EL SISMO DE LIMON-CHANGUINOLA (COSTA RICA Y PANAMA)

DEL 22 de ABRIL DE 1991

INFORME PRELIMINAR DE MISION

J.P. SOULAS
Junio de 1991

CONTENIDO DEL INFORME

1- GENERALIDADES SOBRE EL EVENTO. p.1

2- OBJETO Y ORGANIZACION DE LA MISION p.2

3- EL EVENTO SISMICO. p.2

3-1 Contexto sismotectónico y sismicidad histórica p.2
3-2 Principales características mecánicas. p.3
3-3 Acelerogramas. p.5
3-4 Levantamiento costero y tsunami. p.6
3-5 Consecuencias sobre la actividad vulcanológica. p.7

4- COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS. p.7

4-1 Amplificación. p.7
4-2 Licuefacción. p.7
4-3 Fenómenos gravitacionales. p.8

5- RECOMENDACIONES. p.9

6- BIBLIOGRAFIA. p.11

ANEXO-CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES. p.13

FIGURAS.

Fig.1 Mapa de intensidades.
Fig.2 Contexto sismotectónico y ruptura del sismo
Fig.3.Mecanismo focal preliminar.
Fig.4 Acelerograma del P.H.Siquirres
Fig.5 Acelerograma de la estación San Isidro.
Fig.6 Licuefacción deslizamientos y levantamiento costero.

EL SISMO DE LIMON - CHANGUINOLA (COSTA RICA Y PANAMA)

DEL 22 DE ABRIL DE 1991

INFORME PRELIMINAR DE MISION

1. GENERALIDADES SOBRE EL EVENTO

El día 22 de Abril del presente año, a las 15 horas 56 minutos (hora local, 21:56 GMT), el piedemonte caribeño de la Cordillera de Talamanca registró un fuerte sismo, de magnitud 7,4 Ms (según U.S.Geological Survey). Las coordenadas del epicentro fueron determinadas preliminarmente por la Red Sismológica Nacional (ICE-UCR) en 09° 36,88' de latitud Norte y 83° 09,48' de longitud Oeste, con una profundidad focal de 16,6 kilómetros. Estas coordenadas fueron recalculadas luego en 09°36,60'N y 83° 10,20'W, por la misma entidad.

El evento fue percibido desde Tegucigalpa (Honduras), hasta Ciudad de Panamá ; fue destructivo entre 9° 15' y 10° 15' de latitud Norte, esencialmente en la planicie ubicada entre el pie de la Cordillera y el mar Caribe, y en las depresiones intra-montañosas del Valle de la Estrella y del Valle de Talamanca. Esta repartición de las destrucciones se debe a que los relieves no han sido colonizados, fuera de muy escasos asentamientos indígenas. La intensidad máxima alcanzó nueve en la escala Mercalli modificada (ver fig.1), en zonas distribuidas entre el Oeste de Limón (Costa Rica) y la zona de Changuinola (Panamá).

Los daños fueron principalmente en viviendas individuales, muchas de las cuales han sufrido a distintos niveles, hasta destrucción parcial o total. Las instalaciones bananeras fueron también muy afectadas (numerosas vías férreas locales, viviendas de las compañías y el edificio sede de la Chiriqui Land Company, en Changuinola), y las vías de transporte. La carretera principal Siquirres-Limón-Cahuita ha sido parcialmente destruida en numerosos sectores, con 16 puentes diversamente afectados, 5 de los cuales parcial o totalmente colapsados. Los rieles de las vías férreas principales fueron frecuentemente desplazados o torcidos ; más de 3 puentes de ferrocarril fueron dañados y uno destruido.

Hubo también ruptura de acueductos y de líneas eléctricas. Algunos de los pocos edificios de concreto armado construidos en la región fueron afectados, con un caso de colapso parcial y uno de colapso total en Limón. Los efectos en las pocas instalaciones industriales, todas ubicadas en las vecindades de Limón, fueron relativamente limitados (RECOPE, ICE, muelles del puerto).

Los extensos deslizamientos ocurridos en las faldas montañosas produjeron principalmente un daño de tipo ambiental desaparición de la selva), y los ríos que represaron temporalmente dieron unas crecidas limitadas.

Finalmente el pequeño tsunami que acompaño al sismo no tuvo consecuencias trágicas.

En resumen, según las distintas fuentes y sus inevitables diferencias de conceptos, las pérdidas en Costa Rica fueron de 58 muertos; 500 a 3,000 heridos; 5,000 a 10,000 damnificados; y las pérdidad directas estimadas entre 100 y 400 millones de dólares.

En Panamá : 25 muertos ; 280 a 450 heridos ; 5,000 damnificados con 1,700 casas parcialmente o totalmente destruidas. Las pérdidas directas se estiman de 70 a 100 millones de dólares.

Frente a este desastre el Gobierno nicaraguense y las Naciones Unidas, entre otros, enviaron ayuda a Costa Rica, y en particular el helicóptero que se utilizó en el transcurso de la presente misión. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) mando un equipo de sismólogos, que desplegaron una red portátil de sismógrafos, para completar la cobertura de la red nacional de Costa Rica, muy deficiente en esta región.

2. OBJETO Y ORGANIZACION DE LA MISION

Esta misión se origina en el pedido de una evaluación sismotectónica preliminar del evento principal, de sus réplicas y de sus consecuencias, transmitido por el Gobierno Costarricense al Ministerio de Relaciones Exteriores de Francia, el cual aprobó la petición, incluyéndose la región de Changuinola (Panamá) en el área de estudio.

El Ministerio anteriormente referido tomo a su cargo los gastos de viáticos y de viajes, la organización material de la actividad de campo estuvo a cargo del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en Costa Rica, y de la Oficina regional del Ministerio de Obras Públicas, en Panamá. Por otra parte esta experticia no contemplo pagos de honorarios, quedando el tiempo dedicado por el experto a cargo del mismo.

La presente misión se llevó a cabo del domingo 26 de Mayo al lunes 10 de junio, según cronograma de actividad anexo. Los trabajos de campo, en los cuales participaron A. López (geólogo ICE) y A.Vergara (sismólogo panameño), tuvieron lugar del miércoles 29 de Mayo al martes 4 de Junio, ambos inclusive.

3- EL EVENTO SISMICO

3-1 Contexto sismotectónico y sismicidad histórica.

En Costa Rica, la vertiente caribeña ha sido siempre considerada de baja actividad sísmica, y por consecuencia de poco riesgo, tanto por los sismólogos, como a nivel de códigos de construcción, siendo la subducción de la placa de Cocos la principal fuente de grandes sismos en este país. De hecho, el único evento histórico notable comprobado fue el de Limón (07-01=1953), de magnitud 5,5 según Rothé (1969), con epicentro instrumental mal determinado, y con epicentro macrosísmico ubicado algunos kilómetros al N.E. de limón,

por I.M.Boschini (1989). La intensidad epicentral fue de 7 en la escala de Mercalli modificada, en un área limitada a la ciudad y sus alrededores, sin pérdidas humanas.

El desarrollo histórico de la zona caribeña es relativamente reciente, empezó por lo esencial en el siglo pasado ; la actividad sísmica reportada en Matina, la zona de colonización más antigua, en Mayo de 1746 y el 21-02-1798 (W. Montero in I.M. Boschini, 1989), puede interpretarse sea como sismicidad local, sea más probablemente como amplificación de sismos distantes (cf. más adelante el subcapítulo dedicado a este fenómeno).

La ausencia de grandes sismos en esta región de Costa Rica, en la corta ventana del tiempo histórico, no es significativa en términos de riesgo sísmico. De hecho, J.P. Soulas (1989) indica la presencia de un sistema de fallas activas de gran extensión, inversas, de bajo ángulo, ubicadas a lo largo del piedemonte caribeño de la Cordillera de Talamanca, en prolongación del cinturón deformado del Norte de Panamá (ver fig.2). Este sistema presenta distintos segmentos capaces de generar sismos de magnitud superior a 7 Ms. Para el tramo de Siquirres, el cual no falló en el presente evento, el mismo autor determinó un sismo máximo probable de 6,5 a 7 Ms, con 3000 a 5000 años de retorno.

En tierra, las fallas más activas del sistema se ubican al pie de la cordillera, separando sus primeros relieves de la planicie aluvial y deltaica subsidente. Se propagan hacia afuera de la cordillera por fallas subhorizontales. Algunas de éstas son probablemente ciegas, otras tienden a pararse en su extremidad, y a desembocar.en la superficie Tal es el caso en el fondo submarino del Mar Caribe (fig.2), a una distancia de la línea de costa de 10 a 15 km, desde el promontorio de Limón hacia el Sureste (A. Astorga et al.).

Estas fallas frontales submarinas se unen hacia el Sureste con las fallas frontales del cinturón deformado del Norte de Panamá (C.L.Bowland and E. Rosencrantz, 1988).

Tales accidentes fueron con toda probabilidad reponsables del terremoto de Bocas del Toro, de magnitud 7,3 (B.Gutemberg and C.F. Richter, 1954). Este sismo azotó la provincia panameña contigua a Costa Rica, el 26-04-1916, con características muy similares al evento del pasado 22 de Abril : magnitud parecida, fuerte componente vertical del movimiento y deformación del fondo submarino cerca de la costa, puesto que también hubo un ligero tsunami.

3-2. Principales características mecánicas.

Las coordenadas recalculadas del epicentro son 09° 36,60' de latitud Norte, con 83° 10,20' de longitud Oeste, y la profundidad focal del orden de 20 kilómetros (Red Sismológica Nacional). En el mecanismo focal preliminar

establecido por la misma entidad (fig.3), el plano de falla presenta un rumbo N117, y un buzamiento de 59° hacia el Suroeste . Es inverso, con una notable componente horizontal siniestral.

Este mecanismo será probablemente modificado en el futuro, en efecto no coincide con otras fuentes de datos (Harward, en particular), y la componente siniestral contradice la que se podría esperar de la orientación del esfuerzo máximo horizontal (fig.2), determinado por W.K. Montero y L.D. Morales (1990).

Uno de los principales objetivos de la presente misión era determinar la posición de la traza superficial de la falla sismogénica. Para tal efecto recogimos los accidentes candidatos, tanto por tierra, como por helicóptero, llegando a la conclusión que no presentan ninguna evidencia de ruptura fresca. Por lo tanto, el accidente puede no haber alcanzado la superficie, o encontrarse mar adentro, y coincidir con una de las fallas reconocidas por geofísica, del artículo de A. Astorga et al. (cf.fig.2). Es obviamente esa segunda solución la mejor, por :

- la existencia de un levantamiento costero homogéneo entre Limón y la frontera panameña, coincidente con la extensión del sistema de accidentes costa afuera (ver descripción en adelante) ;
- la ocurrencia de un pequeño tsunami (también descrito en otro capítulo).

La distancia horizontal entre dichas fallas submarinas y el epicentro, junto con la profundidad del foco, permiten estimar en aproximadamente 25 grados el buzamiento promedio del accidente sismogénico. Sin embargo, la integración de los datos tectónicos disponibles, así como la observación de que los accidentes submarinos se horizontalizan con la profundidad (cf. A. Astorga et al.), permiten deducir que el accidente presenta, en perfil, rampas de buzamiento superior a 25 grados, separadas por planos menos inclinados.

La coincidencia del foco con una de estas rampas es mecánicamente probable, por lo cual no sería extraño obtener mecanismos focales con planos de más de 25 grados de buzamiento, tal como sucede en la figura 3.

Otras conclusiones sobre el accidente pueden obtenerse del análisis de las réplicas. Estas son muy numerosas ; para el día 3 de Mayo, sobrepasaban la cifra de 1,000, de magnitud superior o igual a 3. Según informe de la Red Sismológica Nacional de Costa Rica, el mismo día del terremoto hubo 5 réplicas de magnitud superior a 5, seguidas por otras 2, los días 24 y 26 de Abril, y de nuevo 2 en Mayo, el 3 y el 27. La réplica del 3 de Mayo, de magnitud 5,4, cercana a Changuinola, fue responsable de la mayoría de los fenómenos de licuefacción en Panamá, según A. Vergara.

Los epicentros de réplicas de los primeros días, que indican la ruptura inicial, se agrupan mayormente en un área de 30 a 35 km. de ancho, por unos 80 km. de largo (fig.2). Esta máxima extensión horizontal coincide con la de la costa levantada, correspondiendo el limite Norte de las réplicas con el final del levantamiento costero homogéneo y el principio de su decrecimiento al Norte de Limon ,y ademas con la extremidad del sistema de fallas costafuera estudiadas por A.Astorga et al. Prácticamente ninguno de los epicentros reportados por la Red Sismológica Nacional de Costa Rica se ubica en el mar, es decir al Este del accidente más frontal observable en tierra, y de la rampa que le corresponde probablemente en profundidad. Por lo tanto, la prolongación costa afuera de la ruptura fue probablemente asísmica, lo cual es muy factible, dado que en este sector la falla es en gran parte subhorizontal y relativamente superficial.

Esta extensión de las réplicas, junto con el ángulo promedio de 25 grados del plano, permiten evaluar la superficie de ruptura frágil en 2,800 km² aproximadamente, lo cual está en excelente acuerdo con la magnitud del evento.

Conforme va pasando el tiempo, la manchas de réplicas tiende a extenderse hacia el Sureste y el Noroeste. En esta última dirección, es de esperar al Oeste de Limón réplicas que presenten mecanismos inversos, con planos básicamente orientados Este-Oeste.

Finalmente es de notar que la ruptura se propagó bilateralmente (siendo el epicentro aproximadamente equidistante de sus extremos, fig.2) ,y también a través de múltiples subeventos, tal como lo vamos a ver en el siguiente subcapítulo.

3-3. Acelerogramas.

El sismo disparó por lo menos 18 acelerógrafos, tanto en la red de la Universidad de Costa Rica (13 registros en el informe del Laboratorio de Ingeniería Sísmica), como en aquella del Instituto Costarricense de Electricidad (5 registros del evento principal y 2 de una réplica, en A. Climent ; 1991). Sin embargo, ninguno de estos aparatos se encontraba en la zona epicentral, la cual no fue instrumentada por considerarse de baja actividad sísmica, tal como lo apuntamos anteriormente. Por lo tanto no existen registros de campo cercano.

Según A.Climent (1991), el acelerógrafo más cercano, el del P.H. Siquirres (ICE), distante de unos 60 kilómetros, presentó una aceleración horizontal pico de 0,76g., y 7 segundos de aceleraciones superiores a 0,30 g. (fig.4). El aparato se encontraba sentado en un material blando con gravas de relleno, por lo cual el autor considera que la aceleración pico en roca fue solamente del orden de 0,20 a 0,30 g.

La estación San Isidro de la Universidad, distante del foco de unos 75 km., ubicada en suelo firme, presento una aceleración máxima de 0,20g. (Laboratorio de Ingeniería

Sísmica, 1991). Este acelerograma (fig.5) registró por lo menos 4 eventos sucesivos en la propagación de la ruptura a lo largo de la falla, los cuales corresponden probablemente con complicaciones estructurales, como por ejemplo las rampas señaladas en el subcapítulo anterior.

La estación Puriscal, la más lejana en terreno firme, a 140 km del foco, indica una aceleración máxima de 0,09g.

3-4. Levantamiento costero y tsunami.

El levantamiento de la costa es evidente, por la emersión de las plataformas coralinas presentes en las zonas de Limón, de Punta Cahuita y entre Puerto Viejo y Punta La Mona (fig.6). Tales arrecifes, con sus restos de naufragios, ofrecen además excelentes puntos de medición del levantamiento. Al Norte de Limón, al igual que entre esta ciudad y Cahuita, la playa también ha sido levantada, pero su poca inclinación dificulta las mediciones, y el antiguo nivel del mar es más delicado de establecer en la arena (aunque localmente se consiguen todavía buenas referencias).

Según todos los testigos oculares fiables (pescadores), el levantamiento fue sincrónico al sismo, retirándose el mar en algunos segundos (?) para ciertos de los presentes, y en pocos minutos para la mayoría de los demás. Todos concuerdan en que no hubo levantamiento presísmico.

El levantamiento luce más homogéneo de lo que dejan suponer mediciones preliminares en la zona de Limón , donde es del orden de 1 metro, observado en 5 puntos entre Punta Piuta y el puerto de Moín. Decrece muy rápidamente en 2 km, entre este puerto y Seis Millas (BM3), donde el levantamiento es de aproximadamente 50 cm. ; luego sigue decreciendo lentamente hacia el Noroeste.

Hacia el Sureste de Limón , el levantamiento está bien marcado en la playa Bananito y en Cahuita (de 80 a 90 cm., según los observadores). En Puerto Viejo, 50 km al Sureste de Limón, el levantamiento es del orden de 80 cm.

Por otra parte, existe una gran coincidencia entre todos los pescadores interrogados, tanto en Limón como en Puerto Viejo, sobre los movimientos del mar inmediatamente después del sismo, interpretándose estos como de un modesto tsunami. Todos concuerdan en que , segundos o minutos después del sismo, el mar se encontraba retirado netamente más allá de su posición final (actual), es decir más abajo en cuanto a nivel (2 a 4 metros para algunos). Luego el mar volvió, subiéndo más allá de su nivel anterior (pre-levantamiento), o sea 1 a 2 metros por encima de su nivel actual (post-levantamiento). De nuevo se retiró el mar, pero menos, y volvió a subir (menos también). Se produjeron así por lo menos 3 vaivenes y hasta 4 ó 5 para algunos de los testigos, cada vez más amortiguados. Todos coinciden en que la duración total del tren de "olas" fue del orden de un cuarto de hora.

Recuerdan además en Puerto Viejo, una fuerte corriente hacia el Sureste, totalmente inhabitual.

3-5. Consecuencias sobre la actividad vulcanológica.

Es de señalar, a consecuencia del sismo, el aparente despertar del volcán Irazú, el cual se ubica al Oeste del extremo Norte de la ruptura, no muy lejos de la zona de concentración de esfuerzos correspondiente.

En los días posteriores al sismo la Red Sismológica Nacional registra solamente 2 sismos sentidos el 24 de Abril. Pero la actividad se incrementa fuertemente después, reportándose 1.394 sismos en el volcán, desde el 27 hasta el 31 de Mayo (!), sin otras manifestaciones volcánicas por el momento (M.Fernández y R. Barquero, 1991).

4- COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS

4-1. Amplificación.

Los depósitos aluviales y deltaicos de la planicie subsidente, ubicada entre el pie de la Cordillera de Talamanca y el mar Caribe, son esencialmente limosos y/o arenosos de poca cohesión, por lo que se puede apreciar en superficie. Muchos de estos sedimentos son de crecidas subactuales de los ríos, los cuales han sido encauzados recientemente para permitir el desarrollo de los bananales. Condiciones similares se presentan en la depresión intramontañosa del valle de La Estrella y en parte de la depresión del valle de Talamanca.

La casa individual clásica en estas zonas es de madera, montada sobre pilotes, por lo general también de madera, casi sin unión entre el piso de la casa y los pilotes (a menudo con sólo uno o dos cortos clavos por pilote). Muchas de estas casas se han caído de sus pilotes, de una forma que permite suponer una aceleración superior a 1 g., y por lo tanto amplificación de la señal sísmica.

Estos casos de amplificación parecen además históricamente recurrentes, siendo los sismos del borde Pacífico por lo general más fuertemente sentidos en el litoral caribe que en la vertiente occidental de la cordillera. Se dió este caso tanto en Costa Rica como en Panamá en 1904, con un sismo de magnitud 7,2 Ms en la zona de Osa (V. de Pinilla y J. Toral, 1987 ; I. Boschini, 1989). Sucedió lo mismo en 1822, cuando un sismo de epicentro mal determinado, pero lejano, produjo licuefacción en todo el valle de Matina (W. Montero, 1986). Se produjeron también amplificaciones en Bocas del Toro (Panamá) ,con sismos distantes ocurridos en 1905, 1910 y 1934, según V. de Pinilla y J. Toral (1987).

4-2. Licuefacción

La licuefacción ha sido tan común en los sedimentos de la planicie caribeña descritos en el subcapítulo anterior (fig.6), que se puede considerar que fue casi un fenómeno

generalizado, desde el Oeste de Matina (Costa Rica), hasta la región de Bocas del Toro (Panamá). Sin embargo su intensidad no fue homogénea, siendo el fenómeno, y por ende los daños asociados, mucho más fuerte en el borde del mar y en las vegas de los ríos de todos tamaños, así como de sus numerosos brazos abandonados.

A lo largo de los ríos, en una franja de anchura variable entre decenas de metros y un kilómetro (y a veces más), la eyección del material subyacente se asoció con fracturas abiertas, desniveladas con saltos variables hasta de 1 metro, o con rupturas listricas. Tales hundimientos se produjeron también cerca del mar (Bocas del Toro).

En la zona de Matina, como también en la de Changuinola, los niveles licuables fueron de arena y también, en menor proporción de limos, llegando muchas veces a la superficie por orificios distintos, en una misma zona afectada.

Fuera de la ciudad de Limón y de sus alrededores, ubicados sobre depósitos coralinos levantados, la mayoría de los daños ocurridos se asocian directa o indirectamente con la licuefacción. Tal es el caso, por ejemplo a lo largo de la carretera Siquirres-Limón-Cahuita, y en particular a nivel de los puentes.

4-3 Fenómenos gravitacionales

Deslizamientos aislados se han producido en varios lugares, y en particular en algunos flancos empinados en sitios de encajonamiento de ciertos ríos. Pero, lo que verdaderamente impacta es la franja de desmoronamiento generalizado, ubicada entre el cañón del río Chirripo y los alrededores de la cuenca alta del río Banano (fig.6). La mayoría de los fenómenos gravitacionales ahí presentes no son deslizamientos rotacionales, sino desprendimientos de la capa de alteración superficial, y caídas de bloques.

Esta franja corresponde a un muy fuerte desnivel en la cordillera, producido por una de las fallas inversas del sistema piemontino (fig.2), que determinó probablemente el frente montañoso en alguna época de la historia tectónica de dicha cordillera, y que se encuentra ahora internado en ella, por la progresión hacia el Noreste de las fallas frontales.

En sí, este fuerte desnivel no puede explicar la magnitud del fenómeno, ya que relieves tan importantes como este existen en otras partes, y más cerca del epicentro, sin haber producido tales desprendimientos. Una posible explicación sería la ocurrencia, en la rampa ubicada en el accidente principal por debajo de esta zona, de uno de los múltiples eventos registrados por los acelerógrafos (cf. subcapítulo 3 3).

5- RECOMENDACIONES

El carácter multidisciplinario de la prevención parasísmica, en la cual se enmarcan las presentes recomendaciones, hace éstas obviamente muy parciales.

En éste marco, es fundamental mejorar los conocimientos regionales, buscando la mayor cantidad posible de información, analizando en todos sus aspectos los hechos ocurridos, y también preservando la experiencia adquirida. Naturalmente, éste rescate de conocimientos ha de ser amplio, sistemático, y cooperativo entre costarricenses y panameños Debe llevarse a cabo rapidamente, antes de que desaparezcan las evidencias. Necesita, por lo tanto, de una organización y planificación de las labores de campo, de equipos pluridisciplinarios, así como de una voluntad editorial que ponga a disposición de todos, y transmita para el futuro, las observaciones y conclusiones logradas.

Se debe empezar una encuesta postsísmica que recoja todos los testimonios oculares fiables, o sea rigurosamente escogidos, eliminando no lo que parece inexplicable, pero si las opiniones poco objetivas. De no existir en Costa Rica o en Panamá formularios preestablecidos para dicha encuesta, inspirarse de los de otros países, adaptandolos al caso, y en particular a la descripción del tsunami

Para evitar, en el futuro, la repetición de errores, se deben describir y analizar los daños en:

- edificios, como por ejemplo el Hotel Internacional de Limón, cuyo colapso debería ser reconstituido;
- casas individuales, escojiendo casos típicos, en particular entre las casas de madera sobre pilotes, con fines de proponer mejoras en los procedimientos de autoconstrucción;
- puentes y terraplenes, donde fallas ingenieriles interferieron con fenómenos naturales, como licuefacción, asentamientos diferenciales, reptación de los suelos hacia los ríos ...

En previsión del desarollo económico de la planicie caribeña, es necesario describir y analizar en detalle la licuefacción:

- repartición espacial;
- relaciones con la litologia y la organización sedimentológica de los depósitos recientes (por ejemplo, la licuefacción fue poca cerca de los relieves, en una franja de anchura variable, de centenares de metros hasta pocos kilómetros);
- mecanismos de fracturación del suelo encima del nivel licuado;
- campaña de perforaciones, para determinar caracteristicas litológicas, profundidad, S.P.T., ensayos triaxiales cíclicos etc...de los niveles licuables;

Por otro lado, estudiar los fenómenos gravitacionales, y los problemas de amplificaciones de ondas (recojiendo lo más pronto posible las evidencias correspondientes).

En el aspecto sismotectónico propiamente dicho, buscar precisar el modo de ruptura del accidente en eventos múltiples.La confrontación de éste análisis de la fuente, con la geometría del sistema deducida desde la superficie, puede generar resultados aplicables en otros segmentos del mismo (en el de Siquirres, por ejemplo).

Es también importante establecer valores definitivos para el levantamiento costero, escojiendo con mucho cuidado los niveles de referencia medidos, extendiendose al Noroeste de Moín y al Sureste de Punta Mona, tanto en Costa Rica, como en Panamá.

Finalmente, es de recordar que la ruptura genero en ambas de sus extremidades una concentración de esfuerzos, la cual tendra probablemente más consecuencias en Costa Rica que en Panamá, debido a la relaxación consecutiva al sísmo de Bocas del Toro, en 1916.Puede generar actividad sísmica en otras fallas listas para romperse ,a corto o mediano plazo(región de Cartago ?),como también influir sobre la actividad de los volcanes más cercanos.Ya provocó réplicas en la prolongación del sistema de fallas hacia el Oeste de Limón,abriendo una oportunidad de estudiar dicha parte del accidente, rodeandola de una red de sismógrafos portatiles.

Este estudio seria de gran interés, sabiendo que el tramo Limon-Siquirres del sistema mayor, que no participo en el terremoto del 22 de Abril, es candidato potencial para un sísmo, el cual por cierto puede demorar muchos años, y tal vez siglos, antes de ocurrir.

6. BIBLIOGRAFIA

ASTORGA, A., FERNANDEZ,J.A.,BARBOZA,G., CAMPOS,L., OBANDO,J., AGUILAR, A., OBANDO,L.G. ( ). Cuencas sedimentarias de Costa Rica :evolución Cretacico superior-cenozoica y potencial de hidrocarburos.

BOSCHINI, I.M. (1989). Incidencia de las fuentes sísmicas en la región caribe de Costa Rica. Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica, 97 pp.

BOWLAND, C.L. and ROSENCRANTZ, E. (1988). Upper crustal structure of the western Colombian Basin, Caribbean Sea. Geol.Soc.Amer.Bull., v.100, p.534-546.

CLIMENT, A. (1991) Red de acelerógrafo ICE. Sismo del 22 de Abril. Reporte preliminar de aceleraciones. ICE, 11 pp.

FERNANDEZ, M y BARQUERO, R. (1991). Sismos sentidos y actividad volcánica- mayo 1991. Red Sism.Nac.(ICE-UCR), Costa Rica, 5 pp.

GUTEMBERG, B. y RICHTER, C.F. (1954). Seismicity of the earth and associated phenomena. Princeton Univ.Press, 310 pp.

LABORATORIO INGENIERIA SISMICA, U. Costa Rica (1991). Segundo reporte preliminar. Registros de aceleraciones del sismo del 22 de Abril de 1991. U. de Costa Rica, 19 pp.

MONTERO, W.K. (1986). El terremoto de San Estanislao del 7 de Mayo de 1822. ¿ Un gran temblor de subducción del sur de Costa Rica ? Cien.Tec., 10, (2), p.11-20.

MONTERO,Z.K. y MORALES, L.D. (1990). Deformación y esfuerzos neotectónicos en Costa Rica. Rev. Geol. Amer.Central,11, p.69-87.

RED SISMOLOGICA NACIONAL. ICE-UCR (1991). Informe preliminar del terremoto de Limón (Costa Rica) registrado el dia 22 de Abril de 1991.

ROJAS, W. y BARQUERO, R. (1991) Informe de los sismos sentidos en el mes de Abril de 1991. Red Sism. Nac. (ICE-UCR), Costa Rica, 10 pp.

ROTHE, J.P. (1969). La séismicité du globe 1953-1965. UNESCO, 336 pp.

SILVER, E.A., REED,D.L., TAGUDIN,J.E., HEIL,D.J. (1990) Implications of the north and south Panama thrust belts for the origin of the Panama orocline. Tectonics, v.9, No.2, p.261-281.

SOULAS, J.P. (1989). Proyecto hidroeléctrico Siquirres. Estudio de prefactibilidad. Tectónica activa. ICE, Costa Rica, 25 pp.

ANEXO - CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Domingo 26 de Mayo. Vuelo Bordeaux-Paris-Miami-San José.

Lunes 27 y Martes 28. San José : múltiples reuniones y visitas:
-en el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) con: A.López, Presidente del Colegio de Geólogos ; I. Boschini, Jefe Sección de Sismología ; S.Mora, Jefe Departamento de Geología;
-en Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) : con J.A. Fernández y G. Bottazzi, geólogos;
-en la Universidad de Costa Rica con : W.Rojas, sismólogo;
-en la Embajada de Francia con : Ph. Cujo, responsable regional y Ph. Barbry, primer secretario.

Miércoles 29 y Jueves 30. Trabajos de campo de la zona de Matina hasta Limón.

Viernes 31 . Vuelo con el helicóptero de la fuerza de ayuda nicaragüense.

Sábado 1 de Junio. Trabajos de campo de Limón a Bri-Bri.

Domingo 2 y Lunes 3. Campo en las regiones de Sixaola (Costa .Rica) y de Changuinola (Panamá), con A. Vergara, sismólogo panameño. Visita al Legislador Artola.

Martes 4. Campo zona de Talamanca, regreso hasta Siquirres.

Miercoles 5. Regreso a S.José. Visita a la Señora Embajadora de Francia Multiples reuniones y conversaciones en ICE con :
-S. Mora, Jefe Departamento de Geología ;
-A. Climent, Ingeniero Civil ;
-G. Rivera, Jefe Dirección de Ingeniería ;
-A. Espinosa, Geofísico de U.S. Geological Survey ;
-J.P. Aste, Geólogo, Bureau des Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.).

Jueves 6. Viaje San José-México. Reunión de trabajo en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con L. Ponce y M. Pardo, sismólogos ; y G. Suárez, Director Instituto de Geofísica.

Viernes 7 y Sabado 8. Trabajos en el Instituto de Geofísica UNAM, con los mismos.

Domingo 9 y Lunes 10. Vuelo México-Paris.

LEYENDA DE LAS FIGURAS

FIG.1-Intensidades en la escala Mercalli modificada. Mapa establecido por la Red Sismológica Nacional de Costa Rica.

FIG.2-Contexto sismotectónico del piedemonte caribeño de la Cordillera de Talamanca, y ruptura del 22 de abril. (1) Epicentro. (2) Valores aproximados del levantamiento costero ,en centímetros.(3) Límite de la zona de réplicas iniciales.(4) Costa levantada.(5) Frente inverso activo, en tierra.(6) Fallamiento inverso en el mar Caribe ,según A.Astorga et al.,y C.L.Bowland and E.Rosencrantz (1988). (7) Drenaje .(8) Límite de los relieves.(9) Planicie y depreciones subsidentes.

FIG 3-Mecanismo focal preliminar,según Red Sismológica Nacional de Costa Rica.

FIG.4-Acelerógrama del P.H.Siquirres (A.Climent, 1991).

FIG.5-Acelerógrama de la estación San Isidro de Pérez Zeledón Universidad de Costa Rica (Laboratorio de Ingenieria Sísmica, 1991).

FIG.6-Licuefacción, deslizamientos y levantamiento de la costa. (1) Región afectada por fenómenos de licuefacción.(2)Zona de deslizamientos.(3) Costa levantada y corales emerjidos (4) Límite de los relieves .(5) Drenaje .(6) Carretera asfaltada poco afectada.(7) Carretera destruida.(8)Puente dañado.(9) Puente destruido.(10) Epicentro.(11) Ciudad.

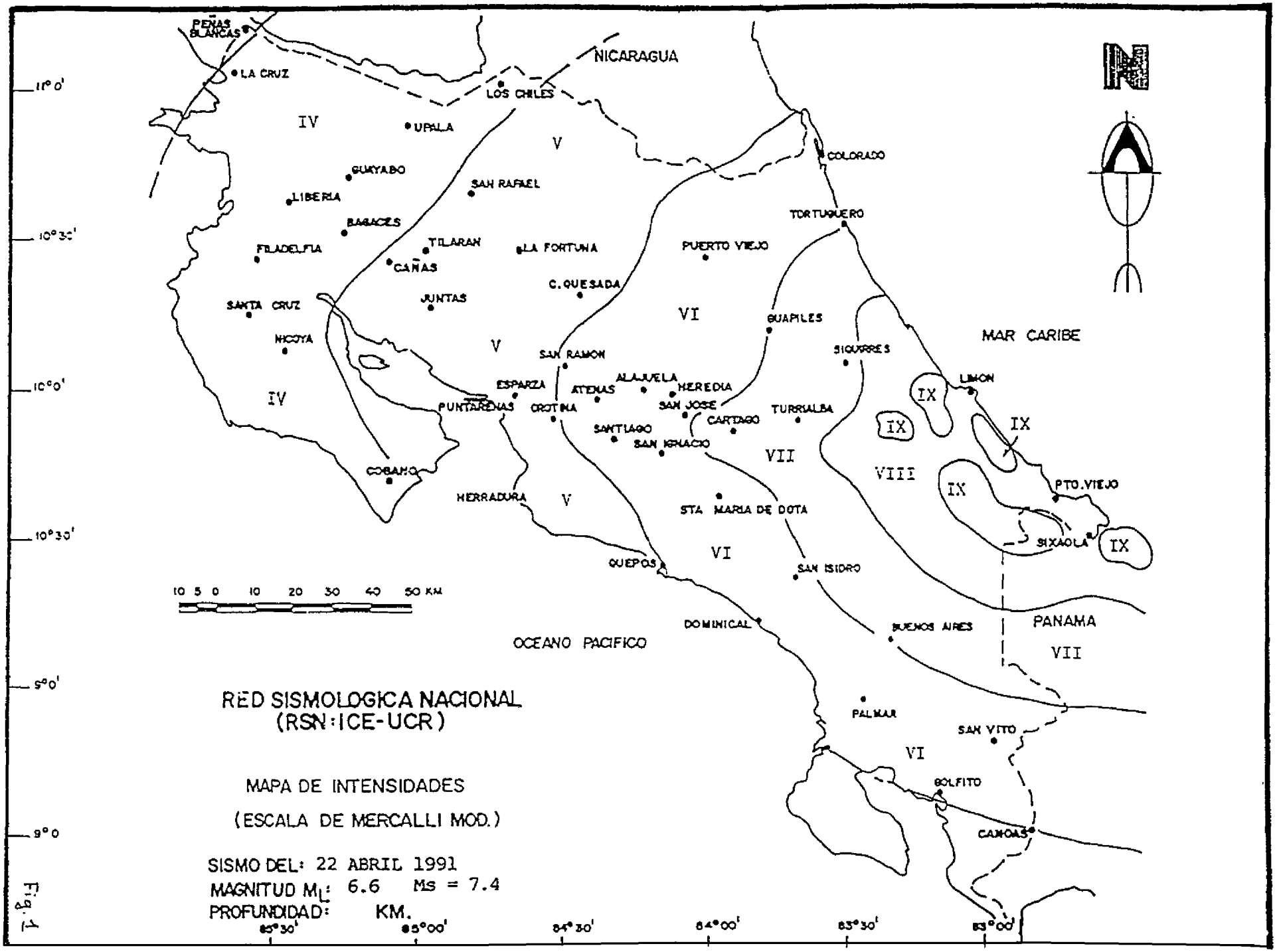

PEÑAS BLANCAS
LA CRUZ
NICARAGUA
LOS CHILES
UPALA
GUAYABO
LIBERIA
SAN RAFAEL
BAGACES
TILARAN
LA FORTUNA
FILADELFIA
CAÑAS
C. QUESADA
JUNTAS
SANTA CRUZ
NICOYA
SAN RAMON
ESPARZA
ATENAS
ALAJUELA
HEREDIA
PUNTARENAS
OROTINA
SAN JOSE
CARTAGO
SANTIAGO
SAN IGNACIO
COBANO
HERRADURA
STA MARIA DE DOTA
QUEPOS
SAN ISIDORO
DOMINICAL
BUENOS AIRES
PALMAR
SAN VITO
GOLFITO
CAMOAS
COLORADO
TORTUGUERO
PUERTO VIEJO
GUAPILES
SIQUIRRES
TURRIALBA
LIMON
PTO. VIEJO
SIXAOLA
MAR CARIBE
OCEANO PACIFICO
PANAMA
IV
V
VI
VII
VIII
IX
10 5 0 10 20 30 40 50 KM
11°0'
10°30'
10°0'
10°30'
9°0'
9°0
85°30'
85°00'
84°30'
84°00'
83°30'
83°00'
RED SISMOLOGICA NACIONAL
(RSN:ICE-UCR)
MAPA DE INTENSIDADES
(ESCALA DE MERCALLI MOD.)
SISMO DEL: 22 ABRIL 1991
MAGNITUD M_L: 6.6 Ms = 7.4
PROFUNDIDAD: KM.

Fig. 1

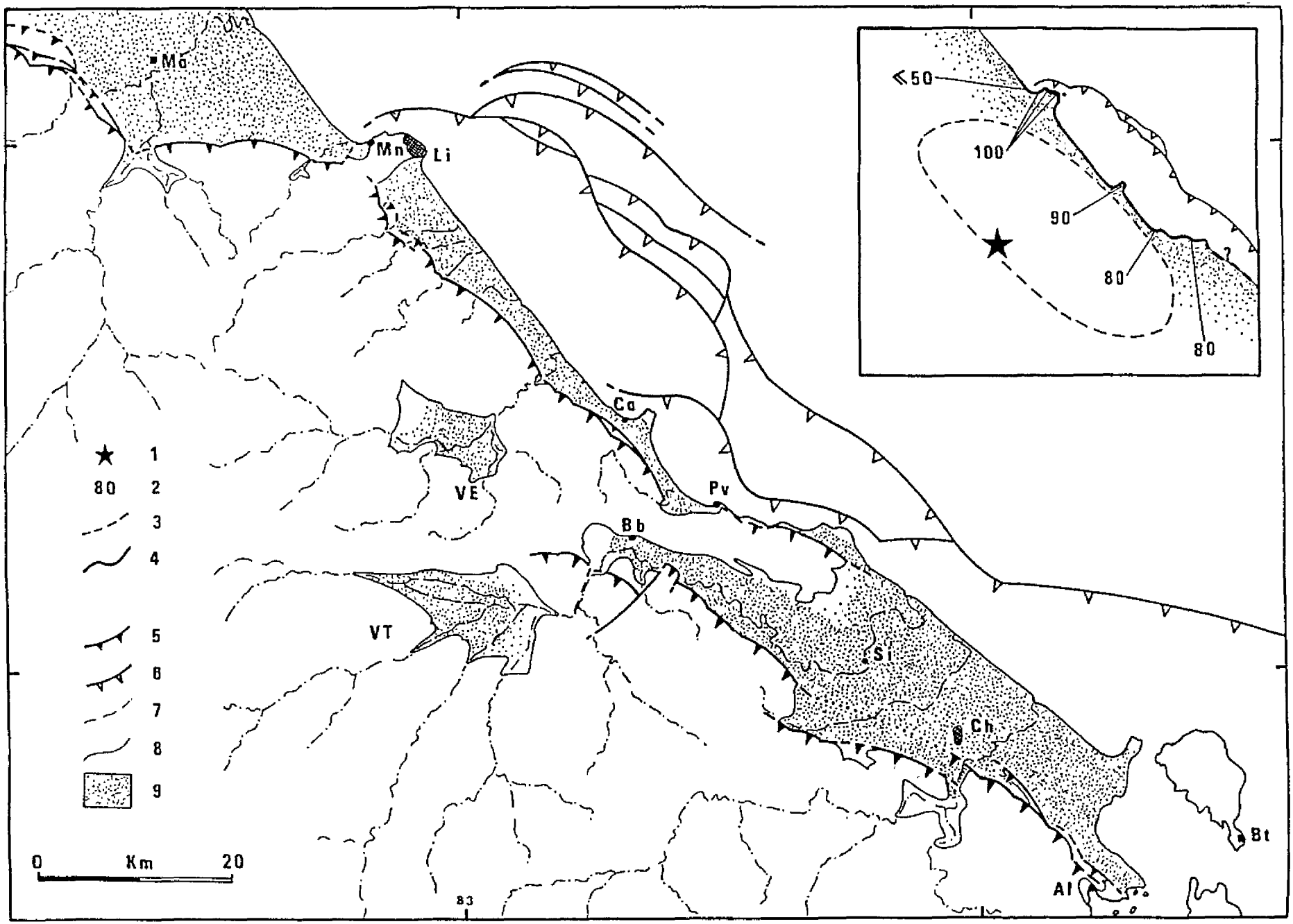
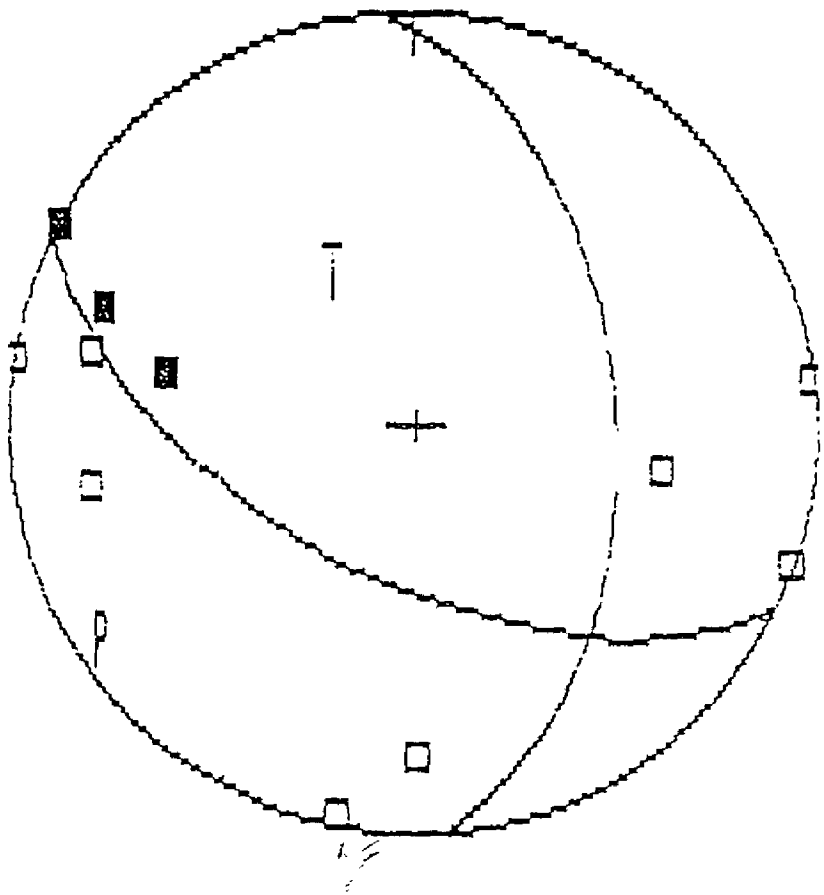

Mo
Mn
Li
Ca
Pv
VE
Bb
VT
Si
Ch
Bt
Al
83
1
80 2
3
4
5
6
7
8
9
0 Km 20
≤50
100
90
80
80

Fig. 2

Tension (th)= 34 (ph)= 333
Presion (th)= 84 (ph)= 235
Num. est = 12 Aciertos 12
Porc = 1
Cont= 145

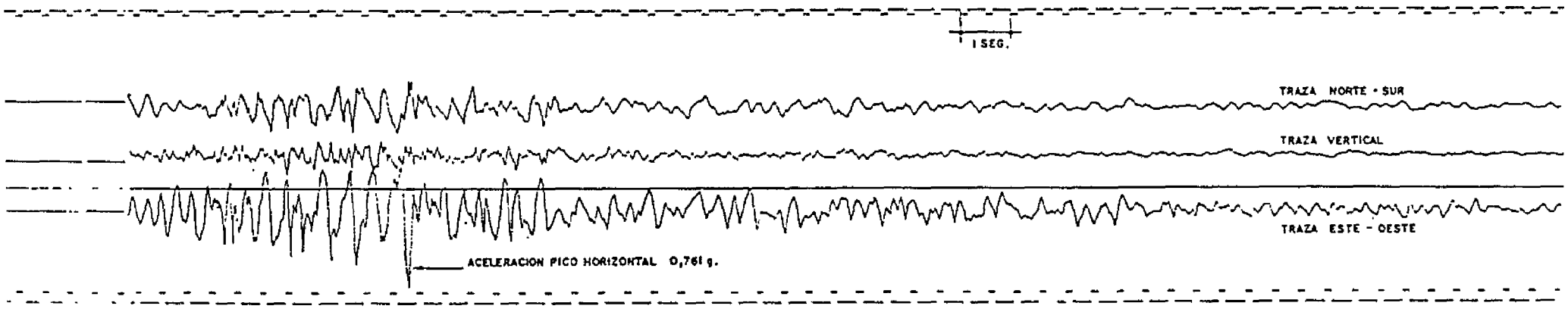
Plano 1 Rum : 117 Buz : 59 Dez : 49
Plano 2 Rum : 356 Buz : 49 Dez : 43
Evento 0 0 d:telire



SISMO DEL 22 DE ABRIL DE 1991

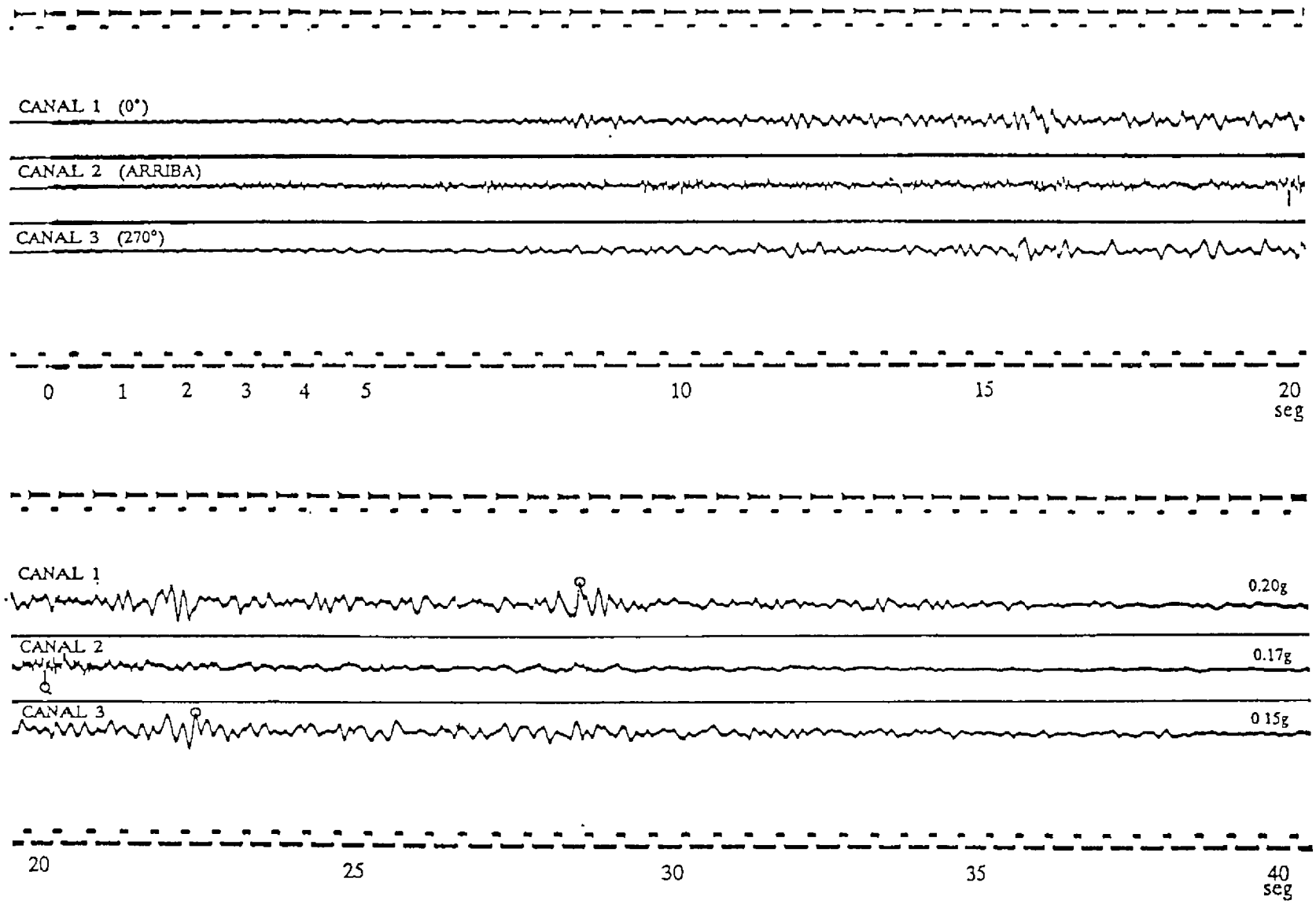
21:53 GMT

MAG. MD = 6.6, Ms = 7.4



SISMO 22 DE ABRIL 1991.
REGISTRO DE ACELEROGRAMA P.H. SIQUIRRES.

ESTACION: San Isidro de Pérez Zeledón CODIGO: ISD



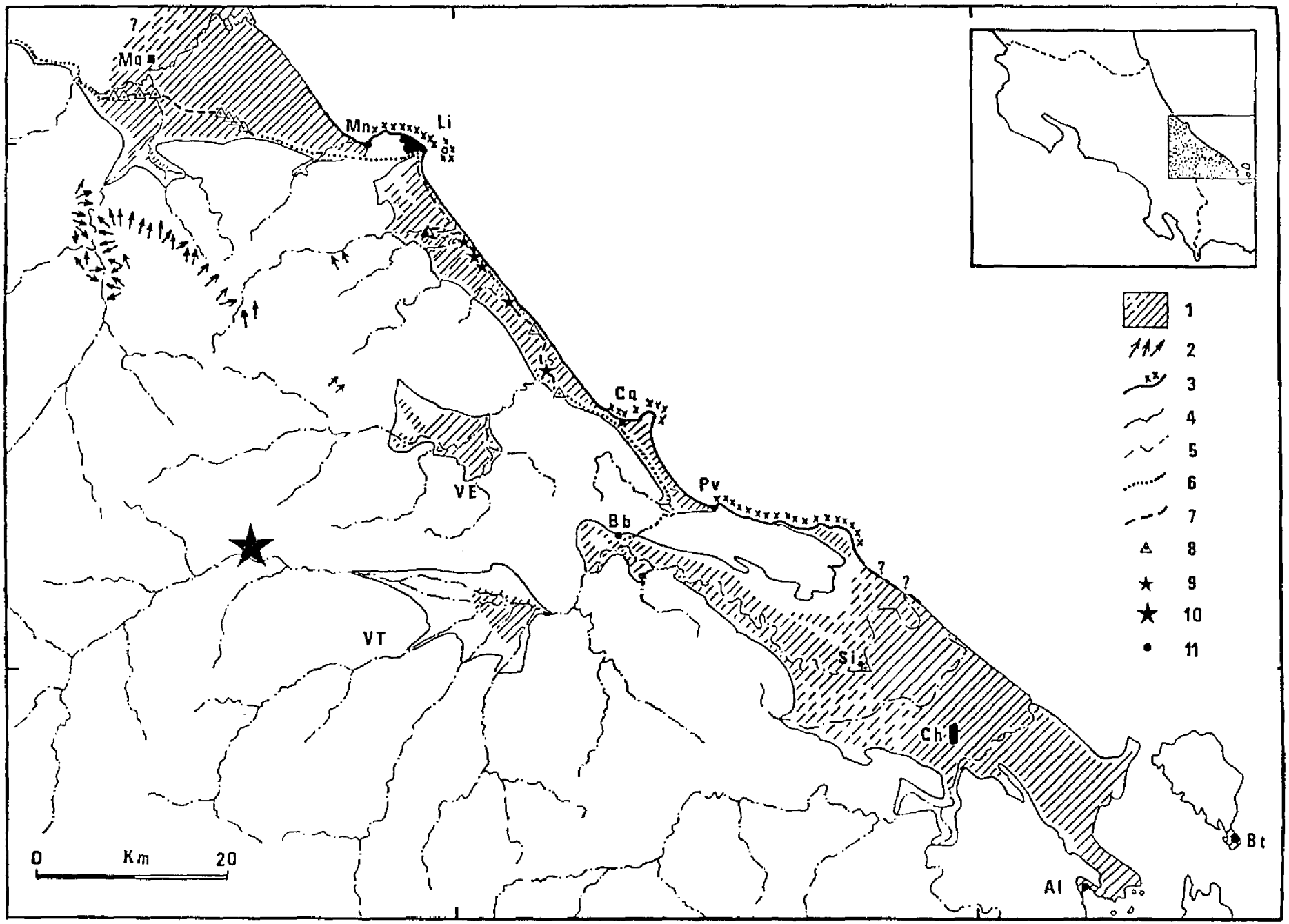


Fig. 6