

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.

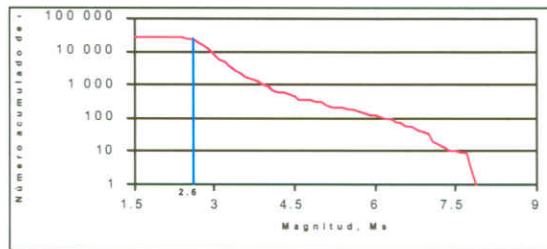


Figura 1. Cubrimiento del catálogo sísmico.

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 °, 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: