

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA EN ROCA PARA EL VALLE DE ABURRÁ

Por

Carlos Andrés Blandón U.¹

Josef Farbiarz F.²

Juan Diego Jaramillo³

Manuel Roberto Villarraga H.⁴

Resumen

Como parte del programa orientado a identificar y evaluar el nivel de riesgo natural al cual están expuestos los municipios del Valle de Aburrá, la Administración del Área Metropolitana del Valle de Aburrá ordenó un estudio de microzonificación sísmica, el cual incluyó la evaluación de la amenaza sísmica a nivel de roca en todo los municipios del valle. Este estudio fue realizado conjuntamente por Integral S.A., Universidad EAFIT y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, con el apoyo del INGEOMINAS.

El proyecto se basó en información geológica, geomorfológica y tectónica, tanto existente como proveniente de estudios complementarios realizados para el proyecto, que incluyeron la evaluación de la actividad de las fallas más cercanas al valle, localizadas en su parte suroccidental.

Paralelamente al trabajo de neotectónica, se actualizó el catálogo sísmico nacional, preparado con base en la información de la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC). La actualización incluye el análisis de cubrimiento, el cálculo de recurrencia de las magnitudes y la identificación de zonas con sismicidad homogénea para todo el país.

Con la ayuda de un programa especializado⁵, basado en análisis estocástico, se estimó la amenaza sísmica para los centros de los once municipios que conforman la zona metropolitana del Valle de Aburrá, y se obtuvo un mapa de isoaceleraciones para toda el área. Con base en esta información, se prepararon espectros de amenaza uniforme en roca para diseño y para control de daños, correspondientes a la aceleración con una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años y de 50% en 50 años, respectivamente.

Con base en los registros sísmicos de la Red Acelerográfica de Medellín (RAM), y a partir de funciones empíricas de Green, se generaron acelerogramas sintéticos el Valle de Aburrá.

Los resultados obtenidos muestran que hay una diferencia significativa en la amenaza sísmica calculada, entre los municipios ubicados al sur del valle y los del norte del valle, debido a que los primeros se encuentran más cerca de los ramales norte de la falla Romeral, que controlan la amenaza sísmica sobre la zona estudiada.

Palabras Clave

Amenaza Sísmica, Sismos Sintéticos, Valle de Aburrá.

Abstract

The seismic microzonification of the Aburra Valley Metropolitan Area was conducted as part of a program oriented to identify the natural risk to which the municipalities of this area are exposed. The microzonification included the seismic hazard evaluation in rock for all the municipalities. The study was prepared by Integral S.A., EAFIT University, The National University of Colombia at Medellín, with the support of INGEOMINAS.

¹ Ing. MSc, Ingeniero de Diseño, Integral S.A. Unidad de Geología y Geotécnia. Medellín - Colombia

² Ing. M.S.C.E, Director, Centro de Proyectos e Investigaciones Sísmicas (CPIS), Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

³ Ing. PhD, Profesor Facultad de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT

⁴ Ing. MSc, Profesor Asistente, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia y Director de Unidad, Integral S.A. Unidad de Geología y Geotécnia. Medellín - Colombia

⁵ FZ-RISK©, debidamente licenciado a Integral S.A.

The study was based on existing geologic, geomorphologic and tectonic information and complemented with new information and studies developed for the project, such as the evaluation of the faults closest to the valley, located nearby to the southwest.

At the same time, the seismic national catalog was up dated with information of the Colombian National Seismological Net. The study included a completeness analysis, the calculation of magnitude recurrence, and the identification of homogenous seismic zones within the national territory.

Using a specialized risk analysis software (FZ-RISK©), the probabilistic seismic hazard was computed at each municipality, obtaining an isoaccelerations map for the entire valley. Uniform hazard design spectra (corresponding to acceleration level with an exceedance probability of 10 % in 50 years) and damage control spectra (corresponding to acceleration level with an exceedance probability of 80% in 15 years) were obtained.

Additionally, synthetic accelerograms were obtained, using empirical Green functions, based on earthquake records from the Medellín's Accelerographic Network.

A significant difference between the hazard of the valley's north and south municipalities was found, probably due to the fact that the latter are located nearer than the former, to the north branches of the Romeral Fault, which controls the hazard imposed on the analyzed area.

keywords

Seismic Hazard, Synthetic accelerograms, Aburrá's Valley.

1. Introducción

En todo el mundo se ha vuelto evidente la necesidad medir el riesgo a que están expuestas las grandes urbes ante eventos naturales. Lo anterior ha surgido como el resultado de las catástrofes sufridas en múltiples países por inundaciones, deslizamientos y terremotos. Lo anterior también está asociado al rápido crecimiento demográfico y la expansión no planificada en zonas amenazadas por los mencionados fenómenos.

Los municipios del Valle de Aburrá cumplen con todos los requisitos mencionados en el párrafo anterior, inclusive en el pasado, esta zona ha sufrido los efectos causados por diversos fenómenos naturales. Por tal motivo se hace necesaria la evaluación de los condiciones de amenaza sísmica a la que esta expuesta la zona del valle.

Como parte importante fundamental de la estimación del riesgo al que esta expuesto un lugar determinado, está la evaluación de la amenaza sísmica al nivel de la roca. En este documento se describe el procedimiento y los resultados obtenidos para dicha evaluación en los municipios que conforman el Valle de Aburrá.

2. Metodología

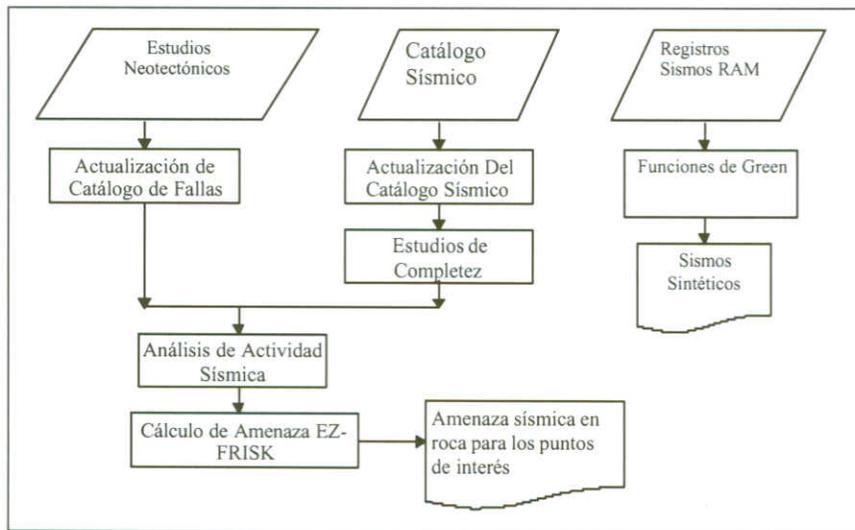
Como base fundamental de un estudio de microzonificación sísmica detallado, es necesaria la evaluación de la amenaza sísmica a nivel de roca. Esto se debe a que a partir de esta información se pueden llegar a definir espectros de diseño en la superficie para diferentes condiciones de suelo.

La evaluación de la amenaza sísmica consiste en determinar el nivel de intensidad sísmica que se puede exceder en un sitio determinado para un periodo de tiempo dado. El objetivo es conocer que tan propensa es la zona de estudio a sufrir terremotos de cierta intensidad a lo largo del tiempo.

La metodología que se propone utilizar en este proyecto es el resultado de la experiencia adquirida en estudios realizados anteriormente, tal como fue el caso del proyecto de Microzonificación Sísmica de Medellín realizado por el Grupo de Sismología de Medellín y publicado en el año de 1999. Además, también se incluyen procedimientos y teorías desarrolladas recientemente en diferentes partes del mundo, junto con criterios mas refinados apoyados en evaluaciones estadísticas. De esta forma se espera obtener resultados de amenaza sísmica confiables que permitan guiar la definición de espectros de diseño para el área metropolitana del Valle de Aburrá.

En la figura 1 se muestra mediante un diagrama de flujo los pasos que se realizaron para determinar la amenaza sísmica en los municipios del Valle de Aburrá. Inicialmente, se tomaron los resultados de los estudios geológicos y neotectónicos que se realizaron en dentro del proyecto, con el fin de actualizar la caracterización de las sismofuentes consideradas para el cálculo de la amenaza. Los estudios se concentraron principalmente en la zona sur oeste del área metropolitana, hacia los municipios de Caldas, Itagüí, La Estrella, ya que es en estos puntos donde mas incertidumbre existe en cuanto a la actividad o presencia de fallas. Lo anterior es importante ya que la presencia de fallas activas locales podría afectar significativamente el resultado de la amenaza sísmica de la zona, además que podría generar importantes diferencias relativas entre los municipios ubicados al sur y el norte del Valle del Aburrá. Entre los aportes importantes de estos estudios estuvo la segmentación de las fallas ubicadas en el occidente de la región evaluada, las cuales en su mayoría hacen parte del sistema Romeral. Además, fue posible identificar fuentes sismológicas en el oriente de la ciudad, las que no se habían tenido en cuenta para evaluaciones anteriores.

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología usada para el calculo de amenaza.



Paralelamente, se realizó un estudio de completez de la información sismológica a partir de la actualización del catálogo sísmico de la RSN. A partir de la evaluación de la información sismológica y de los resultados obtenidos de la exploración de campo, se revaluaron los parámetros sismológicos característicos de las falla de la región, siguiendo el procedimiento utilizado en el estudio de Instrumentación y Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín (GSM, 1999), basándose en áreas de sismogénicas homogéneas.

Con base en estos datos se calcularon las tasas de excedencia de aceleraciones en roca para diversos puntos del Área Metropolitana utilizando un enfoque probabilístico utilizando el programa EZ-FRISK®. Para considerar la incertidumbre de los parámetros utilizados para el cálculo de la amenaza se definió un árbol de probabilidades, con base en la variables mas sensibles para los resultados del valor total de la amenaza, por ejemplo, leyes de atenuación, nivel de actividad y buzamientos de las fallas que mas aportan a la amenaza, etc. El árbol de probabilidades permite tener en cuenta las variaciones de los parámetros utilizados. Este nivel de variación se debe tanto a la escasez de información disponible como a la aleatoriedad del fenómeno. Los parámetros que fueron variados en el árbol de probabilidades fueron el buzamiento de las fallas del sistema Romeral, la tasa de actividad o de movimiento de las fallas del mismo sistema y las ecuaciones de atenuación, tanto superficiales como profundas.

Se obtuvieron espectros de control de daño y diseño, tal como se definen en la NSR-98, con periodos de retorno de 10 y 475 años respectivamente.

Se calculó la amenaza a nivel de la roca a lo largo del Valle de Aburrá con el fin de conocer su variación. Los centros de cada municipio (Parque Central) son los lugares donde se realizó esta evaluación.

Con el fin de obtener acelerogramas que pudieran ser utilizados en la modelación de la respuesta del suelo se generaron registros sintéticos, usando funciones de Green empíricas.

Estas funciones consisten en generar sismos de magnitudes cercanas las máximas esperadas de una fuente determinada, a partir de sismos con magnitudes menores. Esto está justificado en que generalmente no se tiene registros de sismos de magnitudes máximas de una fuente debido a que son poco frecuentes, pero sí es posible obtener los registros de sismos de magnitudes menores, ya que su ocurrencia es mucho más frecuente.

Siguiendo este procedimiento se generaron sismos para diferentes clases de fuentes. Esto es, se obtuvieron acelerogramas sintéticos para fuentes profundas y superficiales a partir de acelerogramas de sismos pequeños provenientes de los tipos de fuentes mencionadas. Los registros se obtuvieron de los sismos que hasta el momento se han podido obtener la Red Acelerográfica de Medellín (RAM).

3. Datos

3.1 . Catálogo Sísmico

Debido al impacto de la actividad sísmica sobre la vida de las personas, la historia recoge los temblores de tierra desde tiempos remotos. En la región que hoy conforma Colombia existen registros históricos de actividad sísmica que se remontan al siglo XVI. El padre jesuita Jesús Ramírez publicó uno de los catálogos históricos más completos sobre la ocurrencia de sismos en el país (Ramírez, 1975).

A principios del siglo XX se instalaron los primeros sismómetros y sismógrafos en el país, pero sólo hasta mediados del siglo se instalaron redes coherentes que arrojaron resultados consistentes.

INGEOMINAS desarrolló una actualización de la información sísmica que había sido generada en Colombia en diversos medios, incluyendo la información histórica. Este estudio, publicado en 1995 (INGEOMINAS, 1995), contenía 3 761 registros; e incluía la incipiente información recopilada por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), que había comenzado a operar en junio de 1993.

Desde 1996, el Centro de Proyectos e Investigaciones Sísmicas (CPIS) de la Facultad de Minas, ha estado recopilando y procesando información, para mantener al día un catálogo de actividad sísmica que incluye la información histórica, la información instrumental registrada por las diferentes redes nacionales (estas dos fuentes sumaban 5 064 registros hasta 1998) y la información instrumental registrada por la RSNC que, hasta noviembre de 2001, fecha de la última actualización de la información del INGEOMINAS, tiene 38 696 registros, para un total de 43 760 eventos en total. Pero en esta cantidad, existen datos repetidos porque la RSNC comienza a funcionar desde junio de 1993, de manera que la información que detecta se superpone con la detectada por otras redes nacionales e internacionales.

Para la elaboración del catálogo actualizado del CPIS se realizó una revisión de la información para detectar los registros duplicados, tras lo cual quedaron en total 42.457 registros; este catálogo original se sometió a varios procedimientos adicionales para garantizar su integridad y su cubrimiento y se produce un catálogo procesado. Luego se eliminaron eventos que pertenecen a sismo fuentes muy alejadas del mismo territorio, registrados por teledetección de ondas sísmicas de eventos en diversas partes del globo.

La magnitud es un dato básico para caracterizar las sismo fuentes. Sin embargo, su cálculo se basa en información empírica aproximada que, algunas veces, arroja resultados incoherentes, como eventos con magnitud nula o negativa. Si se utilizaran estos registros para el análisis de la amenaza sísmica, se correría el riesgo de aumentar artificialmente el número de sismos pequeños, lo que podría interpretarse en una falsa reducción de la amenaza. Así, los eventos que no reportan magnitud se excluyen del catálogo final, reduciéndose a 26 711 registros.

El CPIS convirtió todas las magnitudes a magnitudes M_s , siguiendo los mismos procedimientos que el INGEOMINAS definió para tal propósito (INGEOMINAS, 1995). En la tabla 1 se resumen las diversas ecuaciones utilizadas.

Tabla 1. Ecuaciones para conversión entre escalas de magnitudes

ESCALA ORIGINAL	ECUACIÓN
Eventos históricos, reportados con I_0	$M_s = 1 + \frac{2}{3} I_0$ (1)
Eventos reportados con m_b	$M_s = 1.10 m_b - 1.08$ ($m_b \leq 5.2$) (2a)

	$M_s = 1.97 m_b - 5.63$ ($m_b > 5.2$) (2b)
Eventos reportados con M_d	$m_b = 0.6 M_d + 1.1$ (3) (A M_s con 2a y 2b)
Eventos reportados con M_l	$m_b = 0.4 M_l + 2.3$ ($M_l < 5.6$) (4a)
	$m_b = 1.6 M_l - 4.2$ ($M_l \geq 5.6$) (4b) (A M_s con 2a y 2b)
Eventos localizados en Ecuador	$M_s = 1.157 m_b - 0.873$ (6a) $M_s = M_m$ (6b)
Eventos localizados en Perú	$m_b = 0.757 m_{LSP} + 1.027$ (7a)
	$M_s = 1.644 m_b - 3.753$ ($m_b < 5.9$) (7b)
	$M_s = 2.763 m_b - 10.301$ ($m_b \geq 5.9$) (7c)
Eventos localizados en Panamá	$M_s = M_{uk} = 1 + \frac{2}{3} I_0$ (8)

3.2. Análisis de cubrimiento

Una vez se eliminan los eventos inmediatamente identificables como no aptos para el catálogo final, se requiere ejecutar un análisis que indique qué tan completo es el registro de los movimientos sísmicos; en otras palabras, qué tan consistente, en el tiempo y en el espacio es la detección histórica e instrumental de sismos. A este proceso se le conoce con el nombre de análisis de cubrimiento o “completez”. En la figura 1 se muestra la variación del número acumulado de eventos contra su magnitud, para el catálogo considerado.

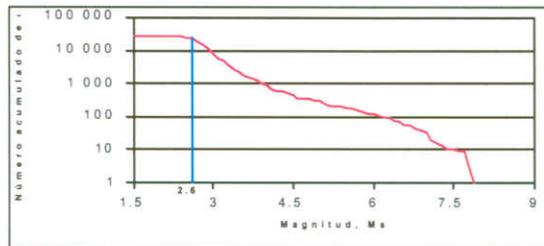


Figura 1. Cubrimiento del catálogo sísmico.

De la anterior figura se observa que por debajo de una magnitud igual a 2.6 la curva de eventos acumulados contra magnitud tiende bruscamente hacia una recta horizontal, por lo que puede afirmarse que el catálogo está incompleto para magnitudes menores que 2.6. De tal manera que dichos sismos se excluyen del catálogo definitivo, reduciéndose a 16 812 registros.

Del anterior análisis se conoce cuál es la mínima magnitud por debajo de la cual el catálogo no es completo. Sin embargo, la facilidad de registrar sismos aumenta en función de la magnitud. Así, los registros históricos son más confiables para sismos de gran magnitud y los registros instrumentales aumentan su capacidad de percibir sismos pequeños a medida que la tecnología mejora. De tal manera, el cubrimiento del catálogo no es confiable desde la misma fecha para todas las magnitudes y es necesario realizar el análisis para intervalos de magnitud independientes. En la tabla 2, se muestra el resultado del análisis para los diferentes intervalos de magnitudes.

Tabla 2. Fecha de inicio del cubrimiento del catálogo para intervalos específicos de magnitudes.

INTERVALO DE MAGNITUDES (Ms)	FECHA DE INICIACIÓN DEL CUBRIMIENTO
2.6 a 3	1993
3 a 4	1993
4 a 5	1945
5 a 6	1938
6 a 7	1922
Mayores que 7	1904



No es coincidencia que sea precisamente a partir de 1993 que entra en operación la RSNC. Esto demuestra que los sismos de magnitudes pequeñas sólo pueden detectarse con redes modernas y con equipos colocados en todo el territorio nacional.

Los eventos localizados en intervalos de más o menos $0,5^\circ$, de latitud, longitud o ambos y que hayan ocurrido con una separación de máximo siete días, se clasificaron como réplicas, excluyéndolas del catálogo procesado, con lo que quedaron 15 280 registros en el catálogo.

3.3 Sismo fuentes

La sismicidad en el territorio colombiano se produce por varios mecanismos geotectónicos. Entre ellos, los más importantes son: la subducción a lo largo de la Costa Pacífica, que genera actividad en toda la gama de profundidades a medida que la placa oceánica se interna bajo la placa continental, la actividad superficial en las fallas geológicas de la corteza, y la actividad profunda del sitio conocido con el nombre de Nido de Bucaramanga y en el Eje Cafetero. Para identificar el tipo de sismicidad de los registros del catálogo procesado, se dividió la información en función de la profundidad, en cuatro intervalos.

Actividad superficial: en la figura 1 se muestra la actividad del catálogo procesado, con profundidades iguales o inferiores a 35 km, localizada sobre un mapa de Colombia, junto con las principales fallas geológicas del país.

La actividad superficial del extremo noroccidental en cercanías de la costa Pacífica colombiana, parece coincidir con la propuesta de un mecanismo geofísico coherente con la existencia de una cuña o microplaca tectónica, entre las placas Nazca, Sudamericana y Caribe, conocida con el nombre de microplaca de Panamá. La subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana produce sismos a lo largo del frente de choque entre placas, en el nivel de la corteza. Sin embargo, la actividad superficial atribuible a la subducción no es uniforme a todo lo largo de la costa. Existen propuestas y evidencias (Grupo de Sismología de Medellín, 1999) que apuntan a que la subducción adquiere una marcada doble curvatura alrededor de la latitud 4° norte, creando una especie de hondonada que parece dividir el mecanismo en dos.

Puede apreciarse un cúmulo de actividad atribuible a la polémica falla Atrato, pero en todo caso en la región de las fallas Murindó, Mutatá, Uramita, entre otras. Esta sismo fuente se definió con el nombre de Murindó. A lo largo del sistema de fallas Romeral la actividad sísmica no parece distribuirse homogéneamente. Sin embargo, si se aprecian cúmulos de eventos atribuibles a este sistema. Por lo tanto, se dividió el sistema en tres porciones con actividad aproximadamente homogénea, resultando en tres sismo fuentes:

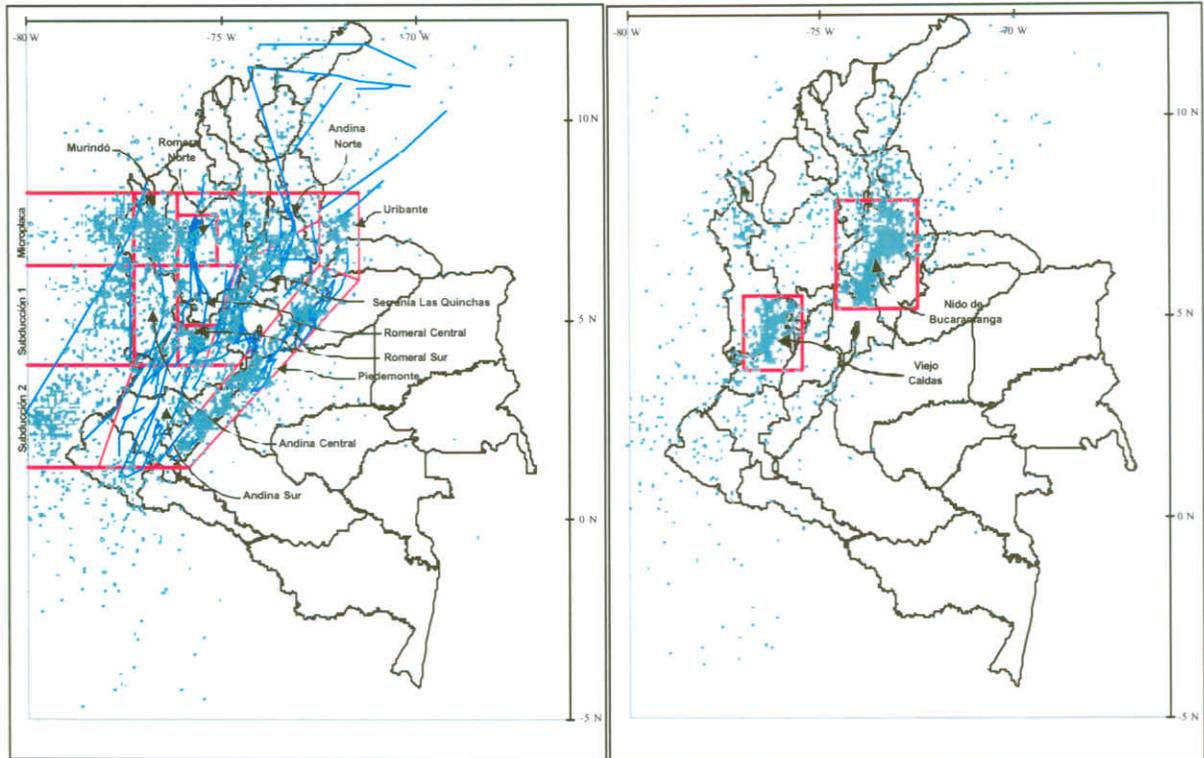


Figura 1 Zonas sísmicas superficiales.

Figura 2. Zonas sísmicas profundas
(75 a 150 km)

Una gran serie de eventos es atribuible a los sistemas de fallas geológicas que corren a lo largo de la Serranía de Las Quinchas. Otra acumulación de eventos fácilmente atribuibles, se localiza a lo largo de las fallas del Piedemonte Llanero. El resto de la actividad se dividió en tres sismo fuentes localizadas aproximadamente a lo largo de la cordillera central, definidas como Andina Norte, Andina Central y Andina Sur, más una sismo fuente localizada en las postrimerías de la cordillera oriental, en la región de la Falla de Uribante.

Actividad profunda (Profundidad ≥ 35 km): en la figura 2 se muestra la actividad registrada en el catálogo con profundidades entre 70 km y 150 km. Allí se aprecian dos concentraciones de actividad. La primera es atribuible al mecanismo de subducción que ha generado muchos sismos en la zona del Viejo Caldas y la segunda, representa la sismo fuente conocida con el nombre de Nido de Bucaramanga, de mecanismo aún no muy bien explicado y que genera sismos de mediana profundidad y moderada intensidad.

La actividad con profundidad entre 35 km a 70 km no es atribuible a ninguna de las sismo fuentes identificadas por lo que se incluyó en la sismicidad por subducción local. En la figura 3 se presenta la actividad con profundidades mayores que 150 km. Allí también se identifican las sismo fuentes del Viejo Caldas y del Nido de Bucaramanga.

El resto de la actividad profunda no es atribuible a ninguna sismo fuente en particular. Parte de esta entonces, se atribuye a fenómenos aún no conocidos y se le asigna el nombre de sismicidad de fondo.

Otra parte se asigna a la subducción local, es decir, al mecanismo de subducción inmediatamente por debajo de la zona de mayor influencia sobre el Área Metropolitana, que se incluye en una esfera de aproximadamente 100 km de radio. En la figura 4 se muestra el área de subducción local, que se dividió en tres áreas de actividad aproximadamente homogénea.

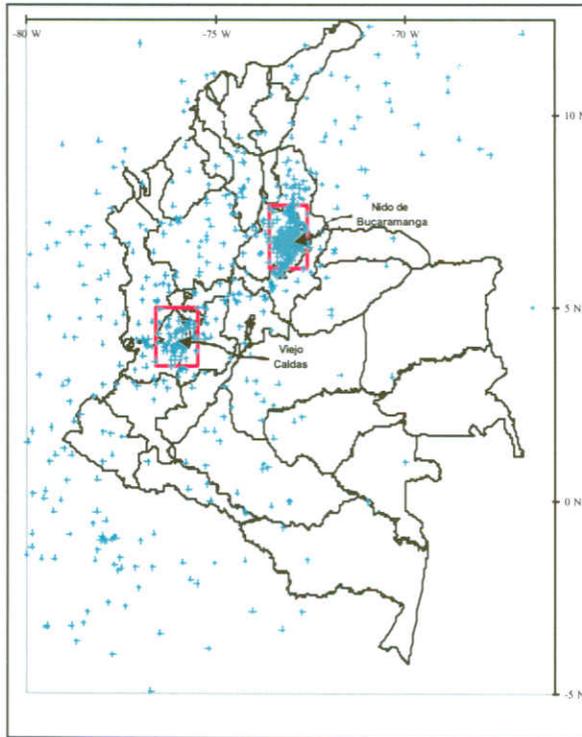


Figura 3 Zonas sísmicas profundas (> 150 km)

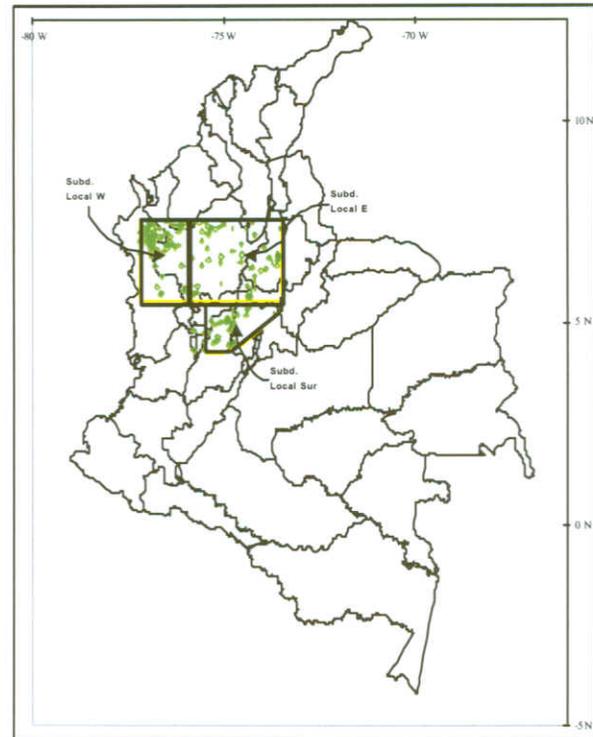


Figura 4. Zonas sísmicas Locales

4. Evaluación de la Recurrencia de Magnitudes.

Para evaluar la amenaza sísmica se requieren ciertos parámetros calculados con base en la información de cada sismo fuente. En particular, se calculó el logaritmo del número de eventos promedio anuales, desde el inicio del cubrimiento, para cada intervalo de magnitudes, con lo cual se obtiene la recurrencia de magnitudes. La pendiente de una línea de tendencia, calculada como regresión lineal, de los datos obtenidos, es el parámetro b , que es un índice de la distribución de probabilidades de ocurrencia de eventos de diferentes magnitudes. Los valores de b obtenidos para las diferentes zonas varían entre 0.54 y 1.31

4. Cálculo de la Amenaza

Una vez recopilada y procesada la información anterior se procedió a actualizar la base de datos de fallas que se tenía disponible. Esta base de datos es requerida por el Programa EZ-FRISK para el cálculo de la amenaza sísmica en los diferentes puntos específicos.

Con el fin de obtener resultados confiables y coherentes con la realidad se hizo un proceso de calibración. Durante dicho proceso se evalúan variables específicas obtenidas de diferentes formas para ajustarlas a un valor coherente, en lo posible que halla sido observado físicamente.

Una de las variables importantes para la calibración fue el nivel de actividad sísmica. Este valor indica el número de sismos de cierta magnitud que puede esperarse en un tiempo determinado. La actividad puede obtenerse tanto del programa EZ-FRISK como de los resultados obtenidos por el CPIS. Otra variable utilizada en el proceso es el nivel de intensidad sísmica, expresado como la aceleración a nivel de la superficie, ésta se da para un periodo de exposición determinado. La aceleración se puede obtener del programa EZ-FRISK y fue comparado con valores reportados históricamente en la región.

5. Resultados

Después de haber realizado el proceso de calibración y obtenido los valores para las diferentes ramas del árbol de probabilidades, se pudo obtener el nivel de aceleración a nivel de roca para los municipios del Valle de Aburra. Los resultados se obtuvieron para un truncamiento de dos desviaciones estándar en las ecuaciones de atenuación y para la media del árbol de probabilidades, lo que permiten obtener un nivel de confiabilidad de más del 90%.

5.1 Aceleración

En la figura 5 se muestra la tasa de excedencia de las aceleraciones para el municipio del extremo su (Caldas), extremo norte (Barbosa) e Intermedio (Medellín), la cual representa el numero de eventos por año que pueden esperarse que excedan un nivel de aceleración determinado. Por otro lado, en la figura 6 se muestran los espectros uniformes de aceleración en roca. El espectro representa la aceleración que puede experimentar una estructura con un periodo de vibración dado, para cada uno de los sismos con un periodo de retorno dado. En la tabla 3 se muestra la variación de aceleraciones en el valle, entre los centros de los municipios que lo integran.

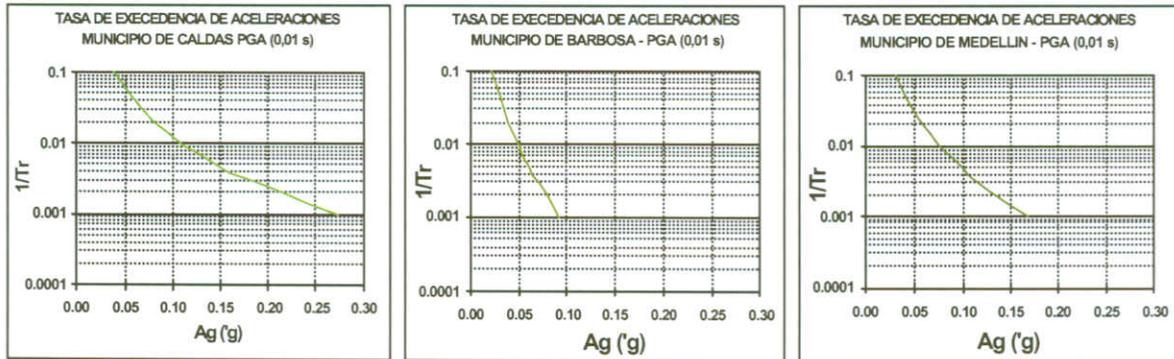


Figura 5. Tasa de excedencia de las aceleraciones para los municipios de Caldas, Barbosa y Medellín (de Izquierda a Derecha)

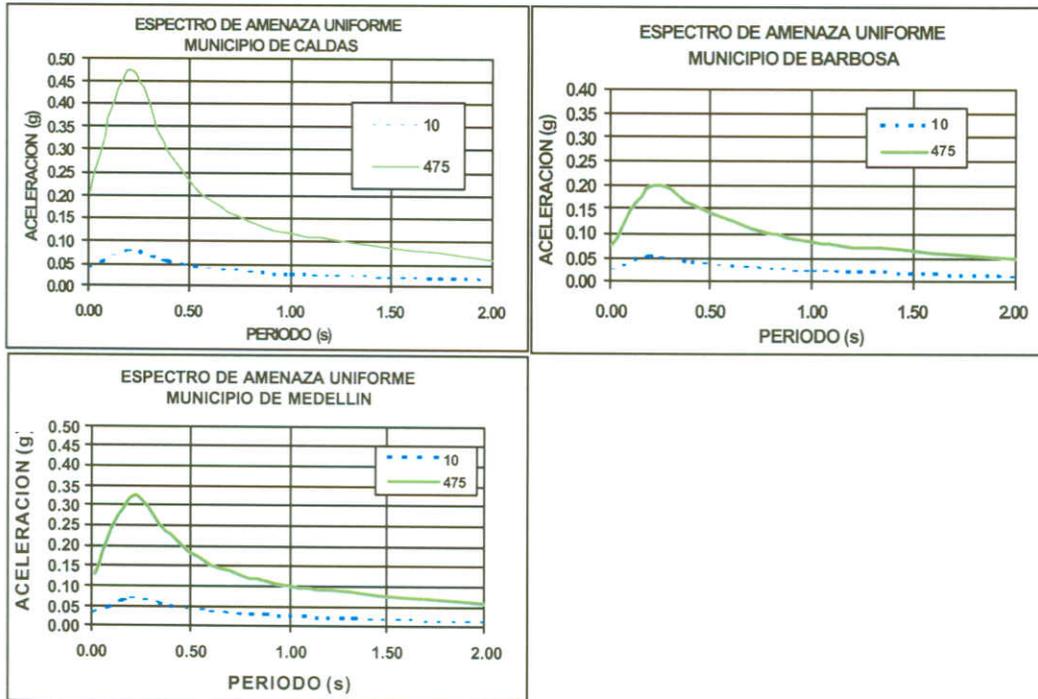


Figura 6. Espectros de amenaza uniforme en roca para periodos de retorno de 475 y 10 años de los municipios de Caldas, Barbosa y Medellín (de Izquierda a Derecha)

5.2 Disgregación por sismofuentes.

Para ilustrar el aporte de las diferentes fuentes a la amenaza evaluada de forma probabilística, en la figura 7 se presenta una desagregación tridimensional, que muestra la distribución de los aportes de aceleración por distancia y magnitud de los eventos que la generan. El análisis de estas figuras permite concluir que para las aceleraciones producidas por el sismo de diseño en cada una de los municipios evaluados, el principal aporte es producido por el sistema Romeral, ubicado entre 10 a 40 km al suroeste del centro de Medellín.

Tabla 3. Aceleración en roca.

MUNICIPIO	ACELERACION (g)	
	Control de Daño	Diseño
Caldas	0.04	0.21
Sabaneta	0.04	0.17
La Estrella	0.04	0.19
Itagui	0.04	0.16
Envigado	0.03	0.14
Medellín	0.03	0.13
Bello	0.03	0.14
Copacabana	0.03	0.11
Girardota	0.02	0.9
Barbosa	0.02	0.8

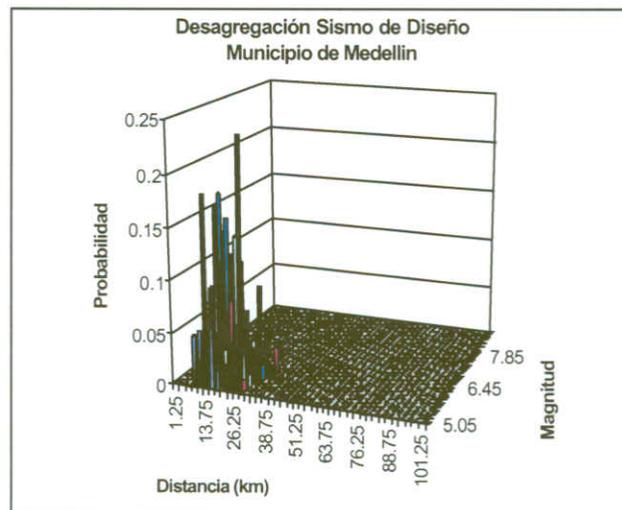


Figura 7. Desagregación de la amenaza para el centro del municipio de Medellín

5.3 Sismos De Diseño.

Para la generación de los sismos sintéticos se utilizaron acelerogramas “semillas” registrados por la Red Acelerográfica de Medellín (RAM). Se escogió un sismo proveniente de la zona de subducción para generar el acelerograma correspondiente al nivel de control de daño. Para el sismo de diseño se utilizó un sismo proveniente de la zona del sistema de fallas Cauca Romeral. En la figuras 8 se muestran los sismos semilla y generados para el sismo del niveles de diseño.

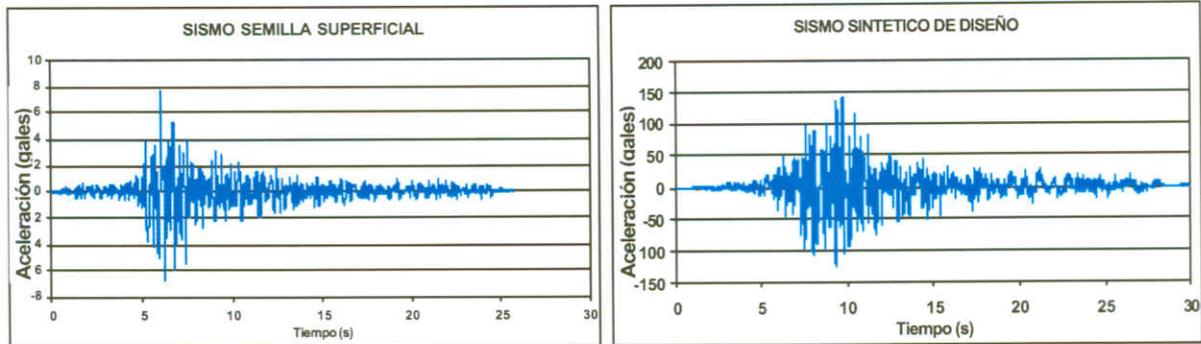


Figura 8. Función de Green empírica (registro de la RAM) y acelerograma sintético generado

CONCLUSIONES

El valle del Aburrá se encuentra localizado en una zona donde se presenta una disminución de la actividad sísmica, según se puede comprobar con ayuda del catálogo sísmico histórico e instrumental. La actividad sísmica que es continua en la zona de subducción se ve notablemente disminuida al oriente del valle del Río Cauca, en la latitud donde se encuentra el Valle de Aburrá. Dicha actividad vuelve a ser importante en las cercanías del valle del Río Magdalena.

La información obtenida por la RSNC ha aumentado dramáticamente, en los últimos cinco años, la cantidad de registros disponibles en el país. Evaluando esta información se encuentra que el catálogo sísmico está completo a partir de magnitudes iguales o superiores a 2,6. Además se pudieron identificar trece sismofuentes atribuibles a fallas geológicas superficiales, que producen eventos con profundidades menores a 35 km y dos sismofuentes principales con actividad asociadas a mecanismos profundos. La actividad no asociada a sismofuentes específicas se dividió entre sismicidad de fondo y sismicidad por subducción local.

A pesar de que no ha habido registros de sismos catastróficos en las cercanías del Valle de Aburra, si es evidente la presencia de fallas sísmicas geológicamente catalogadas como de actividad media. Dichas estructuras tienen la capacidad de generar sismos de magnitud importante que, en adición a la cercanía que tienen a los municipios del sur del Valle de Aburrá podrían causar efectos catastróficos si no se considera este factor en el diseño de las estructuras ubicadas en estos sitios.

La evaluación de la amenaza sísmica dio como resultado el nivel de aceleración horizontal en los diferentes municipios del Valle de Aburra. Como se puede observar, el máximo valor de dicha aceleración es para el municipio de Caldas. Lo anterior se debe a que este es el municipio que mayor cercanía presenta a las fallas del occidente, específicamente a algunos segmentos de la falla San Jerónimo. La amenaza disminuye hacia el oriente, siendo Barbosa el municipio con el menor valor de aceleración en el área metropolitana. Esto se debe a que hacia el oriente del área se da una disminución de la actividad sísmica, menor presencia de fallas y la distancia al sistema Cauca Romeral es mayor.

Finalmente, es importante resaltar que gracias al trabajo de neotectónica realizado y a la complementación del catálogo sísmico con información más reciente y completa fue posible hacer una evaluación de la amenaza sísmica más detallada y con métodos más actualizados que los usados en estudios anteriores, sin embargo, todavía existen fuentes sismogénicas sin evaluar detenidamente y serán necesarios muchos años de registros sísmicos para poder precisar y disminuir la incertidumbre que tienen implícitos los resultados obtenidos.

Bibliografía

- GRUPO DE SISMOLOGÍA DE MEDELLÍN. 2002 "Microzonificación Sísmica De Los Municipios Del Valle De Aburrá Y Definición De Zonas De Riesgo Por Movimientos En Masa E Inundaciones En El Valle De Aburrá ". Integral S.A.
- GRUPO DE SISMOLOGÍA DE MEDELLÍN. 1999 "Reevaluación de la Amenaza Sísmica e Instrumentación de la Ciudad de Medellín. INTEGRAL S.A.
- INGEOMINAS. Actualización y análisis del catálogo de sismos de Colombia. INGEOMINAS, 1995.



- RAMIREZ J.E. Historia de los Terremotos en Colombia. IGAC, Bogotá. Ed.-Andes, Santa Fé de Bogotá, 1975.

