

*u mmo*

1291

EVALUACION DE LAS CONDICIONES SISMICAS DE LERIDA, TOLIMA  
CON BASE EN LA INFORMACION ACTUALMENTE DISPONIBLE



PREPARADO PARA RESURGIR  
POR  
INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA  
ITEC LTDA.

RECIBIDA  
MAR 3 11 30 AM '86  
FONDO DE RECONSTRUCCION  
RESURGIR

BOGOTA, MARZO DE 1986

EVALUACION DE LAS CONDIIONES SISMICAS DE LERIDA, TOLIMA  
CON BASE EN LA INFORMACION ACTUALMENTE DISPONIBLE



PREPARADÒ POR  
INGENIERIA TECNICA Y CIENTIFICA  
ITEC LTDA.

BOGOTA, MARZO DE 1986

## INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION
2. EMPLAZAMIENTO GEOTECTONICO
3. INTENSIDADES LOCALES
4. LA SITUACION DE LERIDA FRENTE AL CODIGO COLOMBIANO DE  
CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES
5. ASPECTOS GEOTECNICOS
6. CONCLUSIONES
7. RECOMENDACIONES

## RIESGO SISMICO EN LERIDA, TOLIMA

### 1. INTRODUCCION

El presente informe tiene por objeto analizar las condiciones geotectónicas regionales con base en los datos existentes, con el fin de dar un concepto sobre el nivel de aceleración y velocidad equivalente, máximos esperados en Lérica Tolima, población donde trasladarán los damnificados sobrevivientes de la tragedia originada por la erupción del volcán El Ruiz, ocurrida el 13 de noviembre de 1985.

Este informe se presenta por solicitud del ingeniero Alejandro Deeb de Estudios y Asesorías, Ingenieros Consultores.

Ante la consulta planteada por el ingeniero Deeb sobre el procedimiento a seguir para evaluar las condiciones de Lérica frente a futuros eventos sísmicos y ante la extrema premura con que se solicitaba la respuesta, se le plantearon dos posibilidades: a) hacer un estudio de riesgo sísmico local en Lérica similar al realizado para una obra de ingeniería de cierta importancia, analizando la contribución regional de las diferentes fuentes sismogénicas; b) Analizar la información disponible, principalmente las bases sismológicas del decreto 1400 del 7 de junio de 1984, con el fin de conceptuar si el límite mínimo allí previsto estaba apropiado o si por el contrario, dado que

este límite proviene de una zonificación, este valor requería una modificación. De haber la modificación la alternativa "b" no podría disminuir los valores del Código porque el alcance no lo permitía.

Dada la urgencia de la información para los diseños civiles que se adelantan para las obras de Lérida, el ingeniero Deeb seleccionó la alternativa "b" la cual podría presentar los resultados en un tiempo reducido, mientras que para la alternativa "a" se necesitaba mucho más tiempo dada la investigación de datos e informaciones dispersas que se requería.

En el informe se presentan las condiciones generales que gobiernan el problema, el análisis de esas condiciones frente al decreto 1400 del 7 de junio de 1984 y las conclusiones sobre el tema.

## 2. EMPLAZAMIENTO GEOTECTONICO

Lérida queda localizada en el Departamento del Tolima a unos 12 kilómetros al sur del antiguo Armero, la posición geográfica aproximada a  $74.90W$  y  $4.80^{\circ}N$ .

La posición geográfica de Lérida hace que la zona dependa desde el punto de vista del riesgo sísmico de las siguientes fuentes sismogénicas: Zona de subducción, zona de Benioff, falla Utría, falla

Atrato, falla Cauca, falla Romeral, falla Salinas, falla Palestina, falla Ibagué-Cucuaña, falla Magdalena, y falla Frontal de la Cordillera Oriental. A continuación se discute la importancia relativa de estas fuentes, que pueden apreciarse en la figura 1. En la figura 2 se puede apreciar la ubicación de algunos focos sísmicos en las secciones transversales indicadas.

### Zona de Subducción

La zona de subducción queda localizada a unos 300 kilómetros de Lérida. No obstante la gran distancia, esta fuente sismogénica contribuye al riesgo sísmico local dada la muy alta magnitud máxima posible del tipo 8 o superior, evaluada en la escala Ms. Por otra parte, la zona de subducción a la altura de Lérida hace parte de un posible mecanismo asociado a una brecha sísmica postulada por Kelleher (1) que tuvo ruptura parcial el 12 de diciembre de 1979. Hacia el norte del epicentro correspondiente quedó inconcluso el proceso de liberación de energía. El sismo que complementa el proceso que se inició el 12 de diciembre de 1979, tendrá características similares y afectará a Lérida aunque de todos modos en grado menor. Como conclusión la zona de subducción desempeña un papel pero no domina el riesgo sísmico local.

#### • Zona de Benioff

Corresponde a la planicie inclinada de la placa Nazca que se subduce bajo la placa Sur América. La placa Nazca, fría y frágil, sufre fracturas dominadas a veces por esfuerzos cortantes, otras veces por flexión. Estas fracturas dan origen a sismos de grandes magnitudes, con focos cuya profundidad varía entre aproximadamente unos 40 o 50 kilómetros en la Costa del Pacífico hasta cerca de 150 kilómetros como máximo promedio a la longitud del río Magdalena.

La magnitud de los sismos provenientes de la zona de Benioff puede variar de acuerdo con la profundidad; a medida que la profundidad focal aumenta la magnitud tiende a ser menor. La zona de Benioff representa una contribución importante al riesgo sísmico puesto que corresponde al que Sarria (2) llama primer tramo de subducción para el cual ésta referencia postula una magnitud máxima posible de 8 en la escala Ms.

#### Fallas Utria, Atrato y Cauca

Para estas fallas Sarria (2) postula magnitudes máximas posibles del orden de 7 en la escala Ms. No obstante que la magnitud postulada tiene una alta capacidad intrínseca de destrucción, la posición con respecto a Lérída hace que el riesgo por ellas contribuido en la zona de Lérída sea definitivamente menor. Esta ase-

veración se apoya además en que los focos asociados a la actividad de fallas geológicas son de profundidades que rara vez sobrepasaría unos 60 kilómetros, por lo tanto la zona de influencia de alta aceleración no es muy amplia.

### Falla Romeral

Desempeña un papel de importancia en el riesgo sísmico local en Lérida. Esta falla que cruza el país de sur a norte, fue el origen del sismo de Popayán que el 31 de marzo de 1983 produjo graves daños en esa ciudad.

La actividad de la falla Romeral ha sido comprobada en varias partes del país; a la altura de Manizales está cubierta y su trazo se aprecia en un corredor de gran anchura.

La falla Romeral puede generar sismos con una magnitud máxima posible del orden de 7.6 en la escala Ms, tal como aparece discutido por la referencia (3).

### Falla Salinas

Se manifiesta en la zona central del país, con características de tipo inverso y alto ángulo; el rumbo es sensiblemente nortesur con longitud aproximada de 150 kilómetros; la magnitud máxima analizada por recurrencia de magnitudes es igual a 6.5 en la



escala Ms; la contribución al riesgo en Lérída es menor.

- Falla Palestina

Durante la operación de la red sísmica del volcán de El Ruiz, se han detectado hipocentros de relativamente poca profundidad, 15 a 20 kilómetros y ubicados al oriente del volcán, prácticamente coincidentes con la traza de lo que podría ser la falla Palestina, a la cual se le ha asignado una magnitud máxima posible igual a 6.5 en la escala Ms, la traza de la falla pasaría a una distancia del orden de 20 kilómetros al occidente de Lérída. Esta falla desempeña un papel importante en Lérída por la posición y la dimensión de la falla.

- Falla Ibagué-Cucuana

Su trazo pasa muy cerca de Lérída, unos 10 kilómetros al occidente. Esta falla no se pudo incluir en el estudio de riesgo sísmico de Colombia. No obstante, hay una serie de indicios que permiten asociar la curva del Rfo Magdalena en Girardot y con el curso del Rfo Bogotá. Su posición, longitud y forma hacen pensar que de ser de rumbo la falla, el tramo entre Venadillo y Alvarado, al sur de Lérída podrían dar origen a sismos importantes; si la falla fuese normal o inversa, el tramo anotado tendría iguales posibilidades que el resto. Esta falla debería desempe

ñar un papel muy importante en el riesgo sísmico de Lérida, en el caso de ser activa y existen algunas razones de peso para suponerlo. La aseveración anterior sirve para suponer que el riesgo sísmico en Lérida ha podido quedar sub-estimado por no haberse empleado esta falla.

- Falla Magdalena

Ha sido mapeada muy al sur de Lérida. Su contribución al riesgo sísmico local es despreciable.

- Falla Frontal de la Cordillera Oriental

Pasa a unos 140 kilómetros al oriente de Lérida. Ha sido el origen de grandes terremotos en el pasado, ver Sarria (2) y pueden inferirse sismos con magnitudes máximas posibles del tipo 8 en la escala Ms. La contribución al riesgo sísmico local en Lérida debido a esta falla es importante porque buza al occidente con ángulo entre 30 y 40 grados, lo cual pone la distancia focal fácilmente a 100 kilómetros o menos de Lérida.

Como conclusión general derivada del emplazamiento geotectónico, el riesgo sísmico local de Lérida estará dominado por las zonas de subducción y de Beníoff y las fallas Romeral, Palestina, Ibagué-Cucuana y Frontal de la Cordillera Oriental. La falla Ibagué-Cucuana no en-

tró en el decreto 1400 del 7 de junio de 1984, por lo tanto desde un punto de vista general queda la impresión de una tendencia al alza en los niveles de aceleración y velocidad equivalente máxima esperadas.

### 3. INTENSIDADES LOCALES

Las intensidades locales no se pudieron tener en cuenta en una forma explícita en el decreto 1400 del 7 de junio de 1984 porque se trataba de cuantificar la aceleración y la velocidad máxima probable; no tienen propiedades necesariamente comunes estos parámetros. No obstante, es presumible que a mayor intensidad Mercalli, tanto mayor aceleración local. Por esta razón, como complemento al emplazamiento tectónico se requiere hacer algunas consideraciones sobre la sismicidad pasada desde el punto de vista de las intensidades de Mercalli. Sarría (2) ha estudiado las intensidades en el país.

El sismo del 21 de abril de 1957, produjo una intensidad regional media del orden de VI en la escala de Mercalli, en la zona de Lérída, no obstante que el epicentro del sismo fue muy distante, localizado al sur del departamento de Norte de Santander.

El sismo del 20 de diciembre de 1961 produjo intensidades regionales medias del orden de VIII en la escala de Mercalli en la zona de Lérída.

El sismo del 30 de julio de 1962, produjo intensidades regionales medias del orden VII en la escala de Mercalli en la zona de Lérida.

El sismo del 9 de febrero de 1967, produjo intensidades regionales medias del orden de VII en la escala de Mercalli en la zona de Lérida.

El sismo del 29 de julio de 1967, produjo intensidades locales del orden de VII en la escala de Mercalli, en Lérida.

El sismo del 30 de agosto de 1973 produjo intensidades locales del orden de V en la escala de Mercalli, en Lérida.

El sismo del 19 de mayo de 1976; produjo intensidades locales del orden de V en la escala de Mercalli en Lérida.

El sismo del 23 de Noviembre de 1979, produjo intensidades locales del orden de VI en la escala de Mercalli en Lérida.

El sismo del 12 de diciembre de 1979, produjo intensidades locales del orden de IV en Lérida.

Como conclusión, en referencia a las intensidades locales, en Lérida hay registro de por lo menos 9 sismos de los cuales se puede deducir una intensidad regional media máxima que localmente puede llegar a

VIII en la escala de Mercalli; esta es una alta intensidad, por lo tanto es una señal que combinada con la posición de las fuentes sísmogénicas cercanas está demostrando que debe aplicarse absolutamente con todo rigor las recomendaciones del Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes en Lérida.

En las figuras 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 se aprecian los isosistas de sismos que han producido intensidades locales de importancia en Lérida.

#### 4. LA SITUACION DE LERIDA FRENTE AL CODIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMORRESISTENTES

El Código Colombiano de Construcciones Sismorresistentes, decreto 1400 del 7 de junio de 1984, zonificó el país desde el punto de vista sísmico; la zonificación tuvo un doble enfoque. Cualitativo con el fin de establecer la situación de riesgo desde un punto de vista relativo; en este caso se definieron zonas de riesgo sísmico alto, intermedio y bajo tal como se aprecia en la figura 11. La zonificación cuantitativa tuvo por objeto establecer los espectros de diseño sísmico.

La zonificación cualitativa ubica a Lérida en la zona de riesgo sísmico intermedio; esto significa cierta libertad en la capacidad de

disipación de energía, es decir unos requisitos no tan estrictos en referencia al confinamiento del concreto reforzado para asegurar la capacidad de rotación ante cargas alternantes, sin un deterioro prematuro de la rigidez.

Teniendo en cuenta una corrección por incertidumbre del 90% en las funciones de atenuación de la aceleración como función de la magnitud y la distancia, el decreto 1400 del 7 de junio de 1984, ubica a Lérida dentro de una zona con una aceleración horizontal,  $A_a$ , máxima esperada de casi 200 cm/s/s o sea 0,20g. La velocidad esperada máxima,  $A_v$ , equivalente a una aceleración la establece el Código igual a 0.20 para la zona de Lérida.

Es necesario preguntarse ahora si con base con lo hasta aquí discutido, estos valores son realistas a nivel local.

Conviene entonces dividir el problema en varias partes, a saber:

a. Zona de riesgo sísmico

La zona de riesgo sísmico del Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes es muy difícil de alterar a nivel local, aunque si analíticamente se evalúa un  $A_a$  superior a 0.25g, la zona de riesgo sísmico concomitante debería ser la correspondiente a riesgo alto. No es éste el caso de Lérida, al menos con lo

que este informe alcanza a evaluar ya que el alcance no le permite emplear sino información ya disponible. No se está cerca de el límite por lo tanto no hay que corregir nada. Lérida debe quedar entonces en la zona de riesgo sísmico intermedio tal como la define el Código.

b. Aceleración máxima esperada

De acuerdo con el Código ésta debe ser 0.20g. Aquí podría haber alguna posibilidad de discusión porque la actividad de la falla Palestina parece estar ahora más claramente establecida en su parte sur, que cuando se estudió el Código. Además, la presencia de la falla Ibagué-Cucuana también alimenta la tendencia al alza de este parámetro. No obstante, ninguna de las consideraciones, tiene suficiente peso en la actualidad, faltan estudios geológicos adicionales, para darle un valor claramente superior a  $A_a$  dentro del contexto de la edificación tradicional. Por otra parte la vecindad de las fallas Palestina e Ibagué-Cucuana inquieta desde el punto de vista teórico en un modelo de riesgo, que como en el caso de Colombia, partió de la independencia de los eventos sísmicos para la evaluación cuantitativa de  $A_a$ .

Con base en la discusión anterior y teniendo en cuenta que este informe no tiene alcances para penetrar más profundamente en la evaluación del riesgo, se considera que  $A_a$  y  $A_v$  deben mantener

la recomendación del Código, 0.20g.

c. Edificaciones no tradicionales

El Código es explícito al decir que  $A_a$  y  $A_v$  solo son aplicables dentro de un contexto integrado de edificaciones tradicionales con respuestas sísmicas más o menos conocidas por experiencias pasadas o ensayos de laboratorio.

La pregunta que surge de inmediato es que se debe hacer en el caso de que sea necesario construir edificaciones no tradicionales como por ejemplo un tanque de agua alto?. Solo un estudio de riesgo sísmico detallado puede indicarlo. Ante la carencia de este, se recomienda en este caso tomar  $A_a = 0.25g$  que es el valor que se estudió durante la ejecución del Código para un cubrimiento por incertidumbre del 99% para la función de atenuación.

5. ASPECTOS GEOTECNICOS

Los niveles de aceleración máxima esperada, son suficientes como para suponer que si las condiciones son apropiadas se pueda presentar licuación de arenas.



Si los estudios de suelos que se hagan para el diseño de las cimentaciones detectan capas de arenas a profundidades inferiores a 15 metros, si estas capas están saturadas, si son poco densas y sus granos son finos, existen las condiciones para una posible licuación y por lo tanto debe hacerse un estudio detenido para establecer la susceptibilidad a la licuación; si esta resulta positiva, deberán tomarse las medidas preventivas necesarias para asegurar que no habrá este tipo de falla, u ordenar que allí no se construya.

## 6. CONCLUSIONES

De este informe salen las conclusiones siguientes:

- a. Lérida está ubicada en una zona donde pueden presentarse altas intensidades de Mercalli en futuros sismos.
- b. El riesgo sísmico en Lérida está gobernado por la contribución de las fuentes sismogénicas siguientes: zona de subducción, zona de Benioff intermedia, y las fallas Romeral, Palestina, Ibagué-Cucuana (sólo como posibilidad) y Frontal de la Cordillera Oriental.

- c. La cercanía de las fallas Ibagué-Cucuana y Palestina introduce un factor de duda sobre si se deben considerar simultáneamente en la posible contribución al riesgo sísmico en Lérida.
- d. El Código asignó a Lérida una ubicación de riesgo sísmico intermedio con valores de  $A_a$  y  $A_v$  iguales a 0.2g.
- e. No puede emplearse el Código para buscar cortantes basales para obras no tradicionales.
- f. Los niveles de aceleración son suficientes para que si existen las condiciones apropiadas pueda haber peligro de licuación de suelos no cohesivos.

## 7. RECOMENDACIONES

Con la información actualmente disponible que es la que se ha consultado para este informe se recomienda lo siguiente para el diseño sísmo-resistente de las obras de Lérida:

- a. Empleese el Código Colombiano de Construcción Sismo Resistentes en forma integral y de acuerdo con los valores siguientes:

- Zona de riesgo sísmico intermedio
  - Aceleración pico efectiva igual a 0.20g
  - Velocidad pico efectiva equivalente a 0.20g
- b. Para obras no tradicionales, por lo tanto no cubiertas por el Código, empleese una aceleración máxima sobre el terreno igual a 0.25g.
- c. Llevese un control de construcción estricto de tal manera que aquello que los diseñadores cosignen en sus planos, realmente se lleve a la realidad.
- d. Si se detectan suelos arenosos, saturados poco compactos y no muy profundos, estúdiese en detalle la susceptibilidad a la licuación de los suelos.

#### REFERENCIAS CITADAS

1. KELLEHER J.A.  
Journal of Geophysics Research 77, 2087 (1972)
2. SARRIA, Alberto  
Tectónica y Sismicidad Colombiana  
Seminario sobre Riesgo Sísmico en Colombia  
Medellín, agosto de 1984

### 3. EL SISMO DE POPAYAN

Estudio del Gobierno Nacional de Colombia

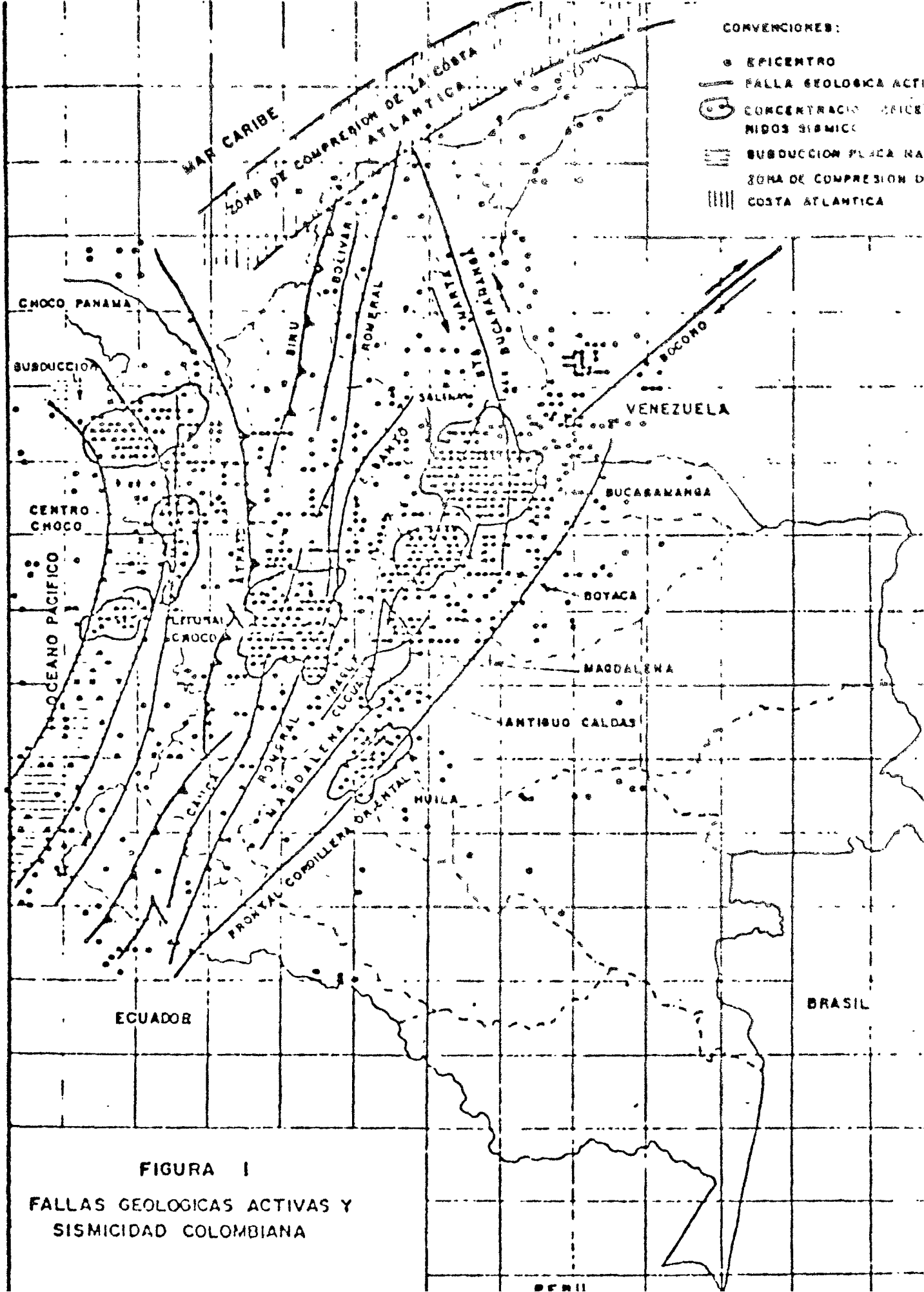
ORREGO, A.; SARRIA A. (Editores)

Ingeominas 1986

CONDICIONES SISMICAS DE LERIDA, TOLIMA  
INFORMACION ACTUALMENTE DISPONIBLE

FIGURAS

1. FALLAS GEOLOGICAS ACTIVAS Y SISMICIDAD COLOMBIANA
2. SECCIONES TRANSVERSALES-FOCOS EN PROFUNDIDAD
3. ISOSISTAS SISMO 1957-04-21
4. ISOSISTAS SISMO 1961-06-16
5. ISOSISTAS SISMO 1961-12-20
6. ISOSISTAS SISMO 1967-02-09
7. ISOSISTAS SISMO 1973-08-30
8. ISOSISTAS SISMO 1976-05-19
9. ISOSISTAS SISMO 1979-11-23
10. ISOSISTAS SISMO 1979-12-12
11. ZONAS DE RIESGO SISMICO EN COLOMBIA, SEGUN DECRETO 1400 DE 1984



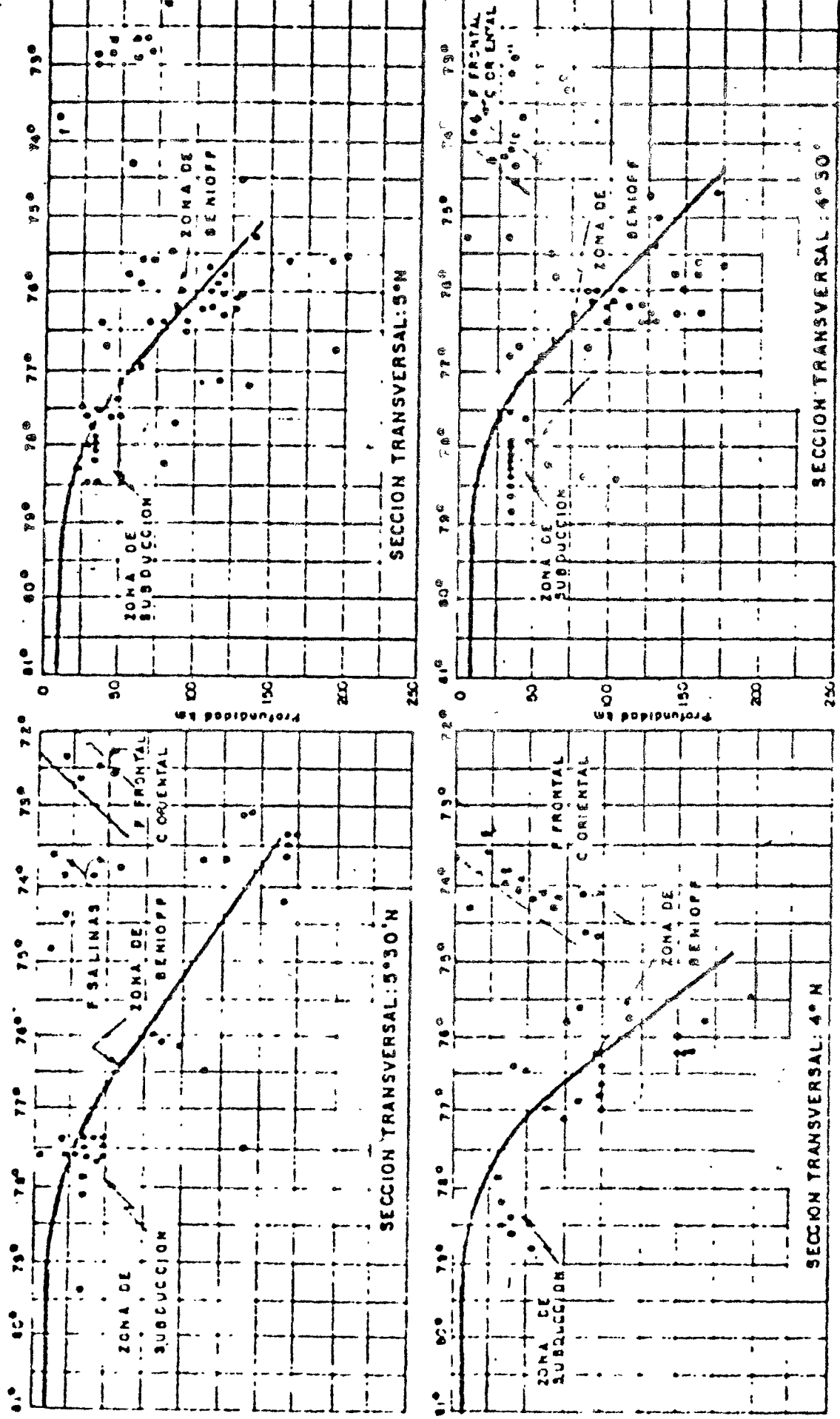
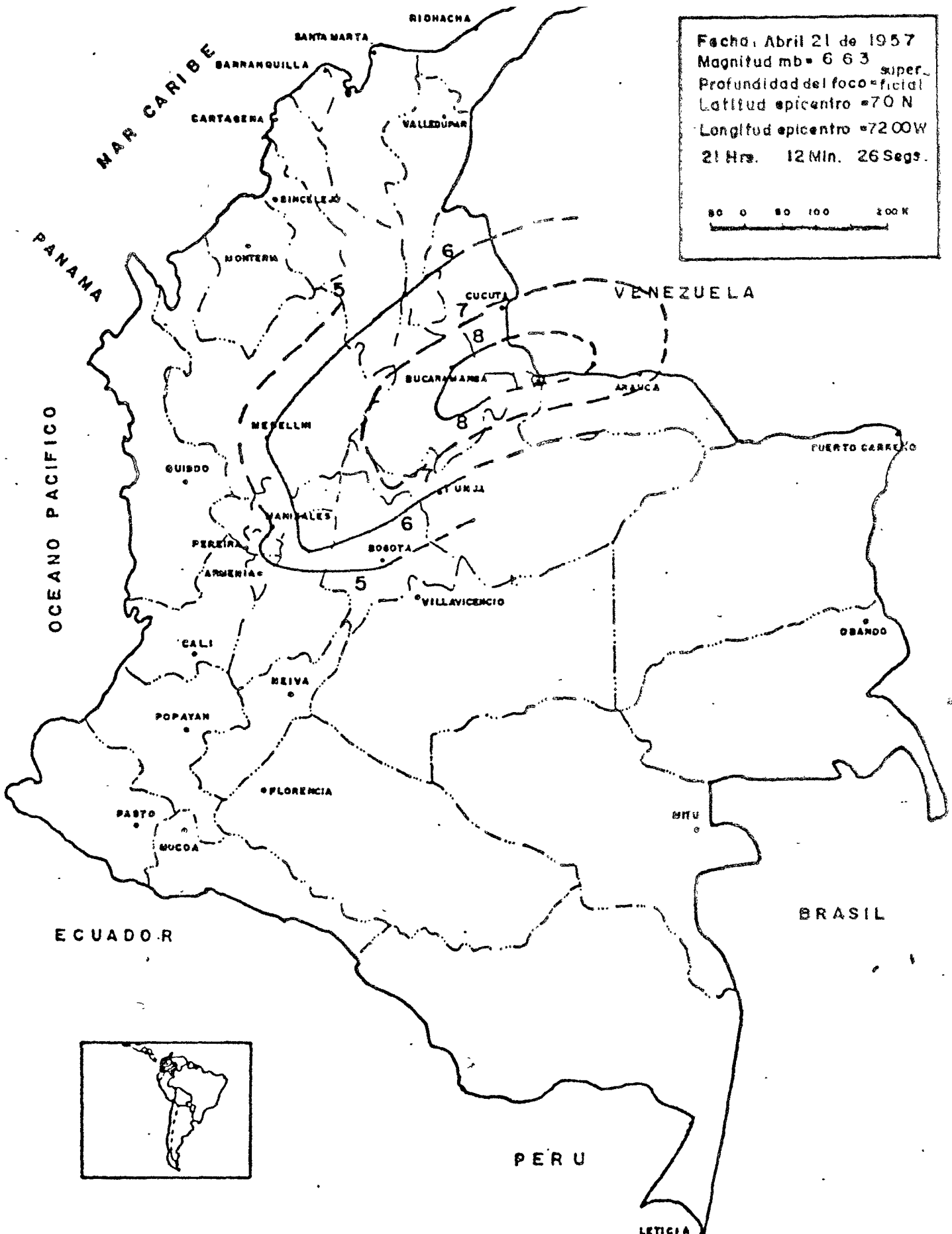


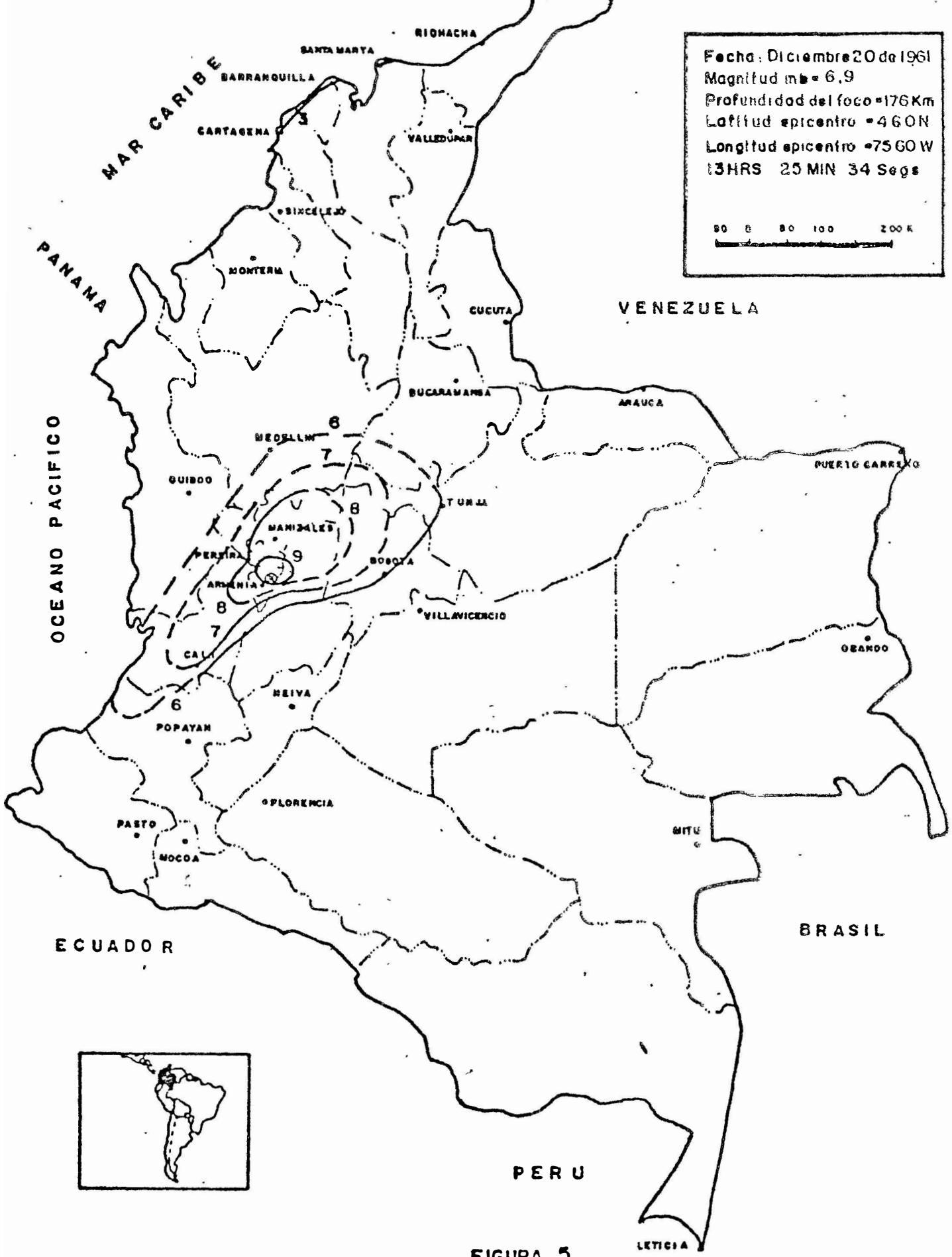
FIGURA 2  
SECCIONES TRANSVERSALES  
CON FOCOS SISMICOS UBICADOS EN PROFUNDIDAD



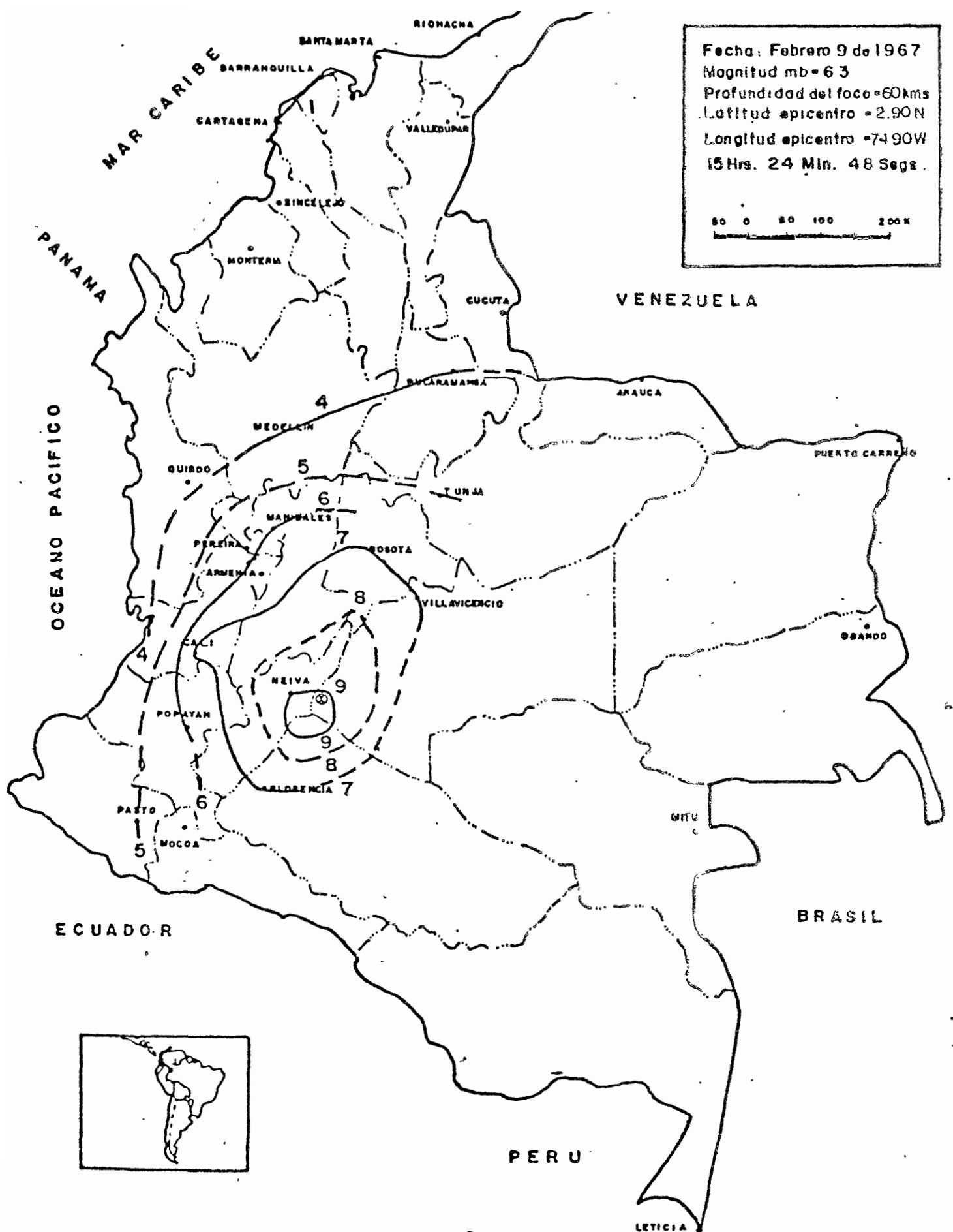
**FIGURA 3**  
**COLOMBIA**  
**MAPA DE ISOSISTAS**  
**ESCALA MM**



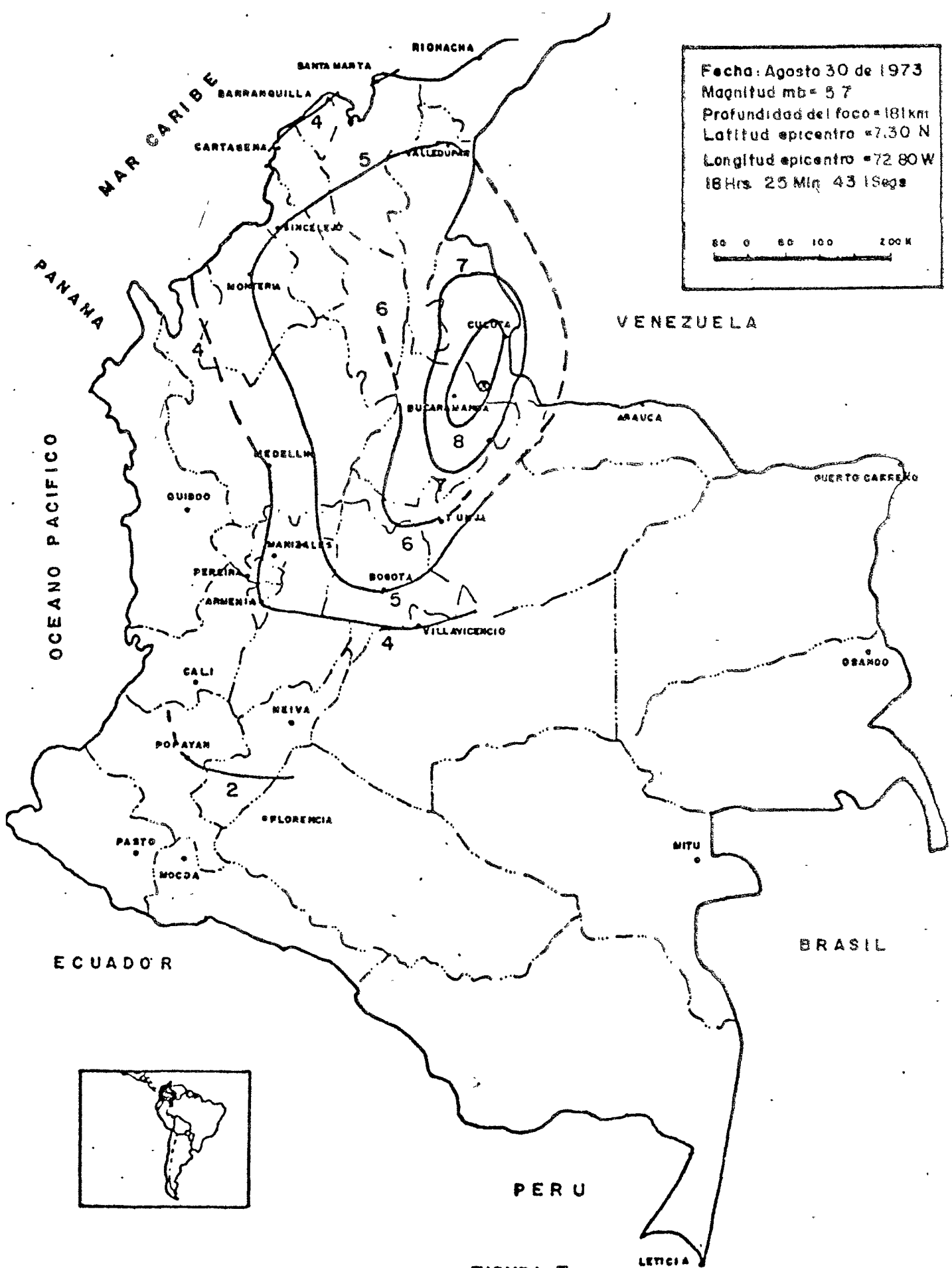




**FIGURA 5**  
**COLOMBIA**  
**MAPA DE ISOSISTAS**



**FIGURA 6**  
**COLOMBIA**  
**MAPA DE ISOSISTAS**  
**FRONTES A MM**



**FIGURA 7**  
**COLOMBIA**  
**MAPA DE ISOSISTAS**

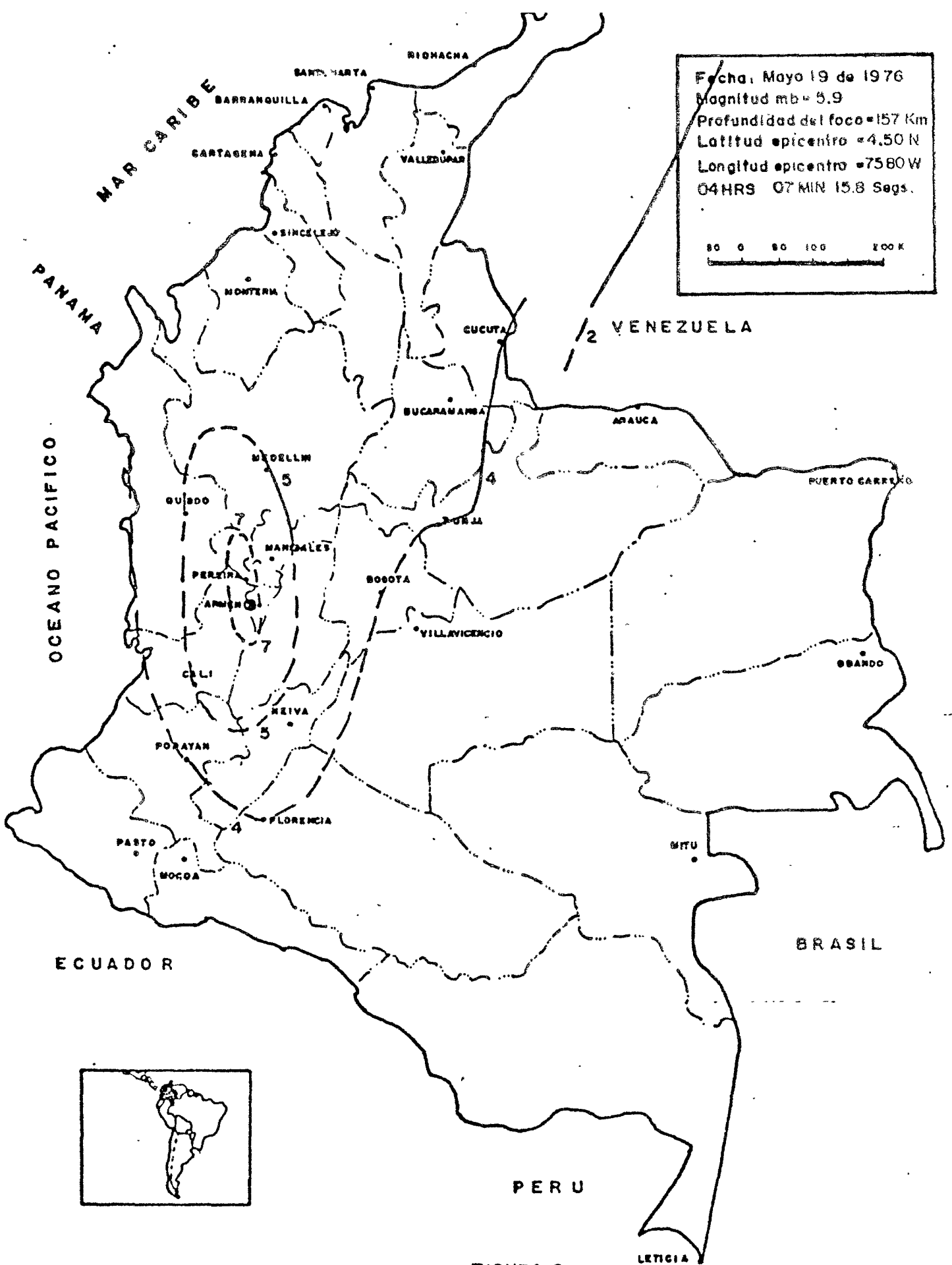
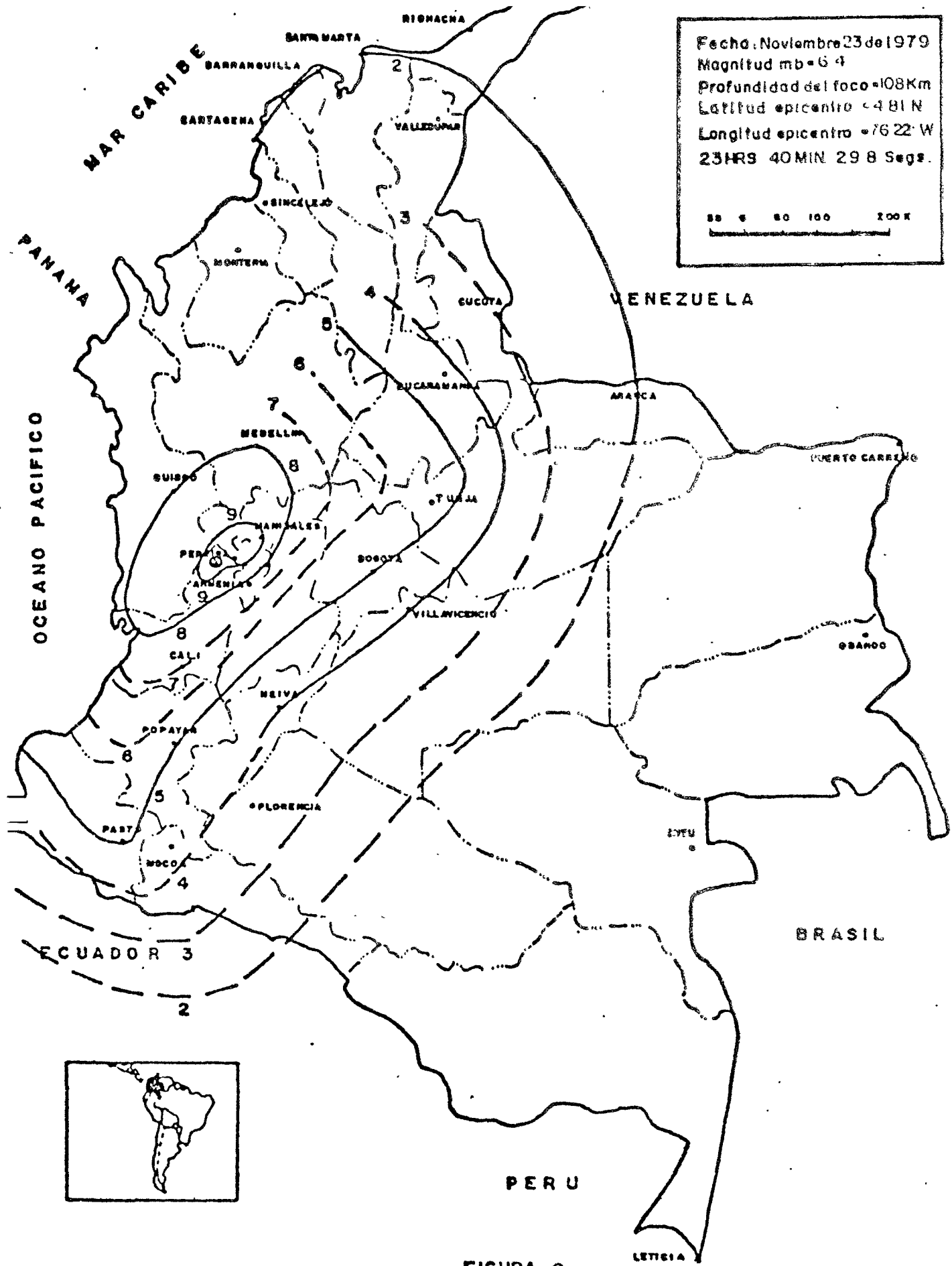
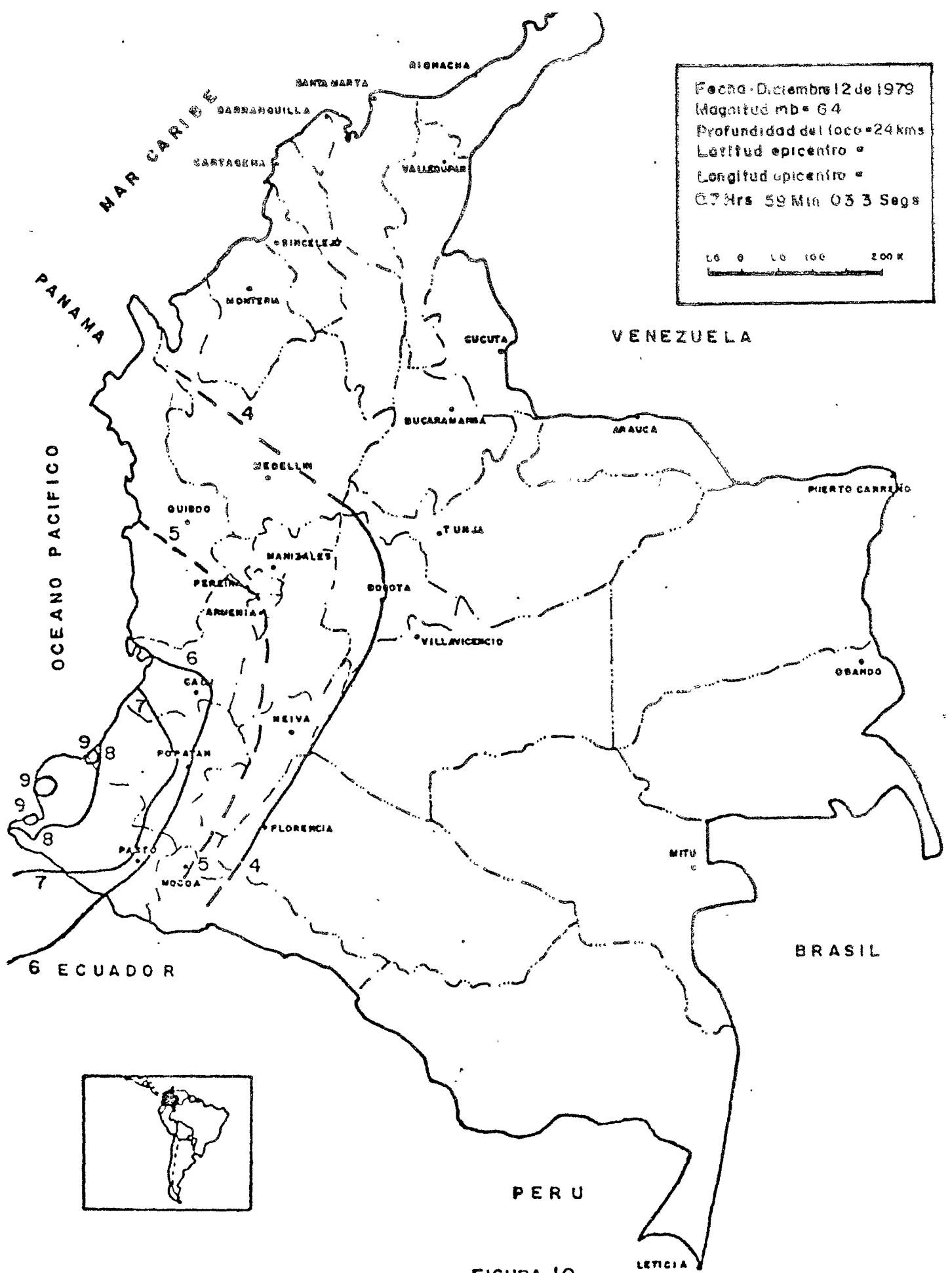


FIGURA 8  
COLOMBIA  
MAPA DE ISOSISTAS



**FIGURA 9**  
**COLOMBIA**  
**MAPA DE ISOSISTAS**  
 ESCALA 1:100,000

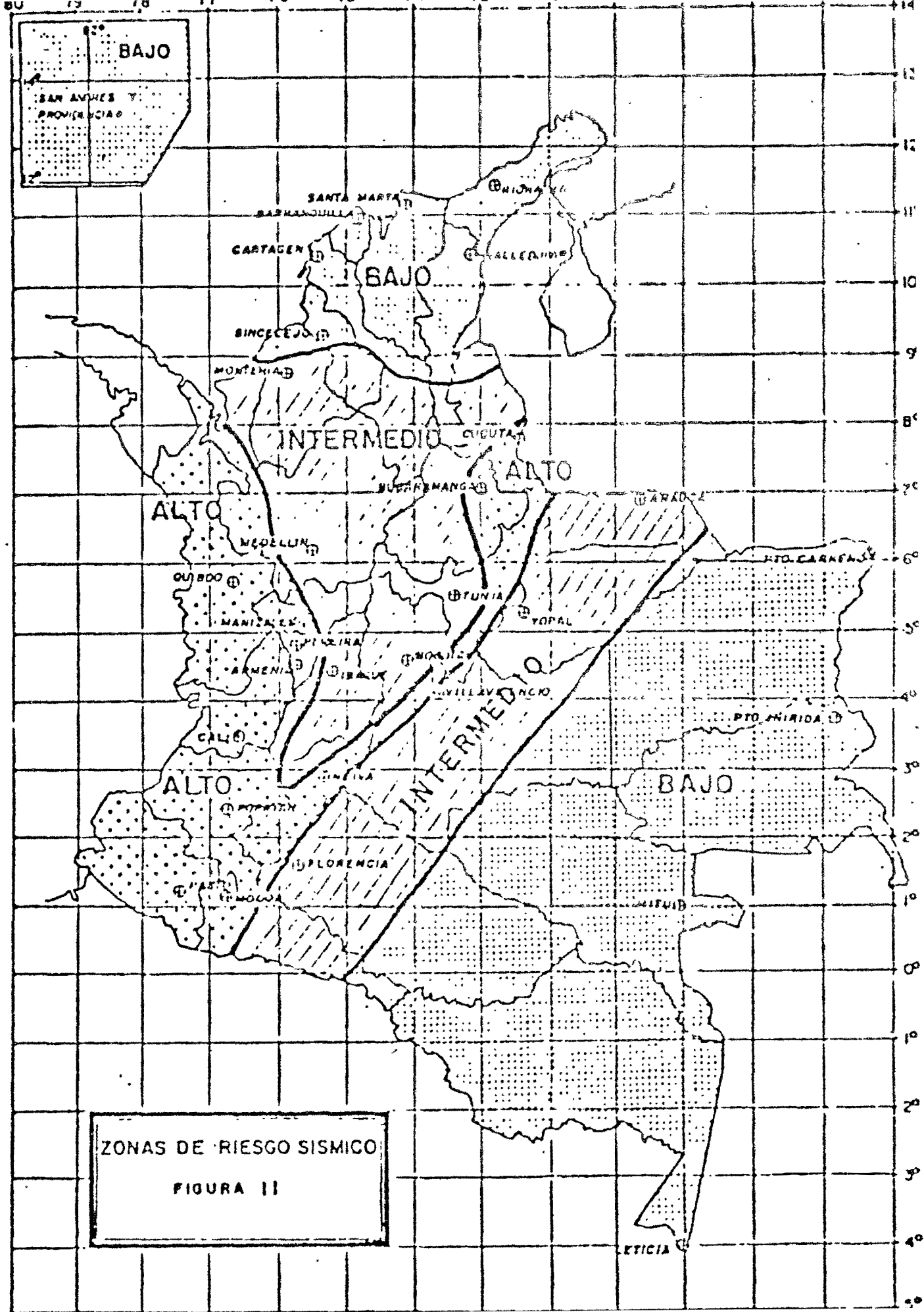


Fecha: Diciembre 12 de 1979  
 Magnitud mb = 6.4  
 Profundidad del foco = 24 kms  
 Latitud epicentro °  
 Longitud epicentro °  
 07 Hrs 59 Min 03.3 Segs

0 100 200 K

FIGURA 10  
 COLOMBIA

MADA DE LOS...



ZONAS DE RIESGO SISMICO  
 FIGURA II