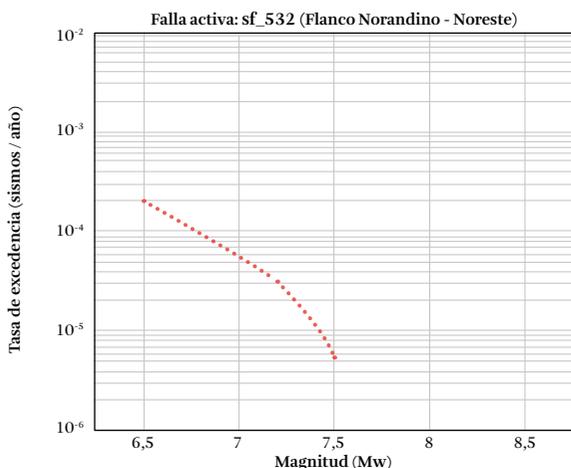


Figura F.161. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Norandino - Noreste (sf_532)

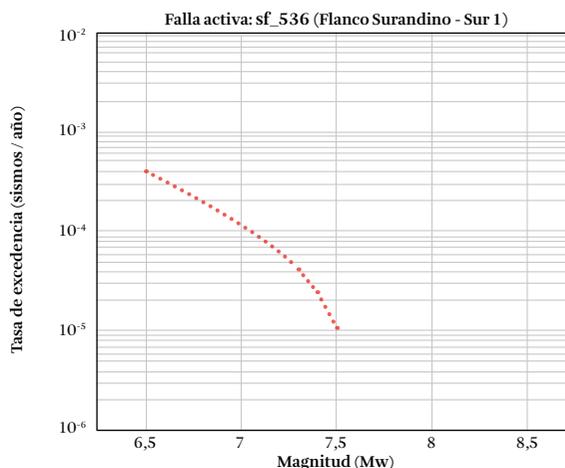


Figura F.164. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Surandino - Sur 1 (sf_536)

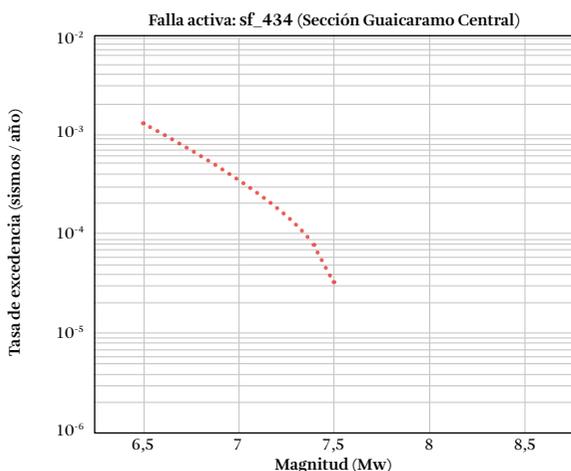


Figura F.162. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Guaicaramo Central (sf_534)

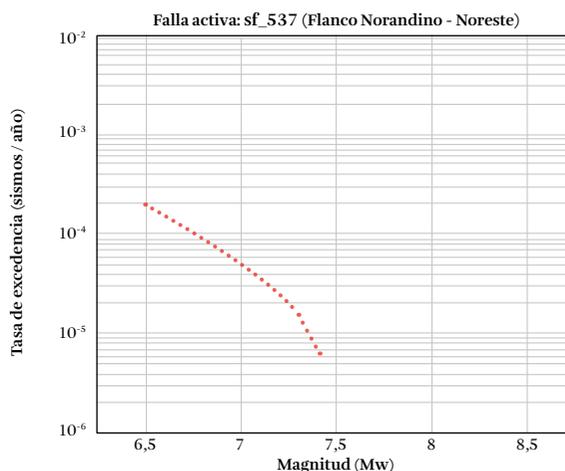


Figura F.165. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Norandino - Noreste (sf_537)

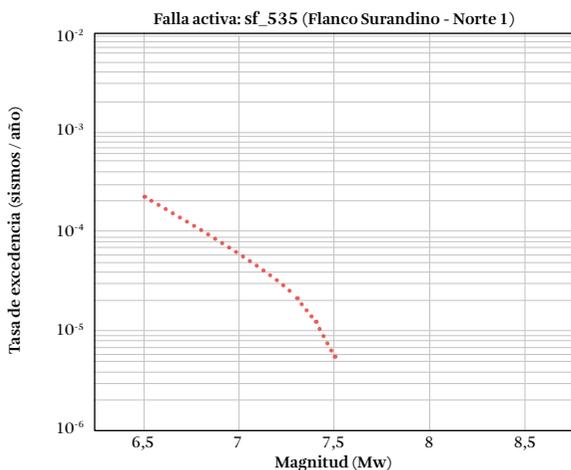


Figura F.163. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Surandino - Norte 1 (sf_535)

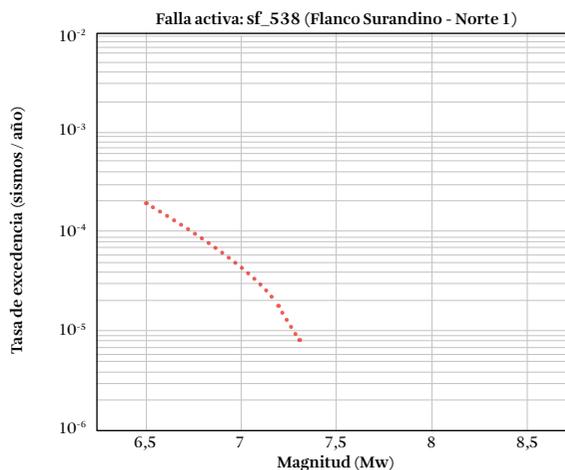


Figura F.166. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Flanco Surandino - Norte 1 (sf_538)

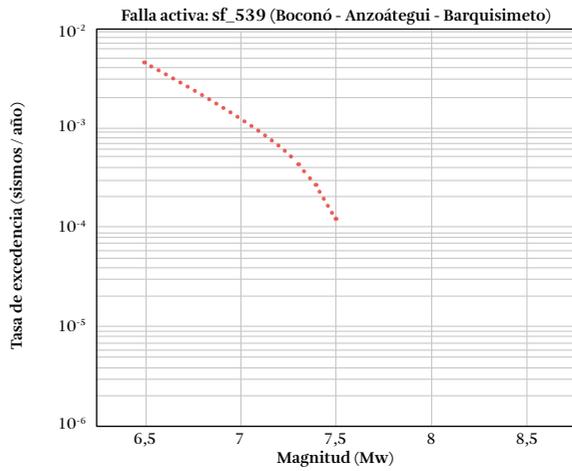


Figura F.167. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Boconó - Anzoátegui - Barquisimeto (sf_539)

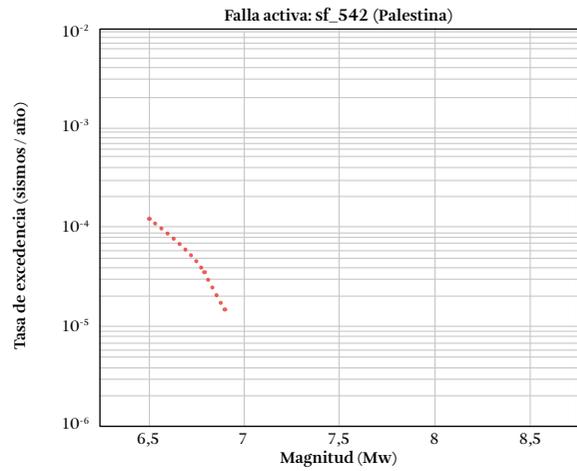


Figura F.170. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_542)

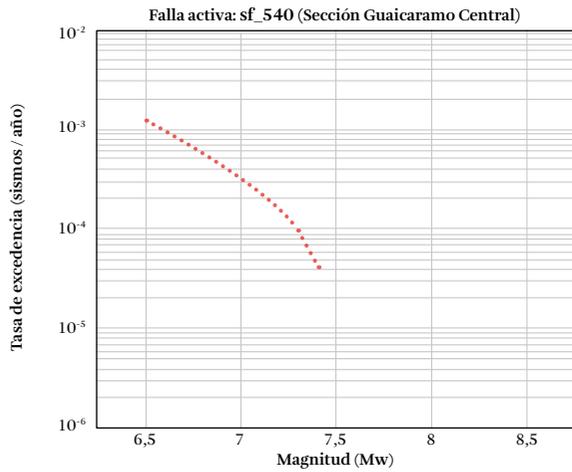


Figura F.168. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Sección Guaicaramo Central (sf_540)

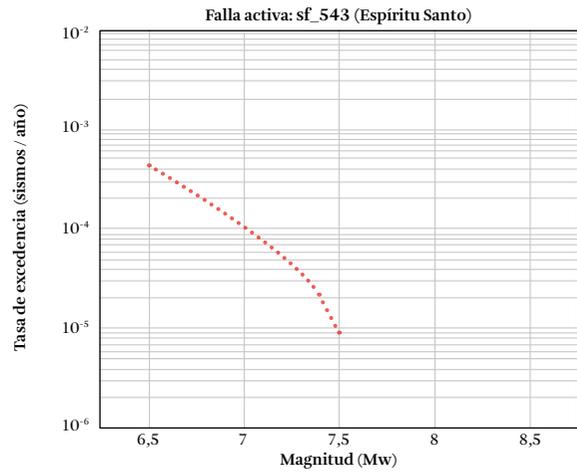


Figura F.171. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Espíritu Santo (sf_543)

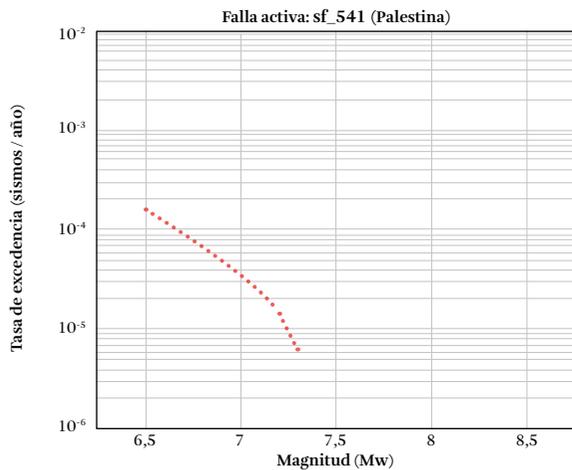


Figura F.169. Distribución de magnitud y frecuencia, falla Palestina (sf_541)



Distribuciones de magnitud-frecuencia en fuentes interplaca (subducción), Benioff y nido sísmico de Bucaramanga

En este anexo se presentan, para cada fuente, las distribuciones de magnitud - frecuencia obtenidas.

Fuentes interplaca

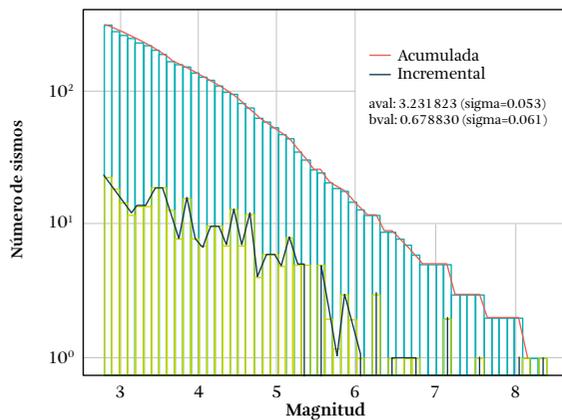


Figura G.7. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente interplaca Colombia - no segmentado (fig_mfd_int_col.png)

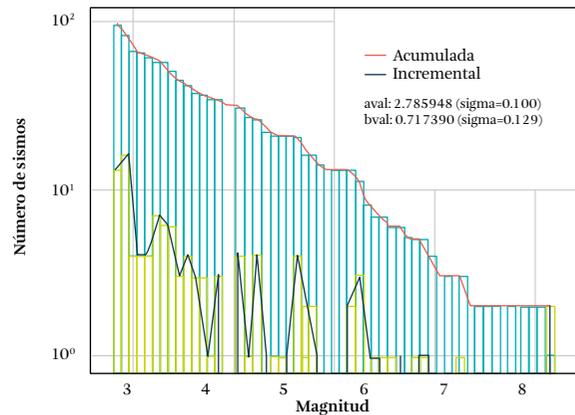


Figura G.2. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente interplaca - segmento 1 (fig_mfd_int_col1.png)

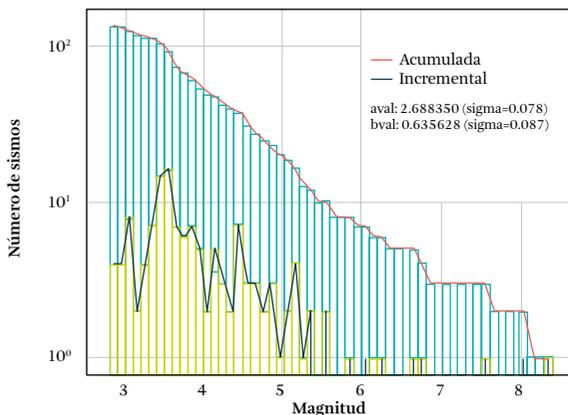


Figura G.1. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente interplaca - segmento 0 (fig_mfd_int_col0.png)

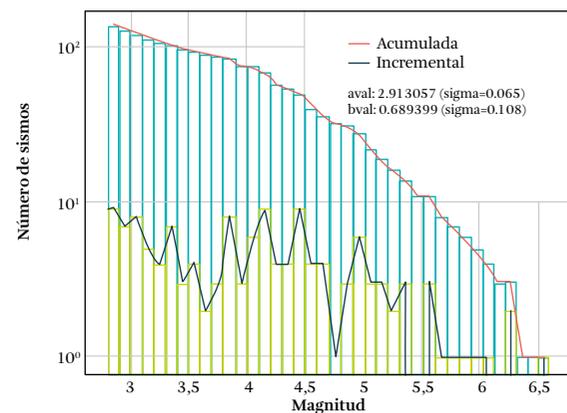


Figura G.3. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente interplaca - segmento 2' (fig_mfd_int_col2.png)

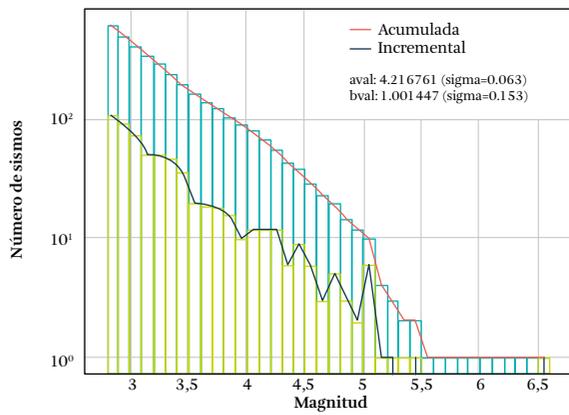


Figura G.4. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente nido sísmico de Bucaramanga segmento 0 (fig_mfd_slab_buc0.png)

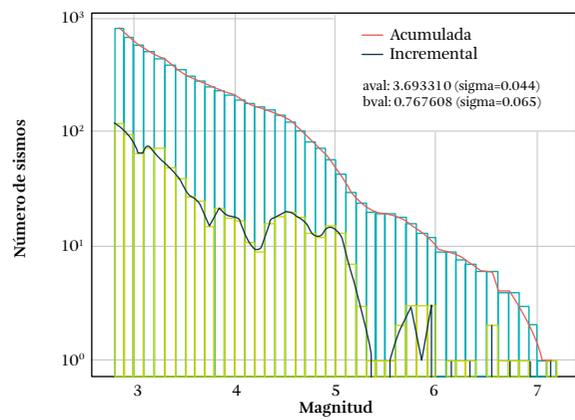


Figura G.6. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente Benioff-40km (fig_mfd_slab_col40.png)

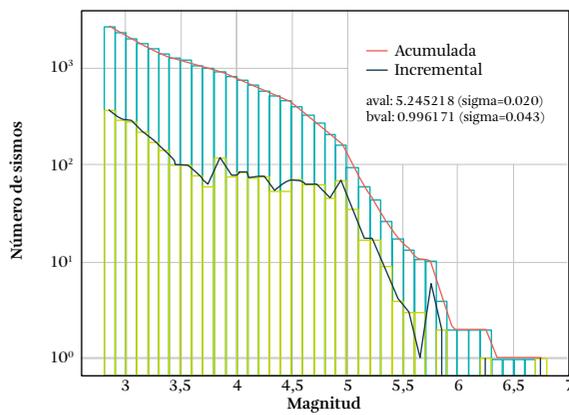


Figura G.5. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente nido sísmico de Bucaramanga segmento 1 (fig_mfd_slab_buc1.png)

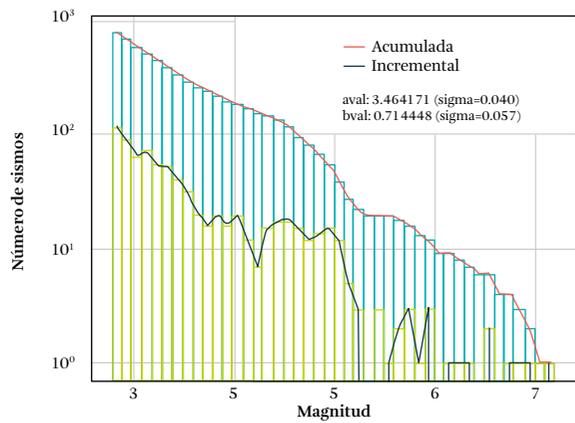


Figura G.8. Distribución de magnitud - frecuencia; fuente Benioff-50km - no segmentado' (fig_mfd_slab_col50.png)



Metodologías utilizadas en la selección de ecuaciones de atenuación

En este anexo se presenta una descripción de las siguientes metodologías empleadas en el análisis y selección de ecuaciones de atenuación:

- ▮ Análisis de residuales (Stafford et al., 2008)
- ▮ Modelo de verosimilitud (LH) (Scherbaum et al., 2004)
- ▮ Modelo del logaritmo de verosimilitud normalizado (LLH) (Scherbaum et al., 2009)
- ▮ Ranking basado en la distancia euclidiana (Kale y Akkar, 2013)

Análisis de residuales

En términos generales, un residual representa la diferencia entre un dato observado y uno modelado. En particular, mediante el análisis de residuales se busca evaluar la distribución de probabilidad de la diferencia entre las aceleraciones observadas y las calculadas usando ecuaciones de atenuación. Los residuales normalizados se calculan a partir de la siguiente expresión (Stafford, Strasser y Bommer 2008):

$$Z_{T,ij} = \frac{\log(gm_{obs,ij}) - \log(gm_{mod,ij})}{\sigma_r} \quad \text{Ec (H.1)}$$

En donde $Z_{T,ij}$ corresponde al residual normalizado del registro i del evento j , $gm_{obs,ij}$ corresponde al valor de la aceleración observada, $gm_{mod,ij}$ corresponde a la aceleración modelada con cierta ecuación de atenuación y un periodo estructural definido, y σ_r corresponde a la desviación estándar propia del modelo.

Se considera que una ecuación tiene mejor ajuste cuando la media y la mediana de los residuales son cercanas a 0 y su desviación estándar es cercana a 1.

Con el fin de considerar los residuales inter e intraevento se recomienda utilizar la teoría de efectos aleatorios propuesta por Youngs y Abrahamson (1992).

Modelo de verosimilitud

El modelo de verosimilitud (Scherbaum, Cotton y Smit, 2004) asume que las ecuaciones de atenuación se pueden describir mediante una distribución log-normal (o una distribución normal del logaritmo de la intensidad del movimiento $\ln(Y)$). Así, para una determinada magnitud M , distancia R y frecuencia F , el valor medio predicho de $\ln(Y)$ es $\mu(M, R, F)$. La probabilidad de que un valor observado $x = \ln(Y_x)$ esté en el intervalo $(x, x + dx)$ es:

$$dF = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad \text{Ec (H.2)}$$

De cada observación (x) es posible obtener residuales normalizados (z) a partir de la media μ y la desviación estándar σ del modelo, tal como se describe en la ecuación H.1.

Teniendo en cuenta estos supuestos, la bondad de ajuste de las ecuaciones de atenuación se evalúa calculando la probabilidad de que el valor absoluto de una muestra aleatoria de los residuales normalizados (z) se encuentre en el intervalo comprendido entre el valor absoluto de una observación particular $|z_0|$ e infinito, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$LH(|z_0|) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_0}^{\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) * dz \quad \text{Ec (H.3)}$$

Dicha evaluación representa la probabilidad de que un residual normalizado sea igual o mayor que $|z_0|$. El valor de LH tiene las siguientes propiedades:

- ▮ LH decrece a medida que aumenta la distancia entre las observaciones y la media del modelo. Para $|z_0| = \infty$, $LH = 0$.
- ▮ LH puede tener un valor máximo de 1 para $|z_0| = 0$, para el cual las observaciones coinciden con el valor medio del modelo.

Para aplicar este método se calculan los residuales normalizados de todas las observaciones de la base de datos de movimiento fuerte, y posteriormente se estiman los valores de $LH|z_0|$ correspondientes. Por último, se calcula el valor medio del conjunto de valores de LH. El valor medio de LH representa las siguientes características:

- ▮ Valores cercanos a 0 indican ajustes deficientes.
- ▮ Si la varianza de los datos observados es mayor que la varianza del modelo, el valor promedio de LH es menor de 0,5.
- ▮ Si el modelo se ajusta exactamente a los valores observados, el valor medio de LH es 0,5, y los valores de LH se distribuyen equitativamente entre 0 y 1.
- ▮ Si la varianza de los datos observados es menor que la variación del modelo, el valor medio de LH es superior a 0,5.

Así, cuanto mejor sea el ajuste del modelo predictivo del movimiento, el valor medio de LH tenderá a acercarse a 0,5. A diferencia del análisis de residuales, el modelo de verosimilitud permite obtener una indicación cuantitativa del ajuste total de la ecuación de atenuación a los datos observados.

Modelo del logaritmo de verosimilitud normalizado

Mediante el modelo del logaritmo de verosimilitud normalizado (LLH) (Scherbaum, Delavaud y Riggelsen, 2009) se desea medir la distancia entre dos modelos, f y g , descritos mediante las funciones conti-

nuas de densidad de probabilidad $f(x)$ y $g(x)$. En este modelo se asume que no se conoce explícitamente la función $f(x)$, pero se conoce una muestra de N valores aleatorios que corresponden al conjunto $x = \{x_i\}$ con $i = 1 \dots N$. La verosimilitud del modelo $g(x)$, dada la muestra x es $L(g|x) = \prod_{i=1}^N g(x_i)$. Por su parte, el logaritmo de la función de verosimilitud se define como a $\log_b(L(g|x)) = \sum_{i=1}^N \log_b(g(x_i))$.

Cuanto más cercanos sean los modelos $f(x)$ y $g(x)$, mayor es el logaritmo de la verosimilitud.

Ajuste por tamaño de la muestra

Para eliminar la dependencia en el tamaño de la muestra en la valoración de las ecuaciones de atenuación, el logaritmo de la verosimilitud se divide por el número de observaciones (N) con el fin de obtener un valor medio. De esta manera el logaritmo de la verosimilitud normalizado (LLH) se define así:

$$LLH(g) = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \log_b(g(x_i)) \quad \text{Ec (H.4)}$$

En donde $g(x)$ corresponde a la función de densidad de probabilidad de los residuales de la ecuación de atenuación evaluada en N puntos de control (N residuales) y b corresponde a la base del logaritmo (se utiliza base 2).

A partir del parámetro LHH es posible calcular los pesos de las diferentes ecuaciones de atenuación analizadas, utilizando la siguiente expresión:

$$W_{gi} = \frac{b^{-LLH(gi)}}{\sum_{k=1}^K b^{-LLH(gk)}} \quad \text{Ec (H.5)}$$

En donde K corresponde al número total de modelos a evaluar y gi corresponde a la ecuación de atenuación i . Así, una ecuación de atenuación tendrá un mejor ajuste (tendrá un mayor peso) cuanto menor sea el parámetro LHH. Con esta expresión, la suma total de los pesos debe ser igual a 1. Este enfoque tiene ventajas sobre el modelo de verosimilitud (LH), ya que no depende del número de observaciones (se encuentra normalizado) ni de criterios subjetivos para juzgar el ajuste de las ecuaciones.

Ranking basado en la distancia euclidiana (EDR)

Kale y Akkar (2013) proponen un método de evaluación basado en la distancia euclidiana (DE)¹, en el cual el logaritmo de los valores observados del movimiento (a) son valores escalares, y el logaritmo del modelo predictivo (Y) sigue una distribución de probabilidad normal con media μ_y y desviación estándar σ_y . Así, para un punto de análisis (que representa cierta magnitud, distancia, tipo de falla, tipo de sitio, entre otros), la diferencia (D) entre los logaritmos de los valores observados y los predichos ($a-Y$) sigue también una distribución normal con media $\mu_D = a - \mu_y$ y desviación estándar σ_y .

Siguiendo la analogía con la DE, que siempre representa valores positivos, en este método se considera la distribución de probabilidad de los valores absolutos de D . La probabilidad de que el valor absoluto de D sea menor que un estimador específico d se define así: $P(|D| < d) = P(D < d) - P(D < -d)$. En valores discretos de D , denominados d_j , la probabilidad de que $|D|$ sea menor que $|d_j|$ se puede calcular considerando franjas de ancho dd alrededor de d_j , tal que:

$$P(|D| < |d_j|) = P\left(|D| < \left|d_j + \frac{dd}{2}\right|\right) - P\left(|D| < \left|d_j - \frac{dd}{2}\right|\right) \quad \text{Ec (H.6)}$$

Para efectos prácticos, Kale y Akkar (2013) recomiendan que $|d|_{\max} = \max(|\mu_D \pm x\sigma_D|)$, en donde x representa un multiplicador de la desviación estándar

A partir de esta expresión, la probabilidad total de ocurrencia de un conjunto de valores $|d_j|$ (para un punto de análisis) se denomina *distancia euclidiana modificada* (MDE), y se estima con la siguiente expresión:

$$MDE_d = \sum_{j=1}^n |d_j| P(|D| < |d_j|) \quad \text{Ec (H.7)}$$

En donde n es el número de puntos discretos que depende del ancho de la franja dd .

¹ La distancia euclidiana (DE) se define como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias entre N pares de datos (p_i, q_i) tal que $DE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (p_i - q_i)^2}$. DE siempre representa valores positivos. A mayor valor de DE, mayor diferencia entre los puntos p y q .

Para evaluar el ajuste de las ecuaciones de atenuación, los cálculos de la distancia euclidiana modificada (realizados para un solo punto de análisis) deben repetirse en todas las observaciones de la base de datos de movimiento fuerte. Así, al realizar la suma de MDE de un conjunto de N puntos de análisis (pares de observaciones y valores predichos), se obtiene la probabilidad total de las diferencias entre los valores observados del movimiento y los valores estimados mediante las ecuaciones de atenuación. A menores valores de la suma de MDE, se consideran mejores las ecuaciones predictivas del movimiento.

Ajuste por tamaño de la muestra

Para eliminar la dependencia en el tamaño de la muestra, la suma de MDE se divide por el número de observaciones (N), con el fin de obtener un valor medio.

Ajuste según el sesgo del modelo

Una representación sesgada del movimiento del suelo puede observarse como una tendencia significativa entre los datos observados y el valor medio de las estimaciones. Para cuantificar el sesgo en la predicción de los valores medios se considera un parámetro k , que corresponde a la razón entre las siguientes variables:

- ||| MDE_{original}: La distancia euclidiana total entre los valores observados y el valor esperado del movimiento del suelo ($a_i - Y_i$).
- ||| MDE_{corregida}: La distancia euclidiana entre los valores observados y los valores del movimiento del suelo, corregidos por medio del modelo predictivo derivado mediante una regresión lineal de los datos ($a_i - Y_{c,i}$).

Así, el parámetro k se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N (a_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (a_i - Y_{c,i})^2} \quad \text{Ec (H.8)}$$

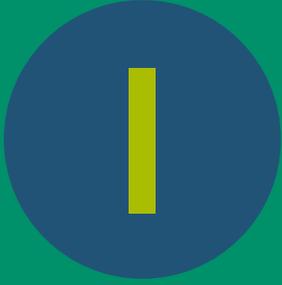
En donde $Y_{c,i} = Y_i - (Y_{\text{fit},i} - a_i)$ y $Y_{\text{fit},i}$ corresponde al valor derivado de la regresión lineal entre Y_i y a_i . Así, el parámetro k se puede usar para penalizar los mo-

delos predictivos que presenten un mayor sesgo en la estimación de los valores medios. Tal penalización se logra mediante la multiplicación del valor medio de MDE por el parámetro k . El valor óptimo de k es 1, y ocurre cuando las estimaciones toman valores muy cercanos a las observaciones correspondientes. Mayores valores de k indican un sesgo dominante en las estimaciones de la ecuación de atenuación considerada.

Con este proceso, el ranking basado en la distancia euclidiana (EDR) se puede realizar mediante la siguiente expresión:

$$EDR^2 = k * \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N MDE^2_i \quad \text{Ec (H.9)}$$

Así, menores valores de la suma de EDR^2 corresponden a ecuaciones predictivas del movimiento con mejores ajustes.



Propiedades geométricas utilizadas en ecuaciones de atenuación

Este anexo presenta las propiedades geométricas más relevantes para las ecuaciones de atenuación de nueva generación calculadas por estación de registro y por evento. Estas medidas geométricas fueron obtenidas utilizando las rutinas disponibles en la herra-

mienta: Strong Motion Toolkit (SMTK), elaborada por la Fundación Global Earthquake Model. A su vez, se presenta el valor de PGA, en cm/s², calculado como el valor de RoT_{D50} para un período estructural de 0.01 segundos.

Resultados para eventos corticales (superficiales)

Tabla I. 1 Variables geométricas para cada registro de eventos corticales

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjib	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
CO_19940606204742	CO_01	CBOG1	286.4	269.1	269.3	-104.6	287.6	247.9	19.69
	CO_02	CPENS	290.1	272.6	273.3	39.3	291.2	270.3	16.94
	CO_03	CROSA	283.7	266.1	266.3	-70.6	285.0	256.5	10.69
	CO_04	CVHER	254.2	236.7	237.2	18.0	255.5	236.3	6.18
CO_19940913100134	CO_05	CANDE	180.2	173.5	174.6	96.0	181.4	146.6	4.85
	CO_06	CANSE	224.6	217.7	218.5	108.4	225.5	190.6	4.29
	CO_07	CFILA	233.5	227.0	227.7	135.2	234.4	184.6	1.35
	CO_08	CRIOS	212.8	206.1	207.0	117.5	213.7	171.5	1.59
	CO_09	CTADO	204.2	196.8	197.5	26.3	205.1	195.5	11.14
CO_19950119150505	CO_16	CBETA	381.2	367.5	367.4	-58.5	381.8	362.8	2.67
	CO_01	CBOG1	138.3	123.8	125.2	-72.0	140.4	100.7	50.65
	CO_12	CCHIN	102.8	88.4	90.5	-34.3	105.7	81.5	8.92
	CO_41	CCUC1	322.2	307.6	307.7	-156.5	322.9	264.8	5.19
	CO_07	CFILA	298.7	285.9	286.2	-246.9	299.6	144.2	1.38
	CO_13	CGUAD	188.8	175.6	176.3	-145.5	190.2	98.2	16.23
	CO_10	CNORC	228.1	216.7	217.2	-204.0	229.2	73.3	9.46
	CO_02	CPENS	255.2	242.8	243.3	-217.4	256.3	108.1	12.53
	CO_19	CPLA1	268.3	260.0	260.3	-259.6	269.3	14.3	6.07
	CO_22	CPRAD	262.1	247.8	248.1	-82.4	263.1	233.7	7.19
	CO_14	CQUET	131.6	117.5	118.7	-31.5	133.6	113.1	18.98
	CO_08	CRIOS	317.1	304.6	304.8	-268.9	318.0	143.1	1.18
	CO_03	CROSA	159.9	145.9	147.1	-107.0	161.8	99.2	12.35
	CO_15	CSRA1	126.5	112.0	113.6	-68.4	128.8	88.6	17.36
CO_04	CVHER	247.4	234.0	234.5	-189.6	248.6	137.1	5.70	
CO_11	CVIL1	124.2	111.4	112.6	-1.7	126.2	111.3	24.49	
CO_19950120135924	CO_12	CCHIN	106.1	104.2	118.9	95.0	120.8	47.9	1.10
	CO_13	CGUAD	181.4	180.3	188.2	181.9	189.8	18.2	1.62
	CO_14	CQUET	136.7	134.6	145.5	116.7	147.8	71.1	2.36
	CO_15	CSRA1	125.1	123.8	136.2	123.2	137.8	27.3	2.11
	CO_11	CVIL1	133.3	130.9	141.7	95.4	144.3	92.1	5.83
CO_19950122104129	CO_12	CCHIN	103.4	98.2	101.1	-16.2	106.7	96.9	1.51
	CO_13	CGUAD	180.1	175.3	176.9	77.6	181.8	159.1	2.52

(.../...)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
CO_19950122104129	CO_14	CQUET	133.8	128.5	130.4	-32.0	136.1	124.4	3.05
	CO_15	CSRA1	122.9	118.1	120.8	11.8	125.8	117.8	3.13
	CO_11	CVIL1	130.2	124.7	126.4	-58.3	132.4	110.2	5.54
CO_19950423235543	CO_11	CVIL1	168.9	165.9	171.6	56.1	174.9	156.8	4.40
	CO_16	CBETA	660.1	638.3	637.3	337.7	661.0	551.5	3.34
CO_19951003015125	CO_01	CBOG1	919.5	897.3	894.9	422.7	920.2	799.3	4.98
	CO_15	CSRA1	930.7	908.5	906.1	422.6	931.4	811.8	2.42
CO_19961104172500	CO_05	CANDE	254.0	244.0	244.3	-188.8	254.8	154.6	1.81
	CO_06	CANSE	294.5	284.2	284.4	-204.3	295.2	197.5	1.61
	CO_28	CBSOL	127.5	117.3	118.0	-14.9	128.8	116.3	8.82
	CO_07	CFILA	308.6	298.6	298.7	-230.6	309.2	189.7	4.00
	CO_38	CPAMP	527.9	521.7	521.3	-517.3	528.3	67.5	1.66
	CO_34	CPER2	341.4	330.9	330.9	-221.6	342.0	245.7	3.92
	CO_03	CROSA	443.3	434.2	434.1	-374.5	443.8	219.4	2.77
CO_19980623013633	CO_77	COCAN	421.7	418.5	418.6	319.8	422.9	269.7	1.02
	CO_05	CANDE	139.7	134.3	135.4	-121.8	141.7	56.4	9.47
CO_19990125181918	CO_59	CARBE	137.8	129.3	130.4	-19.1	139.9	127.9	6.76
	CO_60	CARME	14.2	11.8	22.0	-11.8	27.9	0.0	520.95
	CO_16	CBETA	193.2	189.1	190.5	177.6	194.6	71.9	6.07
	CO_79	CBOCA	39.3	36.3	40.7	-36.3	46.1	1.2	69.73
	CO_01	CBOG1	177.2	168.8	169.7	-72.2	178.9	152.6	5.53
	CO_235	CBOG1_R	177.2	168.8	169.7	-72.2	178.9	152.6	1.26
	CO_61	CBOG2	178.8	170.4	171.4	-68.6	180.6	156.0	3.91
	CO_29	CBUC1	410.5	405.0	404.9	-363.3	411.2	178.9	0.97
	CO_30	CBUEN	166.3	159.3	160.9	104.7	167.8	122.4	18.46
	CO_31	CCALI	140.5	136.4	138.6	128.9	142.5	51.8	21.53
	CO_80	CCAST	44.1	37.2	41.4	-29.8	50.1	22.3	200.06
	CO_49	CCOLO	151.0	143.7	145.7	85.5	152.8	117.4	14.87
	CO_41	CCUC1	518.4	513.2	512.7	-467.4	518.9	211.6	1.22
	CO_18	CDAGU	144.1	138.6	140.8	117.8	146.0	77.4	3.79
	CO_32	CECAL	116.5	110.4	113.3	88.9	118.9	69.1	2.33
	CO_07	CFILA	97.1	94.0	95.8	-93.5	100.1	9.7	9.24
	CO_33	CFLAN	29.1	27.0	32.9	-27.0	38.0	0.0	497.05
	CO_65	CFLOR	316.4	313.3	313.6	304.1	317.3	85.3	4.05
	CO_82	CGARZ	249.0	245.7	246.6	238.0	250.1	70.7	6.46
	CO_13	CGUAD	138.5	131.5	132.6	-100.6	140.5	84.7	6.26
	CO_51	CMAN1	74.1	71.9	74.3	-71.9	78.1	0.0	94.86
	CO_69	CNEIV	171.2	166.3	167.9	147.6	172.8	81.6	16.42
	CO_10	CNORC	153.9	149.7	150.6	-144.6	155.6	38.9	6.50
	CO_77	COCAN	496.6	492.7	492.3	-479.2	497.2	114.4	1.11
	CO_02	CPENS	120.8	117.7	119.1	-116.8	123.3	13.9	21.63
	CO_72	CPLAT	228.8	226.7	227.7	227.1	230.1	32.2	7.69
	CO_21	CPOP2	242.2	240.4	241.4	241.7	243.4	26.1	5.08
	CO_83	CPOP4	242.9	241.0	242.0	242.2	244.1	27.1	5.19
	CO_22	CPRAD	113.8	105.9	108.4	48.4	116.1	95.5	2.35
	CO_08	CRIOS	111.1	106.6	108.2	-102.4	113.7	29.9	7.00
	CO_03	CROSA	155.9	147.9	149.1	-86.0	158.0	120.4	0.51
	CO_84	CSJGU	397.3	389.0	389.0	103.1	397.9	375.8	3.34
	CO_46	CSONS	143.8	141.8	142.9	-141.8	145.9	0.0	4.95
CO_56	CTOCH	101.2	99.2	102.5	101.3	104.1	10.8	3.25	
CO_26	CTUTU	176.1	168.4	169.1	-109.7	177.5	127.8	5.09	
CO_04	CVHER	90.2	85.2	87.2	-79.9	93.5	29.7	5.76	
CO_11	CVIL1	226.3	217.7	218.1	-37.3	227.4	214.5	3.04	
CO_20000117122008	CO_01	CBOG1	323.9	321.5	323.9	308.6	327.3	102.0	1.18
	CO_235	CBOG1_R	323.9	321.5	323.9	308.6	327.3	102.0	0.19
	CO_29	CBUC1	123.1	119.4	127.6	89.6	131.3	83.0	1.27
	CO_76	CBUC4	132.4	128.7	136.2	99.2	140.0	86.5	2.69
	CO_86	CBUC5	120.2	116.5	125.0	92.7	128.5	75.4	2.79
	CO_40	CBUIS	130.5	126.6	134.4	90.6	138.2	92.2	3.18
CO_47	CSUES	151.5	149.0	156.0	144.4	158.7	49.5	2.27	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20000523163648	CO_71	CPAS2	160.0	157.1	162.9	45.6	166.0	151.0	2.62
	CO_55	CSAMA	123.6	120.7	128.0	22.0	131.0	119.1	12.21
CO_20001008201230	CO_71	CPAS2	131.8	130.2	130.9	118.1	132.5	58.7	1.09
	CO_55	CSAMA	121.3	119.1	119.8	86.9	121.9	83.4	2.05
CO_20010908224510	CO_88	CMONT	123.5	121.0	123.2	-33.5	126.3	116.2	8.40
	CO_01	CBOG1	223.7	220.8	222.1	-49.2	225.5	215.3	1.03
CO_20020426013626	CO_235	CBOG1_R	223.7	220.8	222.1	-49.2	225.5	215.3	0.15
	CO_91	CNOBS	117.0	114.6	117.7	-105.1	120.4	45.8	3.69
	CO_19	CPLA1	152.3	150.2	152.4	118.6	154.7	94.8	4.16
CO_20040220111558	CO_93	CTUN1	118.2	115.3	118.4	-74.2	121.7	88.2	1.48
	CO_96	CGUAG	136.1	134.8	140.1	-127.7	142.0	43.0	4.69
CO_20040818070652	CO_62	CBORD	41.7	39.2	45.9	-3.5	48.9	39.0	10.17
	CO_72	CPLAT	81.6	79.1	82.6	11.5	85.5	78.4	3.65
	CO_20	CPOP1	23.1	22.1	33.1	-21.5	35.0	5.2	13.24
	CO_21	CPOP2	26.8	25.4	35.4	-23.3	37.5	10.2	19.87
CO_20040818070652	CO_78	CPOP3	30.0	28.4	37.7	-24.5	40.0	14.5	23.82
	CO_83	CPOP4	26.4	25.1	35.2	-23.5	37.3	9.1	31.50
	CO_97	CVERS	265.9	264.4	265.1	-227.8	267.3	134.3	1.14
	CO_98	RAC02	128.7	127.4	129.4	-115.8	131.2	53.1	2.02
	CO_99	RAC05	135.0	133.7	135.6	-122.5	137.4	53.6	1.85
	CO_100	RAC07	139.2	137.8	139.7	-126.0	141.5	55.8	1.52
	CO_62	CBORD	48.9	46.1	49.0	7.0	52.0	45.8	16.44
	CO_64	CCRUZ	72.5	70.8	73.4	66.1	75.0	29.7	6.51
CO_20070306130508	CO_72	CPLAT	78.7	75.7	77.3	-47.0	80.6	59.3	3.19
	CO_21	CPOP2	42.7	40.6	43.8	-39.0	46.4	11.2	12.84
	CO_78	CPOP3	45.0	43.1	46.3	-42.3	48.6	8.3	32.18
	CO_83	CPOP4	42.6	40.4	43.7	-38.5	46.3	12.2	23.63
	CO_06	CANSE	40.8	38.4	65.2	21.0	67.9	32.7	111.33
CO_20070424085334	CO_07	CFILA	50.6	49.3	72.1	45.6	74.0	20.5	5.30
	CO_13	CGUAD	156.6	156.2	164.6	156.5	165.5	11.4	3.01
	CO_122	CNOCA	113.2	112.3	123.7	109.9	125.0	26.6	6.36
	CO_04	CVHER	107.4	106.4	119.0	101.9	120.4	33.1	4.63
CO_20070620190407	CO_29	CBUC1	93.5	90.8	94.6	47.1	97.3	78.8	4.61
	CO_40	CBUIS	98.3	95.6	99.2	56.4	101.8	78.7	8.70
	CO_121	CCUC3	88.0	86.8	90.6	87.3	91.8	16.7	3.47
	CO_85	CSARD	120.6	119.9	122.6	122.0	123.4	1.1	2.50
	CO_123	CTUN3	215.0	211.8	213.2	-77.1	216.9	197.3	1.14
CO_20070716225823	CO_29	CBUC1	98.4	95.7	101.0	60.4	103.7	76.1	3.24
	CO_40	CBUIS	102.8	100.1	105.2	69.5	107.8	74.4	4.81
	CO_42	CCUC2	87.3	85.6	91.3	83.3	92.9	28.1	5.07
	CO_121	CCUC3	85.2	83.6	89.5	82.4	91.0	24.7	6.64
	CO_66	CFQNE	255.3	252.3	253.9	-19.8	257.5	251.5	0.73
	CO_85	CSARD	119.0	117.8	121.9	119.3	123.2	15.4	7.93
CO_20080524192044	CO_39	CANAP	91.5	85.3	86.6	5.8	93.5	85.1	4.76
	CO_06	CANSE	253.2	247.1	247.4	-30.9	254.1	245.2	0.83
	CO_59	CARBE	81.6	76.1	77.8	35.4	84.2	67.5	5.77
	CO_60	CARME	217.3	211.3	211.7	39.9	218.3	207.5	9.58
	CO_01	CBOG1	50.8	45.1	48.2	-17.2	55.2	41.7	32.02
	CO_235	CBOG1_R	50.8	45.1	48.2	-17.2	55.2	41.7	8.18
	CO_61	CBOG2	46.5	40.6	44.2	-13.5	51.3	38.3	57.68
	CO_29	CBUC1	308.2	307.8	307.9	-307.7	308.8	9.3	0.82
CO_20080524192044	CO_17	CCALA	213.4	207.4	207.8	44.0	214.4	202.7	1.99
	CO_121	CCUC3	411.1	410.7	410.5	-410.5	411.5	14.2	0.66
	CO_07	CFILA	230.2	224.2	224.5	-42.1	231.2	220.2	0.86
	CO_66	CFQNE	121.6	119.9	121.0	-116.0	123.5	30.2	7.28
	CO_13	CGUAD	124.4	118.7	119.6	-47.0	126.0	109.0	10.85
	CO_50	CIBA1	169.5	163.5	164.1	38.7	170.7	158.9	6.06
	CO_105	CIBA3	164.2	158.2	158.9	38.9	165.4	153.4	6.50
	CO_51	CMAN1	216.0	209.9	210.4	-20.2	217.1	208.9	3.26
	CO_77	COCAN	432.0	430.8	430.6	-424.9	432.4	71.2	1.39

(././...)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
CO_20080524192044	CO_02	CPENS	196.5	190.7	191.2	-64.6	197.6	179.4	9.14
	CO_22	CPRAD	148.1	143.7	144.4	102.3	149.4	101.1	4.57
	CO_14	CQUET	17.6	12.9	20.7	9.5	27.0	8.8	563.01
	CO_124	CREAC	51.1	45.3	48.5	-16.2	55.5	42.3	32.59
	CO_03	CROSA	85.8	80.1	82.0	-31.6	88.6	73.6	3.68
	CO_84	CSJGU	236.5	232.1	232.4	162.5	237.3	165.7	17.29
	CO_25	CTRUJ	290.3	284.5	284.7	96.0	291.0	267.9	0.55
	CO_116	CTUN2	136.4	136.3	137.3	-136.3	138.1	0.0	16.58
	CO_123	CTUN3	136.9	136.8	137.8	-136.8	138.6	0.0	3.49
	CO_11	CVIL1	23.1	20.2	25.3	18.9	30.2	7.3	60.97
CO_20090912200625	CO_127	CYOPA	181.2	177.5	178.0	-145.9	182.2	101.2	2.00
	CO_121	CCUC3	588.0	580.9	580.1	475.9	588.3	336.9	1.68
CO_20100326015638	CO_50	CIBA1	1060.2	1051.9	1049.3	754.8	1060.3	732.5	1.57
	CO_71	CPAS2	302.7	302.3	302.5	-296.6	303.3	58.5	0.06
CO_20100605011959	CO_126	CTUM2	348.7	347.3	347.2	-258.7	349.1	231.6	0.03
	CO_128	CMON2	598.0	597.5	596.7	598.3	598.3	25.7	0.01
CO_20100729193445	CO_126	CTUM2	783.8	781.9	780.4	218.8	784.0	750.7	0.01
	CO_39	CANAP	96.3	93.9	99.6	8.6	102.5	93.6	10.89
	CO_59	CARBE	82.4	80.0	87.6	35.7	89.9	72.3	5.44
	CO_60	CARME	96.4	94.9	100.9	-93.3	102.9	17.7	31.25
	CO_27	CBMAL	249.0	246.8	248.4	-205.1	251.4	137.4	0.51
	CO_17	CCALA	90.1	88.7	95.1	-87.3	97.2	15.6	14.45
	CO_12	CCHIN	170.6	168.2	172.0	78.8	174.6	149.3	0.84
	CO_121	CCUC3	525.9	523.4	523.0	-37.3	527.1	522.1	0.56
	CO_65	CFLOR	265.3	262.9	264.6	106.1	267.6	241.1	2.45
	CO_50	CIBA1	62.7	60.5	69.4	-48.4	72.2	36.3	41.42
	CO_128	CMON2	558.7	556.4	555.8	-433.5	559.8	348.3	0.02
	CO_69	CNEIV	109.0	106.6	112.1	49.2	114.4	95.3	8.01
	CO_130	CPALE	135.4	133.2	137.5	-111.4	140.3	73.1	3.62
	CO_71	CPAS2	384.0	381.6	382.3	-11.4	385.8	381.4	0.14
	CO_124	CREAC	137.7	135.3	140.0	40.6	142.6	129.5	3.14
	CO_03	CROSA	135.2	132.7	137.3	5.9	140.3	132.7	2.55
	CO_126	CTUM2	465.3	462.7	462.6	-183.2	466.6	424.8	0.04
CO_129	CURIB	931.9	929.4	926.7	-250.7	932.6	894.4	0.03	
CO_20110302185048	CO_11	CVIL1	163.8	161.7	165.2	111.0	167.5	119.0	3.26
	CO_131	CBAR2	348.6	342.3	343.1	-174.9	350.5	294.3	0.55
	CO_132	CBAR3	352.8	346.6	347.2	-173.0	354.7	300.2	0.52
	CO_121	CCUC3	495.3	492.0	491.8	-491.9	496.6	11.3	1.83
	CO_50	CIBA1	498.5	492.3	492.1	-270.9	499.9	410.8	0.54
	CO_51	CMAN1	421.3	415.0	415.4	-225.9	423.0	348.0	0.59
	CO_88	CMONT	122.4	117.6	122.0	-110.4	127.6	40.3	6.51
CO_20130516162918	CO_140	CCODA	233.1	232.5	234.5	228.9	235.7	45.1	0.16
	CO_122	CNOCA	735.6	734.7	733.2	670.9	736.5	300.1	0.02
CO_20130516162918	CO_151	CSTM1	127.5	126.0	130.5	77.4	132.1	100.0	0.66
	CO_129	CURIB	163.7	162.0	165.3	69.1	167.3	146.9	0.66
CO_20130806025012	CO_28	CBSOL	107.7	105.7	110.0	-21.2	112.5	103.5	1.18
	CO_140	CCODA	522.5	520.6	520.1	-305.8	523.5	421.0	0.01
	CO_122	CNOCA	323.5	322.3	323.1	-310.7	325.2	85.9	0.04
	CO_03	CROSA	419.8	418.5	418.9	-393.3	421.3	142.8	0.02
	CO_126	CTUM2	617.0	615.0	614.1	-32.3	617.8	614.2	0.00
	CO_129	CURIB	768.5	766.5	764.8	-392.2	769.2	657.7	0.01
	CO_153	CVALL	577.5	575.5	574.8	-304.6	578.4	488.0	0.02
CO_20130825233555	CO_139	CYOTO	371.6	369.6	370.1	-210.0	373.1	304.1	0.02
	CO_28	CBSOL	308.4	308.1	308.5	308.0	309.5	21.8	0.15
	CO_140	CCODA	307.2	306.0	306.4	-285.8	308.3	109.3	0.28
	CO_154	CLOBA	164.8	163.7	165.3	-157.4	166.8	45.0	4.45
	CO_122	CNOCA	231.5	229.7	230.8	120.8	233.0	195.7	0.64
CO_20130825233555	CO_03	CROSA	319.9	318.0	318.8	116.9	321.2	296.0	0.13
	CO_129	CURIB	559.2	558.0	557.3	-527.8	559.8	180.7	0.06

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20130825233555	CO_153	CVALL	372.0	370.7	370.8	-338.9	372.9	150.1	0.17
	CO_139	CYOTO	433.0	431.7	431.6	355.7	433.9	245.5	0.01
	CO_06	CANSE	120.8	117.1	122.0	47.5	126.5	107.2	4.75
CO_20140105033638	CO_60	CARME	113.7	111.8	117.1	101.5	119.6	47.9	28.99
	CO_27	CBMAL	97.8	93.9	99.3	-28.7	104.1	89.4	4.34
	CO_79	CBOCA	116.7	114.1	119.2	90.2	122.5	70.4	1.79
	CO_01	CBOG1	288.7	286.5	288.4	248.1	291.2	144.0	0.65
	CO_28	CBSOL	196.6	194.1	196.3	-158.6	199.8	111.9	0.56
	CO_17	CCALA	117.6	115.9	121.0	107.1	123.4	45.1	5.46
	CO_155	CCNEG	336.2	334.7	335.9	314.8	338.2	114.7	0.90
	CO_140	CCODA	691.8	687.8	686.5	11.3	692.7	687.7	0.02
	CO_141	CCUFI	383.0	379.2	380.2	124.4	385.0	358.3	0.10
	CO_18	CDAGU	105.7	102.2	107.6	50.9	111.9	88.9	5.52
	CO_32	CECAL	81.6	78.5	85.7	52.4	89.6	58.8	5.46
	CO_07	CFILA	145.5	141.9	145.9	69.0	150.2	124.3	0.54
	CO_65	CFLOR	355.3	352.6	353.5	267.7	357.1	229.8	0.24
	CO_156	CMACA	417.3	416.4	416.8	410.0	418.8	75.0	0.38
	CO_51	CMAN1	138.9	135.7	140.0	85.3	143.9	105.8	6.55
	CO_122	CNOCA	227.5	224.0	226.1	121.0	230.3	188.8	0.46
	CO_70	CPAS1	386.7	382.9	383.7	128.9	388.6	360.6	0.08
	CO_157	CPER3	107.2	104.5	110.0	80.0	113.4	67.7	16.11
	CO_126	CTUM2	383.7	379.7	380.1	-41.7	385.4	377.4	0.12
	CO_26	CTUTU	127.5	123.7	127.7	-49.7	132.4	113.3	12.26
CO_97	CVERS	52.9	51.2	62.1	47.9	64.9	19.2	70.62	
CO_139	CYOTO	79.0	76.9	84.2	67.6	87.1	37.3	14.45	
CO_98	RAC02	138.5	135.2	139.3	83.8	143.2	106.4	8.03	
CO_20140109125017	CO_60	CARME	173.9	171.8	172.5	-94.7	174.9	143.4	5.41
	CO_27	CBMAL	190.9	190.4	190.7	-189.0	191.6	22.8	0.46
	CO_79	CBOCA	198.9	196.9	197.4	-110.7	199.8	162.8	0.35
	CO_01	CBOG1	273.5	271.2	271.5	26.8	274.2	269.9	1.99
	CO_155	CCNEG	276.6	274.4	274.7	98.3	277.2	256.3	2.66
	CO_140	CCODA	816.9	814.7	813.3	-324.5	817.1	746.7	0.01
	CO_49	CCOLO	131.7	129.6	130.7	64.4	132.9	112.7	7.97
	CO_141	CCUFI	253.6	251.3	251.8	20.7	254.4	250.5	0.13
	CO_18	CDAGU	112.0	111.6	112.7	-111.6	113.4	4.4	1.83
	CO_32	CECAL	119.3	118.6	119.7	-116.8	120.7	20.6	2.70
	CO_65	CFLOR	162.3	160.8	161.6	131.4	163.2	93.2	1.60
	CO_13	CGUAD	272.1	269.8	270.0	-46.7	272.7	265.7	1.17
	CO_156	CMACA	250.7	249.9	250.2	235.3	251.3	84.8	2.30
	CO_51	CMAN1	233.9	231.9	232.3	-123.4	234.7	196.3	2.10
	CO_122	CNOCA	306.8	304.6	304.6	-107.1	307.3	285.1	0.42
	CO_70	CPAS1	255.3	253.0	253.4	25.5	256.1	251.7	0.09
	CO_137	CPGA1	272.3	270.1	270.4	25.8	273.0	268.8	1.65
	CO_72	CPLAT	70.2	68.5	70.6	49.9	72.5	47.2	6.08
	CO_126	CTUM2	337.8	335.6	335.5	-136.9	338.2	306.3	0.06
	CO_97	CVERS	176.0	174.5	175.1	-140.5	177.0	103.4	4.03
CO_04	CVHER	241.5	239.3	239.7	-87.1	242.3	222.9	0.82	
CO_11	CVIL1	285.2	283.0	283.2	97.8	285.7	265.7	1.58	
CO_139	CYOTO	117.0	115.9	116.9	-106.8	118.4	45.0	1.18	
CO_98	RAC02	77.5	76.8	78.5	-75.5	79.5	14.1	5.10	
CO_20140217094136	CO_01	CBOG1	334.9	333.8	335.8	335.3	338.0	28.4	0.93
	CO_28	CBSOL	629.4	626.6	625.8	474.5	630.8	411.6	0.05
	CO_155	CCNEG	346.1	344.9	346.5	345.6	348.8	37.1	1.94
	CO_140	CCODA	424.2	420.5	421.1	-125.7	426.4	401.3	0.29
	CO_42	CCUC2	174.8	171.2	175.6	-43.3	180.0	165.6	4.89
	CO_141	CCUFI	858.2	857.4	855.4	860.0	859.5	10.1	0.01
	CO_65	CFLOR	701.6	700.4	699.1	697.7	702.9	86.5	0.07
	CO_66	CFQNE	252.2	250.5	253.8	243.9	256.2	67.6	2.08
CO_152	CGIR2	165.8	162.5	167.8	76.0	171.4	145.0	5.17	

(…/…)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
CO_20140217094136	CO_156	CMACA	541.2	539.3	539.1	510.2	542.8	181.8	0.74
	CO_51	CMAN1	450.7	448.6	449.4	415.6	452.9	175.1	0.45
	CO_122	CNOCA	364.5	362.3	363.6	326.2	367.0	162.9	0.46
	CO_158	CPAM3	140.3	136.9	143.5	12.1	147.2	136.6	6.18
	CO_38	CPAMP	139.1	135.8	142.3	8.7	146.1	135.6	25.80
	CO_70	CPAS1	859.2	858.4	856.3	861.0	860.4	5.3	0.01
	CO_03	CROSA	343.3	341.9	343.8	338.6	346.3	63.3	0.23
	CO_151	CSTM1	584.9	581.2	580.6	-159.9	586.4	558.7	0.15
	CO_123	CTUN3	211.0	209.5	213.8	207.2	215.8	45.5	0.94
	CO_129	CURIB	576.6	572.9	572.3	-376.2	578.2	431.6	0.30
CO_20140219111014	CO_139	CYOTO	585.1	583.5	583.0	566.0	586.7	151.5	0.02
	CO_98	RAC02	638.0	636.6	635.7	628.3	639.4	117.3	0.36
	CO_28	CBSOL	925.6	922.3	920.1	97.8	925.8	917.2	0.03
	CO_140	CCODA	404.8	401.8	401.7	229.0	405.3	331.1	0.42
	CO_141	CCUFI	1260.2	1256.7	1253.4	-381.8	1260.4	1195.8	0.01
	CO_65	CFLOR	1111.7	1108.3	1105.4	-444.7	1111.9	1013.4	0.04
	CO_156	CMACA	952.2	948.9	946.8	-493.8	952.5	808.6	0.14
	CO_51	CMAN1	816.0	812.6	811.3	-118.2	816.4	803.9	0.51
	CO_122	CNOCA	725.8	722.4	721.2	-109.1	726.1	714.0	0.04
	CO_70	CPAS1	1261.6	1258.1	1254.7	-386.8	1261.8	1195.7	0.01
CO_20140221114325	CO_03	CROSA	736.5	733.1	732.1	-208.8	736.9	702.4	0.07
	CO_151	CSTM1	515.4	513.0	512.4	390.1	515.9	334.5	0.17
	CO_129	CURIB	331.7	330.3	330.5	317.9	332.4	94.7	0.20
	CO_139	CYOTO	964.3	960.9	958.8	-176.3	964.6	944.4	0.01
	CO_28	CBSOL	1011.8	1009.8	1007.0	751.1	1012.2	673.3	0.03
	CO_140	CCODA	411.6	409.6	409.6	309.2	412.5	270.0	0.29
	CO_65	CFLOR	1329.7	1328.4	1323.5	1253.2	1329.9	438.7	0.00
	CO_122	CNOCA	895.3	893.8	891.6	805.5	895.7	388.0	0.05
	CO_03	CROSA	938.2	937.0	934.8	880.8	938.7	321.1	0.04
	CO_129	CURIB	164.2	161.9	164.0	100.7	166.4	127.9	2.96
CO_20141020193321	CO_139	CYOTO	1130.7	1129.2	1125.7	992.2	1131.1	537.0	0.00
	CO_27	CBMAL	368.5	365.5	365.3	275.5	368.5	240.1	0.06
	CO_141	CCUFI	83.8	83.8	84.2	83.9	84.4	0.0	0.63
	CO_65	CFLOR	269.6	268.2	268.1	256.6	269.6	78.3	0.17
	CO_164	CGR1C	251.8	248.0	247.9	133.5	251.9	209.0	0.06
	CO_161	CGUYA	572.4	570.6	570.4	529.0	572.5	213.7	0.03
	CO_50	CIBA1	508.5	507.2	506.9	488.8	508.5	135.3	1.14
	CO_156	CMACA	479.5	478.0	477.7	453.2	479.6	152.2	0.09
	CO_162	CORTC	460.7	459.8	459.5	451.2	460.8	88.9	0.04
	CO_70	CPAS1	83.4	83.3	83.6	83.4	83.9	0.0	1.34
CO_20141020193321	CO_71	CPAS2	90.7	90.5	90.8	90.6	91.2	1.3	1.98
	CO_163	CPIZC	472.9	469.7	469.4	338.3	472.9	325.7	0.02
	CO_165	CRECR	548.6	547.0	546.8	513.5	548.7	188.4	0.07
	CO_03	CROSA	606.6	605.7	605.3	596.0	606.6	108.0	0.06
	CO_159	CTAME	929.2	928.8	927.4	925.6	929.2	76.3	0.04
	CO_166	CTUM3	149.5	145.0	145.0	2.2	149.7	145.0	3.20
	CO_139	CYOTO	400.3	398.3	398.1	360.0	400.3	170.3	0.02
	CO_98	RAC02	330.4	328.6	328.5	302.1	330.5	129.4	0.75
	CO_60	CARME	506.2	505.7	506.5	499.7	509.1	78.7	0.08
	CO_27	CBMAL	526.4	525.8	526.2	514.2	529.1	110.8	0.02
CO_20141128043623	CO_28	CBSOL	280.1	279.4	283.3	273.3	285.1	59.2	0.24
	CO_155	CCNEG	662.0	660.9	660.1	599.0	664.2	278.8	0.04
	CO_64	CCRUZ	799.8	799.3	797.6	787.9	801.8	135.1	0.09
	CO_141	CCUFI	835.7	835.1	833.2	814.0	837.7	186.7	0.01
	CO_168	CCUMB	868.4	867.6	865.4	831.8	870.2	246.0	0.05
	CO_65	CFLOR	820.8	820.7	818.5	821.0	822.5	0.4	0.01
	CO_161	CGUYA	453.2	452.4	454.2	434.7	456.8	126.3	0.02
	CO_50	CIBA1	537.1	536.5	536.9	522.7	539.9	121.6	0.17
	CO_156	CMACA	835.4	834.7	832.3	807.7	837.1	210.1	0.01

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20141128043623	CO_51	CMAN1	459.9	459.2	460.7	446.7	463.2	107.3	0.33
	CO_88	CMONT	177.0	174.5	181.3	35.9	184.8	170.9	1.49
	CO_122	CNOCA	454.5	453.4	454.7	411.6	457.7	190.5	0.06
	CO_162	CORTC	590.5	590.0	589.8	580.5	592.9	106.1	0.02
	CO_169	CPALC	445.9	445.7	447.1	445.5	449.1	21.0	0.10
	CO_70	CPAS1	840.0	839.4	837.3	818.7	841.9	185.1	0.01
	CO_71	CPAS2	837.8	837.2	835.1	818.2	839.7	177.4	0.01
	CO_163	CPIZC	420.1	419.5	421.1	410.4	423.5	88.2	0.03
	CO_142	CPROV	668.5	667.2	666.2	-604.3	670.6	282.0	0.12
	CO_03	CROSA	554.9	553.8	554.3	503.5	557.7	230.5	0.03
	CO_170	CSJAC	281.3	278.8	282.5	-64.8	286.4	271.2	0.37
	CO_151	CSTM1	445.1	442.7	443.8	-177.2	448.3	405.6	0.18
	CO_159	CTAME	675.5	673.4	672.4	396.0	677.6	544.1	0.03
	CO_126	CTUM2	781.9	780.8	778.9	712.0	783.7	319.7	0.01
	CO_129	CURIB	682.8	680.3	679.2	-179.5	684.9	656.1	0.07
	CO_153	CVALL	500.9	498.3	498.9	-81.9	503.7	491.6	0.41
	CO_139	CYOTO	543.3	543.2	543.6	543.5	546.0	5.2	0.03
	CO_60	CARME	564.6	561.5	561.1	90.9	564.7	554.3	0.09
	CO_27	CBMAL	742.0	738.8	738.0	26.2	742.0	738.4	0.01
	CO_01	CBOG1	453.4	450.3	450.2	189.7	453.5	409.2	0.88
CO_28	CBSOL	622.9	619.5	619.1	-173.8	622.9	594.5	0.07	
CO_42	CCUC2	53.7	50.6	51.1	7.4	54.2	50.3	9.47	
CO_65	CFLOR	835.6	832.6	831.6	353.8	835.7	753.7	0.01	
CO_152	CGIR2	174.2	171.1	171.2	42.4	174.4	166.2	3.43	
CO_161	CGUYA	490.3	487.2	487.0	50.4	490.4	484.7	0.06	
CO_156	CMACA	702.8	700.0	699.3	426.1	702.8	556.0	0.05	
CO_122	CNOCA	423.2	420.1	419.8	55.1	423.3	416.7	0.10	
CO_77	COCAN	130.7	127.4	127.5	-78.2	130.9	100.5	7.30	
CO_162	CORTC	591.1	587.9	587.4	176.0	591.1	561.4	0.03	
CO_172	CPAM2	117.2	114.1	114.6	42.8	117.6	106.5	3.87	
CO_158	CPAM3	112.8	109.7	110.1	42.9	113.2	101.7	3.61	
CO_38	CPAMP	109.8	106.7	107.1	43.5	110.2	98.2	7.78	
CO_163	CPIZC	682.0	678.8	678.2	-59.8	682.0	676.1	0.03	
CO_165	CRECR	508.7	505.5	505.4	75.9	508.8	500.0	0.11	
CO_03	CROSA	447.4	444.2	444.1	155.4	447.5	416.8	0.11	
CO_85	CSARD	75.4	72.0	72.2	-27.1	75.8	66.8	6.52	
CO_151	CSTM1	398.7	397.3	397.1	-397.1	398.8	11.2	0.26	
CO_159	CTAME	203.2	201.3	201.4	183.5	203.3	86.8	2.73	
CO_129	CURIB	386.3	383.3	383.2	-297.7	386.4	241.3	0.36	
CO_153	CVALL	281.8	279.9	279.9	-275.2	281.9	51.2	1.34	
CO_155	CCNEG	837.5	835.7	833.6	-393.0	838.5	736.6	0.04	
CO_205	CGAR2	1098.3	1096.7	1092.9	-644.1	1099.1	884.5	0.10	
CO_161	CGUYA	782.6	781.1	779.6	-538.5	783.8	564.5	0.01	
CO_156	CMACA	1055.4	1053.6	1050.0	-469.7	1056.2	941.4	0.06	
CO_122	CNOCA	724.0	722.4	721.0	-473.4	725.1	544.7	0.02	
CO_77	COCAN	383.7	382.1	383.0	-226.2	385.9	307.8	0.97	
CO_162	CORTC	909.6	908.0	905.3	-564.8	910.5	709.1	0.01	
CO_165	CRECR	807.6	806.1	804.5	-543.6	808.8	593.7	0.02	
CO_151	CSTM1	232.3	231.9	234.5	-230.2	235.8	28.4	0.62	
CO_159	CTAME	562.2	560.3	559.8	-119.5	563.6	547.3	0.07	
CO_129	CURIB	28.2	26.8	47.2	20.1	49.1	18.0	33.74	
CO_202	RNOR1	383.1	381.2	382.0	-132.9	385.2	357.3	0.21	
CO_204	RNOR3	406.3	404.4	405.0	-148.2	408.3	376.2	0.15	
CO_60	CARME	449.2	443.2	442.9	-315.0	449.5	311.4	0.93	
CO_206	CBET2	649.1	643.4	642.7	-495.3	649.3	409.8	0.03	
CO_27	CBMAL	471.1	466.9	466.6	-438.5	471.3	160.2	0.05	
CO_01	CBOG1	537.0	530.2	529.9	-242.5	537.3	471.3	1.23	
CO_28	CBSOL	225.1	221.2	221.4	-211.6	225.7	64.5	2.14	
CO_155	CCNEG	609.5	602.8	602.2	-281.5	609.7	532.6	0.21	

(…/…)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjib</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20150729001025	CO_64	CCRUZ	743.8	739.3	738.5	-676.8	744.0	296.6	0.14
	CO_121	CCUC3	531.2	524.6	524.1	155.5	531.4	501.8	0.55
	CO_141	CCUFI	780.5	776.4	775.6	-727.8	780.8	269.1	0.02
	CO_168	CCUMB	814.3	810.5	809.6	-776.7	814.5	230.7	0.04
	CO_205	CGAR2	703.3	697.7	696.9	-553.7	703.5	423.4	0.04
	CO_161	CGUYA	397.8	391.3	391.3	-234.5	398.3	313.2	0.18
	CO_50	CIBA1	480.9	474.6	474.3	-309.2	481.2	359.7	0.34
	CO_156	CMACA	779.4	773.0	772.0	-491.3	779.5	595.6	0.03
	CO_51	CMAN1	403.8	397.4	397.3	-255.3	404.2	304.5	1.13
	CO_88	CMONT	172.4	167.0	167.7	117.7	173.1	121.1	1.48
	CO_207	CNIZA	408.8	402.4	402.3	-255.4	409.2	310.8	0.14
	CO_122	CNOCA	402.2	395.5	395.2	-178.8	402.6	352.6	0.19
	CO_77	COCAN	439.5	433.0	432.8	160.6	439.8	403.2	1.27
	CO_162	CORTC	533.7	527.6	527.1	-365.4	534.0	380.2	0.05
	CO_169	CPALC	388.5	382.9	382.7	-303.7	388.8	233.0	0.26
	CO_172	CPAM2	518.2	511.6	511.3	92.6	518.6	503.6	0.36
	CO_70	CPAS1	784.7	780.6	779.7	-730.8	785.0	273.1	0.01
	CO_71	CPAS2	782.4	778.2	777.3	-726.0	782.7	279.1	0.01
	CO_209	CPBER	367.8	361.0	360.8	-61.1	368.2	355.8	0.03
	CO_163	CPIZC	364.9	360.8	360.7	-340.5	365.3	119.3	0.31
	CO_142	CPROV	721.7	715.7	714.5	379.2	721.9	608.1	0.07
	CO_208	CPTAR	133.8	131.7	132.1	-131.7	134.8	0.5	48.01
	CO_124	CREAC	537.0	530.2	529.9	-243.5	537.3	470.8	0.53
	CO_165	CRECR	424.8	418.4	418.4	-260.8	425.3	327.0	0.28
	CO_03	CROSA	502.3	495.6	495.3	-231.1	502.7	438.2	0.19
	CO_151	CSTM1	468.9	465.4	464.9	426.9	469.1	191.2	0.15
	CO_126	CTUM2	731.1	728.2	727.2	-720.9	731.3	102.0	0.02
	CO_129	CURIB	697.9	693.4	692.3	572.1	698.1	394.9	0.11
	CO_153	CVALL	511.1	506.3	505.8	397.9	511.4	316.3	0.42
	CO_139	CYOTO	486.0	480.7	480.4	-401.9	486.3	263.4	0.04
CO_98	RAC02	548.9	543.9	543.4	-472.7	549.2	268.6	0.43	
CO_20150907055117	CO_210	CCAPU	52.5	50.5	52.3	-37.7	54.6	33.5	14.68
	CO_155	CCNEG	678.5	677.2	676.4	-670.4	678.7	95.8	0.02
	CO_161	CGUYA	464.1	462.6	462.5	-447.0	464.5	119.1	0.01
	CO_207	CNIZA	474.0	472.5	472.2	-451.3	474.3	139.7	0.01
	CO_122	CNOCA	471.5	470.3	470.0	-467.2	471.8	53.9	0.01
	CO_77	COCAN	498.6	496.6	496.3	-409.7	498.8	280.3	0.20
	CO_209	CPBER	438.3	437.1	436.8	-433.6	438.6	54.8	0.03
	CO_208	CPTAR	163.3	161.2	161.6	-104.3	164.0	122.9	7.34
	CO_129	CURIB	725.8	723.6	722.5	-273.9	725.9	669.3	0.02
	CO_153	CVALL	544.4	542.2	541.6	-253.4	544.6	479.1	0.06
CO_20151012043541	CO_60	CARME	387.7	385.5	385.4	109.1	387.9	370.3	0.23
	CO_211	CBARI	484.7	483.2	482.9	431.8	484.8	220.3	0.07
	CO_206	CBET2	582.2	580.0	579.5	82.8	582.3	574.3	0.01
	CO_28	CBSOL	146.8	144.5	144.8	-29.9	147.2	141.4	2.09
	CO_210	CCAPU	123.1	121.0	121.4	44.5	123.6	113.2	1.28
	CO_155	CCNEG	565.6	563.6	563.1	307.4	565.7	473.2	0.05
	CO_64	CCRUZ	667.0	664.7	664.1	-114.9	667.1	654.6	0.08
	CO_141	CCUFI	702.4	700.1	699.6	-167.0	702.6	679.8	0.01
	CO_65	CFLOR	692.6	690.5	689.7	25.1	692.7	690.1	0.01
	CO_205	CGAR2	634.5	632.4	631.8	59.5	634.6	629.7	0.02
	CO_161	CGUYA	345.7	343.6	343.6	157.8	346.0	306.1	0.07
	CO_50	CIBA1	423.7	421.5	421.3	151.5	423.9	394.0	0.14
	CO_156	CMACA	721.9	719.7	718.8	235.0	721.9	680.6	0.01
	CO_51	CMAN1	348.1	346.0	346.0	138.6	348.4	317.8	0.50
	CO_207	CNIZA	353.7	351.5	351.5	143.6	353.9	321.6	0.04
CO_122	CNOCA	361.8	359.8	359.6	222.4	361.9	284.1	0.04	
CO_77	COCAN	463.4	462.7	462.4	462.9	463.6	39.1	0.14	
CO_162	CORTC	473.0	470.8	470.5	135.1	473.1	451.5	0.02	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20151012043541	CO_172	CPAM2	526.3	525.1	524.9	504.1	526.5	153.0	0.03
	CO_70	CPAS1	706.7	704.4	703.8	-165.5	706.9	684.5	0.01
	CO_71	CPAS2	704.6	702.3	701.6	-157.8	704.7	684.2	0.01
	CO_163	CPIZC	286.9	284.6	284.5	-61.2	287.1	277.9	0.13
	CO_208	CPTAR	57.8	55.5	56.4	-46.3	58.8	30.7	50.38
	CO_03	CROSA	459.4	457.4	457.2	260.8	459.6	376.8	0.04
	CO_151	CSTM1	537.3	535.7	535.2	447.7	537.4	296.4	0.07
	CO_153	CVALL	567.9	566.6	566.1	532.1	568.0	199.5	0.02
CO_20151128105911	CO_155	CCNEG	281.1	280.1	280.2	-246.0	281.6	133.8	1.72
	CO_64	CCRUZ	692.2	690.6	689.8	-389.0	692.5	570.0	0.17
	CO_141	CCUFI	747.3	745.6	744.8	-404.2	747.5	625.7	0.02
	CO_205	CGAR2	516.1	514.5	514.1	-292.8	516.4	422.8	0.56
	CO_161	CGUYA	490.2	489.5	489.3	-470.6	490.6	134.7	0.04
	CO_50	CIBA1	455.2	454.2	453.9	-408.8	455.5	197.7	0.60
	CO_156	CMACA	355.1	353.4	353.2	-138.4	355.5	325.1	0.63
	CO_207	CNIZA	494.3	493.6	493.2	-468.3	494.7	155.6	0.04
	CO_122	CNOCA	450.3	449.9	449.5	-444.1	450.7	71.9	0.07
	CO_77	COCAN	539.0	537.9	537.4	-466.9	539.3	266.7	0.12
	CO_162	CORTC	452.3	451.2	450.8	-376.6	452.6	248.2	0.35
	CO_172	CPAM2	419.3	418.2	418.2	-354.5	419.8	221.7	0.09
	CO_70	CPAS1	746.5	744.9	743.9	-399.7	746.8	627.7	0.02
	CO_71	CPAS2	738.9	737.2	736.3	-394.9	739.1	621.7	0.05
	CO_209	CPBER	468.4	468.0	467.6	-466.3	468.7	40.1	0.04
	CO_165	CRECFR	478.9	478.1	478.0	-451.4	479.4	157.5	0.19
	CO_03	CROSA	365.3	364.6	364.7	-349.2	365.8	104.7	0.19
	CO_84	CSJGU	220.3	218.5	218.8	-50.2	221.0	212.6	4.26
	CO_159	CTAME	291.3	290.0	290.0	-215.1	291.8	194.4	0.66
	CO_20151229025406	CO_139	CYOTO	574.3	573.2	572.6	-482.5	574.6	308.8
CO_211		CBARI	388.8	388.4	388.3	389.6	388.9	0.0	0.19
CO_206		CBET2	481.2	478.7	478.4	174.1	481.3	446.3	0.05
CO_28		CBSOL	105.8	103.4	103.5	-72.8	106.1	73.4	2.60
CO_210		CCAPU	211.7	209.1	209.1	-86.2	211.9	190.5	0.37
CO_155		CCNEG	451.1	449.3	449.0	354.0	451.2	278.0	0.13
CO_64		CCRUZ	589.2	586.7	586.3	13.1	589.3	586.6	0.10
CO_168		CCUMB	670.0	667.4	667.0	-78.9	670.1	662.7	0.06
CO_65		CFLOR	597.9	595.4	594.9	157.0	598.0	574.5	0.02
CO_205		CGAR2	536.3	533.8	533.5	170.0	536.4	506.3	0.10
CO_161		CGUYA	232.3	230.1	230.3	158.1	232.5	168.4	0.25
CO_50		CIBA1	313.0	310.7	310.6	180.7	313.1	253.6	0.50
CO_156		CMACA	611.7	609.4	608.9	352.7	611.7	497.4	0.02
CO_51		CMAN1	236.3	234.1	234.2	143.7	236.5	185.7	1.74
CO_207		CNIZA	241.6	239.4	239.5	149.8	241.8	187.7	0.21
CO_122		CNOCA	247.7	246.1	246.1	212.2	247.8	126.7	0.23
CO_77		COCAN	402.1	400.6	400.5	360.2	402.2	177.7	0.25
CO_162		CORTC	365.0	362.7	362.5	183.8	365.1	313.3	0.13
CO_169		CPALC	221.9	219.3	219.4	61.2	222.0	211.0	2.58
CO_172		CPAM2	443.7	442.9	442.8	436.2	443.8	83.2	0.04
CO_209		CPBER	249.5	248.9	248.9	249.7	249.6	15.1	0.27
CO_163		CPIZC	223.2	220.6	220.5	-58.2	223.4	212.7	0.21
CO_208		CPTAR	127.2	125.9	126.0	-124.2	127.5	20.9	15.78
CO_165		CRECFR	258.0	255.8	256.0	163.6	258.2	197.6	0.52
CO_03		CROSA	344.9	343.1	343.1	278.5	345.0	202.0	0.14
CO_151		CSTM1	550.0	547.5	547.1	235.9	550.0	494.5	0.09
CO_159		CTAME	543.4	543.0	542.5	544.2	543.4	4.1	0.03
CO_129		CURIB	745.4	743.3	742.4	473.4	745.5	572.9	0.10
CO_153	CVALL	554.2	552.0	551.5	347.0	554.2	429.9	0.05	
CO_139	CYOTO	322.1	319.6	319.5	61.6	322.3	313.8	0.49	
CO_98	RAC02	388.2	385.7	385.5	45.9	388.3	383.1	0.86	

(././...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20160411092928	CO_211	CBARI	380.4	379.6	379.8	379.6	381.3	36.0	0.20
	CO_206	CBET2	496.3	493.4	493.0	236.7	496.9	433.7	0.03
	CO_28	CBSOL	126.1	122.9	124.8	-65.5	128.5	104.0	1.02
	CO_64	CCRUZ	608.4	605.3	604.7	99.4	609.1	597.4	0.07
	CO_168	CCUMB	690.3	687.2	686.3	20.4	690.9	687.0	0.02
	CO_205	CGAR2	552.0	549.0	548.5	242.0	552.7	493.5	0.04
	CO_161	CGUYA	241.3	238.8	240.1	177.5	242.9	161.7	0.21
	CO_122	CNOCA	251.1	249.2	250.1	224.3	252.3	112.1	0.15
	CO_77	COCAN	385.7	383.6	383.7	322.2	386.5	210.6	0.26
	CO_162	CORTC	377.7	375.0	375.1	225.5	378.5	300.8	0.07
	CO_169	CPALC	238.5	235.4	236.4	88.4	239.8	218.9	1.38
	CO_172	CPAM2	431.6	430.1	430.3	412.0	432.5	129.1	0.06
	CO_209	CPBER	242.8	242.2	243.1	244.0	244.0	0.0	0.19
	CO_163	CPIZC	244.3	241.1	241.7	-29.3	245.5	239.3	0.08
	CO_208	CPTAR	134.0	132.5	134.2	-131.8	136.3	13.8	6.80
	CO_159	CTAME	535.0	534.2	533.6	533.1	535.6	54.8	0.04
	CO_126	CTUM2	624.8	621.6	620.7	-99.3	625.3	613.6	0.01
	CO_129	CURIB	724.8	722.0	720.6	372.2	725.3	618.9	0.01
	CO_139	CYOTO	339.7	336.6	337.0	104.8	340.7	320.4	0.29
CO_20160914015832	CO_211	CBARI	342.0	334.5	334.7	-102.4	342.8	318.5	1.61
	CO_206	CBET2	520.9	515.4	514.9	393.7	521.4	337.8	0.07
	CO_27	CBMAL	391.8	388.8	388.8	385.0	392.3	81.7	0.16
	CO_28	CBSOL	183.3	180.2	181.3	180.3	184.5	41.6	3.49
	CO_155	CCNEG	453.0	446.2	446.0	160.8	453.6	417.9	0.61
	CO_64	CCRUZ	647.9	643.8	643.0	593.1	648.4	260.9	0.55
	CO_168	CCUMB	734.7	731.3	730.3	703.6	735.2	215.1	0.03
	CO_65	CFLOR	643.3	638.0	637.1	514.8	643.6	382.6	0.06
	CO_205	CGAR2	578.5	573.1	572.5	448.5	579.0	362.2	0.08
	CO_164	CGR1C	530.1	527.8	527.2	529.1	530.6	62.0	0.01
	CO_161	CGUYA	251.7	245.4	246.4	155.9	252.9	193.4	0.55
	CO_156	CMACA	633.5	627.0	626.1	354.9	633.8	519.7	0.08
	CO_207	CNIZA	266.2	260.1	260.9	176.9	267.2	195.1	0.45
	CO_122	CNOCA	245.7	238.9	239.6	93.8	246.6	221.7	0.77
	CO_77	COCAN	331.1	324.1	324.3	-249.0	331.9	207.5	1.83
	CO_169	CPALC	271.3	266.7	267.2	239.0	272.2	127.8	1.46
	CO_172	CPAM2	384.5	377.0	377.1	-201.1	385.3	318.8	0.52
	CO_209	CPBER	210.9	203.8	204.3	-22.4	212.0	202.6	2.07
	CO_142	CPROV	877.7	870.2	868.5	-270.7	877.9	826.5	0.04
	CO_03	CROSA	346.0	339.2	339.6	129.1	346.9	315.6	0.57
	CO_151	CSTM1	476.2	472.2	471.8	-470.7	476.7	37.1	0.05
	CO_159	CTAME	495.6	488.1	487.7	-170.1	496.1	457.5	0.23
	CO_126	CTUM2	675.2	672.9	671.8	673.3	675.6	78.2	0.03
CO_129	CURIB	668.0	663.3	662.4	-651.9	668.3	122.6	0.05	
CO_213	CURR1	74.7	68.2	70.4	-58.4	77.7	35.2	11.17	
CO_139	CYOTO	374.1	369.6	369.6	329.6	374.8	176.3	0.09	
CO_98	RAC02	443.3	438.9	438.7	398.1	443.8	194.8	0.52	
CO_20161031002012	CO_39	CANAP	121.3	117.2	122.6	67.9	126.5	97.4	16.72
	CO_206	CBET2	129.6	125.2	130.2	41.5	134.5	119.1	6.44
	CO_01	CBOG1	140.0	135.6	140.4	33.1	145.0	132.1	5.16
	CO_155	CCNEG	116.5	111.8	116.6	-35.0	122.1	106.2	27.46
	CO_64	CCRUZ	342.9	338.6	339.9	114.7	345.0	319.5	2.45
	CO_183	CDABE	438.0	435.0	435.3	374.5	439.5	225.6	0.04
	CO_65	CFLOR	244.0	239.6	241.3	-5.5	246.6	239.6	3.97
	CO_205	CGAR2	178.4	174.0	177.3	16.1	182.3	173.5	18.49
	CO_164	CGR1C	408.7	405.3	405.7	314.8	410.2	258.4	0.02
	CO_161	CGUYA	218.8	215.9	219.0	189.6	222.2	108.1	0.58
	CO_50	CIBA1	135.8	133.6	138.4	128.7	140.7	44.3	16.29
CO_162	CORTC	95.3	94.5	101.2	97.2	101.8	0.0	16.72	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>	
CO_20170206130245	CO_214	APAC	536.3	533.6	533.4	466.0	537.8	264.6	1.69	
	CO_160	CARIG	713.0	709.3	707.8	391.1	714.1	592.8	0.04	
	CO_211	CBARI	385.9	381.9	383.1	79.0	388.1	374.2	0.53	
	CO_206	CBET2	115.7	111.7	118.3	17.7	122.6	110.7	14.85	
	CO_01	CBOG1	147.4	143.4	149.1	27.5	153.3	141.3	5.41	
	CO_64	CCRUZ	328.3	324.3	326.3	76.7	331.1	315.8	3.39	
	CO_168	CCUMB	447.5	443.5	444.3	112.5	449.6	429.7	0.37	
	CO_183	CDABE	430.1	427.4	428.0	374.6	432.0	210.7	0.06	
	CO_65	CFLOR	234.9	230.7	233.2	-37.6	238.3	227.6	2.63	
	CO_205	CGAR2	167.7	163.7	168.0	-11.5	172.8	163.3	22.10	
	CO_164	CGR1C	390.0	386.7	387.5	280.5	392.0	268.9	0.05	
	CO_156	CMACA	173.3	170.1	173.9	-160.3	177.9	57.0	21.76	
	CO_207	CNIZA	197.9	195.4	199.4	178.5	202.3	85.5	0.46	
	CO_162	CORTC	79.8	78.9	88.8	81.8	89.4	0.0	35.51	
	CO_169	CPALC	239.3	238.1	240.9	240.3	242.7	18.0	1.29	
	CO_172	CPAM2	483.9	480.0	480.5	86.7	485.9	472.6	0.08	
	CO_209	CPBER	343.3	339.6	340.9	187.8	345.7	284.7	0.37	
	CO_163	CPIZC	340.6	339.3	340.6	339.7	342.9	40.5	0.29	
	CO_170	CSJAC	717.8	714.3	712.9	475.6	718.9	534.5	0.03	
	CO_159	CTAME	460.5	456.4	456.6	-54.0	462.3	453.2	0.23	
	CO_126	CTUM2	484.5	480.7	480.8	251.7	486.2	411.2	0.15	
	CO_166	CTUM3	486.2	482.5	482.5	252.9	487.9	412.4	5.16	
	CO_129	CURIB	963.1	959.2	956.1	318.0	963.9	905.2	0.01	
	CO_139	CYOTO	193.2	191.1	195.0	184.2	197.5	60.5	1.05	
	CO_215	MEDEC	328.7	325.8	327.5	270.3	331.3	185.9	1.04	
	CO_98	RAC02	205.1	202.0	205.6	159.8	209.1	127.1	5.14	
	CO_20170418174956	CO_214	APAC	1189.8	1182.4	1179.5	-477.9	1189.9	1079.5	0.93
		CO_216	ARGC	1403.3	1396.2	1391.9	-294.7	1403.4	1363.7	0.03
		CO_217	BET	605.5	598.2	597.5	-188.6	605.8	567.5	0.95
		CO_218	BOG	829.3	822.3	821.2	-108.7	829.5	815.0	2.97
CO_219		CRU	512.0	504.8	504.5	-314.3	512.4	394.7	12.08	
CO_220		CUFI	495.5	488.5	488.3	-345.0	496.0	345.5	1.85	
CO_221		CUM	496.1	489.4	489.2	-386.8	496.6	299.5	2.64	
CO_222		DBB	1087.7	1080.4	1078.1	-410.7	1087.9	997.9	0.03	
CO_223		FLO2	480.4	473.0	472.6	-176.7	480.7	438.7	3.26	
CO_224		GARC	546.3	538.9	538.5	-179.3	546.6	508.1	12.01	
CO_226		MAL	782.6	775.2	774.0	-433.4	782.8	641.7	2.38	
CO_227		NOR	922.3	915.1	913.5	-222.2	922.5	887.4	0.11	
CO_228		PAL	855.4	848.0	846.6	-350.9	855.6	771.2	0.15	
CO_229		PAS1	490.7	483.7	483.5	-341.4	491.1	342.3	8.33	
CO_230		PAS2	490.3	483.2	482.9	-334.9	490.7	348.0	8.37	
CO_231	PIZC	885.5	878.1	876.6	-467.0	885.6	742.3	0.11		
CO_232	RECR	854.1	846.8	845.7	-254.0	854.4	807.4	0.27		
CO_233	TUM	634.6	628.0	627.2	-511.3	634.8	363.8	0.43		

Resultados para eventos del nido Sísmico de Bucaramanga

Tabla I. 2 Variables geométricas para cada registro de eventos provenientes del Nido de Bucaramanga

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_19941210152420	CO_10	CNORC	247.8	244.0	290.2	-55.3	296.9	237.6	8.66
	CO_04	CVHER	304.7	301.0	339.2	-33.3	346.6	299.2	2.29
	CO_11	CVIL1	294.4	290.9	330.8	150.1	336.7	250.7	1.24
CO_19950520221900	CO_13	CGUAD	99.4	96.5	176.0	-64.2	180.3	72.0	2.84
	CO_10	CNORC	117.3	116.2	186.8	-112.2	190.4	30.4	23.23
	CO_02	CPENS	149.8	148.1	208.8	-135.7	213.0	59.3	9.12
	CO_19	CPLA1	152.2	151.2	210.2	-146.9	214.0	35.5	24.66
	CO_04	CVHER	154.4	151.9	211.4	-118.2	216.3	95.4	3.67
CO_11	CVIL1	149.2	145.9	206.1	68.5	211.5	128.8	3.66	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_19970101043553	CO_39	CANAP	298.2	297.4	336.4	300.0	340.1	0.0	2.83
	CO_05	CANDE	347.4	344.6	378.1	289.1	384.3	191.4	1.51
	CO_06	CANSE	356.9	354.4	387.1	320.0	393.1	157.7	1.08
	CO_01	CBOG1	264.1	262.8	308.2	263.6	311.6	30.4	2.03
	CO_29	CBUC1	40.8	36.6	165.9	-20.5	169.0	30.2	6.97
	CO_40	CBUIS	49.9	45.6	168.1	-23.9	171.4	38.8	12.92
	CO_12	CCHIN	254.5	252.7	300.0	245.7	303.7	68.8	1.20
	CO_41	CCUC1	136.5	133.7	208.4	-129.7	212.8	32.6	4.72
	CO_42	CCUC2	139.4	136.7	210.2	-132.9	214.7	31.9	10.46
	CO_13	CGUAD	259.6	258.3	303.6	258.5	307.1	35.1	4.46
	CO_43	CHATO	144.1	139.9	212.2	-25.8	217.7	137.5	1.68
	CO_44	CMAZP	372.4	370.5	401.2	354.7	407.1	115.0	1.39
	CO_10	CNORC	249.2	247.0	294.0	231.6	298.1	92.6	14.05
	CO_38	CPAMP	79.8	77.3	180.3	-76.5	183.6	11.3	3.26
	CO_02	CPENS	286.6	284.3	326.1	265.9	330.7	107.3	14.73
	CO_19	CPLA1	225.9	222.7	274.6	170.6	279.1	146.1	22.95
	CO_03	CROSA	259.1	258.3	304.7	260.9	307.7	0.0	2.06
	CO_45	CSLUI	235.1	232.2	282.0	196.9	286.2	127.2	17.33
	CO_46	CSONS	288.5	285.9	327.4	251.0	332.5	141.3	5.19
	CO_47	CSUES	112.5	109.6	197.3	93.8	200.1	60.8	8.03
CO_48	CSVIC	260.8	257.5	303.7	187.4	308.8	179.2	3.65	
CO_19990318235411	CO_29	CBUC1	331.0	327.5	332.5	-57.0	338.0	322.5	0.64
	CO_41	CCUC1	261.8	258.2	265.1	-116.0	270.3	230.6	3.21
	CO_77	COCAN	198.9	195.4	205.5	-25.3	210.3	193.8	7.72
	CO_85	CSARD	231.6	228.0	236.1	-83.8	241.3	212.0	2.92
CO_19991108055121	CO_39	CANAP	298.1	293.6	332.8	88.0	340.0	281.1	3.09
	CO_01	CBOG1	262.9	258.5	304.4	108.2	310.7	236.3	3.70
	CO_235	CBOG1_R	262.9	258.5	304.4	108.2	310.7	236.3	0.95
	CO_61	CBOG2	265.7	261.3	306.8	113.1	313.1	237.1	3.44
	CO_29	CBUC1	47.9	44.9	168.1	-44.8	170.9	4.0	5.32
	CO_75	CBUC3	50.3	47.8	168.6	-47.8	171.3	0.0	10.82
	CO_76	CBUC4	52.3	49.8	169.1	-49.8	171.8	0.0	11.65
	CO_86	CBUC5	40.4	37.8	166.3	-37.8	168.9	0.0	16.78
	CO_87	CBUC6	49.3	46.6	168.4	-46.6	171.1	1.1	4.42
	CO_40	CBUIS	57.1	54.2	170.7	-54.0	173.7	4.6	11.47
	CO_07	CFILA	334.5	329.8	364.0	-48.0	372.8	326.3	0.60
	CO_50	CIBA1	360.0	355.5	387.1	50.0	395.7	352.4	1.58
	CO_67	CIBA2	359.4	354.9	386.1	46.0	394.7	352.3	0.86
	CO_51	CMAN1	342.2	337.6	371.2	-25.7	380.0	336.6	6.50
	CO_77	COCAN	179.4	175.6	237.6	-165.7	243.2	58.4	13.82
	CO_22	CPRAD	394.3	389.8	418.3	134.6	426.8	367.0	0.84
	CO_47	CSUES	107.9	104.3	194.8	84.6	197.6	65.4	6.38
CO_04	CVHER	308.1	303.7	341.4	5.1	349.5	303.7	3.01	
CO_20011119210124	CO_01	CBOG1	266.2	262.7	306.9	119.6	313.8	234.1	1.74
	CO_235	CBOG1_R	266.2	262.7	306.9	119.6	313.8	234.1	0.43
	CO_17	CCALA	389.7	385.9	414.4	35.3	423.4	384.3	0.25
	CO_66	CFQNE	167.8	164.2	230.5	65.0	236.2	151.0	4.98
	CO_91	CNOBS	106.5	104.2	193.4	86.6	197.4	58.7	4.42
	CO_10	CNORC	253.1	249.2	294.3	-14.4	301.6	248.8	7.51
	CO_19	CPLA1	230.2	226.6	276.2	-85.5	283.1	209.8	2.85
	CO_03	CROSA	261.7	258.0	303.2	85.9	310.3	243.5	1.90
	CO_92	CSHEL	296.0	292.3	331.9	-111.8	339.6	270.1	2.17
	CO_93	CTUN1	139.6	136.4	212.3	80.1	217.2	110.8	2.53
CO_20040618145954	CO_66	CFQNE	150.7	147.9	211.9	-89.6	215.7	117.7	2.29
	CO_45	CSLUI	220.4	218.6	263.7	-214.4	267.8	42.5	1.52
CO_20041003083030	CO_29	CBUC1	37.4	36.4	164.0	-34.7	166.0	10.9	1.40
	CO_40	CBUIS	46.3	45.4	166.2	-43.9	168.2	11.4	4.73
	CO_12	CCHIN	254.9	252.9	297.8	149.3	302.9	204.4	0.37
	CO_66	CFQNE	164.7	162.4	227.8	66.6	231.9	148.3	6.40

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20041003083030	CO_13	CGUAD	257.8	255.4	298.7	46.9	304.4	251.1	2.58
	CO_77	COCAN	169.9	168.7	231.2	-155.6	234.8	65.3	6.94
	CO_04	CVHER	303.5	301.0	338.1	15.2	344.4	300.6	1.38
CO_20050225064124	CO_29	CBUC1	40.5	36.9	163.9	17.4	167.5	32.6	6.83
	CO_86	CBUC5	32.3	28.7	162.2	13.2	165.7	25.6	25.05
	CO_40	CBUIS	49.2	45.4	165.9	17.8	169.8	41.8	11.28
	CO_17	CCALA	379.3	378.8	407.0	-377.6	412.9	29.7	0.32
	CO_66	CFQNE	159.9	158.1	224.5	-144.8	229.1	63.5	6.14
	CO_13	CGUAD	253.1	252.1	295.8	-248.0	300.8	45.6	2.08
	CO_77	COCAN	173.1	169.4	231.5	69.7	237.6	154.4	10.14
	CO_02	CPENS	279.1	278.8	318.8	-278.5	323.5	12.2	11.26
	CO_85	CSARD	151.3	148.4	216.5	105.4	221.7	104.6	1.85
	CO_92	CSHEL	283.8	282.1	322.0	-260.8	327.9	107.4	1.51
	CO_116	CTUN2	134.9	132.3	207.7	-105.3	212.5	80.1	6.67
CO_20060101094315	CO_11	CVIL1	290.4	287.6	325.6	-218.5	332.5	187.0	1.03
	CO_121	CCUC3	456.9	454.7	457.8	373.5	462.5	261.3	0.62
	CO_96	CGUAG	182.1	180.2	193.3	161.5	195.7	83.3	5.13
CO_20060110031441	CO_86	CBUC5	39.2	36.3	161.5	-30.9	163.7	19.0	12.68
	CO_17	CCALA	384.0	380.8	408.0	-125.2	415.9	359.5	0.19
	CO_42	CCUC2	144.2	141.0	209.8	-29.6	214.1	137.9	2.57
	CO_121	CCUC3	140.8	137.6	207.6	-29.6	211.9	134.4	1.47
	CO_51	CMAN1	337.8	334.5	366.5	-148.9	373.8	299.5	2.59
CO_20060508150739	CO_122	CNOCA	247.9	244.6	288.1	-115.6	294.2	215.5	2.10
	CO_123	CTUN3	133.6	130.6	205.2	27.0	208.9	128.2	0.86
	CO_17	CCALA	382.9	380.3	410.9	137.5	418.1	355.0	0.19
	CO_12	CCHIN	252.9	251.0	299.6	201.3	304.1	151.4	0.69
	CO_42	CCUC2	141.2	138.9	214.3	-104.9	218.3	91.1	3.71
	CO_121	CCUC3	137.7	135.4	212.2	-102.6	216.1	88.4	1.87
	CO_122	CNOCA	245.6	242.9	291.2	54.4	296.8	237.0	2.02
CO_20070506044714	CO_03	CROSA	256.4	254.1	302.1	149.9	307.1	205.9	1.26
	CO_123	CTUN3	136.8	135.0	214.3	110.3	217.3	79.3	1.18
	CO_04	CVHER	302.5	299.9	339.9	101.2	346.1	282.7	1.05
	CO_06	CANSE	355.8	351.2	383.2	-160.2	392.4	312.4	1.68
	CO_29	CBUC1	42.1	38.2	166.7	-32.8	169.9	19.7	4.44
	CO_40	CBUIS	51.2	47.3	168.9	-41.4	172.3	23.1	10.91
	CO_42	CCUC2	141.0	136.4	210.4	-34.4	216.2	132.0	3.52
	CO_121	CCUC3	137.5	133.0	208.3	-34.2	214.0	128.5	3.10
	CO_07	CFILA	330.0	325.3	360.1	-140.6	369.0	293.3	0.65
	CO_13	CGUAD	258.2	253.8	298.5	-37.6	306.2	251.0	3.87
	CO_50	CIBA1	357.4	352.9	384.4	-55.4	393.5	348.5	3.04
	CO_105	CIBA3	354.9	350.4	382.2	-50.2	391.2	346.8	1.89
	CO_51	CMAN1	338.1	333.4	367.6	-122.5	376.5	310.1	7.65
	CO_122	CNOCA	248.1	243.4	289.7	-95.2	297.4	224.0	5.87
	CO_19	CPLA1	225.1	220.7	271.7	-148.7	278.8	163.1	3.95
CO_20080217211502	CO_124	CREAC	263.6	259.3	304.3	35.5	311.6	257.2	3.58
	CO_03	CROSA	257.6	253.3	299.3	0.8	306.7	253.3	3.71
	CO_85	CSARD	150.1	145.5	216.4	-72.2	222.4	126.3	1.39
	CO_123	CTUN3	136.8	132.6	210.4	41.0	215.3	126.9	2.34
	CO_04	CVHER	304.6	300.0	338.3	-83.1	346.7	288.3	2.79
	CO_11	CVIL1	292.4	288.2	328.1	105.6	335.3	269.2	2.10
	CO_01	CBOG1	262.2	257.6	299.8	-79.5	307.5	245.0	2.17
	CO_235	CBOG1_R	262.2	257.6	299.8	-79.5	307.5	245.0	0.72
	CO_29	CBUC1	40.8	36.1	161.1	-16.6	164.3	32.0	5.37
	CO_86	CBUC5	32.8	28.1	159.4	-14.6	162.4	24.0	21.59
CO_20080217211502	CO_40	CBUIS	49.7	45.1	163.2	-22.8	166.7	38.8	10.68
	CO_12	CCHIN	253.0	248.5	292.4	-37.2	299.8	245.7	0.72
	CO_42	CCUC2	141.0	136.7	207.0	31.1	212.1	133.7	6.86
	CO_121	CCUC3	137.5	133.2	204.8	29.8	209.9	130.5	4.10
	CO_66	CFQNE	163.5	158.8	223.0	-57.7	229.2	147.9	7.30

(…/…)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20080217211502	CO_13	CGUAD	257.4	252.8	294.9	-143.3	302.6	208.2	2.69
	CO_124	CREAC	263.3	258.7	300.7	-80.3	308.5	245.9	1.96
	CO_03	CROSA	257.0	252.3	295.7	-109.7	303.3	227.2	2.19
	CO_85	CSARD	149.5	145.2	212.4	-5.3	218.0	145.1	2.48
	CO_123	CTUN3	136.9	132.5	205.7	-18.3	211.2	131.2	1.42
	CO_97	CVERS	431.1	426.7	450.0	-310.6	459.8	292.3	1.43
	CO_04	CVHER	303.6	299.0	335.0	-200.5	343.2	221.8	1.83
	CO_11	CVIL1	292.6	288.3	324.9	-22.5	332.8	287.4	1.77
CO_20090420085402	CO_29	CBUC1	77.2	73.5	144.4	-41.4	147.6	60.7	3.81
	CO_86	CBUC5	84.9	81.2	148.4	-48.3	151.7	65.3	16.86
	CO_40	CBUIS	68.1	64.4	140.1	-37.2	143.0	52.6	18.46
	CO_121	CCUC3	98.3	95.4	157.2	67.0	159.2	70.6	3.89
	CO_66	CFQNE	251.1	248.1	276.3	-232.5	281.5	86.7	1.00
	CO_88	CMONT	298.6	295.2	317.4	-26.6	323.6	294.0	2.03
	CO_77	COCAN	60.6	58.6	138.9	57.4	139.8	21.3	21.61
	CO_38	CPAMP	89.1	85.9	152.3	12.3	155.3	85.4	4.64
CO_20091027162553	CO_06	CANSE	355.6	352.0	383.2	-128.7	391.3	327.6	1.01
	CO_29	CBUC1	44.2	41.4	165.6	-37.5	168.3	17.7	10.41
	CO_40	CBUIS	53.2	50.6	168.0	-46.4	170.8	20.1	12.21
	CO_42	CCUC2	142.5	138.9	210.5	-50.9	215.5	129.2	6.55
	CO_121	CCUC3	139.0	135.4	208.4	-50.3	213.3	125.7	4.36
	CO_66	CFQNE	162.7	159.3	226.0	27.5	230.9	157.2	6.15
	CO_13	CGUAD	257.4	254.0	297.8	-13.2	304.4	253.7	2.12
	CO_50	CIBA1	356.6	353.2	383.9	-20.6	391.9	352.6	0.89
	CO_51	CMAN1	337.7	334.1	367.4	-91.4	375.2	321.4	3.56
	CO_128	CMON2	438.6	436.7	459.7	-430.6	467.4	73.0	0.47
	CO_77	COCAN	176.4	173.4	234.8	-144.4	239.9	96.0	8.54
	CO_19	CPLA1	225.5	222.0	271.6	-132.8	277.8	177.9	2.93
	CO_03	CROSA	256.5	253.1	298.2	25.4	304.6	252.0	1.28
	CO_45	CSLUI	234.2	230.6	278.2	-111.2	284.6	202.0	3.10
CO_46	CSONS	287.4	283.8	323.6	-119.6	330.7	257.4	3.50	
CO_97	CVERS	431.9	428.3	452.6	-110.5	461.7	413.8	1.18	
CO_04	CVHER	304.1	300.5	337.8	-54.5	345.2	295.5	1.61	
CO_20120224134317	CO_01	CBOG1	253.2	249.7	297.5	-77.5	303.9	237.3	1.99
	CO_133	CCAQ1	269.9	266.4	310.8	-106.3	317.5	244.2	1.11
	CO_134	CCAQ2	270.8	267.2	311.6	-107.1	318.3	244.8	0.92
	CO_121	CCUC3	146.3	143.1	217.5	59.7	221.3	131.2	5.42
	CO_65	CFLOR	635.5	631.9	644.8	-199.5	656.8	599.4	0.07
	CO_135	CGIRO	48.5	46.6	171.7	46.1	173.2	16.2	11.76
	CO_136	GGRAL	261.8	258.3	304.6	-78.5	311.1	246.0	1.00
	CO_13	CGUAD	248.3	245.1	292.9	-4.3	299.0	245.1	1.56
	CO_50	CIBA1	347.4	344.2	377.9	-3.7	385.4	344.2	1.01
	CO_51	CMAN1	328.2	325.0	361.8	69.0	368.6	318.1	3.16
	CO_128	CMON2	434.1	432.7	458.2	424.7	464.6	94.0	1.01
	CO_122	CNOCA	238.3	235.0	284.9	57.0	290.5	228.6	3.83
	CO_71	CPAS2	766.8	763.4	771.4	-104.7	785.0	756.1	0.07
	CO_137	CPGA1	254.0	250.5	298.2	-76.6	304.6	238.4	1.77
CO_21	CPOP2	612.5	609.2	623.6	-57.1	635.0	606.5	0.66	
CO_138	CPOP5	610.3	607.0	621.5	-56.9	632.8	604.3	0.27	
CO_124	CREAC	254.3	250.8	298.4	-77.4	304.9	238.5	1.15	
CO_11	CVIL1	284.2	280.7	322.2	-148.6	329.2	238.1	1.01	
CO_139	CYOTO	473.6	470.3	492.9	45.2	502.0	468.4	0.07	
CO_98	RAC02	533.8	530.6	549.1	10.9	559.2	530.5	0.52	
CO_20120901050945	CO_01	CBOG1	254.1	250.8	298.7	84.5	304.3	237.0	1.01
	CO_28	CBSOL	492.2	488.7	509.2	-293.3	519.1	390.6	0.18
	CO_134	CCAQ2	271.2	268.0	312.7	114.3	318.3	243.4	0.62
	CO_140	CCODA	369.9	366.8	397.3	-305.3	405.1	203.3	0.72
	CO_42	CCUC2	149.6	146.0	218.1	-66.6	222.9	129.9	2.73
CO_121	CCUC3	146.1	142.5	216.0	-65.7	220.7	126.5	5.21	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20120901050945	CO_141	CCUFI	773.2	770.0	778.3	121.6	791.4	760.6	0.02
	CO_13	CGUAD	250.6	247.4	294.5	11.6	300.6	247.3	1.53
	CO_50	CIBA1	349.8	346.6	379.8	14.5	387.3	346.4	0.62
	CO_51	CMAN1	331.6	328.1	363.8	-59.1	371.3	322.8	2.20
	CO_128	CMON2	439.2	436.8	461.1	-422.4	469.2	111.2	0.62
	CO_70	CPAS1	774.9	771.6	779.7	126.5	792.9	761.5	0.01
	CO_71	CPAS2	768.5	765.2	773.4	129.7	786.6	754.5	0.06
	CO_21	CPOP2	614.5	611.2	625.7	77.0	636.7	606.6	0.77
	CO_138	CPOP5	612.3	609.0	623.6	76.7	634.5	604.4	0.13
	CO_142	CPROV	1185.1	1183.1	1177.5	-1171.4	1196.6	164.3	0.04
	CO_03	CROSA	249.4	246.2	294.9	49.7	300.7	241.6	1.32
	CO_126	CTUM2	833.2	829.9	834.8	-30.9	849.4	829.4	0.01
	CO_129	CURIB	572.9	569.4	585.1	-345.1	596.2	452.4	0.12
	CO_139	CYOTO	476.4	473.1	495.1	-30.1	504.5	472.2	0.10
	CO_27	CBMAL	556.3	555.4	570.5	-549.0	578.6	84.3	0.07
CO_20130725120926	CO_01	CBOG1	252.1	249.9	294.1	-189.9	299.5	162.4	0.71
	CO_28	CBSOL	480.4	479.2	498.6	-458.4	506.1	139.2	0.30
	CO_141	CCUFI	768.8	767.1	774.3	-672.5	785.9	367.6	0.03
	CO_65	CFLOR	634.3	632.2	643.7	-483.9	654.1	406.0	0.02
	CO_152	CGIR2	38.2	35.5	162.2	9.8	164.7	34.2	6.07
	CO_51	CMAN1	323.4	322.5	356.2	-317.8	361.4	54.5	0.75
	CO_122	CNOCA	233.3	232.4	278.6	-230.0	282.7	33.7	1.77
	CO_70	CPAS1	770.5	768.8	775.7	-671.7	787.4	372.6	0.01
	CO_03	CROSA	245.7	243.8	289.3	-205.6	294.4	131.0	0.54
	CO_151	CSTM1	514.3	511.6	529.1	80.3	538.4	505.3	0.23
	CO_123	CTUN3	128.7	126.2	202.9	-76.6	206.9	100.3	0.82
	CO_129	CURIB	571.2	568.8	583.6	327.7	593.0	465.0	0.10
	CO_153	CVALL	426.4	423.7	447.3	149.0	455.2	396.8	0.51
	CO_139	CYOTO	469.4	468.2	488.7	-449.6	496.0	130.6	0.03
	CO_06	CANSE	350.0	345.6	377.0	-258.2	385.3	229.6	0.98
CO_20140207203711	CO_28	CBSOL	485.7	482.1	501.6	-453.5	511.2	163.4	0.29
	CO_40	CBUIS	40.3	35.8	163.2	-14.4	165.3	32.8	15.24
	CO_155	CCNEG	306.0	302.1	338.3	-0.7	345.5	302.1	1.69
	CO_140	CCODA	352.8	348.4	378.7	-118.9	387.1	327.4	0.50
	CO_42	CCUC2	138.0	134.1	207.1	34.5	211.0	130.4	7.07
	CO_65	CFLOR	646.9	642.6	653.8	-150.1	666.3	624.7	0.05
	CO_152	CGIR2	27.5	23.0	161.0	-12.9	162.7	19.0	26.72
	CO_13	CGUAD	256.6	252.1	295.6	-121.3	302.6	221.0	3.37
	CO_154	CLOBA	250.9	246.3	290.3	-157.8	297.2	189.1	9.33
	CO_51	CMAN1	333.5	329.0	362.4	-222.5	370.5	242.2	1.56
	CO_122	CNOCA	243.2	238.7	284.3	-163.7	291.0	173.7	2.93
	CO_137	CPGA1	265.4	261.1	304.0	-57.0	310.9	254.8	1.50
	CO_19	CPLA1	216.4	212.5	263.4	-189.2	269.3	96.7	3.34
	CO_46	CSONS	281.0	276.7	316.9	-216.2	324.1	172.6	3.31
	CO_151	CSTM1	503.7	499.1	517.6	-232.5	528.3	441.5	0.40
CO_20140314232636	CO_126	CTUM2	837.4	832.8	837.0	-489.1	852.4	672.7	0.02
	CO_123	CTUN3	141.4	137.5	210.7	-0.5	215.1	137.5	2.12
	CO_129	CURIB	558.6	554.7	570.1	-8.8	580.9	554.6	0.09
	CO_97	CVERS	427.8	423.3	447.7	-284.0	457.2	313.7	1.37
	CO_04	CVHER	301.2	296.7	334.0	-177.7	341.7	237.6	2.45
	CO_139	CYOTO	480.3	475.7	496.0	-284.3	506.3	381.2	0.05
	CO_160	CARIG	148.3	147.0	196.7	139.9	199.4	48.0	7.12
	CO_27	CBMAL	847.2	844.5	845.7	461.2	857.6	706.9	0.02
	CO_28	CBSOL	664.9	662.6	668.9	476.2	678.1	460.9	0.28
	CO_140	CCODA	65.1	63.1	145.8	52.4	148.3	36.6	40.95
	CO_141	CCUFI	1116.8	1113.9	1109.7	453.1	1125.1	1016.3	0.01
	CO_65	CFLOR	1011.3	1008.3	1005.7	266.3	1020.0	972.2	0.01
	CO_156	CMACA	909.3	906.3	905.9	67.9	919.0	903.8	0.04
	CO_51	CMAN1	643.0	640.2	647.7	264.4	657.1	583.1	0.48

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20140314232636	CO_122	CNOCA	564.4	561.5	571.3	193.6	580.1	527.3	0.24
	CO_71	CPAS2	1114.2	1111.3	1106.9	443.0	1122.4	1018.0	0.12
	CO_142	CPROV	977.4	976.1	974.1	921.7	986.4	321.9	0.08
	CO_03	CROSA	622.1	619.1	627.4	130.4	636.8	605.4	0.10
	CO_151	CSTM1	170.0	168.1	212.6	142.1	216.0	91.3	5.62
	CO_159	CTAME	445.9	442.8	457.5	-143.2	465.5	419.0	0.35
	CO_126	CTUM2	1135.3	1132.6	1127.2	608.7	1143.1	952.9	0.01
	CO_129	CURIB	190.6	187.7	227.5	-99.0	232.5	159.5	1.56
	CO_139	CYOTO	793.0	790.2	793.0	351.7	804.3	707.4	0.02
	CO_59	CARBE	321.2	319.3	354.6	283.0	359.7	151.3	0.67
CO_20141125202015	CO_60	CARME	378.3	377.3	406.5	376.4	411.5	46.8	1.93
	CO_167	CBARR	74.1	71.3	174.2	38.8	176.7	61.0	12.42
	CO_27	CBMAL	562.4	561.8	577.4	563.7	584.8	1.8	0.12
	CO_01	CBOG1	265.0	263.0	306.9	226.2	311.1	137.4	1.27
	CO_28	CBSOL	479.4	477.6	498.2	431.0	505.6	209.4	0.18
	CO_12	CCHIN	258.8	256.4	301.6	196.2	305.9	167.3	0.44
	CO_64	CCRUZ	723.0	721.5	730.7	681.9	741.2	240.3	0.37
	CO_141	CCUFI	779.5	778.0	785.3	739.4	796.6	246.8	0.02
	CO_168	CCUMB	837.2	835.8	841.0	801.3	853.1	242.9	0.03
	CO_65	CFLOR	647.0	645.0	656.7	561.4	666.7	320.4	0.06
	CO_66	CFQNE	165.6	163.6	229.5	143.1	232.3	82.7	5.38
	CO_152	CGIR2	22.3	19.1	161.0	-8.5	162.9	17.1	8.85
	CO_13	CGUAD	254.8	253.5	298.1	246.5	301.6	66.6	1.79
	CO_161	CGUYA	307.8	307.2	345.1	309.1	348.7	2.5	0.91
	CO_50	CIBA1	353.6	352.3	383.8	344.3	388.8	83.3	0.88
	CO_154	CLOBA	244.7	241.5	286.6	-34.1	292.6	239.1	3.56
	CO_51	CMAN1	329.9	329.3	363.8	331.2	367.8	7.1	3.07
	CO_122	CNOCA	239.6	239.0	285.9	240.9	288.6	3.4	3.10
	CO_162	CORTC	401.0	399.4	426.1	378.9	432.0	132.1	0.60
	CO_169	CPALC	410.7	410.0	435.8	411.5	441.1	18.4	0.86
	CO_70	CPAS1	781.3	779.7	786.8	739.5	798.1	251.8	0.02
	CO_71	CPAS2	775.0	773.5	780.7	732.2	792.0	254.0	0.40
	CO_137	CPGA1	265.7	263.7	307.5	227.4	311.7	136.7	1.36
	CO_163	CPIZC	513.6	512.5	530.9	506.3	538.1	91.1	0.11
	CO_142	CPROV	1160.9	1157.9	1152.9	328.4	1171.9	1109.9	0.05
	CO_165	CRECR	323.2	322.3	358.6	323.0	362.6	28.8	1.63
	CO_03	CROSA	257.3	255.6	301.0	235.6	304.8	103.6	1.51
	CO_151	CSTM1	498.5	495.3	514.1	-167.5	523.7	466.0	0.19
	CO_159	CTAME	151.5	148.3	216.4	-95.4	220.9	113.6	1.39
	CO_126	CTUM2	834.6	833.6	838.1	828.9	849.9	105.2	0.01
CO_123	CTUN3	143.4	140.9	214.1	103.1	217.1	98.1	1.18	
CO_129	CURIB	556.5	553.5	569.0	-402.8	579.2	379.2	0.04	
CO_153	CVALL	410.6	407.4	432.6	-214.2	441.0	346.4	0.33	
CO_04	CVHER	298.4	297.5	335.9	297.2	339.7	36.7	1.24	
CO_139	CYOTO	477.4	476.5	497.5	475.0	504.0	56.6	0.08	
CO_20141214014930	CO_59	CARBE	155.8	153.8	214.1	-87.8	218.1	126.2	1.87
	CO_60	CARME	238.4	237.4	279.0	-221.7	283.1	84.8	1.93
	CO_27	CBMAL	432.7	431.9	452.1	-410.2	458.4	134.9	0.06
	CO_01	CBOG1	98.9	96.7	179.5	-46.3	182.8	84.9	3.23
	CO_28	CBSOL	418.5	417.8	439.0	-404.0	445.0	106.5	0.08
	CO_17	CCALA	237.4	236.4	278.3	-218.5	282.4	90.2	0.43
	CO_12	CCHIN	97.7	95.2	178.9	-5.2	182.3	95.0	1.09
	CO_155	CCNEG	148.5	146.0	208.5	-6.6	212.6	145.9	2.37
	CO_64	CCRUZ	562.3	560.4	574.3	-383.1	583.0	408.5	0.07
	CO_141	CCUFI	619.4	617.6	629.2	-428.9	638.5	443.7	0.01
	CO_65	CFLOR	481.1	478.9	496.3	-238.8	504.4	414.9	0.06
	CO_66	CFQNE	4.2	3.3	152.0	-3.3	153.7	0.0	12.94
	CO_50	CIBA1	202.9	201.6	249.8	-175.3	253.8	99.5	0.90
	CO_156	CMACA	367.5	365.1	390.6	-35.2	397.5	363.4	0.33

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20141214014930	CO_51	CMAN1	205.7	205.3	253.3	-203.4	256.6	27.5	0.86
	CO_122	CNOCA	129.7	129.3	197.0	-128.1	199.6	17.4	5.01
	CO_162	CORTC	241.9	240.2	280.7	-179.8	285.4	159.2	1.65
	CO_169	CPALC	292.0	291.5	324.8	-288.5	329.1	42.1	0.20
	CO_71	CPAS2	614.4	612.5	624.0	-419.0	633.3	446.2	0.02
	CO_137	CPGA1	99.6	97.4	179.9	-47.8	183.2	84.9	2.36
	CO_163	CPIZC	408.5	408.2	430.2	-407.2	435.6	28.7	0.06
	CO_22	CPRAD	229.7	227.7	270.3	-141.4	275.1	178.4	1.23
	CO_124	CREAC	100.0	97.8	180.1	-47.3	183.4	85.6	2.25
	CO_165	CRECR	190.6	189.9	242.5	-185.3	245.8	41.8	1.47
	CO_03	CROSA	95.8	94.1	178.5	-71.8	181.5	60.8	1.38
	CO_151	CSTM1	638.3	635.8	645.6	-23.6	655.9	635.4	0.10
	CO_159	CTAME	238.3	237.2	278.3	216.8	282.4	96.5	0.47
	CO_123	CTUN3	40.0	39.4	157.1	38.8	159.0	7.4	1.47
	CO_129	CURIB	720.4	718.1	724.9	222.4	736.1	682.5	0.04
	CO_153	CVALL	565.0	562.5	575.6	78.1	584.9	557.1	0.07
	CO_04	CVHER	163.6	162.9	221.0	-159.1	224.1	35.3	1.56
	CO_139	CYOTO	335.0	333.9	362.6	-301.1	367.9	144.2	0.05
	CO_98	RAC02	389.2	387.8	411.6	-325.3	417.9	210.8	0.38
	CO_39	CANAP	300.1	289.6	325.6	-43.2	341.4	286.3	11.46
	CO_174	CARAN	267.9	257.4	299.2	-7.9	314.5	257.3	7.28
	CO_59	CARBE	323.7	313.1	346.6	-20.7	362.6	312.5	5.18
	CO_160	CARIG	370.3	362.2	389.9	-273.8	404.3	237.0	4.81
	CO_60	CARME	385.9	375.8	402.8	-157.9	419.2	340.9	8.60
	CO_175	CARTI	278.3	267.8	308.0	-4.0	323.4	267.8	5.89
	CO_176	CBANC	260.0	249.6	292.6	-7.5	307.8	249.5	22.95
	CO_177	CBART	267.9	257.4	299.2	-1.6	314.5	257.4	5.61
CO_27	CBMAL	571.7	562.0	576.2	-298.5	594.3	475.8	0.73	
CO_01	CBOG1	266.7	256.3	298.2	-4.4	313.4	256.2	10.71	
CO_178	CBOSA	276.0	265.5	306.0	-13.8	321.4	265.1	16.85	
CO_28	CBSOL	493.0	486.1	504.4	-412.3	519.0	257.0	1.07	
CO_179	CBUCF	34.7	26.8	158.4	-22.4	166.9	14.7	51.76	
CO_17	CCALA	386.6	376.4	403.5	-152.4	419.9	344.1	1.76	
CO_180	CCARV	264.7	254.2	296.5	-10.2	311.7	254.0	16.39	
CO_12	CCHIN	258.0	247.6	291.4	36.5	306.2	245.2	3.51	
CO_181	CCKEN	271.8	261.3	302.4	-4.4	317.8	261.3	7.66	
CO_49	CCOLO	428.2	417.7	441.0	-15.0	458.2	417.5	5.91	
CO_182	CCORP	255.7	245.2	288.9	-11.6	304.1	244.9	25.80	
CO_64	CCRUZ	727.6	717.1	725.4	-142.5	746.1	702.6	1.41	
CO_42	CCUC2	136.2	125.7	198.9	-4.7	212.0	125.6	48.04	
CO_121	CCUC3	132.7	122.2	196.8	-5.1	209.8	122.1	27.28	
CO_141	CCUFI	784.3	773.7	780.4	-165.5	801.6	755.7	0.14	
CO_168	CCUMB	842.4	831.9	836.5	-199.6	858.5	807.4	0.16	
CO_183	CDABE	358.0	352.7	381.6	-331.5	393.3	120.5	6.58	
CO_184	CEING	250.9	240.4	285.0	-7.8	300.1	240.3	25.92	
CO_07	CFILA	330.2	320.7	353.4	-184.5	368.6	262.3	2.15	
CO_185	CFL0D	261.6	251.1	293.8	-15.2	309.1	250.6	22.08	
CO_186	CFONT	268.2	257.7	299.4	-11.8	314.7	257.5	10.50	
CO_152	CGIR2	32.3	26.7	158.3	-25.9	166.3	6.4	60.69	
CO_13	CGUAD	260.6	250.2	292.3	-75.8	307.5	238.4	14.44	
CO_161	CGUYA	316.9	307.2	342.4	-162.6	357.6	260.5	5.02	
CO_187	CJABO	265.2	254.7	296.9	-7.5	312.2	254.6	13.64	
CO_156	CMACA	523.7	513.4	530.9	140.0	548.3	494.5	2.30	
CO_51	CMAN1	338.9	329.1	361.1	-169.6	376.6	281.9	17.76	
CO_188	CMARI	281.5	271.0	310.7	-1.7	326.1	271.0	11.46	
CO_88	CMONT	388.9	385.7	411.2	-381.7	421.3	54.9	11.74	
CO_69	CNEIV	496.5	486.0	504.5	-40.9	522.4	484.2	3.04	
CO_189	CNINO	262.0	251.5	294.2	-8.3	309.4	251.3	12.12	
CO_122	CNOCA	248.7	239.0	282.7	-127.8	297.2	201.9	19.50	

(./...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20150310205544	CO_162	CORTC	405.7	395.1	420.1	-85.2	437.0	385.8	5.17
	CO_169	CPALC	420.6	411.1	434.8	-237.0	451.0	335.8	3.64
	CO_130	CPALE	337.5	327.7	359.8	-164.9	375.4	283.1	10.43
	CO_172	CPAM2	69.9	59.5	169.2	1.5	179.9	59.5	23.47
	CO_158	CPAM3	74.1	63.7	169.5	3.7	180.4	63.7	7.85
	CO_38	CPAMP	77.1	66.6	170.7	5.8	181.6	66.5	23.99
	CO_70	CPAS1	786.0	775.4	781.8	-161.2	803.1	758.3	0.09
	CO_137	CPGA1	267.5	257.0	298.8	-5.6	314.1	256.9	11.97
	CO_163	CPIZC	524.9	516.0	532.7	-347.3	549.4	381.3	0.94
	CO_19	CPLA1	223.4	215.5	263.9	-169.9	276.6	132.6	10.66
	CO_72	CPLAT	586.1	575.6	589.5	-77.5	608.4	570.3	1.19
	CO_142	CPROV	1175.2	1171.2	1165.6	-1141.7	1186.3	259.0	0.42
	CO_190	CPSUB	256.8	246.4	289.9	-8.2	305.1	246.2	7.47
	CO_14	CQUET	288.9	278.5	316.7	32.6	332.0	276.8	3.28
	CO_124	CREAC	267.8	257.3	299.1	-4.8	314.4	257.3	12.14
	CO_165	CRECR	331.3	321.3	355.1	-146.8	370.7	285.7	11.57
	CO_144	CRI02	337.7	328.4	360.4	-204.6	375.4	256.9	2.27
	CO_03	CROSA	261.0	250.4	293.5	-38.3	308.8	247.5	13.95
	CO_173	CSAMU	424.5	416.1	439.2	-302.3	454.4	285.7	3.95
	CO_85	CSARD	144.0	133.6	204.0	-42.9	217.3	126.5	28.50
	CO_170	CSJAC	423.5	417.1	440.3	-367.9	453.7	196.4	4.55
	CO_84	CSJGU	472.1	462.9	483.9	243.0	499.3	395.2	7.99
	CO_191	CSMOR	277.9	267.5	307.7	-10.1	323.2	267.3	9.08
	CO_46	CSONS	287.1	278.1	316.5	-179.1	330.9	212.6	11.94
	CO_151	CSTM1	507.1	498.2	515.9	-334.8	532.4	368.7	2.14
	CO_159	CTAME	136.3	134.1	205.8	135.8	212.1	13.3	6.29
	CO_192	CTEJE	270.1	259.7	301.1	-4.6	316.4	259.6	10.23
	CO_193	CTIEM	265.5	255.0	297.1	-14.4	312.4	254.5	23.81
	CO_126	CTUM2	842.1	831.9	835.7	-332.6	857.6	761.9	3.88
	CO_123	CTUN3	142.0	131.6	204.7	23.2	217.6	129.9	9.33
	CO_194	CTUNA	282.4	272.0	311.6	-3.0	327.0	272.0	9.19
	CO_195	CTVCA	259.3	248.9	292.1	-8.5	307.2	248.7	12.63
	CO_196	CUAGR	254.0	243.6	287.6	-6.9	302.7	243.5	18.58
	CO_197	CUNMA	265.4	255.0	297.2	-1.8	312.4	255.0	9.86
	CO_129	CURIB	558.5	548.1	563.0	-142.2	581.6	529.2	0.58
	CO_198	CUSAL	252.7	242.2	286.5	-4.5	301.6	242.2	15.96
	CO_199	CUSAQ	257.9	247.5	290.8	-2.8	306.0	247.4	24.68
	CO_153	CVALL	416.5	406.7	430.7	-208.0	447.1	349.4	5.40
	CO_04	CVHER	306.1	296.0	331.9	-127.0	347.3	267.3	10.33
	CO_200	CVITE	272.8	262.3	303.4	-0.2	318.7	262.3	7.52
	CO_127	CYOPA	168.3	160.9	223.6	126.2	233.9	102.6	3.57
	CO_139	CYOTO	485.1	474.9	494.3	-198.6	511.8	431.3	0.39
CO_201	MHOSP	337.8	328.0	360.1	-166.9	375.7	282.3	22.83	
CO_202	RNOR1	155.9	145.4	211.8	-1.4	225.3	145.4	19.20	
CO_203	RNOR2	174.0	163.5	223.9	-16.0	237.9	162.7	18.22	
CO_204	RNOR3	131.5	121.1	196.1	-0.1	209.1	121.1	29.10	
CO_59	CARBE	316.5	314.1	348.2	200.9	353.5	242.7	0.60	
CO_60	CARME	373.0	370.4	398.2	114.1	404.9	352.8	0.89	
CO_27	CBMAL	557.1	554.4	569.2	93.0	578.5	546.8	0.10	
CO_01	CBOG1	260.4	258.2	300.5	177.3	304.9	189.2	1.08	
CO_28	CBSOL	474.7	471.9	491.0	-134.5	499.7	452.3	0.14	
CO_155	CCNEG	304.0	302.1	337.5	248.5	342.2	173.9	0.95	
CO_64	CCRUZ	717.9	715.4	724.1	357.8	735.3	619.8	0.17	
CO_42	CCUC2	143.0	140.2	207.8	-81.9	211.9	113.8	6.01	
CO_121	CCUC3	139.4	136.7	205.6	-79.9	209.6	110.9	13.57	
CO_141	CCUFI	774.4	771.8	778.8	374.1	790.7	675.2	0.02	
CO_13	CGUAD	249.7	247.1	290.1	111.2	295.0	221.5	1.75	
CO_161	CGUYA	302.4	299.8	336.0	58.8	342.0	294.3	0.68	
CO_156	CMACA	522.4	520.6	537.5	441.1	545.3	278.6	0.18	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_2015032222737	CO_51	CMAN1	324.6	321.9	354.9	67.2	361.1	315.2	2.46
	CO_122	CNOCA	234.3	231.6	276.7	47.9	281.8	227.0	2.50
	CO_77	COCAN	162.2	160.3	222.2	-153.8	225.9	45.4	7.08
	CO_162	CORTC	395.9	393.4	419.0	198.6	425.7	340.4	0.41
	CO_169	CPALC	405.4	402.7	427.2	50.2	434.6	399.8	0.88
	CO_172	CPAM2	78.3	75.5	175.0	-34.6	177.9	67.1	2.57
	CO_70	CPAS1	776.2	773.6	780.3	379.0	792.3	674.5	0.01
	CO_163	CPIZC	508.4	505.8	522.9	-5.0	531.8	505.8	0.09
	CO_19	CPLA1	205.8	203.0	253.8	-28.9	258.8	201.0	1.45
	CO_142	CPROV	1159.6	1157.4	1152.1	-1038.2	1170.0	507.2	0.04
	CO_165	CRECR	317.9	315.2	350.0	87.1	355.9	303.4	1.64
	CO_03	CROSA	252.4	250.0	293.8	145.7	298.3	204.3	1.10
	CO_85	CSARD	145.9	143.4	210.1	-111.7	214.0	89.9	1.34
	CO_45	CSLUI	216.8	214.2	262.3	0.6	267.4	214.2	1.33
	CO_151	CSTM1	500.5	498.9	516.4	-491.2	524.3	87.5	0.49
	CO_159	CTAME	154.8	152.5	216.9	98.0	220.1	118.1	1.00
	CO_123	CTUN3	139.5	137.7	208.9	117.2	211.4	74.8	1.21
	CO_129	CURIB	560.6	558.1	572.4	-446.6	581.9	334.2	0.08
	CO_153	CVALL	413.6	411.6	435.0	-381.5	442.2	154.3	0.80
	CO_04	CVHER	293.1	290.5	327.4	90.4	333.0	276.6	1.49
	CO_139	CYOTO	472.1	469.5	489.5	140.9	497.5	448.2	0.04
	CO_202	RNOR1	163.0	160.2	221.6	-92.1	226.0	131.1	1.30
	CO_203	RNOR2	179.6	176.9	233.3	-114.3	238.0	134.9	1.55
	CO_204	RNOR3	138.9	136.1	205.2	-75.4	209.2	113.3	4.09
	CO_60	CARME	433.3	430.4	444.7	-389.0	452.0	183.7	0.69
	CO_211	CBARI	119.0	115.3	171.2	-41.8	175.6	107.4	14.54
	CO_206	CBET2	597.3	593.9	601.3	-458.2	610.8	377.3	0.07
	CO_01	CBOG1	346.6	343.1	363.1	-228.9	370.1	255.4	1.39
	CO_28	CBSOL	481.7	479.6	491.1	-475.4	498.2	63.2	0.23
	CO_210	CCAPU	461.6	458.2	470.7	-346.3	478.9	299.7	0.69
CO_155	CCNEG	396.7	393.1	409.3	-217.4	417.0	327.3	1.14	
CO_64	CCRUZ	789.6	786.4	788.8	-668.4	800.2	412.8	0.21	
CO_42	CCUC2	92.1	90.9	156.2	92.3	157.4	12.7	3.95	
CO_141	CCUFI	844.7	841.6	842.9	-724.6	854.8	426.1	0.01	
CO_168	CCUMB	900.3	897.3	897.3	-786.5	909.8	429.7	0.02	
CO_65	CFLOR	724.5	721.0	724.6	-539.0	735.6	477.8	0.06	
CO_205	CGAR2	655.5	652.0	657.9	-492.6	668.1	426.3	0.32	
CO_161	CGUYA	356.0	353.2	372.9	-327.7	379.2	131.6	0.40	
CO_50	CIBA1	416.9	413.7	428.8	-352.7	436.3	216.1	0.47	
CO_156	CMACA	616.0	612.4	619.0	-331.9	629.1	514.2	0.27	
CO_51	CMAN1	378.4	375.7	393.3	-349.0	400.0	138.9	1.91	
CO_88	CMONT	309.7	306.1	328.1	-191.1	334.8	239.0	2.10	
CO_207	CNIZA	376.5	373.7	391.5	-344.9	398.2	143.7	0.42	
CO_122	CNOCA	291.0	288.1	311.9	-259.9	317.9	124.2	2.24	
CO_77	COCAN	64.8	61.5	141.3	27.8	144.0	56.1	25.22	
CO_162	CORTC	469.7	466.5	478.7	-381.0	486.8	268.7	0.45	
CO_172	CPAM2	73.7	70.6	147.7	43.3	150.3	57.5	3.04	
CO_158	CPAM3	75.9	72.8	147.7	48.0	150.3	56.8	3.49	
CO_70	CPAS1	846.8	843.7	844.8	-724.2	856.8	431.1	0.01	
CO_71	CPAS2	841.0	837.9	839.0	-716.6	851.0	432.4	0.03	
CO_163	CPIZC	540.6	538.6	547.7	-535.6	555.4	56.7	0.09	
CO_142	CPROV	1087.9	1084.2	1079.5	-482.9	1095.3	968.8	0.06	
CO_208	CPTAR	501.8	499.1	509.8	-467.3	517.7	174.8	0.80	
CO_124	CREAC	347.6	344.0	364.0	-230.0	371.1	255.7	1.23	
CO_03	CROSA	332.9	329.4	350.7	-242.3	357.5	223.1	0.67	
CO_212	CSJUR	247.8	244.7	273.0	-213.8	278.6	119.0	14.20	
CO_151	CSTM1	403.3	400.0	415.9	87.4	423.0	390.8	0.45	
CO_159	CTAME	213.8	210.5	244.4	87.3	249.0	192.5	0.36	
CO_126	CTUM2	885.3	882.6	882.2	-830.8	894.4	296.2	0.01	

(…/…)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20151014074719	CO_129	CURIB	471.6	468.8	481.3	331.4	488.5	333.6	0.21
	CO_153	CVALL	317.2	313.9	336.2	148.4	341.9	277.9	2.15
	CO_04	CVHER	355.3	352.3	371.4	-311.6	378.1	164.1	0.74
	CO_98	RAC02	596.5	593.6	601.0	-535.1	610.1	256.3	0.19

Resultados para sismos de la zona Benioff

Tabla I. 3 Variables geométricas para cada registro de eventos en la zona de Benioff

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>	
CO_19950208184027	CO_06	CANSE	159.7	148.2	165.9	7.3	180.2	148.2	38.07	
	CO_16	CBETA	194.4	189.6	206.4	185.9	211.0	53.8	2.98	
	CO_01	CBOG1	284.0	275.2	287.0	207.9	296.1	184.9	7.61	
	CO_17	CCALA	116.7	106.6	132.3	66.9	143.4	86.1	49.16	
	CO_18	CDAGU	45.1	33.6	82.5	10.7	94.0	33.0	53.26	
	CO_07	CFILA	178.6	167.1	183.1	28.8	197.0	165.2	8.07	
	CO_10	CNORC	253.5	242.2	253.3	80.8	266.4	229.7	5.51	
	CO_02	CPENS	216.9	205.6	219.3	62.8	232.5	197.0	31.13	
	CO_19	CPLA1	308.6	297.1	305.2	33.5	319.5	295.7	6.18	
	CO_20	CPOP1	179.4	168.7	185.9	86.8	197.7	147.1	4.00	
	CO_21	CPOP2	175.8	165.3	182.9	88.5	194.5	142.1	16.16	
	CO_22	CPRAD	188.8	183.9	201.0	179.7	205.7	54.5	5.43	
	CO_08	CRIOS	180.8	169.3	184.7	7.1	199.0	169.3	12.39	
	CO_03	CROSA	264.8	255.4	268.0	173.4	278.0	191.1	3.53	
	CO_23	CSAL1	122.9	112.0	135.8	50.8	148.1	101.8	8.49	
	CO_24	CSEVI	74.5	65.4	101.7	51.6	111.6	44.9	67.38	
	CO_15	CSRA1	295.6	286.8	298.0	213.1	307.4	196.3	3.19	
	CO_09	CTADO	136.9	125.5	145.1	-64.4	159.3	107.8	64.77	
	CO_25	CTRUJ	33.9	23.2	79.6	16.5	89.6	19.6	91.34	
	CO_26	CTUTU	189.9	178.6	192.4	-89.9	206.7	154.3	127.19	
CO_19950819214333	CO_04	CVHER	194.9	184.1	199.9	86.5	212.1	164.6	3.54	
	CO_05	CANDE	75.0	65.6	137.8	-63.0	150.0	18.6	63.99	
	CO_06	CANSE	35.0	30.3	125.6	-30.3	135.0	0.0	126.17	
	CO_16	CBETA	264.5	252.3	281.2	163.3	294.3	197.7	3.10	
	CO_27	CBMAL	230.3	215.8	245.2	-92.3	263.7	195.0	10.75	
	CO_01	CBOG1	170.5	164.9	209.5	167.4	215.0	37.1	2.00	
	CO_28	CBSOL	241.0	236.2	262.9	-236.2	273.1	0.0	3.56	
	CO_29	CBUC1	352.4	338.6	358.5	107.4	375.4	323.2	2.89	
	CO_19	CPLA1	150.6	136.4	181.4	-14.2	198.6	135.6	50.94	
	CO_09	CTADO	112.9	103.7	158.0	-99.0	171.1	30.9	9.52	
	CO_26	CTUTU	132.4	127.7	174.4	-127.7	184.5	0.0	9.63	
	CO_05	CANDE	177.8	176.3	208.4	175.0	210.5	36.2	3.30	
	CO_19960911062847	CO_06	CANSE	142.7	141.9	181.0	144.3	182.1	2.4	5.73
CO_30		CBUEN	68.6	65.4	126.9	-60.7	130.6	24.5	9.79	
CO_17		CCALA	105.4	102.7	151.9	88.8	154.5	55.6	4.84	
CO_31		CCALI	77.5	73.8	132.1	-60.5	136.3	42.2	11.21	
CO_18		CDAGU	62.7	60.0	125.1	-58.3	128.5	14.4	7.32	
CO_32		CECAL	34.3	31.0	114.6	-28.3	117.7	12.8	4.32	
CO_33		CFLAN	114.5	112.2	158.8	105.4	161.0	44.9	15.21	
CO_34		CPER2	112.6	110.9	157.4	109.8	159.2	27.6	8.82	
CO_35		CPTEJ	107.7	103.8	150.6	-77.7	155.5	68.8	7.23	
CO_36		CROLD	44.9	43.0	119.4	44.0	121.3	11.2	5.73	
CO_23		CSAL1	140.4	137.1	174.9	-122.5	179.8	61.5	1.30	
CO_25		CTRUJ	22.6	19.4	112.4	17.4	114.8	12.3	9.29	
CO_19970219182514		CO_05	CANDE	146.3	140.9	174.7	-132.0	181.7	49.2	12.22
		CO_16	CBETA	227.9	221.4	243.8	49.6	251.7	216.8	1.81
	CO_28	CBSOL	220.2	213.1	235.3	-49.8	244.5	207.2	1.57	
	CO_30	CBUEN	92.9	91.3	140.5	96.1	141.2	0.0	44.28	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>	
CO_19970219182514	CO_31	CCALI	109.4	103.9	149.1	80.4	153.2	71.3	27.63	
	CO_49	CCOLO	221.8	214.7	237.1	-52.7	246.3	208.2	4.15	
	CO_18	CDAGU	94.9	90.5	140.3	84.0	143.3	43.6	23.10	
	CO_32	CECAL	66.7	61.7	123.3	55.0	126.7	35.8	14.83	
	CO_07	CFILA	135.2	131.9	167.7	-131.9	173.0	0.0	1.43	
	CO_33	CFLAN	97.2	91.3	138.9	-82.4	145.5	39.4	31.29	
	CO_50	CIBA1	136.9	130.1	166.1	-96.2	174.1	87.5	5.35	
	CO_51	CMAN1	124.4	120.2	159.2	-119.4	165.0	13.8	1.43	
	CO_44	CMAZP	93.6	88.3	136.5	-84.2	142.6	26.6	93.46	
	CO_02	CPENS	177.3	173.3	201.7	-172.7	207.8	15.1	10.47	
	CO_52	CPER1	77.1	72.3	126.8	-70.8	132.3	14.7	9.57	
	CO_34	CPER2	90.9	85.9	135.0	-83.2	140.9	21.6	55.57	
	CO_19	CPLA1	263.3	259.2	277.4	-257.4	284.3	30.4	2.59	
	CO_21	CPOP2	225.0	219.5	243.6	163.7	249.6	151.4	3.83	
	CO_35	CPTEJ	139.0	133.2	170.8	91.7	175.6	100.9	22.80	
	CO_53	CPUTP	93.2	88.0	136.4	-84.2	142.5	25.5	24.53	
	CO_54	CRICA	400.4	396.6	408.0	372.2	414.6	149.1	2.44	
	CO_08	GRIOS	134.3	130.1	166.4	-129.0	172.4	16.5	2.00	
	CO_36	CROLD	31.8	24.6	107.6	-15.4	112.4	19.3	23.81	
	CO_55	CSAMA	370.9	366.6	379.5	329.7	386.3	169.6	2.47	
	CO_24	CSEVI	64.2	56.9	119.1	-24.5	125.5	51.4	13.17	
	CO_46	CSONS	183.8	180.1	207.5	-179.9	213.5	8.5	2.24	
	CO_56	CTOCH	103.7	97.2	143.5	35.6	149.6	92.2	6.13	
	CO_57	CTORI	171.8	165.7	197.4	102.3	203.0	134.0	4.68	
	CO_25	CTRUJ	33.0	26.4	108.3	10.4	112.6	25.8	18.33	
	CO_58	CTUMA	388.4	386.2	397.7	388.5	402.7	43.5	1.80	
	CO_234	CTUMA_R	388.4	386.2	397.7	388.5	402.7	43.5	0.32	
	CO_26	CTUTU	141.4	134.3	168.6	-84.8	176.9	104.1	15.81	
	CO_19970902121325	CO_05	CANDE	199.7	194.4	289.9	205.4	294.5	13.4	10.40
		CO_59	CARBE	150.1	132.8	245.5	13.8	263.3	132.7	1.89
CO_60		CARME	76.3	68.7	222.0	79.6	229.5	9.0	58.82	
CO_16		CBETA	134.0	126.0	240.9	-126.0	253.8	0.0	0.98	
CO_61		CBOG2	202.4	184.9	278.3	41.7	297.2	182.4	4.34	
CO_62		CBORD	239.6	221.4	300.5	-147.8	322.6	164.7	15.43	
CO_29		CBUC1	461.6	445.7	490.0	282.4	509.6	353.8	2.28	
CO_63		CBUC2	460.8	445.0	489.3	282.5	508.9	352.7	3.94	
CO_40		CBUIS	464.5	448.8	492.7	291.1	512.2	350.8	5.21	
CO_17		CCALA	71.6	63.2	220.4	73.7	228.2	11.2	13.26	
CO_31		CCALI	96.7	78.3	220.9	-11.9	236.6	77.4	41.82	
CO_49		CCOLO	117.3	99.3	228.7	-70.5	245.5	69.9	8.11	
CO_64		CCRUZ	290.0	272.7	340.0	-208.0	362.7	176.2	21.29	
CO_41		CCUC1	570.4	554.7	587.3	354.5	609.7	435.5	2.45	
CO_18		CDAGU	110.8	93.5	226.8	10.9	242.7	93.5	21.45	
CO_32		CECAL	91.8	74.3	221.2	31.4	235.0	71.6	5.44	
CO_07		CFILA	159.3	150.7	261.6	157.1	268.8	38.9	2.36	
CO_33		CFLAN	91.2	82.8	227.7	92.5	235.3	17.1	72.41	
CO_65		CFLOR	254.9	244.0	316.5	-241.3	333.7	35.7	1.51	
CO_66		CFQNE	283.6	266.5	339.0	126.6	357.4	240.4	1.45	
CO_13		CGUAD	183.3	167.0	268.5	105.9	283.3	137.8	1.32	
CO_50		CIBA1	84.3	68.6	220.6	56.5	232.1	51.8	4.29	
CO_67		CIBA2	85.4	70.1	220.3	60.3	231.6	50.4	1.19	
CO_68		CIPIA	398.2	380.4	428.5	-273.1	453.8	264.6	3.17	
CO_51		CMAN1	136.1	126.8	248.5	132.5	256.3	37.8	55.55	
CO_44		CMAZP	101.2	94.1	231.9	104.7	238.8	12.7	26.52	
CO_69		CNEIV	115.9	105.5	231.1	-105.2	244.6	7.2	2.67	
CO_70		CPAS1	346.8	329.1	385.4	-238.7	409.6	226.3	1.62	
CO_71		CPAS2	341.1	323.5	380.5	-238.2	404.6	218.6	5.67	
CO_02		CPENS	180.3	168.1	272.1	156.3	282.2	85.4	10.16	
CO_52	CPER1	101.7	97.5	233.3	109.0	238.9	0.0	8.38		

(.../...)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA	
CO_19970902121325	CO_34	CPER2	104.1	97.6	233.5	108.6	240.0	9.4	30.12	
	CO_19	CPLA1	282.7	270.9	345.1	247.4	355.7	133.0	2.94	
	CO_72	CPLAT	166.7	153.7	256.4	-147.9	272.9	41.5	2.71	
	CO_20	CPOP1	189.2	171.4	267.5	-124.1	287.6	118.1	5.95	
	CO_21	CPOP2	184.2	166.4	264.5	-121.7	284.4	113.4	12.51	
	CO_22	CPRAD	94.4	75.4	219.3	-27.4	235.1	70.3	1.65	
	CO_35	CPTEJ	104.2	85.3	223.4	-43.3	239.8	73.4	29.22	
	CO_53	CPUTP	102.0	94.9	232.4	105.7	239.2	12.2	23.59	
	CO_08	CRIOS	172.6	165.6	271.1	175.1	277.0	26.1	5.21	
	CO_36	CROLD	78.8	69.6	222.2	79.0	230.4	17.2	11.41	
	CO_03	CROSA	190.2	172.9	272.3	75.0	289.3	160.8	42.53	
	CO_73	CSAGU	229.9	214.7	296.2	-192.6	315.8	94.9	1.12	
	CO_24	CSEVI	48.1	43.3	214.5	54.8	221.8	0.0	25.30	
	CO_45	CSLUI	252.1	239.8	320.9	216.0	331.6	125.2	1.88	
	CO_46	CSONS	205.5	195.2	290.5	191.8	299.0	74.8	5.92	
	CO_74	CSTRC	112.5	104.4	236.9	113.6	244.1	21.5	35.60	
	CO_48	CSVIC	279.0	269.1	344.8	261.8	353.7	98.8	4.24	
	CO_56	CTOCH	48.4	29.5	209.6	-9.3	221.8	28.0	4.90	
	CO_57	CTORI	120.3	102.7	231.1	-77.5	247.9	67.3	9.72	
	CO_25	CTRUJ	75.7	61.7	218.9	61.1	229.2	36.8	14.96	
	CO_26	CTUTU	226.8	221.1	307.9	231.8	312.5	19.7	15.03	
	CO_04	CVHER	145.6	131.9	250.2	116.5	261.3	79.9	1.28	
	CO_11	CVIL1	234.8	216.9	296.9	-15.2	318.6	216.4	1.23	
	CO_19971211075630	CO_39	CANAP	155.7	144.2	228.6	16.7	241.7	143.8	2.39
		CO_05	CANDE	190.9	185.8	261.2	187.1	266.4	45.1	8.73
CO_62		CBORD	243.6	231.5	290.1	-137.6	306.1	186.2	10.39	
CO_29		CBUC1	458.6	447.6	479.3	222.1	494.7	392.3	1.00	
CO_75		CBUC3	454.0	443.0	475.0	223.5	490.3	386.3	3.36	
CO_76		CBUC4	451.2	440.3	472.5	224.6	487.7	382.5	1.83	
CO_30		CBUEN	142.1	130.7	221.1	49.2	232.8	123.6	21.91	
CO_40		CBUIS	461.3	450.4	481.9	231.1	497.2	390.5	2.83	
CO_31		CCALI	96.0	83.9	197.2	-13.3	208.7	82.9	42.44	
CO_49		CCOLO	126.1	115.4	211.9	-93.6	224.0	67.5	2.59	
CO_64		CCRUZ	295.1	283.5	333.0	-195.9	349.5	204.9	17.40	
CO_41		CCUC1	567.3	556.3	579.1	283.7	596.6	482.2	1.05	
CO_18		CDAGU	107.7	96.3	202.9	11.2	214.4	96.2	18.68	
CO_07		CFILA	151.6	144.4	233.0	136.1	239.9	64.5	2.68	
CO_33		CFLAN	83.8	76.3	197.5	74.6	204.3	35.0	84.56	
CO_66		CFQNE	282.7	271.2	324.3	81.3	338.9	260.8	0.96	
CO_50		CIBA1	82.1	70.8	193.5	34.6	203.0	65.1	5.85	
CO_67		CIBA2	82.7	71.5	193.0	38.6	202.4	64.1	1.40	
CO_68		CIPIA	402.8	390.9	425.7	-249.7	444.1	300.6	3.03	
CO_51		CMAN1	128.9	121.1	219.5	111.8	226.7	60.4	68.48	
CO_44		CMAZP	93.3	86.6	201.4	87.3	207.8	32.1	32.50	
CO_69		CNEIV	125.9	120.5	214.4	-120.4	223.6	1.1	2.36	
CO_77		COCAN	549.1	539.0	563.3	353.0	579.6	412.8	3.08	
CO_70		CPAS1	351.4	339.6	380.7	-220.3	398.3	258.4	1.40	
CO_71		CPAS2	345.9	334.1	375.7	-220.7	393.2	250.7	6.77	
CO_02		CPENS	174.5	165.2	246.3	129.6	255.4	110.6	9.19	
CO_52		CPER1	92.8	88.1	202.2	93.6	207.5	15.3	13.89	
CO_34		CPER2	95.9	89.6	202.9	91.6	209.0	29.3	48.20	
CO_72		CPLAT	174.6	165.6	242.3	-152.7	254.7	63.9	2.08	
CO_20		CPOP1	193.7	182.0	254.0	-119.7	268.6	137.0	4.11	
CO_21		CPOP2	188.8	177.1	250.6	-117.9	265.1	132.0	15.82	
CO_78		CPOP3	184.8	173.1	248.0	-116.7	262.4	127.8	13.22	
CO_22		CPRAD	101.3	89.1	198.9	-50.9	210.7	73.2	1.00	
CO_35		CPTEJ	106.6	94.3	201.7	-45.0	213.8	82.8	45.67	
CO_53		CPUTP	94.0	87.4	201.9	88.3	208.2	31.8	27.45	
CO_54	CRICA	391.1	378.9	414.3	-190.4	432.9	327.4	2.82		

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_19971211075630	CO_03	CROSA	190.1	178.6	253.5	39.8	266.9	175.5	39.29
	CO_24	CSEVI	38.1	35.9	184.5	42.8	189.8	0.0	28.58
	CO_45	CSLUI	246.2	237.0	298.1	184.0	307.8	157.4	1.50
	CO_46	CSONS	198.6	190.4	264.4	166.2	272.5	104.3	5.37
	CO_74	CSTRC	104.9	97.7	206.9	95.1	213.6	42.0	54.18
	CO_56	CTOCH	49.9	37.5	183.3	-16.8	192.5	33.6	7.53
	CO_57	CTORI	125.2	113.6	211.8	-79.7	224.3	80.9	12.04
	CO_25	CTRUJ	66.9	58.1	190.1	54.2	197.4	33.8	14.83
	CO_26	CTUTU	216.9	214.7	281.8	221.5	284.7	0.0	14.44
	CO_04	CVHER	140.9	130.8	224.1	90.8	233.7	100.2	0.93
CO_20010922032339	CO_01	CBOG1	221.5	214.0	275.4	2.0	285.9	214.0	1.05
	CO_235	CBOG1_R	221.5	214.0	275.4	2.0	285.9	214.0	0.20
	CO_17	CCALA	77.8	71.6	190.8	55.4	196.2	50.3	11.45
	CO_31	CCALI	78.3	70.5	188.5	-10.0	195.7	69.8	18.70
	CO_18	CDAGU	90.4	82.9	193.6	15.0	200.8	82.2	8.32
	CO_32	CECAL	70.8	63.5	187.1	31.8	193.2	57.3	1.92
	CO_07	CFILA	163.1	157.6	237.1	133.4	242.8	90.6	0.73
	CO_50	CIBA1	99.4	91.9	198.2	32.0	205.3	87.7	2.58
	CO_51	CMAN1	141.2	135.4	223.4	109.3	229.2	85.7	17.73
	CO_71	CPAS2	331.1	323.5	364.8	-211.5	377.4	244.7	2.68
	CO_72	CPLAT	165.6	160.0	235.8	-150.0	244.1	55.6	1.06
	CO_89	CPMGU	322.4	314.7	357.4	-204.2	369.8	239.4	4.10
	CO_90	CSAEL	374.6	367.3	404.1	156.1	415.4	334.5	1.53
	CO_25	CTRUJ	58.6	54.5	184.9	55.8	189.0	18.3	6.28
	CO_04	CVHER	156.6	149.6	231.4	86.9	238.8	124.8	0.39
	CO_06	CANSE	95.3	94.4	114.0	93.0	115.4	20.7	9.32
	CO_17	CCALA	37.4	34.6	72.0	8.0	74.9	33.8	19.43
	CO_18	CDAGU	118.9	116.4	131.5	-75.9	135.1	88.2	3.25
CO_32	CECAL	89.8	87.1	107.0	-52.2	110.6	69.7	1.07	
CO_20050308155943	CO_07	CFILA	106.9	105.3	123.0	94.7	125.0	48.1	0.78
	CO_67	CIBA2	77.4	74.6	96.5	0.9	100.1	74.6	1.24
	CO_105	CIBA3	84.7	81.8	102.6	-4.8	106.3	81.7	2.87
	CO_51	CMAN1	87.8	85.9	107.1	70.2	109.5	50.8	9.62
	CO_117	CPOST	35.6	32.9	71.0	12.8	73.8	30.7	61.90
	CO_92	CSHEL	202.0	200.8	210.7	192.2	212.5	61.4	0.47
	CO_56	CTOCH	89.3	88.0	107.8	-85.6	110.3	20.3	2.39
	CO_25	CTRUJ	46.5	43.7	76.3	-17.4	79.5	40.0	6.26
	CO_26	CTUTU	162.0	160.8	172.3	153.9	173.9	49.8	1.97
	CO_97	CVERS	33.5	31.1	70.7	20.8	73.2	24.0	89.40
	CO_106	MCOLO	87.4	85.5	106.8	70.3	109.2	50.0	22.33
	CO_107	MEMTE	87.5	85.4	106.7	66.7	109.2	54.6	7.45
	CO_108	MPALE	99.3	97.0	116.1	64.1	118.9	73.6	4.88
	CO_118	RAC01	136.8	134.7	147.8	-113.6	151.1	72.3	2.36
	CO_98	RAC02	132.5	130.4	144.0	-109.2	147.2	71.3	2.81
	CO_110	RAC03	114.1	112.7	128.3	-108.8	130.9	29.4	7.60
	CO_111	RAC04	131.9	129.7	143.5	-106.5	146.8	74.0	5.09
	CO_99	RAC05	127.9	125.7	139.8	-102.7	143.1	72.6	5.57
CO_112	RAC06	127.9	125.7	139.8	-103.5	143.1	71.3	4.51	
CO_100	RAC07	124.0	121.8	136.3	-98.6	139.7	71.4	5.70	
CO_119	RAC09	118.2	116.0	131.2	-93.9	134.5	68.1	4.82	
CO_20050421033924	CO_06	CANSE	58.7	54.9	117.2	-6.5	121.1	54.5	10.57
	CO_60	CARME	83.5	81.1	131.1	-78.7	134.6	19.6	8.45
	CO_17	CCALA	89.4	87.2	135.0	-85.0	138.6	19.2	2.40
	CO_07	CFILA	84.8	80.9	131.0	-20.0	135.5	78.3	0.78
	CO_51	CMAN1	83.3	79.4	130.5	-42.0	135.0	67.3	9.02
	CO_02	CPENS	130.9	126.9	163.3	-39.7	168.5	120.6	11.52
	CO_08	CRIOS	77.7	74.0	127.1	1.6	131.3	74.0	1.05
	CO_45	CSLUI	184.9	181.2	206.8	-1.2	212.4	181.2	1.13
CO_25	CTRUJ	86.5	83.0	132.1	-63.1	136.4	53.9	3.81	

(.../...)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
CO_20050421033924	CO_26	CTUTU	88.9	87.2	135.0	86.0	136.9	23.8	12.14
	CO_97	CVERS	47.4	44.4	112.8	-39.8	116.1	19.7	19.21
	CO_04	CVHER	127.6	123.7	160.9	-73.7	165.9	99.4	1.03
	CO_120	CVICT	60.4	58.3	118.0	-57.5	121.2	9.3	2.30
	CO_106	MCOLO	82.5	78.6	130.1	-41.6	134.5	66.7	16.65
	CO_107	MEMTE	87.1	83.2	132.9	-47.1	137.4	68.6	10.45
	CO_110	RAC03	176.8	173.6	200.6	-145.5	205.7	94.7	3.65
	CO_111	RAC04	180.8	177.2	203.8	-119.3	209.3	130.9	3.15
	CO_99	RAC05	176.7	173.0	200.1	-116.8	205.6	127.6	2.94
	CO_100	RAC07	172.5	168.8	196.6	-114.1	202.1	124.5	4.22
CO_20080913093201	CO_06	CANSE	61.7	59.7	147.4	-59.0	152.1	9.1	16.77
	CO_59	CARBE	134.3	129.9	186.6	95.0	193.0	89.7	1.00
	CO_29	CBUC1	370.5	364.9	385.1	-157.6	395.5	329.0	0.96
	CO_17	CCALA	33.7	30.0	138.4	26.8	143.0	15.5	10.62
	CO_121	CCUC3	477.6	472.0	485.7	-223.0	497.0	415.9	1.82
	CO_18	CDAGU	182.6	177.2	221.1	79.8	229.0	158.7	4.56
	CO_32	CECAL	153.6	148.0	199.2	60.9	206.9	135.4	1.51
	CO_07	CFILA	56.5	54.8	145.2	-54.4	149.8	6.1	4.22
	CO_51	CMAN1	32.1	30.2	138.6	-30.0	143.0	3.2	14.58
	CO_77	COCAN	453.7	448.7	463.8	-289.4	474.4	342.7	4.25
	CO_34	CPER2	22.6	16.9	135.5	-8.2	140.3	14.9	46.98
	CO_19	CPLA1	178.5	174.2	218.4	-138.0	225.7	106.3	3.08
	CO_117	CPOST	31.2	26.8	137.4	21.4	142.1	17.5	48.97
	CO_35	CPTEJ	200.3	195.7	236.2	135.3	243.3	142.5	9.09
	CO_03	CROSA	132.6	126.8	185.4	35.9	193.0	122.0	1.67
CO_45	CSLUI	148.8	144.2	195.4	-107.2	202.6	96.4	3.80	
CO_25	CTRUJ	109.6	103.9	169.5	33.7	176.7	98.7	4.78	
CO_20090908082601	CO_06	CANSE	113.8	111.7	141.1	74.4	143.2	84.7	1.65
	CO_60	CARME	108.3	105.9	135.5	-2.9	138.7	105.9	8.60
	CO_17	CCALA	112.5	110.0	138.8	-8.0	142.1	109.7	1.87
	CO_32	CECAL	84.9	83.5	118.9	-82.9	121.2	10.1	0.62
	CO_50	CIBA1	156.6	154.1	175.1	-12.5	178.8	153.6	0.63
	CO_51	CMAN1	132.1	129.7	155.5	56.1	158.3	117.8	3.83
	CO_97	CVERS	47.8	45.3	96.8	-4.2	99.2	45.1	25.56
CO_20091218143003	CO_06	CANSE	250.7	247.4	294.9	-10.2	301.7	247.2	0.88
	CO_18	CDAGU	83.0	80.7	182.8	-63.3	186.3	50.1	7.06
	CO_32	CECAL	98.0	95.1	189.8	-53.6	193.8	78.5	1.65
	CO_78	CPOP3	71.3	68.0	178.5	-15.8	182.3	66.1	7.02
	CO_83	CPOP4	76.0	72.7	180.2	-19.6	184.0	70.1	7.73
	CO_35	CPTEJ	25.3	23.3	166.1	-20.1	168.7	11.7	37.65
	CO_55	CSAMA	240.9	237.8	286.9	-96.2	293.4	217.4	3.00
CO_20100129175223	CO_06	CANSE	69.7	67.0	148.6	30.6	151.1	60.5	3.31
	CO_60	CARME	39.1	37.5	137.8	36.5	139.3	14.1	10.10
	CO_17	CCALA	44.2	42.4	139.5	39.3	141.1	19.7	7.62
	CO_18	CDAGU	136.8	134.0	186.9	-92.5	190.9	96.8	1.77
	CO_32	CECAL	106.8	103.9	167.5	-72.9	171.0	74.1	0.96
	CO_50	CIBA1	87.7	86.1	158.0	81.5	159.7	32.6	0.62
CO_20100626184014	CO_128	CMON2	458.7	456.0	469.9	29.0	477.4	455.1	0.01
	CO_126	CTUM2	437.5	434.9	449.8	-343.2	457.1	266.9	0.07
	CO_65	CFLOR	735.4	731.8	734.3	-357.4	745.3	637.9	0.05
	CO_71	CPAS2	671.4	667.8	672.4	-174.6	682.6	644.4	0.84
	CO_126	CTUM2	757.0	753.5	755.4	-34.2	766.5	752.7	0.01
CO_20100812115416	CO_27	CBMAL	582.4	565.4	600.0	455.1	624.7	345.3	0.69
	CO_65	CFLOR	361.8	356.5	415.5	363.1	426.8	30.7	0.43
	CO_50	CIBA1	671.1	661.3	689.8	639.6	708.5	195.0	0.60
	CO_128	CMON2	1117.3	1102.0	1105.2	935.6	1139.9	590.5	0.05
	CO_71	CPAS2	271.1	254.8	333.6	218.7	354.6	143.1	0.72
CO_20100812115416	CO_126	CTUM2	374.9	352.1	408.1	168.7	437.8	313.1	1.61
	CO_129	CURIB	1552.4	1543.1	1528.8	1488.9	1568.7	425.6	0.09

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20101009140447	CO_65	CFLOR	495.8	492.1	502.6	-296.0	511.3	392.9	0.09
	CO_71	CPAS2	443.8	440.1	453.5	-115.7	461.7	424.5	0.12
CO_20110815025319	CO_65	CFLOR	401.7	400.6	434.5	401.1	440.7	31.7	0.07
	CO_71	CPAS2	333.4	329.7	372.7	283.2	380.6	171.7	0.13
CO_20120930163135	CO_126	CTUM2	444.8	439.7	469.1	269.6	480.2	348.4	0.12
	CO_60	CARME	314.6	292.8	333.0	-274.2	363.3	102.7	21.86
	CO_16	CBETA	144.0	113.7	199.2	-67.2	231.0	91.7	1.87
	CO_01	CBOG1	404.5	375.2	406.2	-253.2	443.8	276.8	2.98
	CO_28	CBSOL	502.9	490.4	511.0	-490.4	534.2	0.0	2.55
	CO_17	CCALA	310.5	288.3	329.4	-268.4	359.9	105.3	5.12
	CO_140	CCODA	959.0	934.8	936.4	-821.0	975.8	444.8	0.22
	CO_121	CCUC3	798.1	770.2	777.5	-577.1	818.3	508.9	0.51
	CO_141	CCUFI	126.1	97.7	197.6	57.9	223.0	88.7	3.97
	CO_07	CFILA	397.1	375.7	406.1	-353.6	436.7	127.0	1.86
	CO_65	CFLOR	84.8	57.8	178.0	51.6	199.4	46.2	3.26
	CO_143	CGENO	275.3	253.9	300.2	-239.9	329.8	83.1	1.98
	CO_136	CGRAL	395.7	366.5	398.3	-247.5	435.8	270.2	1.89
	CO_51	CMAN1	374.8	352.8	385.9	-328.9	416.8	127.6	15.05
	CO_128	CMON2	773.4	757.1	764.7	-748.8	794.1	111.4	0.16
	CO_71	CPAS2	118.7	90.9	193.7	61.5	217.9	79.1	13.10
	CO_137	CPGA1	403.5	374.3	405.3	-253.4	442.9	275.4	2.60
	CO_89	CPMGU	112.2	83.9	190.1	53.2	214.6	75.6	3.67
	CO_21	CPOP2	74.8	62.2	176.7	-62.2	196.6	0.0	14.89
	CO_78	CPOP3	76.3	64.3	177.6	-64.3	197.4	0.0	14.97
	CO_142	CPROV	1397.3	1379.6	1369.0	-1349.8	1408.8	281.0	0.09
	CO_124	CREAC	403.3	374.1	405.1	-252.6	442.7	275.8	2.33
	CO_54	CRICA	192.1	163.0	233.2	46.5	264.1	160.3	45.56
	CO_144	CRIQ2	407.1	386.8	416.3	-369.6	446.0	113.8	2.61
	CO_03	CROSA	406.7	378.5	409.3	-280.2	446.0	254.4	0.83
	CO_73	CSAGU	13.2	0.0	165.8	7.1	182.2	0.0	5.77
	CO_55	CSAMA	145.1	116.0	203.9	41.3	232.5	113.4	32.61
	CO_145	CTULU	251.7	234.4	284.1	-231.8	310.0	34.7	9.35
CO_58	CTUMA	262.8	232.6	282.1	-34.3	318.6	230.0	44.20	
CO_26	CTUTU	437.1	422.5	448.0	-421.5	472.7	29.0	3.94	
CO_129	CURIB	1200.7	1175.2	1169.9	-987.1	1214.1	632.8	0.12	
CO_04	CVHER	383.6	359.1	391.5	-315.9	424.7	170.8	1.00	
CO_11	CVIL1	401.6	371.0	401.4	-194.0	440.3	316.2	1.05	
CO_139	CYOTO	240.7	225.2	276.8	-224.6	301.2	16.8	7.49	
CO_20130209141608	CO_27	CBMAL	321.1	298.8	330.0	-58.4	359.7	293.1	17.45
	CO_01	CBOG1	540.7	524.5	539.5	-425.5	565.2	306.2	2.83
	CO_62	CBORD	121.6	101.6	179.1	-63.8	203.4	79.1	24.09
	CO_17	CCALA	426.9	407.2	429.1	-253.7	457.3	318.4	3.62
	CO_140	CCODA	1074.9	1054.4	1051.3	-581.9	1087.0	876.8	0.17
	CO_141	CCUFI	15.7	8.5	151.3	-8.5	166.6	0.0	4.52
	CO_18	CDAGU	293.2	271.8	306.8	-120.7	335.5	243.5	16.18
	CO_32	CECAL	322.1	300.8	332.4	-140.7	361.2	265.8	3.46
	CO_07	CFILA	508.5	488.1	504.8	-273.7	534.2	403.9	0.97
	CO_143	CGENO	390.8	371.1	395.7	-232.0	423.6	289.5	2.05
	CO_136	CGRAL	532.0	515.8	531.3	-419.0	556.9	300.3	1.88
	CO_236	CGRAL_R	532.0	515.8	531.3	-419.0	556.9	300.3	0.78
	CO_13	CGUAD	540.7	522.5	537.2	-376.8	564.7	361.5	1.14
	CO_51	CMAN1	488.7	468.6	486.6	-274.8	515.6	379.3	14.02
	CO_69	CNEIV	314.4	300.2	331.5	-265.7	354.0	139.8	3.38
	CO_122	CNOCA	570.4	550.9	564.1	-354.7	593.1	421.1	0.79
	CO_70	CPAS1	15.3	10.5	150.6	-10.5	165.7	0.0	3.41
	CO_71	CPAS2	22.9	18.1	150.9	-18.1	166.2	0.0	7.29
	CO_146	CPAS3	20.0	15.4	150.6	-15.4	165.8	0.0	16.37
	CO_147	CPAS4	19.6	14.5	150.5	-14.5	165.8	0.0	7.02
CO_148	CPAS5	21.8	16.6	150.7	-16.6	166.1	0.0	11.76	

(…/…)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20130209141608	CO_149	CPAS6	21.0	15.0	150.5	-15.0	165.8	0.0	18.10
	CO_150	CPAS7	22.4	17.9	150.9	-17.9	166.1	0.0	6.72
	CO_137	CPGA1	539.6	523.4	538.5	-424.0	564.2	306.3	2.63
	CO_72	CPLAT	220.9	207.1	252.8	-186.5	274.6	89.9	3.15
	CO_142	CPROV	1429.1	1407.1	1395.7	211.0	1438.2	1391.6	0.13
	CO_35	CPTEJ	260.4	240.3	280.0	-145.5	307.2	191.3	23.46
	CO_124	CREAC	539.5	523.3	538.4	-424.5	564.1	305.5	2.78
	CO_54	CRICA	62.5	57.6	161.1	63.3	174.8	0.0	33.48
	CO_03	CROSA	539.7	522.5	537.8	-402.5	564.4	332.7	1.97
	CO_73	CSAGU	154.5	143.2	205.4	-137.3	225.1	40.7	2.85
	CO_23	CSAL1	218.0	197.4	245.1	-108.6	272.3	164.8	8.39
	CO_55	CSAMA	28.6	11.5	149.7	16.5	166.0	3.8	33.31
	CO_151	CSTM1	1171.5	1150.2	1144.8	-517.0	1182.7	1025.1	0.07
	CO_126	CTUM2	162.5	148.7	211.5	132.7	229.5	77.3	19.12
	CO_58	CTUMA	164.0	150.3	212.6	134.5	230.5	77.3	71.42
	CO_04	CVHER	505.3	486.0	503.0	-318.2	531.2	367.0	0.60
	CO_139	CYOTO	340.5	319.6	348.9	-166.1	377.5	273.0	5.50
CO_98	RAC02	269.7	249.0	287.3	-135.3	315.2	209.1	26.77	
CO_20130827232205	CO_79	CBOCA	163.1	160.5	174.7	-50.4	178.3	152.3	0.26
	CO_141	CCUFI	288.8	286.9	295.0	216.1	298.2	190.5	0.05
	CO_18	CDAGU	9.5	7.5	71.0	7.7	72.1	4.7	17.57
	CO_32	CECAL	20.9	18.2	73.1	-7.4	74.9	16.6	7.44
	CO_65	CFLOR	265.2	264.6	272.7	266.3	274.5	4.8	0.04
	CO_50	CIBA1	178.4	176.1	188.9	3.4	192.3	176.1	0.52
	CO_122	CNOCA	285.4	282.8	289.8	-89.1	294.1	268.4	0.08
	CO_03	CROSA	288.9	286.6	294.2	9.7	298.1	286.5	0.05
	CO_126	CTUM2	311.5	309.1	315.5	87.1	319.4	297.1	0.08
	CO_139	CYOTO	46.0	43.5	82.7	-6.4	85.0	43.0	12.22
CO_98	RAC02	43.8	43.1	83.4	44.9	83.8	1.5	6.75	
CO_20150221222646	CO_60	CARME	59.0	58.4	112.7	58.0	115.2	7.2	15.29
	CO_27	CBMAL	147.3	145.5	172.9	-125.1	176.7	74.3	1.95
	CO_01	CBOG1	232.7	232.6	250.8	232.7	253.3	1.8	1.40
	CO_28	CBSOL	219.7	217.0	235.4	-141.4	240.3	164.6	0.40
	CO_17	CCALA	63.7	62.9	115.2	61.8	117.9	12.3	6.91
	CO_64	CCRUZ	355.5	352.2	363.0	-73.7	369.4	344.3	1.32
	CO_141	CCUFI	404.2	400.8	410.0	-116.2	416.6	383.6	0.24
	CO_168	CCUMB	453.1	449.9	457.3	-168.3	464.2	417.1	0.21
	CO_18	CDAGU	127.0	123.8	156.0	-54.6	160.6	111.1	5.35
	CO_32	CECAL	97.1	93.9	134.1	-39.2	138.5	85.4	1.84
	CO_65	CFLOR	348.2	344.8	355.3	70.5	361.7	337.5	0.17
	CO_164	CGR1C	288.0	285.7	299.1	-214.0	304.1	189.2	0.06
	CO_125	CGUAP	300.2	297.4	310.1	-181.2	315.6	235.9	6.25
	CO_161	CGUYA	107.8	105.7	144.0	86.0	147.7	61.5	0.51
	CO_156	CMACA	381.8	379.4	388.4	268.8	394.1	267.7	0.24
	CO_51	CMAN1	85.8	83.9	128.0	71.0	131.4	44.7	7.29
	CO_69	CNEIV	217.2	214.2	233.1	107.4	238.2	185.3	1.53
	CO_122	CNOCA	175.9	173.9	197.3	141.5	201.4	101.1	0.81
	CO_162	CORTC	133.7	131.6	161.8	106.5	165.7	77.4	1.68
	CO_169	CPALC	28.6	25.5	99.0	-12.3	102.2	22.4	16.54
	CO_130	CPALE	87.4	85.7	129.1	74.9	132.5	41.7	3.77
	CO_70	CPAS1	407.3	404.0	412.8	-113.4	419.5	387.7	0.10
	CO_71	CPAS2	402.9	399.5	408.4	-106.1	415.1	385.1	0.28
CO_163	CPIZC	134.8	134.1	163.6	-131.8	166.4	24.9	3.04	
CO_72	CPLAT	255.9	252.5	268.4	39.2	274.2	249.4	1.04	
CO_54	CRICA	433.9	430.8	438.2	-188.6	445.0	387.2	3.25	
CO_03	CROSA	206.9	206.4	227.2	205.2	230.0	23.5	0.41	
CO_55	CSAMA	402.6	399.3	407.9	-143.8	414.6	372.5	3.11	
CO_173	CSAMU	110.8	107.7	143.1	-52.0	147.6	94.3	12.63	
CO_151	CSTM1	753.5	750.1	750.2	188.0	759.8	726.0	0.00	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20150221222646	CO_159	CTAME	523.8	522.4	527.1	477.7	532.9	211.1	0.02
	CO_126	CTUM2	424.4	421.7	429.2	-271.9	435.4	322.2	0.13
	CO_129	CURIB	907.4	904.4	901.9	428.3	912.7	795.4	0.04
	CO_139	CYOTO	78.6	75.2	121.6	-15.6	126.0	73.5	6.89
	CO_98	RAC02	149.5	146.1	173.9	-33.8	179.0	142.1	3.78
CO_20150222125624	CO_60	CARME	223.2	218.1	263.2	48.9	271.2	212.9	3.64
	CO_27	CBMAL	170.4	166.1	221.7	-119.9	228.7	114.9	2.02
	CO_62	CBORD	87.2	82.2	170.6	-38.3	176.5	72.7	5.47
	CO_28	CBSOL	401.7	396.7	419.3	-178.6	429.7	354.1	0.17
	CO_17	CCALA	220.0	214.9	260.8	53.4	268.7	208.5	1.10
	CO_64	CCRUZ	138.9	133.7	201.3	-22.3	208.3	131.8	4.13
	CO_141	CCUFI	192.1	186.9	239.7	-57.3	247.6	177.9	0.63
	CO_168	CCUMB	247.9	242.9	284.4	-102.7	292.9	220.0	1.40
	CO_18	CDAGU	106.0	101.0	180.2	-44.0	186.5	90.9	3.51
	CO_65	CFLOR	157.8	154.1	214.1	118.6	219.7	100.0	0.35
	CO_164	CGR1C	188.6	187.4	237.7	-187.4	242.5	3.5	0.75
	CO_125	CGUAP	155.8	153.3	212.5	-146.9	218.0	43.8	6.25
	CO_161	CGUYA	303.7	298.6	332.5	63.3	341.5	292.2	0.11
	CO_156	CMACA	300.7	300.3	333.4	301.7	337.3	0.0	0.05
	CO_51	CMAN1	282.7	277.6	313.5	51.4	322.2	273.0	1.09
	CO_122	CNOCA	363.0	358.0	384.5	111.0	394.0	340.8	0.09
	CO_162	CORTC	190.7	186.2	237.7	108.8	244.4	152.1	0.30
	CO_169	CPALC	243.3	238.1	278.8	-26.8	287.4	236.6	1.88
	CO_70	CPAS1	194.5	189.3	241.1	-53.8	249.0	181.5	0.26
	CO_71	CPAS2	189.0	183.8	236.6	-47.1	244.5	177.7	0.85
	CO_163	CPIZC	266.7	261.9	298.7	-144.9	307.3	218.2	0.29
	CO_78	CPOP3	28.5	23.4	152.7	-0.8	157.0	23.4	3.96
	CO_03	CROSA	336.7	332.2	362.6	187.2	370.9	275.4	0.06
	CO_159	CTAME	664.2	660.0	669.8	422.9	681.6	507.2	0.01
	CO_126	CTUM2	268.0	264.3	300.7	-221.2	308.3	144.7	0.96
	CO_166	CTUM3	269.7	266.1	302.2	-222.9	309.8	145.2	0.73
	CO_139	CYOTO	140.5	135.3	201.0	-12.1	208.1	134.7	1.80
CO_98	RAC02	71.7	66.5	163.8	-18.1	169.4	64.0	2.90	

Resultados para eventos interplaca (subducción)

Tabla I. 4 Variables geométricas para cada registro de eventos en la zona de interplaca

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_19980804185920	CO_64	CCRUZ	433.46	400.65	400.99	223.92	434.41	351.09	4.51
	CO_18	CDAGU	614.65	581.21	580.51	142.09	615.23	570.45	0.60
	CO_07	CFILA	836.17	802.79	801.13	171.06	836.62	790.34	0.32
	CO_54	CRICA	317.87	284.47	285.37	138.14	319.02	263.55	12.09
	CO_58	CTUMA	318.44	286.00	286.73	33.75	319.49	285.99	5.17
CO_20001108070000	CO_234	CTUMA_R	318.44	286.00	286.73	33.75	319.49	285.99	2.63
	CO_01	CBOG1	490.58	473.94	473.74	149.93	491.16	454.21	1.14
	CO_235	CBOG1_R	490.58	473.94	473.74	149.93	491.16	454.21	0.10
	CO_28	CBSOL	108.98	90.47	91.95	-26.57	111.04	86.48	82.67
CO_20030822052915	CO_17	CCALA	374.46	358.41	358.48	6.90	375.17	358.41	0.20
	CO_77	COCAN	500.67	490.08	489.71	465.12	501.18	193.17	1.16
	CO_94	CCAL3	147.00	144.04	147.85	65.77	150.94	129.16	2.87
CO_20041115090656	CO_31	CCALI	156.41	153.41	156.87	61.52	160.05	141.41	2.66
	CO_18	CDAGU	143.53	140.48	144.30	34.01	147.49	136.79	2.72
	CO_59	CARBE	317.70	301.58	301.95	332.34	318.39	39.82	1.93
CO_20041115090656	CO_27	CBMAL	69.42	33.92	40.12	42.17	72.14	32.77	79.53
	CO_101	CCAL5	153.56	127.45	129.22	148.23	154.94	55.34	37.71
	CO_102	CCAL6	153.04	125.84	127.64	143.92	154.43	60.22	12.07
	CO_103	CCAL7	164.50	136.95	138.55	152.07	165.78	68.40	17.57
	CO_104	CCAL8	164.42	136.69	138.29	151.23	165.70	69.31	14.99

(.../...)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
CO_20041115090656	CO_17	CCALA	182.96	166.17	167.54	198.51	184.20	18.83	2.57
	CO_32	CECAL	114.73	94.82	97.40	127.03	116.63	15.13	14.89
	CO_07	CFILA	202.96	173.52	174.78	173.05	204.06	102.95	2.61
	CO_66	CFQNE	402.85	375.95	376.10	355.26	403.45	194.01	0.62
	CO_13	CGUAD	301.26	276.46	276.92	283.34	301.97	118.04	2.04
	CO_105	CIBA3	232.30	215.56	216.39	247.08	233.21	28.45	2.31
	CO_51	CMAN1	200.20	173.63	174.98	186.32	201.38	82.21	17.54
	CO_69	CNEIV	291.06	271.90	272.32	298.24	291.75	61.64	7.51
	CO_71	CPAS2	380.48	345.11	345.37	161.64	381.12	320.34	3.08
	CO_02	CPENS	249.14	220.08	220.99	211.59	250.08	129.09	8.21
	CO_72	CPLAT	292.28	264.33	264.84	254.72	293.00	144.50	6.63
	CO_89	CPMGU	371.71	336.36	336.68	160.37	372.38	311.43	1.19
	CO_21	CPOP2	253.38	220.85	221.70	180.82	254.27	164.43	22.63
	CO_35	CPTEJ	182.93	155.63	156.98	168.48	184.08	77.32	22.92
	CO_08	CRIOS	193.57	162.20	163.61	152.28	194.75	110.30	2.49
	CO_25	CTRUJ	115.09	104.95	107.26	138.36	116.98	0.00	17.05
	CO_97	CVERS	118.33	102.55	105.04	135.94	120.27	2.41	49.86
	CO_04	CVHER	242.78	217.65	218.57	229.96	243.74	93.39	1.10
	CO_11	CVIL1	406.16	389.38	389.29	417.43	406.66	64.21	1.26
	CO_106	MCOLO	199.45	172.86	174.22	185.59	200.64	81.93	11.22
	CO_107	MEMTE	203.42	177.34	178.65	191.30	204.58	80.68	7.72
	CO_108	MPALE	221.93	196.33	197.45	209.49	223.00	86.76	2.79
	CO_109	MUNAL	203.38	177.20	178.50	190.82	204.54	81.32	9.58
	CO_98	RAC02	162.57	135.08	136.71	150.70	163.86	67.02	33.71
	CO_110	RAC03	184.09	161.98	163.26	188.06	185.23	48.20	45.39
	CO_111	RAC04	158.95	131.29	133.04	147.03	160.31	65.81	22.46
	CO_99	RAC05	156.07	128.91	130.65	146.62	157.42	61.68	37.38
	CO_112	RAC06	157.42	130.37	132.08	148.15	158.76	61.92	75.74
	CO_100	RAC07	152.97	126.32	128.12	145.87	154.36	57.56	32.34
	CO_113	RAC08	155.65	129.64	131.35	150.36	157.00	55.94	37.51
	CO_114	RAC10	158.55	132.55	134.22	152.92	159.87	57.34	61.80
CO_115	RAC11	164.57	137.94	139.52	155.82	165.84	63.61	53.93	
CO_28	CBSOL	84.13	70.38	74.07	-19.70	87.90	67.57	16.74	
CO_51	CMAN1	317.21	305.06	305.78	42.19	318.41	303.51	2.43	
CO_20060124021544	CO_28	CBSOL	75.71	70.37	74.56	-35.87	80.24	60.53	7.12
CO_20060129174914	CO_28	CBSOL	71.19	66.71	68.45	-19.81	73.12	63.70	3.95
	CO_27	CBMAL	132.67	112.97	120.68	65.04	139.44	97.64	5.14
	CO_17	CCALA	309.46	288.36	289.71	15.54	312.67	288.26	0.51
	CO_64	CCRUZ	195.94	189.61	191.91	-189.61	201.19	0.00	47.34
	CO_18	CDAGU	158.19	136.89	139.91	-4.24	164.15	136.83	4.17
	CO_32	CECAL	184.86	163.80	166.54	9.03	190.09	163.79	0.50
	CO_125	CGUAP	48.75	40.24	49.72	-40.24	64.92	0.00	62.02
	CO_68	CIPIA	248.31	236.09	237.77	-226.24	252.46	67.39	5.06
	CO_51	CMAN1	356.57	335.41	337.56	64.14	359.40	330.71	1.98
	CO_71	CPAS2	214.77	206.68	208.70	-206.25	219.53	13.23	11.46
	CO_72	CPLAT	239.63	221.50	223.08	-171.28	243.62	140.42	1.72
	CO_89	CPMGU	207.42	199.88	202.03	-199.75	212.39	7.00	3.58
	CO_21	CPOP2	165.05	148.28	151.18	-125.31	170.97	79.26	7.19
	CO_83	CPOP4	164.10	147.39	150.31	-124.93	170.06	78.20	10.27
	CO_35	CPTEJ	174.96	153.36	155.98	-61.93	180.37	140.30	7.19
	CO_54	CRICA	198.76	183.39	185.53	-163.18	203.59	83.61	33.10
	CO_55	CSAMA	190.32	179.25	181.51	-175.15	195.44	38.01	44.36
	CO_25	CTRUJ	227.74	206.56	209.29	27.37	232.00	205.67	0.98
	CO_126	CTUM2	155.57	134.23	137.16	-63.48	161.38	118.25	28.31
	CO_58	CTUMA	156.72	135.34	138.22	-62.75	162.47	119.88	34.23
	CO_65	CFLOR	856.71	852.75	850.28	386.73	858.26	760.86	0.03
CO_20100911185524	CO_71	CPAS2	719.75	715.72	714.65	222.50	721.76	681.12	0.11
CO_126	CTUM2	716.60	712.65	711.27	47.82	718.44	711.26	0.02	

(.../...)

<i>EQID</i>	<i>ID Est.</i>	<i>Cod. Est.</i>	<i>Repi</i>	<i>Rjb</i>	<i>Rrup</i>	<i>Rx</i>	<i>Rhypo</i>	<i>Ry0</i>	<i>PGA</i>
CO_20101125041940	CO_65	CFLOR	497.62	492.89	492.52	173.84	498.39	462.67	0.01
	CO_50	CIBA1	694.14	689.33	688.20	-57.13	694.73	686.94	0.16
	CO_71	CPAS2	315.00	310.26	311.11	102.93	316.42	294.11	0.07
	CO_126	CTUM2	212.74	207.60	208.81	-48.35	214.50	201.88	0.17
CO_20110817080204	CO_50	CIBA1	296.56	293.90	294.34	215.74	297.47	202.40	0.06
	CO_51	CMAN1	240.89	238.61	239.47	205.46	242.09	125.77	0.18
	CO_122	CNOCA	304.78	303.05	303.37	290.43	305.61	95.13	0.02
CO_20110913043848	CO_71	CPAS2	496.03	492.70	492.44	-103.63	496.64	481.64	0.01
	CO_121	CCUC3	610.78	607.51	606.76	490.16	610.99	363.31	0.05
	CO_50	CIBA1	291.62	289.56	289.71	285.02	292.12	68.97	0.15
	CO_51	CMAN1	235.40	234.10	234.53	237.78	236.08	7.76	0.23
	CO_128	CMON2	372.27	368.22	368.06	57.94	372.61	364.21	0.01
	CO_122	CNOCA	298.93	297.08	297.15	296.05	299.37	53.37	0.03
	CO_71	CPAS2	496.21	492.12	491.84	147.79	496.55	470.51	0.04
CO_20110913044935	CO_126	CTUM2	445.66	441.57	441.22	-26.87	445.93	440.75	0.01
	CO_121	CCUC3	607.30	603.60	602.89	557.33	607.47	243.42	0.09
	CO_65	CFLOR	498.31	492.62	492.18	212.41	498.52	446.79	0.02
	CO_50	CIBA1	287.52	283.57	283.69	258.19	287.93	128.16	0.14
	CO_51	CMAN1	231.14	228.15	228.53	225.95	231.71	57.89	0.75
	CO_128	CMON2	371.54	365.80	365.63	136.16	371.81	341.53	0.01
	CO_122	CNOCA	294.72	293.01	293.05	298.26	295.08	3.78	0.07
	CO_126	CTUM2	446.08	439.69	439.36	-129.25	446.30	420.21	0.02
	CO_129	CURIB	906.88	901.69	900.04	606.55	906.98	669.91	0.00
	CO_65	CFLOR	594.96	591.88	591.18	433.27	596.20	405.85	0.01
CO_20120110180712	CO_70	CPAS1	412.83	409.55	410.45	267.18	414.86	312.81	0.03
	CO_71	CPAS2	420.22	416.95	417.74	273.58	422.18	317.07	0.05
	CO_126	CTUM2	354.35	350.72	351.75	97.57	356.39	337.72	0.11
CO_20140309202955	CO_27	CBMAL	371.22	365.02	365.21	23.99	372.19	364.57	0.12
	CO_140	CCODA	1154.72	1148.42	1144.84	-47.96	1155.03	1147.40	0.01
	CO_65	CFLOR	431.02	425.76	425.68	337.33	431.88	267.11	0.06
	CO_156	CMACA	635.58	630.00	629.02	456.19	636.15	439.94	0.38
	CO_122	CNOCA	687.17	680.82	679.64	131.46	687.71	669.06	0.05
	CO_70	CPAS1	247.75	243.16	244.56	218.41	249.54	118.28	0.33
	CO_71	CPAS2	254.72	250.07	251.34	222.75	256.41	124.64	0.45
	CO_54	CRICA	173.06	168.68	170.70	157.39	175.31	74.34	2.31
	CO_03	CROSA	687.84	681.46	680.52	228.67	688.48	643.77	0.04
	CO_159	CTAME	1018.94	1012.57	1009.76	337.30	1019.30	955.93	0.00
CO_139	CYOTO	449.06	442.69	442.59	111.94	449.93	429.78	0.06	
CO_20140616063932	CO_27	CBMAL	346.80	339.68	339.52	71.76	346.90	333.38	0.13
	CO_141	CCUFI	226.92	222.98	223.23	220.88	227.24	62.12	0.47
	CO_161	CGUYA	594.70	587.55	587.24	194.31	594.82	556.63	0.04
	CO_156	CMACA	613.89	608.36	607.80	510.60	613.95	340.18	0.04
	CO_51	CMAN1	572.23	565.08	564.72	188.64	572.33	534.85	0.29
	CO_122	CNOCA	662.19	655.05	654.41	225.48	662.25	617.18	0.02
	CO_70	CPAS1	230.39	226.55	226.74	225.27	230.67	59.72	0.43
	CO_71	CPAS2	237.10	233.16	233.30	230.54	237.35	65.33	0.93
	CO_03	CROSA	662.80	655.80	655.32	317.60	662.90	576.95	0.04
	CO_139	CYOTO	424.00	416.89	416.68	168.83	424.10	383.99	0.06
CO_20150530062605	CO_98	RAC02	368.21	361.24	361.10	184.04	368.33	314.64	0.70
	CO_60	CARME	570.11	565.06	564.53	170.65	570.32	539.96	0.32
	CO_206	CBET2	488.74	484.07	483.66	302.17	488.97	381.47	0.04
	CO_27	CBMAL	397.18	392.20	391.97	46.08	397.43	389.99	0.13
	CO_28	CBSOL	606.52	601.23	600.54	-91.64	606.69	594.17	0.27
	CO_155	CCNEG	725.97	721.12	720.13	381.31	726.13	614.12	0.11
	CO_64	CCRUZ	291.13	286.98	287.22	226.22	291.63	182.16	2.23
	CO_141	CCUFI	244.56	240.82	241.31	209.19	245.23	126.88	0.25
	CO_168	CCUMB	193.55	190.41	191.11	180.93	194.35	71.68	1.05
	CO_65	CFLOR	434.77	430.73	430.43	347.55	435.01	260.26	0.09
CO_205	CGAR2	463.50	459.07	458.82	326.83	463.78	326.62	0.08	

(././...)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
CO_20150530062605	CO_161	CGUYA	642.98	637.93	637.37	156.80	643.22	619.37	0.04
	CO_50	CIBA1	599.26	594.23	593.61	216.95	599.46	554.76	0.26
	CO_156	CMACA	641.86	637.63	636.82	483.90	642.02	419.63	0.03
	CO_51	CMAN1	620.47	615.43	614.81	152.27	620.69	597.31	0.31
	CO_122	CNOCA	710.15	705.10	704.12	184.77	710.30	681.48	0.02
	CO_77	COCAN	1042.67	1037.65	1035.53	169.16	1042.78	1024.27	0.02
	CO_162	CORTC	564.36	559.40	558.80	247.88	564.56	503.44	0.08
	CO_71	CPAS2	254.56	250.84	251.19	218.67	255.11	130.59	0.52
	CO_163	CPIZC	483.42	478.47	478.05	-13.01	483.63	478.29	0.05
	CO_165	CRECR	625.30	620.25	619.78	175.41	625.57	596.10	0.06
	CO_126	CTUM2	114.12	109.09	109.97	43.85	115.01	101.76	1.85
	CO_166	CTUM3	112.57	107.54	108.42	42.46	113.46	100.63	4.15
	CO_139	CYOTO	470.97	465.93	465.59	140.37	471.22	445.62	0.08
	CO_98	RAC02	412.71	407.70	407.49	159.17	412.99	377.15	0.68
	CO_206	CBET2	384.64	382.82	382.63	370.90	384.79	106.30	0.01
CO_27	CBMAL	221.49	218.30	218.37	125.64	221.74	180.68	0.04	
CO_155	CCNEG	595.29	592.79	592.25	507.72	595.40	310.49	0.02	
CO_64	CCRUZ	251.72	250.01	250.20	245.82	252.07	60.17	0.38	
CO_141	CCUFI	240.69	238.36	238.65	215.03	241.11	109.18	0.05	
CO_168	CCUMB	233.28	230.41	230.69	173.42	233.69	155.20	0.09	
CO_205	CGAR2	381.62	380.26	380.16	380.51	381.82	47.00	0.02	
CO_161	CGUYA	475.47	472.35	472.19	291.98	475.68	373.49	0.01	
CO_156	CMACA	563.21	561.71	561.19	556.49	563.31	96.46	0.03	
CO_162	CORTC	423.44	420.83	420.56	350.03	423.58	238.05	0.03	
CO_169	CPALC	374.59	371.38	371.21	207.36	374.75	310.10	0.03	
CO_70	CPAS1	245.56	243.22	243.44	218.82	245.93	112.43	0.05	
CO_71	CPAS2	249.18	246.90	247.09	225.15	249.52	108.05	0.12	
CO_163	CPIZC	298.16	294.81	294.74	91.43	298.35	281.27	0.03	
CO_165	CRECR	461.88	458.83	458.74	303.96	462.11	346.21	0.02	
CO_03	CROSA	556.76	553.91	553.58	416.90	556.92	367.77	0.02	
CO_126	CTUM2	104.84	101.54	102.01	48.82	105.36	90.69	0.31	
CO_166	CTUM3	104.78	101.47	101.94	47.18	105.30	91.43	2.27	
CO_139	CYOTO	312.90	310.02	309.98	231.15	313.11	209.99	0.03	
CO_98	RAC02	269.93	267.43	267.46	231.59	270.17	139.02	0.15	
EC_20160416235837	EC_01	AAM2	193.90	153.95	160.47	212.39	198.00	28.41	27.22
	EC_02	ACH1	386.69	319.17	320.90	185.48	388.49	293.87	22.30
	EC_03	ACHN	111.72	46.17	56.69	37.65	117.82	46.17	331.00
	EC_04	ACUE	350.15	288.71	291.38	260.63	352.43	208.56	32.20
	EC_05	AES2	90.90	13.11	24.87	-4.23	98.29	12.41	119.40
	EC_06	AGYE	251.21	183.30	187.77	119.15	253.98	173.85	21.59
	EC_07	AIB1	163.76	120.59	128.92	178.96	168.48	25.41	50.96
	EC_08	AIB2	165.89	122.57	130.80	180.74	170.57	26.57	23.94
	EC_09	ALAT	163.19	133.30	141.02	194.39	168.07	0.00	29.10
	EC_10	ALIB	303.14	237.70	239.41	40.17	305.44	237.70	37.73
	EC_11	ALJ1	464.89	400.26	401.38	291.28	466.57	327.25	16.00
	EC_12	ALOR	149.07	82.66	92.13	59.66	153.69	82.66	23.85
	EC_13	AMIL	262.13	196.41	200.50	167.45	264.78	165.09	45.36
	EC_14	AMNT	178.01	104.13	106.07	-14.58	181.90	103.11	420.91
	EC_15	AOTA	148.26	110.61	119.84	171.39	153.54	8.19	41.16
	EC_16	APED	53.53	0.00	21.32	1.65	65.31	0.00	875.10
	EC_17	APO1	166.18	98.84	101.98	17.56	170.35	98.84	355.95
	EC_18	ASDO	70.98	49.71	67.17	110.80	80.52	0.00	167.85
	EC_19	ATUL	217.69	162.08	168.40	197.30	221.43	87.81	16.87
	EC_20	EPNL	129.24	109.75	119.28	170.84	135.35	0.00	22.72
	EC_21	PRAM	126.63	106.07	115.93	167.16	132.87	0.00	23.99
CO_64	CCRUZ	331.38	268.25	271.49	233.40	333.81	205.50	13.17	
CO_168	CCUMB	213.68	153.97	160.79	178.65	217.56	99.40	9.67	
CO_164	CGR1C	351.82	286.38	287.79	40.51	353.80	286.38	1.23	
CO_51	CMAN1	707.83	639.98	639.29	195.85	708.94	625.47	2.19	

(././...)

EQID	ID Est.	Cod. Est.	Repi	Rjb	Rrup	Rx	Rhypo	Ry0	PGA
EC_20160416235837	CO_126	CTUM2	206.77	141.32	145.53	44.71	210.14	141.32	9.14
	CO_139	CYOTO	555.91	488.00	488.35	170.80	557.24	475.42	0.62
	CO_98	RAC02	491.72	423.77	424.68	183.58	493.22	405.58	5.91
	EC_01	AAM2	218.21	204.10	205.28	204.43	219.42	85.27	4.10
	EC_02	ACH1	407.84	387.30	387.18	182.17	408.35	351.16	1.88
	EC_04	ACUE	373.95	355.13	355.39	255.81	374.65	264.53	2.28
	EC_05	AES2	68.75	45.22	47.93	-15.15	71.70	42.61	88.03
	EC_06	AGYE	271.60	250.93	251.44	113.74	272.36	232.33	1.28
	EC_07	AIB1	173.42	159.98	161.57	167.78	174.88	58.79	24.95
	EC_08	AIB2	175.53	162.05	163.64	169.54	176.98	59.98	16.01
	EC_09	ALAT	186.95	174.75	176.24	185.85	188.38	51.96	4.74
	EC_10	ALIB	318.35	298.04	298.30	35.89	319.00	297.56	1.36
	EC_11	ALJ1	487.92	468.25	468.02	288.53	488.44	382.65	0.72
EC_12	ALOR	138.25	117.48	119.35	47.50	139.74	113.97	22.01	
EC_22	AMA1	62.56	38.57	41.82	-19.98	65.85	32.99	258.76	
EC_13	AMIL	284.61	264.64	265.08	161.88	285.34	222.72	2.88	
EC_14	AMNT	187.14	165.31	165.88	-21.20	188.25	162.95	11.11	
EC_20160518075703	EC_15	AOTA	159.53	147.46	149.28	160.51	161.16	41.45	46.04
	EC_16	APED	53.60	30.39	34.31	-7.32	57.33	29.49	194.74
	EC_17	AP01	179.12	159.12	159.97	10.86	180.27	159.12	12.42
	EC_23	APR1	127.85	121.30	123.70	140.31	129.96	0.00	49.13
	EC_24	APR2	86.23	80.12	83.23	99.13	88.78	0.00	92.31
	EC_25	APS4	194.07	188.14	189.51	207.15	195.46	0.00	4.01
	EC_18	ASDO	94.33	83.62	86.53	101.56	96.63	13.28	38.02
	EC_19	ATUL	222.54	205.76	206.99	185.03	223.77	121.51	6.88
	EC_26	AV11	154.27	146.64	148.40	165.57	155.88	4.72	10.35
	EC_27	AV18	23.93	17.73	28.48	36.74	31.46	0.00	85.94
	EC_28	AV21	35.40	15.38	24.38	11.80	40.84	15.38	258.37
	EC_20	EPNL	147.73	141.94	143.91	160.95	149.53	0.00	10.62
	EC_31	GYE3	282.10	261.49	261.94	124.16	282.83	239.38	5.23
EC_21	PRAM	144.29	138.15	140.19	157.16	146.14	0.00	13.48	
EC_29	GYE1	292.95	272.33	272.72	128.14	293.65	249.48	6.38	
EC_30	GYE2	287.08	266.48	266.90	126.51	287.80	243.80	7.50	
EC_01	AAM2	213.35	194.82	198.58	191.39	216.83	96.97	6.82	
EC_02	ACH1	416.29	391.47	392.09	169.15	417.85	362.86	4.91	
EC_04	ACUE	376.56	353.44	354.76	242.78	378.53	276.22	5.63	
EC_05	AES2	64.18	36.26	47.01	-28.18	73.60	22.81	43.53	
EC_06	AGYE	281.25	256.30	258.38	100.71	283.55	244.03	5.72	
EC_07	AIB1	152.69	137.94	143.48	154.75	157.40	39.00	17.76	
EC_08	AIB2	154.78	139.97	145.44	156.51	159.46	40.19	11.49	
EC_09	ALAT	179.94	163.30	168.00	172.81	184.08	63.66	7.98	
EC_10	ALIB	333.37	309.26	310.50	22.87	335.31	309.26	5.36	
EC_11	ALJ1	492.68	468.76	469.05	275.51	494.16	394.34	2.26	
EC_12	ALOR	119.69	94.94	102.21	34.47	125.00	94.17	14.10	
EC_22	AMA1	61.30	35.55	46.62	-33.02	71.22	13.19	112.52	
EC_13	AMIL	290.77	266.36	268.30	148.85	293.00	234.42	7.89	
EC_14	AMNT	205.83	178.95	181.03	-34.23	208.96	175.65	32.61	
EC_15	AOTA	139.49	126.90	133.06	147.48	144.72	21.65	20.48	
EC_16	APED	74.52	45.94	54.79	-20.35	82.78	41.19	526.44	
EC_17	AP01	195.67	170.83	173.05	-2.18	198.96	170.81	49.37	
EC_23	APR1	111.59	104.83	112.52	127.27	118.21	0.00	26.36	
EC_24	APR2	70.81	63.66	74.73	86.09	79.81	0.00	70.48	
EC_25	APS4	178.54	171.67	176.15	194.11	182.73	0.00	3.50	
EC_18	ASDO	87.80	70.65	80.62	88.53	95.14	24.98	45.09	
EC_19	ATUL	200.63	180.89	185.14	172.00	204.41	101.71	8.08	
EC_26	AV11	137.14	130.10	135.96	152.54	142.33	0.00	11.20	
EC_27	AV18	13.57	1.26	36.63	23.70	38.59	0.00	120.95	
EC_28	AV21	25.91	1.24	30.10	-1.24	44.42	0.00	232.64	
EC_20	EPNL	132.69	125.48	131.81	147.91	138.25	0.00	8.58	
EC_29	GYE1	302.07	277.16	278.95	115.11	304.21	261.18	13.43	
EC_30	GYE2	296.17	271.26	273.13	113.48	298.35	255.50	25.32	
EC_31	GYE3	291.22	266.31	268.25	111.13	293.45	251.08	20.26	
EC_21	PRAM	128.52	121.68	128.24	144.12	134.26	0.00	11.22	



Resultados de la selección de ecuaciones de atenuación según ambiente tectónico

En este anexo se presentan resultados de los parámetros de evaluación de las ecuaciones de atenuación. Se presentan los resultados del parámetro LLH, ya que se considera como criterio principal para la selección.

Como complemento, se presentan los resultados de los otros parámetros considerados (LH, LLH, EDR,

k^2 y residuales) para las ecuaciones de mejor ajuste (según el parámetro LLH) y para diferentes periodos estructurales. Los resultados se organizan según ambientes tectónicos (cortical, nido sísmico de Bucaramanga, Benioff e interplaca).

Valores de LLH para sismos según ambientes tectónicos

Tabla J. 1 Estadísticos LLH para las ecuaciones pre seleccionadas para fuentes corticales

Ecuación	LLH	Peso
CauzziEtAl2014FixedVs30NoSOF	2.72507	0.05079
CauzziEtAl2014NoSOF	2.7272	0.05072
CauzziEtAl2014	2.73196	0.05055
CauzziEtAl2014FixedVs30	2.7347	0.05045
CauzziEtAl2014Eurocode8NoSOF	2.8483	0.04663
Idriss2014	2.8553	0.04641
CauzziEtAl2014Eurocode8	2.85633	0.04637
FaccioliEtAl2010	2.99103	0.04224
AbrahamsonEtAl2014RegCHN	3.21195	0.03624
AbrahamsonEtAl2014	3.22303	0.03597
BooreEtAl2014NoSOF	3.42886	0.03118
BooreEtAl2014	3.45759	0.03057
AbrahamsonEtAl2014RegTWN	3.48147	0.03007
BooreEtAl2014LowQNoSOF	3.6502	0.02675
BooreEtAl2014LowQ	3.65895	0.02659
BooreEtAl2014LowQCaliforniaBasinNoSOF	3.84892	0.02331
BooreEtAl2014LowQCaliforniaBasin	3.86963	0.02297
BooreEtAl2014LowQJapanBasinNoSOF	3.8748	0.02289
BooreEtAl2014LowQJapanBasin	3.89656	0.02255
CampbellBozorgia2014	3.89967	0.0225
BooreEtAl2014CaliforniaBasinNoSOF	3.91125	0.02232
BooreEtAl2014CaliforniaBasin	3.95193	0.0217
BooreEtAl2014JapanBasinNoSOF	3.96265	0.02154
AbrahamsonEtAl2014RegJPN	3.98616	0.02119
BooreEtAl2014JapanBasin	4.00439	0.02093
CauzziFaccioli2008	4.09188	0.01969
CampbellBozorgia2014LowQ	4.15866	0.0188
CampbellBozorgia2014JapanSite	4.21683	0.01806
CampbellBozorgia2014HighQ	4.24754	0.01768
CampbellBozorgia2014LowQJapanSite	4.39419	0.01597
CampbellBozorgia2014HighQJapanSite	4.58487	0.01399

(.../...)

ChiouYoungs2014	4.60237	0.01382
AbrahamsonSilva2008	5.08086	0.00992
CauzziFaccioli2008SWISS04	5.1603	0.00939
CauzziFaccioli2008SWISS08	5.17485	0.0093
CauzziFaccioli2008SWISS01	5.18268	0.00925
BooreAtkinson2008	5.53157	0.00726
BooreEtAl2014HighQNoSOF	6.50319	0.0037
BooreEtAl2014HighQ	6.5692	0.00354
BooreEtAl2014HighQCaliforniaBasinNoSOF	7.66651	0.00165
BooreEtAl2014HighQCaliforniaBasin	7.74449	0.00157
BooreEtAl2014HighQJapanBasinNoSOF	7.77934	0.00153
BooreEtAl2014HighQJapanBasin	7.85836	0.00145

Tabla J. 2 Estadísticos LLH para las ecuaciones pre seleccionadas para el Nido de Bucaramanga

Ecuación	LLH	Peso
ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014	2.81896	0.18417
ZhaoEtAl2006SSlab	2.81896	0.18417
AbrahamsonEtAl2015SSlab	3.45532	0.11848
AbrahamsonEtAl2015SSlabHigh	3.45532	0.11848
AbrahamsonEtAl2015SSlabLow	3.45532	0.11848
MontalvaEtAl2016SSlab	3.52116	0.1132
GarciaEtAl2005SSlab	4.01237	0.08053
LinLee2008SSlab	4.91282	0.04314
GarciaEtAl2005SSlabVert	5.04588	0.03934

Tabla J. 3 Estadísticos LLH para las ecuaciones pre seleccionadas en la zona de Beniöff

Ecuación	LLH	Peso
MontalvaEtAl2016SSlab	2.93688	0.18585
AbrahamsonEtAl2015SSlab	3.22638	0.15206
AbrahamsonEtAl2015SSlabHigh	3.22638	0.15206
AbrahamsonEtAl2015SSlabLow	3.22638	0.15206
ZhaoEtAl2006SSlabNSHMP2014	4.02378	0.08749
ZhaoEtAl2006SSlab	4.02378	0.08749
GarciaEtAl2005SSlab	4.07034	0.08472
GarciaEtAl2005SSlabVert	4.18825	0.07807
LinLee2008SSlab	6.13953	0.02019

Tabla J. 4 Estadísticos LLH para las ecuaciones pre seleccionadas para las fuentes interplaca del Pacífico

Ecuación	LLH	Peso
AbrahamsonEtAl2015SInterLow	3.21348	0.15411
AbrahamsonEtAl2015SInter	3.22748	0.15262
AbrahamsonEtAl2015SInterHigh	3.24524	0.15075
ZhaoEtAl2006SInterNSHMP2008	3.55634	0.12151
ZhaoEtAl2006SInter	3.78831	0.10346
GarciaEtAl2005SSlab	3.86305	0.09824
GarciaEtAl2005SSlabVert	3.99714	0.08952
MontalvaEtAl2016SInter	4.24731	0.07527
LinLee2008SInter	5.07921	0.04229
GhofraniAtkinson2014Lower	7.77666	0.00652
GhofraniAtkinson2014CascadiaLower	8.22623	0.00477
GhofraniAtkinson2014	11.31666	0.00056
GhofraniAtkinson2014Cascadia	12.01373	0.00035
GhofraniAtkinson2014Upper	16.36289	0.00002
GhofraniAtkinson2014CascadiaUpper	17.30746	0.00001

Resultados de los parámetros de evaluación para diferentes periodos de vibración

A continuación se presentan los resultados de los diferentes parámetros de evaluación (LH, LLH, EDR, k^2 y residuales) por región tectónica para las ecuaciones con mejor ajuste.

Eventos corticales

Tabla J. 5 Resultados del estadístico LH para los eventos corticales

T_e , [s]	Mediana LLH			Peso LLH		
	Idriss2014	CauzziEtAl2014	AbrahamsonEtAl2014	Idriss2014	CauzziEtAl2014	AbrahamsonEtAl2014
0	3.28	3.61	4.42	0.44	0.35	0.20
0.1	3.42	3.44	6.16	0.47	0.46	0.07
0.2	3.42	4.11	4.95	0.51	0.31	0.18
0.3	3.25	4.09	3.82	0.45	0.25	0.30
0.4	3.12	3.83	3.86	0.45	0.28	0.27
0.5	3.16	3.74	4.32	0.47	0.32	0.21
0.6	3.02	3.42	4.00	0.44	0.33	0.22
0.7	2.93	3.21	3.79	0.42	0.35	0.23
0.8	2.87	3.06	3.57	0.40	0.35	0.25
0.9	2.90	2.94	3.41	0.37	0.36	0.26
1	2.97	2.91	3.34	0.36	0.37	0.27
1.1	2.92	2.79	3.27	0.35	0.38	0.27
1.2	2.91	2.72	3.25	0.34	0.39	0.27
1.3	2.90	2.64	3.21	0.33	0.40	0.27
1.4	2.81	2.55	3.17	0.34	0.40	0.26
1.5	2.75	2.48	3.16	0.34	0.41	0.26
1.6	2.69	2.43	3.15	0.34	0.41	0.25
1.7	2.64	2.40	3.16	0.35	0.41	0.24
1.8	2.61	2.38	3.17	0.35	0.41	0.24
1.9	2.58	2.37	3.20	0.36	0.41	0.23
2	2.57	2.35	3.24	0.36	0.42	0.23
2.1	2.54	2.35	3.27	0.36	0.42	0.22
2.2	2.53	2.35	3.30	0.37	0.42	0.22
2.3	2.52	2.38	3.35	0.38	0.41	0.21
2.4	2.52	2.42	3.40	0.38	0.41	0.21
2.5	2.52	2.46	3.46	0.39	0.41	0.20
2.6	2.51	2.50	3.50	0.40	0.40	0.20
2.7	2.50	2.53	3.55	0.41	0.40	0.20
2.8	2.49	2.56	3.60	0.41	0.39	0.19
2.9	2.49	2.60	3.66	0.42	0.39	0.19
3	2.49	2.65	3.72	0.43	0.38	0.18
3.1	2.51	2.67	3.75	0.43	0.39	0.18
3.2	2.55	2.69	3.79	0.43	0.39	0.18
3.3	2.59	2.72	3.83	0.43	0.39	0.18
3.4	2.63	2.76	3.87	0.43	0.39	0.18
3.5	2.68	2.80	3.91	0.43	0.39	0.18
3.6	2.73	2.84	3.95	0.42	0.39	0.18
3.7	2.78	2.87	3.99	0.42	0.40	0.18
3.8	2.84	2.90	4.03	0.42	0.40	0.18
3.9	2.90	2.94	4.08	0.41	0.40	0.18
4	2.97	2.97	4.13	0.41	0.41	0.18
4.1	3.00	2.98	4.11	0.40	0.41	0.19
4.2	3.03	3.00	4.10	0.40	0.41	0.19
4.3	3.07	3.03	4.09	0.40	0.41	0.19
4.4	3.10	3.05	4.09	0.39	0.41	0.20
4.5	3.14	3.09	4.08	0.39	0.41	0.20
4.6	3.18	3.11	4.07	0.39	0.41	0.21
4.7	3.21	3.13	4.07	0.38	0.41	0.21
4.8	3.25	3.17	4.07	0.38	0.40	0.22
4.9	3.29	3.21	4.06	0.38	0.40	0.22
5	3.33	3.24	4.06	0.38	0.40	0.23

Tabla J. 6 Resultados del estadístico EDR para eventos corticales

T_e , [s]	EDR			k^2		
	<i>Idriss2014</i>	<i>CauzziEtAl2014</i>	<i>AbrahamsonEtAl2014</i>	<i>Idriss2014</i>	<i>CauzziEtAl2014</i>	<i>AbrahamsonEtAl2014</i>
0	1.47	2.47	1.55	1.14	1.70	1.00
0.1	1.46	2.52	2.13	1.06	1.64	1.07
0.2	1.74	3.42	1.79	1.22	2.02	1.02
0.3	1.68	3.24	1.49	1.20	1.96	1.01
0.4	1.62	2.98	1.81	1.18	1.84	1.22
0.5	1.74	2.87	2.29	1.24	1.77	1.44
0.6	1.59	2.58	2.12	1.17	1.66	1.40
0.7	1.51	2.31	2.03	1.12	1.55	1.39
0.8	1.46	2.12	1.90	1.10	1.49	1.35
0.9	1.46	2.02	1.78	1.09	1.45	1.30
1	1.49	1.98	1.72	1.09	1.44	1.27
1.1	1.47	1.90	1.69	1.08	1.41	1.27
1.2	1.47	1.83	1.69	1.08	1.39	1.28
1.3	1.47	1.76	1.68	1.08	1.37	1.29
1.4	1.43	1.67	1.69	1.07	1.34	1.30
1.5	1.40	1.60	1.71	1.06	1.31	1.32
1.6	1.37	1.55	1.74	1.06	1.29	1.35
1.7	1.35	1.50	1.78	1.05	1.28	1.38
1.8	1.34	1.47	1.82	1.05	1.27	1.40
1.9	1.33	1.45	1.87	1.05	1.26	1.43
2	1.32	1.43	1.92	1.05	1.25	1.46
2.1	1.31	1.43	1.96	1.04	1.25	1.48
2.2	1.31	1.44	2.00	1.04	1.25	1.50
2.3	1.30	1.46	2.04	1.04	1.27	1.52
2.4	1.31	1.50	2.08	1.04	1.28	1.53
2.5	1.31	1.53	2.12	1.04	1.30	1.55
2.6	1.30	1.56	2.17	1.04	1.31	1.56
2.7	1.30	1.58	2.21	1.04	1.32	1.58
2.8	1.30	1.62	2.25	1.04	1.34	1.60
2.9	1.30	1.66	2.29	1.04	1.36	1.61
3	1.30	1.72	2.33	1.04	1.38	1.62
3.1	1.30	1.75	2.36	1.03	1.39	1.63
3.2	1.30	1.77	2.38	1.02	1.40	1.64
3.3	1.31	1.79	2.41	1.01	1.40	1.65
3.4	1.32	1.82	2.43	1.01	1.41	1.65
3.5	1.34	1.85	2.46	1.01	1.43	1.66
3.6	1.36	1.89	2.48	1.01	1.44	1.67
3.7	1.38	1.91	2.50	1.01	1.45	1.67
3.8	1.41	1.93	2.52	1.01	1.45	1.68
3.9	1.43	1.95	2.55	1.01	1.45	1.68
4	1.46	1.97	2.57	1.02	1.46	1.68
4.1	1.48	1.97	2.55	1.02	1.46	1.67
4.2	1.49	1.99	2.53	1.02	1.47	1.66
4.3	1.51	2.01	2.51	1.02	1.47	1.65
4.4	1.53	2.03	2.49	1.02	1.48	1.65
4.5	1.54	2.06	2.47	1.03	1.49	1.64
4.6	1.56	2.08	2.46	1.03	1.50	1.63
4.7	1.58	2.10	2.44	1.03	1.51	1.62
4.8	1.60	2.13	2.42	1.04	1.52	1.61
4.9	1.62	2.16	2.41	1.04	1.53	1.60
5	1.63	2.19	2.40	1.04	1.54	1.59

Tabla J. 7 Valores de la media y la mediana de los residuales normalizados para eventos corticales

Te, [s]	Residuales					
	Media			Mediana		
	Idriss2014	CauzziEtAl2014	AbrahamsonE-tAl2014	Idriss2014	CauzziEtAl2014	AbrahamsonE-tAl2014
0	-0.18	-0.77	0.11	-0.16	-0.63	-0.12
0.1	-0.01	-0.78	0.73	-0.03	-0.72	0.41
0.2	-0.49	-1.00	0.28	-0.43	-0.87	0.03
0.3	-0.36	-0.88	-0.28	-0.34	-0.75	-0.38
0.4	-0.24	-0.70	-0.88	-0.26	-0.60	-0.90
0.5	-0.29	-0.65	-1.17	-0.32	-0.49	-1.20
0.6	-0.12	-0.52	-1.02	-0.17	-0.39	-1.13
0.7	-0.02	-0.43	-0.95	-0.12	-0.35	-1.00
0.8	0.06	-0.35	-0.86	0.03	-0.29	-0.85
0.9	0.14	-0.27	-0.75	0.12	-0.20	-0.74
1	0.20	-0.24	-0.67	0.14	-0.18	-0.66
1.1	0.23	-0.22	-0.67	0.18	-0.14	-0.71
1.2	0.25	-0.18	-0.68	0.17	-0.16	-0.70
1.3	0.27	-0.14	-0.69	0.23	-0.13	-0.73
1.4	0.25	-0.13	-0.73	0.20	-0.10	-0.78
1.5	0.23	-0.12	-0.78	0.14	-0.10	-0.80
1.6	0.20	-0.12	-0.82	0.12	-0.08	-0.85
1.7	0.18	-0.12	-0.86	0.05	-0.08	-0.90
1.8	0.15	-0.11	-0.90	0.04	-0.09	-0.93
1.9	0.13	-0.12	-0.94	0.04	-0.09	-0.97
2	0.10	-0.13	-0.97	-0.01	-0.11	-1.02
2.1	0.09	-0.15	-1.00	-0.02	-0.13	-1.04
2.2	0.07	-0.18	-1.02	-0.05	-0.20	-1.06
2.3	0.06	-0.23	-1.05	-0.05	-0.25	-1.09
2.4	0.04	-0.28	-1.07	-0.05	-0.29	-1.12
2.5	0.03	-0.32	-1.09	-0.05	-0.34	-1.13
2.6	0.01	-0.37	-1.12	-0.08	-0.35	-1.09
2.7	-0.01	-0.41	-1.14	-0.08	-0.38	-1.12
2.8	-0.02	-0.45	-1.17	-0.09	-0.42	-1.12
2.9	-0.04	-0.49	-1.19	-0.11	-0.43	-1.13
3	-0.06	-0.54	-1.21	-0.12	-0.46	-1.15
3.1	-0.02	-0.58	-1.23	-0.11	-0.48	-1.16
3.2	0.01	-0.60	-1.24	-0.09	-0.50	-1.16
3.3	0.05	-0.63	-1.26	-0.06	-0.54	-1.17
3.4	0.08	-0.66	-1.27	-0.01	-0.57	-1.19
3.5	0.11	-0.69	-1.29	0.03	-0.59	-1.18
3.6	0.14	-0.72	-1.30	0.06	-0.62	-1.18
3.7	0.17	-0.75	-1.31	0.09	-0.64	-1.18
3.8	0.20	-0.76	-1.33	0.11	-0.66	-1.19
3.9	0.22	-0.78	-1.34	0.13	-0.68	-1.20
4	0.25	-0.80	-1.35	0.14	-0.69	-1.22
4.1	0.27	-0.81	-1.34	0.14	-0.70	-1.22
4.2	0.29	-0.83	-1.34	0.16	-0.72	-1.21
4.3	0.30	-0.84	-1.33	0.18	-0.71	-1.18
4.4	0.32	-0.86	-1.32	0.21	-0.74	-1.19
4.5	0.34	-0.88	-1.32	0.22	-0.76	-1.20
4.6	0.35	-0.90	-1.31	0.22	-0.77	-1.19
4.7	0.37	-0.91	-1.30	0.23	-0.79	-1.19
4.8	0.38	-0.93	-1.30	0.24	-0.82	-1.18
4.9	0.40	-0.95	-1.29	0.26	-0.83	-1.18
5	0.41	-0.97	-1.29	0.27	-0.85	-1.17

Tabla J. 8 Estimador LH y desviación de los residuales normalizados para eventos corticales

T_e , [s]	Std. Residuales			LH		
	Idriss2014	CauzziEtAl2014	AbrahamsonE-tAl2014	Idriss2014	CauzziEtAl2014	AbrahamsonE-tAl2014
0	1.64	1.61	2.07	0.31	0.25	0.22
0.1	1.70	1.52	2.48	0.26	0.26	0.13
0.2	1.64	1.70	2.22	0.29	0.20	0.19
0.3	1.59	1.75	1.84	0.32	0.22	0.22
0.4	1.56	1.73	1.66	0.34	0.26	0.21
0.5	1.57	1.71	1.67	0.33	0.32	0.15
0.6	1.53	1.62	1.63	0.37	0.31	0.18
0.7	1.49	1.56	1.59	0.37	0.33	0.23
0.8	1.46	1.51	1.54	0.39	0.35	0.27
0.9	1.47	1.47	1.53	0.38	0.38	0.28
1	1.50	1.46	1.53	0.37	0.36	0.28
1.1	1.47	1.41	1.50	0.40	0.37	0.29
1.2	1.46	1.38	1.49	0.38	0.36	0.29
1.3	1.45	1.35	1.46	0.41	0.39	0.29
1.4	1.41	1.30	1.42	0.41	0.40	0.31
1.5	1.39	1.26	1.39	0.41	0.41	0.31
1.6	1.36	1.23	1.36	0.43	0.43	0.30
1.7	1.34	1.22	1.34	0.45	0.43	0.29
1.8	1.33	1.20	1.32	0.46	0.45	0.29
1.9	1.32	1.20	1.31	0.46	0.46	0.27
2	1.31	1.19	1.31	0.46	0.45	0.26
2.1	1.30	1.18	1.30	0.47	0.46	0.25
2.2	1.29	1.18	1.30	0.47	0.46	0.24
2.3	1.29	1.19	1.31	0.47	0.45	0.23
2.4	1.29	1.20	1.32	0.48	0.45	0.22
2.5	1.29	1.21	1.33	0.48	0.44	0.22
2.6	1.28	1.22	1.33	0.47	0.43	0.22
2.7	1.27	1.23	1.34	0.47	0.43	0.22
2.8	1.27	1.23	1.34	0.47	0.41	0.21
2.9	1.27	1.24	1.35	0.47	0.40	0.21
3	1.27	1.24	1.36	0.45	0.38	0.21
3.1	1.28	1.24	1.36	0.46	0.38	0.21
3.2	1.30	1.24	1.37	0.43	0.38	0.20
3.3	1.32	1.24	1.37	0.44	0.38	0.20
3.4	1.34	1.25	1.38	0.44	0.36	0.20
3.5	1.37	1.25	1.39	0.44	0.37	0.19
3.6	1.39	1.26	1.40	0.43	0.37	0.19
3.7	1.41	1.26	1.41	0.43	0.36	0.19
3.8	1.44	1.27	1.41	0.41	0.36	0.19
3.9	1.46	1.27	1.43	0.41	0.35	0.19
4	1.49	1.28	1.44	0.40	0.35	0.19
4.1	1.50	1.28	1.44	0.40	0.35	0.19
4.2	1.51	1.28	1.44	0.39	0.35	0.20
4.3	1.53	1.29	1.44	0.39	0.35	0.20
4.4	1.54	1.29	1.44	0.39	0.35	0.20
4.5	1.55	1.29	1.44	0.39	0.34	0.20
4.6	1.56	1.29	1.45	0.39	0.33	0.21
4.7	1.58	1.30	1.45	0.37	0.34	0.21
4.8	1.59	1.30	1.46	0.37	0.33	0.21
4.9	1.60	1.30	1.46	0.37	0.32	0.20
5	1.62	1.31	1.46	0.36	0.32	0.20

Resultados para sismos interplaca (subducción)

Tabla J. 9 Mediana del LLH y peso calculado con LLH para los eventos de interplaca

Te, [s]	Mediana LLH			Peso LLH		
	Abrahamson	Zhao	Montalva	Abrahamson	Zhao	Montalva
0	3.37	3.99	3.66	0.41	0.26	0.33
0.1	3.84	3.49	3.69	0.30	0.38	0.33
0.2	3.55	3.98	3.91	0.40	0.29	0.31
0.3	3.16	4.30	4.04	0.50	0.23	0.27
0.4	3.15	4.25	4.18	0.51	0.24	0.25
0.5	3.18	4.24	4.41	0.53	0.25	0.22
0.6	3.12	3.94	4.36	0.50	0.28	0.21
0.7	3.20	3.64	4.15	0.44	0.33	0.23
0.8	3.38	3.45	3.99	0.38	0.37	0.25
0.9	3.33	3.20	3.77	0.35	0.39	0.26
1	3.29	3.04	3.70	0.34	0.40	0.26
1.1	3.22	2.90	3.57	0.33	0.41	0.26
1.2	3.20	2.81	3.49	0.32	0.42	0.26
1.3	3.20	2.74	3.50	0.31	0.43	0.26
1.4	3.19	2.71	3.58	0.32	0.44	0.24
1.5	3.22	2.71	3.69	0.32	0.45	0.23
1.6	3.16	2.71	3.68	0.33	0.45	0.23
1.7	3.12	2.72	3.69	0.33	0.44	0.23
1.8	3.09	2.74	3.70	0.34	0.44	0.22
1.9	3.08	2.77	3.73	0.35	0.43	0.22
2	3.08	2.81	3.77	0.35	0.43	0.22
2.1	3.05	2.86	3.71	0.36	0.41	0.23
2.2	3.03	2.92	3.66	0.37	0.40	0.24
2.3	3.02	2.99	3.63	0.37	0.38	0.25
2.4	3.03	3.06	3.61	0.38	0.37	0.25
2.5	3.04	3.15	3.60	0.38	0.36	0.26
2.6	3.05	3.25	3.70	0.40	0.35	0.26
2.7	3.07	3.37	3.80	0.41	0.34	0.25
2.8	3.09	3.48	3.91	0.43	0.33	0.24
2.9	3.12	3.61	4.02	0.44	0.32	0.24
3	3.15	3.73	4.15	0.46	0.31	0.23
3.1	3.16	3.76	4.21	0.47	0.31	0.23
3.2	3.16	3.78	4.27	0.47	0.31	0.22
3.3	3.17	3.81	4.34	0.48	0.31	0.21
3.4	3.19	3.84	4.40	0.48	0.31	0.21
3.5	3.20	3.87	4.47	0.49	0.31	0.20
3.6	3.22	3.90	4.54	0.49	0.31	0.20
3.7	3.24	3.94	4.60	0.50	0.31	0.19
3.8	3.26	3.97	4.67	0.50	0.31	0.19
3.9	3.29	4.00	4.74	0.51	0.31	0.18
4	3.31	4.04	4.81	0.51	0.31	0.18
4.1	3.32	4.05	4.91	0.52	0.31	0.17
4.2	3.32	4.05	5.00	0.52	0.31	0.16
4.3	3.33	4.06	5.10	0.53	0.32	0.15
4.4	3.34	4.07	5.20	0.53	0.32	0.15
4.5	3.35	4.08	5.29	0.54	0.32	0.14
4.6	3.36	4.09	5.40	0.54	0.33	0.13
4.7	3.37	4.10	5.50	0.55	0.33	0.13
4.8	3.39	4.11	5.60	0.55	0.33	0.12
4.9	3.40	4.13	5.70	0.55	0.33	0.11
5	3.41	4.14	5.81	0.56	0.34	0.11

Tabla J. 10 Estimadores para la distancia euclidiana para los eventos de interplaca

Te, [s]	EDR			k^2		
	Abrahamson	Zhao	Montalva	Abrahamson	Zhao	Montalva
0	1.64	2.05	2.12	1.25	1.42	1.40
0.1	1.77	1.89	2.21	1.23	1.23	1.33
0.2	1.70	2.53	2.32	1.24	1.57	1.36
0.3	1.41	2.86	2.46	1.12	1.77	1.45
0.4	1.36	2.88	2.78	1.08	1.80	1.62
0.5	1.31	2.92	2.93	1.04	1.84	1.75
0.6	1.27	2.77	3.11	1.02	1.82	1.90
0.7	1.30	2.49	2.90	1.02	1.72	1.85
0.8	1.36	2.24	2.71	1.03	1.61	1.79
0.9	1.35	2.05	2.59	1.04	1.55	1.78
1	1.34	1.94	2.57	1.04	1.52	1.80
1.1	1.33	1.85	2.56	1.04	1.50	1.84
1.2	1.33	1.78	2.56	1.05	1.49	1.86
1.3	1.33	1.72	2.59	1.05	1.46	1.88
1.4	1.33	1.69	2.68	1.05	1.44	1.92
1.5	1.33	1.66	2.77	1.05	1.42	1.94
1.6	1.31	1.69	2.75	1.04	1.44	1.94
1.7	1.29	1.73	2.73	1.04	1.46	1.94
1.8	1.28	1.77	2.71	1.03	1.48	1.94
1.9	1.27	1.81	2.70	1.03	1.50	1.93
2	1.26	1.86	2.68	1.03	1.52	1.92
2.1	1.25	1.91	2.59	1.02	1.55	1.88
2.2	1.23	1.98	2.50	1.01	1.57	1.83
2.3	1.23	2.04	2.42	1.01	1.60	1.79
2.4	1.22	2.11	2.35	1.01	1.62	1.75
2.5	1.22	2.18	2.28	1.00	1.64	1.71
2.6	1.23	2.28	2.33	1.00	1.68	1.72
2.7	1.23	2.39	2.37	1.00	1.72	1.72
2.8	1.24	2.49	2.41	1.00	1.76	1.73
2.9	1.24	2.59	2.45	1.00	1.79	1.74
3	1.25	2.70	2.49	1.00	1.83	1.74
3.1	1.25	2.69	2.54	1.00	1.82	1.75
3.2	1.26	2.67	2.58	1.00	1.81	1.77
3.3	1.26	2.66	2.62	1.00	1.80	1.78
3.4	1.27	2.65	2.66	1.00	1.78	1.79
3.5	1.27	2.64	2.70	1.00	1.77	1.80
3.6	1.28	2.63	2.74	1.01	1.76	1.81
3.7	1.29	2.63	2.78	1.01	1.76	1.81
3.8	1.30	2.62	2.82	1.01	1.75	1.82
3.9	1.31	2.61	2.86	1.01	1.74	1.83
4	1.32	2.61	2.90	1.01	1.73	1.83
4.1	1.32	2.60	2.95	1.02	1.72	1.85
4.2	1.32	2.59	3.00	1.02	1.72	1.87
4.3	1.33	2.58	3.06	1.02	1.71	1.88
4.4	1.33	2.58	3.11	1.02	1.70	1.90
4.5	1.34	2.57	3.16	1.02	1.70	1.91
4.6	1.34	2.56	3.21	1.02	1.69	1.93
4.7	1.35	2.56	3.26	1.03	1.69	1.94
4.8	1.35	2.55	3.31	1.03	1.68	1.95
4.9	1.36	2.54	3.35	1.03	1.68	1.96
5	1.37	2.54	3.40	1.03	1.67	1.97

Tabla J. 11 Valor de la mediana y la media de los residuales normalizados para eventos de interplaca

Te, [s]	Residuales					
	Media			Mediana		
	Abrahamson	Zhao	Montalva	Abrahamson	Zhao	Montalva
0	-0.78	-0.98	-1.13	-0.69	-0.89	-1.04
0.1	-0.97	-0.87	-1.14	-0.95	-0.89	-1.18
0.2	-0.87	-1.20	-1.22	-0.83	-1.11	-1.24
0.3	-0.49	-1.25	-1.30	-0.42	-1.10	-1.27
0.4	-0.28	-1.10	-1.33	-0.23	-0.90	-1.24
0.5	0.07	-1.01	-1.33	0.23	-0.85	-1.26
0.6	0.16	-0.93	-1.33	0.21	-0.75	-1.26
0.7	0.30	-0.81	-1.27	0.21	-0.60	-1.02
0.8	0.39	-0.72	-1.18	0.33	-0.53	-1.05
0.9	0.44	-0.64	-1.08	0.35	-0.44	-0.89
1	0.44	-0.58	-1.04	0.37	-0.42	-0.90
1.1	0.47	-0.54	-0.99	0.38	-0.43	-0.93
1.2	0.49	-0.51	-0.95	0.38	-0.44	-0.90
1.3	0.51	-0.47	-0.93	0.36	-0.46	-0.93
1.4	0.49	-0.44	-0.93	0.35	-0.41	-0.89
1.5	0.48	-0.42	-0.93	0.31	-0.40	-0.91
1.6	0.45	-0.46	-0.95	0.31	-0.42	-0.88
1.7	0.42	-0.50	-0.96	0.28	-0.43	-0.91
1.8	0.39	-0.54	-0.98	0.27	-0.42	-0.93
1.9	0.36	-0.58	-0.99	0.29	-0.47	-0.92
2	0.34	-0.61	-1.01	0.30	-0.50	-0.90
2.1	0.29	-0.67	-1.01	0.23	-0.56	-0.92
2.2	0.25	-0.72	-1.00	0.17	-0.67	-0.92
2.3	0.20	-0.77	-1.00	0.11	-0.74	-0.95
2.4	0.16	-0.82	-1.00	0.11	-0.75	-0.93
2.5	0.12	-0.87	-1.00	0.07	-0.78	-0.91
2.6	0.10	-0.92	-1.04	0.01	-0.81	-0.97
2.7	0.08	-0.98	-1.08	-0.01	-0.86	-1.04
2.8	0.06	-1.03	-1.12	-0.03	-0.92	-1.09
2.9	0.03	-1.08	-1.16	0.02	-1.00	-1.08
3	0.01	-1.13	-1.19	0.03	-1.09	-1.13
3.1	-0.02	-1.14	-1.22	-0.02	-1.08	-1.17
3.2	-0.05	-1.16	-1.25	-0.07	-1.10	-1.21
3.3	-0.08	-1.18	-1.28	-0.07	-1.10	-1.22
3.4	-0.11	-1.19	-1.31	-0.11	-1.13	-1.25
3.5	-0.14	-1.20	-1.33	-0.14	-1.11	-1.28
3.6	-0.17	-1.22	-1.36	-0.18	-1.11	-1.25
3.7	-0.20	-1.23	-1.38	-0.22	-1.10	-1.31
3.8	-0.23	-1.25	-1.41	-0.25	-1.13	-1.33
3.9	-0.25	-1.26	-1.43	-0.25	-1.17	-1.39
4	-0.28	-1.27	-1.45	-0.27	-1.19	-1.39
4.1	-0.29	-1.28	-1.48	-0.30	-1.19	-1.40
4.2	-0.31	-1.29	-1.51	-0.31	-1.20	-1.42
4.3	-0.32	-1.29	-1.54	-0.27	-1.21	-1.48
4.4	-0.33	-1.30	-1.56	-0.24	-1.21	-1.57
4.5	-0.35	-1.30	-1.59	-0.28	-1.22	-1.62
4.6	-0.36	-1.31	-1.61	-0.28	-1.26	-1.62
4.7	-0.37	-1.32	-1.64	-0.28	-1.29	-1.62
4.8	-0.38	-1.32	-1.66	-0.29	-1.31	-1.63
4.9	-0.40	-1.33	-1.69	-0.27	-1.34	-1.64
5	-0.41	-1.33	-1.71	-0.29	-1.38	-1.63

Tabla J. 12 Valores de desviación estándar de residuales y de LH para eventos de interplaca

Te, [s]	Std. Residuales			LH		
	Abrahamson	Zhao	Montalva	Abrahamson	Zhao	Montalva
0	1.49	1.66	1.40	0.26	0.20	0.25
0.1	1.60	1.50	1.41	0.22	0.23	0.19
0.2	1.53	1.50	1.44	0.26	0.21	0.18
0.3	1.52	1.61	1.44	0.33	0.24	0.18
0.4	1.57	1.69	1.48	0.37	0.25	0.17
0.5	1.60	1.74	1.59	0.31	0.24	0.17
0.6	1.57	1.66	1.56	0.33	0.25	0.15
0.7	1.59	1.60	1.52	0.32	0.26	0.21
0.8	1.64	1.56	1.52	0.31	0.28	0.23
0.9	1.61	1.48	1.49	0.31	0.32	0.26
1	1.59	1.43	1.49	0.29	0.32	0.24
1.1	1.56	1.38	1.46	0.28	0.32	0.25
1.2	1.53	1.34	1.45	0.28	0.34	0.27
1.3	1.53	1.32	1.47	0.28	0.34	0.25
1.4	1.54	1.32	1.51	0.29	0.34	0.24
1.5	1.55	1.33	1.55	0.29	0.35	0.20
1.6	1.53	1.31	1.54	0.28	0.33	0.23
1.7	1.52	1.30	1.53	0.28	0.32	0.23
1.8	1.52	1.29	1.53	0.30	0.30	0.24
1.9	1.52	1.30	1.54	0.32	0.30	0.23
2	1.53	1.30	1.54	0.32	0.30	0.22
2.1	1.52	1.30	1.52	0.31	0.32	0.23
2.2	1.52	1.30	1.50	0.33	0.30	0.25
2.3	1.52	1.31	1.48	0.34	0.29	0.24
2.4	1.53	1.32	1.48	0.33	0.29	0.24
2.5	1.54	1.33	1.47	0.33	0.26	0.23
2.6	1.55	1.35	1.49	0.31	0.24	0.24
2.7	1.56	1.37	1.51	0.30	0.24	0.22
2.8	1.57	1.39	1.53	0.30	0.23	0.21
2.9	1.58	1.42	1.55	0.30	0.22	0.19
3	1.59	1.44	1.58	0.29	0.21	0.19
3.1	1.60	1.44	1.58	0.28	0.20	0.19
3.2	1.60	1.44	1.59	0.29	0.20	0.18
3.3	1.60	1.44	1.59	0.29	0.21	0.17
3.4	1.61	1.44	1.60	0.28	0.21	0.17
3.5	1.61	1.44	1.61	0.30	0.20	0.17
3.6	1.61	1.45	1.62	0.31	0.20	0.16
3.7	1.62	1.45	1.62	0.30	0.19	0.15
3.8	1.63	1.46	1.63	0.30	0.19	0.14
3.9	1.63	1.46	1.64	0.30	0.19	0.14
4	1.64	1.47	1.65	0.28	0.19	0.13
4.1	1.64	1.46	1.67	0.28	0.19	0.12
4.2	1.64	1.46	1.68	0.28	0.18	0.12
4.3	1.64	1.46	1.70	0.28	0.18	0.12
4.4	1.64	1.46	1.71	0.27	0.17	0.11
4.5	1.64	1.46	1.73	0.26	0.17	0.10
4.6	1.64	1.46	1.75	0.27	0.17	0.09
4.7	1.65	1.46	1.76	0.27	0.17	0.10
4.8	1.65	1.46	1.78	0.26	0.16	0.10
4.9	1.65	1.46	1.80	0.26	0.16	0.09
5	1.66	1.46	1.82	0.25	0.15	0.09

Eventos de la zona Benioff

Tabla J. 13 Resultados del estimador LLH para eventos de la zona de Benioff

Te, [s]	Mediana LLH				Peso LLH			
	Montalva	Abrahamson	Zhao	García	Montalva	Abrahamson	Zhao	García
0	3.45	3.75	4.61	6.65	0.42	0.34	0.19	0.05
0.1	3.77	4.26	4.06	6.22	0.37	0.26	0.30	0.07
0.2	3.63	3.93	4.43	6.15	0.39	0.32	0.22	0.07
0.3	3.42	3.69	4.56	4.89	0.38	0.31	0.17	0.14
0.4	3.02	3.55	4.20	4.74	0.41	0.28	0.18	0.12
0.5	3.05	3.59	4.07	4.78	0.40	0.28	0.20	0.12
0.6	3.02	3.65	3.91	4.67	0.40	0.26	0.22	0.13
0.7	2.91	3.56	3.69	4.37	0.39	0.25	0.23	0.14
0.8	2.79	3.46	3.54	4.05	0.38	0.24	0.23	0.16
0.9	2.76	3.43	3.50	3.94	0.38	0.24	0.22	0.16
1	2.77	3.43	3.51	3.97	0.37	0.24	0.22	0.16
1.1	2.69	3.34	3.43	3.83	0.37	0.24	0.22	0.17
1.2	2.66	3.30	3.41	3.78	0.37	0.24	0.22	0.17
1.3	2.66	3.26	3.40	3.78	0.37	0.24	0.22	0.17
1.4	2.58	3.18	3.34	3.60	0.37	0.24	0.21	0.18
1.5	2.53	3.14	3.33	3.48	0.36	0.24	0.21	0.19
1.6	2.51	3.09	3.35	3.45	0.36	0.24	0.20	0.19
1.7	2.50	3.06	3.39	3.44	0.36	0.25	0.20	0.19
1.8	2.51	3.03	3.44	3.45	0.37	0.25	0.19	0.19
1.9	2.52	3.02	3.50	3.46	0.37	0.26	0.19	0.19
2	2.54	3.02	3.57	3.50	0.37	0.26	0.18	0.19
2.1	2.55	3.01	3.60	3.47	0.37	0.26	0.18	0.19
2.2	2.56	3.01	3.64	3.46	0.36	0.27	0.17	0.20
2.3	2.58	3.02	3.68	3.46	0.36	0.27	0.17	0.20
2.4	2.61	3.03	3.73	3.47	0.36	0.27	0.17	0.20
2.5	2.64	3.05	3.78	3.49	0.36	0.27	0.16	0.20
2.6	2.66	3.04	3.83	3.48	0.36	0.28	0.16	0.20
2.7	2.69	3.03	3.88	3.49	0.36	0.28	0.16	0.21
2.8	2.73	3.03	3.94	3.50	0.35	0.29	0.15	0.21
2.9	2.77	3.03	4.00	3.52	0.35	0.29	0.15	0.21
3	2.82	3.04	4.07	3.55	0.35	0.30	0.15	0.21
3.1	2.83	3.05	4.11	3.59	0.35	0.30	0.14	0.21
3.2	2.85	3.05	4.16	3.63	0.35	0.30	0.14	0.20
3.3	2.87	3.06	4.21	3.68	0.35	0.31	0.14	0.20
3.4	2.90	3.07	4.26	3.73	0.35	0.31	0.14	0.20
3.5	2.92	3.08	4.31	3.78	0.35	0.32	0.14	0.19
3.6	2.95	3.09	4.36	3.84	0.35	0.32	0.13	0.19
3.7	2.98	3.11	4.41	3.91	0.36	0.33	0.13	0.19
3.8	3.02	3.12	4.46	3.97	0.36	0.33	0.13	0.18
3.9	3.05	3.14	4.51	4.04	0.36	0.33	0.13	0.18
4	3.09	3.16	4.57	4.11	0.36	0.34	0.13	0.18
4.1	3.13	3.16	4.56	4.17	0.35	0.35	0.13	0.17
4.2	3.17	3.15	4.55	4.22	0.35	0.35	0.13	0.17
4.3	3.22	3.15	4.55	4.27	0.34	0.36	0.14	0.16
4.4	3.26	3.15	4.55	4.33	0.34	0.36	0.14	0.16
4.5	3.31	3.15	4.54	4.39	0.33	0.37	0.14	0.16
4.6	3.36	3.16	4.54	4.45	0.33	0.38	0.14	0.15
4.7	3.41	3.16	4.54	4.51	0.32	0.38	0.15	0.15
4.8	3.47	3.16	4.54	4.57	0.32	0.39	0.15	0.15
4.9	3.52	3.17	4.54	4.63	0.31	0.40	0.15	0.14
5	3.58	3.17	4.54	4.69	0.30	0.40	0.16	0.14

Tabla J. 14 Estimadores de la distancia Euclidiana para eventos de la zona de Benioff

Te, [s]	EDR				k ²			
	Montalva	Abrahamson	Zhao	García	Montalva	Abrahamson	Zhao	García
0	1.56	1.66	2.00	2.09	1.07	1.18	1.33	1.15
0.1	1.84	1.74	1.93	2.57	1.09	1.13	1.18	1.26
0.2	1.67	1.65	2.20	1.91	1.02	1.13	1.35	1.13
0.3	1.55	1.57	2.31	1.55	1.02	1.13	1.46	1.07
0.4	1.42	1.51	2.17	1.54	1.04	1.11	1.47	1.10
0.5	1.42	1.48	2.11	1.58	1.09	1.08	1.48	1.16
0.6	1.45	1.49	2.08	1.61	1.14	1.08	1.49	1.18
0.7	1.40	1.44	1.97	1.55	1.15	1.06	1.46	1.17
0.8	1.35	1.40	1.90	1.47	1.15	1.05	1.46	1.16
0.9	1.35	1.39	1.87	1.46	1.17	1.05	1.44	1.16
1	1.39	1.40	1.87	1.49	1.20	1.05	1.43	1.18
1.1	1.37	1.37	1.83	1.46	1.21	1.05	1.43	1.18
1.2	1.37	1.36	1.83	1.47	1.22	1.05	1.43	1.19
1.3	1.39	1.36	1.83	1.50	1.24	1.06	1.43	1.21
1.4	1.34	1.33	1.81	1.44	1.22	1.06	1.43	1.20
1.5	1.31	1.33	1.82	1.40	1.21	1.06	1.43	1.19
1.6	1.27	1.32	1.87	1.36	1.19	1.06	1.46	1.18
1.7	1.25	1.31	1.92	1.33	1.18	1.07	1.48	1.17
1.8	1.23	1.31	1.98	1.30	1.17	1.07	1.51	1.16
1.9	1.22	1.31	2.04	1.29	1.17	1.08	1.53	1.16
2	1.22	1.31	2.11	1.27	1.16	1.08	1.56	1.15
2.1	1.21	1.32	2.14	1.27	1.16	1.09	1.57	1.15
2.2	1.21	1.32	2.17	1.26	1.15	1.09	1.59	1.15
2.3	1.21	1.33	2.21	1.26	1.15	1.10	1.60	1.15
2.4	1.21	1.34	2.25	1.27	1.15	1.10	1.61	1.16
2.5	1.22	1.36	2.28	1.28	1.15	1.11	1.62	1.16
2.6	1.22	1.36	2.32	1.27	1.14	1.11	1.64	1.15
2.7	1.22	1.35	2.37	1.27	1.14	1.11	1.66	1.15
2.8	1.23	1.36	2.41	1.27	1.14	1.11	1.68	1.15
2.9	1.24	1.36	2.45	1.28	1.14	1.11	1.70	1.15
3	1.25	1.36	2.49	1.28	1.15	1.11	1.71	1.15
3.1	1.26	1.37	2.51	1.28	1.15	1.11	1.72	1.14
3.2	1.26	1.37	2.54	1.28	1.15	1.12	1.73	1.14
3.3	1.27	1.37	2.56	1.28	1.15	1.12	1.73	1.14
3.4	1.28	1.38	2.58	1.29	1.15	1.12	1.74	1.13
3.5	1.29	1.38	2.60	1.29	1.15	1.12	1.74	1.13
3.6	1.31	1.39	2.62	1.30	1.15	1.12	1.75	1.13
3.7	1.32	1.39	2.64	1.31	1.16	1.12	1.75	1.13
3.8	1.33	1.40	2.66	1.32	1.16	1.12	1.76	1.13
3.9	1.35	1.40	2.69	1.33	1.16	1.12	1.76	1.13
4	1.36	1.41	2.71	1.34	1.16	1.12	1.76	1.13
4.1	1.38	1.41	2.71	1.34	1.17	1.12	1.76	1.12
4.2	1.39	1.40	2.70	1.35	1.17	1.12	1.76	1.12
4.3	1.41	1.40	2.70	1.35	1.18	1.12	1.76	1.12
4.4	1.42	1.40	2.70	1.36	1.18	1.11	1.76	1.12
4.5	1.44	1.40	2.70	1.37	1.18	1.11	1.76	1.12
4.6	1.45	1.39	2.70	1.37	1.19	1.11	1.76	1.12
4.7	1.47	1.39	2.70	1.38	1.19	1.11	1.76	1.11
4.8	1.49	1.39	2.70	1.39	1.20	1.11	1.76	1.11
4.9	1.50	1.39	2.70	1.39	1.20	1.11	1.76	1.11
5	1.52	1.39	2.70	1.40	1.20	1.10	1.76	1.11

Tabla J. 15 Resultados de la media y la mediana de los residuales normalizados para eventos de la zona de Benioff

Te, [s]	Residuales							
	Media				Mediana			
	Montalva	Abrahamson	Zhao	García	Montalva	Abrahamson	Zhao	García
0	-0.57	-0.81	-1.16	-1.30	-0.69	-0.81	-1.03	-1.16
0.1	-0.71	-0.83	-0.87	-1.53	-0.85	-0.88	-0.79	-1.35
0.2	-0.29	-0.69	-1.14	-0.97	-0.43	-0.69	-1.07	-0.70
0.3	-0.12	-0.59	-1.22	-0.22	-0.23	-0.65	-1.12	-0.09
0.4	-0.05	-0.52	-1.06	-0.20	-0.23	-0.66	-1.07	-0.16
0.5	0.00	-0.31	-0.89	0.22	-0.16	-0.53	-0.96	0.10
0.6	0.12	-0.26	-0.77	0.22	-0.07	-0.45	-0.80	0.17
0.7	0.16	-0.19	-0.72	0.17	0.06	-0.40	-0.80	0.21
0.8	0.18	-0.18	-0.73	0.13	0.05	-0.39	-0.83	0.15
0.9	0.22	-0.19	-0.75	0.17	0.14	-0.37	-0.86	0.15
1	0.27	-0.17	-0.74	0.23	0.21	-0.36	-0.77	0.21
1.1	0.28	-0.17	-0.75	0.30	0.28	-0.34	-0.74	0.34
1.2	0.30	-0.17	-0.77	0.38	0.34	-0.23	-0.75	0.35
1.3	0.31	-0.17	-0.77	0.44	0.37	-0.23	-0.76	0.41
1.4	0.26	-0.23	-0.82	0.42	0.33	-0.31	-0.77	0.42
1.5	0.21	-0.29	-0.86	0.41	0.23	-0.39	-0.82	0.39
1.6	0.17	-0.32	-0.92	0.38	0.22	-0.41	-0.88	0.38
1.7	0.13	-0.35	-0.97	0.35	0.20	-0.42	-0.93	0.30
1.8	0.09	-0.38	-1.02	0.32	0.17	-0.44	-0.99	0.26
1.9	0.06	-0.40	-1.07	0.29	0.12	-0.45	-1.04	0.22
2	0.02	-0.43	-1.12	0.26	0.06	-0.46	-1.10	0.22
2.1	0.01	-0.44	-1.14	0.23	0.06	-0.49	-1.09	0.17
2.2	-0.01	-0.46	-1.16	0.21	0.05	-0.51	-1.11	0.15
2.3	-0.02	-0.48	-1.18	0.18	0.00	-0.50	-1.15	0.16
2.4	-0.04	-0.49	-1.20	0.16	-0.01	-0.52	-1.15	0.19
2.5	-0.05	-0.50	-1.22	0.14	0.03	-0.54	-1.17	0.20
2.6	-0.08	-0.51	-1.24	0.10	-0.01	-0.53	-1.18	0.20
2.7	-0.11	-0.52	-1.27	0.07	-0.04	-0.52	-1.21	0.18
2.8	-0.14	-0.53	-1.30	0.03	-0.09	-0.54	-1.23	0.11
2.9	-0.17	-0.53	-1.32	0.00	-0.11	-0.53	-1.26	0.05
3	-0.20	-0.54	-1.35	-0.03	-0.11	-0.53	-1.29	0.03
3.1	-0.23	-0.55	-1.37	-0.06	-0.12	-0.51	-1.34	-0.02
3.2	-0.26	-0.56	-1.39	-0.09	-0.15	-0.52	-1.35	-0.03
3.3	-0.29	-0.57	-1.41	-0.12	-0.17	-0.50	-1.36	-0.06
3.4	-0.31	-0.58	-1.43	-0.15	-0.19	-0.52	-1.38	-0.11
3.5	-0.34	-0.59	-1.45	-0.18	-0.23	-0.53	-1.40	-0.14
3.6	-0.36	-0.60	-1.47	-0.21	-0.24	-0.55	-1.44	-0.18
3.7	-0.39	-0.60	-1.49	-0.24	-0.25	-0.56	-1.47	-0.22
3.8	-0.41	-0.61	-1.51	-0.27	-0.28	-0.56	-1.48	-0.26
3.9	-0.43	-0.62	-1.53	-0.30	-0.32	-0.55	-1.52	-0.26
4	-0.45	-0.63	-1.54	-0.33	-0.32	-0.56	-1.53	-0.31
4.1	-0.47	-0.62	-1.54	-0.34	-0.32	-0.56	-1.55	-0.31
4.2	-0.49	-0.61	-1.54	-0.35	-0.38	-0.55	-1.56	-0.33
4.3	-0.51	-0.61	-1.54	-0.36	-0.42	-0.52	-1.56	-0.33
4.4	-0.52	-0.60	-1.54	-0.37	-0.44	-0.52	-1.56	-0.36
4.5	-0.54	-0.60	-1.53	-0.37	-0.46	-0.53	-1.58	-0.37
4.6	-0.56	-0.59	-1.53	-0.38	-0.47	-0.54	-1.59	-0.37
4.7	-0.57	-0.59	-1.53	-0.39	-0.49	-0.53	-1.60	-0.37
4.8	-0.59	-0.58	-1.53	-0.40	-0.49	-0.54	-1.60	-0.37
4.9	-0.61	-0.58	-1.53	-0.41	-0.48	-0.54	-1.60	-0.41
5	-0.62	-0.57	-1.53	-0.42	-0.50	-0.55	-1.60	-0.44

Tabla J. 16 Resultados de la desviación estándar de residuales y del estimador LH para eventos de la zona de Benioff

Te, [s]	Std. Residuales				LH			
	Montalva	Abrahamson	Zhao	García	Montalva	Abrahamson	Zhao	García
0	1.62	1.64	1.80	2.39	0.26	0.22	0.17	0.11
0.1	1.70	1.84	1.74	2.11	0.23	0.20	0.22	0.12
0.2	1.77	1.77	1.73	2.40	0.34	0.22	0.20	0.13
0.3	1.70	1.71	1.74	2.22	0.33	0.23	0.16	0.14
0.4	1.53	1.68	1.69	2.17	0.35	0.22	0.16	0.12
0.5	1.55	1.74	1.74	2.18	0.29	0.21	0.15	0.10
0.6	1.53	1.78	1.73	2.15	0.31	0.21	0.19	0.14
0.7	1.47	1.75	1.66	2.05	0.33	0.23	0.22	0.14
0.8	1.42	1.71	1.59	1.94	0.37	0.23	0.23	0.17
0.9	1.39	1.70	1.57	1.90	0.36	0.23	0.22	0.20
1	1.39	1.70	1.58	1.90	0.35	0.25	0.20	0.19
1.1	1.35	1.66	1.54	1.84	0.37	0.28	0.22	0.21
1.2	1.33	1.65	1.52	1.81	0.38	0.30	0.24	0.22
1.3	1.33	1.63	1.51	1.80	0.36	0.32	0.24	0.22
1.4	1.29	1.59	1.46	1.73	0.39	0.30	0.26	0.25
1.5	1.28	1.56	1.43	1.68	0.41	0.31	0.28	0.26
1.6	1.27	1.53	1.40	1.68	0.42	0.33	0.27	0.26
1.7	1.27	1.51	1.39	1.68	0.43	0.32	0.26	0.28
1.8	1.28	1.49	1.38	1.69	0.43	0.32	0.26	0.28
1.9	1.29	1.48	1.37	1.70	0.43	0.33	0.25	0.28
2	1.30	1.48	1.37	1.72	0.43	0.33	0.22	0.30
2.1	1.30	1.46	1.36	1.71	0.43	0.34	0.23	0.30
2.2	1.31	1.46	1.36	1.71	0.43	0.34	0.23	0.31
2.3	1.32	1.46	1.37	1.71	0.41	0.34	0.22	0.30
2.4	1.33	1.46	1.38	1.72	0.41	0.33	0.21	0.30
2.5	1.35	1.46	1.39	1.73	0.41	0.34	0.21	0.29
2.6	1.36	1.45	1.39	1.73	0.39	0.34	0.21	0.30
2.7	1.37	1.45	1.39	1.73	0.41	0.36	0.20	0.29
2.8	1.39	1.45	1.40	1.74	0.40	0.37	0.19	0.29
2.9	1.41	1.44	1.40	1.75	0.40	0.37	0.18	0.30
3	1.43	1.45	1.41	1.76	0.41	0.37	0.18	0.30
3.1	1.43	1.44	1.41	1.77	0.41	0.36	0.17	0.29
3.2	1.43	1.44	1.42	1.79	0.41	0.36	0.16	0.30
3.3	1.44	1.44	1.42	1.80	0.40	0.36	0.16	0.30
3.4	1.44	1.44	1.42	1.82	0.40	0.35	0.15	0.29
3.5	1.45	1.45	1.43	1.84	0.39	0.34	0.14	0.28
3.6	1.46	1.45	1.43	1.86	0.39	0.33	0.13	0.26
3.7	1.47	1.45	1.44	1.88	0.39	0.33	0.13	0.25
3.8	1.48	1.46	1.44	1.90	0.38	0.33	0.13	0.24
3.9	1.49	1.46	1.45	1.92	0.37	0.32	0.12	0.23
4	1.50	1.47	1.46	1.94	0.36	0.32	0.12	0.23
4.1	1.51	1.47	1.45	1.96	0.35	0.33	0.11	0.23
4.2	1.52	1.47	1.45	1.97	0.34	0.33	0.11	0.22
4.3	1.54	1.47	1.45	1.99	0.35	0.32	0.11	0.21
4.4	1.55	1.47	1.45	2.01	0.34	0.32	0.10	0.22
4.5	1.57	1.48	1.45	2.03	0.33	0.32	0.10	0.21
4.6	1.59	1.48	1.45	2.05	0.32	0.33	0.10	0.21
4.7	1.60	1.48	1.45	2.07	0.32	0.33	0.10	0.20
4.8	1.62	1.49	1.46	2.08	0.31	0.33	0.11	0.20
4.9	1.64	1.49	1.46	2.10	0.31	0.34	0.11	0.20
5	1.65	1.50	1.46	2.12	0.31	0.34	0.10	0.19

Eventos del nido sísmico de Bucaramanga

Tabla J. 17 Resultados del estadístico LLH para el Nido de Bucaramanga

Te, [s]	Mediana LLH			Peso LLH		
	Zhao	Abrahamson	Montalva	Zhao	Abrahamson	Montalva
0	2.76	4.27	4.54	0.61	0.21	0.18
0.1	2.80	5.38	4.33	0.66	0.11	0.23
0.2	2.55	4.81	4.90	0.71	0.15	0.14
0.3	2.67	4.62	5.29	0.70	0.18	0.11
0.4	2.72	4.48	5.13	0.67	0.20	0.13
0.5	2.90	4.75	5.16	0.67	0.19	0.14
0.6	2.89	4.66	5.22	0.67	0.20	0.13
0.7	2.78	4.66	5.03	0.67	0.18	0.14
0.8	2.65	4.49	4.78	0.66	0.19	0.15
0.9	2.62	4.35	4.64	0.65	0.19	0.16
1	2.62	4.25	4.55	0.63	0.20	0.17
1.1	2.62	4.16	4.45	0.62	0.21	0.17
1.2	2.65	4.11	4.40	0.60	0.22	0.18
1.3	2.67	3.99	4.27	0.58	0.23	0.19
1.4	2.56	3.73	3.96	0.55	0.24	0.21
1.5	2.49	3.53	3.70	0.52	0.25	0.22
1.6	2.47	3.41	3.55	0.50	0.26	0.24
1.7	2.47	3.31	3.42	0.48	0.27	0.25
1.8	2.48	3.23	3.30	0.46	0.28	0.26
1.9	2.51	3.16	3.20	0.44	0.28	0.27
2	2.55	3.10	3.11	0.42	0.29	0.29
2.1	2.58	3.05	3.09	0.41	0.30	0.29
2.2	2.62	3.01	3.08	0.40	0.31	0.29
2.3	2.66	2.98	3.07	0.39	0.31	0.29
2.4	2.70	2.95	3.07	0.38	0.32	0.30
2.5	2.74	2.93	3.07	0.37	0.33	0.30
2.6	2.78	2.92	3.04	0.36	0.33	0.30
2.7	2.83	2.91	3.01	0.35	0.33	0.31
2.8	2.88	2.90	2.99	0.34	0.34	0.32
2.9	2.93	2.90	2.97	0.33	0.34	0.33
3	2.98	2.90	2.95	0.32	0.34	0.33
3.1	2.99	2.90	2.94	0.32	0.34	0.33
3.2	2.99	2.91	2.92	0.32	0.34	0.34
3.3	3.00	2.92	2.91	0.32	0.34	0.34
3.4	3.01	2.92	2.91	0.32	0.34	0.34
3.5	3.02	2.93	2.90	0.32	0.34	0.35
3.6	3.03	2.94	2.90	0.32	0.34	0.35
3.7	3.04	2.96	2.89	0.32	0.33	0.35
3.8	3.05	2.97	2.89	0.32	0.33	0.35
3.9	3.06	2.98	2.89	0.31	0.33	0.35
4	3.08	3.00	2.90	0.31	0.33	0.36
4.1	3.07	3.01	2.89	0.32	0.33	0.36
4.2	3.06	3.03	2.89	0.32	0.33	0.36
4.3	3.05	3.04	2.90	0.32	0.32	0.36
4.4	3.04	3.06	2.90	0.32	0.32	0.36
4.5	3.04	3.08	2.91	0.33	0.32	0.36
4.6	3.03	3.10	2.92	0.33	0.31	0.36
4.7	3.03	3.12	2.93	0.33	0.31	0.36
4.8	3.02	3.14	2.94	0.34	0.31	0.35
4.9	3.02	3.16	2.96	0.34	0.31	0.35
5	3.02	3.18	2.97	0.34	0.31	0.35

Tabla J. 18 Resultados los estimadores para la distancia Euclidiana para el Nido de Bucaramanga

Te, [s]	EDR			k^2		
	Zhao	Abrahamson	Montalva	Zhao	Abrahamson	Montalva
0	1.08	2.12	2.54	1.03	1.38	1.46
0.1	1.28	2.37	2.40	1.01	1.33	1.30
0.2	1.13	2.36	2.99	1.02	1.42	1.50
0.3	1.18	2.39	3.30	1.09	1.48	1.63
0.4	1.25	2.36	3.43	1.16	1.49	1.76
0.5	1.41	2.49	3.39	1.25	1.51	1.83
0.6	1.49	2.37	3.56	1.32	1.45	1.95
0.7	1.46	2.32	3.49	1.33	1.42	1.98
0.8	1.40	2.21	3.40	1.32	1.39	2.01
0.9	1.39	2.10	3.35	1.32	1.34	2.03
1	1.41	2.01	3.33	1.34	1.31	2.04
1.1	1.43	1.96	3.34	1.36	1.29	2.08
1.2	1.48	1.92	3.34	1.39	1.27	2.09
1.3	1.51	1.84	3.25	1.41	1.25	2.07
1.4	1.45	1.71	3.06	1.39	1.21	2.05
1.5	1.41	1.60	2.87	1.38	1.18	2.01
1.6	1.44	1.54	2.69	1.41	1.16	1.96
1.7	1.48	1.49	2.53	1.45	1.15	1.91
1.8	1.54	1.44	2.37	1.50	1.13	1.85
1.9	1.61	1.40	2.23	1.55	1.12	1.79
2	1.69	1.37	2.11	1.60	1.10	1.74
2.1	1.74	1.34	2.05	1.63	1.10	1.70
2.2	1.79	1.32	1.99	1.66	1.09	1.66
2.3	1.84	1.30	1.94	1.69	1.08	1.63
2.4	1.89	1.28	1.90	1.72	1.07	1.59
2.5	1.95	1.27	1.86	1.74	1.07	1.56
2.6	2.01	1.27	1.80	1.79	1.07	1.54
2.7	2.07	1.26	1.75	1.83	1.07	1.51
2.8	2.14	1.26	1.70	1.87	1.07	1.49
2.9	2.21	1.27	1.66	1.91	1.07	1.47
3	2.27	1.27	1.62	1.94	1.07	1.44
3.1	2.26	1.27	1.61	1.94	1.08	1.43
3.2	2.25	1.28	1.59	1.93	1.08	1.43
3.3	2.24	1.29	1.58	1.92	1.09	1.42
3.4	2.23	1.30	1.57	1.91	1.09	1.41
3.5	2.22	1.31	1.56	1.91	1.09	1.40
3.6	2.21	1.32	1.55	1.90	1.10	1.39
3.7	2.20	1.32	1.54	1.89	1.10	1.39
3.8	2.19	1.33	1.53	1.88	1.11	1.38
3.9	2.19	1.34	1.52	1.87	1.11	1.37
4	2.18	1.35	1.52	1.87	1.11	1.36
4.1	2.16	1.37	1.51	1.85	1.12	1.36
4.2	2.14	1.38	1.50	1.84	1.13	1.35
4.3	2.12	1.39	1.49	1.83	1.13	1.35
4.4	2.11	1.41	1.48	1.82	1.14	1.35
4.5	2.09	1.42	1.47	1.80	1.15	1.34
4.6	2.07	1.43	1.47	1.79	1.15	1.34
4.7	2.06	1.45	1.47	1.78	1.16	1.34
4.8	2.04	1.46	1.46	1.77	1.16	1.33
4.9	2.03	1.48	1.46	1.76	1.17	1.33
5	2.02	1.49	1.46	1.75	1.18	1.33

Tabla J. 19 Resultados para la media y la mediana de los residuales normalizados para el Nido de Bucaramanga

Te, [s]	Residuales					
	Media			Mediana		
	Zhao	Abrahamson	Montalva	Zhao	Abrahamson	Montalva
0	-0.03	1.06	1.47	-0.02	1.42	1.59
0.1	0.22	1.21	1.19	0.21	1.53	1.23
0.2	-0.09	1.29	1.65	-0.11	1.55	1.60
0.3	-0.13	1.37	1.84	-0.17	1.56	1.83
0.4	0.06	1.41	1.85	0.09	1.46	1.81
0.5	0.18	1.54	1.85	0.23	1.54	1.90
0.6	0.21	1.49	1.89	0.26	1.44	1.92
0.7	0.21	1.49	1.86	0.27	1.46	1.89
0.8	0.16	1.43	1.81	0.27	1.40	1.92
0.9	0.09	1.35	1.78	0.17	1.32	1.80
1	0.04	1.28	1.75	0.07	1.29	1.81
1.1	0.01	1.23	1.72	0.03	1.23	1.73
1.2	-0.02	1.19	1.69	0.03	1.20	1.67
1.3	-0.06	1.11	1.64	-0.09	1.10	1.59
1.4	-0.12	1.00	1.54	-0.12	0.96	1.52
1.5	-0.18	0.90	1.45	-0.16	0.84	1.46
1.6	-0.27	0.85	1.39	-0.25	0.81	1.40
1.7	-0.36	0.79	1.33	-0.33	0.77	1.32
1.8	-0.44	0.75	1.28	-0.43	0.74	1.26
1.9	-0.52	0.70	1.22	-0.50	0.68	1.24
2	-0.59	0.66	1.17	-0.59	0.65	1.21
2.1	-0.63	0.62	1.16	-0.64	0.63	1.18
2.2	-0.67	0.59	1.15	-0.67	0.58	1.17
2.3	-0.71	0.56	1.14	-0.71	0.53	1.17
2.4	-0.74	0.54	1.13	-0.75	0.48	1.17
2.5	-0.77	0.51	1.12	-0.78	0.44	1.13
2.6	-0.80	0.51	1.09	-0.82	0.44	1.13
2.7	-0.83	0.52	1.06	-0.84	0.43	1.09
2.8	-0.86	0.52	1.03	-0.86	0.43	1.07
2.9	-0.88	0.52	1.01	-0.89	0.43	1.02
3	-0.91	0.52	0.98	-0.90	0.45	1.00
3.1	-0.91	0.54	0.97	-0.92	0.44	0.99
3.2	-0.92	0.56	0.95	-0.93	0.45	0.99
3.3	-0.92	0.57	0.94	-0.94	0.45	0.99
3.4	-0.92	0.59	0.93	-0.95	0.45	0.98
3.5	-0.92	0.60	0.92	-0.96	0.46	0.97
3.6	-0.92	0.62	0.91	-0.97	0.47	0.94
3.7	-0.93	0.63	0.90	-0.97	0.47	0.93
3.8	-0.93	0.64	0.89	-0.99	0.48	0.92
3.9	-0.93	0.66	0.88	-0.99	0.49	0.90
4	-0.93	0.67	0.87	-0.98	0.50	0.88
4.1	-0.93	0.69	0.85	-0.98	0.49	0.85
4.2	-0.92	0.70	0.83	-0.96	0.52	0.83
4.3	-0.91	0.72	0.82	-0.96	0.54	0.83
4.4	-0.91	0.74	0.80	-0.96	0.55	0.82
4.5	-0.90	0.76	0.79	-0.95	0.56	0.81
4.6	-0.89	0.77	0.77	-0.95	0.58	0.80
4.7	-0.89	0.79	0.76	-0.95	0.58	0.81
4.8	-0.88	0.81	0.74	-0.96	0.60	0.81
4.9	-0.87	0.82	0.73	-0.95	0.61	0.81
5	-0.87	0.84	0.71	-0.93	0.63	0.80

Tabla J. 20 Resultados de la desviación estándar de residuales y del estimador LH para eventos del Nido de Bucaramanga

T _e , [s]	Std. Residuales			LH		
	Zhao	Abrahamson	Montalva	Zhao	Abrahamson	Montalva
0	1.41	1.72	1.52	0.38	0.08	0.09
0.1	1.41	2.04	1.66	0.42	0.04	0.13
0.2	1.30	1.79	1.50	0.44	0.07	0.10
0.3	1.36	1.64	1.46	0.37	0.08	0.07
0.4	1.39	1.54	1.36	0.36	0.10	0.07
0.5	1.47	1.54	1.38	0.32	0.11	0.06
0.6	1.46	1.55	1.36	0.33	0.13	0.05
0.7	1.41	1.55	1.30	0.36	0.13	0.06
0.8	1.35	1.53	1.23	0.36	0.13	0.06
0.9	1.34	1.54	1.20	0.36	0.15	0.07
1	1.34	1.56	1.19	0.36	0.15	0.07
1.1	1.34	1.55	1.18	0.37	0.18	0.08
1.2	1.36	1.57	1.18	0.37	0.20	0.09
1.3	1.37	1.57	1.19	0.37	0.20	0.11
1.4	1.30	1.53	1.13	0.39	0.22	0.13
1.5	1.26	1.50	1.09	0.41	0.24	0.14
1.6	1.23	1.47	1.07	0.41	0.28	0.16
1.7	1.21	1.46	1.06	0.41	0.29	0.18
1.8	1.19	1.44	1.06	0.42	0.30	0.20
1.9	1.17	1.43	1.05	0.41	0.32	0.21
2	1.16	1.43	1.06	0.41	0.33	0.22
2.1	1.16	1.42	1.05	0.40	0.34	0.23
2.2	1.16	1.41	1.06	0.39	0.35	0.24
2.3	1.16	1.40	1.06	0.36	0.37	0.23
2.4	1.17	1.40	1.07	0.35	0.37	0.23
2.5	1.17	1.40	1.09	0.34	0.36	0.24
2.6	1.18	1.40	1.09	0.33	0.36	0.25
2.7	1.18	1.39	1.10	0.33	0.37	0.25
2.8	1.19	1.39	1.11	0.32	0.38	0.26
2.9	1.20	1.38	1.12	0.30	0.39	0.27
3	1.21	1.38	1.14	0.29	0.39	0.27
3.1	1.21	1.38	1.14	0.29	0.38	0.28
3.2	1.21	1.37	1.14	0.29	0.39	0.29
3.3	1.22	1.37	1.15	0.29	0.38	0.30
3.4	1.22	1.37	1.15	0.28	0.38	0.29
3.5	1.22	1.37	1.16	0.28	0.38	0.29
3.6	1.23	1.37	1.16	0.28	0.38	0.30
3.7	1.23	1.37	1.17	0.28	0.39	0.30
3.8	1.24	1.37	1.18	0.28	0.39	0.32
3.9	1.24	1.37	1.19	0.28	0.38	0.31
4	1.25	1.37	1.19	0.27	0.38	0.32
4.1	1.25	1.37	1.20	0.27	0.39	0.31
4.2	1.25	1.37	1.22	0.27	0.39	0.32
4.3	1.25	1.36	1.23	0.27	0.39	0.31
4.4	1.25	1.36	1.24	0.26	0.40	0.31
4.5	1.25	1.36	1.26	0.26	0.40	0.31
4.6	1.25	1.36	1.27	0.26	0.39	0.30
4.7	1.25	1.36	1.29	0.27	0.39	0.30
4.8	1.26	1.36	1.30	0.28	0.39	0.30
4.9	1.26	1.37	1.32	0.27	0.39	0.30
5	1.26	1.37	1.33	0.28	0.39	0.30



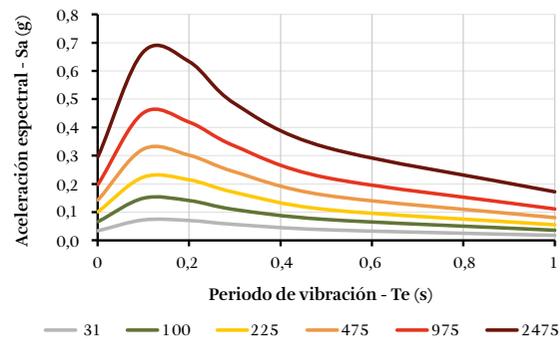
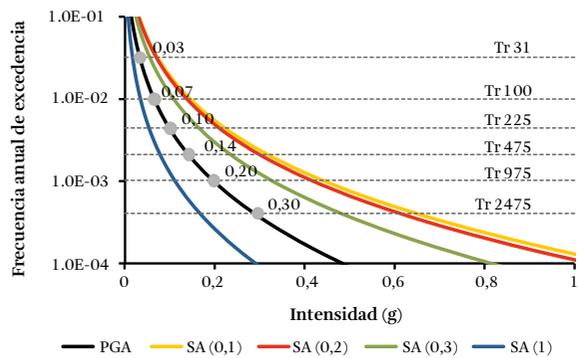
Resultados de amenaza sísmica para las capitales departamentales

En este anexo se presenta para cada una de las ciudades capitales de Colombia, los diferentes resultados que se pueden derivar del Modelo Nacional de Amenaza Sísmica desarrollado por el Servicio Geológico Colombiano. Los resultados se presentan en una ficha por ciudad capital que incluye los descritos a continuación:

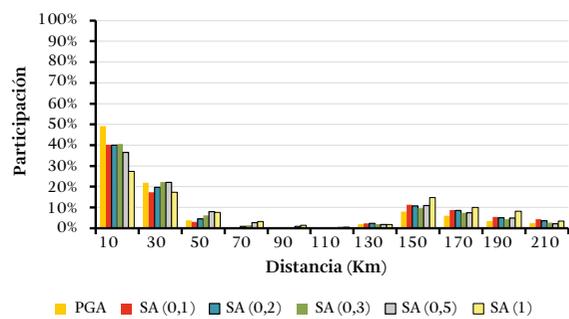
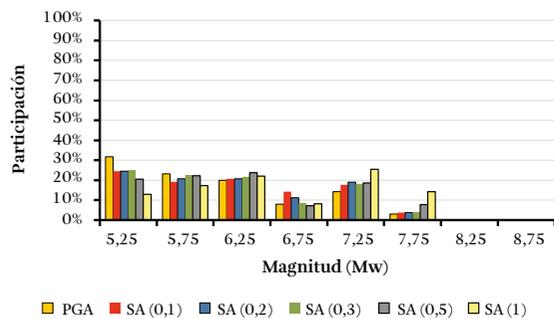
- || **Espectros de Amenaza Uniforme (*Uniform Hazard Spectra*):** presenta el valor medio (es posible obtener los valores para otros percentiles) de aceleración espectral respecto del periodo de vibración estructural (ordenada espectral) y para diferentes periodos de retorno de 475, 975 y 2475 años (que corresponden a una probabilidad de excedencia de 10%, 5% y 2% en 50 años respectivamente), entre otros.
- || **Curvas de Amenaza (*Uniform Hazard Curve*):** representa valor medio (es posible obtener los valores para otros percentiles) de la probabilidad (o frecuencia) de excedencia respecto del nivel de intensidad y para múltiples ordenadas espectrales como PGA, Sa (0.1 s) , Sa (0.3s), entre otros.

- || **Participación de magnitud:** presenta como su nombre lo indica, la participación porcentual que tienen los eventos sísmicos respecto de su magnitud, en la amenaza sísmica estimada para una ordenada espectral definida.
- || **Participación de distancia:** de manera similar al anterior, presenta la participación porcentual que tienen los eventos sísmicos respecto de su distancia al punto de análisis, en la amenaza sísmica estimada.
- || **Participación magnitud-distancia:** mapea la participación relativa de los pares magnitud-distancia en la amenaza sísmica estimada para el sitio de análisis. Esta representación se realiza para una única ordenada espectral.
- || **Participación por ambiente tectónico:** presenta la participación porcentual que tiene cada uno de los ambientes tectónicos en la amenaza sísmica estimada, respecto de diferentes ordenadas espectrales.

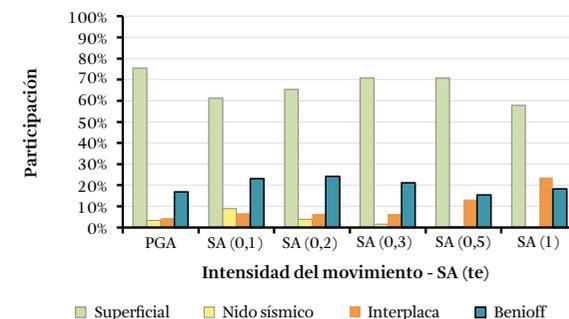
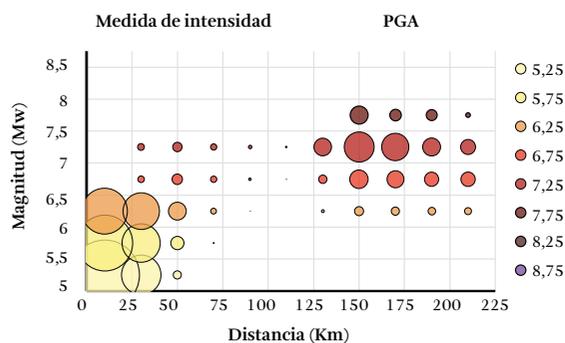
Departamento: Antioquia	Longitud: -75.57600171
Municipio: Medellín	Latitud: 6.248586
Centro poblado: Medellín	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



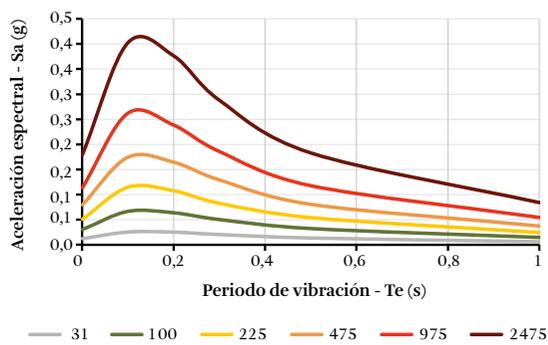
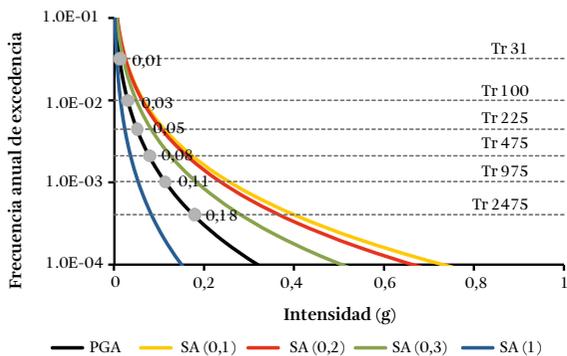
Participación según magnitud	Participación según distancia
-------------------------------------	--------------------------------------



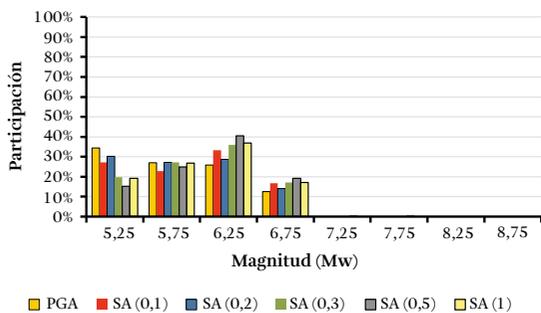
Participación según magnitud y distancia	Participación según ambiente tectónico
---	---



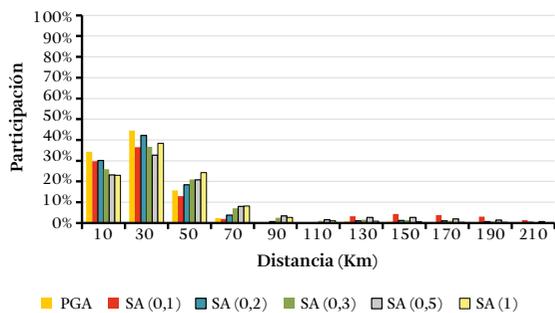
Departamento: Atlántico	Longitud: -74.81321697
Municipio: Barranquilla	Latitud: 10.978320
Centro poblado: Barranquilla	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



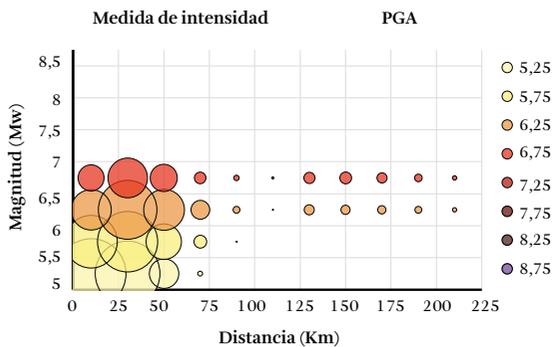
Participación según magnitud



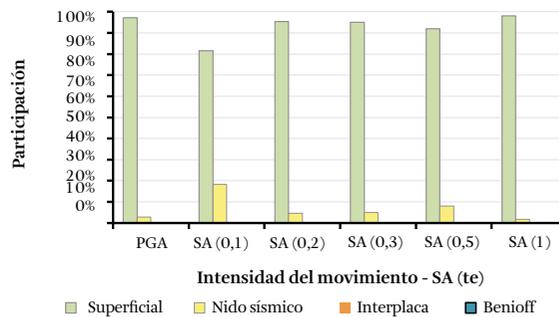
Participación según distancia



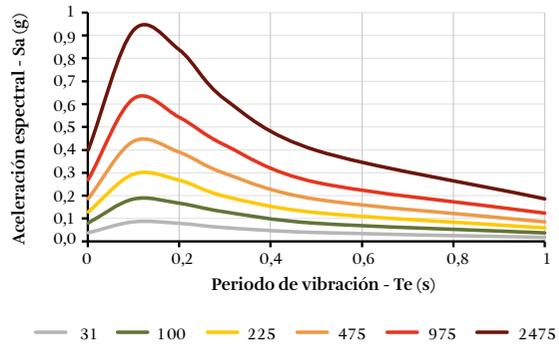
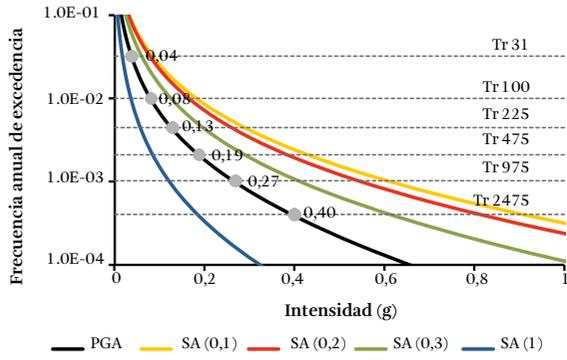
Participación según magnitud y distancia



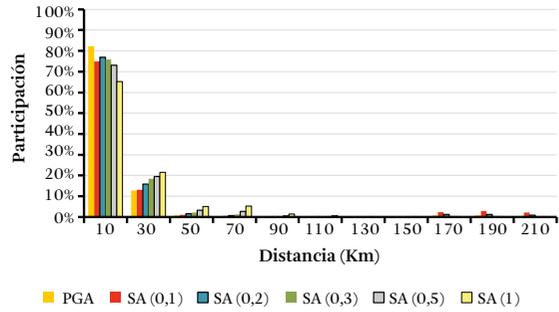
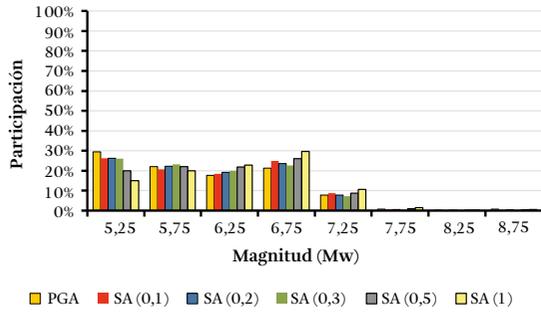
Participación según ambiente tectónico



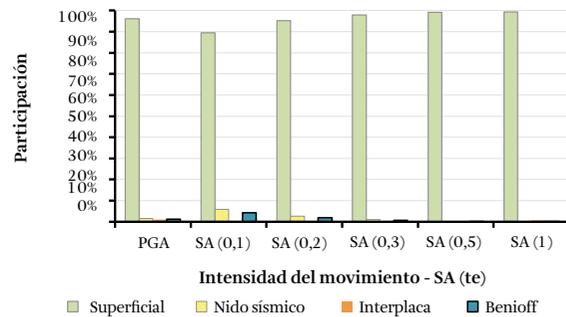
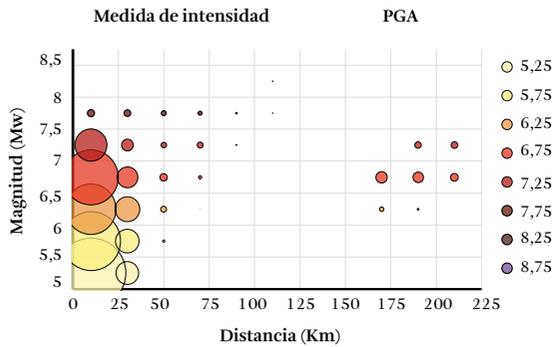
Departamento: Bogotá	Longitud: -74.10671532
Municipio: Bogotá	Latitud: 4.649937
Centro poblado: Bogotá	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



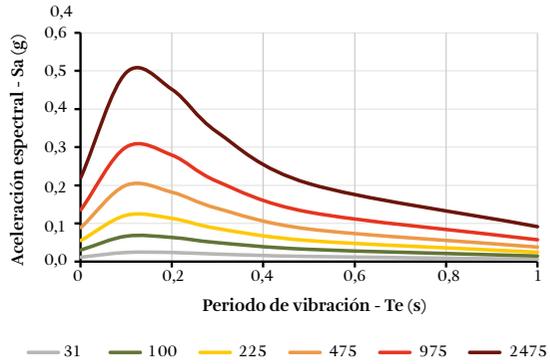
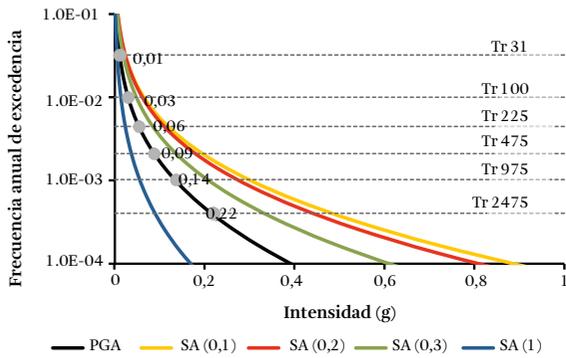
Participación según magnitud Participación según distancia



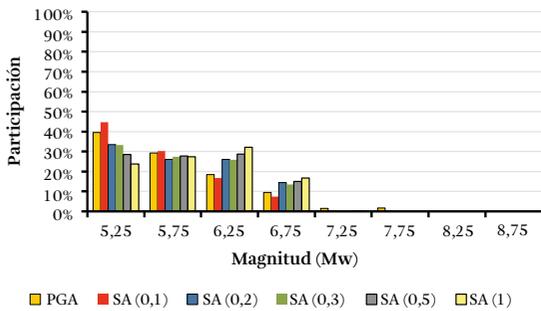
Participación según magnitud y distancia Participación según ambiente tectónico



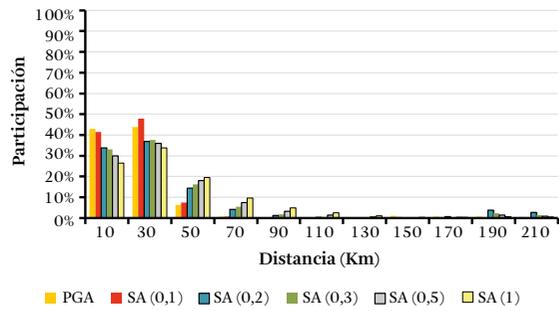
Departamento: Bolívar	Longitud: -74.49642648
Municipio: Cartagena	Latitud: 10.384988
Centro poblado: Cartagena	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



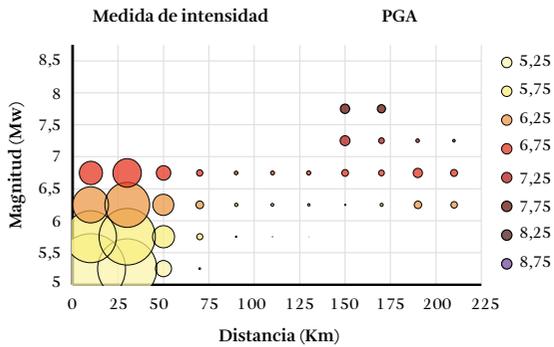
Participación según magnitud



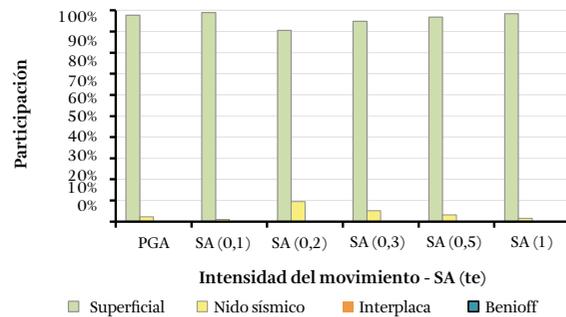
Participación según distancia



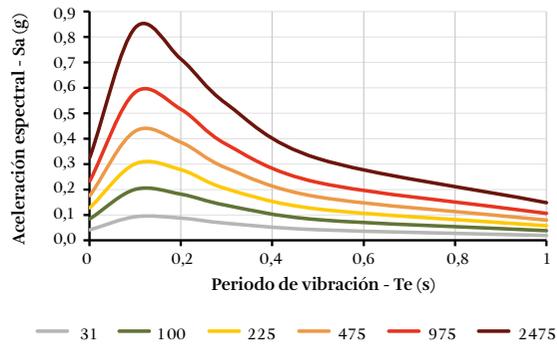
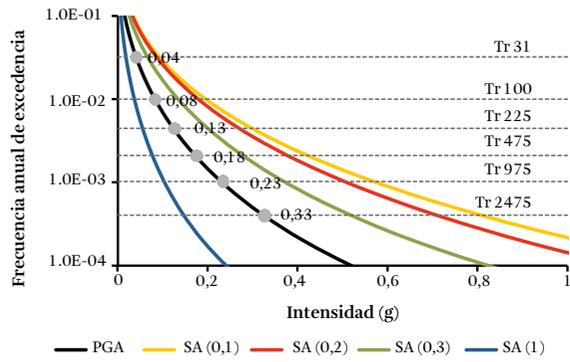
Participación según magnitud y distancia



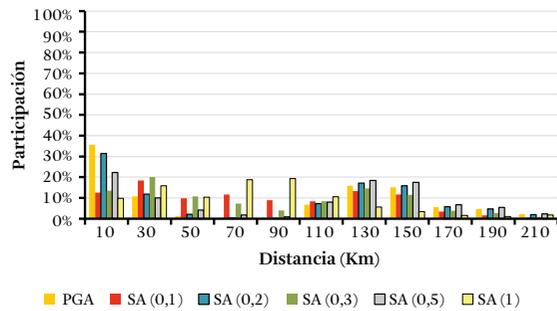
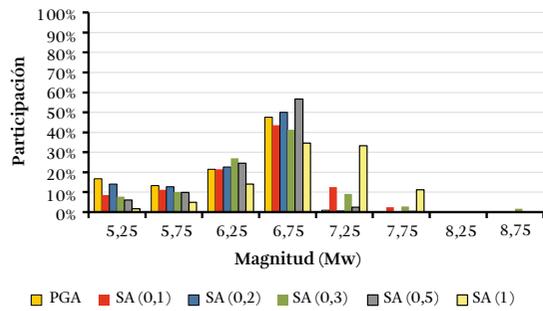
Participación según ambiente tectónico



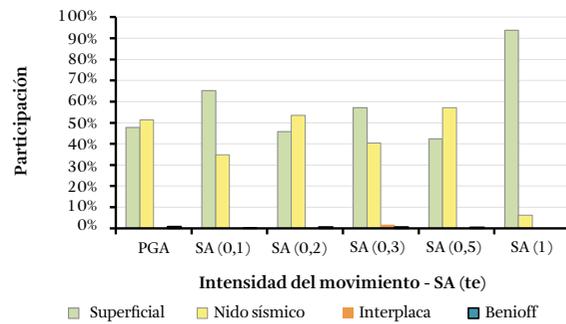
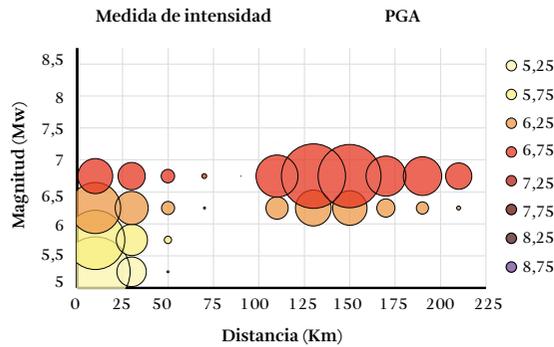
Departamento: Boyacá	Longitud: -73.35548966
Municipio: Tunja	Latitud: 5.539952
Centro poblado: Tunja	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



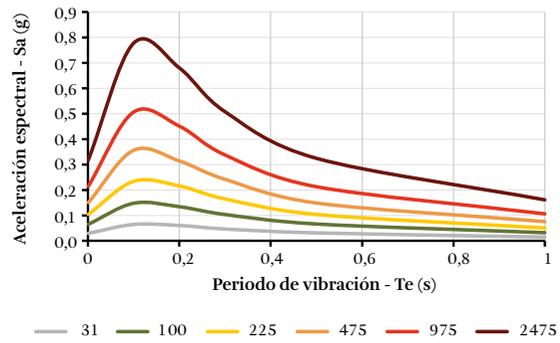
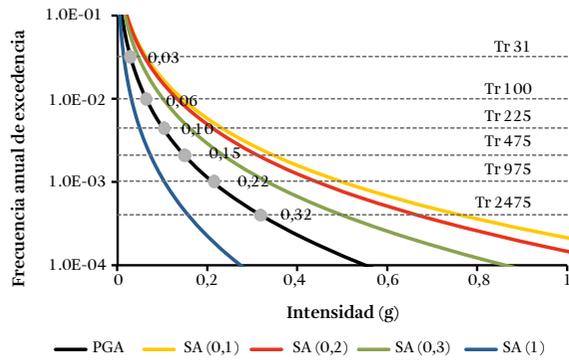
Participación según magnitud Participación según distancia



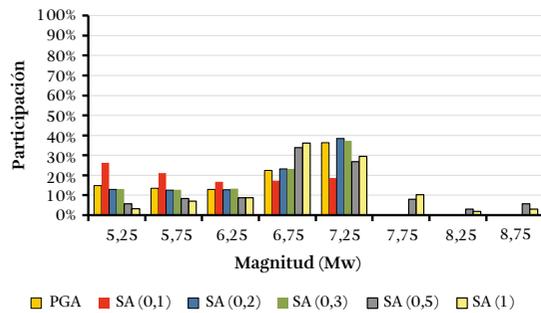
Participación según magnitud y distancia Participación según ambiente tectónico



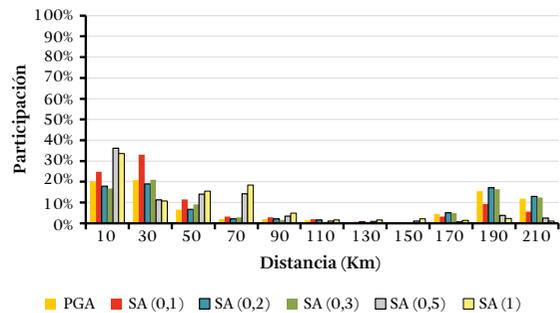
Departamento: Caquetá	Longitud: -75.60855974
Municipio: Florencia	Latitud: 1.617924
Centro poblado: Florencia	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



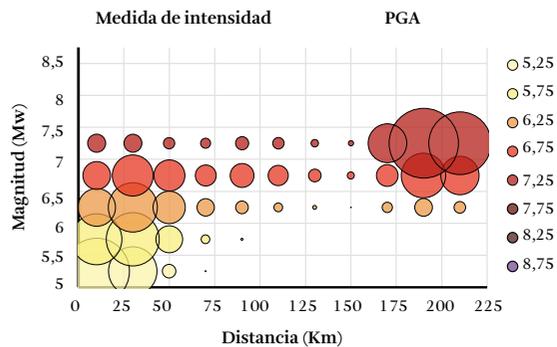
Participación según magnitud



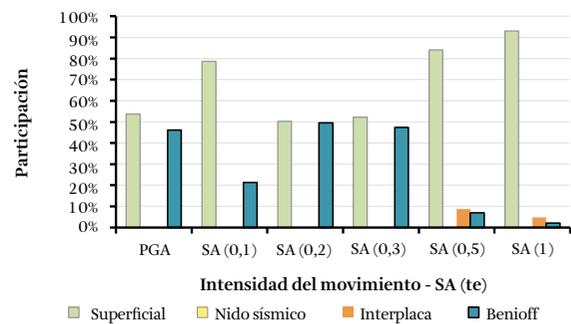
Participación según distancia



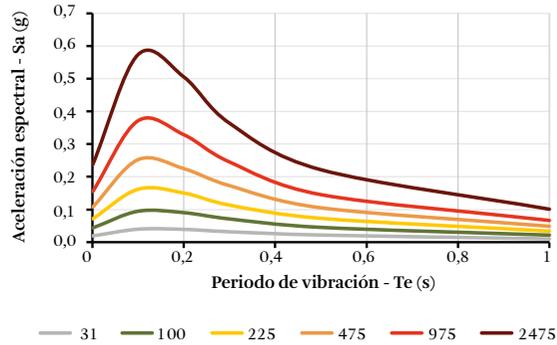
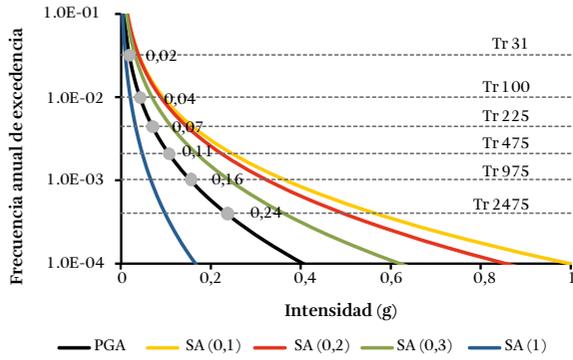
Participación según magnitud y distancia



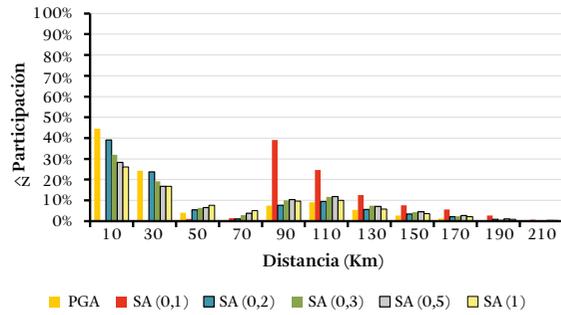
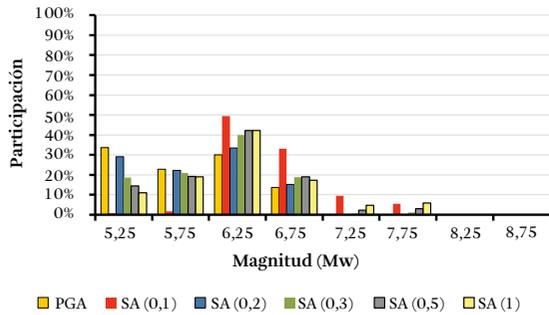
Participación según ambiente tectónico



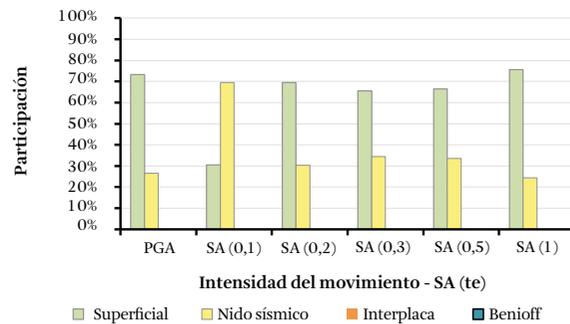
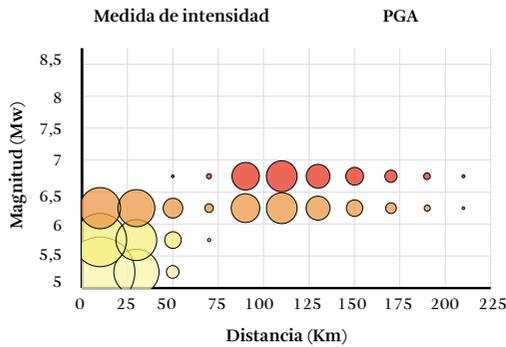
Departamento: Cesar	Longitud: -73.25939042
Municipio: Valledupar	Latitud: 10.460481
Centro poblado: Valledupar	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



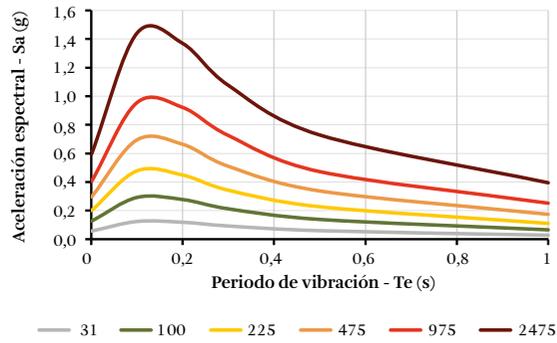
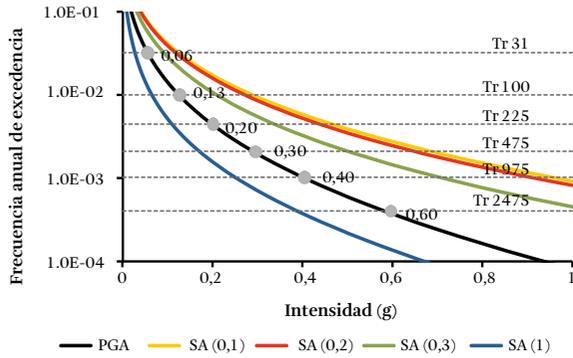
Participación según magnitud Participación según distancia



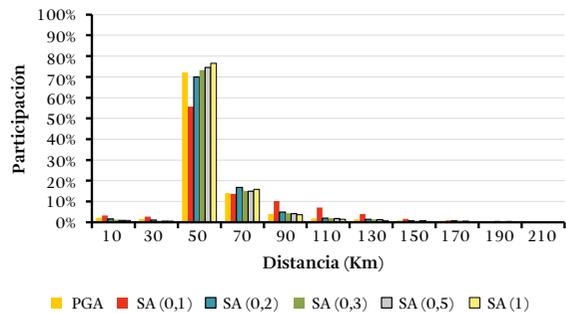
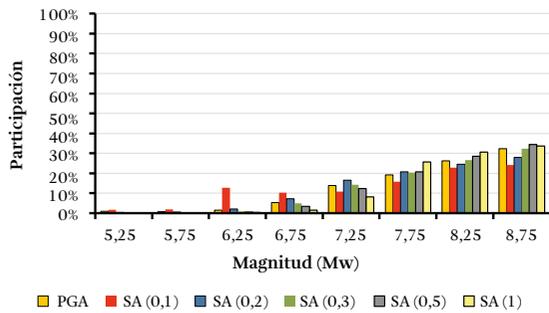
Participación según magnitud y distancia Participación según ambiente tectónico



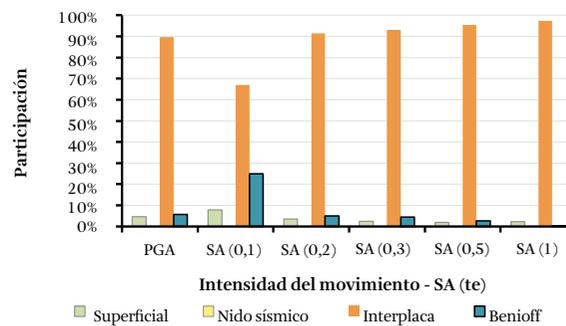
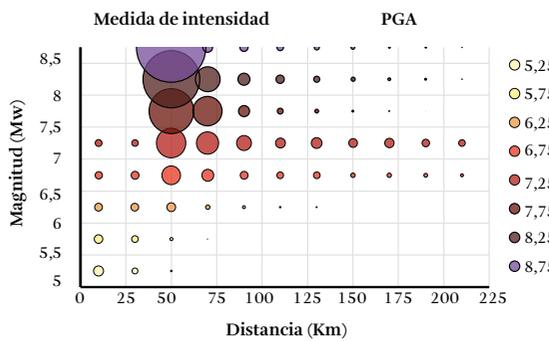
Departamento: Chocó	Longitud: -76.6383969
Municipio: Quibdó	Latitud: 5.680996
Centro poblado: Quibdó	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



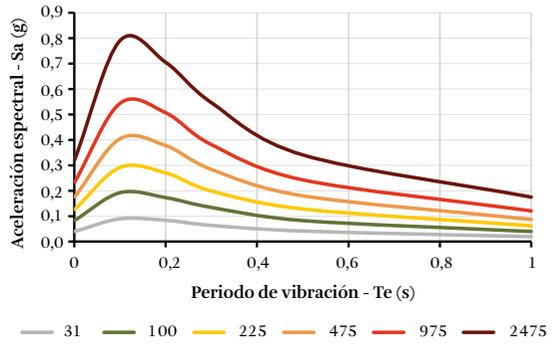
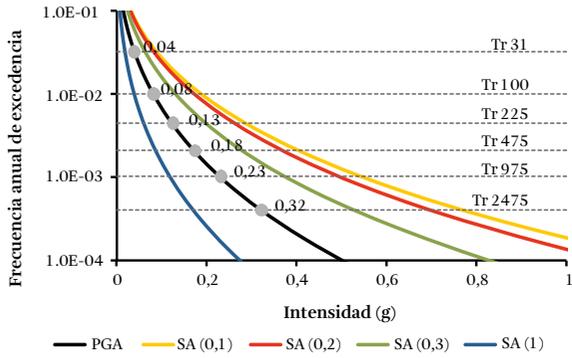
Participación según magnitud Participación según distancia



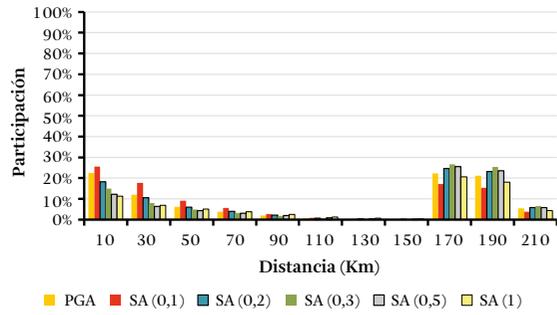
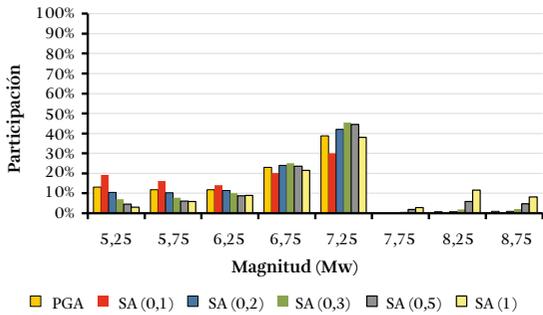
Participación según magnitud y distancia Participación según ambiente tectónico



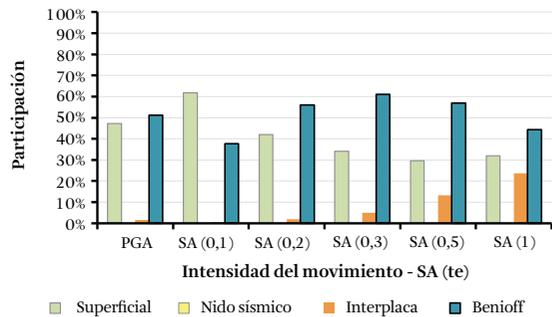
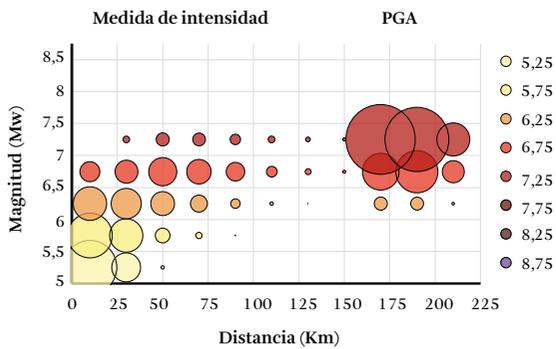
Departamento: Huila	Longitud: -75.277773148
Municipio: Neiva	Latitud: 2.935559
Centro poblado: Neiva	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



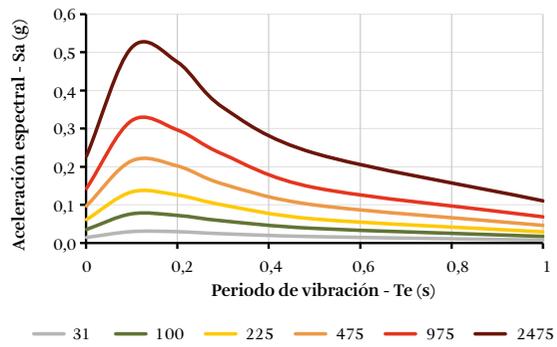
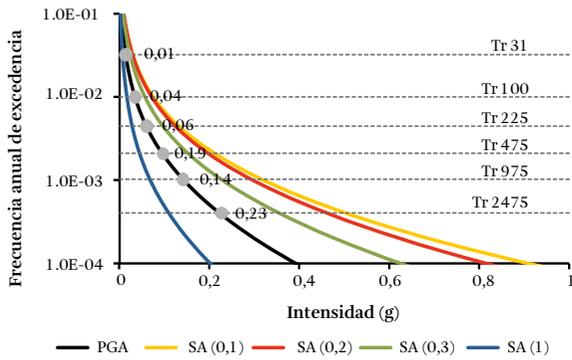
Participación según magnitud	Participación según distancia
-------------------------------------	--------------------------------------



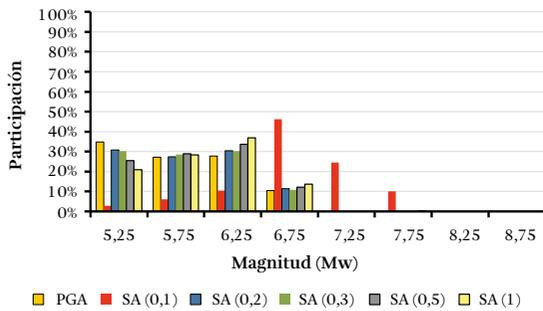
Participación según magnitud y distancia	Participación según ambiente tectónico
---	---



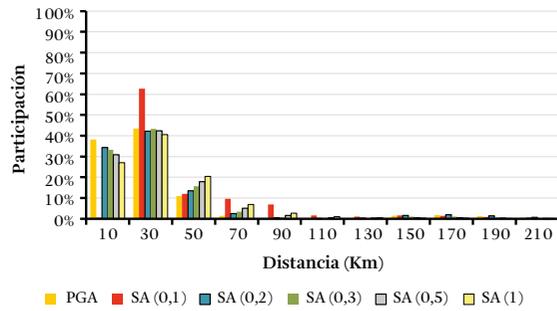
Departamento: Guajira	Longitud: -72.91148731
Municipio: Riohacha	Latitud: 11.528750
Centro poblado: Riohacha	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



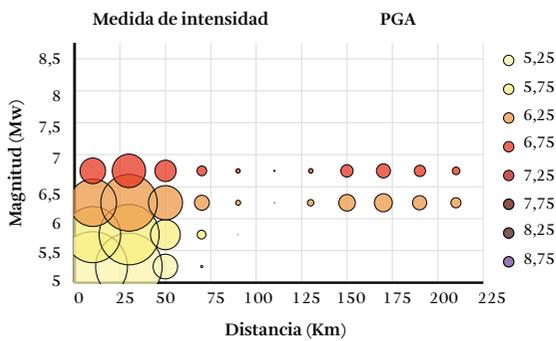
Participación según magnitud



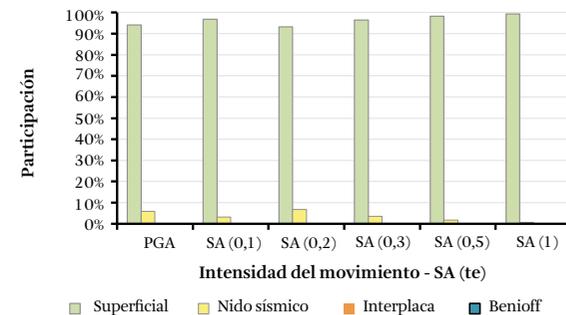
Participación según distancia



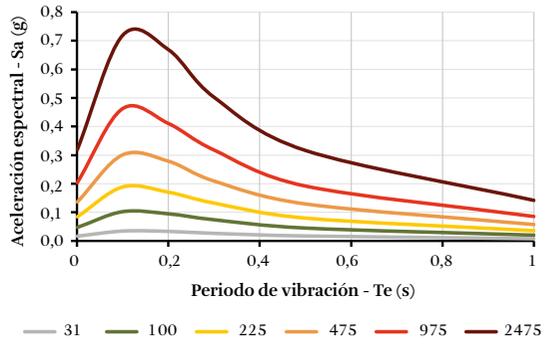
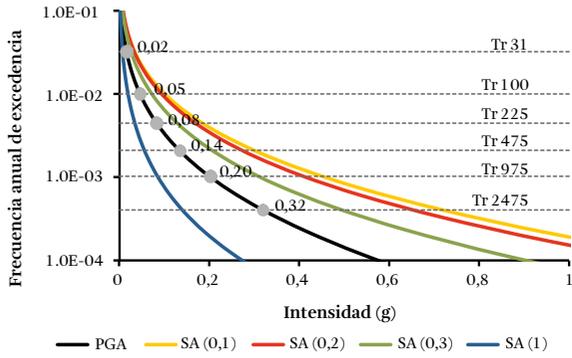
Participación según magnitud y distancia



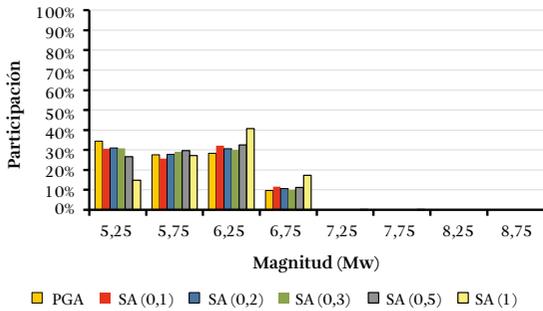
Participación según ambiente tectónico



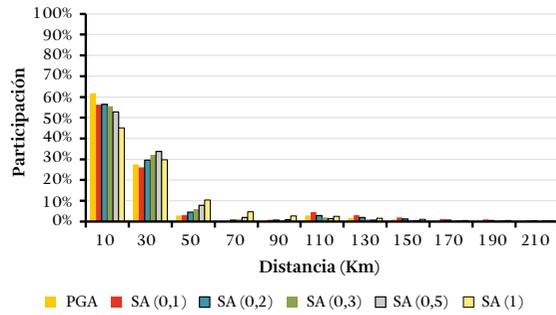
Departamento: Magdalena	Longitud: -74.20021099
Municipio: Santa Marta	Latitud: 11.2044773
Centro poblado: Santa Marta	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



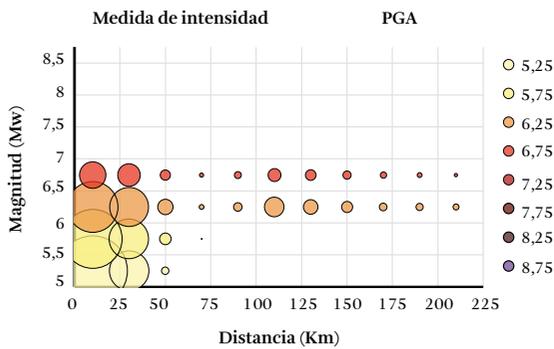
Participación según magnitud



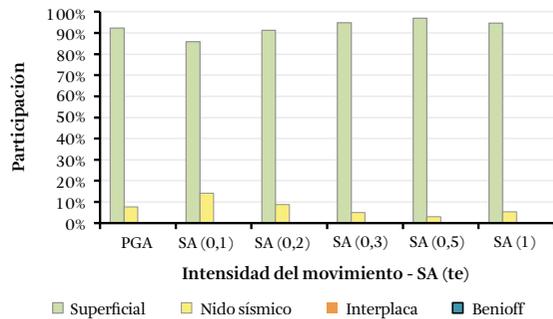
Participación según distancia



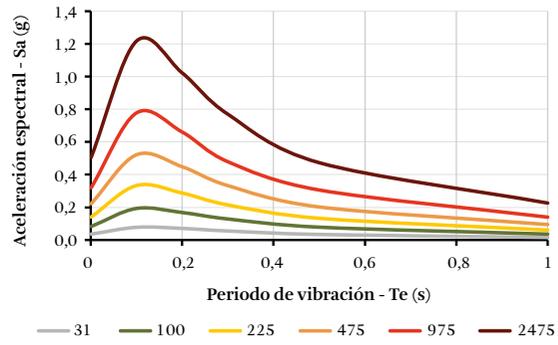
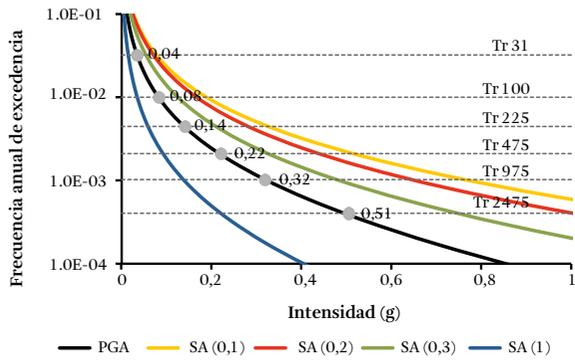
Participación según magnitud y distancia



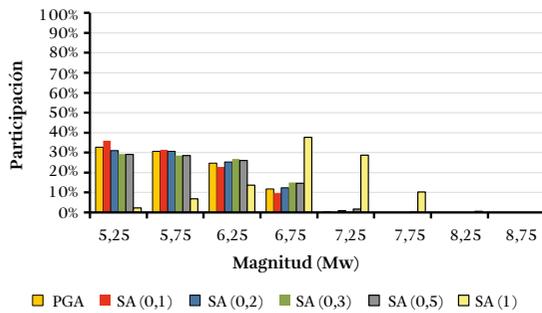
Participación según ambiente tectónico



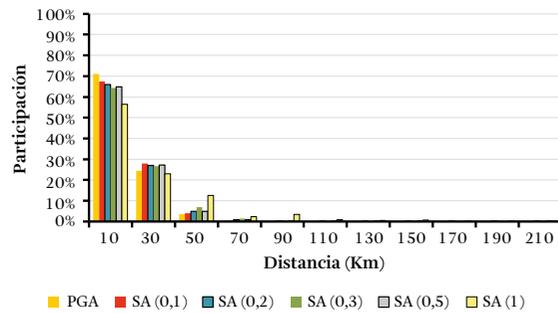
Departamento: Meta	Longitud: -73.62456253
Municipio: Villavicencio	Latitud: 4.123859
Centro poblado: Villavicencio	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



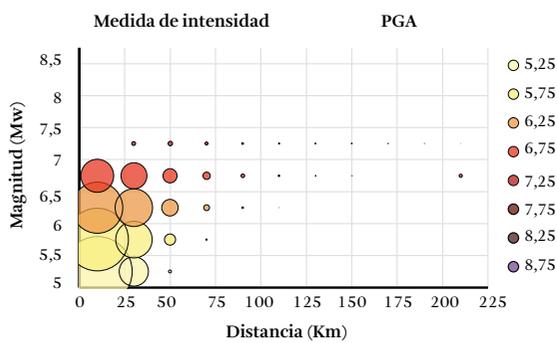
Participación según magnitud



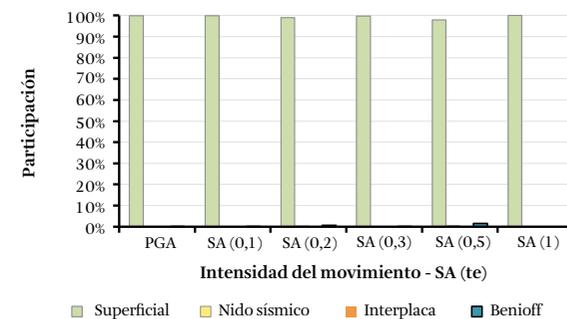
Participación según distancia



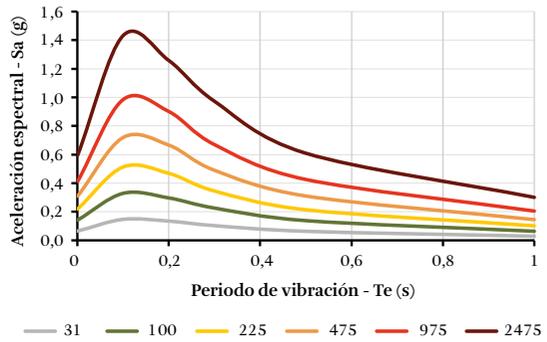
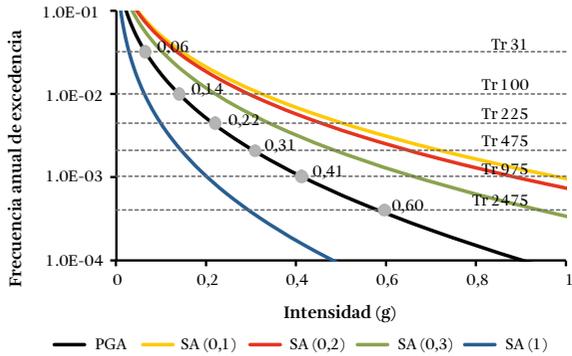
Participación según magnitud y distancia



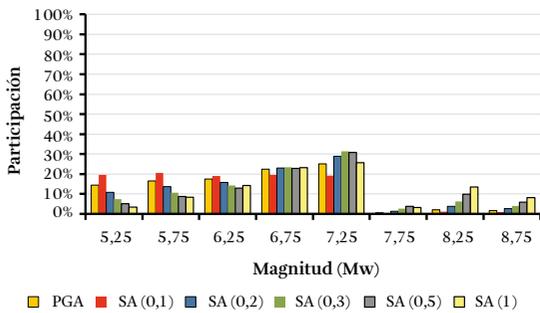
Participación según ambiente tectónico



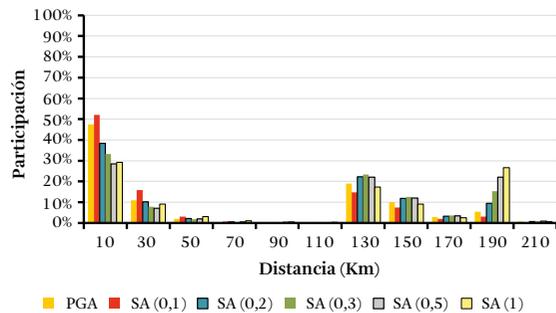
Departamento: Nariño	Longitud: -77.27877597
Municipio: Pasto	Latitud: 1.212455
Centro poblado: Pasto	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



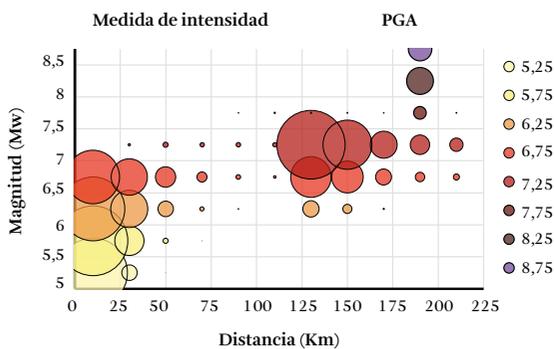
Participación según magnitud



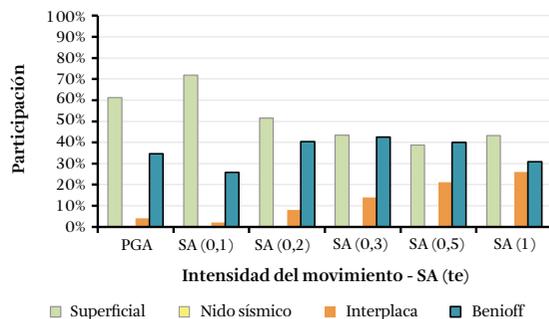
Participación según distancia



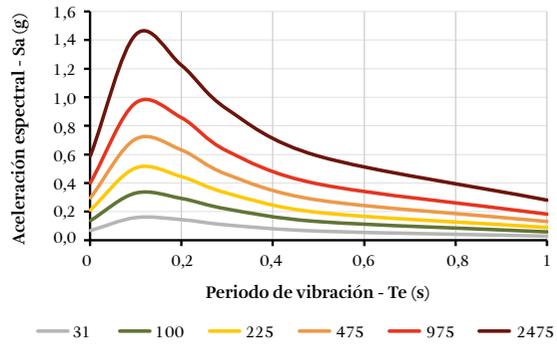
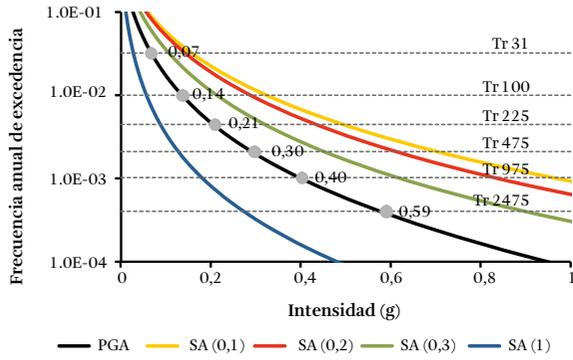
Participación según magnitud y distancia



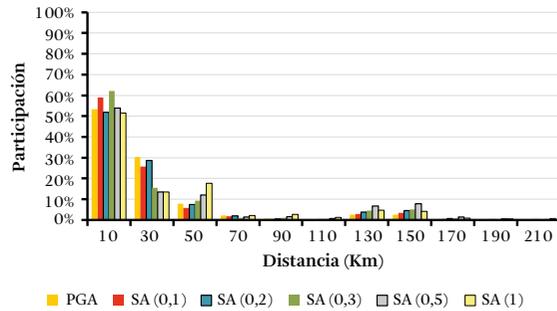
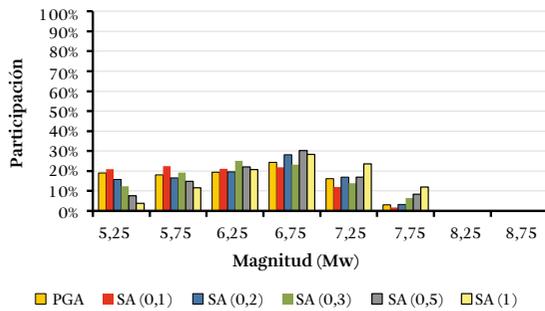
Participación según ambiente tectónico



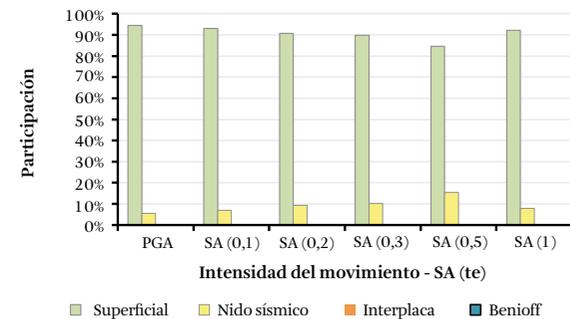
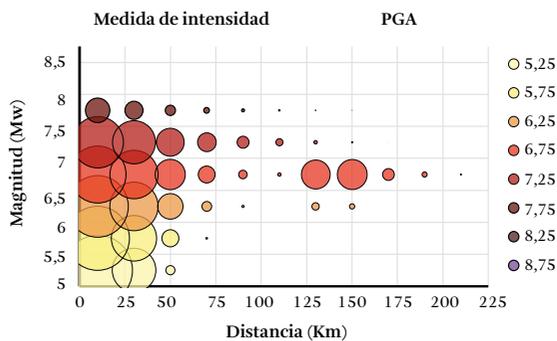
Departamento: Norte de Santander	Longitud: -72.50806512
Municipio: Cúcuta	Latitud: 7.905584
Centro poblado: Cúcuta	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



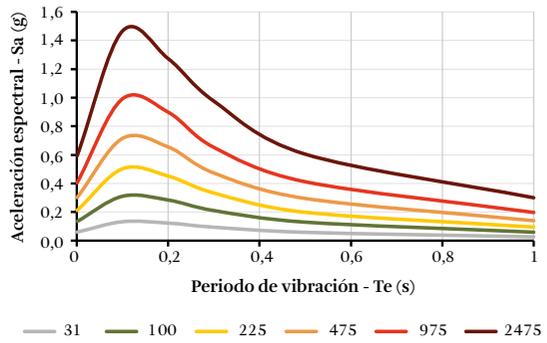
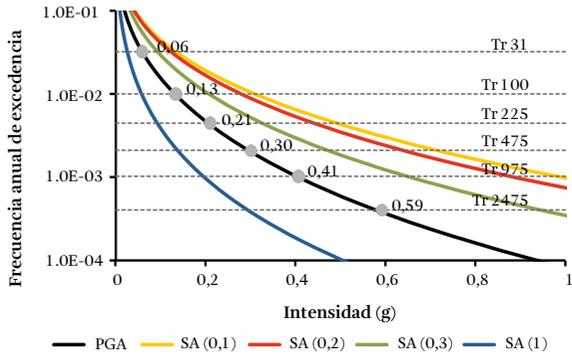
Participación según magnitud Participación según distancia



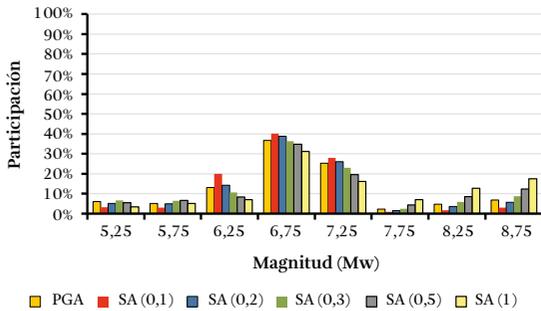
Participación según magnitud y distancia Participación según ambiente tectónico



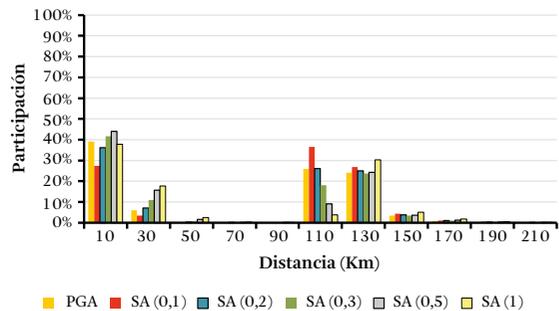
Departamento: Quindío	Longitud: -75.68075454
Municipio: Armenia	Latitud: 4.535987
Centro poblado: Armenia	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



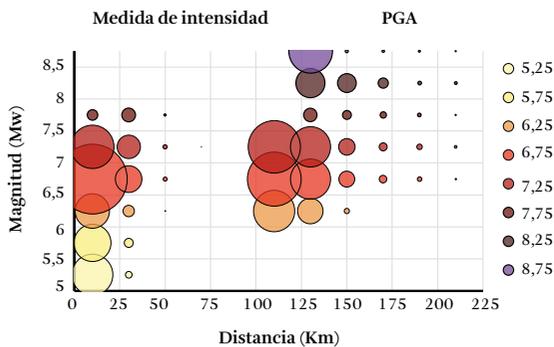
Participación según magnitud



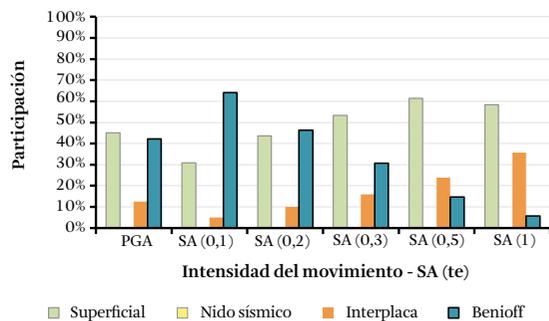
Participación según distancia



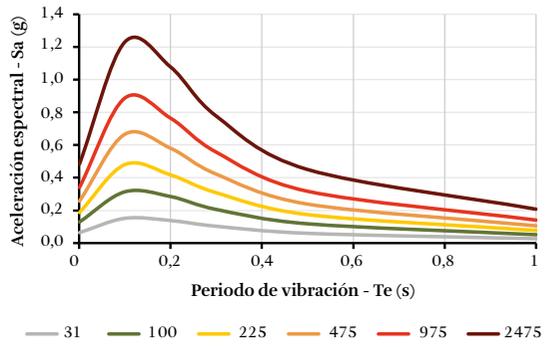
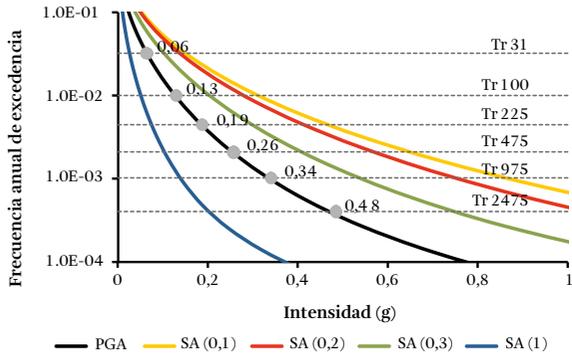
Participación según magnitud y distancia



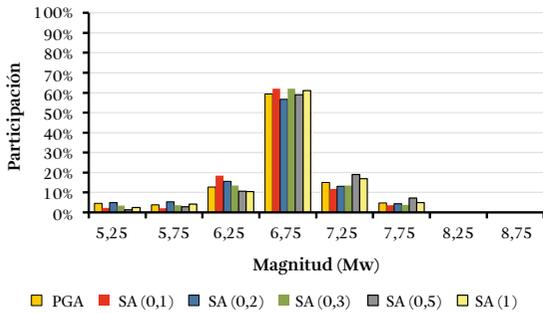
Participación según ambiente tectónico



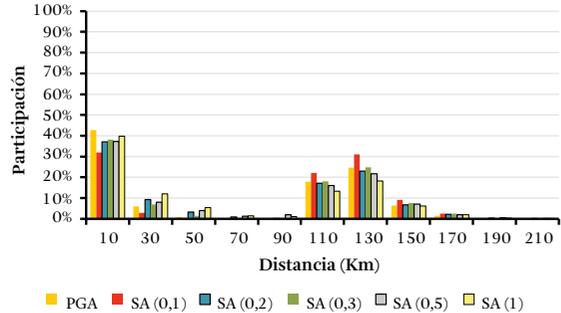
Departamento: Santander	Longitud: -73.13259762
Municipio: Bucaramanga	Latitud: 7.116268
Centro poblado: Bucaramanga	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



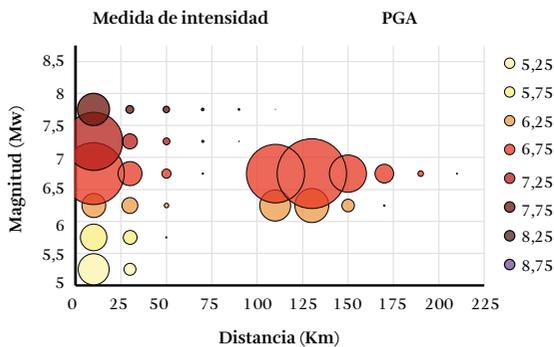
Participación según magnitud



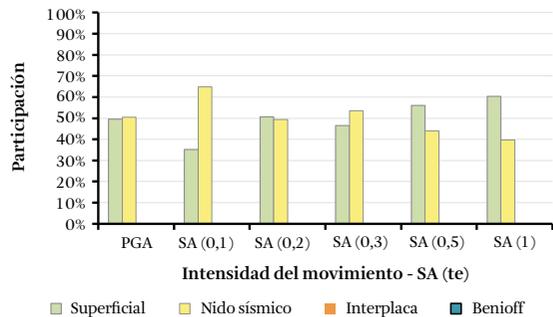
Participación según distancia



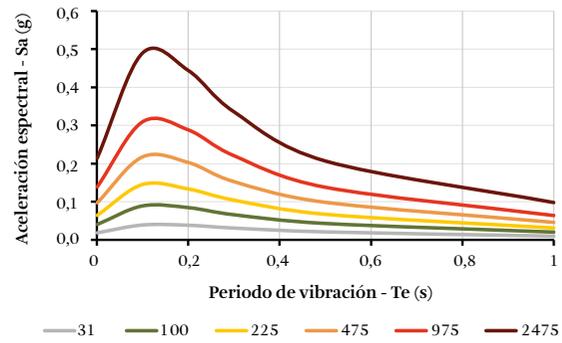
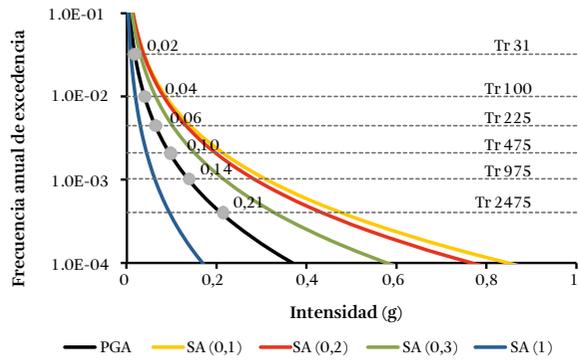
Participación según magnitud y distancia



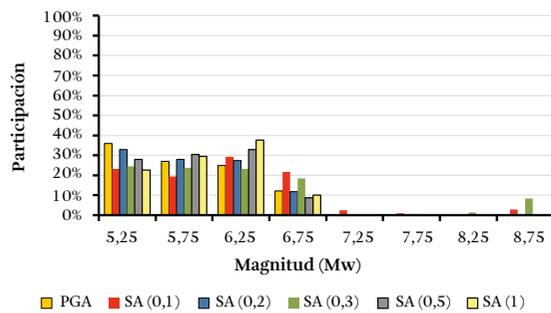
Participación según ambiente tectónico



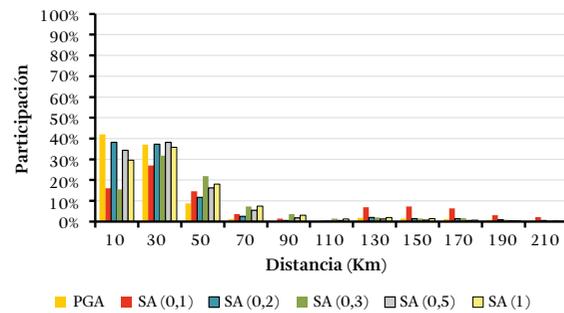
Departamento: Sucre	Longitud: -75.39548177
Municipio: Sincelajo	Latitud: 9.302330
Centro poblado: Sincelajo	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



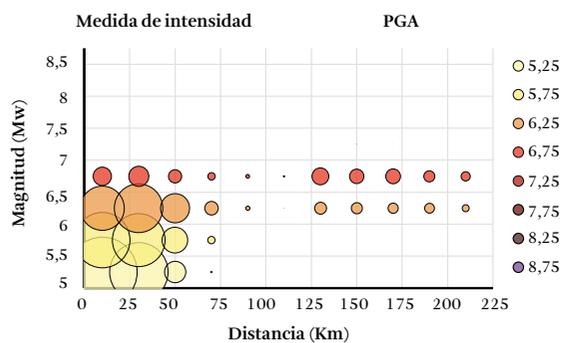
Participación según magnitud



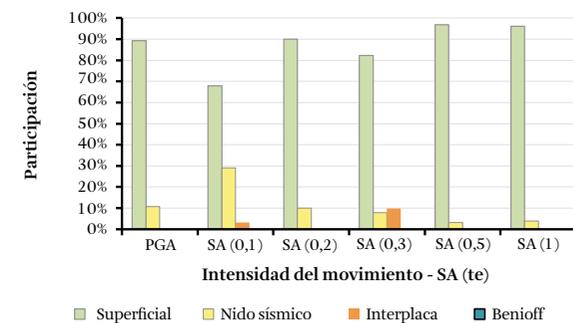
Participación según distancia



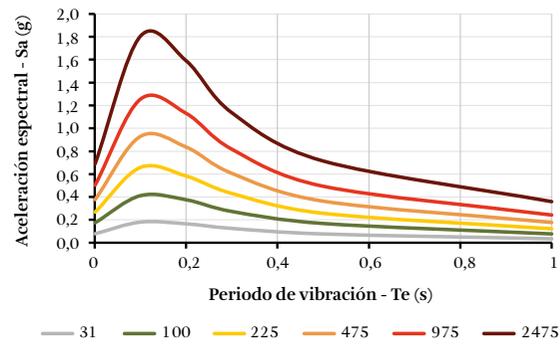
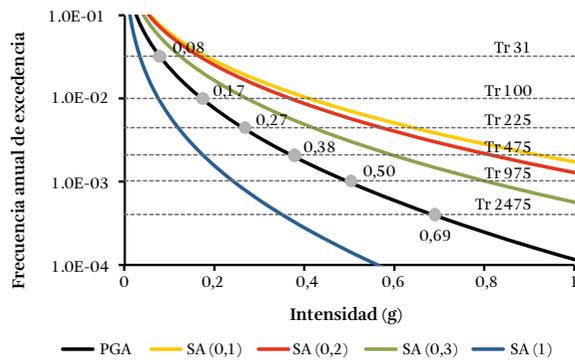
Participación según magnitud y distancia



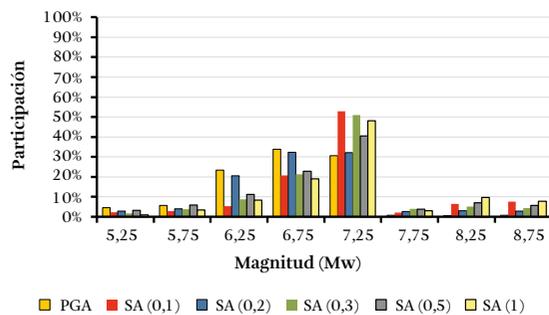
Participación según ambiente tectónico



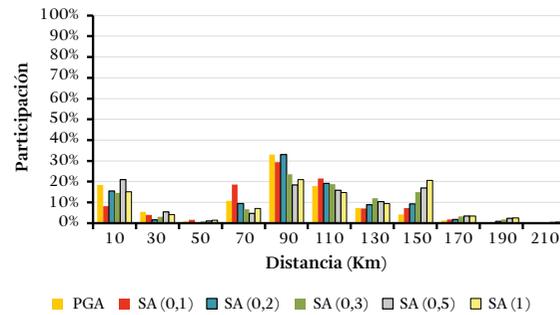
Departamento: Valle del Cauca	Longitud: -76.52156016
Municipio: Cali	Latitud: 3.414419
Centro poblado: Cali	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



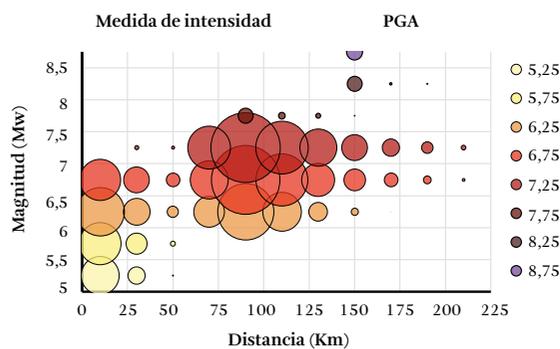
Participación según magnitud



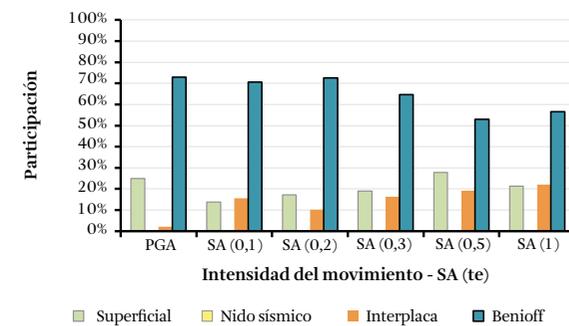
Participación según distancia



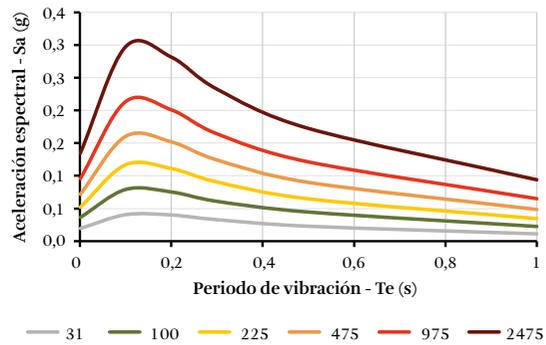
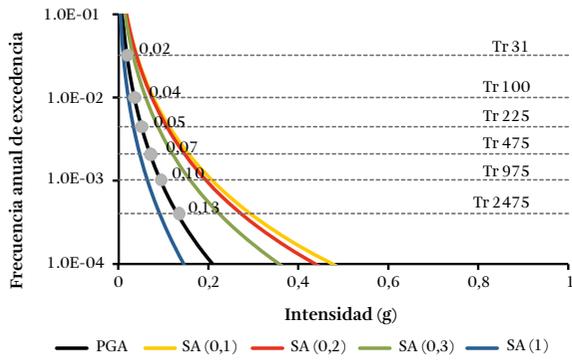
Participación según magnitud y distancia



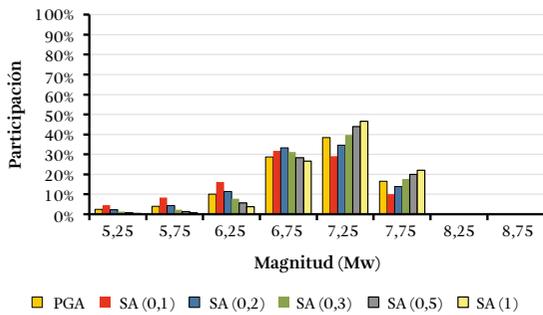
Participación según ambiente tectónico



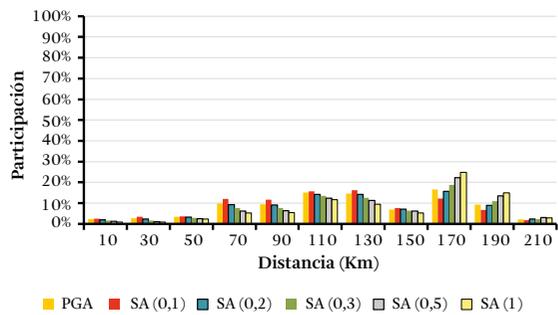
Departamento: Arauca	Longitud: -70.7480098
Municipio: Arauca	Latitud: 7.073902
Centro poblado: Arauca	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



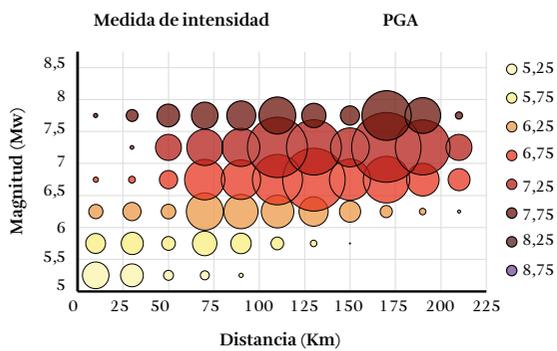
Participación según magnitud



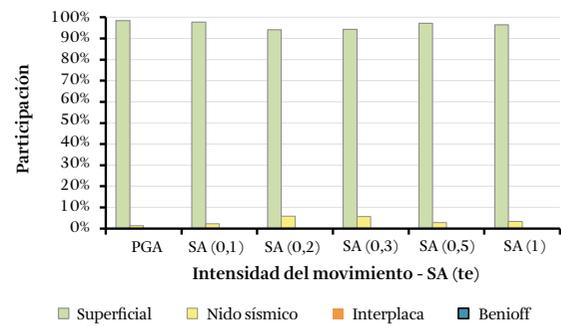
Participación según distancia



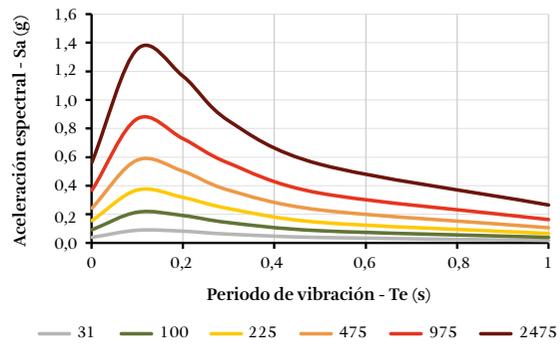
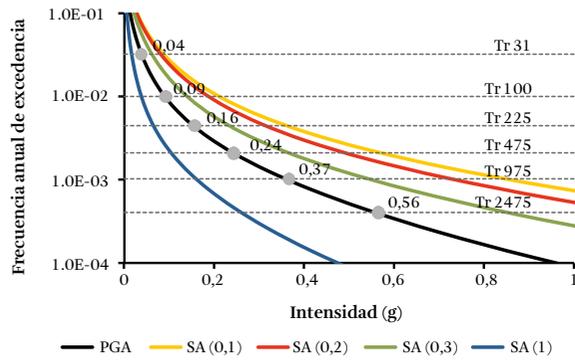
Participación según magnitud y distancia



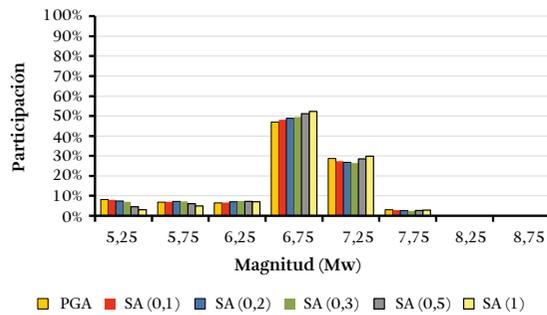
Participación según ambiente tectónico



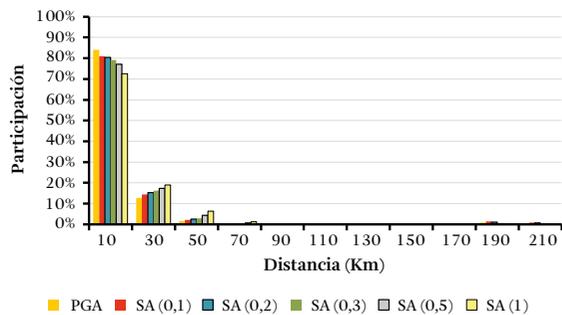
Departamento: Casanare	Longitud: -72.39691554
Municipio: Yopal	Latitud: 5.327612
Centro poblado: Yopal	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



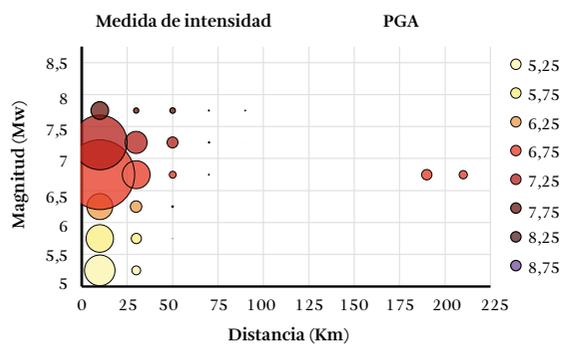
Participación según magnitud



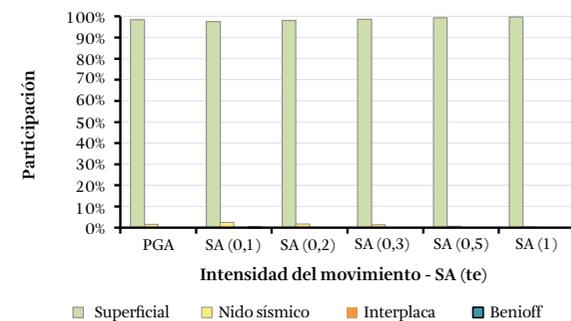
Participación según distancia



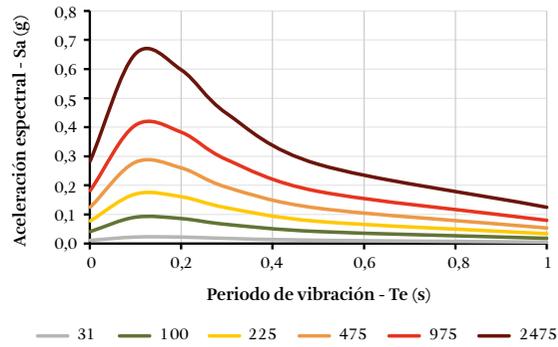
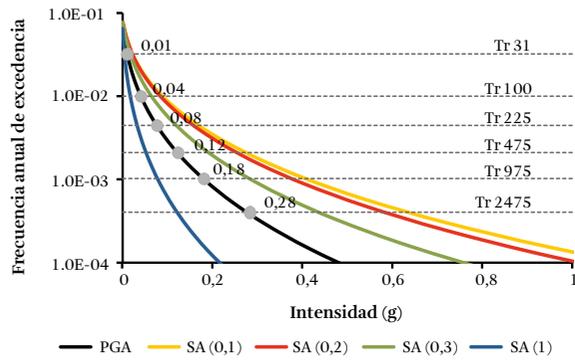
Participación según magnitud y distancia



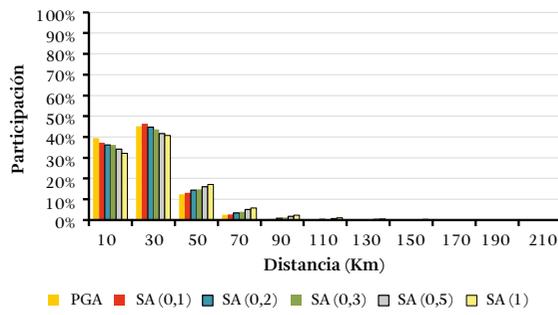
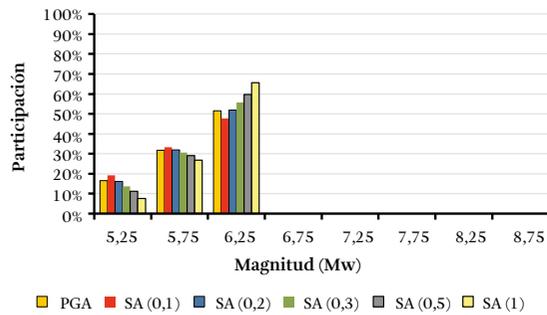
Participación según ambiente tectónico



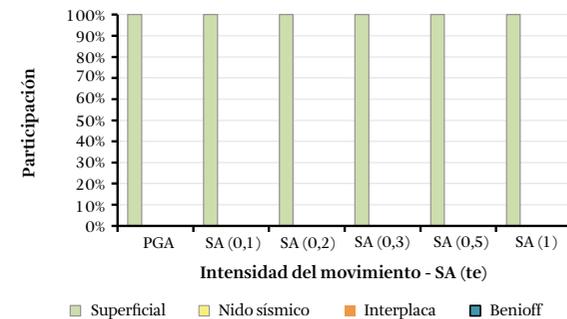
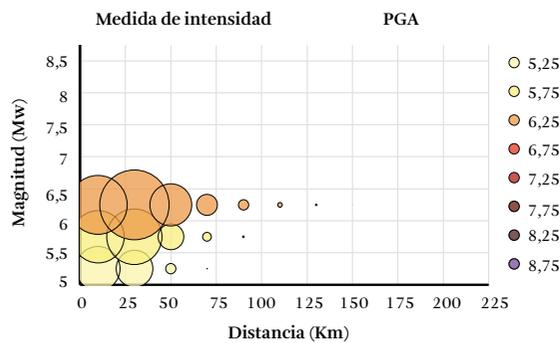
Departamento: San Andrés, Providencia y Sta. Catalina	Longitud: -81.70712953
Municipio: San Andrés	Latitud: 12.578138
Centro poblado: San Andrés	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



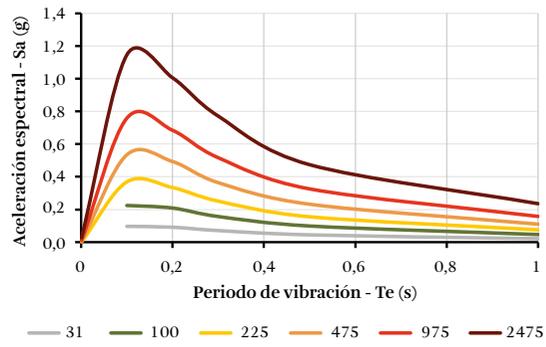
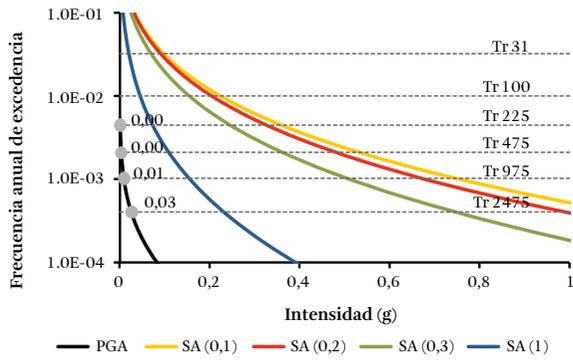
Participación según magnitud Participación según distancia



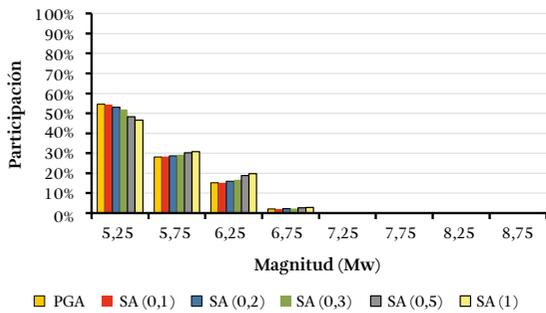
Participación según magnitud y distancia Participación según ambiente tectónico



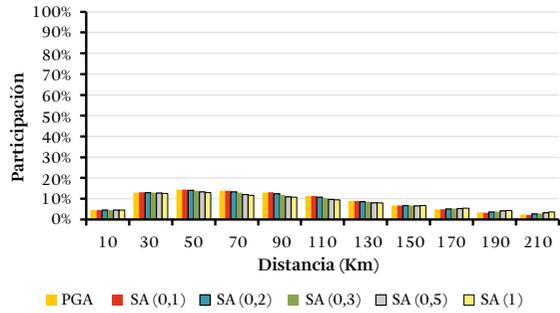
Departamento: Amazonas	Longitud: -69.94158189
Municipio: Leticia	Latitud: -4.198445
Centro poblado: Leticia	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



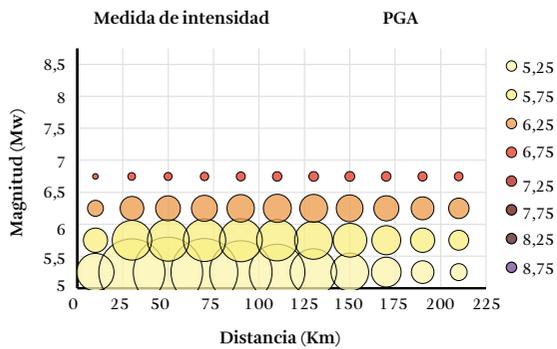
Participación según magnitud



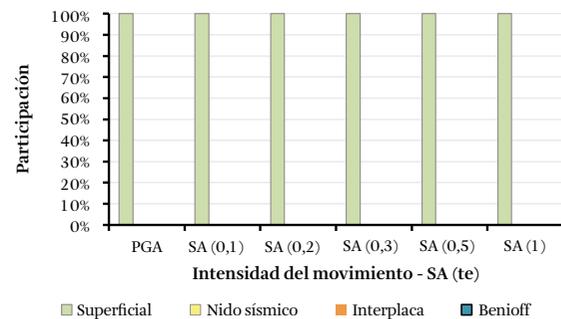
Participación según distancia



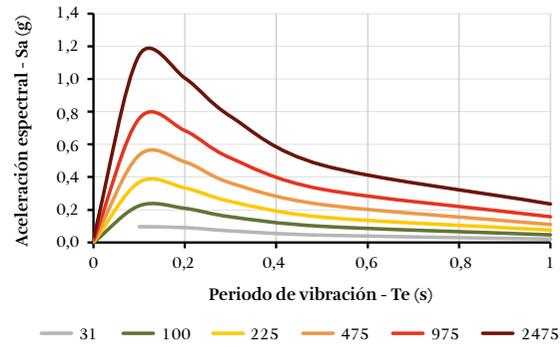
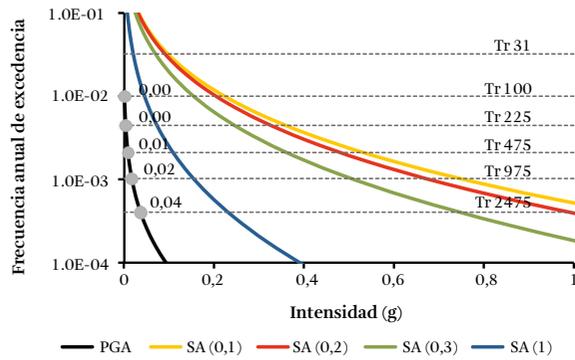
Participación según magnitud y distancia



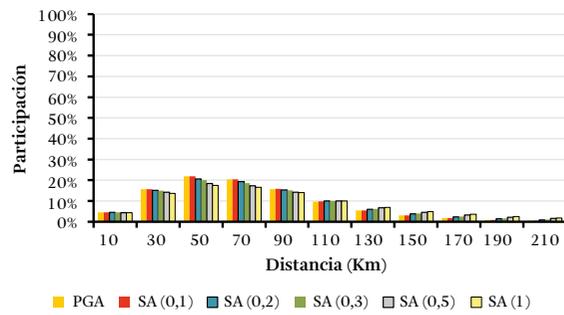
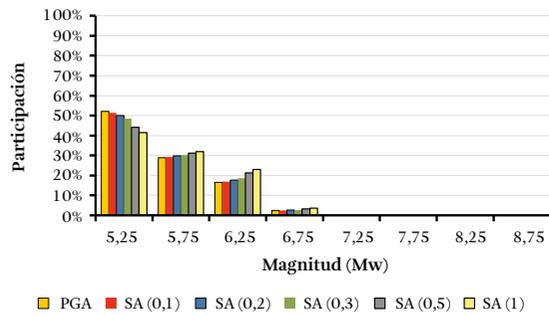
Participación según ambiente tectónico



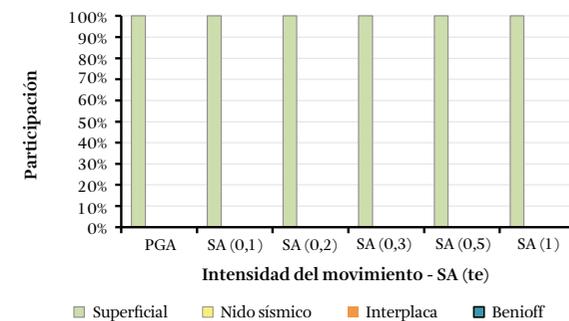
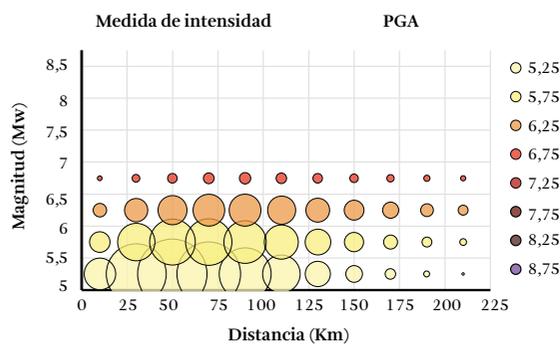
Departamento: Guanía	Longitud: -67.91860124
Municipio: Inírida	Latitud: 3.866623
Centro poblado: Inírida	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	
Espectros de amenaza uniforme	



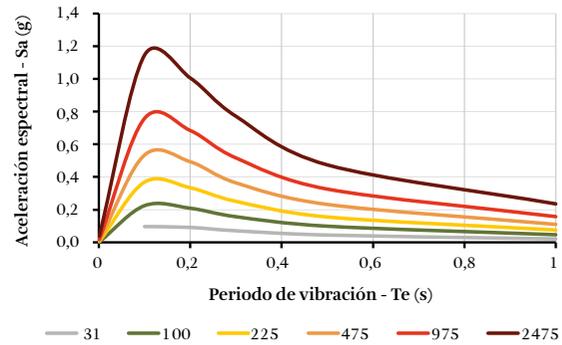
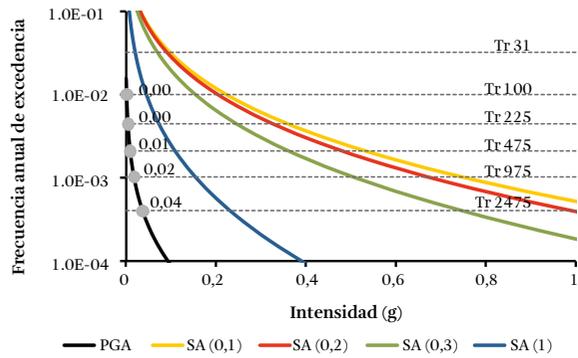
Participación según magnitud Participación según distancia



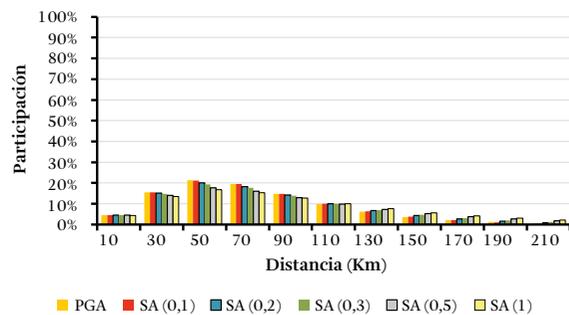
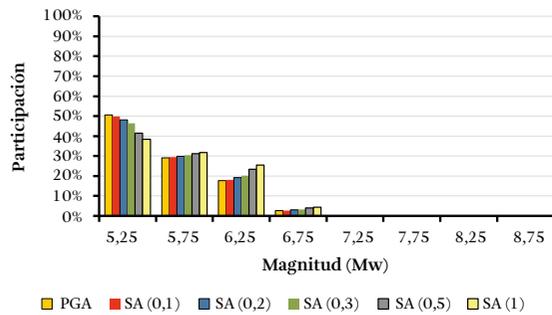
Participación según magnitud y distancia Participación según ambiente tectónico



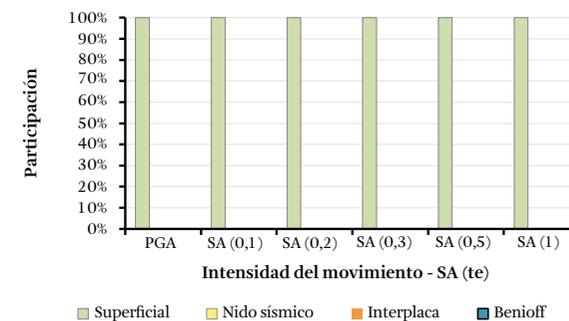
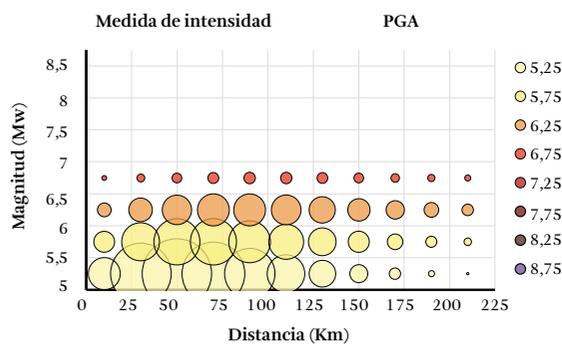
Departamento: Vaupés	Longitud: -70.23475148
Municipio: Mitú	Latitud: 1.251187
Centro poblado: Mitú	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



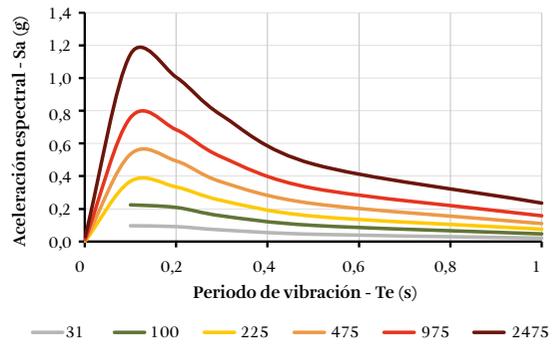
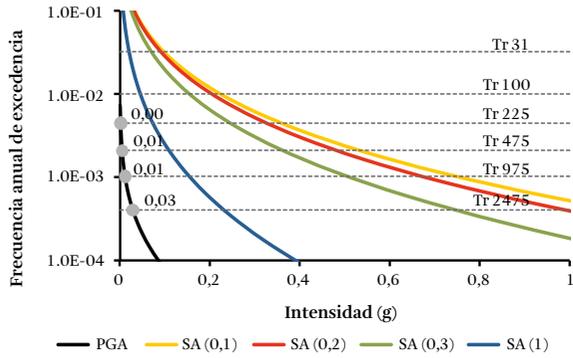
Participación según magnitud	Participación según distancia
------------------------------	-------------------------------



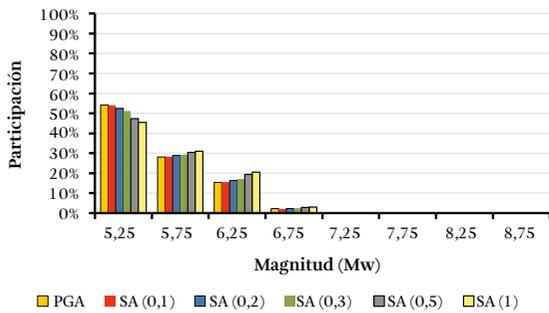
Participación según magnitud y distancia	Participación según ambiente tectónico
--	--



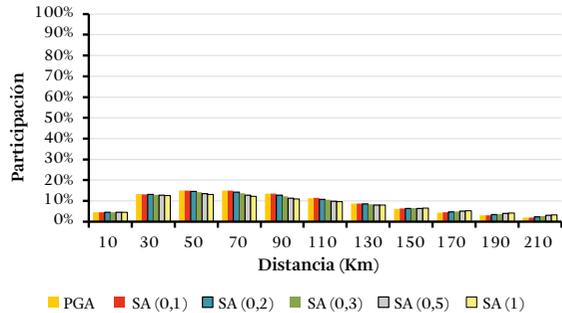
Departamento: Vichada	Longitud: -67.48699614
Municipio: Puerto Carreño	Latitud: 6.186863
Centro poblado: Puerto Carreño	Período de retorno: 475 años
Curvas de amenaza uniforme	Espectros de amenaza uniforme



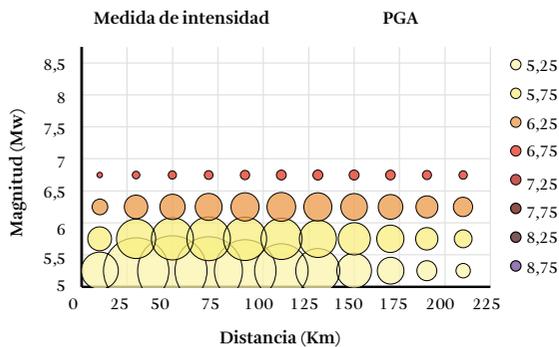
Participación según magnitud



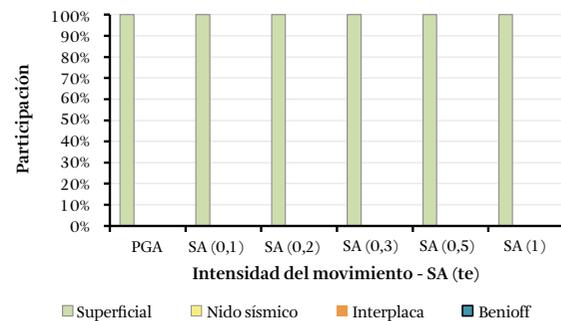
Participación según distancia



Participación según magnitud y distancia



Participación según ambiente tectónico





Descripción del sistema de consulta del modelo y de los resultados de la amenaza sísmica

Colombia, al estar ubicado en una zona con alta actividad sísmica, requiere de información técnica que permita a la población en general conocer la amenaza a la que está expuesta. Para atender a esta necesidad, el Servicio Geológico Colombiano (SGC), en cumplimiento de sus funciones (Decreto 4131 de 2011, Decreto 2703 de 2013), desarrolló un Modelo Nacional de Amenaza Sísmica - MNAS en colaboración con investigadores de la Fundación Global Earthquake Model (GEM).

Este modelo se construyó a partir de una síntesis del mejor conocimiento científico sobre la amenaza sísmica en el país y en la región, considerando a su vez la información que el SGC ha generado durante años. Una descripción general del MNAS puede encontrarse en el siguiente enlace: <https://www2.sgc.gov.co/ProgramasDeInvestigacion/geoamenazas/Paginas/Sistema-de-Consulta-de-la-Amenaza-Sismica-de-Colombia.aspx>

A partir del MNAS se pueden estimar valores de intensidad esperada para diferentes periodos de retorno y periodos de vibración estructural, los cuales pueden ser útiles para diversas actividades de gestión del riesgo sísmico.

Con el fin de que estos resultados sean utilizados, el SGC elaboró un sistema de consulta en el cual tanto el modelo como los resultados se encuentran dispo-

nibles al público. Dicho sistema se encuentra en el siguiente link: <https://amenazasismica.sgc.gov.co/>.

En este Anexo se presentan una descripción breve de dicho sistema de consulta y de los resultados disponibles.

Productos para la consulta

El sistema de consulta expone tanto el informe de la conformación del modelo como de resultados de la evaluación de la amenaza sísmica en el territorio nacional. El primer módulo del sistema presenta información relacionada a los modelos de fuentes sísmicas, exponiendo tanto propiedades geométricas como parámetros de su actividad sísmica (magnitudes, frecuencias de ocurrencia).

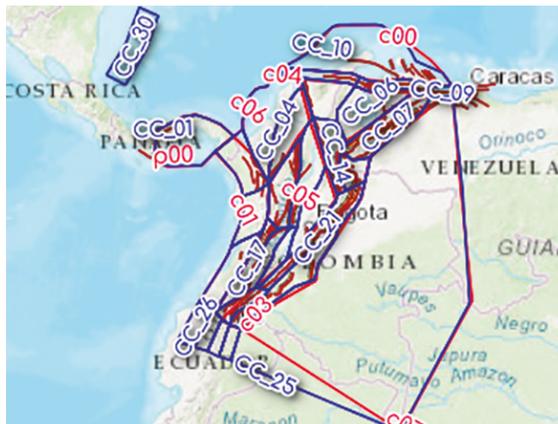
Por otro lado, los módulos de resultados presentan las estimaciones de la amenaza nacional en términos de i) las localizaciones de una grilla regular y ii) las localizaciones de los centros poblados derivados del DIVIPOLA¹. En estos dos módulos es posible consultar la distribución de intensidades sísmicas para tres ordenadas espectrales, y las curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme para cada uno de las localizaciones.

¹ División Político-administrativa de Colombia según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística

A. Modelo de fuentes sísmicas

La definición de fuentes sísmicas corresponde a una caracterización del territorio según el tamaño y frecuencia de los sismos que pueden generarse. En este módulo se describen las geometrías de los ambientes tectónicos (subducción: intraplaca e interplaca, cortical y el nido de Bucaramanga) incluidos en el modelo de amenaza nacional.

De igual forma, el módulo presenta la geometría de las fuentes y sus parámetros de sismicidad.

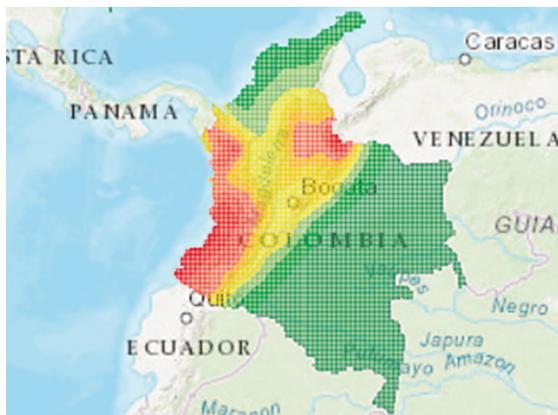


B. Módulo de resultados de amenaza en roca

B.1 En puntos de una grilla regular

Este módulo presenta los resultados probabilistas en roca del Modelo Nacional de Amenaza Sísmica. Se presentan en las localizaciones de una grilla regular con espaciamiento de 0.1 grados que corresponde aproximadamente a 10 km.

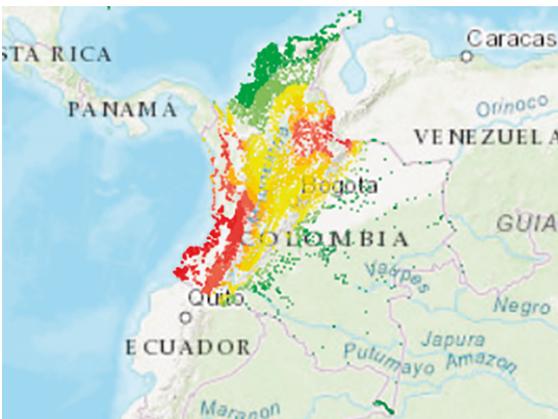
Es posible realizar una búsqueda geográfica del punto más cercano de cálculo digitando en un formato sencillo [#.#### #.####] la longitud y latitud del sitio de interés en la casilla de búsqueda habilitada en el mapa.



B.2 Para los centros poblados

Los resultados probabilistas en roca del Modelo Nacional de Amenaza Sísmica MNAS, se presentan para cada uno de los centros poblados definidos en la DIVIPOLA del Marco Geoestadístico Nacional (DANE).

Es posible realizar una búsqueda geográfica del centro poblado de interés mediante una lista en el siguiente sitio: <https://amenazasismica.sgc.gov.co/portal/sites/>



A. Módulo: Modelo de fuentes sísmicas

Las fuentes sísmicas determinan la distribución geográfica del peligro sísmico (García, 2015), por tanto, es relevante que la definición de un modelo de fuentes sísmicas se realice a partir de datos actualizados, considerando la participación de un equipo multidisciplinario que vincule criterios geológicos, sismo-

lógicos y estadísticos, orientados a la estimación de la amenaza en formatos que sean de utilidad para múltiples aplicaciones (ordenamiento territorial, ingeniería, riesgo). Tales son los principios orientadores que el SGC acogió para la elaboración del modelo de fuentes sísmicas del presente MNAS cuya estructura se resume en la Figura L.1.

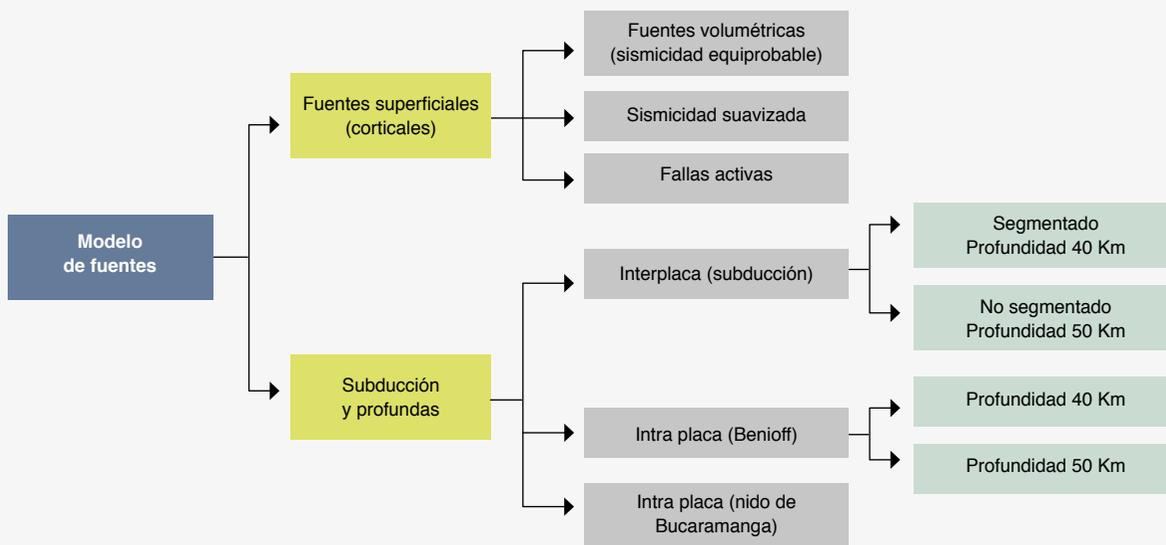


Figura L. 1 Estructura del modelo según profundidad y tipo de fuentes sísmicas

El módulo presenta las fuentes sísmicas adoptadas, fruto del trabajo conjunto con investigadores del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) donde elaboraron un procedimiento para la definición de fuentes sísmicas (Véase Figura L. 1).

En concordancia con la estructura de la Figura L.1, el módulo despliega las fuentes sísmicas adoptadas

en el MNAS, agrupadas en capas según el ambiente tectónico, tal como se presenta en la Figura L.2.

Haciendo clic sobre cada una de las fuentes se despliega en una ventana al margen derecho (recuadro de línea punteada, véase Figura L.3), presentando información relevante para la identificación de la fuente en el modelo, además de información sobre la sismicidad de la falla.

<p>cortical (area)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>cortical_area</p>	<p>subducción interfase (falla compleja)</p> <p><input type="checkbox"/>interface_00</p> <p><input type="checkbox"/>interface_01</p> <p><input type="checkbox"/>interface_02</p> <p><input type="checkbox"/>interface</p>
<p>cortical (fallas)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>cortical_fallas</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>cortical_fallas_3D</p>	<p>subducción intraplaca (benioff)</p> <p><input type="checkbox"/>in-slab_40</p> <p><input type="checkbox"/>in-slab_50</p>
<p>cortical (sismicidad distribuida)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>cortical_ds</p>	<p>Nido Bucaramanga</p> <p><input type="checkbox"/>bucaramanga_00</p> <p><input type="checkbox"/>bucaramanga_01</p>

Figura L.2 Capas del modelo de fuentes

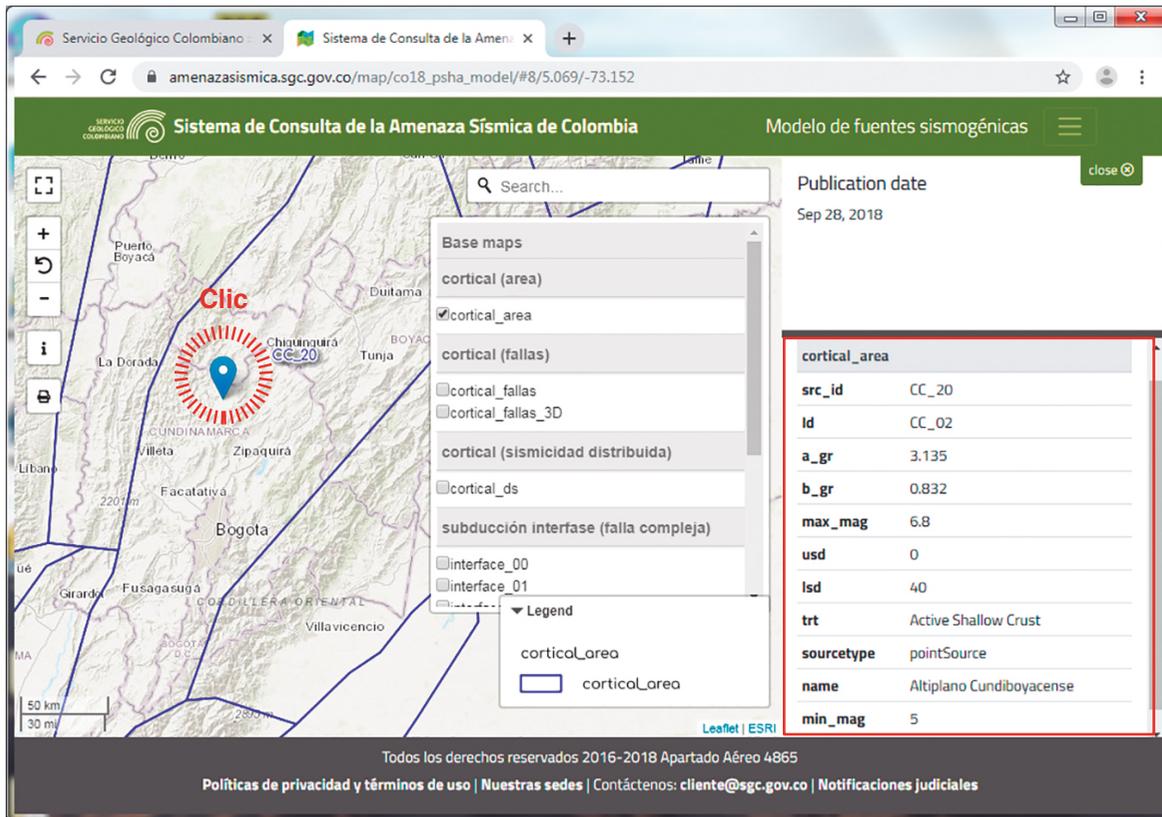


Figura L.3 Despliegue de información relacionada a cada fuente del MNAS

B. Módulos de resultados de amenaza en roca

Pr. excedencia de 10% en 50 años	Pr. excedencia de 80% en 50 años
<input checked="" type="radio"/> hmap_mean_PGA_475yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(0.2)_475yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(1.0)_475yr	<input type="radio"/> hmap_mean_PGA_31yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(0.2)_31yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(1.0)_31yr
Pr. excedencia de 5% en 50 años	Pr. excedencia de 20% en 50 años
<input type="radio"/> hmap_mean_PGA_975yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(0.2)_975yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(1.0)_975yr	<input type="radio"/> hmap_mean_PGA_225yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(0.2)_225yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(1.0)_225yr
Pr. excedencia de 2% en 50 años	Pr. excedencia de 10% en 50 años
<input type="radio"/> hmap_mean_PGA_2475yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(0.2)_2475yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(1.0)_2475yr	<input checked="" type="radio"/> hmap_mean_PGA_475yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(0.2)_475yr <input type="radio"/> hmap_mean_SA(1.0)_475yr

Figura L.4 Capas de distribución de intensidades

Los resultados en roca del MNAS se presentan en términos de tres (3) productos a saber:

- i) La distribución de intensidades en el territorio para ciertos valores de probabilidad de excedencia (2%,5%, 10%, 20%, 80%) en 50 años de tiempo de exposición (véase Figura L.4),
- ii) Curvas de en amenaza para tres (3) ordenadas espectrales (PGA , $Sa_{(Te=0.2s)}$ y $Sa_{(Te=1.0s)}$; véase Figura L.4), y
- iii) Espectros de amenaza uniforme para (2) dos periodos de retronó (475 y 2475 años; véase Figura L.5). Los resultados se presentan en dos (2) módulos con los mismos productos donde el primer módulo presenta los resultados para las localizaciones de una grilla uniforme con espaciamiento de 0.1 grados en el territorio nacional

(véase Figura L.6 a Figura L.10), mientras que el segundo presenta los resultados para las localizaciones de los centros poblados según del DIVI-POLA (DANE) (véase Figura L.11).

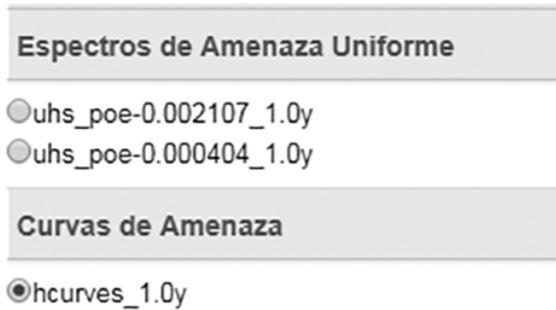


Figura L.5 Capas de resultados

Distribución de intensidades

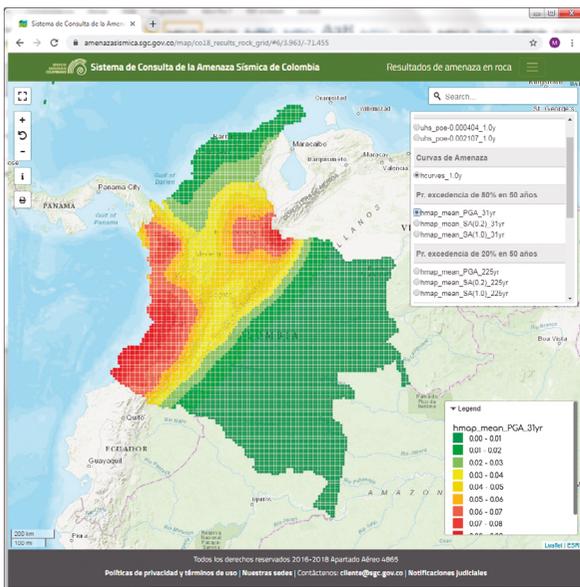


Figura L.6 Mapa de distribución de intensidades (PGA) probabilidad de excedencia del 80% en 50 años de exposición (periodo de retorno T_R 31 años)

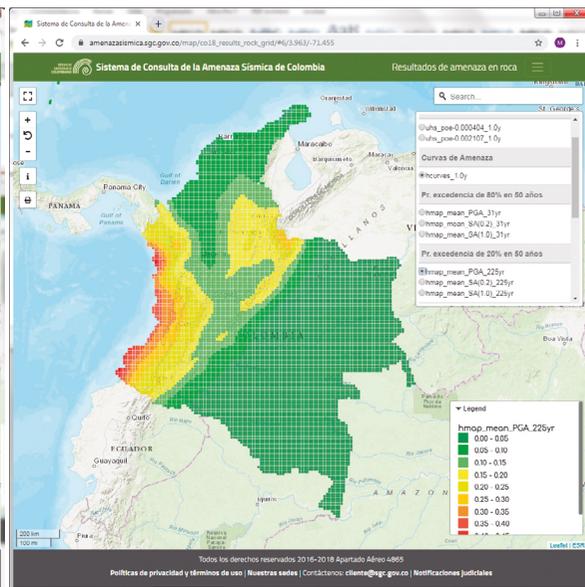


Figura L.7 Mapa de distribución de intensidades (PGA) probabilidad de excedencia del 20% en 50 años de exposición (periodo de retorno T_R 225 años)

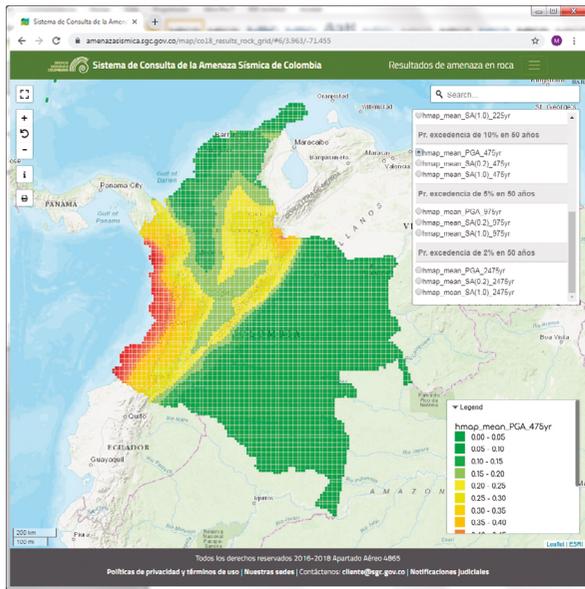


Figura L.8 Mapa de distribución de intensidades (PGA) probabilidad de excedencia del 10% en 50 años de exposición (periodo de retorno T_R 475 años)

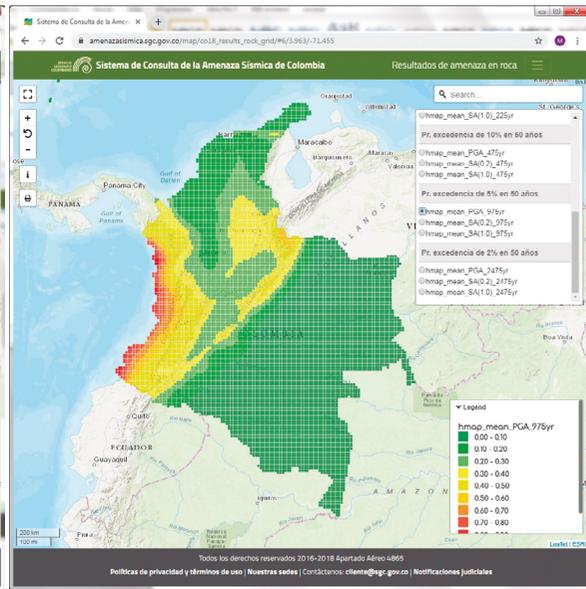


Figura L.9 Mapa de distribución de intensidades (PGA) probabilidad de excedencia del 5% en 50 años de exposición (periodo de retorno T_R 975 años)

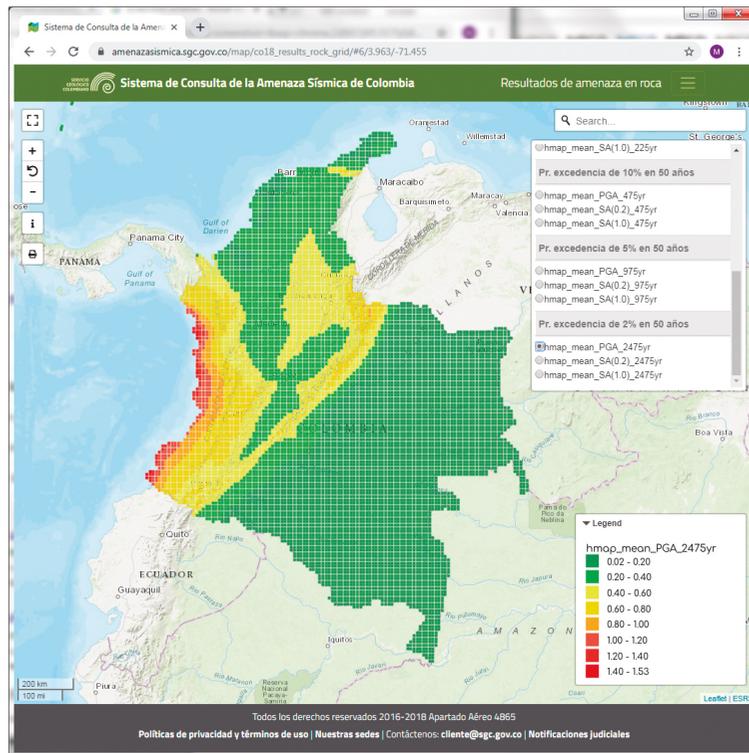
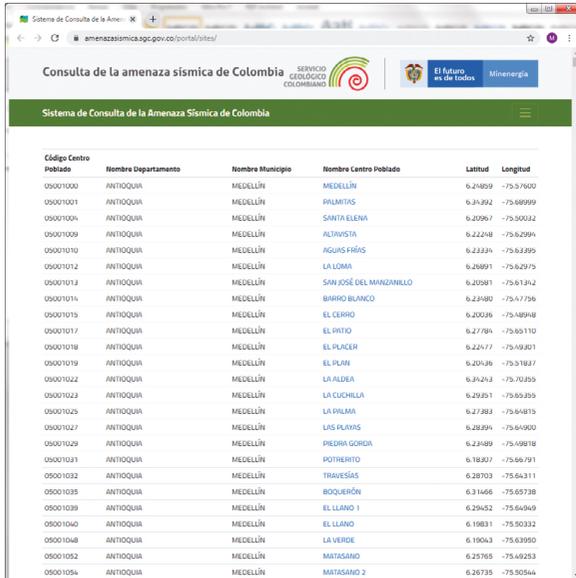


Figura L.10 Mapa de distribución de intensidades (PGA) probabilidad de excedencia del 2% en 50 años de exposición (periodo de retorno T_R 2475 años)

Estimaciones en centros poblados

Haciendo una selección del listado de centros poblados (<https://amenazasismica.sgc.gov.co/portal/sites/>), el módulo abrirá una nueva ventana del mapa con la localización del centro poblado seleccionado (Figura L.12), desde allí es posible desplegar las curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme como se presenta en los numerales siguientes (véase Figura L.13 y Figura L.15).



Código Centro Poblado	Nombre Departamento	Nombre Municipio	Nombre Centro Poblado	Latitud	Longitud
05001000	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	MEDELLÍN	6.24809	-75.57600
05001001	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	PALMITAS	6.24392	-75.68999
05001004	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	SANTA ELENA	6.20967	-75.50032
05001009	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	ALTAVISTA	6.22248	-75.62994
05001010	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	AGUIES FRÍAS	6.23324	-75.63895
05001012	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	LA LOMA	6.28891	-75.62975
05001013	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	SAN JOSÉ DEL MANZANILLO	6.20981	-75.61312
05001014	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	BARRO BLANCO	6.23480	-75.47795
05001015	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	EL CERRO	6.20026	-75.48948
05001017	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	EL PANTO	6.27784	-75.60110
05001018	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	EL PLACER	6.22477	-75.49801
05001019	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	EL PLAN	6.20436	-75.51837
05001022	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	LA ALDEA	6.24243	-75.70395
05001023	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	LA CUCHILLA	6.29351	-75.60395
05001025	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	LA PALMA	6.27383	-75.61815
05001027	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	LAS PLAYAS	6.28394	-75.61900
05001029	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	PIEDRA GORDA	6.23489	-75.49818
05001031	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	POTRERITO	6.18807	-75.66791
05001032	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	TRAVESÍAS	6.28703	-75.64311
05001035	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	BOQUERÓN	6.31466	-75.65738
05001039	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	EL LLANO 1	6.29452	-75.64969
05001040	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	EL LLANO	6.19831	-75.50322
05001048	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	LA VERDE	6.19043	-75.63950
05001052	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	MATASANO	6.25765	-75.62923
05001054	ANTIOQUIA	MEDELLÍN	MATASANO 2	6.26735	-75.50544

Figura L.11 Listado para la búsqueda de resultados por centro poblado

Curvas de amenaza

Es posible obtener las curvas de amenaza para tres (3) ordenadas espectrales (PGA, $S_a(T_e=0.2s)$ y $S_a(T_e=1.0s)$) y para cuatro (4) estadísticos (media y percentiles 0.15, 0.5 y 0.85) (Figura L.13).

Seleccionando cualquiera de las localizaciones presentadas en el mapa (como en la Figura L.12 o en la Figura L.14), se despliega la curva de amenaza para dicha localización en una ventana, al margen derecho del sitio web (véase Figura L.14). Debe estar seleccionada la capa de “curvas de amenaza” (hcurves_1.0y).

ra L.12), desde allí es posible desplegar las curvas de amenaza y espectros de amenaza uniforme como se presenta en los numerales siguientes (véase Figura L.13 y Figura L.15).

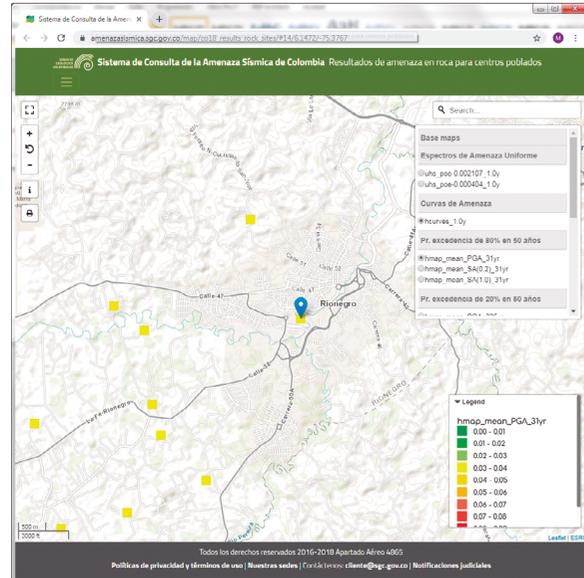


Figura L.12 Localización geográfica del centro poblado seleccionado

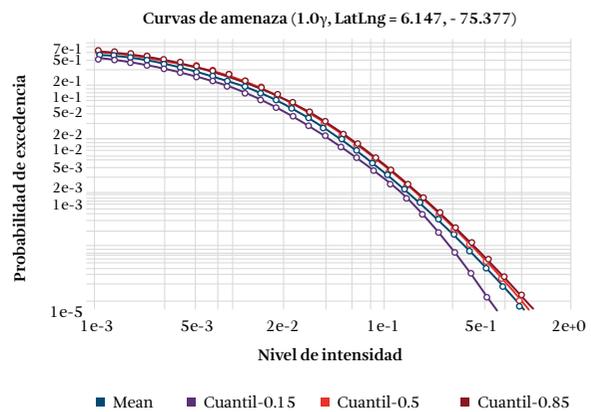


Figura L.13 Curva de amenaza del centro poblado para la intensidad seleccionada

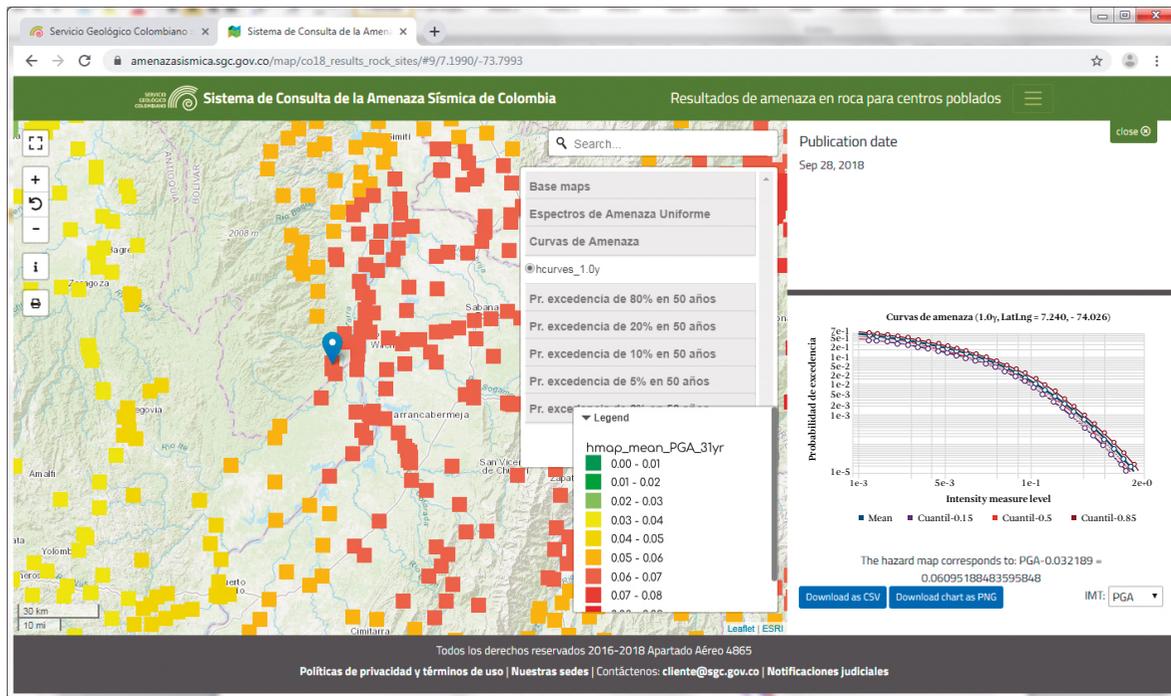


Figura L.14 Despliegue la curva de amenaza para la localización geográfica de interés.

En la ventana donde se despliega la curva de amenaza (recuadro de línea punteada, véase Figura L.14) se disponen (3) tres funciones: i) para la selección de la medida de intensidad, ii) para descargar los datos de la curva, o iii) una imagen de la curva, como se describe a continuación:

IMT: PGA
PGA
SA(0.2)
SA(1.0)

Es posible seleccionar de la lista de selección que aparece en la esquina inferior derecha de la figura, la ordenada espectral para la cual se quiere consultar la curva de amenaza.

Download as CSV

Haciendo clic en este botón es posible descargar los datos de la curva de amenaza (media y percentiles) en formato de texto separado por comas (*.csv).

Download chart as PNG

Haciendo clic en este botón es posible descargar una imagen de la curva de amenaza (*.png).

Espectros de amenaza uniforme

Esta curva presenta la aceleración esperada respecto de un período estructural (aceleraciones espectrales) asociada a una probabilidad de excedencia dado un tiempo de exposición determinado y para un factor de amortiguamiento respecto al amortiguamiento crítico (véase Figura L.15). Es posible obtener este espectro para 2 (23) periodos de retorno ($T_R = 457$ o 2475 años) y para cuatro (4) estadísticos (media y percentiles 0.15, 0.5 y 0.85).

Seleccionando cualquiera de las localizaciones presentadas en el mapa, se despliega el espectro de amenaza uniforme para dicha localización en una ventana al margen derecho del sitio web (véase Figura L.16). Debe estar seleccionada una de las dos (2) capas de “espectros de amenaza uniforme” (uhs_poe-0.002107_0.1y para $T_R=475$ o uhs_poe-0.000404_0.1y para $T_R=2475$, véase Figura L.16).

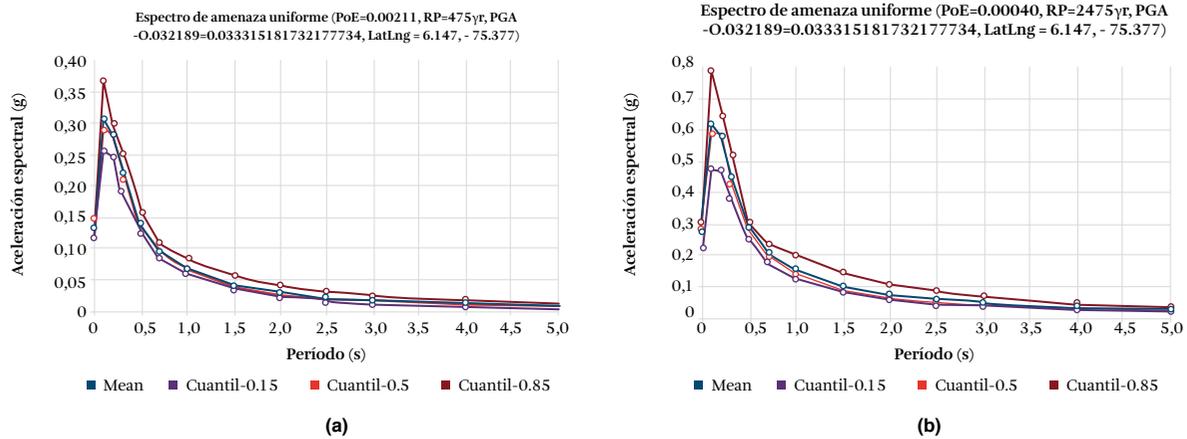


Figura L.15 Espectro de amenaza uniforme del centro poblado seleccionado (media y percentiles 0.5, 0.5, 0.85) (a) para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años de exposición (periodo de retorno T_R 475 años), y (b) para una probabilidad de excedencia del 2% en 50 años de exposición (periodo de retorno T_R 2475 años)

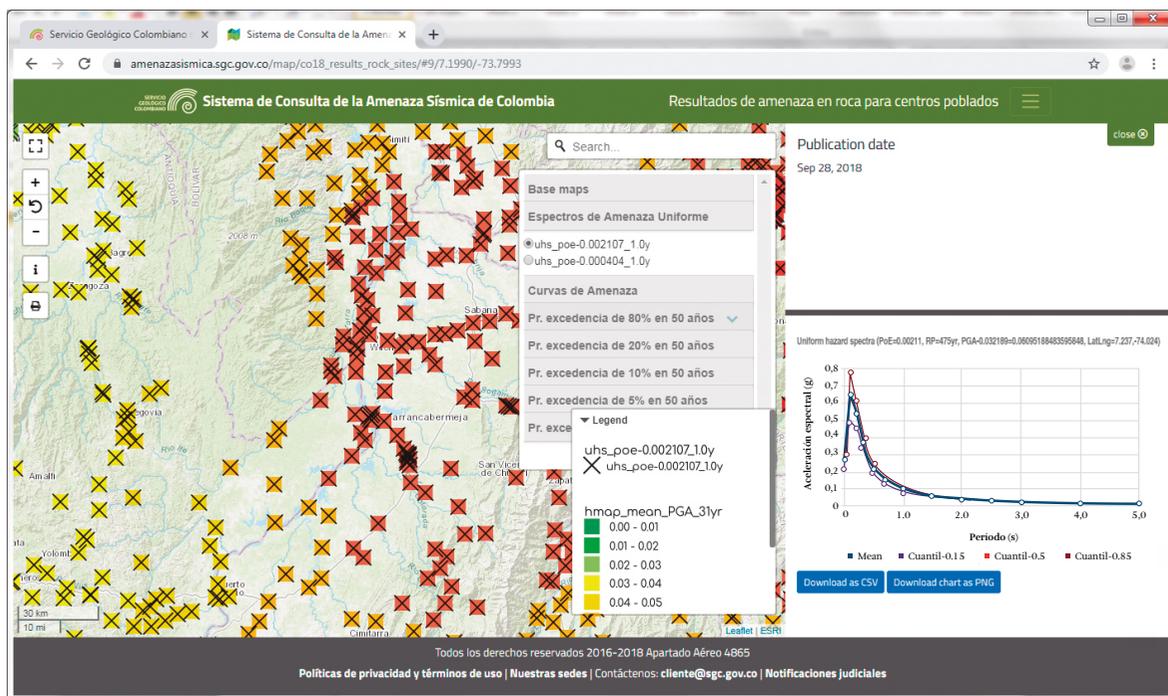


Figura L.16 Despliegue del espectro de amenaza uniforme para el periodo de retorno y localización geográfica de interés.

En la ventana donde se despliega el espectro de amenaza uniforme (recuadro de línea punteada, véase Figura L.16) se disponen dos (2) funciones: i) para descargar los datos, o ii) para descargar una imagen del espectro, como se describe a continuación:

Download as CSV

Haciendo clic en este botón es posible descargar los datos del espectro de amenaza uniforme (media y percentiles) en formato de texto separado por comas (*.csv).

Download chart as PNG

Haciendo clic en este botón es posible descargar una imagen del espectro de amenaza uniforme (*.png).

Referencias

Decreto 4131 de 2011 “Por el cual se cambia la Naturaleza Jurídica del Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas)”, Ministerio de minas y energía.

Decreto 2703 de 2013 “Por el cual se establece la estructura interna del Servicio Geológico Colombiano SGC y se determinan las funciones de sus dependencias”, Ministerio de minas y energía.

El reto del conocimiento de la amenaza y del riesgo sísmico lo asumimos con legitimidad y observancia científica. Somos conscientes de que el conocimiento no nace de una sola organización y que debe construirse con el aporte de una comunidad técnica. A la vez, la curiosidad propia de los investigadores y el deseo de un mejor conocimiento han permitido que el SGC explore metodologías novedosas y establezca alianzas con expertos nacionales e internacionales para desarrollar un modelo de amenaza sísmica nacional. Teniendo en cuenta estos preceptos, queremos proveer a los tomadores de decisiones la mejor información existente sobre la amenaza y el riesgo sísmico.

ISBN: 978-958-52794-5-2

