

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/263887702>

INFLUENCIA DE LA “CALDAS TEAR” EN LA AMENAZA SÍSMICA DE COLOMBIA COMPARACIÓN CON EL ESTUDIO GENERAL DE AMENAZA SÍSMICA 2010

Conference Paper · May 2013

READS

109

4 authors:



[Mario A. Salgado-Gálvez](#)

Polytechnic University of Catalonia

40 PUBLICATIONS 56 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Gabriel Andres Bernal](#)

Polytechnic University of Catalonia

30 PUBLICATIONS 50 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Omar Dario Cardona](#)

National University of Colombia

167 PUBLICATIONS 1,440 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Luis E. Yamin](#)

Los Andes University (Colombia)

52 PUBLICATIONS 183 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

INFLUENCIA DE LA “CALDAS TEAR” EN LA AMENAZA SÍSMICA DE COLOMBIA COMPARACIÓN CON EL ESTUDIO GENERAL DE AMENAZA SÍSMICA 2010

Salgado M.A.¹, Bernal G.A.², Cardona O.D.³, Yamín L.E.⁴

RESUMEN

En enero de 2011, durante la Conferencia Penrose de la American Geophysical Union, celebrada en Manizales, se planteó una nueva interpretación tectónica en la cual se propone la existencia de una falla geológica que se le ha denominado Caldas Tear. A partir de esta propuesta se realizó una evaluación probabilista de la amenaza sísmica a nivel nacional considerando esta falla y la misma información base, en términos del catálogo de eventos y las demás fuentes sismogénicas utilizadas para la elaboración del Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 2010). Se obtuvieron resultados en forma de tasas de excedencia de intensidades del movimiento del suelo para diferentes ordenadas espectrales a partir de las cuales se construyeron espectros de amenaza uniforme. Se construyeron mapas de amenaza para diferentes ordenadas espectrales y períodos de retorno. Los resultados obtenidos ilustran variaciones en los niveles de amenaza para algunas poblaciones como Bogotá, Manizales y Medellín.

Palabras claves: Evaluación probabilista de amenaza sísmica, nueva interpretación tectónica, espectros de amenaza uniforme.

ABSTRACT

In January 2011, during the Penrose Conference of the American Geophysical Union held in Manizales, a new tectonic interpretation where the existence of a geological fault that has been named Caldas Tear was presented. From that proposal a probabilistic seismic hazard assessment at national level was conducted using the same base information in terms of catalog and seismic sources used for the National Seismic Hazard Assessment Study (AIS, 2010). The results were obtained in terms of exceedance rates for several spectral ordinates and from them uniform hazard spectrum were calculated. Hazard maps were obtained for different spectral ordinates and return periods. The obtained results present variations in the hazard levels for some cities such as Bogotá, Manizales and Medellín.

Keywords: Probabilistic seismic hazard assessment, new tectonic interpretation, uniform hazard spectrum.

El presente artículo hace parte de las memorias del VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, organizado por la Universidad Industrial de Santander (UIS), UPB Seccional Bucaramanga y la Asociación de Colombiana de Ingeniería Sísmica. Bucaramanga, 29 al 31 de mayo de 2013.

¹ Universidad Politécnica de Cataluña, msalgado@cimne.upc.edu

² Universidad Politécnica de Cataluña, gabernal@cimne.upc.edu

³ Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, odcardonaa@unal.edu.co

⁴ Universidad de Los Andes, lyamin@uniandes.edu.co

INTRODUCCIÓN

Tras la reunión Penrose de la American Geophysical Union que se celebró en Manizales en enero de 2011, una nueva interpretación tectónica fue tomada en cuenta para la evaluación probabilista de amenaza sísmica a nivel nacional. Durante esta reunión se realizó una reunión con diferentes participantes y expositores con quienes se definieron los criterios para su alineamiento, la asignación de sismos a esta fuente y la interacción entre esta y otras fuentes sismogénicas previamente definidas e identificadas. La proyección en planta de las fuentes superficiales es la que se presenta en la Figura 1.

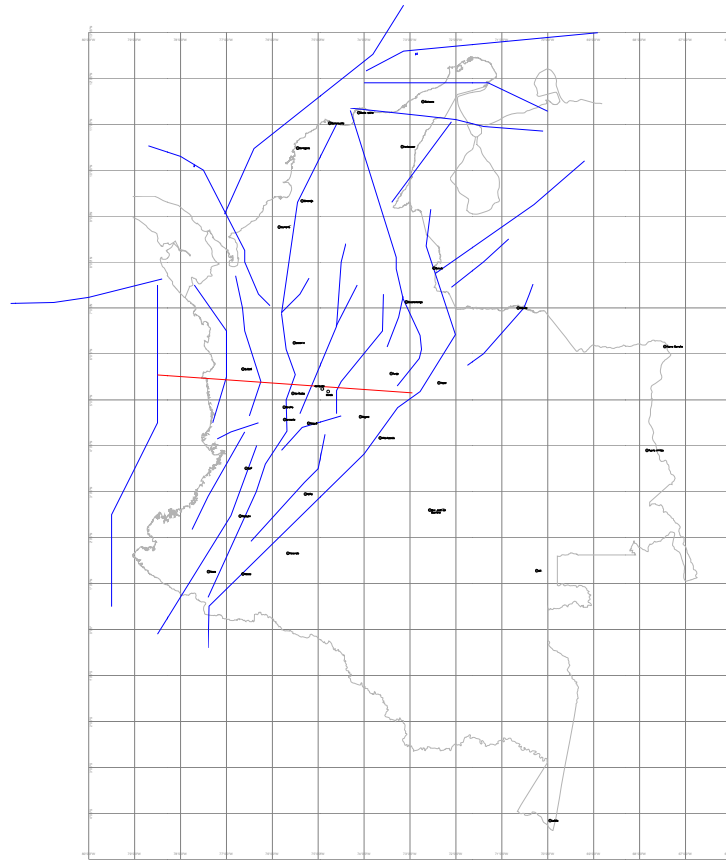


Figura 1. Proyección en planta de las fuentes superficiales

Esta nueva fuente tiene un alineamiento E-O que interactúa con una serie de fuentes definidas en el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 2010) tales como Murindó, Romeral, Palestina, Salinas y la Frontal Cordillera Oriental. Tras haberse definido el alineamiento se definió un corredor de asignación de 60 kilómetros de ancho para proceder con la asignación de sismos. Al corredor de la Caldas Tear le fue dada prioridad en el proceso de asignación por lo que los corredores de las fuentes con alineamiento N-S que se intersectan fueron interrumpidos. La Figura 2 muestra los corredores (en verde) así como la proyección de las fuentes en superficie en el área de interés.

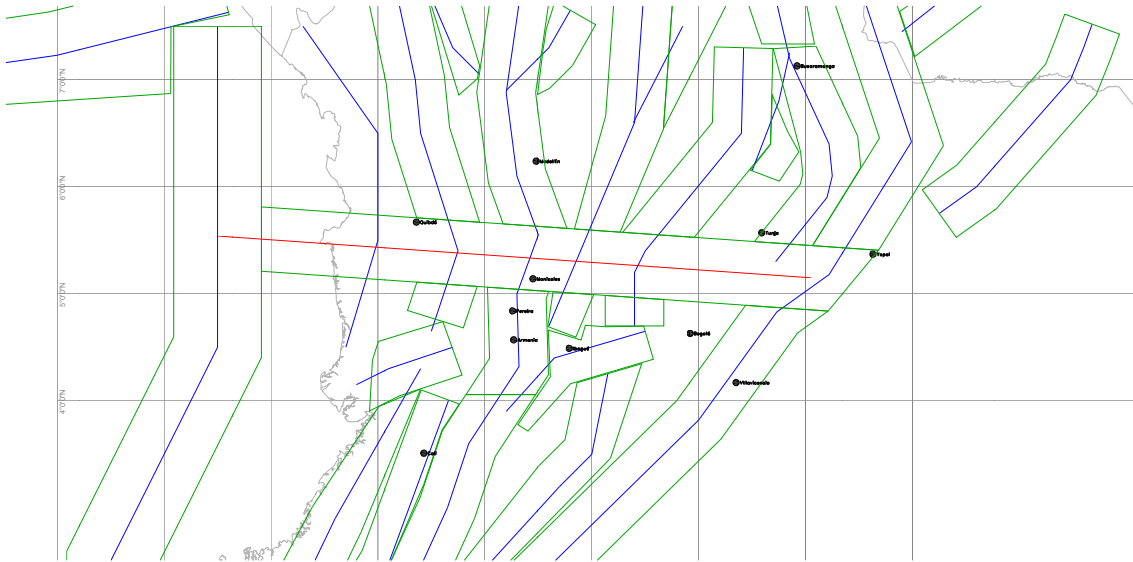


Figura 1 Corredores de asignación en el área de interés

ASIGNACIÓN DE EVENTOS

Para asignar la actividad sísmica en las fuentes de interés el catálogo fue clasificado por profundidad de los eventos registrados por lo que para las fuentes previamente identificadas con alineamiento N-S en el área de interacción que se muestra en la Figura 2, todos los eventos con profundidades entre 0 y 20 kilómetros fueron asignados a ellos mientras que los que tienen profundidades entre 20 y 60 kilómetros fueron asignadas a la fuente Caldas Tear. Muchas de las fuentes consideradas en el EGASC no tuvieron cambios ni en la geometría ni en su caracterización si se comparan con los resultados obtenidos en este.

Como es entendida, la Caldas Tear consiste en una fractura de la placa que constituye un punto de cambio de comportamiento en los patrones tectónicos y de sismicidad en el país. Hacia el norte de la fractura, la placa tiene menores tasas de desplazamiento y un ángulo de subducción de alrededor 24° mientras que hacia el sur de ella, la tasa de desplazamiento es mayor y el ángulo de subducción se estima en 35° . Con esa información, se realizaron modificaciones en los planos fuente que modelan las tres zonas de subducción así como la Zona de Benioff intermedia y profunda. La fuente Caldas Tear se modeló como un plano vertical entre los 5 y los 60 kilómetros de profundidad. Las Figuras 3 y 4 muestran los planos fuente de las fuentes superficiales y profundas utilizadas en el análisis.



Figura 2 Fuentes sismogénicas superficiales

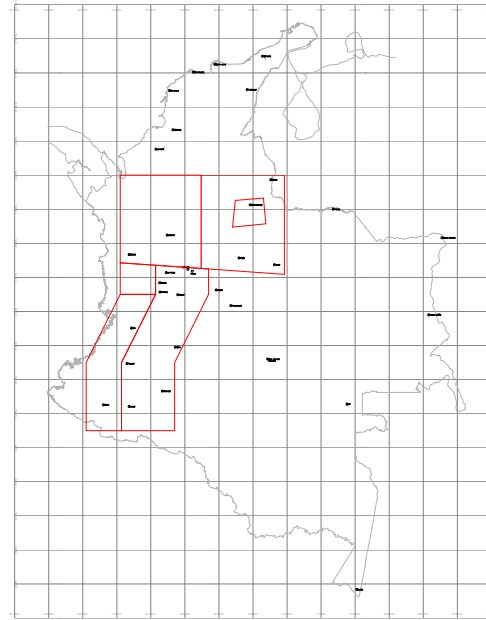


Figura 3 Fuentes sismogénicas profundas

El catálogo utilizado para este estudio es el mismo utilizado en el EGASC principalmente por dos razones:

1. Hacer ambos estudios comparables en cuanto a la utilización del mismo número de eventos.
2. No ha habido sismos fuertes registrados en el país desde el 28 de mayo de 2008 (sismo de Quetame).

PARAMETRIZACIÓN DE LAS FUENTES

Dicho lo anterior se ha utilizado una magnitud umbral (M_0) igual a 4.0 y se ha definido el año de 1962 como el inicio de la completitud del catálogo para dicha magnitud. Una vez se realizó el proceso de asignación a las fuentes, para cada una de ellas se calcularon los parámetros λ y β mediante el método estadístico de máxima verosimilitud (McGuire, 2004); la Figura 5 presenta la curva de recurrencia de magnitudes para la fuente Caldas Tear. Las Figuras 6 y 7 muestran la asignación de sismos a cada una de las fuentes superficiales y profundas. La Tabla 1 resume los valores de sismicidad utilizados en cada una de las fuentes.

Tabla 1. Parámetros de las fuentes sismogénicas

Source	λ	β	Mu	SIZE (Km ²)	λ /SIZE
Arco de Dabeiba	2.63	1.803	6.9	2.15E+04	1.22E-04
Benioff Intermedia I	6.02	1.802	8	6.36E+04	9.46E-05
Benioff Intermedia II	2.04	1.499	8	1.39E+04	1.47E-04
Benioff Intermedia III	2.26	1.918	8	8.10E+04	2.79E-05
Benioff Profunda I	4.52	2.084	7.5	9.31E+04	4.86E-05
Benioff Profunda II	2.65	1.412	7.5	1.14E+05	2.33E-05
Boconó	4.93	2.034	7.4	2.47E+04	2.00E-04
Bucaramanga Santa Marta Norte	0.13	1.333	6.5	4.53E+03	2.87E-05
Bucaramanga Santa Marta Centro	0.87	2.272	6.5	1.18E+04	7.39E-05
Bucaramanga Santa Marta Sur	0.93	3.307	6.9	1.60E+04	5.82E-05
Caldas Tear	1.67	1.501	7	3.46E+04	4.84E-05
Cauca	5.00	2.619	7.5	2.60E+04	1.92E-04
Cimitarra	0.59	2.967	6.5	2.20E+03	2.67E-04
Compresión Caribe SE	0.59	1.646	6.5	3.35E+04	1.75E-05
Compresión Caribe SW	0.70	2.285	6.1	4.69E+04	1.48E-05
Cuiza	0.76	1.741	6.6	1.27E+04	5.97E-05
Espíritu Santo	0.22	2.04	6.5	4.43E+03	4.90E-05
Fallas del Magdalena	0.28	1.1	7	9.39E+03	3.00E-05
Frontal Cordillera Oriental N	1.48	1.497	8	1.05E+04	1.41E-04
Frontal Cordillera Oriental C	2.13	1.467	8	3.77E+04	5.65E-05
Frontal Cordillera Oriental S	2.37	2.256	8	1.16E+04	2.05E-04
Garrapatas	0.26	3	6.5	4.30E+03	6.07E-05
Ibagué	0.26	1.579	6.9	6.94E+03	3.76E-05
Junín	0.15	2.188	7	2.17E+04	7.01E-06
Murindó	3.48	1.406	7.5	1.94E+04	1.79E-04
Nido de Bucaramanga	32.10	1.88	6.5	8.53E+03	3.76E-03
Normal Panamá	2.20	1.829	7.1	2.46E+04	8.94E-05
Oca	1.63	2.055	6.5	1.32E+04	1.23E-04
Palestina	0.96	1.679	6.5	1.23E+04	7.78E-05
Perijá	0.59	3.068	6.5	1.24E+04	4.74E-05
Puerto Rondón	0.24	1.803	6.7	5.22E+03	4.58E-05
Romeral	1.50	2.05	7.6	2.76E+04	5.43E-05
Romeral Norte	0.46	1.875	6.5	2.67E+04	1.71E-05
Salinas	1.41	2.063	6.5	2.34E+04	6.03E-05
Suárez	1.33	2.469	6.5	6.55E+03	2.03E-04
Subducción Norte	3.22	1.521	8.6	4.54E+04	7.08E-05
Subducción Centro	1.02	1.116	8.6	1.97E+04	5.17E-05
Subducción Sur	9.35	1.851	8.9	8.07E+04	1.16E-04
Uribante-Caparro	0.87	1.6	7	6.61E+03	1.31E-04

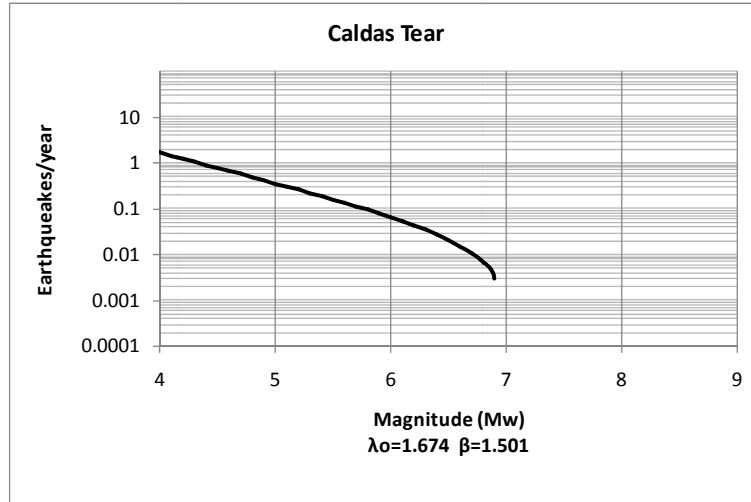


Figura 4 Curva de recurrencia de magnitudes para la fuente Caldas Tear

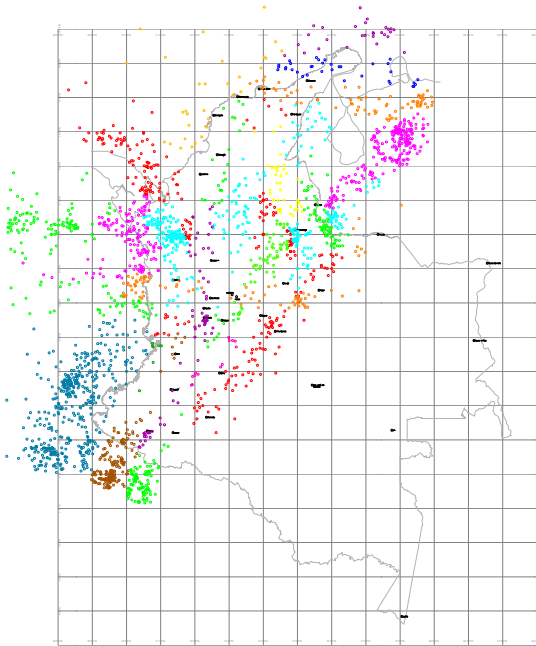


Figura 5 Asignación de eventos superficiales

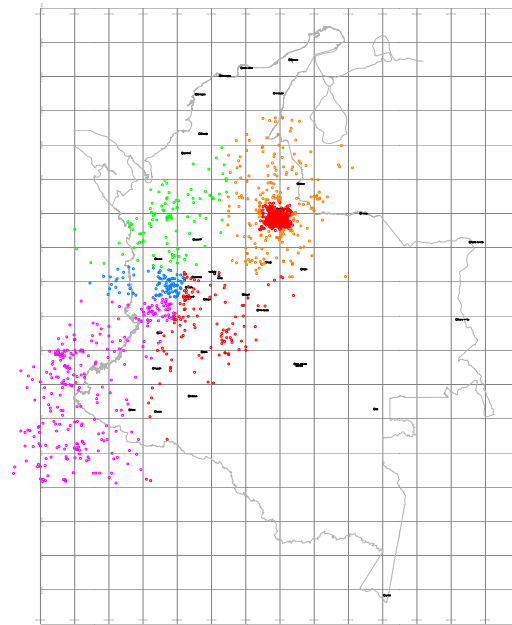


Figura 6 Asignación de eventos profundos

LEYES DE ATENUACIÓN

Las relaciones de atenuación utilizadas fueron las mismas del estudio (Gallego, 2000) las cuales han sido calibradas con datos de sismos locales y representan en una manera adecuada los patrones de atenuación en la región. Estas leyes de atenuación se encuentran diferenciadas para la zona intraplaca y la zona de subducción considerando así que dependiendo de la zona donde se generen los sismos existen diferentes mecanismos. Adicionalmente estas son leyes de atenuación espectrales que permiten la obtención de espectros de amenaza uniforme (EAU) para los puntos de interés.

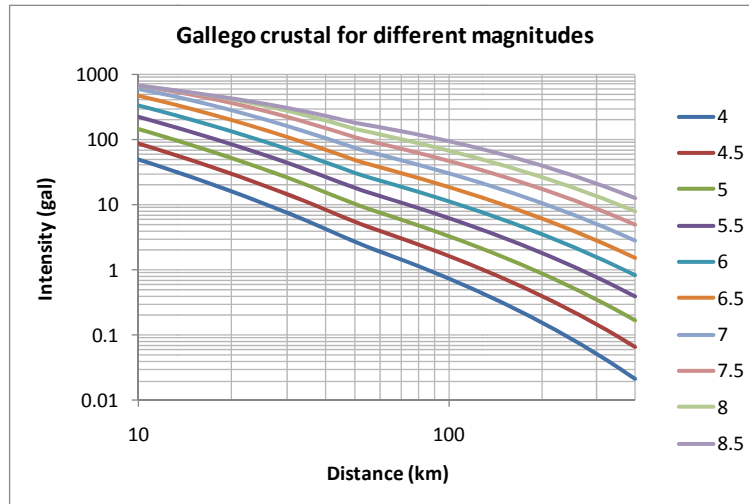


Figura 7 Ley de atenuación para la zona intraplaca (PGA)

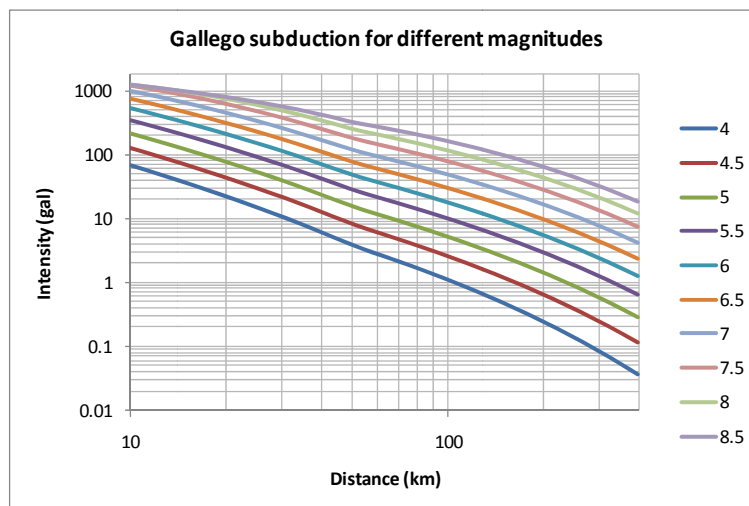


Figura 8 Ley de atenuación para la zona de subducción (PGA)

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA

Usando el programa de cálculo de amenaza sísmica CRISIS 2007 V7.6 (Ordaz et al., 2007) que fue la misma herramienta utilizada en la elaboración del EGASC, se hizo una evaluación probabilista y espectral de la amenaza sísmica a nivel nacional. La Figura 10 presenta los resultados en términos de la aceleración máxima del terreno (PGA) para un período de retorno de 475 años.

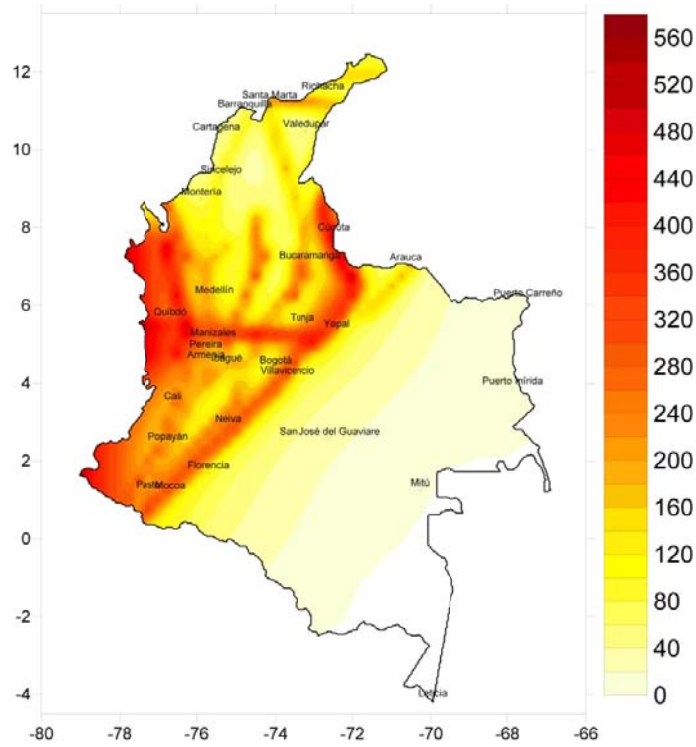


Figura 9 PGA para 475 años de período de retorno [gal] considerando la Caldas Tear

La Figura 11 presenta los resultados para la misma ordenada espectral y período de retorno obtenidos en el EGASC.

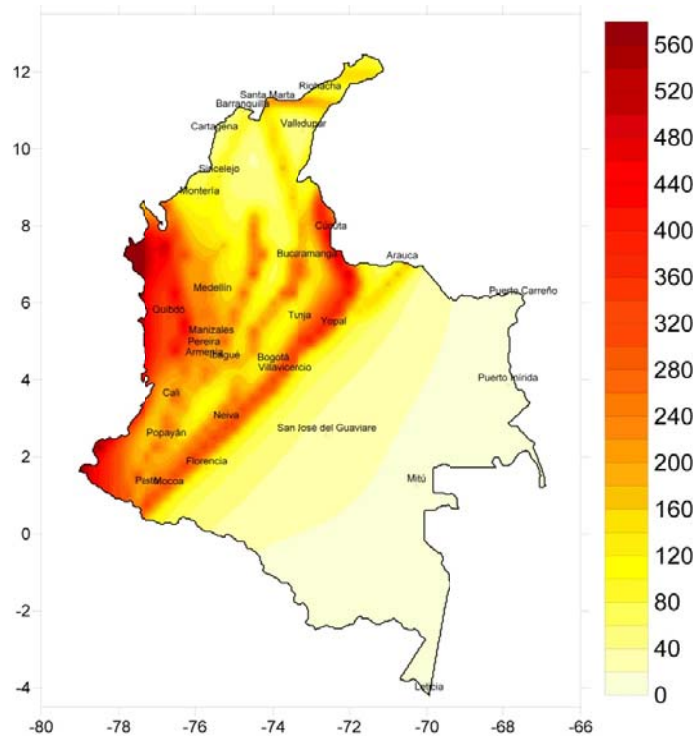


Figura 10 PGA para 475 años de período de retorno [gal] del EGASC

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Al realizar la comparación entre ambos modelos es posible realizar la resta de resultados esperados en cada punto de la malla de cálculo entre el modelo considerando la Caldas Tear y el modelo del EGASC. La Figura 12 presenta estos resultados y en ella se muestran en rojo las zonas donde la amenaza ha aumentado (diferencia positiva) y en verde las zonas donde la amenaza ha disminuido (diferencia negativa). Tal y como se desprende de la figura, es evidente la variación significativa de las aceleraciones esperadas en diferentes regiones del país. En primer lugar hay una disminución notoria de la amenaza sísmica en la zona pacífica cercana a la frontera con Panamá la cual puede ser explicada por haber considerado un ángulo de subducción mayor que en el EGASC.

Adicionalmente hay un aumento considerable de la amenaza sísmica en la proyección en superficie de la fuente Caldas Tear con variaciones notorias en las ciudades de Manizales y Tunja.

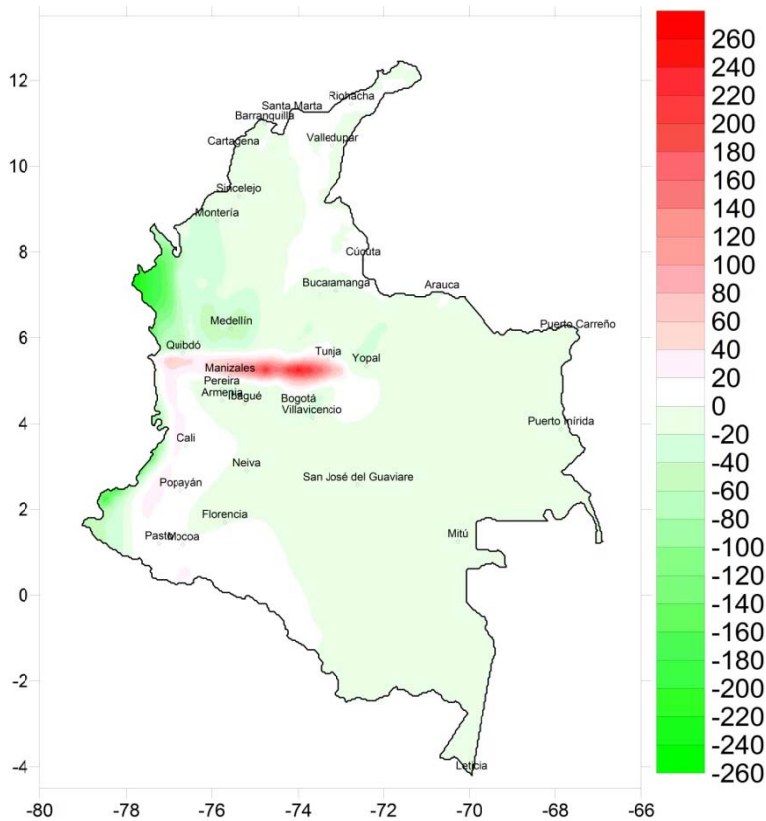


Figura 11 Comparación entre los dos modelos para PGA y 475 años de período de retorno

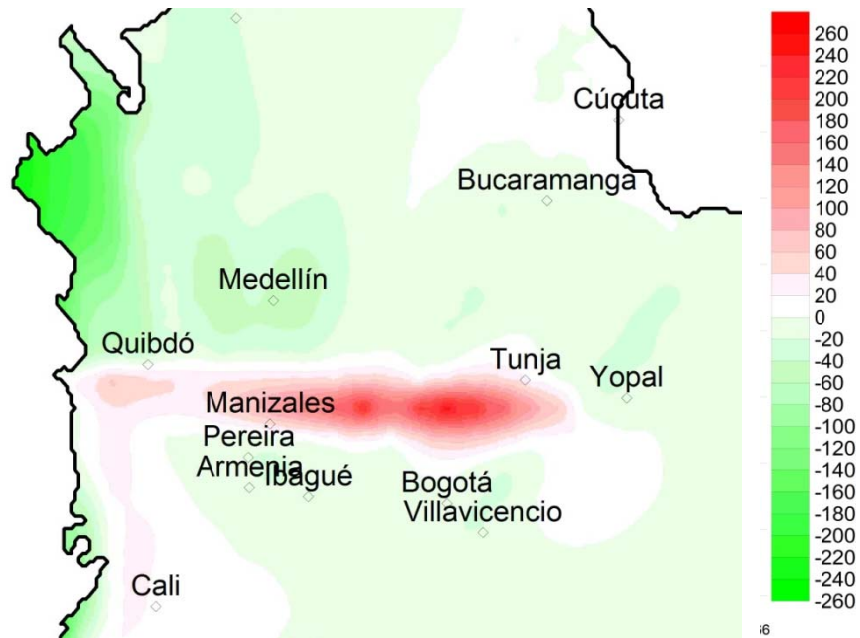


Figura 12 Detalle de la Figura 12

De acuerdo al Reglamento NSR-10 el país se divide en tres zonas de amenaza sísmica siendo estas baja, moderada y alta; la Tabla 2 muestra los límites en términos de la aceleración a partir de los parámetros A_a y A_v mientras que la Figura 14 muestra esta zonificación.

Tabla 2 Zonas de amenaza sísmica

Aceleración [g]	Zona de amenaza sísmica
$>0.25g$	Alta
$0.10g - 0.25g$	Moderada
$<0.10g$	Baja

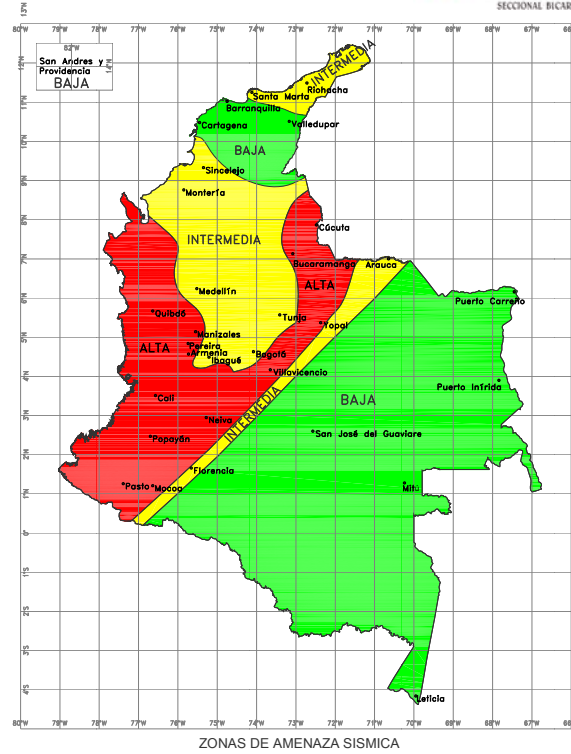


Figura 13 Zonas de amenaza sísmica definidas en el Reglamento NSR-10 (MAVDT, 2010)

Utilizando estos mismos límites, se presenta lo que sería la nueva zonificación al considerar la fuente Caldas Tear en la Figura 15.

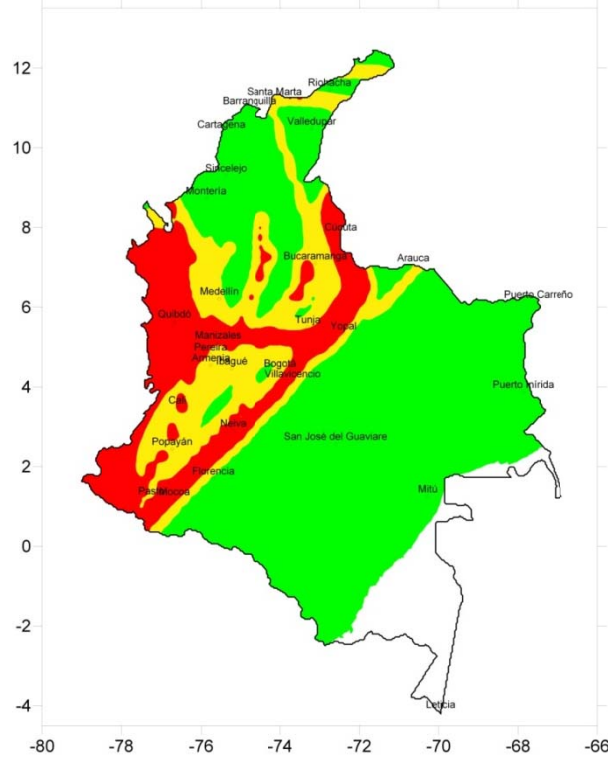


Figura 14 Zonas de amenaza sísmica considerando el modelo Caldas Tear

Haciendo una revisión de los resultados obtenidos no se presenta cambio en la definición de las zonas sísmicas para ninguna capital de departamento en el país aunque si se observan variaciones en el valor exacto de aceleración esperada. Estos valores exactos no son utilizados en prácticas de diseño de edificaciones pero son comunes en las evaluaciones de riesgo sísmico por lo que en las métricas del riesgo se esperan variaciones en ciudades como Manizales y Bogotá. Las Figuras 16 a 25 presentan comparaciones en términos de espectros de amenaza uniforme para 475 y 2,500 años de período de retorno en algunas ciudades principales donde variaciones (sea de aumento o disminución) en los valores de amenaza fueron identificadas.

Ciudades con aumento en la amenaza:

- Manizales
- Tunja

Ciudades con disminución en la amenaza:

- Bogotá
- Medellín
- Quibdó

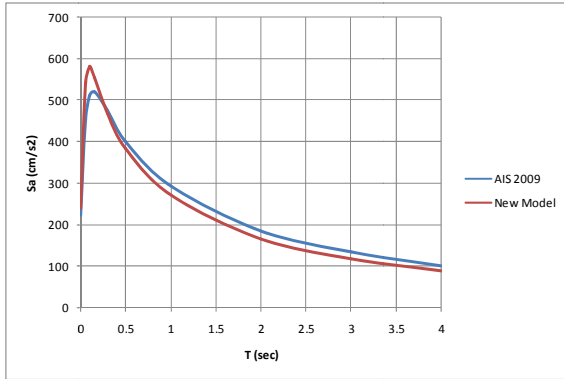


Figura 15 Comparación de EAU para Manizales, 475 años

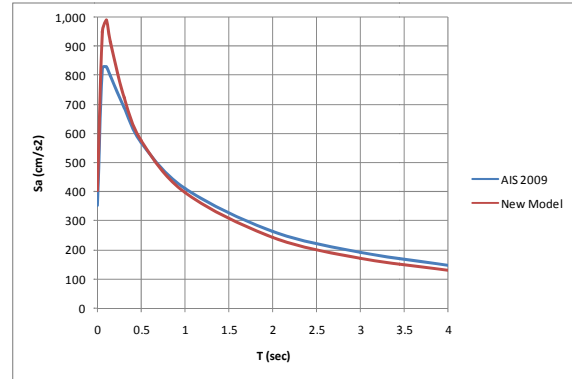


Figura 16 Comparación de EAU para Manizales, 2,500 años

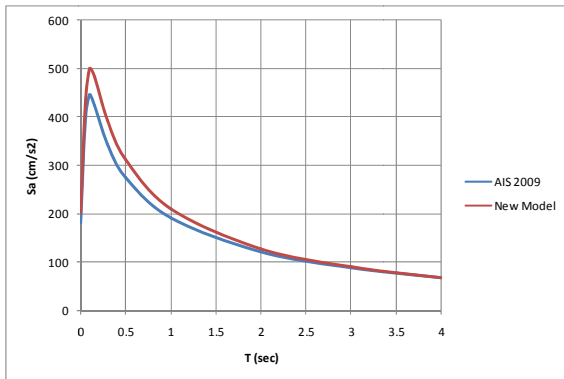


Figura 17 Comparación de EAU para Tunja, 475 años

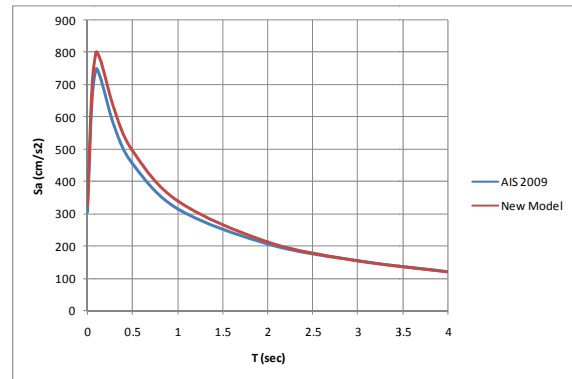


Figura 18 Comparación de EAU para Tunja, 2,500 años

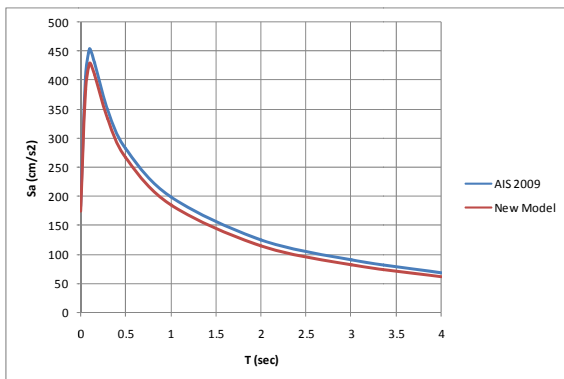


Figura 19 Comparación de EAU para Bogotá, 475 años

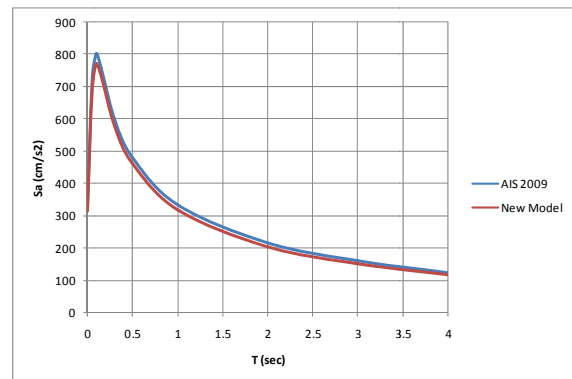


Figura 20 Comparación de EAU para Bogotá, 2,500 años

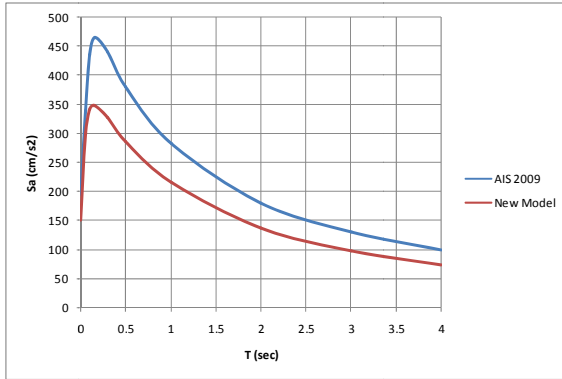


Figura 21 Comparación de EAU para Medellín, 475 años

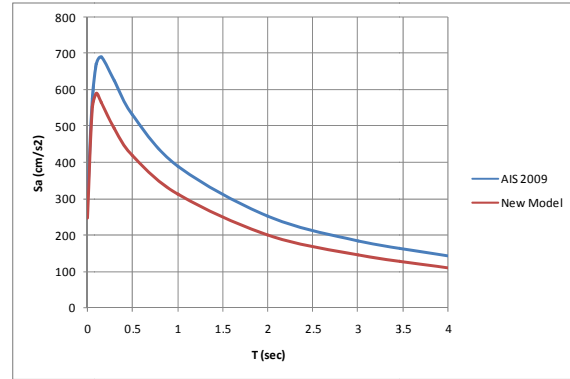


Figura 22 Comparación de EAU para Medellín, 2,500 años

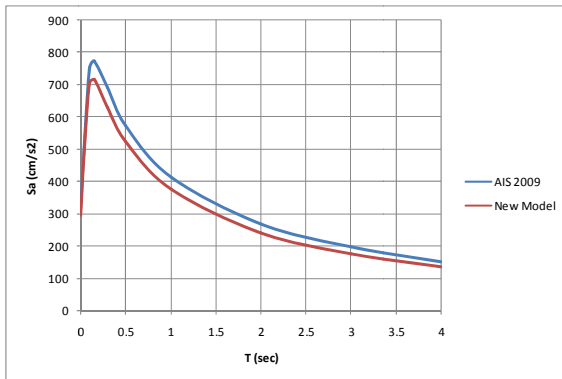


Figura 23 Comparación de EAU para Quibdó, 475 años

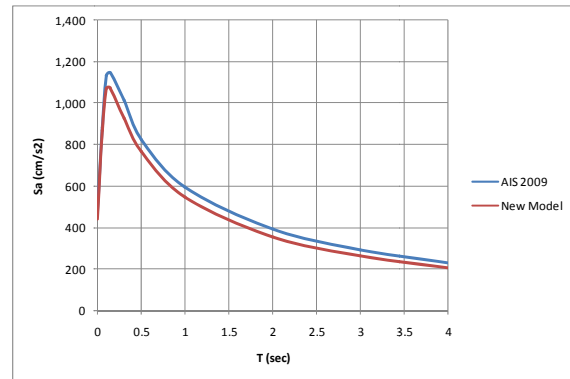


Figura 24 Comparación de EAU para Quibdó, 2,500 años

CONCLUSIONES

- La interpretación tectónica considerando la existencia de la falla Caldas Tear presenta variaciones considerables en los valores de amenaza en algunas ciudades principales de Colombia como Bogotá, Manizales y Medellín.
- La existencia de la falla Caldas Tear implica modificaciones en las zonas de amenaza sísmica lo cual implicaría aumento en los requisitos de diseño sismo resistente en ciudades como Manizales, Quibdó y Tunja.
- Para efectos de actualización y armonización de microzonificaciones sísmicas en las ciudades con variaciones es recomendable utilizar la información de amenaza en roca considerando el modelo de Caldas Tear.
- Las variaciones en los niveles de la amenaza también se ven reflejados en variaciones de los resultados de riesgo en métricas como pérdidas anuales esperadas y pérdidas máximas probables para diferentes períodos de retorno en las ciudades con variaciones.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS., (2010). “Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia”, Comité AIS-300. Bogotá, Colombia.

Gallego M., (2000)., “Estimación del riesgo sísmico en la República de Colombia”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 110pp.

McGuire R.K., (2004)., “Seismic hazard and risk analysis”, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), Oakland CA, EEUU, 221pp.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT., (2010). “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10”, Bogotá, Colombia.

Ordaz M, Aguilar A, Arboleda J., (2007). “CRISIS, Program for computing seismic hazard”, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.