

ATENUACION DE INTENSIDADES SISMICAS EN EL TERRITORIO COLOMBIANO

ELKIN SALCEDO HURTADO

Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química-INGEOMINAS- Area de Geofísica

CARLOS CORAL GOMEZ

Profesor Asociado

Departamento de Geociencias-Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia

Salcedo, E. & C. Coral (1995): Atenuación de Intensidades Sísmicas en el Territorio Colombiano. Geofís. Colomb. 3:37-44. ISSN 0121-2974

RESUMEN

Con base en los mapas de isosistas existentes para los terremotos ocurridos en el territorio colombiano, se han encontrado valores del coeficiente de atenuación para las zonas sismoactivas del país. El cálculo de los coeficientes de atenuación s y c se hizo para los terremotos cuyo esquema de isosistas contiene no menos de tres isolineas. Este cálculo se hizo midiendo la longitud media del eje a lo largo de la extensión de las isosistas, utilizando la fórmula del campo macrosísmico propuesta por Shebalin (1968) y aplicando el método de los mínimos cuadrados. Los valores de c obtenidos varían dentro de un intervalo muy grande de 0.5 a 13.9. La variación del coeficiente s se encuentra en el rango de 3.3 a 7.0. La dispersión de estos valores parece estar relacionada con la complejidad tectónica del territorio colombiano, lo cual influye notablemente en la forma como se propagan las ondas sísmicas.

ABSTRACT

By means of using isoseismal map of the strong Colombian earthquakes, attenuation coefficients s and c of the Shebalin macroseismic formula (1968) were found. Computations were performed measuring the mean radius of isoseismal axes, according to the Shebalin macroseismic field method. The obtained c values have a relative broad of variation, from 0.5 to 13.9; and the found s values change from 3.3 to 7.0. Dispersion in the observed coefficient values seem to be related to the tectonic complexity and anisotropy of the Colombian territory medium which strongly affects the propagation of seismic energy.

1. INTRODUCCION

Las ondas sísmicas, al igual que otros tipos de energía, se atenúan a medida que se propagan y se alejan de su origen. En medios reales, la atenuación de las ondas sísmicas depende de la dispersión del frente de ondas, de la absorción del medio y de los fenómenos de interferencia que se pueden presentar en su recorrido. En general, la energía liberada por un terremoto se disipa en el espacio debido a atenuaciones de tipo geométrico y mecánico que caracterizan la transmisión de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra y que determinan la intensidad del terremoto en la superficie.

De lo anterior se desprende que estudiando la forma y distribución de las curvas de igual intensidad sísmica o isosistas de los terremotos, es posible deducir las características de atenuación de las ondas sísmicas de un terremoto.

En el presente trabajo se presentan resultados del estudio de isosistas de varios terremotos, realizado con el fin de determinar los coeficientes de atenuación de intensidades sísmicas en el territorio colombiano. El coeficiente de atenuación de la intensidad es un parámetro utilizado para caracterizar las propiedades dinámicas del medio geofísico en límites de las zonas epicentrales. Su importancia radica en que es un parámetro fundamental en la estimación del riesgo sísmico y es útil en estudios de pronóstico de

terremotos.

2. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ATENUACION DE INTENSIDAD SISMICA

Generalmente, los efectos causados por los terremotos en la superficie terrestre se pueden relacionar con las características del foco de dos maneras:

a. En forma de una ecuación denominada ecuación de correlación entre la intensidad en el epicentro, la magnitud y la profundidad del foco (I_0 , M , h), la cual tiene la forma:

$$I_0 = f_1(M, h) \quad (1)$$

b. En forma de la ecuación llamada fórmula macrosísmica que representa la forma como decae la intensidad al aumentar la distancia desde el epicentro.

$$I_0 - I_1 = f_2(\Delta, h) \quad (2)$$

Ambas ecuaciones describen un mismo proceso de atenuación de la intensidad en la superficie terrestre en dependencia de la posición y la fuerza de la fuente sísmogénica.

La expresión general que relaciona la magnitud del terremoto y la intensidad I_i en cualquier punto de la superficie terrestre a la distancia $r_i = \sqrt{(\Delta_i^2 + h^2)}$ del foco, se puede escribir por medio de la fórmula de **Shebalín** (1968) así:

$$I_i = bM - \text{slg}\sqrt{(\Delta_i^2 + h^2) + c} \quad (3)$$

donde:

I_i = intensidad de la i -ésima isosista;

b = constante; M = magnitud;

Δ_i = distancia media al epicentro (radio medio de la i -ésima isosista);

Δ_i = distancia al epicentro;

h = profundidad focal;

s y c = coeficientes de atenuación de la intensidad I con la distancia, que definen la dispersión efectiva, la que a su vez incluye la dispersión propiamente dicha y la absorción de las ondas sísmicas.

En esta fórmula debe notarse que cuando $\Delta > 3h$ y existe un amplio límite de variación de s , la cantidad h^2 bajo la raíz puede despreciarse y la fórmula (3) toma la forma:

$$I_i = bM - \text{slg}\Delta_i + c \quad (4)$$

El valor del coeficiente b se toma generalmente igual a 1.5 (**Shebalín**, 1968, 1974), por tanto,

$$1.5M - I_i = \text{slg}\Delta_i - c; i \geq 3 \quad (5)$$

donde i = número de isosistas contando desde el epicentro.

La ecuación (5) es de la forma ($y = sx - c$), que es la ecuación de una recta. De esta manera, graficando ($1.5M - I_i$) contra $\text{lg}\Delta_i$ y por el método de los mínimos cuadrados podremos obtener para cada zona sismoactiva del territorio colombiano los valores regionales de los coeficientes s y c .

3. CAMPO MACROSISMICO

La complejidad tectónica del territorio colombiano hace que sea una región sísmicamente muy activa, en la cual los terremotos ocurren a causa de diversas fuentes sismogénicas.

La ocurrencia de los terremotos en Colombia tiene su origen principalmente en las múltiples fracturas del terreno que en algunos casos se revelan en la superficie y en la zona de subducción donde la placa Nazca se introduce bajo el continente Suramericano. Sin duda alguna, en Colombia son muchos los terremotos que ocurren a causa de la dinámica de las grandes placas litosféricas de Nazca, Caribe y Sur América, las cuales convergen con velocidades diferentes en la esquina noroccidental del continente Suramericano.

La actividad sísmica del territorio colombiano se hace más evidente en la región Andina, parte de la costa del Caribe y la región del Pacífico. Sin embargo, la distribución de los epicentros en esta región no es homogénea sino que se notan algunas zonas donde la concentración de epicentros es mayor y las cuales corresponden a las regiones de Santander con el "Nido de Bucaramanga", Chocó, Caldas y Nariño (**Coral-Gómez**, 1985). Estas zonas epicentrales

poseen características sismológicas particulares y se diferencian por sus índices de actividad sísmica, nivel de magnitud característica, energía liberada por año, profundidad y mecanismo de los focos, etc., (**Coral-Gómez**, 1987, 1990; **Salcedo**, 1992).

En la historia de la sismicidad colombiana han ocurrido terremotos con intensidades epicentrales (I_0) de hasta X y XI grados en la escala Modificada de Mercalli. Las isosistas de los terremotos colombianos más importantes ocurridos durante los últimos 120 años han sido publicadas por **Ramírez** (1975a,b), **Ramírez & Goberna** (1980), **Meyer et al.** (1986), **Sarria** (1985) y **Coral-Gómez & Salcedo** (1992).

En el presente trabajo se analizan las isosistas de los terremotos tectónicos superficiales e intermedios más fuertes ocurridos en el territorio colombiano con intensidad en el epicentro mayor que VI, para los cuales los esquemas de isosistas contienen no menos de tres isolíneas. En nuestro estudio hemos utilizado 22 terremotos con las características arriba anotadas, los cuales se describen en la Tabla 1.

Tabla 1
Lista de terremotos ocurridos en Colombia y utilizados en este trabajo

#	Fecha día mes año	Coordenadas $\phi^\circ\text{N}$ $\lambda^\circ\text{W}$	Profun. h, km	Magnitud mb	Región
1	18 05 1875	7.9 72.5	20	-	Santander
2	31 01 1906	2.6 77.9	-	-	Nariño
3	08 07 1950	7.6 72.8	41	6.7	Santander
4	21 04 1957	7.0 72.0	Sup.	6.4	Santander
5	16 06 1961	8.8 73.4	120	6.0	Santander
6	20 12 1961	4.6 75.6	176	6.3	Caldas
7	30 07 1962	5.2 76.4	69	6.5	Chocó
8	09 02 1967	2.9 74.9	60	6.3	Huila
9	21 03 1967	6.8 73.0	161	5.6	Nido de B/manga
10	29 07 1967	6.8 73.0	161	6.2	Nido de B/manga
11	07 05 1968	6.7 73.0	168	5.7	Nido de B/manga
12	26 09 1970	6.1 77.6	8	6.6	Chocó
13	03 04 1973	4.7 75.6	158	6.2	Caldas
14	30 08 1973	7.3 72.8	181	5.7	Nido de B/manga
15	19 05 1976	4.5 75.8	158	5.9	Caldas
16	31 08 1977	7.3 76.3	33	5.7	Chocó
17	23 11 1979	4.8 76.2	108	6.3	Chocó
18	12 12 1979	1.6 79.4	24	6.4	Nariño
19	26 11 1980	8.0 72.4	40	5.0	Santander
20	17 10 1981	8.2 72.5	56	5.5	Santander
21	31 03 1983	2.5 76.7	12	5.5	Popayán
22	18 10 1992	6.9 76.9	Sup.	7.2	Chocó

La Fig.1 muestra, a manera de ejemplo, esquemas de isosistas de terremotos ocurridos en las principales regiones sismoactivas de Colombia y que figuran en la Tabla 1.

En la región de Santander, la cual incluye el "Nido de Bucaramanga", la forma de las isosistas de los terremotos varía de acuerdo a la profundidad de los focos.

Para los focos ocurridos por encima del "Nido de Bucaramanga", es decir, para focos con profundidad menor de 100 kilómetros, la forma de las isosistas no es elipsoidal y no refleja con claridad una dirección predominante de ruptura que pueda ser tomada como única causa de ocurrencia de los terremotos de la zona.

El eje mayor de las isosistas, que tienen una forma casi que isométrica, difícilmente puede distinguirse; lo cual refleja la existencia de una estructura tectónica compleja, que no permite representar una orientación definida de movimiento interno. Esta complejidad tectónica también se refleja en la superficie y se aprecia en el cambio de orientación de los esfuerzos neotectónicos observados en diaclasas recientes de la Cordillera Oriental (Mójica, 1985).

Un cuadro un poco diferente puede observarse en las isosistas de los terremotos más profundos ocurridos en la región de Santander, es decir, los focos con origen en el "Nido de Bucaramanga" a profundidades entre los 140 y 180 kilómetros.

La forma geométrica de las isosistas para estos eventos tampoco es elipsoidal. El eje mayor de las isosistas de los terremotos del "Nido de Bucaramanga" está orientado principalmente de SW a NE, el cual estaría asociado con una estructura de fallas que puede pensarse sería la continuación de la falla de Boconó.

También se observa en algunas de las isosistas de estos terremotos una elongación orientada en dirección NW a SE que puede estar asociada con la falla de Bucaramanga; se nota, además la presencia de otra elongación en las isosistas menores que V, orientada en dirección un poco más al este-oeste respecto a la anterior.

De esta manera, las isosistas de los terremotos intermedios del macizo santandereano reflejan la existencia de por lo menos tres discontinuidades orientadas en distintas direcciones que se cruzan en un punto de excitación de las oscilaciones sísmicas, el cual puede ser el origen del "Nido de Bucaramanga".

Isosistas semejantes también se observan en otras regiones sismoactivas con focos de profundidad intermedia tales como las regiones de Brancha y el Hindo Kush (Drumia et. al., 1990; Dobrev & Shchukin, 1974).

Las isosistas de los terremotos ocurridos en la zona del Chocó también varían en dependencia al lugar de ocurrencia. Es decir, como la zona sísmica del Chocó se localiza cerca de la zona de subducción, ocurren en ella terremotos con hipocentro tanto en la parte continental como en el océano y dependiendo de esto observamos formas de isosistas diferentes.

Por ejemplo, para dos (2) terremotos (31.08.77 y 18.10.92) ocurridos entre los límites de los departamentos de Antioquía y Chocó, la forma de sus isosistas es muy similar, en ellas se puede observar una forma elíptica con su eje mayor

orientado en dirección NW a SE, lo que supone la presencia de una fractura superficial ubicada en esta dirección, la cual ha sido reconocida geológicamente y denominada falla de Murindó.

De esta manera, podemos decir que la falla de Murindó es una falla de actividad considerable, capaz de producir fuertes terremotos, y no de baja actividad como la ha clasificado Page (1986).

Un poco más al sur dentro de la misma región sísmica del Chocó, en los límites con el departamento de Risaralda, ocurren terremotos cuyas isosistas con forma elíptica tienen su eje mayor orientado de NE a SW.

De estas isosistas se deduce que las ondas sísmicas en esta zona atenúan más lentamente que en el caso de los terremotos ocurridos en la fuente sismogénica de Murindó.

Para hipocentros con origen en el océano, las envolventes de sus isosistas muestran como las ondas sísmicas atenúan rápidamente en el continente, reflejando así la anisotropía del medio.

En la región del antiguo Caldas, reconocida también como una de las regiones sísmicamente más activas del territorio colombiano, los focos de los terremotos son de origen intermedio.

Puede observarse que las isosistas tienen su eje mayor orientado de NE a SW, de forma casi igual a las isosistas de los terremotos de la región del Chocó en su parte limítrofe con el antiguo Caldas.

Los terremotos de estas dos zonas vecinas se diferencian por la profundidad de sus focos, lo cual revela la presencia de una fuente sismogénica de gran anchura y profundidad que se extiende hasta el manto superior, que no necesariamente se revela en la superficie.

Para la región de Nariño donde los focos de los terremotos, al igual que en la región del Chocó, tienen lugar tanto en el océano como en el continente, hemos analizado el mapa de isosistas de un (1) terremoto con origen en el océano; estas isosistas muestran que las ondas sísmicas se atenúan rápidamente en dirección al continente, reflejando también la zona de subducción.

4. RESULTADOS

Con base en los mapas de isosistas existentes para los terremotos ocurridos en el territorio colombiano descritos anteriormente, se han calculado los valores del coeficiente de atenuación para cada una de las zonas sismoactivas de Colombia.

Para esto hemos tenido en cuenta que todos los terremotos sean típicos para cada zona sismoactiva.

Cuando existe gran diferencia de sus características, por ejemplo la existencia en una zona determinada tanto de terremotos superficiales como profundos, lo mejor es dividir el material del cual se dispone en dos o tres grupos, como lo hemos hecho para la zona de Santander, de la cual hace parte el "Nido de Bucaramanga".

A continuación, presentamos los resultados de nuestra observación.

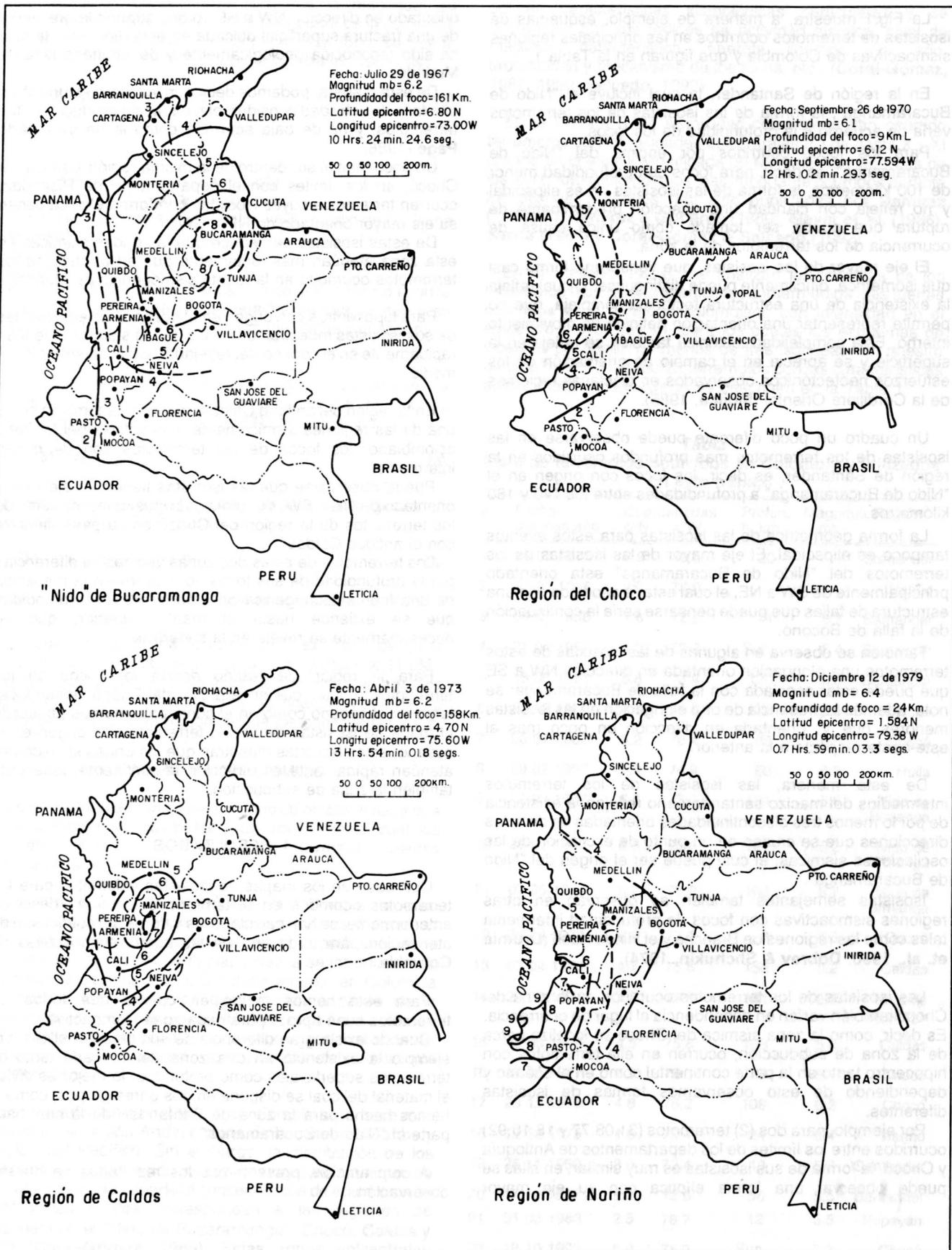


Figura 1. Esquemas de isosistas para sismos en diferentes regiones sismoactivas de Colombia (Tomadas de Sarria, 1985)

NIDO DE BUCARAMANGA

Un enjambre de terremotos se localiza a una profundidad entre los 140 y 180 kilómetros, al cual se le ha denominado "Nido de Bucaramanga".

Para nuestro objetivo, fue fácil distinguir el eje mayor de las isosistas de cuatro (4) terremotos fuertes ocurridos en esta zona.

Se obtuvieron 18 ecuaciones de la forma de la ecuación (5) del campo macrosísmico de Shebalín, la solución se obtiene mediante la aplicación del método de los mínimos cuadrados; $s = 3.8$ y $c = 5.2$ (Fig.2).

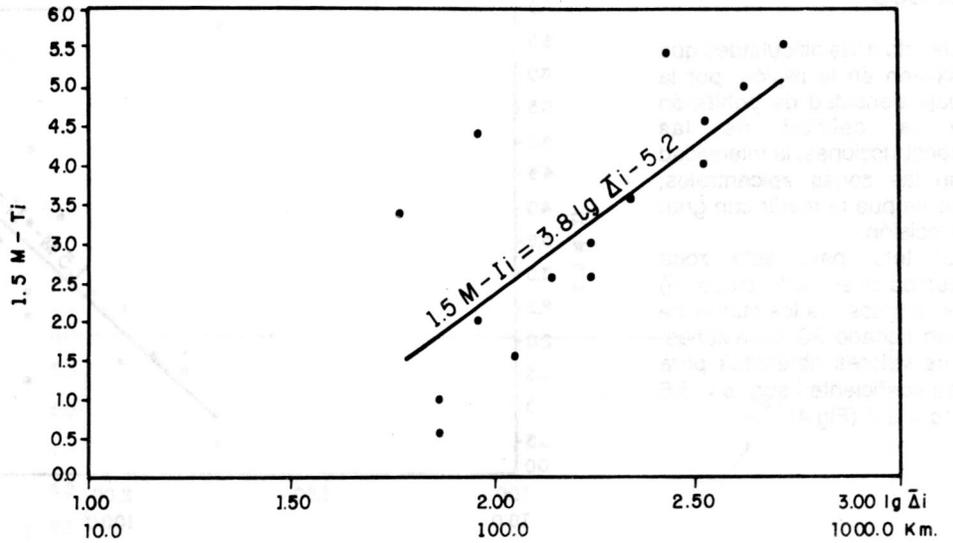


Figura 2. Determinación de los coeficientes s y c para el "Nido de Bucaramanga"

SANTANDER

Como ha sido anotado anteriormente, hemos separado la zona de Santander y la del "Nido de Bucaramanga", con el objetivo de establecer mejor los coeficientes de atenuación regionales.

La diferencia de estas dos zonas, como aquí las hemos dividido, consiste en la profundidad de sus focos. En total, para la zona de Santander fueron examinados cinco (5) terremotos con profundidad menor que 70 kilómetros, y de ellos 23 ecuaciones. Obtuvimos que $s = 2.0$ y $c = 0.5$ (Fig. 3).

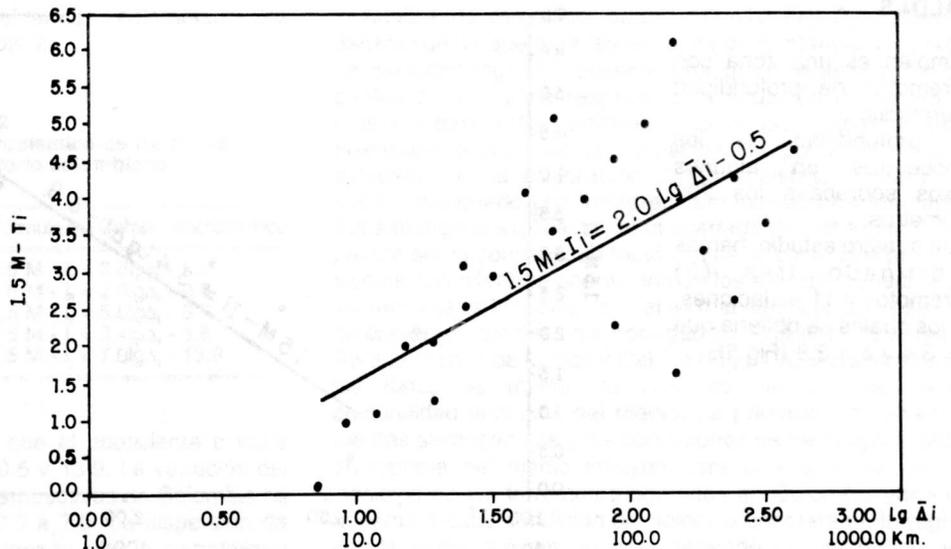


Figura 3. Determinación de los coeficientes s y c para la región de Santander

CHOCO

Debido a las dificultades que existen en la región, por la baja densidad de población y la calidad de las construcciones, la intensidad en las zonas epicentrales, no se puede medir con gran precisión.

En total para esta zona hemos observado cinco (5) terremotos, de los cuales se han sacado 23 ecuaciones. Los valores obtenidos para los coeficientes son: $s = 5.5$ y $c = 8.7$ (Fig.4).

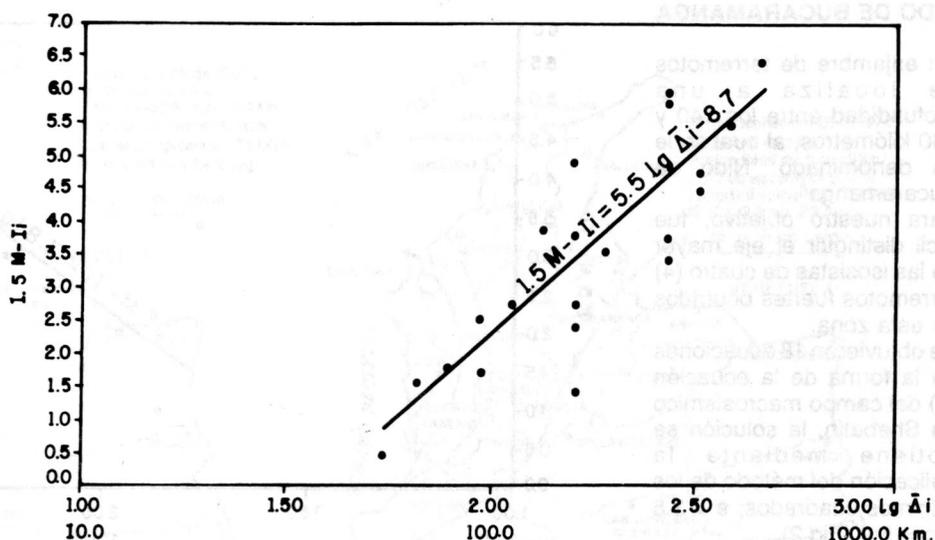


Figura 4. Determinación de los coeficientes s y c para la región del Chocó

CALDAS

También es una zona con terremotos de profundidad intermedia.

La profundidad de los hipocentros en algunos casos sobrepasa los 200 kilómetros.

Para nuestro estudio, hemos examinado tres (3) terremotos y 11 ecuaciones, de los cuales se obtiene que $s = 3.4$ y $c = 3.8$ (Fig.5).

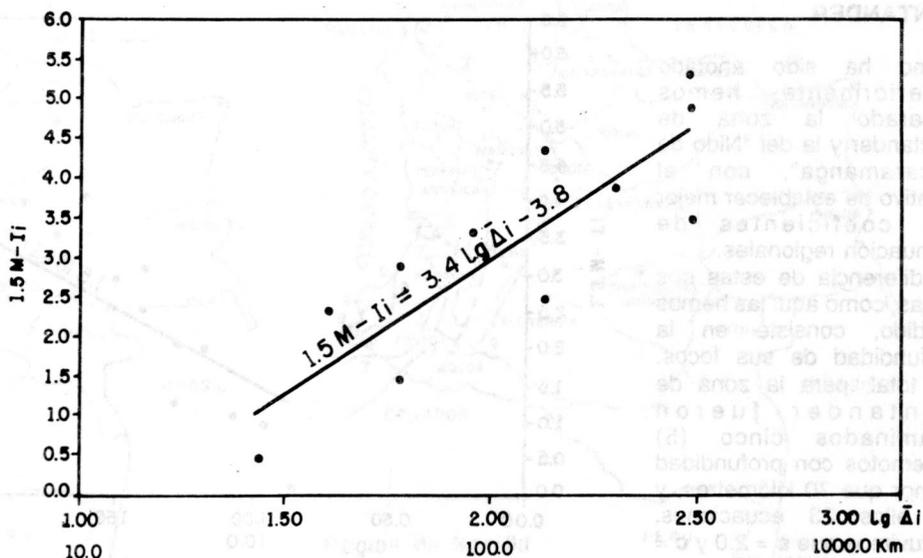


Figura 5. Determinación de los coeficientes s y c para la región de Caldas

NARIÑO

La mayoría de los terremotos de esta región ocurren en el océano, por lo cual la intensidad en el epicentro (I_0) casi no se registra. El terremoto ocurrido el 31 de enero de 1906 para el cual también existe un mapa de isosistas (Rudolph & Szirtes, 1911) no ha sido tenido en cuenta para los cálculos aquí realizados, ya que las isosistas de dicho terremoto fueron trazadas considerando una escala macrosísmica propia de los autores, que no tiene equivalencia con ninguna de las escalas de intensidades que hoy en día son usadas para estudios del campo macrosísmico y en especial con la escala modificada de Mercalli con la cual se han elaborado las isosistas de los demás terremotos analizados en este trabajo. Para la región de Nariño analizamos solo un (1) terremoto del cual obtuvimos cinco (5) ecuaciones; los valores obtenidos fueron: $s = 7.0$ y $c = 13.9$ (Fig.6).

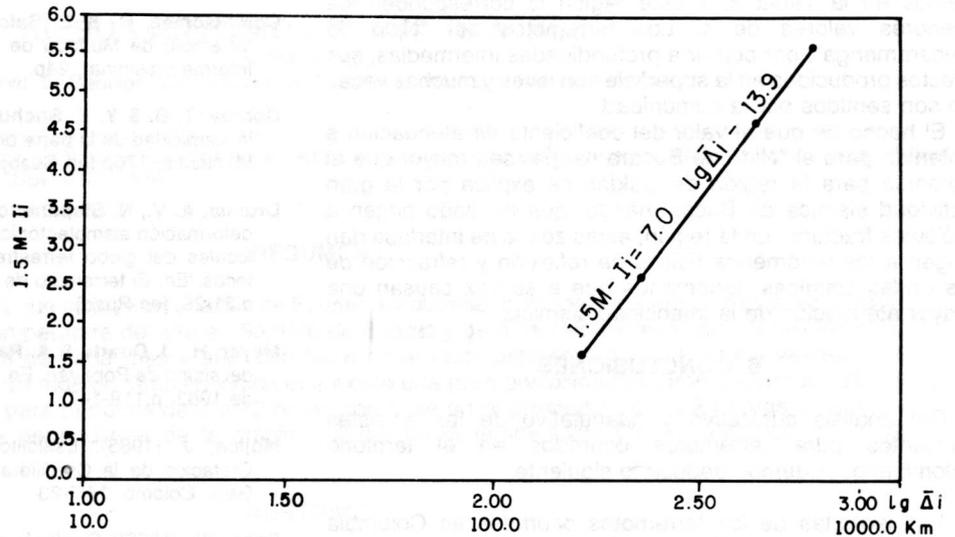


Figura 6. Determinación de los coeficientes s y c para la región de Nariño

De los resultados arriba descritos, obtenemos una ecuación de regresión del campo macrosísmico para cada una de las zonas sismoactivas del territorio colombiano. Los resultados se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2
Ecuaciones del campo macrosísmico de las zonas sismoactivas del territorio colombiano

Zona Sismoactiva	Fórmula del Campo Macrosísmico
"Nido de Bucaramanga"	$1.5 M - I_i = 3.8 \lg \Delta_i - 5.2$
Santander	$1.5 M - I_i = 2.0 \lg \Delta_i - 0.5$
Chocó	$1.5 M - I_i = 5.5 \lg \Delta_i - 8.7$
Caldas	$1.5 M - I_i = 3.4 \lg \Delta_i - 3.8$
Nariño	$1.5 M - I_i = 7.0 \lg \Delta_i - 13.9$

En la Tabla 2 se puede ver que el coeficiente c varía dentro un intervalo muy grande 0.5 y 13.9. La variación del coeficiente s para las regiones sismoactivas de Colombia se encuentra dentro del rango de 2.0 a 7.0. La dispersión de estos valores parece estar relacionada con la complejidad tectónica del territorio colombiano, lo cual influye notablemente en la forma como se propagan las ondas sísmicas en su interior.

5. ANALISIS Y DISCUSION

Analizando los gráficos obtenidos en las Figs.2-6 podemos darnos cuenta que para las regiones de Santander y el "Nido de Bucaramanga" se observa una gran dispersión de los puntos de la gráfica respecto a la ecuación de regresión obtenida para estas regiones. Una de las causas de esta dispersión podría ser la utilización de poca información estadística en la elaboración de las isosistas, lo cual pudo haber ocasionado una interpretación inexacta de los datos. Sin embargo la explicación más acertada de dicha dispersión parece ser la complejidad tectónica de la zona, que produce sismos con diferente orientación de los ejes de esfuerzos en los mecanismos focales, lo cual se manifiesta en la presencia de diferentes patrones de propagación de la energía sísmica. Para las zonas de Chocó y Caldas (Figs.4-5) la dispersión de los datos es menor, lo cual caracteriza una menor complejidad tectónica del medio. La presencia de diversas fuentes sísmogénicas y las condiciones de heterogeneidad y anisotropía del medio influyen para que la forma de las isosistas de los terremotos ocurridos en Colombia varíe de acuerdo a cada condición sísmológica concreta de la región donde estos ocurran, lo cual depende de las principales direcciones de las estructuras tectónicas regionales, de la magnitud de los terremotos, del mecanismo y profundidad del foco y de la distancia epicentral.

A pesar de que la información macrosísmica examinada para los cálculos de los coeficientes de atenuación de la intensidad es poca, podemos comparar los valores de s obtenidos para cada región, con la sismicidad que se conoce para todo el territorio colombiano, de lo cual se deduce que los terremotos mas fuertes ocurren en las zonas que tienen mayor valor de s ; por ejemplo, recordemos que en el departamento de Nariño han tenido lugar los terremotos mas fuertes ocurridos en Colombia y como muestra la Tabla 2, a esta región le corresponde el mayor valor de s . En la región de Santander, a pesar de ser una zona con alto grado de sismicidad, no ha sido escenario de fuertes y catastróficos terremotos (al menos en lo que va de este siglo) y como vemos en la Tabla 2, a esta región le corresponden los menores valores de s . Los terremotos del "Nido de Bucaramanga", por ocurrir a profundidades intermedias, sus efectos producidos en la superficie son leves y muchas veces no son sentidos por la comunidad.

El hecho de que el valor del coeficiente de atenuación s obtenido para el "Nido de Bucaramanga" sea mayor que el obtenido para la región de Caldas se explica por la gran actividad sísmica de Bucaramanga, que ha dado origen a múltiples fracturas en la región; estas zonas de interfase dan origen a los fenómenos físicos de reflexión y refracción de las ondas sísmicas, fenómenos que a su vez causan una mayor atenuación de la intensidad sísmica.

6. CONCLUSIONES

Del análisis cualitativo y cuantitativo de las isosistas existentes para terremotos ocurridos en el territorio colombiano, podemos deducir lo siguiente:

1. Las isosistas de los terremotos ocurridos en Colombia varían dependiendo de la región donde estos ocurran, lo cual permite identificar una forma geométrica similar entre ellas para cada región sismoactiva, reflejando así la heterogeneidad y anisotropía del medio y del campo sísmico.

2. Las isosistas de los terremotos con profundidad intermedia ocurridos en el Macizo Santandereano revelan la existencia de por lo menos tres fallas orientadas en distintas direcciones que se cruzan, con un punto de excitación de las oscilaciones sísmicas en el lugar de su cruce, el cual puede ser el origen del "Nido de Bucaramanga".

3. Aunque consideramos que la estadística del campo macrosísmico en Colombia debe aumentarse, la comparación de los valores del coeficiente de atenuación obtenido para cada una de las regiones sismoactivas del territorio colombiano, permite deducir que el mayor valor de s corresponde a la región donde se han repetido los terremotos mas fuertes y destructores de Colombia.

4. La dispersión de los valores de s y c obtenidos, refleja la heterogeneidad del medio y esta relacionada con la estructura del medio y la complejidad tectónica del territorio colombiano, capaz de generar terremotos con diferentes mecanismos focales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Clara Inés Rivas y Augusto Gómez López, estudiantes de Física de la Universidad Nacional, el haber colaborado en la elaboración de las figuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Coral-Gómez, C.** (1985): Estructura Interna y Sismicidad del Territorio colombiano. Mem. VI Congr. Latinoamericano de Geología, Bogotá, Tomo 2:337-355.
- Coral-Gómez, C.** (1987): Los terremotos en Colombia y características de su origen profundo. (Mscr), Univ. Nacional de Colombia, Bogotá, 200 pp.
- Coral-Gómez, C.** (1990): La Convergencia de Placas en el Noroccidente Suramericano y el Origen del Nido de Bucaramanga. Rev. Acad. Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. XVII (66):521-529.
- Coral-Gómez, C. & E. Salcedo.** (1992): Mapa de isosistas del terremoto de Murindó de Octubre 18 de 1992. INGEOMINAS, Informe preliminar. 24p.
- Dobrev, T. B. & Y. K. Shchukin.** (1974): Los campos geofísicos y la sismicidad de la parte oriental de la región Carpato-Balcánica. M. Nauka. 170p [en Ruso].
- Drumia, A. V., N. Stepanenco & I.A. Poiata.** (1990): Sismicidad y deformación sismotectónica en la región del Brancha y regiones locales del globo terrestre con profundidad intermedia de los focos. En: El terremoto de los Cárpatos del año 1986. Kishiniev. p.21-29. [en Ruso].
- Meyer, H., J. Duarte & A. Paraffan.** (1986): Características físicas del sismo de Popayán. En: El sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983. p.119-147.
- Mójica, J.** (1985): Estilolitos horizontales en sedimentitas del Cretácico de la Cordillera Oriental, y su significado tectónico. Geol. Colomb, 14:7-23
- Page, W.** (1986): Geología sísmica y sismicidad de noroeste de Colombia. Woodward-Clyde Consultants., 156p.
- Ramírez, J. E.** (1975a): Historia de los terremotos en Colombia. Bogotá. 250p.
- Ramírez, J. E.** (1975b): El terremoto de Cúcuta Cien años después. 18 de Mayo de 1875-18 de Mayo de 1975. Bogotá. 63p.
- Ramírez, J. E. & J.R. Goberna.** (1980): Terremotos colombianos Noviembre 23 y Diciembre 12 de 1979. Inst. Geofísico, Univ. Javeriana. Bogotá. 95p.
- Rudolph, E. & S. Szirtes.** (1911): "Das Kolumbianische Erdbeben a.m. 31 Januar 1906". Gerlands Beitrge Zur Geophysik. Vol. XI, No.1. (Traducción Parcial de Hans Jurgen Meyer & Alba de Cárdenas, 1991).
- Salcedo-Hurtado, E.** (1992): Sismicidad y peligro sísmico de Colombia. Ph. D. Tesis. Edit. Univ. Estatal de Moscú-Rusia, 268p.
- Sarria-Molina, A.** (1985): Sismos y riesgo sísmico en Colombia. En: Simposio sobre el peligro y Riesgo Sísmico y Volcánico en América del Sur, CERESIS 14:330-371.
- Shebalín, N. V.** (1968): Método de utilización de datos ingeniero-geológicos en la zonificación sísmica. En: Zonificación sísmica de la U.R.S.S. M.: Nauka. p.95-111. [en Ruso].
- Shebalín N. V.** (1974): Focos de terremotos fuertes en el territorio de la U.R.S.S. M.: Nauka. 54p. [en Ruso].