The cover features a light blue background with a large, semi-transparent grey number '1' in the center. A vertical red bar is on the right side. The title 'Capítulo 1' is written in white, bold, sans-serif font across the '1'. Below it, the subtitle 'Fallamiento Activo y Sismicidad' is written in black, bold, sans-serif font. At the bottom left, the text 'Red Sismológica Nacional, ECG-UCR' is written in a smaller, italicized black font.

Capítulo 1

Fallamiento Activo y Sismicidad

Red Sismológica Nacional, ECG-UCR

RESUMEN

En este capítulo se analiza el fallamiento y la sismicidad somera (0-30 km) del Valle Central de Costa Rica. En general, las fallas de esta región siguen un patrón de orientación noreste o noroeste. Hay un sistema de fallas activo en el flanco sur de la Cordillera Volcánica Central y otro en el flanco norte de las estribaciones occidentales de la Cordillera de Talamanca. Las fallas de estos sistemas han generado en el área 16 terremotos históricos destructivos, todos ellos someros; sus localizaciones se distribuyen en dos sectores principales: uno cerca del Volcán Poás y otro al sur del Valle Central. Dos de estos eventos destruyeron la ciudad de Cartago, provocando cerca de 1000 personas fallecidas. De acuerdo con la sismicidad reciente, se encuentran tres fuentes sísmicas principales en la Cordillera Volcánica Central: Irazú, Bajo de la Hondura y Poás y otras tres en las estribaciones del oeste de la Cordillera de Talamanca: Puriscal, Los Santos y Pejibaye.

1.1 INTRODUCCION

Hay evidencia de actividad sísmica en la región central de Costa Rica desde tiempos históricos (González, 1910; Tristán, 1912). Instrumentalmente dicha actividad fue registrada primeramente con redes portátiles analógicas (Montero y Morales, 1984). Más recientemente la *Red Sismológica Nacional (RSN: ICE-UCR)* cambió este sistema a uno de registro digital y aumentó además el número de estaciones sísmicas, lo que ha ayudado a incrementar el número de eventos registrados y a mejorar la precisión en la localización de los mismos. El hecho de poder contar en el país con información sismológica instrumental de buena calidad y en combinación con información geológica y geofísica, ha permitido mejorar el conocimiento sismo-tectónico de la región donde se encuentra localizada Costa Rica.

Por otro lado, el fallamiento en el área central del país ha sido estudiado desde 1970 cuando fue abierto el Departamento de Geología en la Universidad de Costa Rica. Durante el periodo 1989-1991 se llevó a cabo una exhaustiva investigación del fallamiento en el Valle Central como parte de un proyecto de mitigación y riesgo volcánico en el área. Denyer y Arias (1991) complementaron esta investigación con el estudio de la geología del sur del Valle Central y finalmente Montero y Fernández (en prep.) aplicaron criterios neotectónicos para determinar fallas activas en esta zona. Un resumen de toda esta información es presentado en este capítulo.

1.2 AMBIENTE TECTONICO REGIONAL

Costa Rica se localiza en la placa Caribe la cual limita con la placa del Coco a lo largo de la Fosa de América Central (Fig. I-1). La placa del Coco se subduce normalmente por debajo de la placa Caribe desde Guatemala hasta la parte central de Costa Rica, pero este proceso se vuelve anormal al sur de Costa Rica donde no hay sismos por debajo de los 50 km de profundidad. Estas variaciones geométricas se consideran como una consecuencia de las diferentes edades de la corteza oceánica (Protti *et al.*, 1994). Al frente de la costa Pacífico Sur de Costa Rica se localiza la Zona de Fractura de Panamá (ZFP) y Cresta del

Coco que arribó a la Fosa de América Central hace 1 millón de años (Lonsdale y Klitgord, 1978) En el mar Caribe, al frente de las costas de Costa Rica y Panamá, se encuentra el Cinturón Deformado de Panamá (CDNP) el cual es considerado como un margen convergente en la placa Caribe (Bowin, 1976). Estas condiciones hacen que el país se encuentre localizado en una zona tectónicamente compleja y propensa a la ocurrencia periódica de eventos sísmicos destructivos.

En la parte central del país, la Cordillera de Talamanca y la Cordillera Volcánica Central son los dos rasgos geológicos más importantes formados por la actividad tectónica en Costa Rica (Fig. I-2). La Cordillera de Talamanca se formó por episodios magmáticos y levantamientos isostáticos y tectónicos y ahora no hay vulcanismo en ella. La Cordillera Volcánica Central se formó por procesos de subducción y en ella se presentan cuatro volcanes cuaternarios. Entre estos dos importantes rasgos geológicos se encuentra localizado el Valle Central, dentro del que se ubica la región del presente estudio.

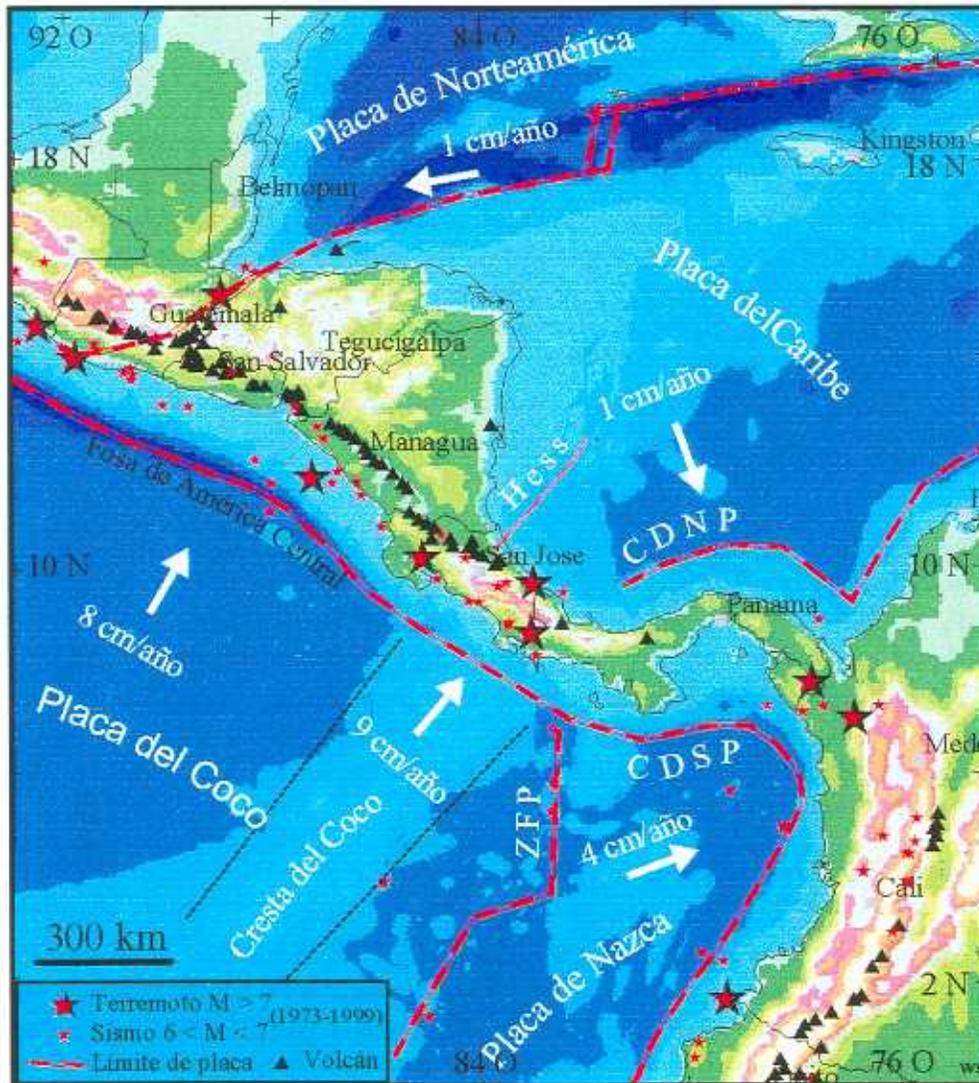


Fig. I-1. Mapa tectónico regional de Costa Rica y países vecinos (cortesía W. Strauch)

1.3 TECTÓNICA LOCAL

De acuerdo con el mapa estructural de la Figura I-2, la distribución de las fallas en el Valle Central presenta en su mayoría una orientación NW-SE y NE-SW. Esta orientación es interpretada por Arias y Denyer (1991a) como consecuencia de una fase compresiva que afectó el territorio costarricense durante el Mioceno-Plioceno. Este mapa está basado en los trabajos de investigación de Arias y Denyer (1991), Denyer y Arias (1991), Montero y Alvarado (1995), Montero y Fernández (en prep.) y Soto (1988). En la Figura I-2 a cada falla o sistema de fallas se les ha asignado un número para su identificación, este número será colocado entre paréntesis después del nombre de la falla, cada vez que la misma sea nombrada.

En la Cordillera Volcánica Central hay dos sistemas de fallas importantes, uno que marca el límite sur de la Cordillera, que se extiende en forma paralela a la misma desde el Irazú hasta el Volcán Poás. El segundo, el más conocido, es un sistema de fallas normales el cual bordea el Volcán Irazú y que no presenta fallas más extensas que los 15 km. Otras fallas importantes en esta zona son las de Alajuela (1,2) y Guápiles que de acuerdo con Borgia *et al.* (1990) y Boschini (1989) son fallas del tipo inverso.

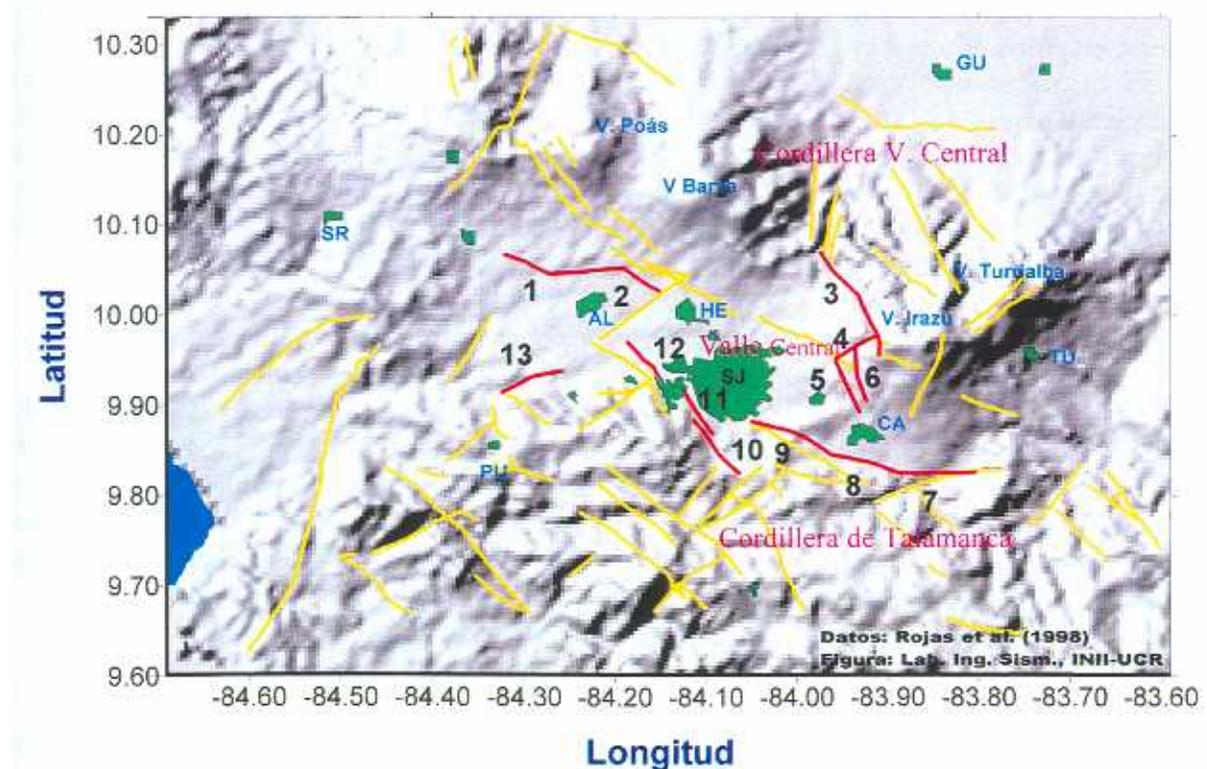


Fig. I-2. Mapa estructural del Valle Central de Costa Rica.

El área de la Cordillera de Talamanca tiene un gran número de fallas que sugieren una mayor deformación a través del tiempo geológico. En el sector sur del Valle Central, el cual ha sido considerado como de alta amenaza sísmica, destacan dos sistemas de fallamiento predominantes y bien conocidos: el de Agua Caliente (7,8,9) y el de Escazú-

Higuito (10,11,12). El fallamiento Agua Caliente se caracteriza por el alineamiento de valles, la presencia de aguas termales y mineralizaciones de sulfuros; Montero y Fernández (en prep.) consideran que el movimiento dominante de esta falla es dextral. El fallamiento Escazú-Higuito tiene fuertes cambios en su inclinación y escarpes y de acuerdo con Denyer *et al.* (1993) es un fallamiento inverso; Montero y Fernández (en prep.) encontraron evidencia de desplazamientos inversos en esta falla. Otras fallas de menor importancia en el área, son de tipo de desplazamiento de rumbo.

1.3.1 Principales Fallas activas

En la zona de interés han sido identificados cinco principales sistemas de fallas activas (Woodward-Clyde, 1993; Geomatrix Consultants, 1994; Montero y Fernández (en prep.); Montero *et al.*, 1998), cuya geometría se muestra de color rojo en la Figura I-2 y los cuales para efectos de este informe han sido analizados como sub-segmentos de falla. Se presenta a continuación un pequeño detalle de cada uno de ellos.

• La Falla de Alajuela (1,2)

Esta es una falla inversa con orientación NNW y una extensión de 28 km. El sistema es dominado por el prominente escarpe de Alajuela de 40 a 60 m de altura; la cara sur de dicho escarpe domina el paisaje bajo el cual está la ciudad de Alajuela. El buzamiento se estima en 25° N (Borgia *et al.*, 1990). Para efectos de la estimación de la amenaza sísmica, esta falla se puede dividir en dos segmentos siguiendo el cambio de la traza en superficie: a) Grecia (1), con orientación NW y 11 km de extensión y b) Itiquís (2), con orientación WSE y 17 km de extensión. El suelo expuesto en el techo de la falla parece haber sido fallado (Woodward-Clyde, 1993; Borgia *et al.*, 1990).

• El sistema de falla Lara (3,4,5,6)

Se localiza al NW de Cartago y presenta cuatro fallas con segmentos de desplazamiento de rumbo orientados principalmente en dirección NW y buzando al SW entre 80 y 85°. La división en cuatro segmentos es hecha con respecto al desplazamiento y las variaciones de extensión: falla Lara (3) con 18 km de extensión, Rancho (4) orientada en dirección NE con 8 km de extensión, Dorita (5) y Laguna (6) son dos segmentos paralelos, ambos de 9 km de extensión (Montero *et al.*, 1998).

• El sistema de falla Aguacaliente (7,8,9)

Este se localiza al SW de San José y consiste de tres segmentos de fallas conectados (Montero y Fernández, en prep.; Montero *et al.*, 1998). Los segmentos son:

- Paraíso (7), tiene una extensión de 18 km. Esta se caracteriza por una serie de trazas de falla con prominente expresión geomorfológica como la presencia de pequeñas lagunas y aguas termales alineadas, valles y escarpes lineales y sillars de falla alineadas. A este segmento es el que se le identifica mayormente como falla Aguacaliente, y al final de la traza está conectada con el alineamiento denominado Navarro.

- Coris (8), con una extensión de 11 km.
- Tablazo o falla Quebrada Honda (9), caracterizada por un profundo valle lineal y unidades litológicas separadas. Tiene aproximadamente 8 km de extensión y tiene una orientación E-W.

• ***El sistema de falla Escazú-Aserri (10,11,12)***

Este se caracteriza por la presencia de escarpes pronunciados, diversidad de corrientes leves y una serie de tres segmentos de falla orientados al NW. El fallamiento es dominado por fallas de desplazamiento de rumbo con componente normal y depósitos de ruptura pleistocénicos (Montero y Fernández, en prep.). Los segmentos son: Escazú (12) con 10 km de extensión, Alajuelita (11) con 6 km de extensión e Higuito (10) de aproximadamente 11 km de extensión, caracterizada por la presencia de sillas de falla y escarpes con inclinación que tienden al NNW.

• ***La falla Virilla (13)***

Esta es una falla de desplazamiento de rumbo al SW de Alajuela (Barquero *et al.*, 1991). Tiende hacia el NE y tiene una extensión de 8 km y es la responsable del terremoto de Piedras Negras del 22 de Diciembre de 1990, magnitud 6,0 Ms.

1.4 SISMICIDAD HISTORICA

De 1772 a 1999 se ha documentado la ocurrencia de 16 sismos fuertes de foco superficial en el Valle Central, ubicados principalmente a lo largo del flanco Norte de la Cordillera Volcánica Central y al pie de las estribaciones de la Cordillera de Talamanca (sur del Valle Central que han causado daños severos). Las principales características de estos eventos se listan en las Tablas I-1 y I-2 y sus ubicaciones se muestran en la Figura I-3, los círculos azules son estos sismos. Se les ha asignado un número de acuerdo con las Tablas I-1 y I-2.

Seis de estos eventos han sido localizados en el Área de fallamiento del Volcán Poás, uno cerca del Volcán Barva y otro en el flanco NW del Volcán Irazú. Los eventos del Poás parecen estar relacionados con el extremo NW del fallamiento que empieza al sur del Volcán Irazú y termina al oeste del Volcán Poás. El sismo de Barva y el de Patillos son eventos aislados que se caracterizan por tener larga recurrencia. Estos eventos se caracterizan por la profundidad somera de la fuente de cada uno de ellos. Además, antes, durante y después de los sismos de Toro Amarillo (1911, 1955) las personas escucharon sonidos provenientes del interior de la tierra, lo cual refuerza el hecho de que los focos eran superficiales (Alvarado *et al.*, 1988). Como podemos observar en la Tabla I-1, estos sismos dañaron algunas ciudades del Valle Central de Costa Rica, produciendo 46 víctimas fatales.

Hacia el sur del Valle Central, en el sector de la Cordillera de Talamanca, han ocurrido 7 sismos importantes desde 1834 hasta el presente, todos ellos con magnitudes mayores a 5,0. Estos afectaron las ciudades de Cartago y San José y murieron más de 600 personas.

Tabla I-1. Sismos históricos en la Cordillera Volcánica Central (Rojas, 1993).

Número Fig. I-3	Nombre	Año	Magnitud Ms	Daños
1	Sismo de Barva	1772	5,5	El sismo dañó la Iglesia de Barva.
3	Sismo de Alajuela	1835	5,4	Pocos daños en Alajuela.
6	Sismo de Fraijanes	1851	5,5	Daños importantes en Alajuela, San José y Cartago.
7	Sismo de Fraijanes	1888	5,8	Afectó fuertemente las ciudades de Alajuela, Heredia y San José.
Fuera del Mapa	Sismo de Toro Amarillo	1911	6,1	Deslizamientos, fracturamiento del suelo, destrucción en Toro Amarillo.
Fuera del Mapa	Sismo de Sarchí	1912	6,2	Sarchí fue severamente destruido, 15 personas murieron.
12	Sismo de Patillos	1952	5,8	Grandes daños en el flanco oeste del Volcán Irazú, 21 personas murieron.
Fuera del Mapa	Sismo de Toro Amarillo	1955	5,5	Gran destrucción en Bajos del Toro, evacuación del pueblo, 10 personas murieron.

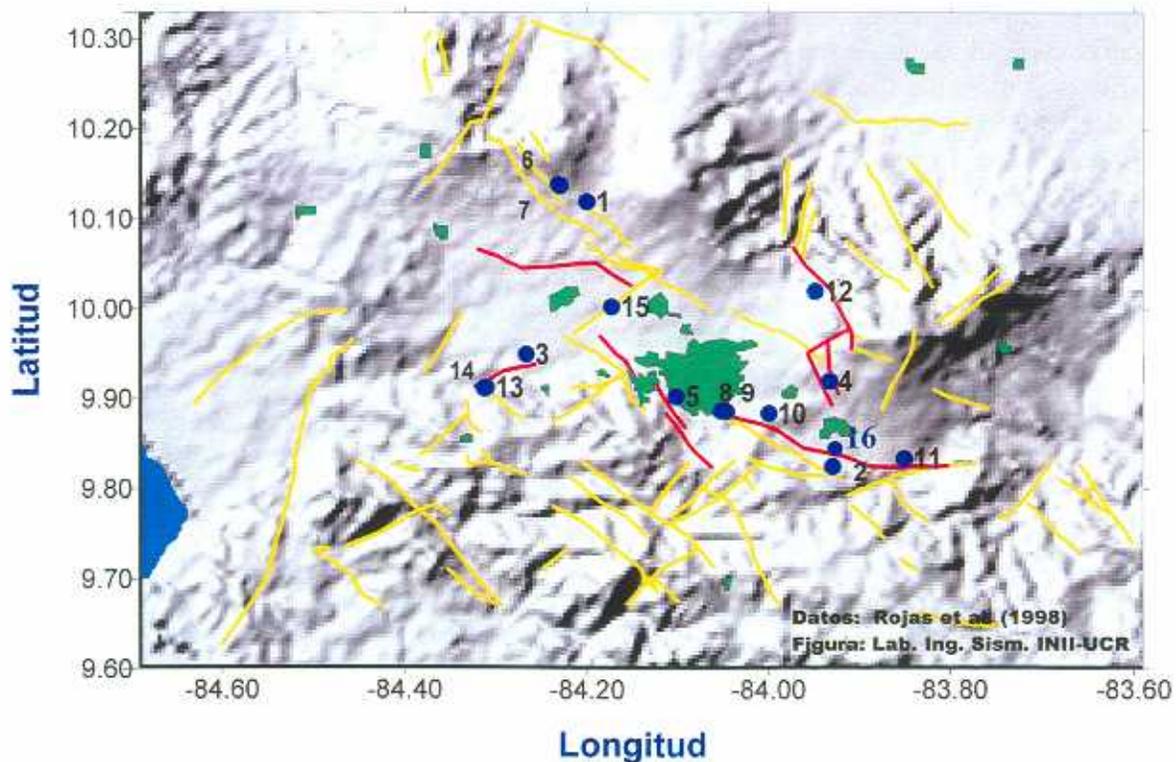


Fig. I-3. Mapa de la sismicidad histórica del Valle Central de Costa Rica

Estos eventos se localizan, específicamente, en el segmento de la falla Aguacaliente (7,8,9). Las localizaciones epicentrales sugieren actividad sísmica a lo largo de esta falla y también en la falla Higuito (10,11,12), condición importante ya que las ciudades de Cartago y San José, dos de los centros de población más importantes de Costa Rica, están cerca de estas fuentes sísmicas.

Tabla I-2. Sismos históricos de la Cordillera de Talamanca (Rojas, 1993).

No. Fig. I-3	Nombre	Año	Magnitud Ms	Daños
2	Sismo de Cartago	1834	5,2	No se reportaron daños.
4	Sismo de Cartago	1841	5,8	Primera destrucción de Cartago, 38 personas murieron.
5	Sismo de Alajuelita	1842	5,4	Daños en Alajuelita.
8	Sismo del Tablazo	1910	5,0	Daños en San José.
9	Sismo del Tablazo	1910	5,2	Daños en Desamparados y San José
16	Sismo de Cartago	1910	6,4	Severa destrucción de Cartago, 600 personas murieron.
10	Sismo de Tres Ríos	1912	5,2	Daños en Tres Ríos.
11	Sismo de Paraíso	1951	5,2	Paraíso fue grandemente afectado por este evento.
13	Sismo de Piedras Negras.	1990	6,0	Piedras Negras de Mora, tres muertos y muchos daños.
14	Sismo de Piedras Negras (Réplica).	1990	5,1	Daños en la Guácima de Alajuela.

1.5 SISMICIDAD REGISTRADA INSTRUMENTALMENTE

Los sismos sentidos por la población del Valle Central son originados por diferentes fuentes sísmicas y ambientes tectónicos existentes en Costa Rica. En la Figura I-4, y a modo de ejemplo, se presenta un mapa de distribución de la sismicidad en el país durante el año 1997. Se observa que una gran cantidad de eventos se concentran a lo largo de la costa pacífica; se trata de los sismos originados por el proceso de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe.

Del mapa de la Figura I-4, se puede apreciar además, una importante concentración de eventos hacia la parte central del país, evidenciando la intensa actividad sismo-tectónica a que está sujeta esta región. A continuación se presenta un pequeño resumen de la actividad reciente en el Valle Central de acuerdo a diferentes zonas que han sido definidas.

1.5.1 Área de la Cordillera Volcánica Central

Más de 40 años han pasado desde el último sismo histórico destructivo proveniente de las fuentes sísmicas de la Cordillera Volcánica Central (1955), pero este hecho no implica la ausencia de sismicidad aquí. Por el contrario, hay tres focos sísmicos con actividad permanente: el área del Volcán Irazú, Bajo de la Hondura (Falla Lara) y la zona del Volcán Poás. Las zonas sísmicas del Irazú y el Poás han generado sismos destructivos de moderada magnitud ($M < 6,0$). En el Bajo de la Hondura la actividad sísmica es más continua en el tiempo pero la magnitud de los sismos es menor que la de los ocurridos en el Irazú y el Poás. La sismicidad de estas zonas se incrementó después de los grandes sismos acaecidos en el país a principios de la década de los 90.

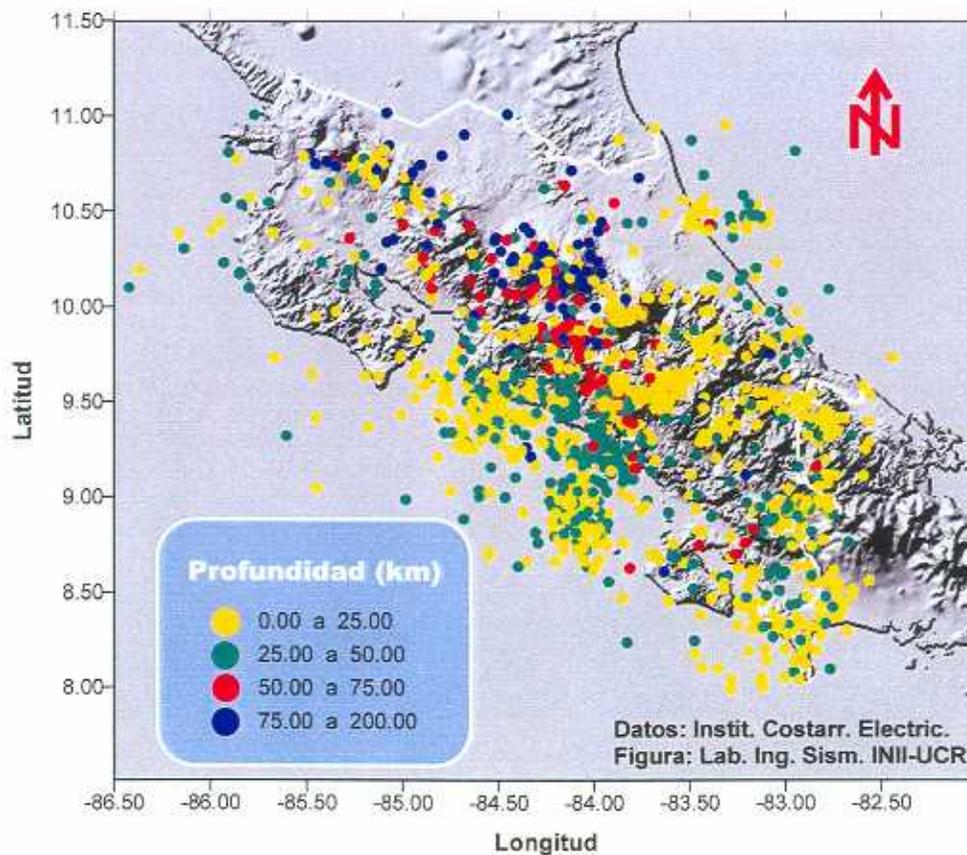


Fig. I-4. Mapa de sismicidad general (año 1997).

En el área del Volcán Irazú ocurrieron enjambres sísmicos en 1982, 1991 y 1997 (Fernández *et al.*, 1997). Estos enjambres están compuestos por cientos de microsismos y pocos sismos de magnitudes mayores a 4,0. Todos ellos se deben al fallamiento alrededor del volcán, especialmente aquellos localizados entre los volcanes Irazú y Turrialba y hacia el sur del cráter del Volcán Irazú. La sismicidad de esta zona no representa un gran riesgo para la población del Valle Central, aunque pueden generar sismos como el de Patillos que

podrían producir daños menores a la propiedad. La principal consecuencia de la actividad en las fallas de esta área puede ser la apertura de fracturas que podrían favorecer una erupción.

Hay una sismicidad importante en el Bajo de la Hondura donde han habido enjambres en 1978, 1979 y 1980 (Montero y Alvarado, 1995). Los mayores sismos de estos enjambres tienen magnitudes entre 3,0 y 4,0. En 1990 ocurrió el mayor evento sísmico del área, éste fue un sismo de magnitud 4,4 que generó fuertes ruidos claramente percibidos por las personas (Barquero *et al.*, 1991). El evento pudo haberse originado en la falla Lara. Esta falla, junto a la falla Hondura y la falla Patria, controlan la sismicidad del área.

En el Poás la sismicidad está concentrada a lo largo del fallamiento NW localizado al sur del cráter. Varios enjambres sísmicos se han originado en este sistema, el último en febrero de 1997. Como en las zonas anteriores, la sismicidad se incrementó después de los grandes sismos, causando enjambres sísmicos que duraron uno o dos días. También entre los volcanes Barva y Poás hay sismicidad pero en este caso no hay una clara correlación con el fallamiento.

1.5.2 Área del Valle Central

La sismicidad dentro del mismo valle es dispersa. Algunos focos se ubican hacia el norte de Cartago (CA), NE y S de San José (SJ), pero ha sido difícil encontrar fallas en las dos primeras subzonas ya que están cubiertas de concreto y depósitos volcánicos o sedimentos; además es difícil correlacionar la sismicidad con el fallamiento. Por el contrario, esta correlación es más clara hacia el sector S de SJ, donde la falla Higuito es la responsable de los sismos. Esta estructura ha estado muy activa durante los últimos 10 años y ha producido varios enjambres sísmicos en Higuito y uno en Ojo de Agua. Afortunadamente, la falla sólo ha originado sismos de magnitudes menores que 5,0. La falla Aguacaliente que ha tenido actividad importante en el pasado ahora muestra poca sismicidad de baja magnitud.

1.5.3 Área de las Etribaciones del Oeste de la Cordillera de Talamanca

Esta es el área con el mayor nivel de actividad sísmica registrada instrumentalmente o reciente en el centro de Costa Rica. Talamanca es un plutón que se ha venido levantando desde el Mioceno. Este levantamiento hace posible la fracturación de la capa sedimentaria sobre el plutón (Miyamura, 1975; Madrigal, 1977) que contribuye a generar la alta sismicidad. Los sismos están distribuidos en toda el área y concentrados en Puriscal, La Lucha y Pejibaye.

Puriscal era una zona sísmica muy quieta pero después del sismo de Cóbano (Ms 7,1) del 25 de marzo de 1990, empezó una intensa actividad sísmica. Miles de sismos fueron registrados durante el periodo de junio a diciembre de 1990 pero afortunadamente solo 22 de ellos tuvieron magnitudes mayores a 4,0 y solo uno 6,0 (sismo de Piedras Negras, 22 de Diciembre de 1990, Fig. I-3). Por causa de este sismo, tres personas

murieron y casi cien personas resultaron heridas. El sismo fue sentido en toda Costa Rica y en el oeste de Panamá.

Pejibaye es una fuente sísmica activada en 1993 en la cual la sismicidad se localiza en un grupo de fallas de rumbo NW. La secuencia sísmica de ese año tiene tres eventos importantes: un precursor, el evento principal (sismo de Pejibaye) y una réplica. Estos sismos sugieren una falla con orientación NW. La magnitud del sismo mayor de la secuencia fue de 5,6 Ms y fue sentido en toda Costa Rica.

Otra importante fuente sísmica en la Cordillera de Talamanca es La Lucha, en donde hay alta sismicidad al norte del pueblo. En 1991 ocurrió un sismo de magnitud 4,7 Ms (sismo de Corralillo) cuyo epicentro fue localizado en esta falla al igual que las réplicas. Por causa de este evento treinta casas fueron dañadas en el área de Cartago.

1.6 CONCLUSIONES

En la parte central de Costa Rica el fallamiento tiene dos orientaciones predominantes: noroeste y noreste. Grandes sismos en el país han reactivado este fallamiento, generando secuencias sísmicas y enjambres. La sismicidad histórica y reciente indica que el fallamiento localizado en los bordes del Valle Central es activo y puede generar eventos sísmicos de magnitudes de hasta 6,5. Estas fuentes sísmicas representan una importante amenaza para las poblaciones del Valle Central.

1.7 REFERENCIAS

Alvarado, G., L. D. Morales, W. Montero, W. Rojas y A. Climent, 1988: Aspectos sismotectónicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica, *Rev. Geol. Am. Central*, (9):75-98.

Arias, O. y P. Denyer. 1991a: Estructura geológica de la región comprendida en las hojas topográficas Abra, Carraigres, Candelaria y Río Grande, Costa Rica. *Rev. Geol. Am. Central*, Vol.12:61-74.

Barquero, R., I. Boschini, A. Climent, M. Fernández, W. Montero y W. Rojas, 1991: La crisis sísmica del golfo de Nicoya y eventos sísmicos relacionados, Costa Rica, 1990. En: Informe Técnico de Red Sismológica Nacional, RSN (ICE-UCR), 163 pp.

Borgia, A., J. Burr, W. Montero, L.D. Morales y G. Alvarado, 1990: Fault propagation folds associated with extensional slumping of the Central Volcanic Range: Implications for large terrestrial and martian edifices. *J. Geophys. Res.*, (95):14357-14382

Boschini, I., 1989: Incidencia de las fuentes sísmicas en la región Caribe de Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica. 97 pp.

Bowin, C., 1976: The Caribbean Gravity Field and Plate Tectonics. *Geol. Soc. America. Special Paper* (169), 79 pp.

- Denyer, P. y O. Arias, 1991: Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *Rev. Geol. Amer.*, (12):1-59.
- Fernández, M., M. Mora y R. Barquero, 1997: Los procesos sísmicos del Volcán Irazú, Costa Rica. Aceptado en *Rev. Geol. Am. Central*.
- Geomatrix Consultants, 1994: Sub-Estudio de la vulnerabilidad sísmica de la conducción: El Llano a Tres Ríos, Provincia de Cartago, Costa Rica. En: Project No. 2656, Geomatrix Consultants, Inc. San Fco., California, USA, 160 pp.
- González, C., 1910: Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica, 1608-1910. En: *Tipografía de Avelino Alsina*, San José, Costa Rica, 200 pp.
- Lonsdale, P. y K. D. Klitgord, 1978: Structure and tectonics of the eastern Panama Basin. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 89(7):981-999.
- Madrigal, R., 1977: Evidencias geomórficas de movimientos tectónicos recientes en el Valle del General. En: *Cienc. Tec.*, (1):97-108.
- Miyamura, S., 1975: Recent crustal movements in Costa Rica disclosed by releveling surveys *Tectonophysics*, (29):191-198.
- Montero W. y M. Fernández, (en prensa): Fallamiento activo y sismicidad al sur de San José. En: Informe para la Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica 1998.
- Montero W. y L.D. Morales, 1984: Sismotectónica y niveles de actividad de microtemblores en el suroeste del Valle Central, Costa Rica. *Rev. Geof. Inst. Panam. Geogr. Hist.*, (21):21-41
- Montero, W. y L.D. Morales, 1988: Zonificación sísmica del Valle Central. En *Memorias 4º Seminario de Ingeniería Estructural*, San José, Costa Rica.
- Montero, W. y G. Alvarado, 1995: El temblor de Patillos del 30 de diciembre de 1952 (Ms 5,9) y el contexto neotectónico de la región del volcán Irazú, Costa Rica. *Rev. Geol. Amer. Central*, (18):25-42.
- Montero, W., P. Denyer, R. Barquero, G. Alvarado, H. Cowan, M. Machette, K. Haller y R. Dart, 1998: Maps and Database of Quaternary faults and folds in Costa Rica and its offshore regions, USGS Openfile Report 98-481. 33p.
- Protti, M., F. Güendel y K. McNally, 1994: The geometry of the Wadati-Benioff zone under southern Central America and its tectonics significance. *Phys. Earth Planetary Int.*, (84):271-287.
- Tristán F., P. Biolley y C. Cots, 1912: The Sarchi Earthquake. Costa Rica. *Bull Seism Soc. Am.*, (2):201-210.

Woodward-Clyde, 1993: A preliminary evaluation of earthquake and volcanic hazard significant to the major population center of the Valley Central, Costa Rica. In: Woodward & Clide Federal Services, one Church Street, Suite 700, Rockville, Maryland 20850, USA, 210 pp.