

# Actividad de la falla la salina a partir de instrumentación sismológica

ERNESTO GÓMEZ

Programa de maestría en geofísica. Departamento de Geociencias,  
Universidad Nacional de Colombia

LUIS ANTONIO CASTILLO LÓPEZ

Grupo de investigación en geofísica. Departamento de Geociencias,  
Universidad Nacional de Colombia, e-mail: lacastillo@unal.edu.co

## RESUMEN

La falla La Salina se ubica en el departamento de Santander, en una región de alta sismicidad y es definida como de tipo inversa. En general, no presenta claras evidencias morfológicas ni de actividad reciente, por lo cual en el presente trabajo se investiga un área de 294 km<sup>2</sup> de la misma.

Dentro del Proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso, desarrollado por ISAGEN S.A., se estableció una red sismológica de seis estaciones en una área cercana a la falla. Durante 124 días se evaluaron 2.367 sismos, de los cuales se seleccionaron 339 de calidad aceptable para la elaboración de mapas y perfiles. De estos sismos, la mayor parte están asociados al "Nido de Bucaramanga" y 131 eventos están relacionados a fallas cartografiadas en la región; y de ellos, sólo dos sismos están asociados a la falla La Salina en el área de estudio, que sugieren su actividad actual.

PALABRAS CLAVE: SISMOTECTÓNICA, INSTRUMENTACIÓN SISMOLÓGICA, NEOTECTÓNICA

## ABSTRACT

The "La Salina" Fault, located in a region of high seismicity was studied in an area of 294 km<sup>2</sup> in the Santander Department, it's defined as an inverse fault. In general it doesn't present clear morphological or actual activity evidences.

In the area of the Hydroelectrical Project of the Sogamoso River by ISAGEN S.A., a six stations seismic network was installed in an area near to the fault. During 124 days, 2.367 seismic events were evaluated; from these, 339 acceptable quality events were chosen for doing maps and profiles. Most of the seismicity is related to the "Bucaramanga Nest", other 131 seismic events were related to the mapped faults. Only two events were related to the "La Salina" Fault, defining a indicating low activity.

KEYWORDS: SEISMOTECTONIC, SEISMOLOGY INSTRUMENTATION, NEOTECTONIC

## INTRODUCCIÓN

Sismológicamente se ha verificado el grado de actividad de las fallas de Bucaramanga y del Suárez a partir de su instrumentación, mediante la implantación de redes (sismológicas) locales y regionales, en el desarrollo de varios proyectos científicos que buscan explicar el "Nido de Bucaramanga" (Coral Gómez, 1985, a y b; Pennington, 1981; Rivera, 1984) y técnicos como el Proyecto hidroeléctrico de los ríos Fonce y Suárez.

Estas evidencias de actividad tectónica, junto con el desconocimiento del grado de actividad de otras rupturas importantes, como

es el caso de la falla La Salina, y su cercanía al área de influencia del Proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso, justifican un estudio local con el fin de evaluar el riesgo sísmico y su efecto sobre las obras civiles que se construirán dentro del Proyecto río Sogamoso.

En consecuencia, se implantó una red de seis estaciones sismológicas, como se detalla en la tabla 1 y figura 1, cubriendo un área aproximada de 40 km<sup>2</sup> entre San Vicente de Chucurí al sur, Sabana de Torres al norte, Girón al oriente y Lisama al occidente. La Red de Sismógrafos operó entre los meses de febrero y junio de 1995.

### Localización

El Proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso se ubica en el km 54 de la vía que conduce de Bucaramanga a Barrancabermeja, en el sitio

Manuscrito recibido para evaluación el 15 de abril de 2003.

Artículo aceptado para publicación por el Comité Editorial el 30 de octubre de 2003.

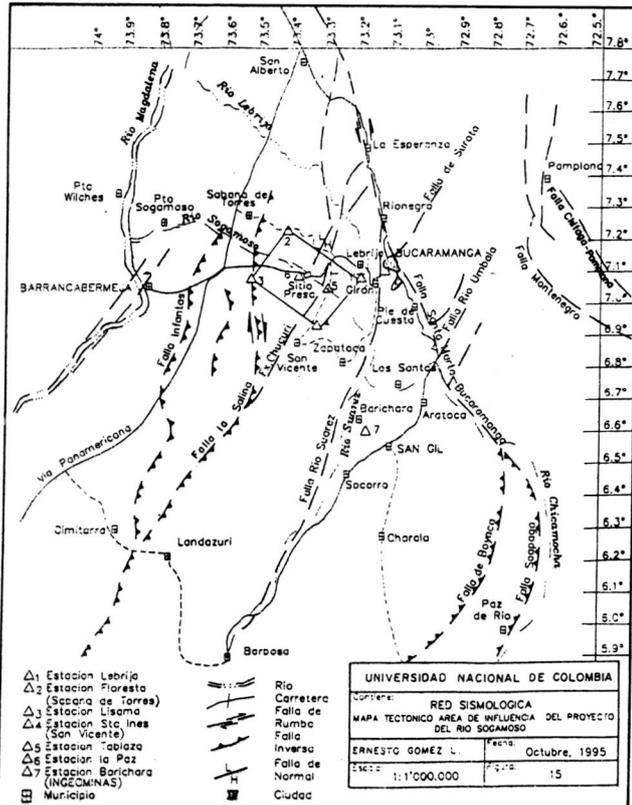


Figura 1. Localización de la red sismológica en el proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso.

donde el río Sogamoso cruza la cordillera La Paz, en jurisdicción de los municipios de Girón, Betulia, Zapatoca, San Vicente de Chucurí y Los Santos, en el departamento de Santander (figura 1).

**Geología**

El estudio geológico regional demuestra que el área de estudio está situada en la porción este de la cuenca deposicional del Magdalena Medio.

Geológicamente se ubica en el flanco occidental del sinclinal de Nuevo Mundo, el cual se encuentra limitado por la falla La Salina, la cual presenta un trazo sinuoso con dirección preferencial S-N.

En el área de estudio afloran rocas sedimentarias: conglomerados, areniscas, arcillolitas y shales del Cretáceo Superior y Terciario, cubiertas en algunas partes por depósitos recientes.

Tectónicamente, se encuentra afectada por el sistema de fallas de La Salina, el cual corresponde a un sistema de fallas de tipo inverso con componente de rumbo dextralateral, que pone en contacto rocas de la formación Umir del Cretáceo Superior con otras del Terciario (shales de la Fm. Lisama, Grupos Chorro, Chuspas y Real), produciendo el hundimiento del valle medio del Magdalena, limitándolo en su borde oriental.

**INSTRUMENTACIÓN DE LA FALLA LA SALINA**

*Red sismológica*

Para detectar señales de actividad sísmica y conocer la sismotectónica del área de influencia del Proyecto hidroeléctrico del río

Tabla 1. Ubicación y características de la Red de Sismógrafos (E.S.A.P.-MEQQ800)

Estación	Coordenadas		Altura m.s.n.m.	Cubrimiento	Unidad litológica	Ganancia db	Filtros low/high	Deflexión max. (mm)	Duración reg. horas	Inicio del registro
	X	Y								
La Paz	1.073.450	1.377.100	260	Sitio de presa	Arenisca formación Esmeralda (Tee)	78	5/30	25	24	II-11-95
Lisama	1.060.700	1.275.200	280	Falla La Salina	Arenisca de grano fino. Formación Lisama (Tpl)	84	5/30	25	24	II-24-95
El Tablazo	1.082.100	1.270.750	370	Embalse Falla San Vicente	Arenisca de grano fino. Formación Tablazo (Kit)	90	5/30	25	24	II-21-95
La Floresta	1.073.500	1.294.950	200	Falla La Salina	Arenisca Conglomerática. Formación Real (Tmri)	84	5/30	25	48	II-11-95
Santa Inés	1.078.100	1.255.400	1020	Falla San Vicente	Arenisca grano fino con lutita gris. Formación Tablazo (Kit)	84	5/30	25	48	II-10-95
Lebrija	1.096.650	1.276.400	1100	Falla Suárez	Arenisca conglomerática. Formación Girón (Jg)	90	5/30	25	24	II-02-95

\* Estación fuera de servicio desde el día 21 de febrero.

Sogamoso, se estableció una red sismológica en sitios previamente determinados y dentro de un radio de 20 km alrededor del sitio de presa. La Red de Sismógrafos constó de seis estaciones sismológicas, analógicas portátiles (E.S.A.P) del tipo MEQ-800 de la fábrica Sprengnether, las cuales fueron instaladas a partir del 9 de febrero de 1995. (Su fecha, sitio de instalación, coordenadas, tipo de roca sobre la cual se instaló, cubrimiento dado a cada estructura geológica de interés en el proyecto, así como la duración del registro para cada estación sismológica, se presentan en la tabla 1).

Durante los 124 días de registro se evaluaron 2.367 sismos, de los cuales se pudo hacer localización a unos 1.500 eventos sísmicos, seleccionándose 339 sismos con calidad "C" (calidad aceptable), para la elaboración del mapa epicentral y los perfiles hipocentrales. Entre estos eventos localizados, 298 sismos tienen una asociación directa con la sismotectónica de la región; de tales eventos localizados en el mapa epicentral, sobresalen 131 sismos asociados con las fallas cartografiadas en la región como las fallas de Suratá, río Umbalá, Bucaramanga, Suárez y La Salina. Así mismo, los 167 eventos restantes, localizados en el mapa epicentral, son desechados por no estar asociados con las fallas principales que enmarcan el Proyecto Sogamoso.

Se resalta que de los 2.367 sismos registrados, sólo 30 eventos sismológicos se localizaron dentro del rombo conformado por las estaciones de Floresta (Sabana de Torres), Lebrija, Santa Inés (San Vicente de Chucurí) y Lisama. Esto puede significar que para el período marzo-junio de 1995, el área de influencia del proyecto presentó muy baja actividad sísmica.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESAMIENTO GEOFÍSICO DE LOS DATOS SISMOLÓGICOS

### Procesamiento de datos

Cada línea horizontal de un sismograma corresponde a líneas de tiempo con diferencias de cinco minutos, que equivalen a un giro del cilindro del equipo registrador; con este criterio y teniendo en cuenta la hora de entrada y salida del sismograma, se colocan en forma manual, sobre el sismograma, las horas correspondientes a las señales horarias impresas por la aguja del sismógrafo, teniéndose de esta manera referenciado en el tiempo los sismos que aparecen en el sismograma. Conocer el tiempo de arribo de cada tren de ondas sísmicas a una estación georreferenciada es el principio de localización de un sismo.

El proceso se inicia con la clasificación de los sismos; se debe descartar el ruido sísmico local y aquellos sismos teóricamente regionales, que tienen un valor de S-P mayor de 15 segundos. Los sismos tectónicos locales, con valores de S-P menores de 15 segundos y de interés para el proyecto, pues se consideran asociados a eventos ocurridos dentro o muy cerca de la red sismológica instalada, son marcados en una estación de referencia, identificados con la hora y minuto de arribo, y comparados con los registros

sísmicos de las otras estaciones, para su corroboración y posterior registro en el catálogo general de sismos para su estudio.

### Localización de sismos

Del Catálogo general de sismos, se extrae un archivo de lectura (\*.INP) para ser utilizado en el programa de localización HYPO71PC, de los registros que se reporten mínimo en tres estaciones y contengan mayor número de fases P y S. El porcentaje de confiabilidad que el lector asigne a la observación depende de la nitidez del sismograma y del tipo de arribo de las ondas; para el programa de computador será un rango de tolerancia permitido para la diferencia entre el valor leído y el valor calculado por el sistema. Así, entre menor sea esta diferencia de lecturas, mayor confiabilidad tendrá el dato de registro.

El programa HYPO71PC discrimina la calidad de los eventos en cuatro tipos: A, B, C y D, de los cuales, A presenta un rango máximo de calidad y D un mínimo de calidad. Así, un sismo de calidad "C" presenta una regular calidad de los resultados, debido a tres factores fundamentales: error en las lecturas, fases registradas en poco número de estaciones y sismos fuera o en la periferia de la red, que dan lugar a vacíos apreciables que bajan la calidad. El programa de computador se ejecuta con los parámetros del modelo de velocidades del subsuelo y los datos de entrada extraídos del Catálogo de sismos, genera un archivo de salida (\*.pun) que contiene la información con las localizaciones realizadas y las respectivas profundidades de iteración si han sido pre-determinadas.

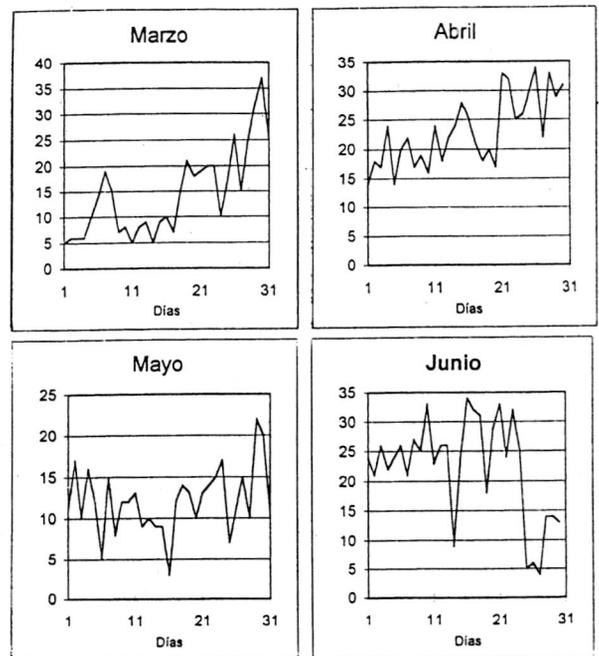


Figura 2. Número de eventos día, marzo-junio.

## ANÁLISIS GEOFÍSICO DE DATOS

### Número de eventos sísmicos por día

En total se obtuvieron 460 sismogramas, en los cuales se registraron 2.367 sismos, repartidos mensualmente así: marzo 449, abril 701, mayo 374 y junio 843 (figura 2). Esta distribución conformó el Catálogo de sismos del Proyecto Sogamoso, en el cual se anota la fecha, hora, estación, tiempo de arribo de la onda P, de la onda S y diferencia entre la S y la P.

Del Catálogo de sismos, donde se reportan 2.367 eventos de diferentes magnitudes, ocurridos durante los meses de marzo a junio de 1995, se deduce que para estos cuatro meses se presentó un promedio de 20 eventos sísmicos por día, lo que corrobora la alta sismicidad regional presente, razón por la cual se ubica en una zona de alto riesgo sísmico o zonas de amenaza sísmica.

Para el mes de marzo de 1995, la mayor cantidad de eventos sismológicos se presentó el 30 de marzo con 37 eventos, cuando el promedio de sismos registrados para este mes fue de 15 eventos por día. Para abril de 1995, presenta como mayor cantidad de eventos sísmicos en un día, el 25 de abril, con 34 sismos, cuando el promedio para este mes fue de 23 eventos por día.

Durante el mes de mayo de 1995, el día 29 de mayo fueron registrados 22 eventos sísmicos, cuando el promedio para el mes de mayo fue de 12 sismos por día. Para junio de 1995, el día 16 presentó 34 sismos, como el mayor número de eventos registrados en un día, y el promedio diario para este mes fue de 28 eventos por día.

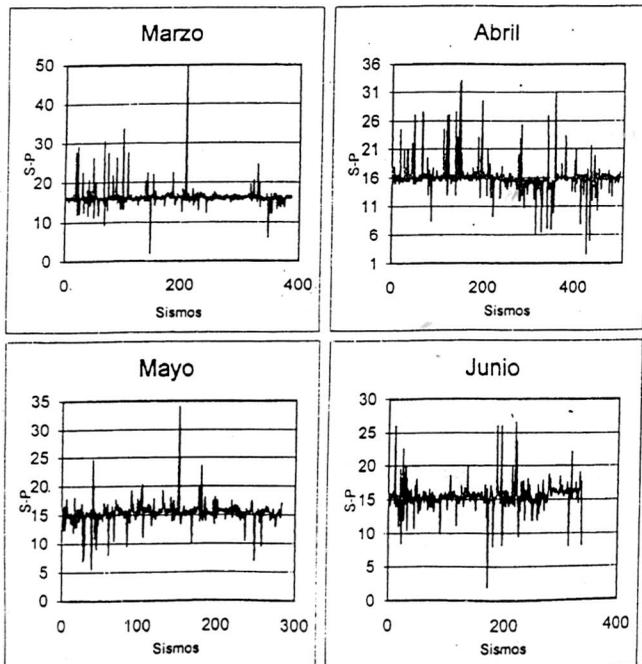


Figura 3. Valores registrados de S-P en 1995.

### Diferencia S-P

En la Red Sismológica del Proyecto Sogamoso, la separación entre estaciones varía de 15 a 30 kilómetros, presentándose la máxima separación entre las estaciones Floresta, Sabana de Torres y Santa Inés, San Vicente de Chucurí con unos 35 kilómetros de distancia en línea recta. Si tomamos valores promedio de  $V_p = 5.5$  km/s y  $V_s = 3.10$  km/s (con  $V_s = 0.58 V_p$ ), entonces una diferencia de tiempo de arribo de la Fase P y de la S,  $P - S = 1$  s. significará que el hipocentro está a una distancia de 7,5 km del sitio de registro. Se calculan las diferencias de S-P para las estaciones de la red, de modo que sea su promedio el valor de interés. De este modo se considerará que diferencias menores de 10 segundos son ocasionadas por eventos locales, dentro de los cuales se considerarán los ocurridos dentro o muy cerca de la red sismológica instalada.

De este parámetro de 10 segundos para S-P, se determinó que para el mes de marzo de 1995, sólo 3 sismos de los 499, registraron S-P menor o igual a 10 segundos; por tanto, para este mes, sólo el 0,6% de la sismicidad registrada se considera ubicada dentro de la red o muy cerca de ella. Para el mes de abril, fueron 10 eventos con S-P menor o igual a 10 segundos; por tanto, sólo el 14% de la sismicidad registrada se considera dentro de la red o cerca de ella. En mayo de 1995, se registraron 8 sismos con S-P menor a 10 segundos, siendo el 2,1% de la sismicidad registrada para ese mes. En junio, fueron 7 eventos y representan tan sólo el 0,8% de los eventos registrados en este mes, figura 3.

En promedio, para los meses de marzo a junio de 1995, sólo el 1,2% de la sismicidad registrada se considera localizada dentro de la red o muy cerca de ella. Estas cifras y porcentajes permiten considerar la zona ubicada dentro de la red y sus sectores aledaños (a menos de 10 km de la red), como de baja a muy baja.

### Magnitudes registradas

A causa de las características del sismómetro (frecuencia natural 1 Hz), del registrador según la velocidad de tambor y del tipo de sismos registrados (generalmente de alta frecuencia), la amplitud del registro en muchos casos se satura, y por tanto la magnitud de Richter no se puede medir directamente del sismograma. Por esta razón y para ajustarse a la sismicidad propia de una región, se han desarrollado varias fórmulas empíricas que relacionan la duración del evento (CODA) con la magnitud (Tsumurak, 1967; Crosson, 1972; Lee y Lahr, 1972).

Para el caso de la Red Sismológica del Proyecto Sogamoso, la ausencia de un sismógrafo con sismómetro tipo Wood - Anderson no permitió la obtención de la magnitud Richter directamente del sismograma, por lo cual se utilizó la propuesta por Herratz *et al.* (1991).

$$\text{Magnitud} = 1.67 \text{ Log}(t) - 0.43 \quad (1)$$

donde  $t$  es la "CODA" o duración en segundos del evento, el resultado se muestra en la figura 4.

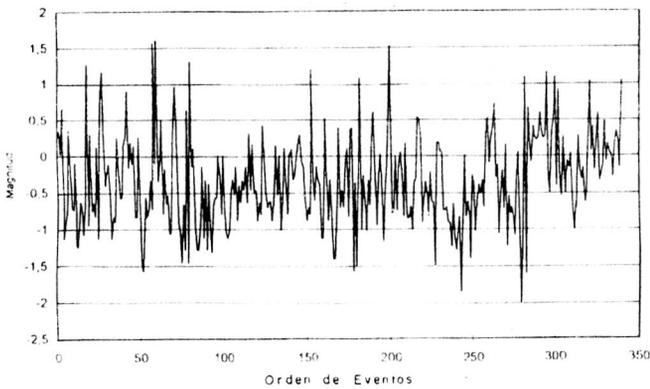


Figura 4. Ocurrencia de magnitudes marzo-junio de 1995.

**CORRELACIÓN ENTRE EPICENTROS, ACCIDENTES NEOTECTÓNICOS Y FRACTURAS**

De los 350 eventos sísmicos, con magnitudes (CODA) entre -1,5 a 1 en la escala de Richter, 96 son de calidad "C" (calidad aceptable), los cuales se graficaron en la figura 5 y se proyectaron sobre un mapa tectónico, donde se observa que tan sólo 7 eventos están

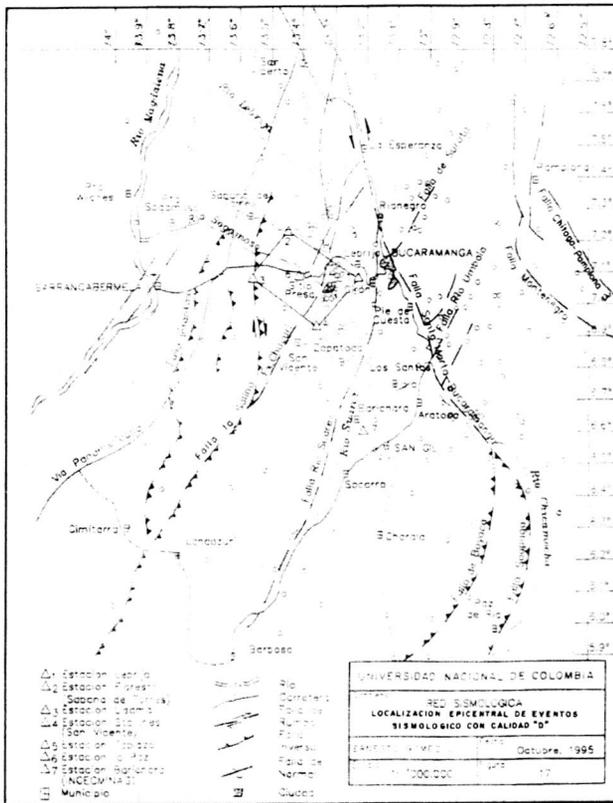


Figura 5. Localización de eventos tipo C.

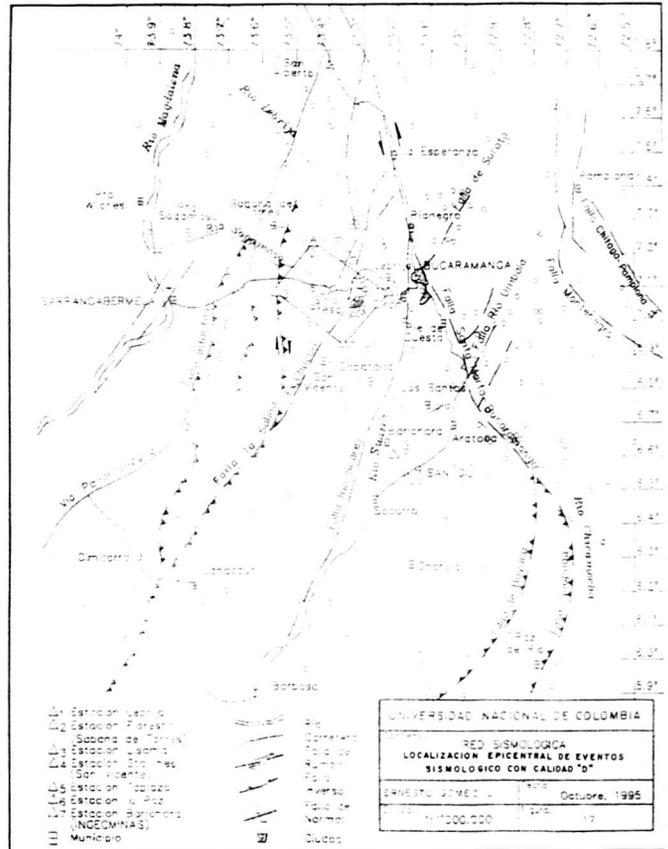


Figura 6. Localización de eventos tipo D.

localizados dentro del rombo, cuyos extremos son las estaciones de Lebrija, Floresta, Lisama y Santa Inés (figura 5).

Para la falla de Bucaramanga se presentaron unos 10 epicentros ubicados sobre o muy cerca al trazo de la falla, pero a la vez se ubican unos 30 sismos que pueden ser parte de los conocidos como el "Nido de Bucaramanga" entre Piedecuesta - Los Santos y el río Umبالá.

Entre los eventos de calidad "D" (mínima), (figura 6), los más importantes son los asociados a la flexura del Chucurí (falla de Chucurí o falla de San Vicente), ramal de la falla La Salina. Éstos representan 22 sismos muy superficiales alineados a lo largo de la flexión del río Chucurí.

De los 1.500 eventos sísmicos procesados para su localización epicentral e hipocentral, el estudio se concentró en 339 que corresponden a los eventos con calidad "C"; por tanto, sólo el 22% de los eventos localizados serán presentados para el análisis de epicentros e hipocentros, de los cuales 41 eventos están muy distantes del proyecto (menor a 5 o mayor a 8 de latitud norte).

Con la utilización de tres modelos de velocidades (tabla 2), se analizaron cada uno de los resultados. La figura 5 contiene el mapa de epicentral con el modelo de velocidad 1, elaborado para

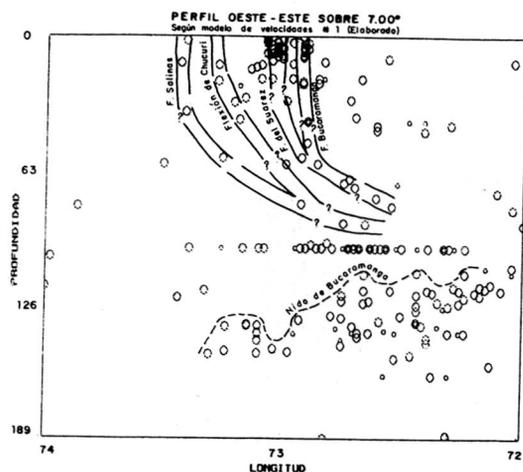


Figura 7. Perfil de hipocentros.

este estudio; en él se observa una concentración de la sismicidad entre las latitudes 6.9 a 7.1 y longitudes 73.00 y 73.30. La figura 6 corresponde al perfil de hipocentros sobre latitud 7 norte. De este perfil de hipocentros se interpreta una asociación de tres eventos entre 1 y 35 kilómetros de profundidad, a la falla La Salina, y a profundidades mayores a 35 kilómetros otros dos eventos con inclinación hacia el oriente. Del trazo principal asociado a la falla La Salina se desprenden dos sistemas subparalelos con sismicidad entre 10 y 30 kilómetros de profundidad; uno de estos sistemas corresponde al trazo asociado a la flexión (falla) de Chucurí.

En la figura 7 se muestra el perfil hipocentral proyectado sobre el paralelo 7 latitud norte, donde se observa una gran nube de eventos sismológicos a profundidades mayores a 110 kilómetros y que pueden llegar a 180 kilómetros, asociados a lo denominado como "Nido de Bucaramanga" (Pennington, 1981; Rivera, 1984 y Coral, C. 1985, a y b).

MODELO DE VELOCIDADES  
Para la Cordillera Oriental área de Bucaramanga  
Valores de las profundidades en kilómetros y  
velocidades de las ondas P en km/seg

MODELO 1 Elaborado para este estudio		MODELO 2 Rivera (1984)		MODELO 3 Similar a Muñoz et al. (1986)	
Prof. (km)	Vel. (km/s)	Prof. (km)	Vel. (km/s)	Prof. (km)	Vel. (km/s)
0 - 10	5.5	0 - 15	5	0 - 2	4.0
10 - 35	6.5	15 - 40	7.5	2 - 5	5.5
35 - 70	7.7	>40	6.1	5 - 25	6.4
>70	8.1			25 - 35	7.1
				>35	8.1

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Al evaluar la sismicidad registrada entre marzo y junio de 1995, de 2.367 sismos registrados para 124 días se obtiene un promedio de 19 sismos por día (figura 2), de los cuales el 80% corresponden al "Nido de Bucaramanga", como se puede ver en la figura 3, la gran mayoría de los eventos tienen un valor de diferencia en el tiempo de llegada de las ondas S respecto a la llegada de la onda P, entre 14 y 17 segundos, que para un promedio de 7,5 kilómetros por cada segundo de la diferencia de S-P, sugieren un recorrido de 110 a 120 kilómetros entre la fuente y la Red Sismológica del río Sogamoso; por tanto, ese recorrido coincide con la distancia entre el "Nido de Bucaramanga" y la red del Proyecto.

Al tratar de localizar sismos regionales por fuera de la Red Sismológica del Proyecto Sogamoso, se tienen sin embargo, con base en los perfiles hipocentrales (figura 6), que presentan una amplia zona de sismicidad por debajo de 110 kilómetros de profundidad. Se puede sugerir la siguiente hipótesis. Las últimas investigaciones sismológicas han asociado que este tipo de sismicidad profunda a medianamente profunda no se origina en zonas de subducción. Más bien se debe a procesos generados en la astenosfera por debajo de la litosfera, la cual presenta unas características más plásticas que la litosfera y permite la formación de un nido de sismos, como los de Bucaramanga, caracterizados por tener un área algo irregular e hipocentros de profundidad variable.

Aunque se asuma que un sismo de magnitud 5,0 o mayor a 150 kilómetros de profundidad, no causa grandes destrozos en superficie, es necesario no descuidar los diseños de grandes obras civiles, porque puede ser destructivo, como ha ocurrido con sismos históricos, como el que afectó a Bucarest (Rumania) en 1940, y dejó un total de 1.000 víctimas.

La sismicidad profunda asociada al "Nido de Bucaramanga", se ha analizado y discutido por ser la que más se ha registrado en los cuatro meses de muestreo realizado en esa parte del Proyecto Sogamoso.

El mayor interés y quizá con efectos más directos sobre el proyecto, es la sismicidad superficial, asociada a las fallas que atraviesan la litosfera (de 0 a a 70 kilómetros de profundidad) y obviamente la actividad sismológica asociada con las fallas más cercanas al sitio de presa y con profundidades de 0 a 30 kilómetros.

Antes de analizar los sismos asociados a las fallas en el área de influencia del Proyecto Sogamoso, es importante resaltar que los sismos superficiales, con mejor aceptación y calidad en su ubicación epicentral e hipocentral son los que están dentro de la Red Sismológica del Proyecto (tabla 1). Es de anotar que dentro de la misma red, hay diferencias "drásticas", especialmente en la cobertera sedimentaria post-pérmica entre las estaciones de Lebrija y Floresta, separadas 27,5 kilómetros. Mientras la estación de Lebrija puede tener unos 1.800 metros de sedimentos post-pérmicos,

la estación de Floresta (cerca a Sabana de Torres) tiene unos 17.800 metros.

Resaltar estas diferencias geológicas no indica que la sismicidad registrada esté por debajo de la cobertera sedimentaria post-pérmica. En algunos casos, como los sismos asociados a la flexura del Chucurí, con profundidades de 0,96 a 8 kilómetros, son un ejemplo de sismos que se generan dentro de los depósitos sedimentarios post-pérmicos, a diferencia de los aproximadamente 100 sismos evaluados a nivel local, con profundidades entre 20 y 80 kilómetros, ubicados hipocentralmente por debajo del contacto basamento cristalino - sedimentos post-pérmicos.

Existen 298 eventos en el mapa epicentral (figuras 5 y 6), los cuales están asociados directamente con la sismotectónica regional de los departamentos de Santander del Sur, parte sur del Cesar y norte de Boyacá. Entre estos 298 eventos, se tienen 131 sismos asociados directamente a las fallas cartografiadas en la región, como fallas de Suratá, río Umbalá, Bucaramanga, Suárez y La Salina.

En la figura 5 se encuentra la representación gráfica de estos 131 eventos sísmicos, sobre los cuales se concentra el estudio. Se muestra una clara relación entre los epicentros y el trazo de las principales fallas como se describe a continuación.

En cuanto al Sistema de falla Salinas, se observa que el trazo principal de la falla en el área de estudio presenta muy baja actividad sísmica, el cual muestra solamente dos sismos al norte del río Sogamoso. Mientras que en el sector de la flexión del Chucurí se presentan 22 eventos sísmicos asociados a los principales trazos de la flexión que se ha denominado como falla del Chucurí o San Vicente, debido a sus rasgos geomorfológicos observados en los estudios del área del embalse en el Proyecto Sogamoso.

En la figura 6 se observa que la flexión del Chucurí se inicia en el sur, desde la falla La Salina. A lo largo de la flexión se presenta un mayor grado de actividad sísmica en comparación con el trazo de La Salina. Esta apreciación sugiere que la flexión se constituye un ramal activo del Sistema de falla Salinas.

Respecto a los eventos sísmológicos muy superficiales y alineados a lo largo de la flexura del Chucurí entre el sector de la Hacienda de Mirabel al sur y el puente sobre el río Sucio, al norte, sobre la carretera Lebrija - Sabana de Torres, son de mayor interés por confirmar que el trazo de la flexura (falla) del Chucurí es sísmológicamente activo. Adicionalmente a estos eventos superficiales se presentan otros 6 eventos, en su mayoría con hipocentros mayores a 100 kilómetros de profundidad, ubicados a unos 10 kilómetros al norte del sitio de presa. Sin embargo, al no registrar y ubicar epicentros e hipocentros a 5 kilómetros alrededor del sitio de presa, se puede presumir que no se generó la actividad sísmológica en esta zona, durante el lapso marzo - junio de 1995.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante los 124 días de registro en la Red Sismológica del Proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso, se registraron 2.367 sismos, seleccionándose 339 eventos con calidad "C", de los cuales, 131 sismos se relacionan directamente con las fallas cartografiadas en la región, como las fallas de Suratá, río Umbalá, Bucaramanga - Santa Marta, flexión del río Chucurí y La Salina.

El trazo de la falla La Salina en el área de estudio presentó muy baja actividad sísmica; sólo dos eventos se ubican en su línea de trazo, al norte del río Sogamoso.

La relación sismo-falla más importante es la relacionada con la flexión del Chucurí (falla de San Vicente), a la cual se asocian 22 eventos de calidad "D" (mínima). Esta estructura se desprende de la falla La Salina y presenta un mayor grado de actividad sísmica con respecto al trazo principal de La Salina. A lo largo de la flexión se presentaron 22 eventos muy superficiales, con profundidades entre 10 y 30 km, localizados entre la Hacienda Mirabel al sur y el puente sobre el río Sucio al norte (20 km al este del área de estudio). Estos rasgos sísmológicos confirman que el trazo de la flexión del Chucurí tiene actividad sísmica.

La ocurrencia de un promedio de 20 eventos sísmicos diarios corrobora la ubicación regional dentro de una zona de alto riesgo sísmico.

Se comprueba la importancia del estudio de segmentación de fallas en el análisis de sismicidad, ya que el trazo principal de la falla La Salina presentó un grado de actividad mucho más bajo en el área de estudio, que su ramal de falla, la flexión del Chucurí, durante el tiempo de registro.

Aunque en los estudios de neotectónica de la falla La Salina no se observaron rastros geométricos y geomorfológicos que permitan evidenciar la actividad reciente de esta ruptura geológica, y su expresión morfológica es en general muy pobre en el área de estudio, se comprobó alguna actividad de la falla La Salina a partir de su instrumentación, lo que pone de manifiesto la importancia de la implantación de redes sísmológicas destinadas para estos fines.

Se recomienda la instalación de sismógrafos a lado y lado de la falla La Salina dentro del área de estudio, con el fin de obtener mayor precisión en las localizaciones epicentrales asignadas a La Salina, porque esta ruptura geológica estaba por fuera de la Red Sismológica instalada para verificar la sismicidad dentro del área del Proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso. Así mismo, abrir trincheras en la zona de falla, con el propósito de hallar posibles grados de desplazamiento, ángulo de buzamiento de la falla, orientación de su inclinación, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

- CORAL GÓMEZ, C. 1985 a. Condiciones profundas de la sismicidad en la región de Santander. Mem. VI Congreso Latinoamericano de Geología, Bogotá, t. 2, pp. 106-149.

- , 1985 b. Contribución al estudio de la actividad sísmica en Santander (Colombia). Mem. VI Congreso Latinoamericano de Geología. Bogotá, t 2; pp. 271-291.
- CROSSON, R. 1972. Small Earthquakes, Structure and Tectonics of the Puget Sound Region Bull Seism. Soc. Am 62(5): 1133-1172 Berkeley, California.
- HARRISON, J. V. 1930. The Magdalena Valley, Colombia, South America. Compt. Rend. 15 th. Int. Geol. Congr. South Africa, V.2; pp. 399-409, Pretoria.
- HERRATZ, *et al.* 1991. Microearthquake Distribution in the Granada Region. In: *Seismicity, Sismotectonics and Seismic risk of the Ibero-Maghrebian Region*. Ed. J Mezcua and A. Udías, Instituto Geográfico Nacional, Spain, pp. 65-78.
- ISAGEN S.A. "E.S.P." e INGETEC S.A. 1995. Estudio de los microsismos obtenidos en la Red Sismológica del Proyecto hidroeléctrico del río Sogamoso.
- LEE, W. H. K., and LAHR, C. 1972, 1985. *HYP071 (Revised); A Computer Program for Determining Hypocenter Magnitude and First Motion of Local Earthquakes*. U.S.G.S-OFR 75-311.
- , and STEWART, S. W. 1981. Principales and Lahr C., 1975 *HYP071 (revised); A Computer Program for Determining Hypocenter Magnitude and First Motion of Local Earthquakes*. V.S. G.S. - OFR 75-311.
- , and VALDEZ, C. M. 1985. *HYP071: A Personal Computer Version of the HYP071 PC Earthquake Location Program*. United States, Department of Interior, Geological Survey, California, 47 p.
- MORALES, L. C., *et al.* 1958. General Geology and Oil Occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. Habitat of Oil, Symposium Am. Ass. Ptr. Geol., Tulsa, pp. 641-695.
- PENNINGTON, W. 1981. Subduction of the Eastern Panamá Basin and Sismotectonics of Northern South America. *Journal Geophysics Res.*, 86 10753-10770, Washington, D.C.
- RIVERA, L. 1984. Sismotectonique du Nord-Est de la Colombie. C.N. R.S. No. 195, Université Pierre et Marie Curie.
- TABORDA, B. 1963. Revisión Geológica Preliminar - Cuenca Putana Eco-petrol. *Informe Geológico* No. 190, Ingeominas, Bogotá.
- TSUMURAK L. 1967. Determination of Earthquake Magnitude from Total Duration of Oscillation. *Bulletin of Earthquake Research Institute*. Tokyo University, Vol. 15, pp. 7-18.