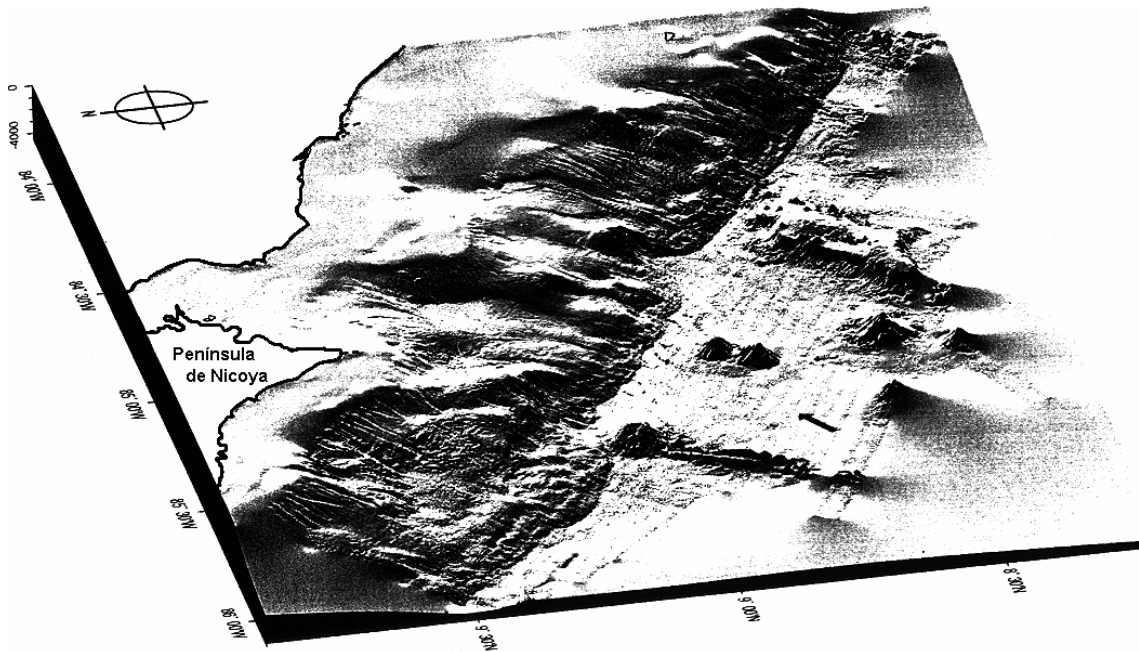


**Instituto Costarricense de Electricidad
Proyectos y Servicios Asociados
Exploración Subterránea**

**Los Temblores de la zona de Quepos de agosto de 1999,
fuente sísmica y características tectónicas**



C.S. Amenaza y Auscultación Sismo-Volcánica

Octubre, 1999

Editores:

**Geól. Rafael Barquero P.
Ing. Alvaro Climent M.**

Colaboraron:

**Wilfredo Rojas
Mario Fernández
Carlos Redondo
Magda Taylor
Walter Montero
Luis A. Madrigal**

**Nota: Los datos sismológicos fueron aportados por la Red Sismológica Nacional
(RSN:ICE-UCR).**

INDICE

	Pág.
Introducción	4
Marco tectónico	4
Sismicidad histórica	5
Sismicidad instrumental	5
Los Sismos de agosto de 1999	7
Registro instrumental de aceleraciones	10
Conclusiones	15
Referencias	16
 Anexo: Publicaciones en periódicos sobre la actividad sísmica de Quepos	

INTRODUCCIÓN

Se presenta en este informe una serie de datos y características regionales y locales relacionadas con la tectónica y sismicidad de la zona del pacífico central de Costa Rica, así como un análisis de las principales fuentes sísmicas del área donde se produjeron los sismos de Quepos en agosto de 1999. Lo anterior le permitirá tener un conocimiento sismológico base, a todos aquellos profesionales de la institución que tengan que ver con el planeamiento y diseño de las obras de proyectos en dicha zona (P.H. Pirrís, P.H. Savegre, etc).

MARCO TECTÓNICO

Costa Rica está ubicada dentro de una zona tectónicamente activa, caracterizada principalmente por el proceso de subducción de la Placa del Coco bajo la Placa Caribe, a lo largo de la Fosa Mesoamericana. A partir de nuevas evidencias geológicas, Astorga et al. (1991) proponen la existencia de un importante sistema de fallas que atraviesa la parte central del país dividiéndolo en dos grandes bloques denominados Bloque Norte y Bloque Sur.

La región al sureste de la península de Nicoya se caracteriza por la presencia de irregularidades batimétricas como la Serranía del Coco que provoca una disminución en la profundidad de la fosa oceánica y un menor ángulo de subducción. En la región sur del país, existe otro rasgo tectónico importante que es la Fractura de Panamá, la cual separa las placas del Coco y Nazca. La condición de borde convergente activo de placas provoca el desarrollo de importantes caracteres geomorfológicos por los esfuerzos compresivos que se originan en la interacción de las placas Coco y Caribe dando lugar a complejos sistemas de fallas, especialmente en el arco magmático conformado por las cordilleras de Guanacaste, Tilarán, Abangares, Miramar, Aguacate, Volcánica Central, Talamanca y la Fila Costeña.

A nivel regional, en el caso específico de Costa Rica, se puede decir que, principalmente, la tectónica está regida por tres grandes sistemas que interactúan entre sí: a) El proceso de subducción de la placa del Coco bajo la Placa Caribe y b) La Zona de Fractura de Panamá y c) El sistema de fallamiento local.

El proceso de subducción

La introducción de la placa del Coco debajo de la Caribe origina una zona de sismicidad que se extiende desde la fosa hacia el interior del país, que se conoce como "zona de Benioff", en la cual se producen los sismos más fuertes que ocurren en Costa Rica, causando daños importantes en las regiones costeras cercanas al epicentro y daños menores hacia el interior del país. Además la actividad entre estas dos placas genera complejos sistemas de fallas hacia el interior del país.

El margen convergente del Pacífico de Costa Rica ha sido dividido, con base en sus características sismológicas y tectónicas en varios segmentos (Morales, 1985). El de la región central que nos interesa, se extiende desde el borde este del Golfo de Nicoya hasta el borde occidental de la península de Osa y ha sido denominado por Montero (1986) como "Zona Sísmica de Quepos" (ZSQ). Este segmento presenta una orientación de esfuerzos compresivos N 30° - 40° E y un ángulo de buzamiento de unos 30 grados en promedio hacia el NE. Los sismos alcanzan profundidades máximas del orden de los 100 km. Además, la subducción de la placa

del Coco bajo la placa Caribe, se ve complicada por la presencia de la "dorsal del Coco" la cual presenta una topografía irregular. El mapa batimétrico (Figura de la portada) muestra numerosos montes y cordilleras submarinas volcánicas cruzando la placa subducida. También se muestran rasgos morfológicos causados por la subducción de los montes como arrugas lineales, áreas en forma de domo levantadas y hundimientos de diferentes dimensiones. Estos rasgos morfológicos interpretados como las huellas del arrastre de los montes marinos en diferentes estados de subducción (von Huene et al., 1995). Para el caso específico de la presente actividad, la misma parece estar asociada con una zona de aspereza provocada por uno de dichos montes submarinos.

SISMICIDAD HISTÓRICA

Hay solamente dos eventos con magnitud mayor o igual a 7,0 relativamente cercanos a la zona de Quepos, uno es el del 3 de marzo de 1882, que por las descripciones macrosísmicas (Montero y Climent, 1990), lo asocian a esta fuente sísmica y generó además daños importantes en el Valle Central y el otro es el del 9 de setiembre de 1952, el cual ha sido asociado a la subducción, en esta zona sísmica. Este último es uno de los terremotos más importantes de la región pacífica central, el cual tuvo una magnitud M_s de 7,0 e intensidad máxima de VII en la parte central interior de Costa Rica (Montero y Climent, 1990), en la zona de Quepos y Parrita el sismo fue violento pero no se reportaron daños materiales serios ni a personas (intensidad VII). El epicentro se ubicó unos 20 km al sur de Quepos.

SISMICIDAD INSTRUMENTAL EN LA ZONA DEL PACÍFICO CENTRAL

La sismicidad registrada por la Red Sismológica Nacional (RSN) en la zona del Pacífico central de Costa Rica es bastante alta, en el cuadro 1 se muestra la estadística tanto de número de sismos por rango de magnitud como por profundidad para el periodo 1984-1997.

Cuadro 1: Sismicidad instrumental (1984-1997)

Magnitud	Sismos superficiales (h < 20 km)	Sismos profundos (h > 20 km)
Menor que 4	2467	3634
4 a 5	55	104
5 a 6	3	8
6 a 7	0	1
mayor que 7	0	0

Durante el período 1984-1997 también se registro una cantidad importante de eventos sísmicos localizados dentro de la región pacífica central, la mayor parte de ellos relacionados con el proceso de subducción; sin embargo, casi todos son eventos de moderada magnitud, tal y como se nota en el listado del Cuadro 2, donde aparecen los eventos de magnitud mayor de este periodo.

Cuadro 2: Parámetros sísmicos instrumentales para la zona del pacífico central.

Fecha	Latitud (grados,Minutos)	Longitud (grados,minutos)	Mag. Md	Prof. (km)	Epicentro	Fuente sísmica
06-03-84	09 25,29	84 02,82	4,7	50	Este de Quepos	Subducción
05-01-85	08 57,33	84 03,62	4,7	39	Sur de Quepos	Subducción
25-09-85	09 02,63	84 02,57	5,2	31	Sur de Dominical	Subducción
02-06-87	09 04,37	83 50,75	5,1	41	Sur de Dominical	Subducción
15-07-87	09 28,07	84 11,50	4,8	37	Norte de Quepos	Subducción
15-07-87	09 29,81	84 10,64	4,7	41	Norte de Quepos	Subducción
15-07-87	09 32,60	84 09,80	5,0	40	Norte de Quepos	Subducción
26-02-89	09 40,13	84 14,29	4,7	26	17 km SW S. Ignacio	Falla local
17-02-90	09 22,02	84 12,29	4,7	21	Sur de Quepos	Subducción
23-07-90	09 20,24	84 47,61	5,1	25	SW de Jacó	Subducción
30-08-90	09 29,06	84 41,01	4,7	30	Sureste de Jacó	Subducción
21-03-91	09 35,59	84 41,42	4,8	10	Sur de Quepos	Subducción
22-07-91	09 03,75	83 51,66	4,8	38	Sur de Dominical	Subducción
03-01-93	08 52,70	84 05,60	5,0	32	57 km SE de Quepos	Subducción
28-12-94	09 30,00	84 27,90	5,1	30	Parrita	Subducción
23-08-95	09 05,25	84 01,20	4,9	32	Suroeste Dominical	Subducción
28-08-96	09 21,80	84 10,80	5,2	21	SW de Quepos	Subducción
04-09-96	09 12,06	84 13,86	5,5	19	SW de Quepos	Subducción
09-01-97	09 11,60	84 02,60	4,8	38	SW de Quepos	Subducción
10-08-99	08 59,00	84 09,00	5,2	25	SE de Quepos	Subducción
20-08-99	08 53,00	83 59,00	5,5	30	SE de Quepos	Subducción

En la región pacífica central la RSN reportó en el periodo 1984-1997 un total de 132 sismos sentidos con magnitudes entre los 3,5 y los 5,5 grados, siendo en forma aproximada el 80 % de ellos asociados con el proceso de subducción.

La zona que presenta una actividad mayor es la ubicada en el sector de Dominical, es más uniforme en el tiempo, y únicamente no se reporta actividad sentida en los años 86 y 89. El área noroeste (Jacó) es la que presenta menor actividad y no es tan uniforme en el tiempo. La actividad en el área central (Quepos-Parrita) aunque no es tan uniforme como la de Dominical en todo el período, se presenta muy activa desde el año 1991. En el año 1990 hay un incremento en la actividad de todas las zonas, relacionado posiblemente con la ocurrencia del terremoto de Cóbano de ese mismo año. En el caso de la zona central también se presenta una actividad importante en el año 1987 y 1996 en la cual el evento principal tuvo una magnitud local de 5,0 y 5,5 respectivamente.

De la estadística de magnitud contra el número de eventos resulta evidente que la región Pacífica Central, es un área bastante activa, con la ocurrencia en promedio de al menos cuatro eventos sísmicos reportados como sentidos por año, y cuyas magnitudes varían entre los 3,5 y 5,5 grados de magnitud. La carencia de grandes temblores, en la zona Quepos-Sierpe, podría obedecer al hecho de que los montes marinos son pequeños y que la corteza está muy fracturada; estos hechos no favorecen la acumulación de grandes esfuerzos que culminen con la ocurrencia de grandes temblores. Por lo tanto se podría esperar que la liberación de energía en este sector del país se de a través de sismos de magnitud moderada .

Como se ha comentado anteriormente, la zona pacífica central presenta sismicidad importante aunque no de magnitudes altas. De especial interés es la actividad del mes de julio de 1987, durante el cual ocurrieron tres eventos sísmicos importantes. El evento principal ocurrió el

día 15 de julio y tuvo una magnitud de 5,0. La intensidad máxima reportada fue de V (MM) en los alrededores de Quepos y Parrita. La solución del mecanismo focal fue de un fallamiento inverso de rumbo NW-SE que concuerda con una ruptura por subducción entre las placas Coco y Caribe. Otra actividad importante se presentó durante el mes de diciembre de 1994. El día 28 de diciembre se registró un temblor de regular magnitud (Md 4,1). Este sismo fue sentido en la región central de Costa Rica con una intensidad de grado IV (MM). Posteriormente, una hora y veinticuatro minutos después, se sintió otro temblor de mayor magnitud (Md 5,1) que fue sentido en la mayor parte del país y el oeste de Panamá, el cual fue localizado cerca de las poblaciones de La Julieta y Parrita. La máxima intensidad fue de VI+ en esta última localidad, en donde fueron reportados algunos daños menores en construcciones. Continuó una actividad de réplicas de las cuales la de mayor magnitud (Md 4,5) se registró a las 22:00:01 (GMT). A finales de agosto y setiembre de 1996 la región del Pacífico Central mantuvo un nivel alto de actividad sísmica. Dos eventos de magnitudes 5,3 y 5,5 fueron registrados y fueron sentidos en casi todo el territorio nacional, ambos eventos fueron localizados a 18 y 19 km al suroeste de Quepos; estos sismos produjeron intensidades máximas de VI (MM) en Quepos y Parrita donde se reportaron daños leves. Posterior a los eventos principales se registraron réplicas de las cuales muy pocas fueron reportados como sentidos.

LOS SISMOS DE AGOSTO DE 1999

Un nuevo periodo de actividad sísmica importante se presentó durante el mes de agosto de 1999 en la zona de Quepos (Fig. 1). Esta secuencia se inició el día 10 de agosto con un fuerte sismo de magnitud Md 5,2 que fue sentido en casi todo el país a las 08:55 am (T.L.), su epicentro se ubicó 25 km al sur de Quepos a una profundidad de 18 km. Las intensidades máximas estimadas fueron de V en Quepos y Parrita, en el Valle Central fue de IV (Fig. 2A). Este sismo fue seguido de algunas pocas réplicas y después decayó la actividad. El día viernes 20 de agosto, a las 04:02 am, un nuevo sismo de mayor magnitud (Md 5,5) se produjo en la misma zona de Quepos, este evento tuvo una magnitud de 6,5 calculada con base en el método del “momento sísmico” con las estaciones de banda ancha de la Red Sísmica Centroamericana (CASC) que recientemente entró en operación en la Universidad de Costa Rica. La profundidad fue de 30 km y fue sentido muy fuerte en casi todo el país. En Quepos y Parrita produjo la caída de gran cantidad de objetos de estantes y mesas y algunos agrietamientos en el repello del hospital de Quepos. En el Valle Central se produjeron muchas averías en el sistema eléctrico y telefónico. La intensidad máxima estimada es de VI para Quepos y de IV a V para el Valle Central y Pérez Zeledón, en Turrialba, Limón y Tilarán, fue de III (Fig. 2B).

Mecanismo focal

De la red mundial (National Earthquake Information Center, USGS) se obtuvo el mecanismo focal para el evento más importante, la solución muestra un fallamiento de tipo inverso (Fig. 1A). El plano de falla seleccionado tiene un azimuth de 123° con buzamiento de 70°. El eje de presión se orientan hacia el NE (azimuth de 213°) coincidiendo con la orientación de la subducción del placa de Cocos bajo la Caribe.

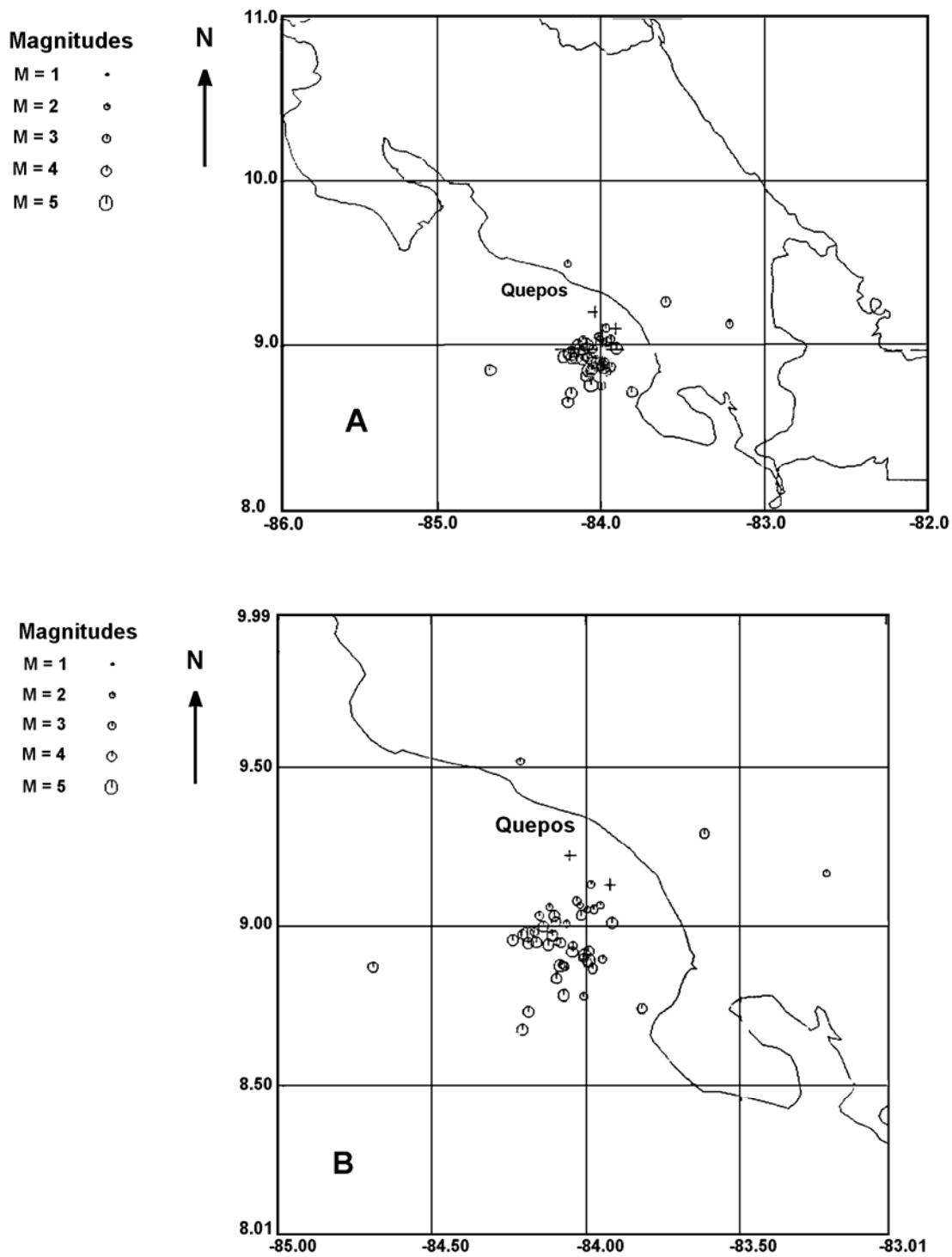
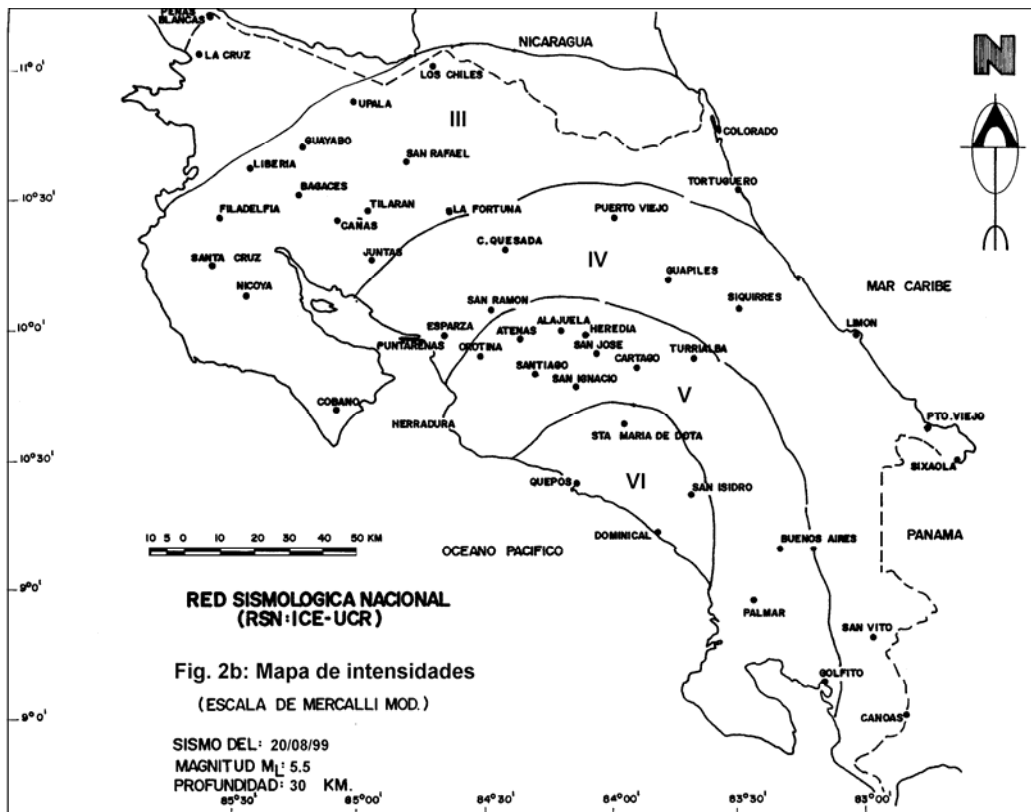
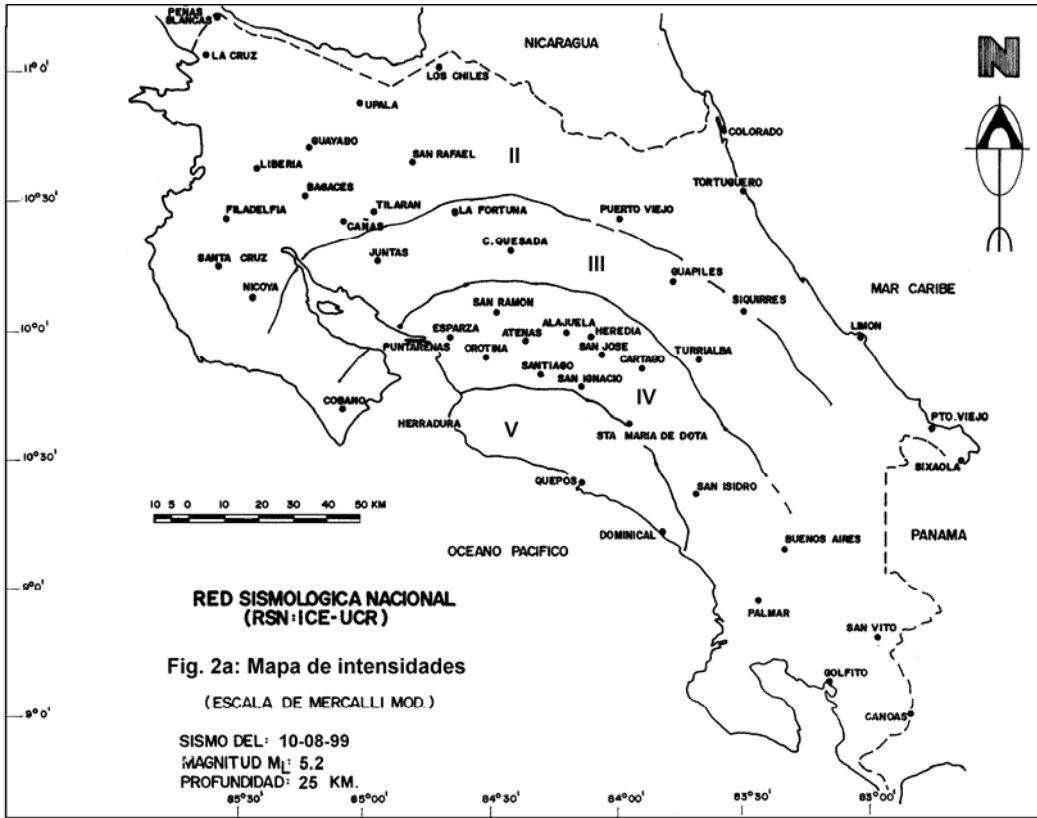


Figura 1a y b: Actividad sísmica de agosto de 1999 en la zona de Quepos.



REGISTRO INSTRUMENTAL DE ACELERACIONES

La zona central y pacífico central se ha visto expuesta a la ocurrencia de diferentes eventos sísmicos de los cuales se dispone de registro instrumental, de especial interés, desde el punto de vista ingenieril, lo representan los registros o acelerogramas obtenidos durante la actividad sísmica que se inició con el terremoto de Cóbano del 25 de marzo de 1990, fecha a partir de la cual el país sufre la ocurrencia de una serie de eventos de magnitud importante, que en algunos casos generaron aceleraciones superiores al 50 % de la aceleración de la gravedad.

En el Cuadro 3 se presenta el dato de aceleración de los eventos principales a nivel nacional ocurridos durante ese período, este dato referido a la estación donde se registro el valor mayor. En general estas estaciones están ubicadas sobre suelos que han sido clasificados como blandos, menos el de la presa San Miguel, que es un registro obtenido en roca.

Cuadro 3: Registros de aceleraciones en la zona central de Costa Rica

Sismo	Mw	Dist (km)	Aceleración (% g)	Estación
25-03-90 Cóbano	7,3	40	25,6	Hosp. Puntarenas/UCR
22-12-90 Piedras Negras	6,0	5	50,0	P. San Miguel/ICE
22-04-91 Limón- Telire*	7,6	61	77,0	P.H. Siquirres/ICE
07-03-92 Naranjo	6,6	25	15,7	San Ramón/UCR
10-07-93 Pejibaye	5,8	17	15,7	Cartago/UCR

/* Debido a la importancia del registro se incluye en este Cuadro

De acuerdo a los datos presentados en el Cuadro 3, se observa que niveles altos de aceleración horizontal pico se han experimentado en Costa Rica, registros que han hecho comprender que aceleraciones altas pueden presentarse, ya sea, por la alta magnitud del evento o por la cercanía del sitio al epicentro del mismo, aunque este tenga una magnitud moderada.

Los sismos de Cóbano, Piedras Negras y Limón han producido los registros y aceleraciones más importantes hasta el momento en el país. Sin embargo, en los últimos años la región Pacífica Central ha presentado actividad sísmica importante, aunque de magnitudes menores y niveles de aceleración bajos, en comparación con los registrados a nivel nacional en otros sitios.

En el Cuadro 4 se presentan los valores de aceleración horizontal pico registrados por instrumentos localizados en la zona de Quepos o alrededores, como es el caso del equipo que estuvo operando en el P.H. Savegre y que por problemas de vandalismo debió ser retirado.

Cuadro 4: Registro de aceleraciones en Quepos y Savegre

Sismo	M _d	M _w	Dist. (km)	Aceleración (% g)	Traza	Estación
25-03-90 Cóbano		7,3	110 90	1,3 7,0	N-S E-W	Savegre/ICE Quepos/UCR
22-04-91 Limón-Telire		7,6	119	4,0	N-S	Quepos/UCR
07-03-92 Naranjo		6,6	75 70	2,1 4,0	N-S E-W	Savegre/ICE Quepos/UCR
10-07-93 Pejibaye		5,8	60	21,0	N-S	Quepos/UCR
28-12-94 Parrita	5,1		42 24	3,4 5,4	N-S E-W	Savegre/ICE Quepos/UCR
28-08-96 Quepos	5,3		26 11	13,7		Savegre/ICE Quepos/UCR
04-09-96	5,5		40 27	12,2	E-W	Savegre/ICE Quepos/UCR
10-08-99 Quepos	5,2		18	15,0	E-W	Quepos/UCR
20-08-99 Quepos	5,5	6,5	28	15,0	E-W	Estac. Terr. Guatuso, ICE

/ Magnitud local obtenida por la RSN

En relación a los eventos ocurridos en el mes de agosto, el sismo del día 10 activó los acelerógrafos ICE instalados en el P.H. Pirrís (APPI), Estación La Lucha (ALCR) y Estación Terrena Guatuso (AETG), y el del día 20 de agosto, además de los anteriores, los ubicados en el P.H. Angostura (APAN) y la presa San Miguel (APSM). De estas estaciones AETG cuenta con registro de tipo digital y el resto es del tipo analógico.

En la Fig. 3 se presentan las trazas de aceleración analógicas obtenidas durante el evento del día 10, y en la Fig 4 un mapa de la distribución de estaciones con sus respectivos valores de aceleración pico, en porcentaje del la aceleración de la gravedad (g). Para tener un escenario completo del registro de aceleraciones en la región central del país, se incluyen los valores de aceleración pico registradas por algunos de los instrumentos del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la UCR.

En la Fig. 5 se presentan los acelerogramas analógicos registrados durante el evento del 20 de agosto y en la Fig. 6 la señal digital obtenida en la Estación Terrena Guatuso. En la Fig. 7 la ubicación de las estaciones que registraron y el valor de aceleración horizontal máximo.

De los registros del evento del 10 de agosto se puede notar que cerca del área epicentral se obtuvieron aceleraciones cercanas al 15 % de la aceleración de la gravedad (g) y a como nos desplazamos al interior del país la señal sísmica se atenúa en forma rápida, con valores en San José cercanos al 5 % g. En el caso específico de la Estación Terrena Guatuso, que presenta una condición local de suelo blando, el valor de aceleración fue del 10 % g debido a la amplificación de sitio. En el caso de ALCR y APPI que se encuentran ubicados en roca los valores son pequeños de 1,8 % y 2,4 % g respectivamente.

De los acelerogramas del evento del 20 de agosto y valores máximos de aceleración registrados, notamos que en la Estación Terrena Guatuso se repite el fenómeno de amplificación y se registra el valor alto (relativo a los otros registrados) de aceleración, que fue del 15 % g. En el caso de ALCR y APPI que se encuentran ubicados en roca, los valores son pequeños 3,46 % y 3,13 % g respectivamente, para la magnitud que presenta el evento. Igualmente en el sitio donde se encuentra en construcción el proyecto Angostura y la presa San Miguel los valores de aceleración son bastante bajos.

De la distribución de valores de aceleración pico mostrada en las Figs. 4 y 7, se nota claramente el efecto de sitio en los valores registrados, dándose el hecho que a distancias similares se tienen valores diferentes, o que a distancias menores del epicentro tengamos valores menores que a distancia mayores del mismo. Las características del sitio (suelo firme, menos firme o roca, etc.) donde se encuentra ubicado el instrumento de medición, es en gran parte el responsable de dicho fenómeno. Lo que si queda claro es que estos eventos generaron registros de aceleración relativamente bajos en el Valle Central en sitios localizados en suelo firme.

CONCLUSIONES

La secuencia sísmica registrada durante el mes de agosto de 1999 en Quepos es normal para dicha zona ya que se ha registrado actividad similar en los años anteriores.

La actividad sísmica en la región del pacífico central de Costa Rica es bastante importante. Esta se asocia principalmente al proceso de subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe, proceso que en esta región se hace más complejo por la presencia de promontorios submarinos, pero a la vez, estas irregularidades no permiten un mejor acople en la zona de contacto de las dos placas que interactúan y entonces es posible que la acumulación de esfuerzos sea menor que para la región NW del país (región de Guanacaste).

La sismicidad recopilada, dentro de un radio de 50 km de Quepos, muestra una importante cantidad de sismos de magnitudes moderada, gran parte de los cuales se originaron en el proceso de subducción.

Con base en los sismos históricos y recientes, el sismo máximo probable para el proceso de subducción, es un evento de magnitud Ms de grado 7,0. Las intensidades mayores probables para la zona de los proyectos Pirrís y Savegre son del orden de VII (MM). Con esta intensidad se esperaría una sacudida fuerte del suelo, que puede originar deslizamientos en zonas inestables y de alto gradiente.

De los registros acelerográficos obtenidos, se puede concluir que los niveles de aceleración en el Valle Central, en sitios denominados como suelos firmes o roca, son relativamente bajos para eventos sísmicos ocurriendo en la parte pacífica central del país y con magnitudes intermedias, inclusive de hasta 6,5. En aquellos sitios definidos como suelos suaves se nota claramente el efecto de amplificación, el cual debe ser un elemento importante a considerar desde el punto de vista de daños, dada la ocurrencia de eventos futuros con magnitudes mayores a los analizados en este informe.

REFERENCIAS

Astorga, A., Fernández, J.A., Barboza, G., Campos, L., Obando, J., Aguilar, A. y Obando, L. G., 1991: Cuencas Sedimentarias de Costa Rica: Evolución geodinámica y potencial de hidrocarburo. *Rev. Geol. Amér. Central*, 13: 25-59.

Montero, W., 1986: Períodos de recurrencia y tipos de secuencias sísmicas de los temblores interplaca e intraplaca en la región de Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central*, 5:35-72.

Montero, W.; Climent, A.; 1990: Los terremotos de Grecia de 1882 y de Quepos de 1952, Costa Rica, distribución de intensidades y origen tectónico. *Ciencia y Tecnología*, 14(1-2):81-105. San José, Costa Rica.

Morales, L.D., 1985: Las zonas sísmicas de Costa Rica y alrededores. *Rev. Geol. Amér. Central*, 3:69-101.

Red Sismológica Nacional (RSN:ICE-UCR); 1984-1997: Boletín Sismológico de Costa Rica.

von Huene, R. *et al.* 1995: Morphotectonics of the Pacific convergent margin of Costa Rica, in *Geologic and Tectonic Development of the Caribbean Plate Boundary in Southern Central America*, edit. by P. Mann, *Spec. Pap., Geol. Soc. Am.*, 295, 291-308.