



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**“ESTUDIO DE AMENAZA SÍSMICA PARA LA CIUDAD  
DE SAN CRISTÓBAL EDO. TÁCHIRA”**

**Realizado por:**

GARCIA COLMENARES, Manuel José

PUENTE ZICCARELLI, Fausto Marcelo

**Tutor:**

GRASES, José

**Fecha:**

22/02/2010



## INDICE

|                                                             | Pág. |
|-------------------------------------------------------------|------|
| <b>CAPÍTULO 1</b>                                           |      |
| 1.1.- Introducción                                          | 1    |
| <b>CAPÍTULO 2: GEOLOGÍA DE LA REGIÓN</b>                    | 4    |
| 2.1.- Marco Sismotectónico Regional                         | 4    |
| 2.1.1.- Falla Boconó Sur                                    | 4    |
| 2.1.2.- Falla de Piedemonte Norandino                       | 9    |
| 2.1.3.- Falla de Piedemonte Surandino                       | 9    |
| 2.1.4.- Falla de Uribante                                   | 11   |
| 2.1.5.- Falla de Caparo Norte                               | 11   |
| 2.1.6.- Falla Caparo Sur                                    | 12   |
| 2.1.7.- Sistema Central Andino                              | 12   |
| 2.1.8.- Falla de San José de Bolívar                        | 12   |
| 2.1.9.- Falla de Seboruco                                   | 13   |
| 2.1.10.- Falla de Aguas Calientes                           | 13   |
| <b>CAPÍTULO 3: ANALISIS DE DATOS SISMOLÓGICOS</b>           |      |
| 3.1.- Base de Datos                                         | 14   |
| 3.2.- Sismos que han afectado la Región Occidental del país | 14   |
| 3.3.- Efectos reportados o inferidos de los sismos          | 26   |
| 3.4.- Sismicidad de la Región Andina                        | 26   |
| 3.4.1.- Sismicidad de Baja Magnitud                         | 29   |
| 3.4.2.- Sismos con Magnitudes en exceso de 6,0              | 29   |
| 3.5.- Tasas Medias de Excedencia                            | 30   |
| <b>CAPÍTULO 4: MODELO SISMOTECTÓNICO</b>                    | 33   |
| 4.1.- Caracterización de Fuentes Sísmicas                   | 33   |
| 4.2.- Sismo Máximo Probable                                 | 34   |
| <b>CAPÍTULO 5: LEYES DE ATENUACIÓN</b>                      | 38   |
| 5.1.- Introducción                                          | 38   |
| 5.2.- Leyes de Atenuación Usadas                            | 38   |



|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| <b>CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO</b>  | 40 |
| 6.1.- Análisis Probabilístico                      | 40 |
| 6.1.1.- Algoritmo de Cálculo                       | 40 |
| 6.1.2.- Resultados del Cálculo del Peligro Sísmico | 41 |
| 6.2.- Evaluación Determinística                    | 44 |
| <br><b>CAPÍTULO 7: ESPECTROS DE RESPUESTA</b>      | 45 |
| 7.1.- Introducción                                 | 45 |
| 7.2.- Espectros para el Estudio de Amenaza Sísmica | 45 |
| 7.2.1.- Componente Horizontal                      | 45 |
| 7.3.- Solicitaciones de Diseño                     | 46 |
| <br><b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES</b>                | 50 |
| Referencias                                        | 51 |
| Anexos                                             | 55 |



## **AGRADECIMIENTOS**

### **MANUEL GARCIA COLMENARES**

Gracias al Profesor Ing. José Grases por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo especial de grado junto a él, impartirme sus valiosos conocimientos, brindarme formación tanto intelectual como personal con gran paciencia y sobrada capacidad pedagógica.

Gracias al Profesor Ing. Alfonso Malaver por su ayuda y consejos a lo largo de la realización de este trabajo, así como el excelente trato y disposición para mi persona.

Gracias a las profesoras María Viana y María Barreiro por todas sus ayudas, consultas y conocimientos que me brindaron durante la carrera.

Gracias a mis Padres: Ing. Manuel García Barreto y Mireya Colmenares de García por su apoyo permanente, a mis Hermanas Mireya y Claudia por sus consejos y ayudas en todo sentido, a mi cuñado Juan Ramón Peña que es un segundo Padre para mí y gracias a mis Tíos: José Rosillo y Yuli por su consecuente y desinteresado respaldo.

Gracias a todos mis amigos que me acompañaron y con quienes siempre conté durante toda la carrera, en especial a Jaime González.

Y, finalmente gracias a mi compañero de tesis y gran amigo Fausto Puente por su paciencia y gran dedicación; deseándole el mejor de los éxitos profesionales y personales; fue un gran placer y orgullo realizar este trabajo especial de grado junto a él.

Gracias a Dios por su ayuda y darme la oportunidad de alcanzar mi objetivo propuesto.



## **FAUSTO PUENTE ZICCARELLI**

Gracias al Profesor Ing. Alfonso Malaver por haberme brindado tantas oportunidades, haberme guiado y ayudado durante estos últimos meses tan decisivos en la culminación de la carrera.

Gracias al Profesor Ing. José Grases por haber aceptado guiar este Trabajo Especial de Grado, pero sobre todo por su vocación de enseñanza, paciencia y habernos tratado de manera tan especial.

Gracias a mis padres por sus consejos, apoyo incondicional en todo momento y estar a mi lado siempre.

Gracias a Karen por estar a mi lado, haberme retado para superarme siempre, ayudarme a ser mejor persona y mejor profesional.

Gracias a mis amigos por su apoyo y sobre todo a Manuel por todo lo que hemos pasado juntos en este trabajo y en la carrera, por su paciencia, constancia y perseverancia. Es todo un Honor haber trabajado a su lado en ésta Tesis.

Finalmente, gracias a Dios por llenar mi espíritu, mi fe y darme fuerzas para nunca bajar los brazos en los momentos más difíciles.



## CAPITULO 1

### 1.1.- INTRODUCCION

El cinturón orogénico venezolano, constituido por la cadena de los Andes, la cordillera de la costa y la Serranía del Interior, está surcado por numerosos accidentes tectónicos de actividad cuaternaria comprobada que se distribuyen en una franja de 100 km de ancho y de dirección NE-SW en los Andes y E-W en Venezuela septentrional (Stephan, 1982; Aggarwal, 1983; Soulas, 1986, Beltrán & Giraldo, 1989). Este cinturón tectónico corresponde a la frontera entre las placas del Caribe y Sudamericana (Molnar & Sykes, 1969; Minster & Jordan, 1978; Perez & Aggarwall, 1981; Stephan, op.cit.; Aggarwal op.cit.; Aggarwal, et al. 1984) (Figura 1.1). La mayoría de estos autores concuerdan en indicar que el movimiento tectónico relativo dextral entre ambas placas se concentra principalmente a lo largo del sistema de fallas de Boconó-San Bajos y El Soldado. Este sistema de fallas se prolonga hacia el Sur-Oeste desde las inmediaciones de San Cristóbal hasta el Golfo de Guayaquil (Ecuador) a través del sistema frontal del piedemonte llanero colombiano y fallas menores en territorio ecuatoriano de orientación igualmente NE-SW tales como Pallatanga y Dolores; antes, el sistema sufre dos inflexiones en ángulo recto a nivel de la frontera colombo-venezolana, donde la compatibilidad cinemática es realizada por fallas de dirección NW-SE tales como Bramón y Chucarima. Este sistema mayor, de varias centenas de kilómetros de longitud, disocia la placa sudamericana en dos, permitiendo el desplazamiento hacia el Norte de la casi totalidad de las zonas montañosas de Colombia y del bloque de Maracaibo, el cual está a su vez limitado por las fallas de Santa Marta-Bucaramanga y de Boconó al SW y SE, respectivamente.

En territorio Venezolano este cinturón tectónico tiene asociada una importante actividad sísmica, tanto histórica (Cluff & Hansen, 1969 y Grases, 1981) como instrumental (Molnar & Sykes, 1969; Dewey, 1972; Tomblin, 1972 y Cisternas & Gaulon, 1984); por otra parte, existe igualmente una sismicidad peculiar cercana a la ciudad de Bucaramanga en territorio Colombiano, localizada a profundidades intermedias, conocida como el “Nido Sísmico de Bucaramanga”.



El Estado Táchira está inscrito dentro de una franja tectónicamente activa, las fallas potencialmente activas de Caparo y el Sistema Central Andino son accidentes estructurales satélites de la falla de Boconó, localizados paralelamente y a unas pocas decenas de kilómetros al Sur de éste. Este último constituye uno de los accidentes tectónicos de mayor potencial sismogénico en Venezuela por conformar la frontera entre las placas tectónicas del Caribe y de América del Sur (Véase **figura 1.1**).

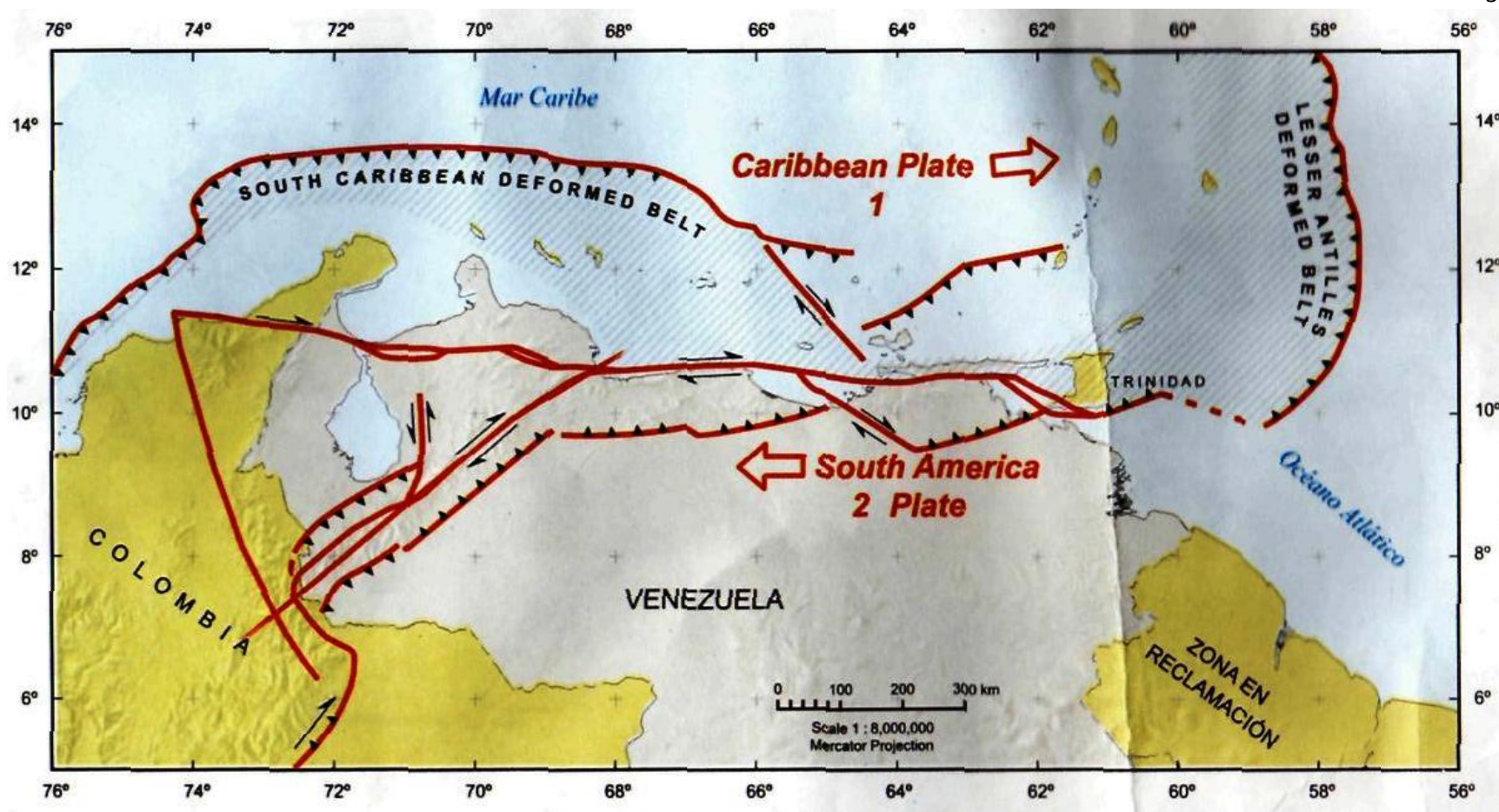


FIGURA 1.1 ESQUEMA DE LÍMITES DE PLACAS PARA VENEZUELA (Audemard et al, 2000)



## CAPITULO 2

### GEOLOGIA DE LA REGION

#### 2.1.- MARCO SISMOTECTÓNICO REGIONAL

En la **TABLA 2.1** se presentan valores de la ciudad de San Cristóbal, Estado Táchira, de los parámetros sismogénicos de las fallas activas o potencialmente activas a considerar en la evaluación del peligro sísmico del Edo Táchira, de acuerdo con trabajos publicados y sintetizados en el Mapa Neotectónico de Venezuela elaborado por FUNVISIS en el año 1993 (Véase **figura 2.2 y 2.3**) y en el Mapa de Fallas Cuaternarias elaborado por Audermard et al. en el año 2000 (**figuras 2.4**). A continuación se presenta una síntesis de las características más resaltantes de las fallas más importantes anotadas en la **TABLA 2.1**.

##### 2.1.1.- FALLA DE BOCONÓ SUR

Numerosos criterios geomórficos establecen la presencia y la actividad de la falla de Boconó entre el Sur de Mérida y la población de la Grita, estado Táchira (FUNVISIS, 1983). Sin embargo, la existencia de un cambio de dirección de 90° en el trazado de la falla a nivel de la frontera colombo-venezolana (**Véase figura 1.2**) implica una desaceleración del sistema y un problema para la libre propagación de la ruptura. En consecuencia, se considera que este sector de la falla debe poseer sus propias características cinemáticas y por consiguiente sismogénicas. La evaluación paleosísmica por vías de trincheras ha permitido establecer (Autodemard & Soulas, 1995) que:

- La velocidad de la falla de Boconó en cercanía a la población de La Grita, al sur de Mérida, disminuye a un valor de 5 á 6 mm/a. Tal reducción puede ser explicada por la presencia de fallas menores sub-paralelas (Sistemas Central Andino, falla de Seboruco-Aguas Calientes, Uribante, Caparo, La Colorada-Macanillo y San José de Bolívar) que pueden acomodar igualmente la transcurrancia dextral que al Norte de Mérida, donde la falla de Boconó exhibe su mayor velocidad de desplazamiento, es totalmente acomodada por este único accidente transcurrente.
- El sismo histórico destructor de 1610 parece haber sido generado por el segmento de la falla de Boconó al Sur de Mérida (**Véase tabla 4.2**). Las magnitudes de estos sismos a partir de los desplazamientos cosísmicos medidos en trinchera fueron estimadas entre 7,0 y 7,2. Aggarwal (1981) había estimado muy preliminarmente sismos de tal



magnitud para dicho sector de la falla de Boconó. Igualmente, pero basado en criterios de segmentación de fallas, FUNVISIS (1983) estimó la ocurrencia de un sismo máximo probable Ms 7,5 para el segmento de sistema de Boconó al Sur de Mérida; los períodos de retorno de sismos de tal magnitud están en el orden de los 285-300 años (tiempos transcurrido entre los dos eventos) para este segmento de la falla.



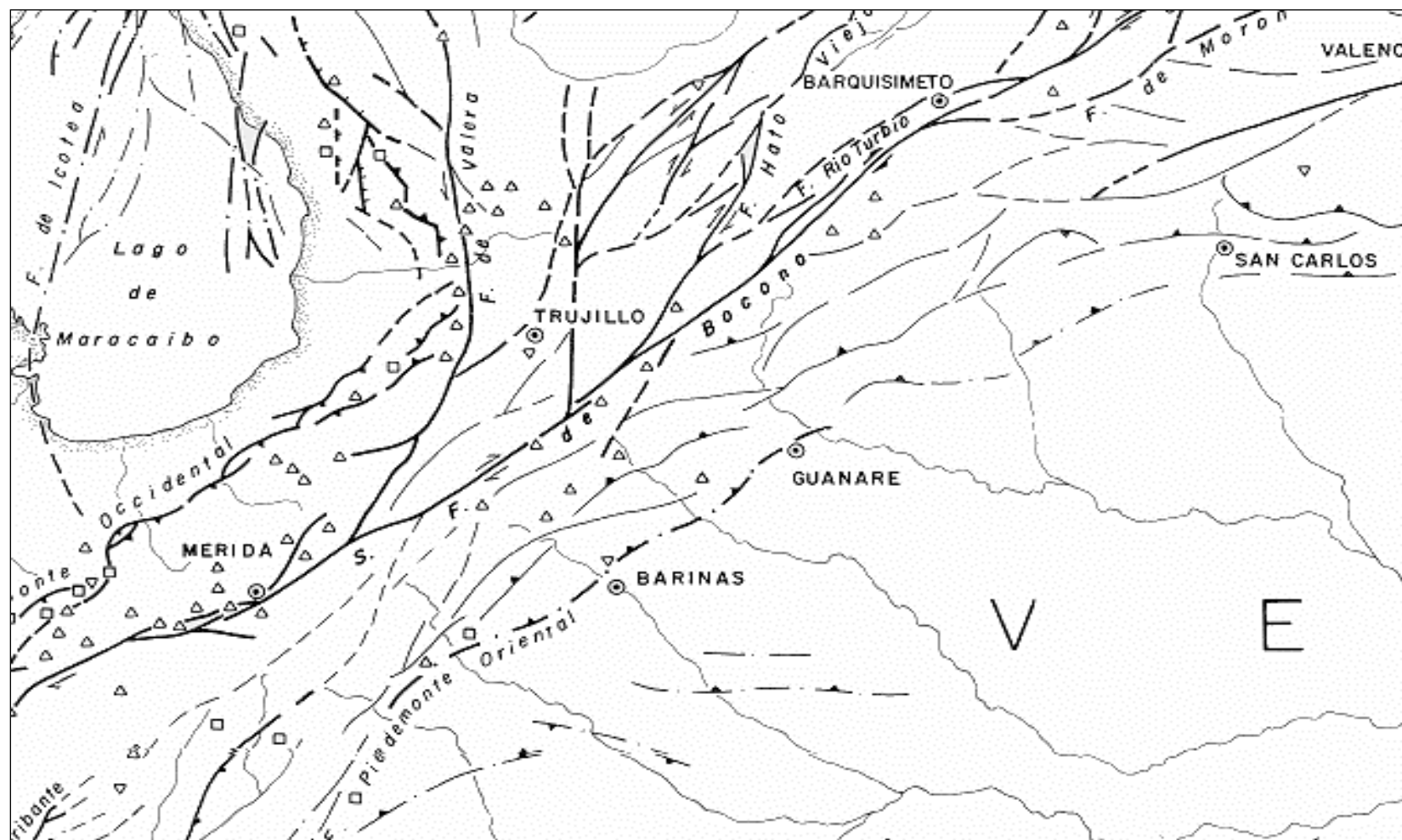


FIGURA 2.3 FALLAS ACTIVAS DE LA REGION ANDINA DE VENEZUELA (funvisis, 1993)

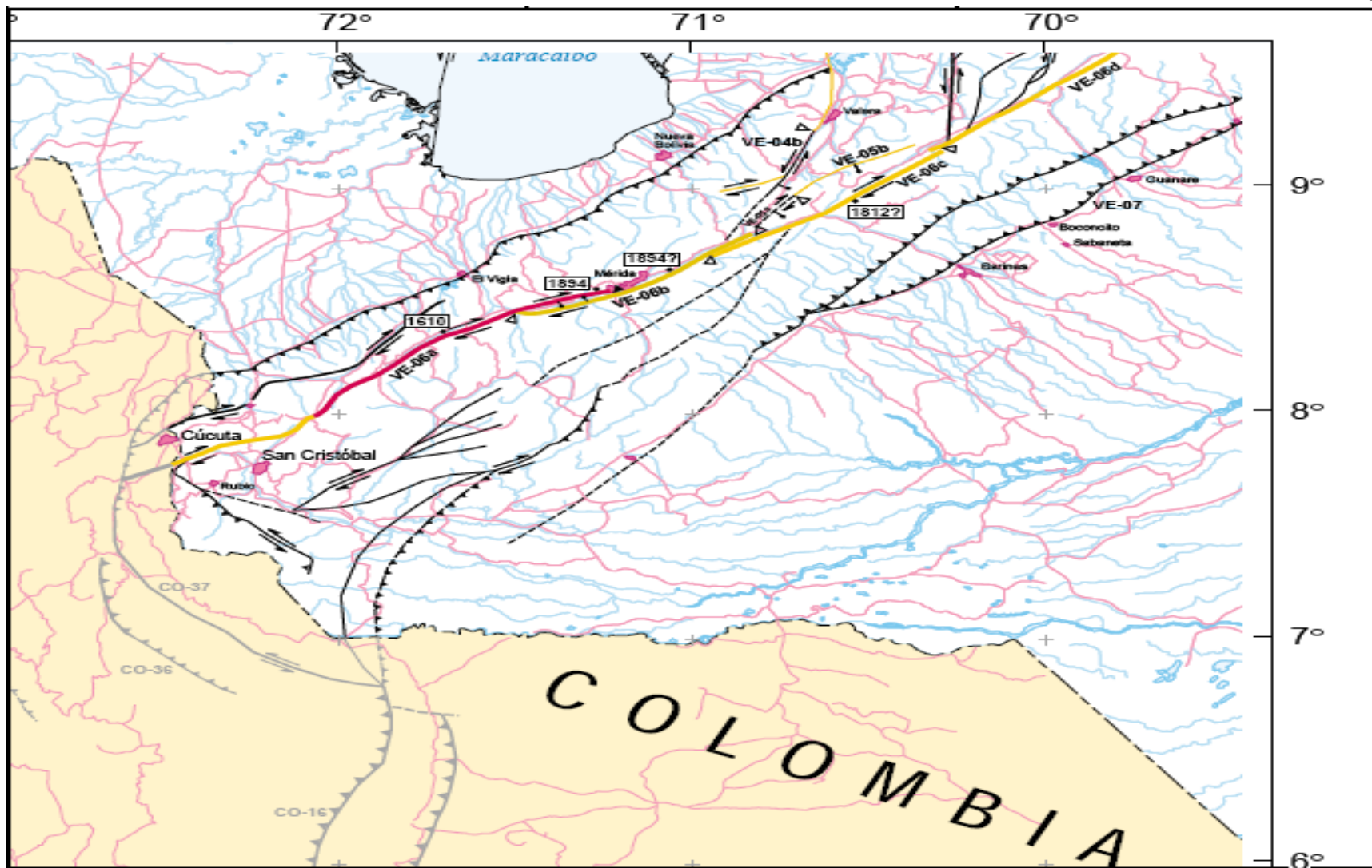


FIGURA 2.4 PRINCIPALES FALLAS ACTIVAS DE LA REGIÓN ANDINA DE VENEZUELA (Audemard, et al 2000)



La falla de Boconó en su porción mas sur, al Norte de San Cristóbal, se subdivide en varias trazas, lo cual disminuye aún más los periodos de retorno (el principio de multiplicidad de fallas es válido en este caso), aunque las magnitudes no sean sustancialmente reducidas ya que se observaron deformaciones permanentes en la trinchera del Fundo Mis Delirios, al Norte de Cordero, lo cual permite inferir la ocurrencia de sismos de magnitud superiores a 7,0 pero no mayores de 7,6.

#### **2.1.2.- FALLAS DEL PIEDEMONTES NORANDINO**

Este sistema de fallas inversas de bajo ángulo se extiende desde Agua Viva hasta la frontera colombo-venezolana, a lo largo del pie del flanco noroccidental de los Andes merideños, según una dirección NE-SW los ramales de este sistema se amortiguan hacia el NE contra la falla de Valera.

Utilizando información proveniente de la cartografía detallada de Soulas (1986), se puede estimar la velocidad vertical del ramal más activo entre 0,4 á 0,3 mm/a. Estudios más recientes evalúan la velocidad de desplazamiento en el orden de 0,2 á 0,4 mm/a.

Se estima preliminarmente en esta falla la ocurrencia de un sismo máximo probable de magnitud Ms 7,1 cada 3.500 años, a consecuencia de una ruptura de unos 60 km.

#### **2.1.3.- FALLAS DEL PIEDEMONTES SURANDINO**

Este sistema nunca ha sido estudiado desde el punto de vista Neotectónico. Sin embargo, por simetría con su equivalente Norandino, se asume la existencia de un sistema de fallas inversas activas de bajo ángulo que se extendería a lo largo del flanco suroriental de los Andes de Mérida, desde la frontera Colombo-Venezolana hasta las inmediaciones de la población de Acarigua, según una orientación SW-NE.

Igualmente se debe asumir la velocidad de desplazamiento vertical del sistema Surandino en 0,2 á 0,5 mm/a por similitud con su equivalente Noroccidental. En consecuencia, preliminarmente, se estima la ocurrencia probable de un sismo de magnitud Ms 7,2 aproximadamente cada 3.000 á 7.500 años, producto de una ruptura de superficie con una longitud de unos 70 km.



TABLA 2.1

| Nº | FALLA                       | PROFUNDIDAD<br>FOCAL<br>(km) | LONGITUD<br>DE<br>RUPTURA<br>(km) | SISMO<br>MAXIMO<br>PROBABLE<br>(Ms) | PERIODO<br>DE<br>RETORNO<br>(años) |
|----|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1  | Pie de Monte Sur            | 15                           | 55                                | 7,1                                 | 6300                               |
| 2  | Pie de Monte Norte          | 15                           | 70                                | 7,2                                 | 5700                               |
| 3  | F. de Muticúa               | 15                           | 70                                | 7,0                                 | ≥3000                              |
| 4  | Valera Sur                  | 12                           | 30                                | 6,7                                 | 1200                               |
| 5  | Tuñame                      | 10                           | 30                                | 6,6                                 | 1400                               |
| 6  | Icotea                      | 15                           | 70                                | 7,1                                 | 1500                               |
| 7  | F. Morro Negro              | 15                           | 70                                | 7,0                                 | ≥3000                              |
| 8  | Boconó Central              | 15                           | 300                               | 7,8                                 | 345                                |
| 9  | Boconó Sur                  | 15                           | 200                               | 7,5                                 | 300                                |
| 10 | Caparo Norte                | 15                           | 65                                | 7,0                                 | 1500                               |
| 11 | Caparo Sur                  | 15                           | 70                                | 7,1                                 | >2000                              |
| 12 | Uribante                    | 15                           | 40                                | 6,8                                 | >1600                              |
| 13 | Rio Zulia                   | 15                           | 70                                | 6,9                                 | 11500                              |
| 14 | S. Vicente Norte            | 15                           | 40                                | 6,8                                 | ≥3000                              |
| 15 | S. Vicente Sur              | 15                           | 40                                | 6,8                                 | ≥3000                              |
| 16 | Aguas Calientes             | 15                           | 30                                | 6,5                                 | >500                               |
| 17 | Bramón                      | 15                           | 70                                | 7,1                                 | 4500                               |
| 18 | Chucarima                   | 15                           | 70                                | 7,1                                 | 950                                |
| 19 | Front. Cord.<br>Oriental    | 15                           | 70                                | 7,2                                 | ≥3000                              |
| 20 | Suarez                      | 15                           | 30                                | 6,5                                 | ≥4500                              |
| 21 | Pamplona                    | 15                           | 30                                | 6,8                                 | 670                                |
| 22 | Bucaramanga-<br>Santa Marta | 15                           | 120                               | 7,4                                 | 2800                               |
| 23 | Seboruco                    | 15                           | 55                                | 7,0                                 | >1050                              |
| 24 | S. J. de Bolívar            | 12                           | 24                                | 6,6                                 | >1360                              |
| 25 | Sist. Sur Andino 3          | 10                           | 40                                | 6,9                                 | >2000                              |
| 26 | Sist. Sur Andino 2          | 10                           | 25                                | 6,5                                 | >1600                              |
| 27 | Sist. Sur Andino 1          | 10                           | 28                                | 6,5                                 | >1600                              |
| 28 | Sist. Sur Andino N          | 10                           | 65                                | 6,8                                 | >1100                              |
| 29 | Puerto Rondón               | 15                           | 30                                | 6,5                                 | >1300                              |



#### **2.1.4.- FALLA DE URIBANTE**

La falla de Uribante constituye la extremidad más meridional del Sistema Central Andino (Funvisis, 1983), la cual se extiende subparalelamente por unos 40 km y en posición meridional con respecto a la falla de Boconó, al Sur de San Cristóbal, a lo largo de la sección NE-SW de río Uribante. Hacia el Norte ésta falla se subdivide en tres, asemejándose a un “tridente”. Por el contrario, hacia el Sur, termina abruptamente contra un sistema de fallas de dirección NW-SE, entre las cuales sobresalen las fallas de Bramón, Pamplona y Chucarima que se superponen a lo largo de la frontera Colombo-Venezolana. Las evidencias geomórficas de actividad cuaternaria determinada por FUNVISIS (1983) a lo largo de este accidente indican un funcionamiento reciente en falla dextral con componente vertical normal.

FUNVISIS (op.cit.) estima la ocurrencia de un sismo máximo probable asociado a este accidente de magnitud Ms 6,6 producto de una longitud de ruptura de unos 25 km, con período de retorno entre 1.450 a 7.300 años, en función de su velocidad de desplazamiento calculada entre 0,1 a 0,5 mm/a.

#### **2.1.5.- FALLA DE CAPARO NORTE**

La falla de Caparo se extiende sub-paralelamente al piedemonte Sur de Los Andes de Mérida por una longitud superior a los 250 km, entre el Piñal al Sur y levemente al Norte de Santo Domingo, donde confluye con la falla de Boconó. Su extremidad Sur, al igual que la falla de Uribante, termina contra el sistema de Bramón y Chucarima de dirección NW-SE. Muy similarmente a como sucede con el Sistema Central Andino, la actividad de este sistema se hace más evidente hacia el Sur como función directa de la cantidad y calidad de las evidencias geomórficas diagnósticas de actividad cuaternaria (Funvisis, 1983). Dichos criterios evidencian el juego de este accidente en falla dextral. La actividad de esta falla se ve confirmada por la ocurrencia de un sismo de magnitud el 31 de Mayo de 1994 y de una serie de réplicas en los días subsiguientes que fueron localizadas por Funvisis en asociación a la extremidad Sur de la falla de Caparo, en cercanía a la población de El Piñal. La velocidad del sistema disminuye progresivamente hacia el Norte hasta su confluencia con la falla de Boconó, variando de Sur a Norte entre los rangos de 1,0 – 2,5 mm/a y de 0,5-0,9 mm/a respectivamente (Funvisis, 1983).



Para el sector norte de la falla de Caparo, Funvisis (1983) estima la ocurrencia de un sismo máximo probable asociado a este accidente de magnitud Ms 7,0 producto de una longitud de ruptura de unos 65 km centrado hacia la porción sur de este sector, con período de retorno entre 500 á 1.250 años, en función de su velocidad de desplazamiento calculada entre 1,0 á 2,5 mm/a.

#### **2.1.6.- FALLA DE CAPARO SUR**

Para el sector Sur de la falla de Caparo, Funvisis (1983) Estima la ocurrencia de un sismo máximo probable de magnitud Ms 7,1 producto de una longitud de ruptura de unos 75 km con período de retorno máximo de por lo menos 1,0 mm/a.

#### **2.1.7.- SISTEMA CENTRAL ANDINO**

El sistema Central Andino puede ser subdividido en dos segmentos principales: uno Norte y otro Sur. El segmento Norte no aparenta ser tan activo como el Sur, ya que las evidencias geomórficas son menos numerosas. Por su parte, el segmento Sur a su vez puede ser subdividido en tres trazas (Sur 1, Sur2 y Sur 3) que se ramifican hacia el Norte de la extremidad Norte de la falla de Uribante y éstas presentan indicios de deformación de edad cuaternaria en falla normal (FUNVISIS, 1983).

Los potenciales sismogénicos estimados son los siguientes: a) Sistemas Central Andino Sur1 y Sur2: sismo máximo probable de 6,5 con período de retorno de 1.600 años; b) Sistema Central Andino Sur3: sismo máximo probable de 6,8 con período de retorno del orden de 2.000 años y c) Sistema Central Andino Norte: sismo máximo probable de 6,8 con período de retorno mayor a 2.500 años.

#### **2.1.8.- FALLA DE SAN JOSÉ DE BOLÍVAR**

Este accidente tectónico potencialmente activo ha sido poco reseñado en la literatura geológica de la zona, a excepción del Mapa Neotectónico de Venezuela a escala 1:2.000.000 compilado por Beltrán (1993). No obstante, se indica que está localizado al Sur de la Falla de Boconó, con la cual converge en las inmediaciones de Bailadores. Por su paralelismo con dicha falla, se infiere que debe ser igualmente una falla dextral.



Se estima preliminarmente que esta falla tiene una capacidad sismogénica para generar un sismo Ms 6,6 con recurrencia superior a 1.360 años debido a una ruptura de unos 24 km de largo y a una velocidad de desplazamiento inferior a 0,5 mm/a.

#### **2.1.9.- FALLA DE SEBORUCO**

La falla de Seboruco se extiende sub paralelamente al piedemonte Norandino, por una longitud del orden de los 60 km, en una posición más interna dentro de los Andes de Mérida, según una dirección WSW-ENE desde una posición septentrional a la población de San Juan de Colón, extendiéndose más allá de Seboruco. Por su paralelismo con el sistema frontal inverso de la cuenca del Lago de Maracaibo, podemos inferir que esta falla debe presentar una fuerte componente vertical en falla inversa. Sin embargo, igualmente debe tener una componente horizontal dextral en función del campo regional compresivo de dirección cercana a la Este-Oeste propuesto por Giraldo & Beltrán (1988).

Se estima la ocurrencia de un sismo máximo probable asociado a este accidente de magnitud Ms 6,9 á 7,0, producto de una longitud de ruptura variable entre unos 45 á 60 km, con periodo de retorno entre 1.050 y 2400 años, en función de su velocidad de desplazamiento calculada entre 0,5 á 1,0 mm/a.

#### **2.1.10.- FALLA DE AGUAS CALIENTES**

La falla de Aguas Calientes parece estar cinemáticamente conectada a la falla de Seboruco, aunque presenta un comportamiento similar a la falla de Boconó (NE-SW), lo cual permite considerar esta falla como transcurrente dextral. Este accidente tectónico se extiende por una longitud del orden de unas pocas decenas de kilómetros en dirección SW-NE desde Ureña hasta San Juan de Colón, donde se conecta a través de una falla NW-SE con la falla de Seboruco.

Se estima preliminarmente un sismo máximo probable de magnitud 6,5 a lo largo de esta falla, con período de retorno superior a 470 años, correspondiente a una longitud de ruptura de unos 30 km. La velocidad de esta falla ha sido tentativamente estimada inferior a 1,5 mm/a.



## CAPITULO 3

### ANALISIS DE DATOS SISMOLOGICOS

#### 3.1.- BASE DE DATOS

Para el análisis de la información sismológica de la región en estudio, se han revisado los catálogos actualizados de la actividad sísmica en Venezuela que se anotan a continuación:

- a) Funvisis (1989). Catálogo de sismos basados en registros instrumentales, INTEVEP-FUNVISIS, 1900-1988. Caracas.
- b) GRASES, J., ALTEZ, R. y LUGO, M. (1999). Catálogo de Sismos Sentidos o Destructores en Venezuela, 1530-1998. Editorial Innovación Tecnológica, Facultad de Ingeniería, UCV. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Vol. XXXVII - Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- c) CERESIS (1985). Catálogo de Terremotos para América del Sur. Datos de hipocentros e intensidades. Venezuela. Volúmen 8. Proyecto SISRA. Lima. Perú
- d) SINGER, A., ROJAS, C, y LUGO, M. (1983) Inventario Nacional de Riesgos Geológicos. Dpto. de Ciencias de la Tierra, Funvisis, Caracas.

#### 3.2.- SISMOS QUE HAN AFECTADO LA REGIÓN OCCIDENTAL DEL PAÍS

Los terremotos son catástrofes naturales que han provocado destrucción, desamparo y muerte a la humanidad desde tiempos históricos. Debido a la violenta sacudida del terreno ciudades enteras han sido devastadas y reducidas a escombros además de pérdidas humanas.

Los terremotos, que son producto de la dislocación o ruptura de la roca, han causado daños a nivel de catástrofe como la ocurrida en Tangshan, China en 1976 que causó la muerte a más de 300.000 personas y numerosas pérdidas materiales.

En Venezuela ocurrió un sismo destructor el 26 de Marzo de 1812 que afectó severamente a ciudades distantes como Mérida, Barquisimeto, San Felipe y Caracas; además que causó la muerte a 4.000 personas.

A continuación se presenta una síntesis de los sismos más importantes que han ocurrido en el occidente del país.



- **TERREMOTO DE LA GRITA DEL 3 DE FEBRERO DE 1610**

El sismo más antiguo que conoce en los Andes Venezolanos es el que destruyó la población de La Grita el 3 de Febrero de 1610, a las 3 de la tarde. Los daños principales se concentraron entre la antigua población de La Grita y lo que corresponde hoy día al pueblo de Tovar, en el valle del Río Mocotíes, Estado Mérida, donde la intensidad máxima asignada alcanzó el grado X, cerca de la aldea de Bailadores. En esta área ocurrió un gigantesco alud, consecuencia del movimiento. En La Grita, población más importante de la zona, la intensidad fue de grado IX, casi todas las casas fueron destruidas. Hubo más de 60 muertos, en toda la región. Se reportaron hundimientos de tierra, grietas en lechos de ríos y quebradas, desaparición del lecho del flujo de agua, deslizamientos y desprendimientos de tierra.

El epicentro Macrosísmico ha sido ubicado entre las poblaciones de La Grita y Bailadores, en las cercanías de la traza principal de la falla de Boconó, asignándose una intensidad máxima de grado X para La Grita, de VIII para San Cristóbal y VII para Pamplona. No hay referencias sobre Mérida.

- **TERREMOTO DE PAMPLONA DEL 16 DE ENERO DE 1644**

El 16 de Enero de 1644, a las 5:30 de la mañana, un fuerte terremoto destruye casi por completo la población de Pamplona, en Colombia; la iglesia, el convento y todas las edificaciones principales cayeron al suelo; la intensidad sísmica alcanzada fue de grado X. En San Cristóbal hubo destrucción de casi todas las casas, hubo hundimientos del suelo en la zona La Hermita con una probabilidad de intensidad de VIII. En la Grita y Mérida hubo daños no especificados, quizás alcanzando una intensidad del grado V, se menciona que fue sentido hasta Santa Fe de Bogotá, Colombia, y Trujillo, Venezuela, aunque no se reportaran en particular los efectos del sismo. El epicentro Macrosísmico se ubica en la cercanía de Pamplona. La fuerza destructiva en la zona epicentral y la extensión del área sentida hacen pensar en un terremoto asociado a una magnitud significativa.

- **SISMO EN LA LOBATERA DEL 26 DE FEBRERO DE 1849**

Un terremoto, de efectos concentrados en un área relativamente pequeña, sacudió parte del Estado Táchira, a las 5:30 de la mañana del día 26 de Febrero de



1849, con magnitud asignada de 6,0. La acción del sismo se centró en la zona de Lobatera, donde resultaron destruidas las 3/4 partes de las viviendas, para una intensidad máxima de grado IX. En esta localidad se reportaron 42 muertes y más de 50 heridos. Causó grandes averías en las edificaciones de Borotá (VIII), Palmira (VIII), Táriba (VIII), Capacho (VIII), Mesa de Aura (VIII), San Cristóbal (VII), La Grita (VII) y San Antonio (VII). En Colombia fue sentido fuertemente en San José de Cúcuta (VII), la Villa del Rosario (VII) y en Pamplona (VI). En Venezuela las poblaciones más distantes de la zona epicentral que reportaron el sismo fueron Mérida (V) y Maracaibo (III).

La información concerniente a efectos locales indica abundantes manifestaciones del tipo geológico pero son referidas en forma generalizada sobre un área extensa, razón por la cual se imposibilita su localización con precisión.

El epicentro Macrosísmico del movimiento principal se localiza en las cercanías de Lobatera, y quizás podría ser asociado a la zona de la falla de Boconó.

- **EL TERREMOTO DE CÚCUTA DEL 18 DE MAYO DE 1875**

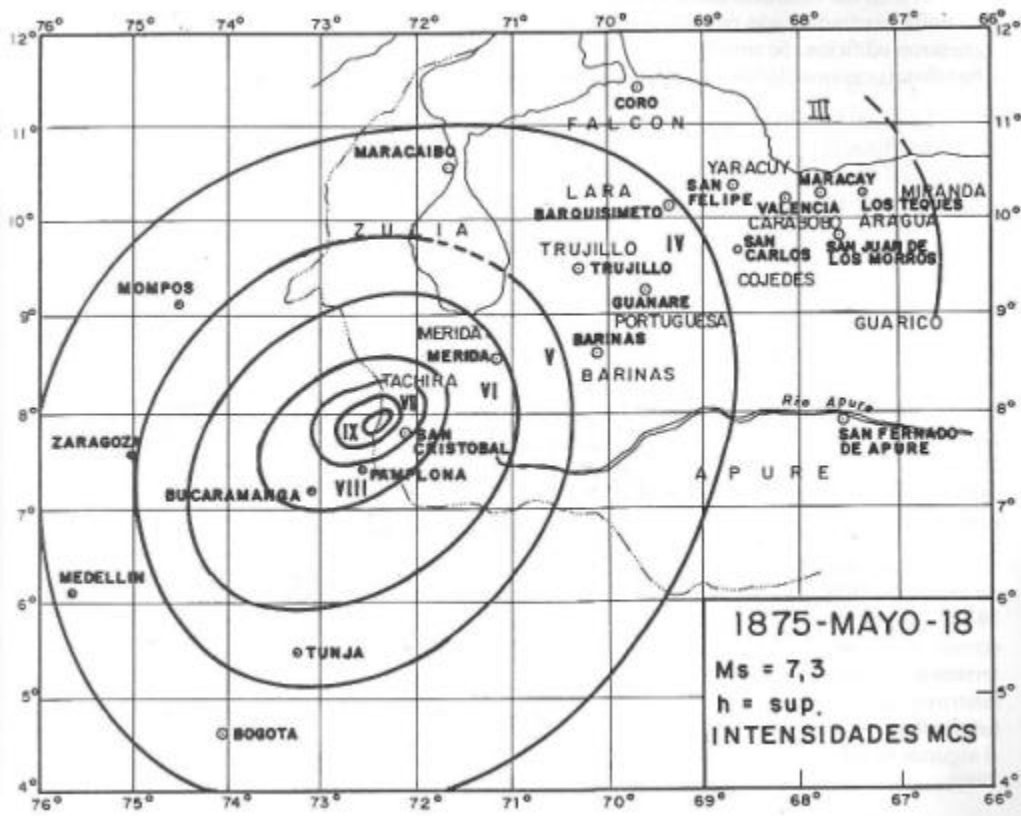
Este sismo conocido como el “Terremoto de Cúcuta”, por haber destruido totalmente la población de San José de Cúcuta, el día 18 de mayo de 1875 a las 11:15 a.m., además de causar cuantiosos daños a otras poblaciones colombianas del Departamento Norte de Santander, hizo estragos severos en varios pueblos del Estado Táchira, en Venezuela.

La intensidad máxima asignada es de XI para la ciudad de San José de Cúcuta (Colombia), la cual resultó completamente arrasada. En las poblaciones de San Antonio del Táchira, Ureña, La Mulata, Capacho y San Juan de Colón, el movimiento tuvo gran fuerza destructiva, causando daños del orden de grado X de intensidad sísmica. En la **figura 3.1** se presenta el mapa de intensidades de este evento.

Se reportaron numerosísimas observaciones sobre efectos geológicos: grietas laterales en las vegas de los ríos Táchira y Pamplonita, eyecciones de arena (Sand-Blows), manifestaciones geotermales, deslizamientos de tierra, etc. Diversas descripciones correspondientes a los valles de los ríos Táchira y Pamplonita sugieren manifestaciones de licuefacción del suelo en las vegas de estos ríos.

La mayor parte de las víctimas corresponden a la parte colombiana, más de mil muertos, la mayoría en San José de Cúcuta. En Venezuela, hubo muy pocos muertos, las pérdidas fueron principalmente de orden material.

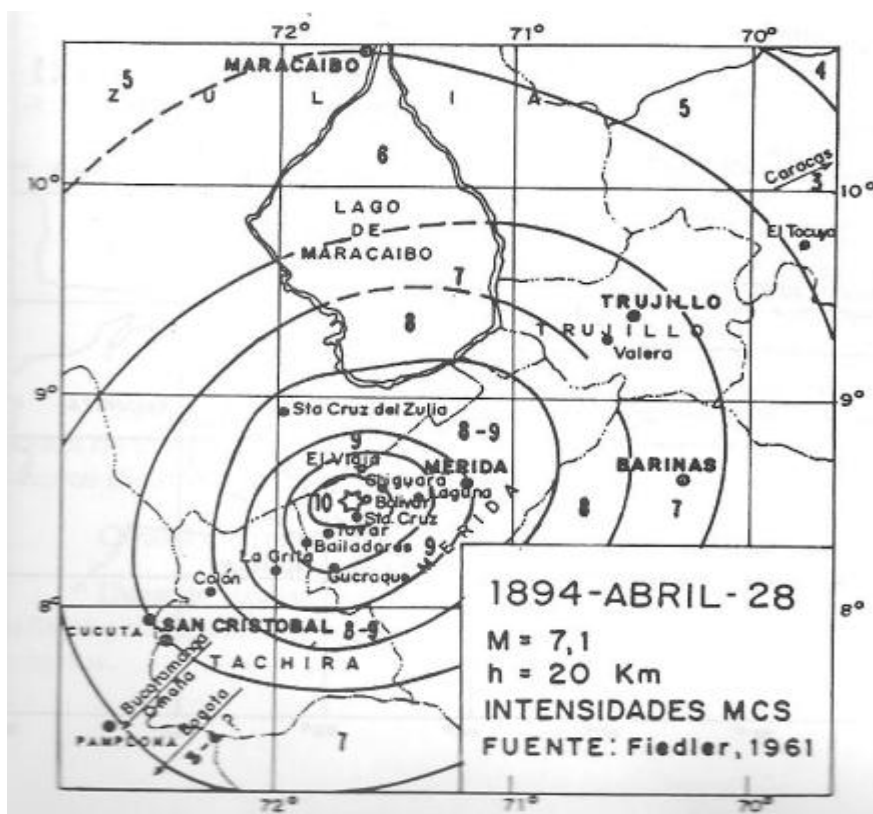
El epicentro Macrosísmico se sitúa cercano al pueblo de San José de Cúcuta, en Colombia. Es difícil establecer una asociación entre este epicentro y la tectónica de la zona; no se descarta como fuente probable de este evento a la falla de Boconó.



**FIGURA 3.1 MAPA DE ISOSITAS DEL TERREMOTO DE CUCUTA DE 1875**  
(Ramírez, 1975b)

- **EL GRAN TERREMOTO DE LOS ANDES DEL 28 DE ABRIL DE 1894**

El movimiento sísmico del 28 de Abril de 1894, conocido también como el Terremoto de Santa Cruz de Mora, es uno de los sismos más importantes de la historia sísmica de Venezuela. Este sismo causó la destrucción de las poblaciones merideñas Santa Cruz de Mora y Zea (IMM=X). Así mismo, ocasionó más de 300 muertos, daños severos en muchas poblaciones de los Estados Mérida y Táchira. Este terremoto causó una gran cantidad de efectos locales de suelos reportados: deslizamientos de tierras, caídas de rocas, hundimientos de tierra en los valles de los ríos Chamas y Mocotíes, licuefacción del suelo. En la ciudad de Mérida se registraron daños de nivel de 8MM de intensidad. El sismo no tuvo movimientos precursores y sí gran cantidad de réplicas. El epicentro lo ubica Fiedler (1961) en las coordenadas  $71,71^{\circ}\text{W}$  y  $8,5^{\circ}\text{N}$  y se corresponde aproximadamente con la traza principal de la falla de Boconó. En la **figura 3.2** se presenta el mapa de isosistas de este evento.



**FIGURA 3.2 MAPA DE ISOSISTAS DEL GRAN TERREMOTO DE LOS ANDES (fieldler, 1961)**



- **SISMO DEL 10 DE JULIO DE 1919**

A partir del 10 de Julio de 1919, a las 8 y 10 de la noche, se sucedieron una serie de temblores de tierra en la parte Sur del Estado Táchira, que trajo como consecuencia algunos daños moderados en las construcciones de varios pueblos de la zona. La serie de temblores sentidos tuvo, virtualmente, características de tormenta sísmica, siendo el primero de los temblores el que aparentemente tuvo mayor potencia.

El international Seismological Center (ISC) ofrece como dato de este evento una magnitud de 6,25. Los daños principales corresponden a las poblaciones de Queniquea y San José de Bolívar donde se produjeron agrietamientos y desplomes de casas, con una intensidad del grado VII.

- **EL TERREMOTO DE LA GRITA DEL 14 DE MARZO DE 1932**

Un sismo ocurrido el 14 de marzo de 1932, a las 5:40 p.m. causó estragos en varias poblaciones de los Estados Mérida y Táchira. La zona de daños se centró en La Grita, donde la mayoría de las edificaciones sufrieron averías, algunas con colapso parcial y daños estructurales importantes. La intensidad máxima se registró en esta ciudad, con una asignación de grado IX. Se reportaron numerosos casos de efectos geológicos: hundimientos de terreno, grietas de gran extensión, manifestaciones geotermales y fenómenos probables de licuefacción; además se informó sobre la aparición de una gran grieta en el terreno, de aproximadamente 20 km de longitud.

La zona de mayor intensidad corresponde a La Grita con grado IX y se reportaron 6 muertes. El epicentro Macrosísmico se ubica cerca de La Grita, próximo a la falla de Boconó, muy cercano a los dos epicentros calculados instrumentalmente: J. Dewey con magnitud de 6,75 mb, y G. Fiedler con magnitud de 6,5 mb. En la figura 3.3 se presenta el mapa de isosistas de este sismo elaborado por Fiedler en 1961.

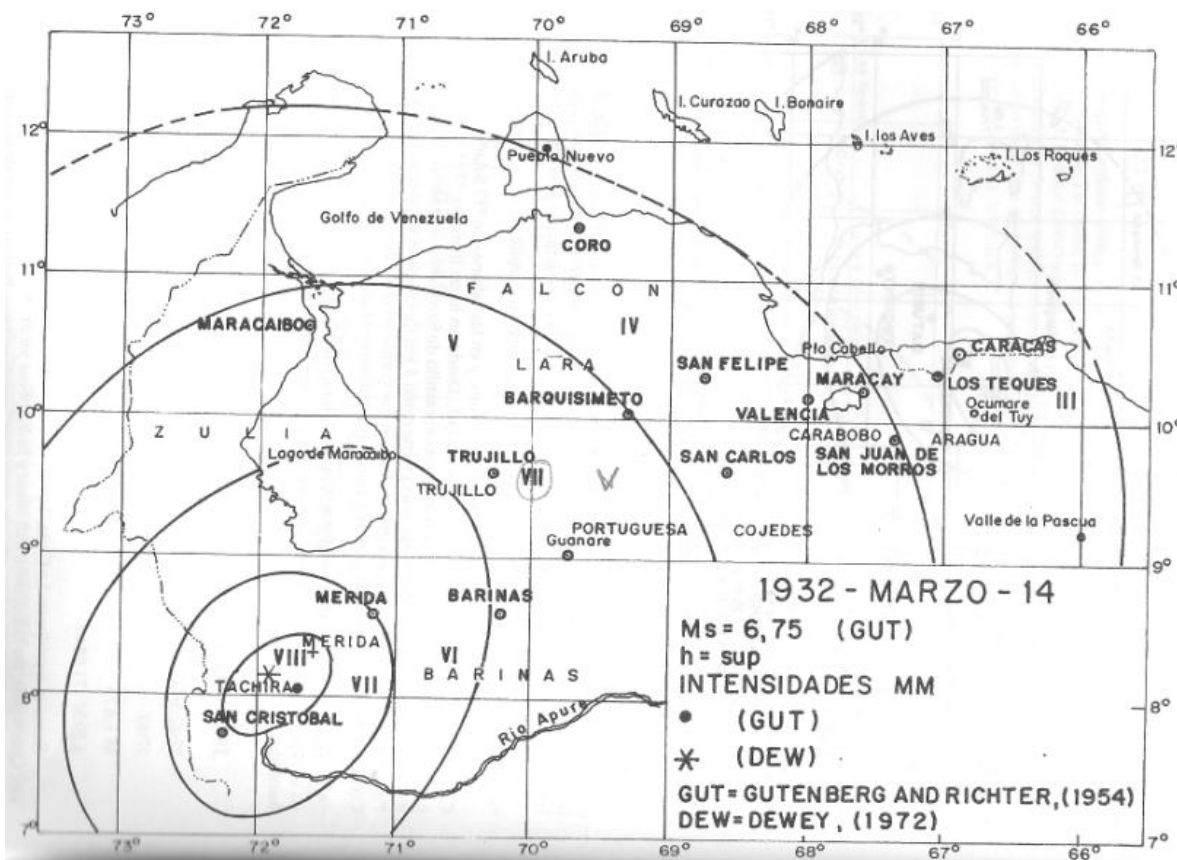


FIGURA 3.3 MAPA DE ISOSISTAS DEL TERREMOTO DE LA GRITA DE 1932 (Fiedler, 1961).



- **EL TERREMOTO DE ARBOLEDAS DEL 8 DE JULIO DE 1950**

Este evento con epicentro en la provincia de Santander del Norte, Colombia, constituye un caso de especial interés, en virtud de haber afectado la zona de estudio. El sismo tuvo lugar el día 8 de julio de 1950, a las 9:35 p.m. El sismo revistió carácter de terremoto para la población de Arboledas y Salazar de las Palmas y Cucutilla. Hubo unos 120 muertos y el número de heridos inferior al de muertos, no rebasó los 50. La zona de intensidad VI comprende las poblaciones de San Antonio del Táchira, en Venezuela. La intensidad observada en San Cristóbal, San Juan de Colón, Lobatera, Rubio, fue de orden del grado V. Como se muestra en el mapa de isosistas de la **figura 3.4.**

Múltiples efectos locales fueron reportados, tales como deslizamientos, derrumbes de tierra y agrietamientos del terreno.

El epicentro instrumental fue ubicado por Sykes al Oeste de Gramalote, en las coordenadas  $7^{\circ}54'N$  y  $72^{\circ}36'W$ , con una estimación de 7,0 grados de magnitud. El sismo tuvo numerosas replicas sentidas en la zona del Estado Táchira, y que causaron gran temor a la población de la zona; es de interés destacar el hecho de que entre las réplicas registradas hay algunas que parecen haberse localizado en territorio venezolano.

El caso particular del temblor del 3 de agosto de 1950, a las 5 a.m., es especialmente interesante pues causó algunos daños ligeros en San Juan de Colon, del orden del grado V de intensidad. El catálogo del ISC da como coordenadas hipocentrales para este evento,  $8^{\circ}00'N$  y  $72^{\circ}30'W$ , datos que corresponden a la zona Norte del Estado Táchira.

- **EL SISMO DEL 21 DE ABRIL DE 1957**

Uno de los recientes sismos reevaluados en esta región, tuvo lugar el 21 de abril de 1957 a las 4:42 p.m. Este evento tiene la particularidad de presentar dos áreas epicentrales Macrosísmicas: en Venezuela, centrada alrededor de San José de Bolívar, Estado Táchira; y la otra en Colombia, centrada en Cucutilla, departamento del Norte de Santander. Ambas zonas epicentrales tienen asignación de intensidad grado VII,



distando entre sí unos 80 kilómetros del epicentro instrumental, en ambos casos. Los efectos geológicos se redujeron a deslizamientos y derrumbes menores; en Venezuela se reportó una zona de hundimiento de terreno en la parte Sur de San José de Bolívar.

El epicentro instrumental es localizado por J. Dewey (1972) en las coordenadas  $6,96^{\circ}$  N y  $72, 20^{\circ}$  W, con una estimación de magnitud 7,10 mb, fuera de la Cordillera de Los Andes, en la zona fronteriza entre Venezuela y Colombia, correspondiendo a un área despoblada.

Esta separación entre la zona del epicentro instrumental y las dos áreas epicentrales Macrosísmicas, sugiere la intervención de efectos locales de suelo en la determinación de las intensidades máximas; por otra parte, debe apuntarse el hecho de que si la zona del epicentro instrumental estuviese poblada, en su proximidad debería encontrarse la intensidad máxima. Este evento particular reviste importancia en cuanto a que sirve para ilustrar el efecto de las condiciones locales del suelo (topografía en este caso), la influencia de la distribución poblacional y la diferenciación entre los dos tipos de epicentros, instrumental y Macrosísmico.

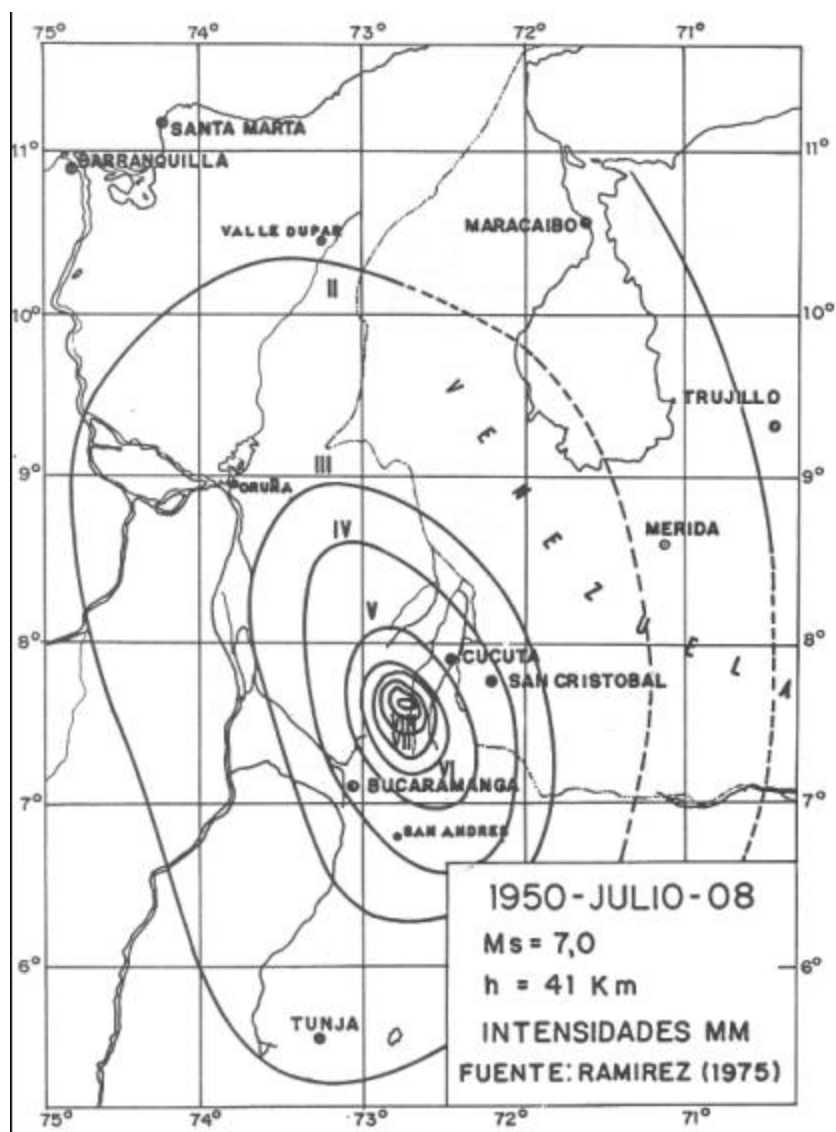


FIGURA 3.4 MAPA DE ISOSISTAS DEL TERREMOTO DE ARBOLEDAS DEL 8 DE JULIO DE 1950 (Ramírez, 1975a)



- **EL SISMO DEL TÁCHIRA DEL 17 DE OCTUBRE DE 1981**

Este evento aparece registrado en los catálogos internacionales con fecha 17 de octubre, debido a que su epicentro instrumental se localizó en la vecina República de Colombia, con hora 23:31:01; por lo tanto, se registró en Venezuela a las 00:31 del día 18 de octubre. El ISC dio las coordenadas  $8,10^{\circ}$  N y  $72,28^{\circ}$  W, con una magnitud de 5,5. El epicentro Macrosísmico se localizó en las cercanías de Villa del Rosario, a la cual junto con Cúcuta, San Cayetano, Ureña y San Antonio, se le asignó la intensidad grado VII. La zona de intensidad VI comprende las poblaciones de Sardinata, Gramalote, Santiago, Salazar y Puerto Santander, en Territorio Colombiano, y La Fría, Las Mesas, Seboruco, La Grita, Colón, Táriba y San Cristóbal (**figura 3.5**). Dentro de esta zona se destaca la presencia de una localidad de intensidad mayor, correspondiente a El Palmar de La Cope, donde la falla geotécnica del terraplén de una vía ocasionó una desgracia sobre el caserío de San Josecito, hecho que causó más de 200 muertos, la pérdida total de un gran número de viviendas y el colapso parcial de la carretera que comunica San Cristóbal con los llanos. Este trágico suceso representó el mayor daño causado por el sismo.

Este evento constituye un ejemplo de cómo la condición del terreno, prevaleciente en una localidad, puede producir respuestas notables de gran riesgo, ante la acción de un sismo de epicentro moderadamente lejano.

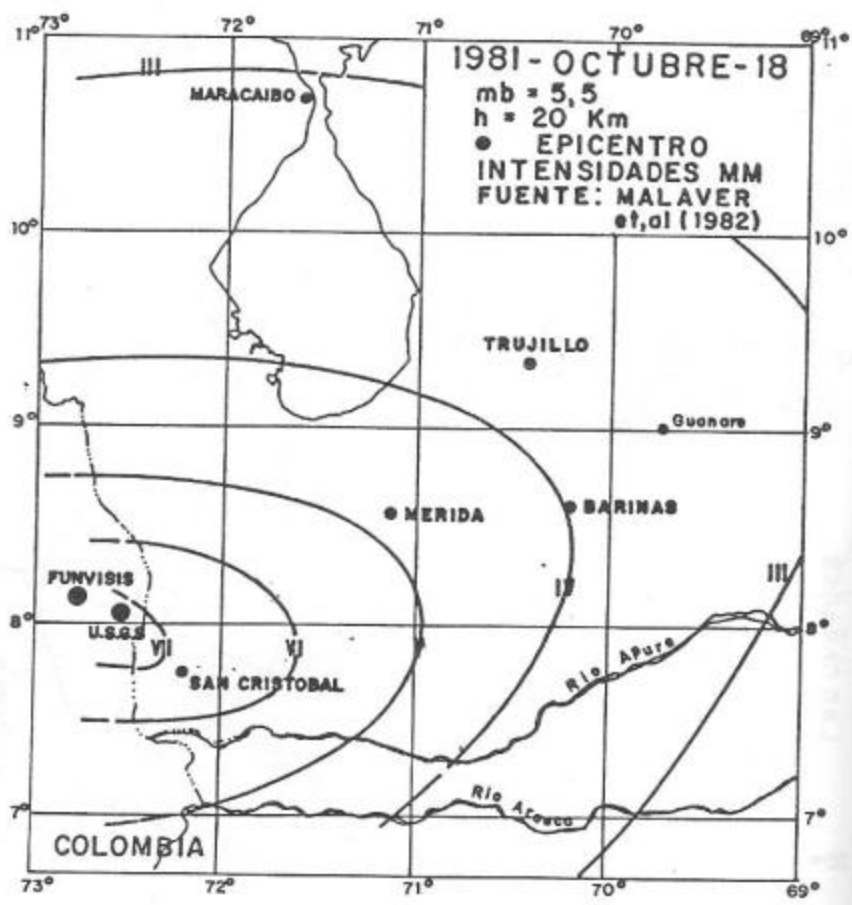


FIGURA 3.5 MAPA DE ISOSISTAS DEL SISMO DEL TACHIRA DE 1981  
(Malaver et al, 1982)



### 3.3.- EFECTOS REPORTADOS O INFERIDOS DE SISMOS

De acuerdo a la información conocida sobre sismos destructores o moderadamente destructores que han sucedido en Venezuela desde inicios del Siglo XVI, se ha elaborado la **tabla 3.1 (VER ANEXO A)** para el periodo 1610-1990. En ella se resumen los efectos conocidos causados por sismos o bien inferidos de mapas de isosistas publicados, para poblaciones de la Región Andina de Venezuela, expresados en términos de grados de la escala Mercalli Modificada (IMM). En dicha tabla se indica la intensidad máxima asignada a las localidades allí anotadas, así como la fecha del evento, la hora local, el epicentro y un comentario de cada evento. En vista de que buena parte de los sismos son anteriores al inicio de los registros sismográficos, las magnitudes y áreas epicentrales se deben considerar como aproximadas. En la **Figura 3.6** se indica la intensidad máxima asignada de acuerdo a la escala de intensidad de Mercalli Modificada para poblaciones de Los Andes venezolanos.

### 3.4.- SISMICIDAD DE LA REGIÓN ANDINA

El registro instrumental en Los Andes Venezolanos se inicia con el sismo del 14 de marzo de 1932. Durante algo más de medio siglo sólo se dispone de sismos registrados por la red mundial, de los cuales hay constancia en los listados del ISC con magnitudes en exceso de 5 á 5,5.

En los Boletines del Observatorio CAGIGAI (1957-1972) y de FUNVISIS (1983-2008) puede considerarse que se encuentra la estadística de los sismos registrados durante el último medio siglo. Con anterioridad a 1900 no existían redes sismográficas que permitiesen determinar foco y magnitud de los sismos. Esa información, esencialmente descriptiva, ha sido evaluada y es incorporada en este trabajo desde el terremoto de La Grita de 1610 en adelante.

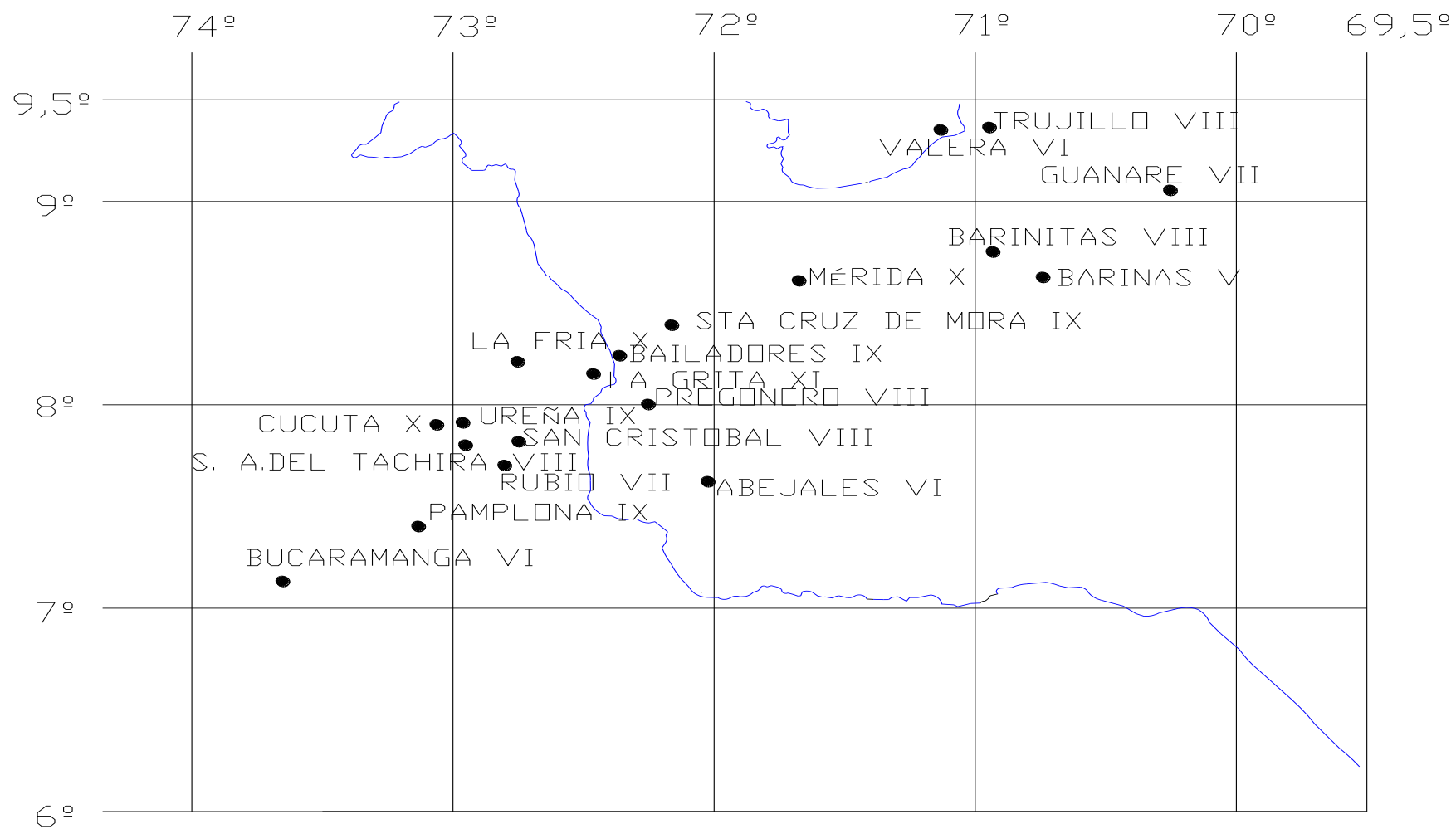


FIGURA 3.6 INTENSIDAD MERCALLI MAXIMA ASIGNADA A LAS REGIONES DE LOS ANDES VENEZOLANOS



### 3.4.1.- SISMICIDAD DE BAJA MAGNITUD

Se han considerado confiables los sismos de baja magnitud ( $M \geq 3,0$ ) registrados en la región desde 1983 en adelante, éstos totalizan 1067 eventos con magnitudes que ocasionalmente exceden 4,0 entre los años 1964 y 2009; del total anterior solo unos 120 exceden  $M = 4,0$ . Su tasa media de excedencia entre 1980 y 2009 es del orden de 3,1 eventos /año. Sismos con magnitudes mayores que 4,5 se consideran completos desde 1964 y mayores que 5,5 desde 1932. La distribución geográfica de epicentros se da en la **figura 3.7**.

### 3.4.2.- SISMOS CON MAGNITUDES EN EXCESO DE 6,0

Además de los sismos con registro instrumental, desde inicios del siglo XX en el área estudiada se han identificado eventos con magnitud asignada en exceso de 6,0. Para eventos con magnitudes en exceso de 6,5; 7,0 o 7,3 es preciso extender los lapsos de observación hasta el siglo XIX.

En la **tabla 3.2** se recoge la estadística sobre sismos conocidos en el cuadrángulo estudiado:  $6-9.5^{\circ}\text{N}$  y  $69.5^{\circ}-74.0^{\circ}\text{W}$ . En ese cuadrángulo está contenida el área de estudio. En las dos últimas columnas de la referida **tabla**, se señalan los rangos más probables de tasas de excedencia para las magnitudes indicadas.

**TABLA 3.2**  
**ESTADÍSTICA DE LA SISMICIDAD EN EL CUADRÁNGULO**  
 **$6^{\circ} - 9.5^{\circ}\text{N}$  Y  $69.5^{\circ} - 74.0^{\circ}\text{W}$**

| <b>RANGO DE MAGNITUDES (Ms)</b> | <b>LAPSO DE TIEMPO DE INFORMACION CONFIABLE</b> | <b>NUMERO DE EVENTOS</b> | <b>TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA (1/año)</b> |
|---------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|
| 4.0                             | 1980-2009                                       | 94                       | 3.1330                                    |
| 4.5                             | 1964-2009                                       | 47                       | 1.0220                                    |
| 5.0                             | 1950-2009                                       | 19                       | 0.3170                                    |
| 5.5                             | 1932-2009                                       | 15                       | 0.1920                                    |
| 6.0                             | 1900-2009                                       | 10                       | 0.0910                                    |
| 6.5                             | 1880-2009                                       | 6                        | 0.0462                                    |
| 7.0                             | 1766-2009                                       | 4                        | 0.0202                                    |
| 7.3                             | 1766-2009                                       | 1                        | 0.0101                                    |

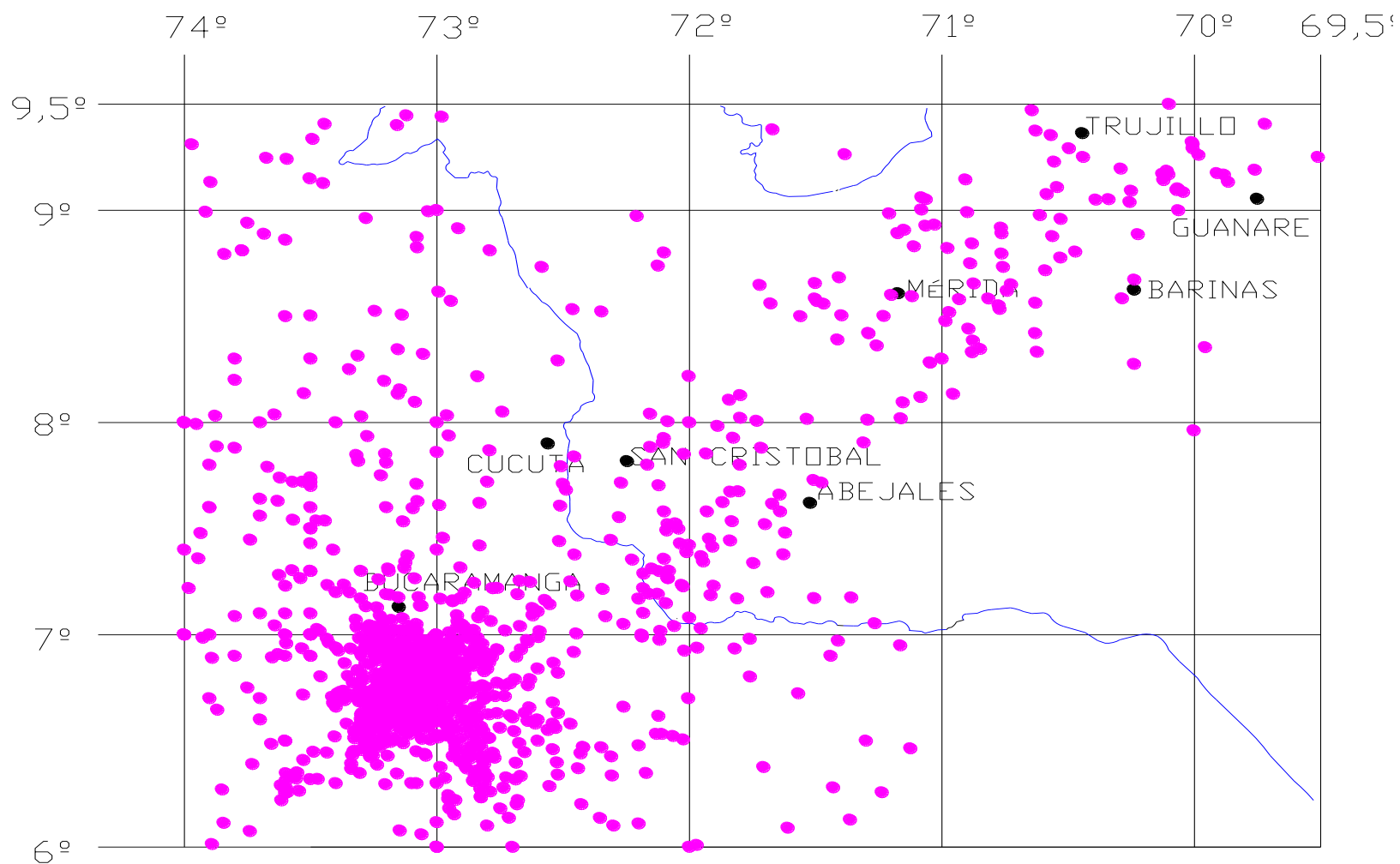


FIGURA 3.7 EPICENTROS DE SISMOS CON  $M \geq 3$  EN EL CUADRÁNGULO  $6^{\circ}$ - $9.5^{\circ}$ N Y  $69.5^{\circ}$ - $7^{\circ}$ W



Con base en la estadística anotada en la **tabla 3.2**, se ha determinado la sismicidad de la región, definida como la tasa de excedencia anual  $\lambda$  (1/año) de sismos en exceso de magnitud Ms.

Para sismos con magnitud en exceso de 5,4 á 5,6 la escala predominante es Ms. En aquellos casos donde es preciso pasar de mb a Ms con el fin de homogenizar los datos del catálogo, se ha empleado la regresión que se infiere de la estadística de registros dada por ISC, área de Venezuela y Regiones adyacentes, entre 1980 y 1998, igual a :

$$M_s = 1,4 m_b - 2,1 \quad (3.1)$$

Válida para  $4,2 \leq M_b \leq 6,2$  y con una desviación estándar  $\sigma M_s = \pm 0,4$ . Obsérvese que la condición  $M_s = M_b$  se alcanza para un valor medio de la magnitud igual a 5,25.

### 3.5.- TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA

Del análisis de la base de datos que se indica en la Sección 3.1, se desprende que la actividad sísmica en la Región Occidental del País durante el presente siglo, ha sido moderada. En efecto, la estadística de eventos sísmicos registrados entre 1964 y 2009 (ambos incluidos), en el cuadrángulo  $6^\circ \text{ N}$  a  $9,5^\circ \text{ N}$  y  $69,5^\circ \text{ W}$  a  $74,0^\circ \text{ W}$ , así como eventos anteriores a 1964, el área en la cual se encuentran las principales fuentes sísmicas incorporadas en los modelos sismotectónicos estudiados, arroja un total estimado en 10 eventos con magnitudes en exceso de 6,0 durante los últimos 10 años.

Si bien que la **figura 3.7** revela que la Región Andina es un área geográfica sísmicamente activa, el registro instrumental confiable sólo se extiende a las últimas cuatro a cinco décadas. De aquí en la evaluación de las tasas medias de excedencia que caracteriza la sismicidad en tiempos históricos (**Véase tabla 3.2**), ha sido preciso complementar el registro instrumental con la evaluación de la información Macrosísmica conocida. Se han obtenido así las tasas de excedencia anual que se dan en esa tabla; en la segunda columna se anota el período de observación considerado confiable.

Los valores anotados en la última columna de la derecha se representan gráficamente en la **figura 3.8**. La siguiente expresión propuesta por (Gutenberg y Richter, 1956), describe en forma aproximada la sismicidad de una región.



$$\text{Log } \lambda = a - bM \quad \text{para } M_s \leq M_{\max} \quad (3.2)$$

Esa expresión se considera representativa de la sismicidad regional y corresponde a una regresión lineal como la de la formula (3.2).

Las tasas medias de excedencia obtenidas no se ajustan a una distribución lineal. Por esa razón y tomando en consideración que el lapso de observación es menor que los menores periodos de retorno de los sismos máximos que se dan en la **tabla 1.1** de este trabajo, se decidió evaluar dos modelo de la sismicidad regional.

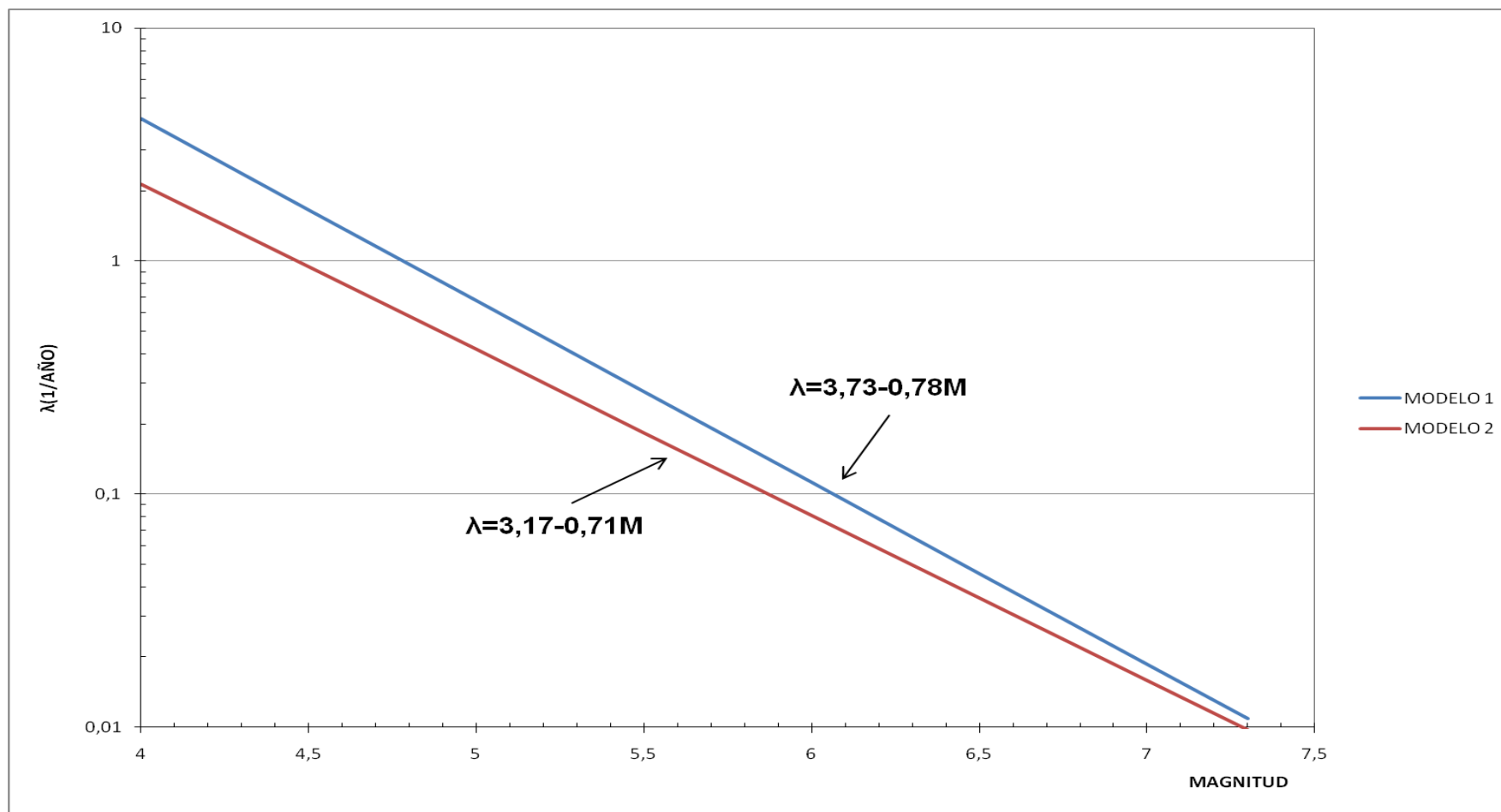
Un primer modelo conservador caracterizado por la expresión:

$$\text{Log}_{10} \lambda = 3,73 - 0,78 M \quad (3.3)$$

El cual es denominado Modelo 1. Una envolvente inferior, representativa de los menores valores de Landa ( $\lambda$ ), excluido se da como Modelo 2. Esta descrita por la expresión:

$$\text{Log}_{10} \lambda = 3.17 - 0.71 M \quad (3.4)$$

La validez de las formulas (3.3) y (3.4) alcanza magnitudes hasta de 7,3. Sin embargo y como quedó dicho, el lapso de observación confiable, (**Véase tabla 3.2**) es inferior a los períodos de retorno de los sismos máximos establecidos por los especialistas para las diferentes fuentes sismogénicas.



**FIGURA 3.8 TASAS MEDIAS DE EXCEDENCIA ANUAL DE MAGNITUD  
Ms Y LAPROS DE OBSERVACION (6°-9.5°N; 69,5°-74°W)**



## CAPITULO 4

### MODELO SISMOTECTONICO

#### 4.1.- CARACTERIZACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS

Analizada la información anotada en los Capítulos 2 y 3, en lo posible se estableció una correlación entre las fallas activas identificadas y la actividad sísmica superficial de la región en estudio para definir el modelo sismotectónico.

De una manera general, las fuentes sísmicas incorporadas al referido modelo se han identificado como aquellas áreas o lineamientos que muestran evidencias de actividad sísmica bien sea de origen geológico, histórico o basadas en registros instrumentales.

En la **figura. 4.1** se presenta esquemáticamente la geometría de las 29 fuentes superficiales que conforman el modelo sismotectónico. De igual modo, con el fin de tomar en consideración fallas activas no identificadas, así como actividad histórica no asociable a fuentes específicas, es usual modelar fuentes difusas superficiales o intermedias, generalmente denominada “sismicidad de fondo”. En el área en estudio no es necesaria la incorporación de fuentes difusas de profundidad intermedias.

El valor máximo de la magnitud para cada fuente, anotada en la **tabla 4.1**, está basado en la sismicidad histórica y/o en evidencias geológicas utilizando correlaciones entre magnitud y longitud de falla. Estos valores definen truncaturas en las relaciones de recurrencia que describen la distribución del número acumulado de sismos de diferente magnitud, debidamente caracterizado por los valores de la ecuación (3.1). Estos valores están respaldados por el registro histórico de sismos en la región en estudio (**Véase anexo A**).

Es sabido no obstante, que si bien la historia de sucesos es aleatoria en el tiempo, los grandes sismos requieren un “tiempo de espera” considerable. Se postula que estos hiatos sísmicos son consecuencia de un proceso de acumulación progresiva de energía de deformación hasta alcanzar valores que exceden la capacidad portante en las zonas de falla. De aquí que, áreas que se hayan mantenido sísmicamente inactivas durante largo tiempo, pudieran ser más propensas a un futuro gran sismo que aquellas en las cuales hayan sucedido grandes sismos en tiempos recientes. Las



implicaciones de lo antes anotado en la evaluación de la peligrosidad sísmica son importantes, ya que es un hecho aceptado que el mero análisis estadístico puede no reflejar adecuadamente la peligrosidad real de las fuentes en cuestión.

Esta consideración se ha tenido presente en la caracterización de la actividad de las fallas cercanas al sitio en estudio; esto es, las de: Caparo Sur, Caparo Norte, Pie de Monte Sur, Uribante, Bramón y Sistemas Sur Andino 2 y 3. Teniendo además presente las incertidumbres propias de la asignación de velocidades de desplazamiento en los accidentes activos más importantes del área, se decidió seleccionar dos modelos que acumulen conservadoramente la actividad regional. Los valores adoptados se indican en la **tabla 4.1**.



**TABLA 4.1**  
**VALORES PRELIMINARES ADOPTADOS PARA EL CÁLCULO**  
**DE LA AMENAZA SÍSMICA**

| FUENTE |                          | MAGNITUD<br>(Ms) | $\lambda$ PARA $M_s \geq 4.0$ (1/año) |          |
|--------|--------------------------|------------------|---------------------------------------|----------|
| Nº     | NOMBRE                   |                  | MODELO 1                              | MODELO 2 |
| 1      | Pie de Monte Sur         | 7.1              | 0.034                                 | 0.02     |
| 2      | Pie de Monte Norte       | 7.2              | 0.1                                   | 0.07     |
| 3      | F. de Mutiscúa           | 6.9              | 0.03                                  | 0.02     |
| 4      | Valera Sur               | 6.7              | 0.1009                                | 0.07     |
| 5      | Tuñame                   | 6.6              | 0.083                                 | 0.057    |
| 6      | Icotea                   | 7.1              | 0.02                                  | 0.013    |
| 7      | F. Morro Negro           | 7.3              | 0.02                                  | 0.013    |
| 8      | Boconó Central           | 7.9              | 1.6                                   | 1.12     |
| 9      | Boconó Sur               | 7.6              | 0.8                                   | 0.56     |
| 10     | Caparo Norte             | 7                | 0.036                                 | 0.081    |
| 11     | Caparo Sur               | 7.1              | 0.1                                   | 0.06     |
| 12     | Uribante                 | 6.7              | 0.05                                  | 0.021    |
| 13     | Rio Zulia                | 6.9              | 0.05                                  | 0.035    |
| 14     | S. Vicente Norte         | 7                | 0.02                                  | 0.014    |
| 15     | S. Vicente Sur           | 6.8              | 0.02                                  | 0.014    |
| 16     | Aguas Calientes          | 6.5              | 0.05                                  | 0.035    |
| 17     | Bramón                   | 7.1              | 0.0875                                | 0.0613   |
| 18     | Chucarima                | 7.1              | 0.153                                 | 0.095    |
| 19     | Front. Cord. Oriental    | 7.2              | 0.048                                 | 0.03     |
| 20     | Suarez                   | 6.5              | 0.02                                  | 0.014    |
| 21     | Pamplona                 | 6.8              | 0.115                                 | 0.08     |
| 22     | Bucaramanga- Santa Marta | 7.4              | 0.1                                   | 0.07     |
| 23     | Seboruco                 | 7                | 0.076                                 | 0.06     |
| 24     | S. J. de Bolívar         | 6.6              | 0.125                                 | 0.0875   |
| 25     | Sist. Sur Andino 3       | 6.8              | 0.015                                 | 0.009    |
| 26     | Sist. Sur Andino 2       | 6.5              | 0.018                                 | 0.011    |
| 27     | Sist. Sur Andino 1       | 6.5              | 0.02                                  | 0.012    |
| 28     | Sist. Sur Andino N       | 6.8              | 0.062                                 | 0.038    |
| 29     | Puerto Rondón            | 6.7              | 0.034                                 | 0.024    |



#### 4.2.- SISMO MÁXIMO PROBABLE

Con base en las evaluaciones hechas de sismos históricos, se ha seleccionado el sismo máximo observado en cada una de las fuentes donde esto ha sido posible. En la **tabla 4.2** se compara este valor, con el sismo máximo probable con indicación del año del suceso; también se anota en esa tabla el período medio de retorno en años.



TABLA 4.2

**PERÍODOS MEDIOS DE RETORNO DE SISMOS MÁXIMOS PROBABLES  
SEGÚN EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y OBSERVADOS EN TIEMPOS  
HISTÓRICOS**

| FALLA<br>Nº              | SISMOS MÁXIMOS PROBABLES<br>SEGÚN EVALUACIÓN GEOLÓGICA |                                    | SISMOS MÁXIMOS<br>OBSERVADOS EN TIEMPOS<br>HISTÓRICOS |                   |
|--------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------|
|                          | MAGNITUD<br>(Ms)                                       | PERÍODO MEDIO<br>DE RETORNO (años) | MAGNITUD<br>(Ms)                                      | AÑO DEL<br>SUCESO |
| Boconó<br>Sur(9)         | 7.6                                                    | $\geq 300$                         | 7.1                                                   | 1812              |
| Boconó<br>Sur(9)         | 7.6                                                    | $\geq 300$                         | 7.3 (a)                                               | 1875              |
| Pie de Monte<br>Norte(2) | 7.2                                                    | $\geq 5.500$                       | 7.1-7.3                                               | 1894              |
| Boconó<br>Central(8)     | 6.9                                                    | 350                                | 6.4                                                   | 1888              |
| S. J. de<br>Bolívar(24)  | 6.6                                                    | $> 1.360$                          | 5.4                                                   | 1989              |
| Rio Zulia(13)            | 6.9                                                    | 10.000                             | 6.8-7.0                                               | 1950              |
| Pie de Monte<br>Sur(1)   | 7.8                                                    | $\geq 6.000$                       | 5.6                                                   | 1975              |
| Caparo<br>Sur(11)        | 7.1                                                    | $\geq 2.000$                       | 6.1                                                   | 1994              |

(a) Asociado a esta falla con dudas

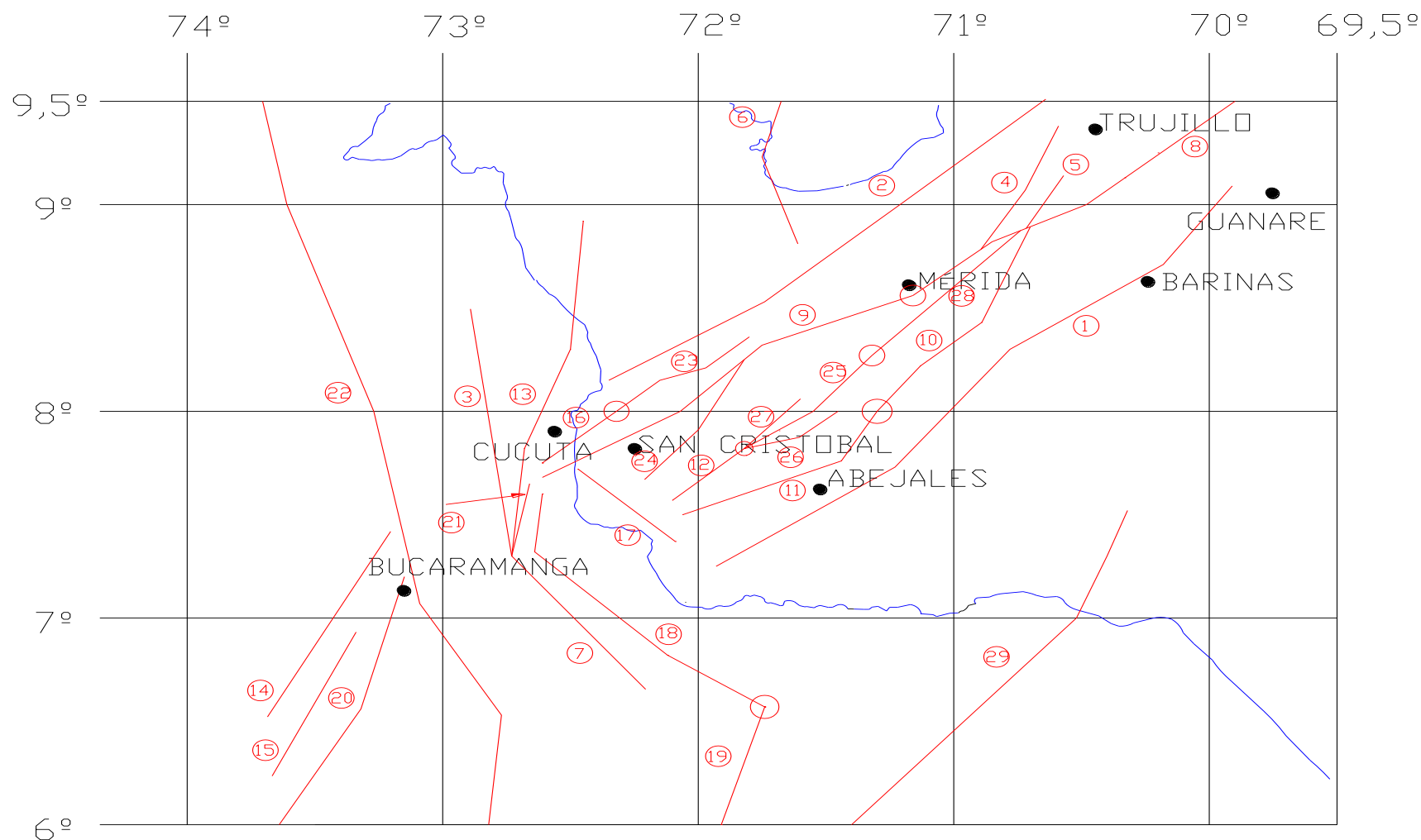


FIGURA 4.1 ESQUEMA DE FALLAS DEL MODELO SISMOTECTÓNICO DE LA REGIÓN ANDINA DE VENEZUELA



## **CAPITULO 5**

### **LEYES DE ATENUACION**

#### **5.1.- INTRODUCCION**

La intensidad del movimiento fuerte del terreno a determinada distancia de la fuente sísmica se expresa mediante relaciones empíricas de atenuación. En tal sentido, cerca de la falla causativa se pueden registrar valores altos de aceleración, mayores a  $1,5g$ , y a medida que nos alejamos de la fuente generadora del sismo disminuye la amplitud de vibraciones y, por tanto, se atenúa la intensidad del movimiento; esto nos indica que normalmente las ondas sísmicas se atenúan con la distancia.

Existen relaciones empíricas entre la aceleración máxima del terreno, la magnitud del evento, la distancia hipocentral y las características del suelo local. Sin embargo, estas relaciones de atenuación de aceleraciones no describen el movimiento del terreno en forma completa y satisfactoria, pues no consideran la duración del movimiento, el período predominante, el número de picos sobre determinado nivel de aceleraciones y el efecto de direccionalidad.

La estimación de la intensidad del movimiento sísmico en el área epicentral, esto entre 10-15 km, es uno de los elementos a resolver para mejorar el diseño sismorresistente de las estructuras. Sin embargo, este es un problema complejo, para lo cual se requiere tener una amplia base de datos de registros acelerográficos en las cercanías del epicentro para sismos medianos y grandes.

En general, se ha encontrado que las relaciones de atenuación de aceleraciones y velocidades son instrumentos útiles para estimar la intensidad probable del movimiento sísmico en un determinado sitio y a cierta distancia de la fuente sísmica.

#### **5.2.- LEYES DE ATENUACION USADAS**

En Venezuela debido a la ausencia de un número significativo de registros acelerográficos que permitan derivar una ley de atenuación para aceleraciones, se han usado varias relaciones de atenuación, unas derivadas de intensidades locales, otras obtenidas usando registros acelerográficos a nivel mundial y/o tomadas de otros países. Las leyes de atenuación de aceleraciones horizontales utilizadas para este



trabajo son: (i) CORAL83 (CORAL83, 1991), (ii) J,B & F (Joyner and Boore, 1997), Campbell (Campbell, 1997). La primera ley fue elaborada en Venezuela y las otras dos tienen origen en registros acelerográficos a nivel mundial en roca o suelo firme. En la **tabla 5.1** se presentan los coeficientes de cada una de las leyes antes señaladas de acuerdo a la siguiente ecuación (Malaver 1997):

$$\ln a = A + B M_s + C \ln(R+D)$$

Donde:

a= Aceleración del terreno

R= Distancia hipocentral en kilómetros

A, B, C, D= Constantes

**TABLA 5.1**

| LEY         | A     | B     | C      | D      | $\sigma \ln a$ |
|-------------|-------|-------|--------|--------|----------------|
| CORAL 91    | 4,860 | 0,510 | -1,000 | 5,000  | 0,660          |
| CAMPBELL 97 | 3,770 | 0,904 | -1,328 | 10,000 | 0,620          |
| J,B & F 97  | 3,780 | 0,527 | -0,778 | 0      | 0,65           |



## CAPITULO 6

### EVALUACION DEL PELIGRO SÍSMICO

#### 6.1.- ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS

##### 6.1.1.- ALGORITMO DE CÁLCULO

En la evaluación del peligro sísmico se ha empleado el programa de Cálculo de la Peligrosidad Sísmica elaborado por CORAL 83, versión 1987. Se emplearon las fuentes sismogénicas anotadas en el **Capítulo 4** y las leyes de atenuación dadas en el **Capítulo 5**.

El algoritmo empleado incorpora los siguientes parámetros como variables aleatorias:

- Se adopta una distribución uniforme para generar las coordenadas del epicentro, bien sea para fuentes lineales o áreas fuentes. La profundidad focal es la asignada en la entrada de datos, por tanto la distancia focal (R) queda identificada por la función de distribución  $f_R(r)$ ;
- La magnitud Richter  $M_s$ , cuya función de distribución es de tipo exponencial, se identifica como  $f_M(m)$ ;
- La longitud de rotura asociada a  $M_s$ , cuya incertidumbre es caracterizada por una función de distribución tipo log-normal;
- Definidas las coordenadas espaciales y la magnitud de un determinado evento, los movimientos máximos del terreno (X) quedan descritos por una distribución condicional de tipo log-normal,  $P[X(x,t) / m;r]$ ;
- La distribución de tiempos de ocurrencia, es modelada como un proceso de Poisson sin memoria; en t años queda descrita como  $P[X(x,t)]$ .

De este modo, la peligrosidad o amenaza sísmica puede calcularse por el teorema de la probabilidad total, en función de los movimientos máximos del terreno X, en la forma siguiente:

$$P[X \leq x, t] = \iint P[X \leq x, t / m; r] \cdot f_M(m) \cdot f_R(r) dm \cdot dr \quad (6.1)$$

En el algoritmo empleado, seleccionada una fuente cualquiera, la probabilidad  $f_M(m) \cdot dm$  expresa la probabilidad de que, dado el suceso “evento sísmico”, la magnitud alcance un cierto valor; la tasa y frecuencia de ocurrencia se consideran parámetros



determinísticos. De igual modo, dada la geometría de la fuente y la relación magnitud vs longitud de rotura, la función de distribución de distancias focales  $f_R(r)$  a un determinado punto de interés, queda definida.

Finalmente, la estadística de registros revela que la probabilidad condicional anual de que el movimiento máximo del terreno  $X$  no sea excedido, dada una pareja  $(m;r)$ , la cual se ha designado como  $P[X \leq x / m;r]$ , es una distribución log-normal, con varianza constante.

### 6.1.2.- RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL PELIGRO SÍSMICO

Para el cálculo del peligro sísmico, se utilizó el algoritmo descrito en la **Sección 6.1.1** con: (i) las 29 fuentes consideradas; (ii) las relaciones de atenuación indicadas en la **Sección 5.2** y (iii) los 2 modelos sismotectónicos discutidos en el **Capítulo 4** para la evaluación de la amenaza sísmica en la ciudad de San Cristóbal, Estado Táchira, se seleccionó el punto de coordenadas:  $72.25^\circ$  N y  $7.77^\circ$  W. La aceleración máxima horizontal en roca es el promedio de los valores obtenidos con las tres leyes de atenuación utilizadas y los dos modelos considerados. En la **Tabla 6.1** se anotan los resultados obtenidos, para los períodos medios de retorno de 475, 1000 y 5000 años.

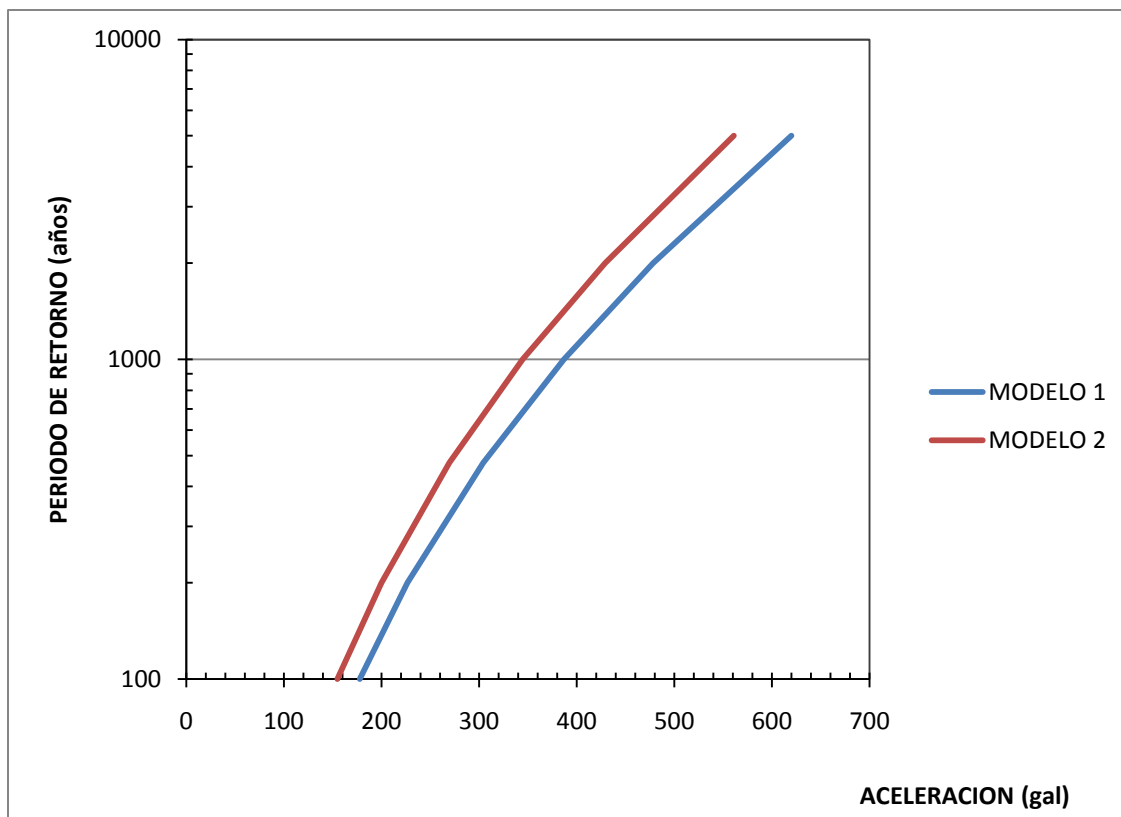
**TABLA 6.1**  
**ACELERACIONES MÁXIMAS HORIZONTALES EN ROCA**

| PERÍODO MEDIO<br>DE RETORNO<br>(años) | ACELERACIÓN<br>(gal) |          |
|---------------------------------------|----------------------|----------|
|                                       | MODELO 1             | MODELO 2 |
| 475                                   | 0,31                 | 0,27     |
| 1000                                  | 0,39                 | 0,35     |
| 5000                                  | 0,63                 | 0,57     |

Por tanto, al promediar los resultados anteriores, encontramos que la aceleración máxima horizontal en suelo firme tipo roca, para los períodos medios de retorno considerados, son los siguientes:

- i.- para 475 años:  $A_0 = 0,29g$
- ii.- para 1000 años:  $A_0 = 0,37g$
- iii.- para 5000 años:  $A_0 = 0,60g$

En la **Figura 6.1** se grafica el período de retorno vs las aceleraciones del terreno para el sitio de interés para los modelos utilizados. Nótese que el período medio de retorno es igual a la inversa de la tasa de excedencia anual ( $\lambda$ ).



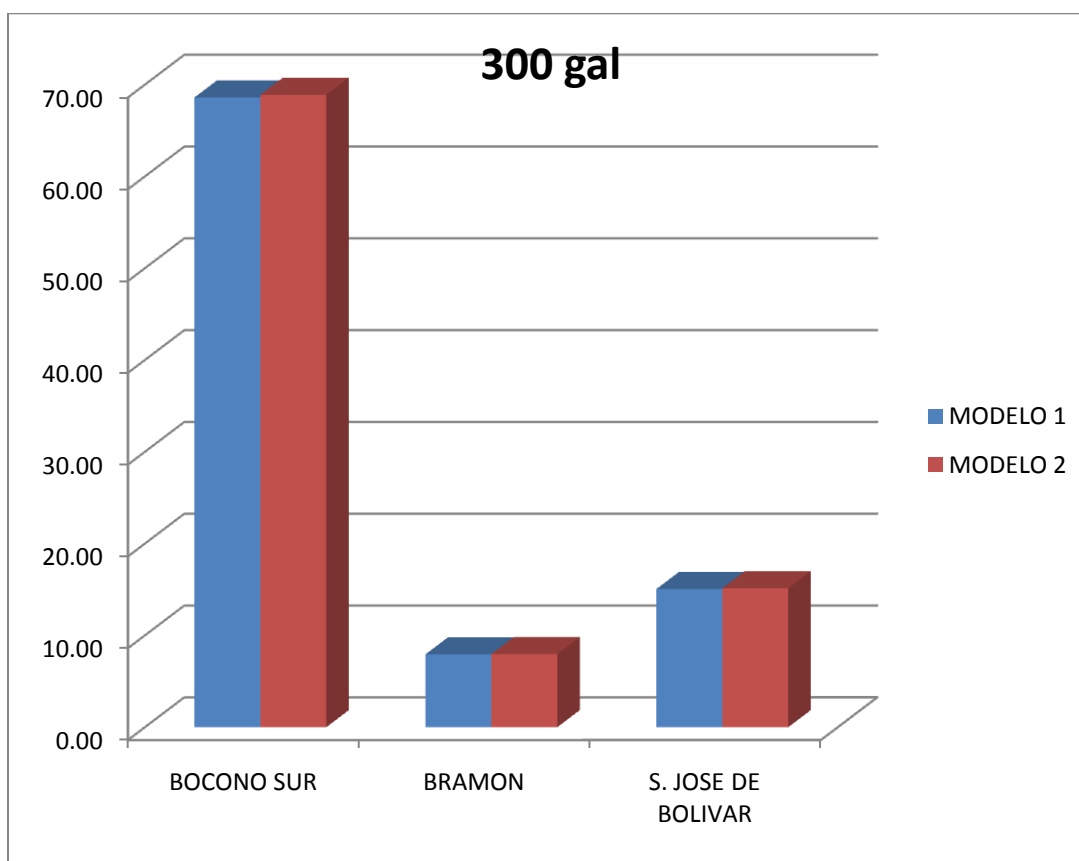
**FIGURA 6.1 PERIODO DE RETORNO VS ACELERACIONES DEL TERRENO**

En las **Figuras 6.2 y 6.3** se grafican las contribuciones de las fuentes sísmicas que más participan en la peligrosidad sísmica en el sitio de interés, para el caso de aceleraciones de 300 y 400 gal.

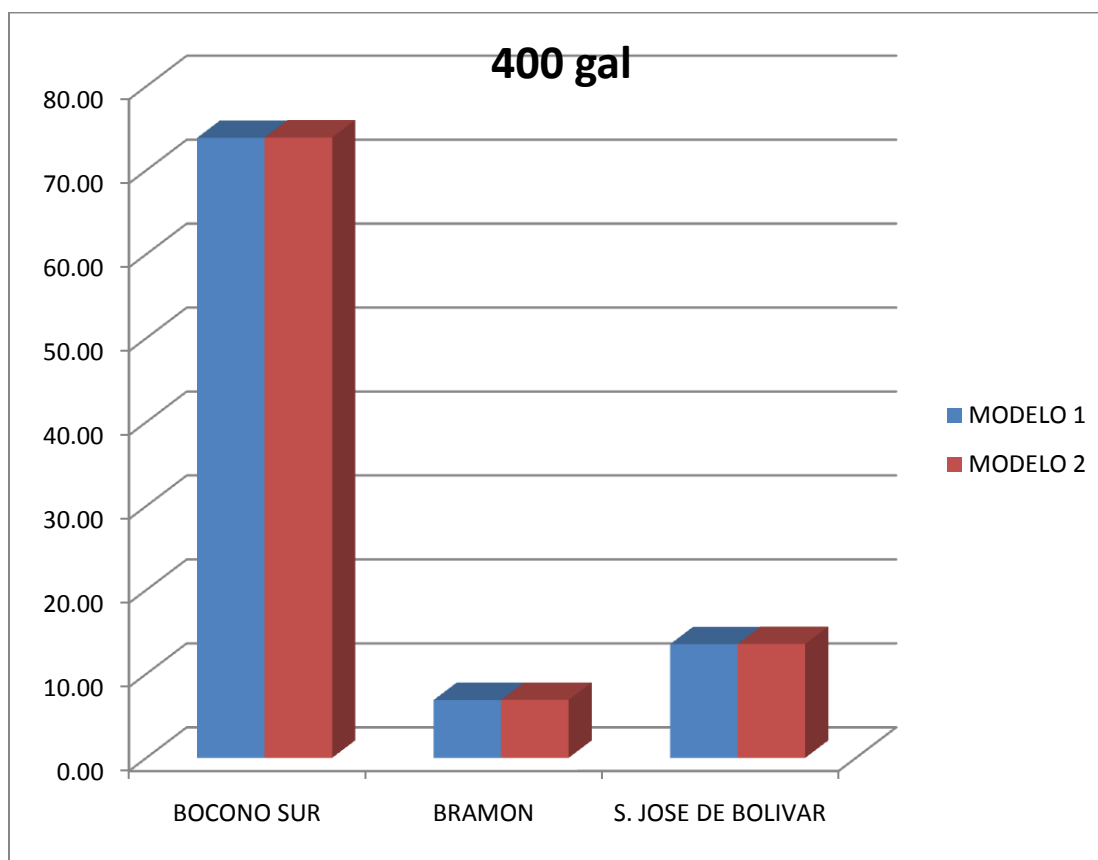
En la **Figura 6.2** notamos que la mayor participación corresponde a la falla de Boconó Sur que supera en promedio el 68% para los dos modelos, seguida por la falla de San José de Bolívar con 15% en promedio para ambos modelos y la fallas de Bramón que tiene un poco más del 7% en los dos modelos.



En la **Figura 6.3** observamos que la participación en la falla de Boconó Sur se acentúa y supera el 73% en ambos modelos, mientras la falla de Bramón supera el 6% en ambos modelos y la falla de San José de Bolívar supera el 13% en ambos modelos. Los valores obtenidos de participación de las fallas en ambos modelos y para las distintas aceleraciones dieron valores muy parecidos, siendo la participación del modelo 2 sensiblemente mayor al modelo 1.



**FIGURA 6.1 PARTICIPACION DE LAS FALLAS PARA ACELERACION DE 300 gal.**



**FIGURA 6.2 PARTICIPACION DE LAS FALLAS PARA ACELERACION DE 400 gal.**

## 6.2.- EVALUACIÓN DETERMINÍSTICA

De la **Figura 4.1** se observa que la ciudad de San Cristóbal, Estado Táchira está rodeada de varias fallas geológicas activas; de ellas se han seleccionado las que pueden generar movimientos que ameritan revisión para el estudio de Amenaza Sísmica para así obtener la aceleración del suelo.

Por sus características las tres fallas o fuentes sismogénicas que esencialmente contribuyen al peligro sísmico además de la sismicidad de fondo son: Boconó Sur y con una contribución del orden del 65%; San José de Bolívar con una contribución cercana al 14% y Bramón con un poco menos del 10%. Estas últimas no representan amenazas más desfavorables que las propias de Boconó Central.



## CAPITULO 7

### ESPECTROS DE RESPUESTA

#### 7.1.- INTRODUCCIÓN

En este Capítulo se dan las acciones sísmicas para el análisis y diseño sismorresistente en la ciudad de San Cristóbal, Estado Táchira. Para la determinación de tales acciones se tomó en consideración la capacidad de disipación de energía en el rango elástico e inelástico.

#### 7.2.- ESPECTROS PARA EL ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA

Para la elaboración de los espectros de respuesta a ser usados en el estudio de Amenaza Sísmica de la ciudad de San Cristóbal, Estado Táchira, se debe seguir lo pautado en el **Capítulo 7** de la Norma COVENIN 1756-2001.

##### 7.2.1.- ESPECTROS ELÁSTICOS

De acuerdo a lo indicado en la referida Norma COVENIN, las ecuaciones que describen el espectro elástico son las siguientes:

$$A_d = \varphi A_0 [T/T_0(\beta-1)+1] \quad T \leq T_0 \text{ seg} \quad (7.2)$$

$$A_d = \varphi A_0 \beta \quad T_0 < T \leq T^* \text{ seg} \quad (7.3)$$

$$A_d = \varphi A_0 \beta (T^*/T)^p \quad T > T^* \text{ seg} \quad (7.4)$$

Donde:

$A_0$  = Aceleración horizontal del terreno.

$T$  = Período de vibración (seg).

$T_0$  do para el cual se inicia el tramo de aceleraciones espectrales



antes e igual a  $0,25 T^*$

$T^*$  = Período para el cual se inicia el tramo descendente de aceleraciones espectrales.

$\beta$  = Factor de magnificación promedio.

$\varphi$  = Factor de corrección del coeficiente de aceleración.

$p$  = Exponente de la rama descendente del espectro.

En la **Tabla 7.1** se presenta los valores de  $\beta$ ,  $T_o$ ,  $T^*$ ,  $p$ , además de la forma espectral y factor de corrección  $\varphi$  de acuerdo a lo indicado en la Sección 7.2 del Capítulo 7 de la Norma COVENIN 1756-2001.

**TABLA 7.1**

| FORMA ESPECTRAL | $\beta$ | $T_o$ (seg) | $T^*$ (seg) | $p$ | $\varphi$ |
|-----------------|---------|-------------|-------------|-----|-----------|
| S1              | 2.4     | 0.1         | 0.4         | 1.0 | 1.0       |
| S2              | 2.6     | 0.175       | 0.7         | 1.0 | 0.9       |
| S3              | 2.8     | 0.25        | 1.0         | 1.0 | 0.75      |

### 7.3.- ESPECTROS DE DISEÑO

De acuerdo con la Norma COVENIN 1756-2001, para factores de reducción  $R$  mayores que la unidad, las solicitaciones de diseño y los desplazamientos se calcularán con arreglo a lo siguiente:

$$A_d = \frac{\varphi A_0 \left[ 1 + \frac{T}{T^+} (\beta - 1) \right]}{1 + \left[ \frac{T}{T^+} \right]^c (R - 1)} \quad T < T^+ \quad (7.5)$$

$$A_d = \frac{\varphi A_0 \beta}{R} \quad T^+ \leq T \leq T^* \quad (7.6)$$



$$Ad = \frac{\varphi A_0}{R} \beta \left( \frac{T^*}{T} \right)^p \quad T > T^* \quad (7.7)$$

Donde:

Ad = Ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de g.

$$c = 4 \sqrt{\frac{R}{\beta}}$$

R = Factor de reducción de respuesta.

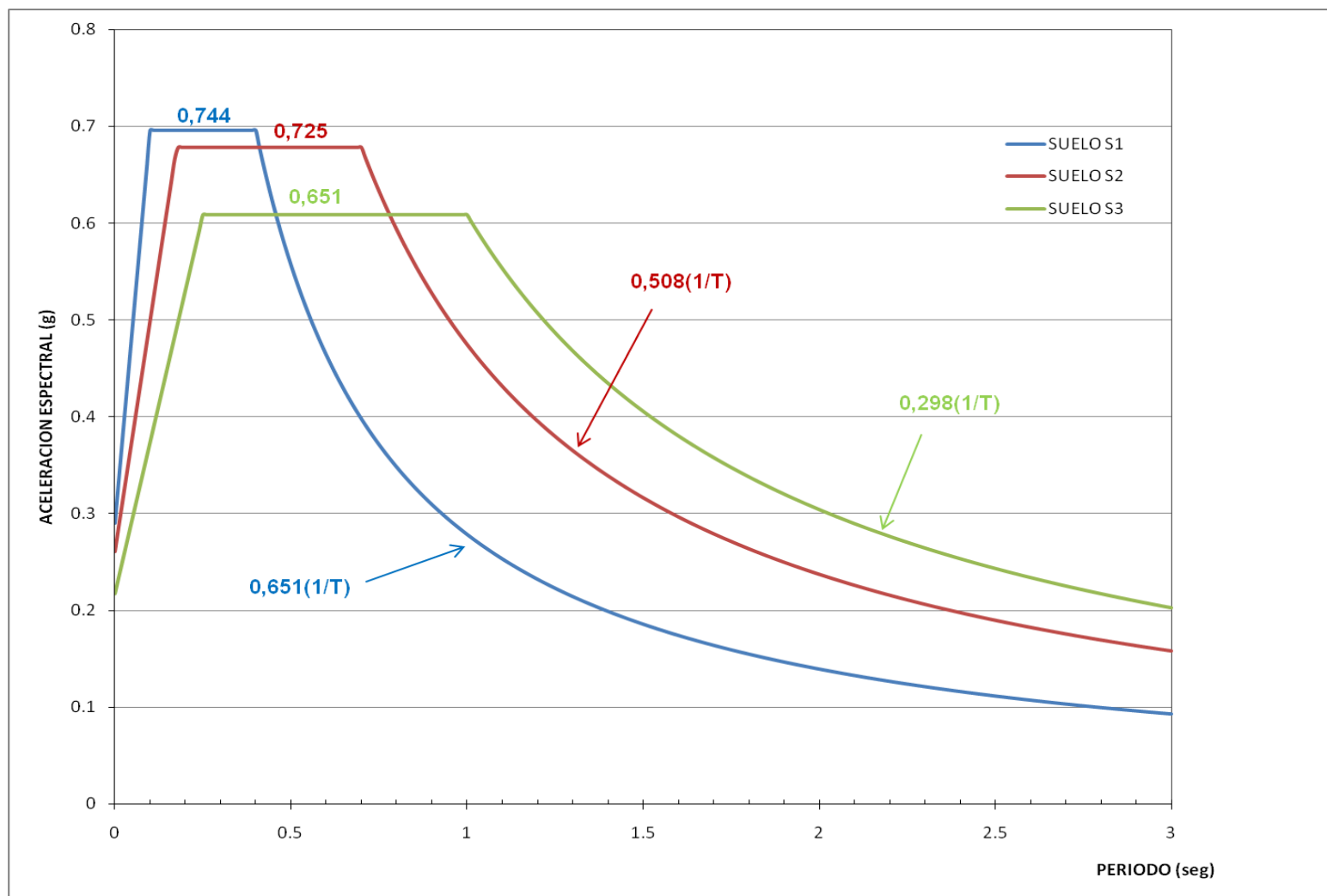
$T^+$  = Período característico, función de R:

$$\text{para } R < 5 \quad T^+ = 0.1 (R-1) \text{ seg}$$

$$\text{para } R \geq 5 \quad T^+ = 0.4 \text{ seg}$$

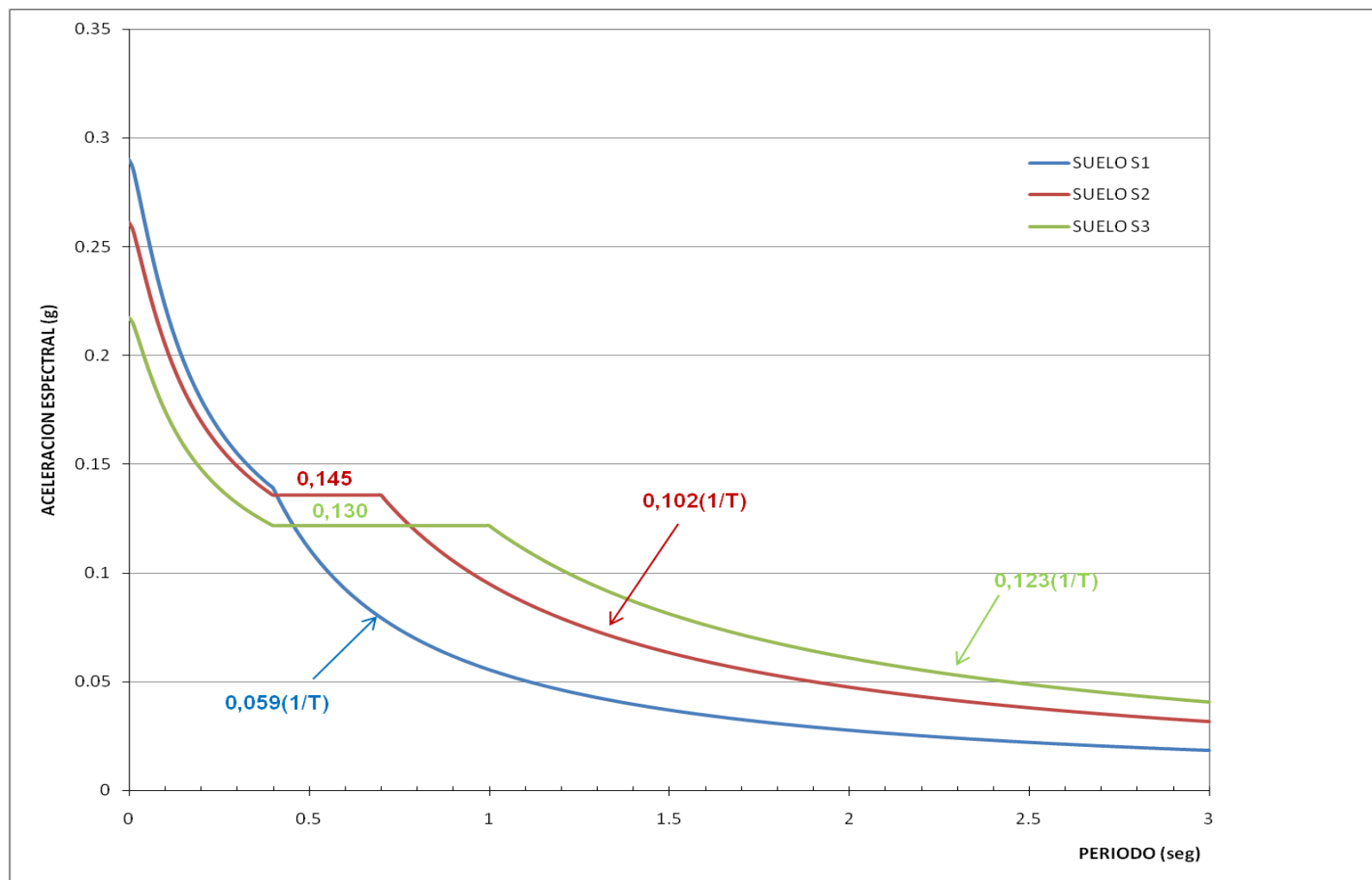
$$\text{En cualquier caso: } T_0 \leq T^+ \leq T^*$$

En la **figura 7.1** se presenta el espectro de respuesta elástica ( $R=1$ ) para los distintos tipos de suelos (S1, S2 y S3) y en la **figura 7.2** se presenta el espectro de respuesta inelástica ( $R=5$ ) para los distintos tipos de suelos (S1, S2 y S3).





**FIGURA 7.1 ESPECTRO DE RESPUESTA ELASTICA (R=1)**



**FIGURA 7.2 ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICA (R=5)**



## **CAPITULO 8**

### **CONCLUSIONES**

Del estudio realizado para la amenaza sísmica para la ciudad de San Cristóbal, estado Táchira, se derivan las siguientes conclusiones:

1. Con la gráfica obtenida de Período de Retorno vs. Aceleración se puede utilizar no sólo para el diseño de edificaciones con periodo de retorno de 475 años, sino también para estructuras con grado de riesgo tipo “D” con períodos de retornos de 2000 años según la escala de clasificación de riesgo y probabilidades anuales de excedencia de los movimientos del terreno descrita en la norma COVENIN 3621:2000.
2. En cuanto a la participación de las fallas obtuvimos en ambos modelos que entre las 29 fallas que tomamos en cuenta las que aportaron mayor porcentaje de participación fueron las fallas de Boconó Sur, Bramón y San José de Bolívar, para ambos modelos. El porcentaje de participación de Boconó Sur fue mayor a un 68% y 73% en ambos modelos para una aceleración de 300 y 400 gal respectivamente; esto se debe a su alto potencial sismogénico y a su cercanía del sitio. El porcentaje de participación que se obtuvo para las fallas de Bramón y San José de Bolívar para ambos modelos y ambas aceleraciones fueron mayores a 6% y 13% respectivamente.
3. Los valores obtenidos para el modelo 2 esperamos que dieran menores porcentajes de participación ya que se usaron valores de tasas media de ocurrencia menores al del modelo 1 (modelo 2 aproximadamente fue el 70% del modelo 1); sin embargo, gran cantidad de fallas participaban muy poco y al disminuir la tasa de ocurrencia para el modelo 2 su participación pasó a ser nula y este detalle hizo que los porcentajes de participación del modelo 2 fueran un poco superiores al del modelo 1.
4. En el peligro sísmico se consiguió que para el modelo 1 la aceleración es 0,31g y para el modelo 2 de 0,27g, haciendo el promedio de las dos conseguimos una aceleración de 0,29g, la cual es un poco menor a la recomendada por la norma COVENIN-1756 2001 de edificaciones sismorresistentes de 0,3g. Este resultado valida el modelo sismotectónico utilizado.



## REFERENCIAS

- AGGARWAL, Y. (1981). Investigaciones Sismológicas en el Occidente de Venezuela: Implicaciones para las consideraciones Sísmicas en el Proyecto Uribante-Caparo. Informe de Avance para CADAPE. FUNVISIS, Caracas
- AGGARWAL, Y. (1983). Neotectónicos of the Southern Caribbean: Recent data, new ideas. *Acta Científica Venezolana*; 34 (1): 17 (resumen).
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (1995). Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia. Bogotá, Colombia.
- AUDEMARD, F. (1991). Tectonics of Western Venezuela. PhD, Thesis, Rice University, Houston, 245p + anexos.
- AUDEMARD, F. & SOULAS, J.P.(1995). Trench Confirmation of Historical Earthquakes on the Bocono Fault System, Southern Venezuelan Andes. XIV INQUA International Congress-Symposium on Paleoseismology-.Berlin, Alemania (Abstract).
- AUDEMARD, F. et al (2000). Map database of quaternary faults in Venezuela and its offshore regions. USGS, Open-file Report 00-018, Denver, USA.
- BELL, J. S. (1968). The Garrapata Formation of the Venezuelan Coast ranges. *Asoc. Ven. Geol., Min y Petr., Bol. Inform.*, 2 (7): 187-206.
- BELLIZZIA, A. (1976). Coord. *Mapa Geológico Estructural de Venezuela*. Eds. FONINVES, Caracas.
- BELTRÁN, C. & GIRALDO, C (1989). Aspectos neotectónicos de la región nororiental de Venezuela. VII Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto; 3:1000 - 1021.
- BOORE, D., JOYNER, W. & FUMAL, T. (1997). Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western north american earthquakes: a summary of recent work. *Seismological Research Letters*, vol. 68 N° 1, USA.
- CAMPBELL, K. W., (1997). Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and absolute acceleration response spectra. *Seismological Research Letters*, 68, N° 1, 154-179.
- CENTENO GRAÜ, M. (1969). Estudios Sismológicos 2<sup>da</sup>. edición aumentada y corregida. Cartografía Nacional, Ministerio de Obras Públicas, Caracas.
- CERESIS (1985). Catálogo de terremotos para América del Sur, Venezuela. Vol. 8, Lima, Perú.



- CISTERNAS, A & Gaulon, A. (1984). Síntesis Sismotectonica del nordeste de Venezuela. Revista de Geofísica; 40:3-10, Caracas.
- CORAL 83 (1991). Atenuación de aceleraciones máximas en suelos tipo roca obtenida por regresión de registros acelerográficos a nivel mundial. Informe Interno, Caracas.
- COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes. Norma COVENIN 1756-2001, Fondonorma, Ministerio de Fomento, Caracas.
- DEWEY, J. (1972). Seismicity and Tectonics of Western Venezuela. Bull. Seismological Society of America; 62:171-1751.
- FIEDLER, G. (1961). Áreas afectadas por terremotos en Venezuela. En: Memorias del III Congreso Geológico Venezolano, Vol. 3, P. 1791-1810, Caracas.
- FUNVISIS (1983). Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Uribante-Caparo.  
Informe para CADAFE, Caracas, 3 Vol. + anexos
- FUNVISIS (1993). Mapa Neotectónico de Venezuela. Dpto. de Ciencias de la Tierra. Compilación de C. Beltrán, Caracas.
- GIRALDO, C. (1989). Valor del Desplazamiento dextral acumulado a lo largo de la falla de Boconó, Andes Venezolanos. GEOS, 29:186-194.
- GRASES, J. (1981). Compilación de eventos sísmicos que han ocasionado algún tipo de destrucción en localidades venezolanas (1530 - 1977). III Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Caracas; 475-492.
- GRASES. J., ALTEZ R. y LUGO M. (1999). Catálogo de sismos sentidos y destructores. Venezuela 1530-1998. Academia de ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales/Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- GUTENBERG, B and RICHTER C. F. (1949). Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton University (Princeton, N.J.) and Oxford University Press (London).
- GUTENBERG, B and RICHTER C. F. (1956). Earthquake magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. Bull of the Seismological Society of America, Vol. 46:2 Abril 1956. p 105-145.
- MINSTER, J. & JORDAN, F. (1978). Present - day plate motions. Journal Geophysis Res.; 83:5331 - 5354.



- MOLNAR, L & SYKES, U. (1969). Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from focal mechanisms and Seismicity. GSA. Bull; 80(9):1639-1684
- PAGE, W. (1986). Seismic Geology and Seismicity of Northwestern Colombia. Woodward-Clyde Consultants para ISA Interconexion Electrica S.A. Informe Inedito.
- PÉREZ, O. & AGGARWAL, Y. (1981). Present - day tectonics of the Southeastern Caribbean and Northeastern Venezuela. Journal Geophysis Res., 86 (B11): 10791- 10804.
- RAMÍREZ, J.E. (1953). El Terremoto de Arboledas, Cucutilla y Salazar de Las Palmas, 8 de Julio de 1950. Instituto Geofísico de Loa Andes Colombianos, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- RAMÍREZ, J.E. (1975a). Historia de los Terremotos en Colombia (segunda edición, aumentada y corregida de la primera de 1969). Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- RAMÍREZ, J.E. (1975b). El terremoto de Cúcuta cien años después (18-05- 1857; 18-05-1975). Editorial Desarrollo, Bogotá, Colombia.
- RICHTER, C. (1958). Elementary Seismology. Freeman and Co, San Francisco,USA.
- SCHUBERT, C. & SIFONTES, R.(1970). Boconó fault, Venezuela Andes: evidence of postglacial movement. Science; 170:66-69.
- SCHUBERT, C. (1982). Neotectonics of Boconó fault, Westwern Venezuela. Tectonophysics; 85:205-220.
- SCHUBERT, C. (1984). Basin formation along the Boconó – Morón – El Pilar Fault system, Venezuela. J. Geophys. Res., 89: 5711 – 5718.
- SCHUBERT, C. (1996). Emil Rod, la controversia sobre las grandes fallas de rumbo y el paradigma de la tectonica de placas en Venezuela una visión personal. Separatas, *Bol. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, Nos. 171-172,Caracas.
- SILVER, E. et al. (1975). Geophysical study of the Venezuela Borderland. G.S.A. Bull; 86: 213 - 226.
- SOULAS, J. P. (1986). Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas; 10: 6649 - 6656.



- STEPHAN, J. F. (1982). Evolution Geodynamique du Domaine Caraibe, Andes et Chaîne Caraibe Sur la Transversale de Barquisimeto (Venezuela). Tesis Doctoral, Universidad de ParisVI, 552pp. Inedito.
- SYKES, L. R. y EWING, M. (1965). The Seismicity of the Caribbean Region. En: Journal of Geophyscal Research, 70 (20): 5065-5074.
- TOMBLIN, J. (1972). Seismicity and plate tectonics of the Eastern Caribbean. IV Conferencia Geol. del Caribe, Isla de Margarita; 277-282.
- WELLS, D. and COPPERSMITH, K. (1994). New emperical relationships among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, vol 73, Nº 3, pp 863-877.
- WILLIS, D. E. et al. (1974). Explosión Induced Ground Motion, Tidel and Tectonic Forces and Their Relation ship to Natural Seismicity. Departament of Geology, Univesity of Wisconsin, U.S.A.



## **ANEXO**

### **INTENSIDADES MÁXIMAS ASIGNADAS A LOCALIDADES DE LA REGIÓN ANDINA DE VENEZUELA ( $IMM \geq IV$ )**



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

| <b>FECHA</b> | <b>HORA LOCAL</b> | <b>LOCALIDAD MÁS AFECTADA<br/>(Latitud N – Longitud W)*</b> | <b>IMM</b> | <b>COMENTARIOS</b>                                                               |
|--------------|-------------------|-------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1610-02-03   | 03:00 pm          | La Grita<br>08.15-71.96                                     | IX         | Primer terremoto histórico de Los Andes<br>Venezolanos                           |
| 1610-02-03   | 03:00 pm          | Bailadores<br>08.24-71.83                                   | IX         | Primer terremoto histórico de Los Andes<br>Venezolanos                           |
| 1610-02-03   | 03:00 pm          | San Cristóbal<br>07.70-72.25                                | VI         | Primer terremoto histórico de Los Andes<br>Venezolanos                           |
| 1611-10-16   | 06:00 pm          | San Cristóbal<br>07.70-72.25                                | VI         | Temblores por 20 días                                                            |
| 1644-01-16   | 05:30 pm          | Pamplona<br>07.38-72.65                                     | IX         | Epicentro probable en Colombia                                                   |
| 1644-01-16   | 05:30 pm          | San Cristóbal<br>07.70-72.25                                | VIII       | Epicentro probable en Colombia                                                   |
| 1674-01-16   | 08:00 pm          | Trujillo<br>09.33-70.64                                     | VIII       | Parte de una fuerte crisis sísmica en los<br>Andes venezolanos entre 1671 y 1674 |
| 1674-01-16   | 08:00 pm          | Barinitas<br>08.75-70.43                                    | VIII       | Parte de una fuerte crisis sísmica en los<br>Andes venezolanos entre 1671 y 1674 |
| 1674-01-16   | 08:00 pm          | El Tocuyo<br>09.80-69.85                                    | VI         | Parte de una fuerte crisis sísmica en los<br>Andes venezolanos entre 1671 y 1674 |
| 1674-01-16   | 08:00 pm          | Mérida<br>08.60-71.15                                       | VI         | Parte de una fuerte crisis sísmica en los<br>Andes venezolanos entre 1671 y 1674 |
| 1674-01-16   | 08:00 pm          | Maracaibo<br>10.74-71.62                                    | V          | Parte de una fuerte crisis sísmica en los<br>Andes venezolanos entre 1671 y 1674 |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                              |        |                                                                     |
|------------|----------|------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------|
| 1785-07-00 | ?        | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | IV     | Sentido en otros pueblos del Táchira                                |
| 1786-07-12 | ?        | Mérida<br>08.60-71.15        | VII    |                                                                     |
| 1796-02-15 | ?        | Pamplona<br>07.38-72.65      | VII    | Epicentro probable en Colombia                                      |
| 1796-02-15 | ?        | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | V      | Epicentro probable en Colombia                                      |
| 1812-03-26 | 04:07 pm | Mérida<br>08.60-71.15        | X      | Gran Terremoto del Jueves Santo                                     |
| 1812-03-26 | 04:07 pm | La Grita<br>08.15-71.96      | VII    | Gran Terremoto del Jueves Santo                                     |
| 1812-03-26 | 04:07 pm | El Tocuyo<br>09.80-69.85     | VII    | Gran Terremoto del Jueves Santo                                     |
| 1812-03-26 | 04:07 pm | Maracaibo<br>10.74-71.62     | V      | Gran Terremoto del Jueves Santo                                     |
| 1826-06-00 | 04:07 pm | Táchira                      | IV y V | Fuerte temblor                                                      |
| 1827-07-00 | ?        | La Grita<br>08.15-71.96      | VII    | Muy fuerte temblor                                                  |
| 1845-02-19 | 07:00 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | V      | Alud de lodo en el Valle de Lagunillas<br>08.50-71.39. Hubo muertos |
| 1849-02-26 | 05:30 am | Lobatera<br>07.92-72.24      | IX     | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                 |
| 1849-02-26 | 05:30 am | Borotá<br>07.90-72.23        | VIII   | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                 |
| 1849-02-26 | 05:30 am | Táriba<br>07.80-72.17        | VIII   | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                 |



# **ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                        |     |                                                                                         |
|------------|----------|----------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1849-02-26 | 05:30 am | La Grita<br>08.15-71.96                | VII | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                                     |
| 1849-02-26 | 05:30 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | VII | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                                     |
| 1849-02-26 | 05:30 am | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | VI  | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                                     |
| 1849-02-26 | 05:30 am | Maracaibo<br>10.74-71.62               | IV  | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                                     |
| 1849-02-26 | 05:30 am | Pamplona<br>07.38-72.65                | IV  | Unos 40 muertos y numerosos heridos                                                     |
| 1866-03-20 | 02:45 am | Táriba<br>07.80-72.17                  | IV  |                                                                                         |
| 1869-02-13 | 08:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV  | Ruidos subterráneos dos días antes<br>coincidieron con fuertes temblores en<br>Colombia |
| 1869-02-16 | 07:30 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV  | También en pueblos circunvecinos                                                        |
| 1869-02-17 | 03:30pm  | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV  | También pueblos vecinos                                                                 |
| 1869-02-17 | 12:00 pm | Lobatera<br>07.92-72.24                | VII | Daños y víctimas                                                                        |
| 1869-02-17 | 12:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | VI  | Daños y víctimas                                                                        |
| 1869-02-17 | 07:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV  |                                                                                         |
| 1869-02-19 | 05:15 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV  | También pueblos circunvecinos                                                           |
| 1869-02-19 | 07:30 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV  | También pueblos circunvecinos                                                           |



# **ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                        |      |                                                               |
|------------|----------|----------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------|
| 1869-02-19 | 02:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-02-19 | 05:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-02-20 | 09:00 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-02-21 | 03:00 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-02-25 | 03:30 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-03-01 | 11:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | V    | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-03-01 | 00:15 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | V    | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-03-04 | 01:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-03-06 | 06:30 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | VI   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1869-03-06 | 06:30 am | Mérida<br>08.60-71.15                  | IV   | También pueblos circunvecinos                                 |
| 1870-06-26 | 11:00 am | El Tocuyo<br>09.80-69.85               | VII  |                                                               |
| 1870-06-26 | 11:00 am | Quibor<br>09.92-69.59                  | V    |                                                               |
| 1875-05-18 | 11:25 am | San José de Cúcuta<br>07.92-72.51      | X    | Gran terremoto de San José de Cúcuta<br>07.92-72.51, Colombia |
| 1875-05-18 | 11:25 am | Ureña<br>07.92-72.45                   | IX   | Gran terremoto de San José de Cúcuta<br>07.92-72.51, Colombia |
| 1875-05-18 | 11:25 am | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | VIII | Gran terremoto de San José de Cúcuta<br>07.92-72.51, Colombia |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                         |      |                                                               |
|------------|----------|-----------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------|
| 1875-05-18 | 11:25 am | Libertad (Capacho Viejo)<br>08.13-71.47 | VIII | Gran terremoto de San José de Cúcuta<br>07.92-72.51, Colombia |
| 1875-05-18 | 11:25 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25            | VII  | Gran terremoto de San José de Cúcuta<br>07.92-72.51, Colombia |
| 1878-02-28 | 10:00 pm | Cúcuta<br>07.92-72.51                   | IV   | Sentido en Táchira y Mérida 08.60-71.15                       |
| 1888-11-17 | 01:30 pm | Guanare<br>09.07-69.75                  | VII  |                                                               |
| 1888-11-17 | 01:30 pm | Mérida<br>08.60-71.15                   | V    |                                                               |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | Zea<br>08.37-71.79                      | IX   | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | Santa Cruz de Mora<br>08.39-71.66       | IX   | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | Mérida<br>08.60-71.15                   | IX   | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | Mesa Bolívar<br>08.48-71.62             | VIII | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | Mucuchachí<br>08.15-71.36               | VIII | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25            | VII  | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | El Tocuyo<br>09.80-69.85                | VI   | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | Acequias<br>08.42-71.27                 | VI   | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1894-04-28 | 10:15 pm | Maracaibo<br>10.74-71.62                | VI   | Gran Terremoto de Los Andes Venezolanos                       |
| 1903-05-26 | 04:00 pm | Mérida                                  | VI   |                                                               |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                     |    |                                                           |
|------------|----------|-------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------|
|            |          | 08.60-71.15                         |    |                                                           |
| 1910-05-18 | 03:00 pm | La Ceiba<br>09.48-71.12             | VI |                                                           |
| 1910-05-18 | 03:00 pm | Sabana de Mendoza<br>09.44-70.77    | V  |                                                           |
| 1910-08-04 | 08:30 am | Valera<br>09.35-70.63               | V  |                                                           |
| 1910-08-04 | 08:30 am | Boconó<br>09.28-70.29               | V  |                                                           |
| 1910-08-04 | 08:30 am | Mérida<br>08.60-71.15               | IV |                                                           |
| 1910-08-04 | 08:30 am | Guanare<br>09.07-69.75              | IV |                                                           |
| 1911-04-10 | 02:30 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25        | IV | Sentido en Mérida 08.60-71.15, Zulia y Norte de Santander |
| 1912-01-20 | 03:00 pm | La Uracá (San Félix)<br>08.12-72.25 | IV |                                                           |
| 1912-03-01 | 09:00 pm | La Uracá (San Félix)<br>08.12-72.25 | IV |                                                           |
| 1912-06-21 | 05:00 am | Boconó<br>09.28-70.29               | IV |                                                           |
| 1914-10-01 | 02:00 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25        | IV | Sentido en Mérida 08.60-71.15                             |
| 1914-10-01 | 02:00 am | La Grita<br>08.15-71.96             | IV | Sentido en Mérida 08.60-71.15                             |
| 1917-09-27 | 01:25 am | La Grita<br>08.15-71.96             | IV |                                                           |
| 1919-07-11 | 02:33 pm | Mérida<br>08.60-71.15               | IV | Varios temblores                                          |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                        |      |                                   |
|------------|----------|----------------------------------------|------|-----------------------------------|
| 1919-12-26 | 05:00 am | Queniquea<br>07.92-72.02               | IV   | Varios temblores                  |
| 1920-01-09 | 12:00 pm | El Rosario de Cúcuta                   | V    | Probable epicentro en Colombia    |
| 1920-01-09 | 12:00 pm | San José de Cúcuta<br>07.92-72.51      | V    | Probable epicentro en Colombia    |
| 1929-01-29 | 09:25 pm | Trujillo<br>09.33-70.64                | VI   |                                   |
| 1929-01-29 | 09:25 pm | Chejendé<br>09.62-70.36                | V    |                                   |
| 1929-02-16 | 02:00 pm | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | IV   |                                   |
| 1929-02-16 | 02:00 pm | Ureña<br>07.92-72.45                   | IV   |                                   |
| 1929-02-16 | 02:00 pm | San Pedro del Río<br>08.00-72.27       | IV   |                                   |
| 1929-02-16 | 02:00 pm | San Juan de Colón<br>08.03-72.26       | IV   |                                   |
| 1929-02-16 | 02:00 pm | La Uracá<br>08.12-72.25                | IV   |                                   |
| 1932-03-14 | 06:12 pm | La Grita<br>08.15-71.96                | IX   | Terremoto de La Grita 08.15-71.96 |
| 1932-03-14 | 06:12 pm | San José de Bolívar<br>07.92-71.96     | VIII | Terremoto de La Grita 08.15-71.96 |
| 1932-03-14 | 06:12 pm | Pregonero<br>08.03-71.77               | VIII | Terremoto de La Grita 08.15-71.96 |
| 1932-03-14 | 06:12 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | VII  | Terremoto de La Grita 08.15-71.96 |
| 1932-03-14 | 06:12 pm | Rubio                                  | VII  | Terremoto de La Grita 08.15-71.96 |



# **ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                        |    |                                                                  |
|------------|----------|----------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------|
|            |          | 07.70-72.37                            |    |                                                                  |
| 1932-03-14 | 06:12 pm | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | VI | Terremoto de La Grita 08.15-71.96                                |
| 1933-03-04 | 05:00 am | La Grita<br>08.15-71.96                | IV | Sentido en El Eneal, Estado Lara                                 |
| 1933-11-04 | 04:11 am | Encontrados<br>09.06-72.23             | ?  | Temblor en Táchira, Mérida 08.60-71.15 y<br>Trujillo 09.33-70.64 |
| 1933-11-04 | 04:11 am | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | V  | Fuerte temblor sentido en varios estados<br>andinos              |
| 1933-11-04 | 04:11 am | Queniquea<br>07.92-72.02               | V  | Fuerte temblor sentido en varios estados<br>andinos              |
| 1933-11-04 | 04:11 am | Barinas<br>08.60-70.25                 | V  | Fuerte temblor sentido en varios estados<br>andinos              |
| 1933-11-04 | 04:11 am | Ospino<br>09.29-69.44                  | IV | Fuerte temblor sentido en varios estados<br>andinos              |
| 1933-11-04 | 04:11 am | Nutrias<br>08.07-69.30                 | IV | Fuerte temblor sentido en varios estados<br>andinos              |
| 1933-11-23 | 11:55 pm | Encontrados<br>09.06-72.23             | IV |                                                                  |
| 1934-01-27 | 11:55 am | La Grita<br>08.15-71.96                | IV |                                                                  |
| 1934-01-27 | 11:55 am | Seboruco<br>08.15-72.07                | IV |                                                                  |
| 1934-01-27 | 11:55 am | Pregonero<br>08.03-71.77               | IV |                                                                  |
| 1934-03-02 | 07:00 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV |                                                                  |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                         |    |                                        |
|------------|----------|-----------------------------------------|----|----------------------------------------|
| 1934-03-02 | 07:00 am | Libertad (Capacho Viejo)<br>08.13-71.47 | IV |                                        |
| 1934-03-02 | 07:00 am | San Juan de Colón<br>08.03-72.26        | IV |                                        |
| 1934-03-02 | 07:00 am | Michelena<br>07.97-72.23                | IV |                                        |
| 1934-03-02 | 07:00 am | El Cobre<br>08.03-72.06                 | IV |                                        |
| 1934-03-02 | 07:00 am | La Grita<br>08.15-71.96                 | IV |                                        |
| 1938-02-04 | ?        | San Cristóbal<br>07.70-72.25            | IV | Epicentro cerca de Manizales, Colombia |
| 1940-06-20 | 09:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25            | IV |                                        |
| 1940-06-20 | 09:00 pm | Palmira<br>07.85-72.23                  | IV |                                        |
| 1940-06-20 | 09:00 pm | San Juan de Colón<br>08.03-72.26        | IV |                                        |
| 1940-06-20 | 09:00 pm | San Pedro del Río<br>08.00-72.27        | IV |                                        |
| 1940-06-20 | 09:00 pm | Lobatera<br>07.92-72.24                 | IV |                                        |
| 1941-07-19 | 08:10 pm | Bucaramanga<br>07.14-73.17              | VI | Se sintió en Táchira                   |
| 1943-05-14 | ?        | San Cristóbal<br>07.70-72.25            | IV | Varios sismos desde el día 6           |
| 1943-06-23 | 10:30 pm | La Grita                                | IV |                                        |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                        |      |                                                                                                                          |
|------------|----------|----------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |          | 08.15-71.96                            |      |                                                                                                                          |
| 1944-03-10 | 02:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   |                                                                                                                          |
| 1945-01-11 | 11:00 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV   |                                                                                                                          |
| 1945-01-11 | 11:00 pm | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | IV   |                                                                                                                          |
| 1945-04-06 | 02:00 pm | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | IV   |                                                                                                                          |
| 1945-04-06 | 02:00 pm | La Grita<br>08.15-71.96                | IV   |                                                                                                                          |
| 1949-01-09 | 04:00 am | El Vigía<br>08.62-71.65                | VI   |                                                                                                                          |
| 1949-01-09 | 04:00 am | Chiguará<br>08.49-71.53                | VI   |                                                                                                                          |
| 1949-01-09 | 04:00 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | V    |                                                                                                                          |
| 1949-03-16 | ?        | Mesa Bolívar<br>08.48-71.62            | VI   |                                                                                                                          |
| 1950-07-08 | 09:05 pm | Arboledas<br>07.06-72.80               | IX   | Terremoto de Arboledas 07.06-72.80, Colombia. La hora legal colombiana era una media hora más respecto a la de Venezuela |
| 1950-07-08 | 09:05 pm | Cucutilla                              | VIII | Terremoto de Arboledas 07.06-72.80, Colombia. La hora legal colombiana era una media hora más respecto a la de Venezuela |
| 1950-07-08 | 09:05 pm | Salazar de las Palmas<br>07.77-72.75   | VII  | Terremoto de Arboledas 07.06-72.80, Colombia. La hora legal colombiana era una                                           |



# **ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                        |      |                                                                                                                          |
|------------|----------|----------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |          |                                        |      | media hora más respecto a la de Venezuela                                                                                |
| 1950-07-08 | 09:05 pm | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | VI   | Terremoto de Arboledas 07.06-72.80, Colombia. La hora legal colombiana era una media hora más respecto a la de Venezuela |
| 1950-07-08 | 09:05 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | V    | Terremoto de Arboledas 07.06-72.80, Colombia. La hora legal colombiana era una media hora más respecto a la de Venezuela |
| 1950-07-08 | 09:05 pm | Rubio<br>07.70-72.37                   | V    | Terremoto de Arboledas 07.06-72.80, Colombia. La hora legal colombiana era una media hora más respecto a la de Venezuela |
| 1950-08-03 | 05:30 am | San Juan de Colón<br>08.03-72.26       | VI   |                                                                                                                          |
| 1950-08-03 | 05:30 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | V    |                                                                                                                          |
| 1952-04-19 | 04:28 am | Toledo<br>07.33-72.45                  | VII  | Epicentro en Colombia                                                                                                    |
| 1952-04-19 | 04:28 am | Pamplona<br>07.38-72.65                | VI   | Epicentro en Colombia                                                                                                    |
| 1952-04-19 | 04:28 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | V    | Epicentro en Colombia                                                                                                    |
| 1953-08-29 | 02:00 am | Valera<br>09.35-70.63                  | VI   |                                                                                                                          |
| 1953-08-29 | 02:00 am | Boconó<br>09.28-70.29                  | IV   |                                                                                                                          |
| 1956-11-16 | 07:24 am | La Providencia                         | VIII |                                                                                                                          |



# **ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                        |     |                       |
|------------|----------|----------------------------------------|-----|-----------------------|
|            |          | 08.22-71.16                            |     |                       |
| 1956-11-16 | 07:24 am | Aricagua<br>08.23-71.14                | VII |                       |
| 1956-11-16 | 07:24 am | Mérida<br>08.60-71.15                  | V   |                       |
| 1956-11-16 | 07:24 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | IV  |                       |
| 1956-11-23 | 00:16 am | Aricagua<br>08.23-71.14                | VI  |                       |
| 1956-11-23 | 00:16 am | Mérida<br>08.60-71.15                  | IV  |                       |
| 1956-11-24 | ?        | Libertad Capacho Viejo)<br>08.13-71.47 | VI  |                       |
| 1956-11-24 | ?        | Mucuchachí<br>08.15-71.36              | V   |                       |
| 1956-11-24 | ?        | Aricagua<br>08.23-71.14                | IV  |                       |
| 1957-04-22 | 09:13 am | San José de Bolívar<br>07.92-71.96     | VII |                       |
| 1957-04-22 | 09:13 am | Mérida<br>08.60-71.15                  | IV  |                       |
| 1961-06-16 | ?        | San Cristóbal<br>07.70-72.25           | V   | Epicentro en Colombia |
| 1964-09-02 | 02:12 pm | San Antonio del Táchira<br>07.80-72.45 | IV  | Epicentro en Colombia |
| 1973-08-30 | 02:25 pm | Lobatera<br>07.92-72.24                | V   | Epicentro en Colombia |
| 1973-08-30 | 02:25 pm | Michelena                              | V   | Epicentro en Colombia |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                  |     |                                           |
|------------|----------|----------------------------------|-----|-------------------------------------------|
|            |          | 07.97-72.23                      |     |                                           |
| 1973-08-30 | 02:25 pm | San Juan de Colón<br>08.03-72.26 | V   | Epicentro en Colombia                     |
| 1973-08-30 | 02:25 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25     | IV  | Epicentro en Colombia                     |
| 1973-08-30 | 02:25 pm | Rubio<br>07.70-72.37             | IV  | Epicentro en Colombia                     |
| 1973-08-30 | 02:25 pm | Ureña<br>07.92-72.45             | IV  | Epicentro en Colombia                     |
| 1973-08-30 | 02:25 pm | Santa Ana<br>07.83-72.27         | IV  | Epicentro en Colombia                     |
| 1979-05-02 | 09:47 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25     | IV  | Epicentro en Colombia                     |
| 1979-05-05 | 04:05 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25     | V   |                                           |
| 1979-05-05 | 04:05 pm | Pregonero<br>08.03-71.77         | V   |                                           |
| 1979-05-05 | 04:05 pm | La Grita<br>08.15-71.96          | V   |                                           |
| 1979-05-05 | 04:05 pm | San Juan de Colón<br>08.03-72.26 | V   |                                           |
| 1979-05-05 | 04:05 pm | Ureña<br>07.92-72.45             | V   |                                           |
| 1979-05-05 | 04:05 pm | Táriba<br>07.80-72.17            | IV  |                                           |
| 1979-05-05 | 04:05 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25     | V   |                                           |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | San Antonio del Táchira          | VII | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81. |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                              |     |                                                                                                                     |
|------------|----------|------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|            |          | 07.80-72.45                  |     | Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito                                              |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | El Palmar de la Copé         | VII | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81.<br>Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | Ureña<br>07.92-72.45         | VII | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81.<br>Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | Cúcuta<br>07.92-72.51        | VII | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81.<br>Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | VI  | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81.<br>Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | Táriba<br>07.80-72.17        | VI  | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81.<br>Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | La Grita<br>08.15-71.96      | VI  | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81.<br>Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito |
| 1981-10-18 | 0:31 am  | Santo Domingo                | IV  | Epicentro en Colombia con fecha 17/10/81.<br>Un terraplén vial falló y sepultó al caserío adyacente de San Josecito |
| 1982-02-06 | 10:35 pm | Cordero<br>07.86-72.18       | VI  |                                                                                                                     |
| 1982-02-06 | 10:35 pm | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | V   |                                                                                                                     |
| 1982-02-11 | 04:10 am | San Cristóbal                | IV  |                                                                                                                     |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                              |    |  |
|------------|----------|------------------------------|----|--|
|            |          | 07.70-72.25                  |    |  |
| 1982-05-27 | 06:54 am | Mérida<br>08.60-71.15        | IV |  |
| 1982-05-27 | 06:54 am | Ejido<br>08.56-71.25         | IV |  |
| 1982-05-27 | 06:54 am | Tovar<br>08.33-71.75         | IV |  |
| 1982-05-27 | 06:54 am | Bailadores<br>08.24-71.83    | IV |  |
| 1982-05-27 | 06:54 am | Santo Domingo                | IV |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | Borotá<br>07.90-72.23        | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | Táriba<br>07.80-72.17        | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | Rubio<br>07.70-72.37         | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | Uribante                     | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | Pregonero<br>08.03-71.77     | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | Queniquea<br>07.92-72.02     | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | La Fundación                 | V  |  |
| 1982-07-04 | 02:16 am | La Grita<br>08.15-71.96      | IV |  |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                                    |    |                                   |
|------------|----------|------------------------------------|----|-----------------------------------|
| 1982-07-04 | 02:16 am | Santo Domingo                      | IV |                                   |
| 1982-07-04 | 02:16 am | El Piñal                           | IV |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | La Grita<br>08.15-71.96            | VI |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | El Cobre<br>08.03-72.06            | V  |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | Seboruco<br>08.15-72.07            | V  |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | La Fundación                       | V  |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | Pregonero<br>08.03-71.77           | V  |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25       | IV |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | San José de Bolívar<br>07.92-71.96 | IV |                                   |
| 1983-06-15 | 03:37 am | Santa Maria de Caparo              | IV |                                   |
| 1988-02-21 | 05:26 pm | Pregonero<br>08.03-71.77           | V  | Sentido en todo el Estado Táchira |
| 1988-02-21 | 05:26 pm | Siberia<br>07.82-72.21             | V  | Sentido en todo el Estado Táchira |
| 1988-02-25 | 06:47 pm | Pregonero<br>08.03-71.77           | V  | Sentido en todo el Estado Táchira |
| 1988-03-19 | 08:34 am | La Grita<br>08.15-71.96            | IV |                                   |
| 1988-10-27 | 10:28 am | Santa Cruz de Mora<br>08.39-71.66  | IV |                                   |



**ESTUDIO DE AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE SAN CRISTOBAL EDO. TÁCHIRA**

|            |          |                              |    |  |
|------------|----------|------------------------------|----|--|
| 1988-10-27 | 10:28 am | Tovar<br>08.33-71.75         | IV |  |
| 1989-02-11 | 08:19 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | V  |  |
| 1990-06-08 | 09:29 am | Mérida<br>08.60-71.15        | V  |  |
| 1990-06-08 | 09:29 am | Lagunillas<br>08.50-71.39    | V  |  |
| 1990-06-08 | 09:29 am | Ejido<br>08.56-71.25         | V  |  |
| 1990-06-08 | 09:29 am | Jají                         | V  |  |
| 1990-07-04 | 01:35 am | San Cristóbal<br>07.70-72.25 | IV |  |