Análisis de los Registros de Nivel del Mar correspondientes al Terremoto de Cóbano del 23-3-90

A. Gutiérrez*
F.J. Soley**

Abstract

By properly filtering the Cobano Earthquake sea level data, the associated tsunami wave signal is analyzed in order to formulate a hypothesis about the possible evolution of this event. It is also considered the convenience of a complementary local seismicity control through the periodical analysis of information from gauges at strategic sites.

Resumen

Mediante un oportuno filtrado de la información de nivel del mar, se analiza la señal correspondiente al evento generado por el sismo de Cóbano (Golfo de Nicoya, Costa Rica) el día 25-3-90. Se establece una hipótesis acerca de la posible evolución del fenómeno y la conveniencia de un control compelmentario de la sismicidad local, a partir del periódico análisis de la información registrada por mareógrafos estratégicamente emplazados.

Introducción

La fuente sísmica a la entrada del Golfo de Nicoya (Figura 1a), como aquella ubicada a la entrada del Golfo de Osa (Figura 1b), ha sido catalogada como una de las fuentes permanentes más activas del país (OVSICORI, 1990). En el trabajo de Cruz y Wyss (1983), se reportan diversos eventos identificados como ondas maremoto en estas regiones. En Punta Arenas, el mareógrafo ahí ubicado hasta el año 1981, registró en varias ocasiones eventos de esta naturaleza, quedando ocasionalmente fuera

* Laboratorio de Oceanografía, Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
** Centro de Investigaciones Geofísicas y Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

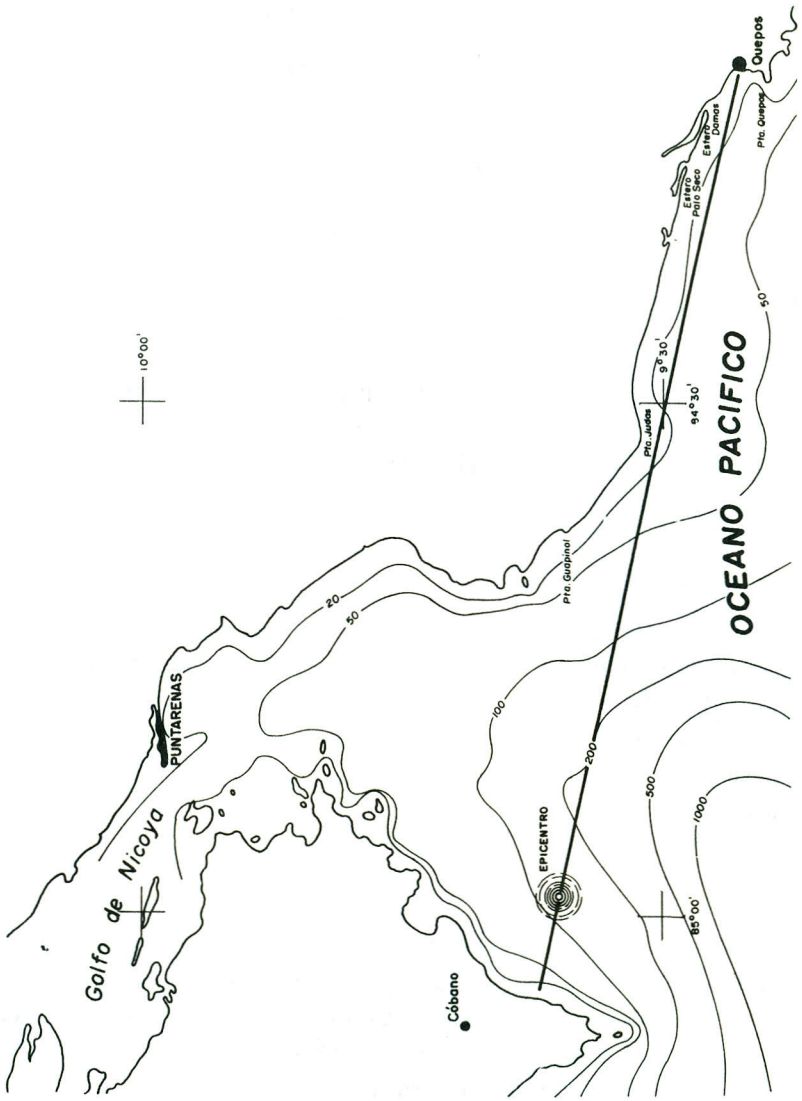


Figura 1a Localización del epicentro del Terremoto de Cóbano del 25-3-90 y posible trayectoria de la onda maremoto generada.

Figura 1b Costa Rica: Golfo de Nicoya y Golfo Dulce.

de funcionamiento como consecuencia del fenómeno. Asimismo, habitantes y turistas de la región de Osa, sitio donde no se ha contado con una estación mareográfica permanente, han reportado "olas gigantescas" que en ocasiones han puesto en peligro a las embarcaciones.

La destacada actividad sísmica a la entrada del Golfo de Nicoya nunca antes había alcanzado los niveles actuales, en cuanto a magnitud y número de sismos (Güendel 1990). Esta destacada actividad y la forma en que se presenta: un evento principal, seguido posteriormente por una serie de réplicas, sugiere un control o "monitoreo", mediante el análisis de registros de nivel del mar en estaciones mareográficas estratégicamente ubicadas.

El terremoto del 25 de marzo en Cóbano, fue detectado por dos mareógrafos ubicados en Puerto Quepos.

En este trabajo se han analizado los registros de nivel del mar correspondientes, con el propósito de caracterizar físicamente las observaciones y cuantificar la sensi-

bilidad de un mareógrafo convencional localizado fuera del área de generación del sismo (a 91 km del epicentro).

Datos utilizados y filtrado de la Información

En puerto Quepos operan dos mareógrafos de pozo: uno de registro analógico, y el otro digital. Ambos mareógrafos están involucrados con el programa climatológico mundial TOGA. La estación recibe mantenimiento permanente, a cargo del programa SERMAR de la Universidad Nacional, de acuerdo a las disposiciones del Observatorio de Bidston, en Liverpool (UNESCO 1985). Asimismo, la información registrada recibe un control de calidad, según los estándares del Centro de Nivel del Mar del programa TOGA; en Hawaii, (Cadwell y Kilonsky, 1988a y 1988b)

En este trabajo se han utilizado alturas de nivel del mar, muestreadas cada 10 minutos, correspondientes a los días 24-27 de marzo de 1990.

La separación del efecto de las ondas tsunami del nivel del mar "ordinario", se efectuó mediante un proceso de filtrado sugerido por el espectro de amplitd de los residuos del día 25 mostrado en la Figura 2. Los tres primeros puntos del espectro corresponden a los residuos del nivel promedio, las componentes diurnas no resueltas, y las componentes semidiurnas no resueltas, respectivamente. Los picos prominentes para periodos menores de 2 horas (frecuencia mayores de 0.5 cph) son debidos

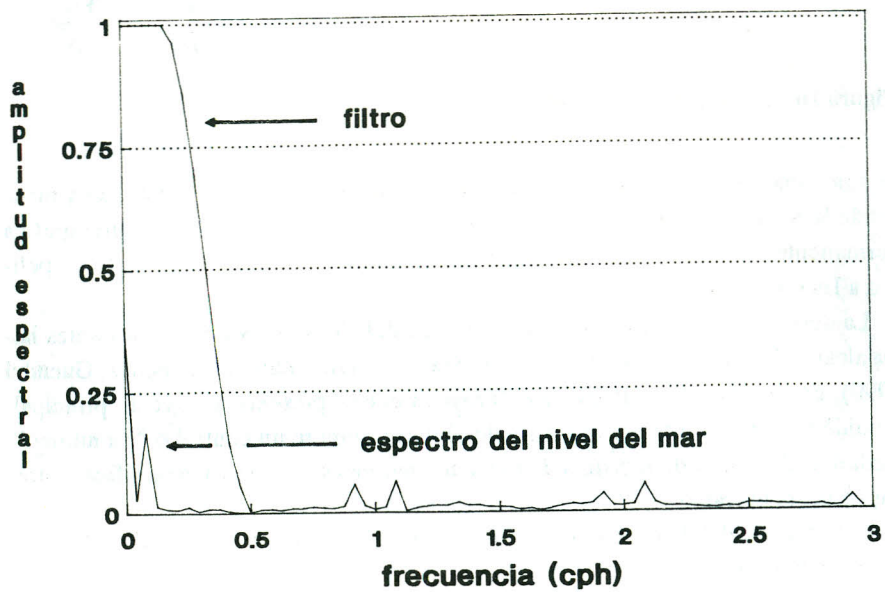


Figura 2 Filtro paso-bajo para separar la marea del maremoto.

al tsunami, ya que los espectros del día anterior y posterior al evento nos los muestrean. El filtro pasa bajo, mostrado en la misma figura, sin atenuación hasta una frecuencia correspondiente a un periodo de 6 horas, y la banda de transición se extiende hasta frecuencias correspondientes a un periodo de 2 horas. De esta manera se logra reproducir con alta fidelidad la señal debida a las bajas frecuencias, para luego restarla de los datos originales, dejando como residuo la señal de las frecuencias altas, las cuales se deben al tsunami. El efecto de los extremos del filtro se extiende a 22 unidades de muestreo en ambos lados, por lo que los primeros y los últimos 22 datos de la señal filtrada, se toman como valores nulos.

Análisis de las observaciones

La correspondencia de los mayores terremotos ocurridos en el Planeta con el alineamiento de los astros y el rango angular de altitud sobre el horizonte de la Luna o el Sol lo reportan Wilson y Torum (1968) y Lopes *et al.* (1990). El terremoto de Cóbano, del 25 de marzo, corresponde al sistema Sol-Tierra-Luna de la figura 3, en periodo de sicigias, con una altitud lunar sobre el horizonte de 38°29'54'', (solar, de 23°29'07'') de acuerdo a la tendencia reportada por Wilson y Torum. El alineamiento reportado por Lopes *et al.* no se produce; el sismo ocurre un día antes de la luna nueva, pocos días antes de que el alineamiento de los astros se produzca, con éstos de frente al área de impacto. El equinoccio de verano se presentó 5 días antes del evento.

La hora del evento principal, (7:23 hora local), coincide prácticamente con la bajamar en Punta Arenas (7:29 hora local). Testigos presenciales reportan un "súbito" ascenso del nivel del mar en Punta Arenas, de aproximadamente 1 metro, presumiblemente asociado al arribo de la cresta de la onda maremoto a este puerto. Esto se ajusta al movimiento tectónico vertical, consecuencia del particular mecanismo de generación del sismo, reportado por Güendel (1990).

Las figuras 4 y 5 muestran la superposición del evento a la onda de marea de Quepos. El efecto del tsunami se muestra en la Figura 6 y su espectro correspondiente en la Figura 7. En las Figuras 5 y 6 claramente se ve como "una" perturbación, que corresponde al evento, se presenta 37 minutos después en este puerto y se mantiene presente (por sobre el ruido de fondo, esto es, con una amplitud » 1 cm) durante 6 horas (hasta aproximadamente las 14 horas locales). No obstante, de las 8:50 horas a las 12:45 horas es cuando se observa la agitación que involucra energía muy por encima del ruido. Esto significa que, luego de esta hora, algunas periodicidades de baja energía que se mantuvieron presentes, como lo muestran las Figuras 4 a 7.

Efectivamente, un análisis pormenorizado de las series de tiempo nos revela un primer ascenso de nivel, superpuesto a la marea, 37 minutos después de ocurrido el evento principal. Este "primer" acontecimiento corresponde a la respuesta de la costa (o reflejo continental), al levantamiento de la superficie del agua sobre la plataforma.

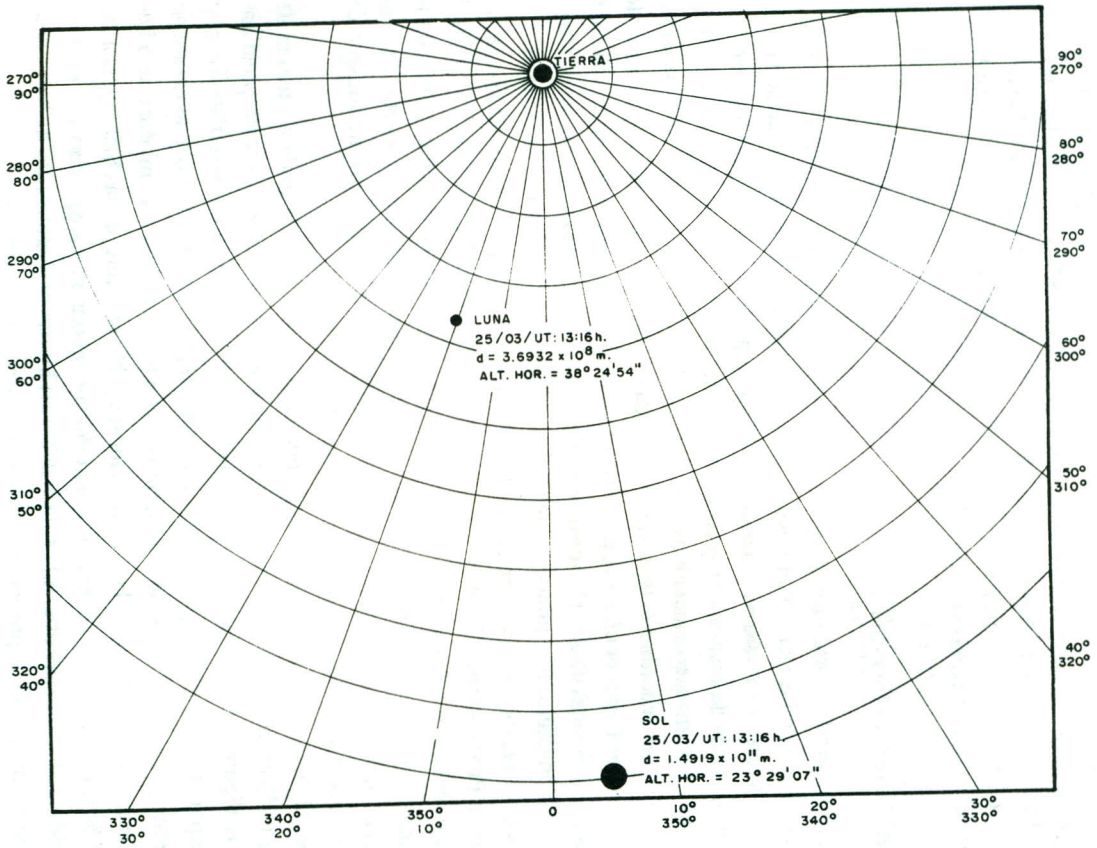


Figura 3 Sistema Sol-Tierra-Luna correspondiente al evento sísmico de Cóbano del 25-3-90.

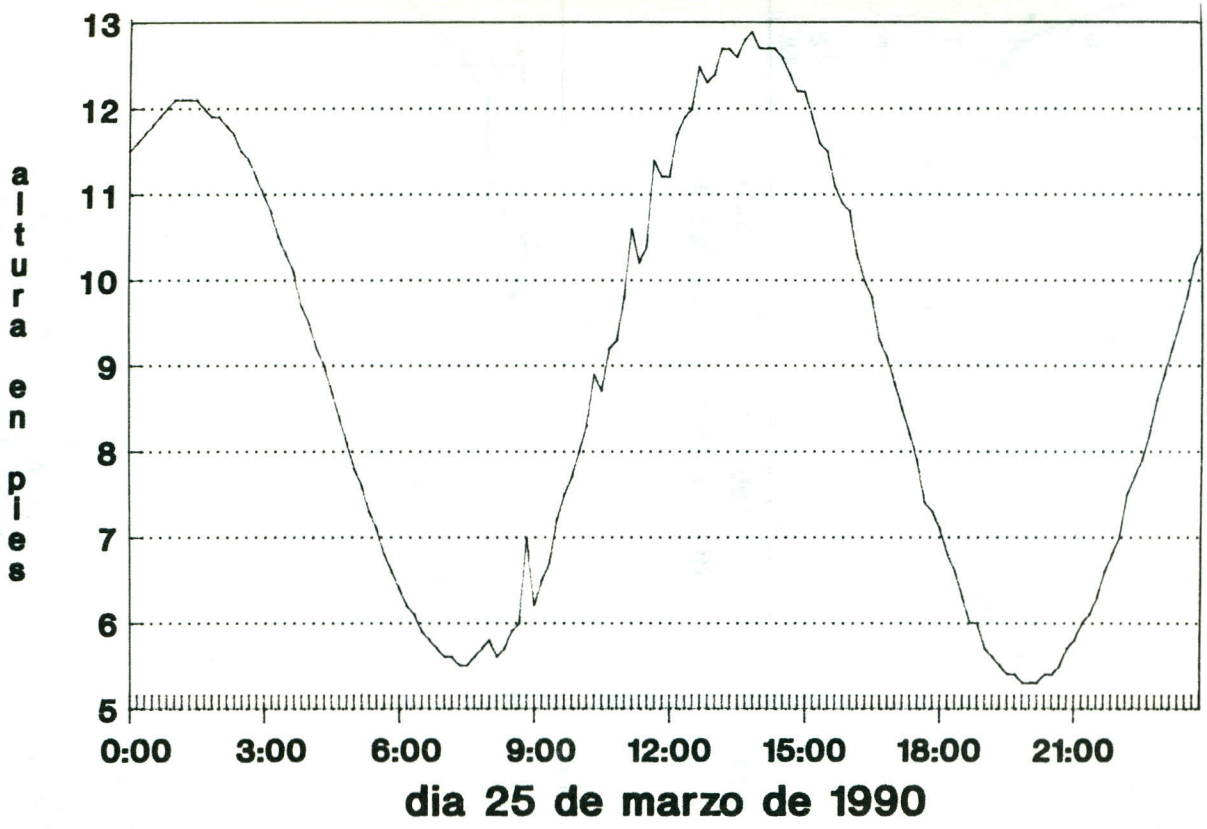
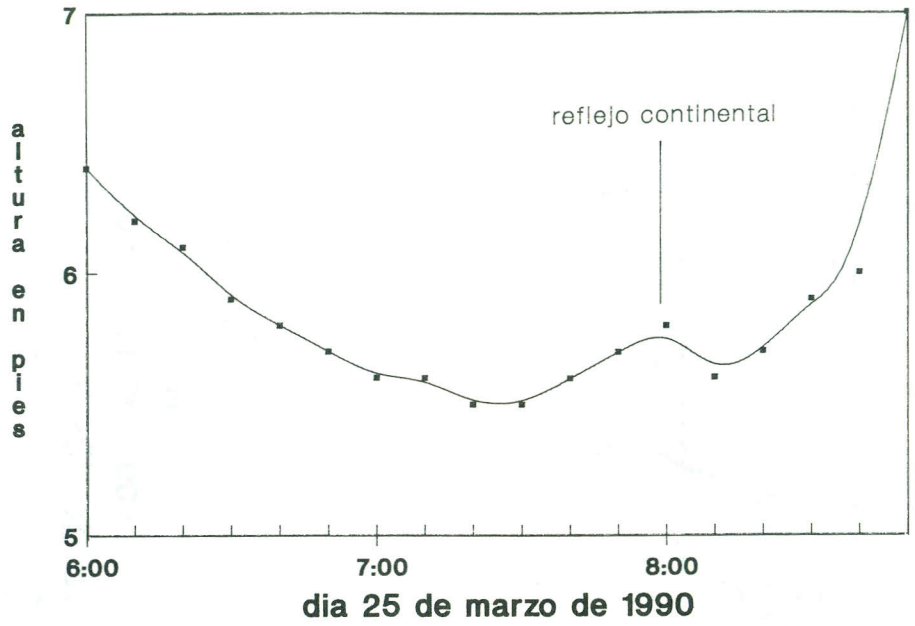


Figura 4 Maremoto superpuesto a la onda de marea en Quepos.



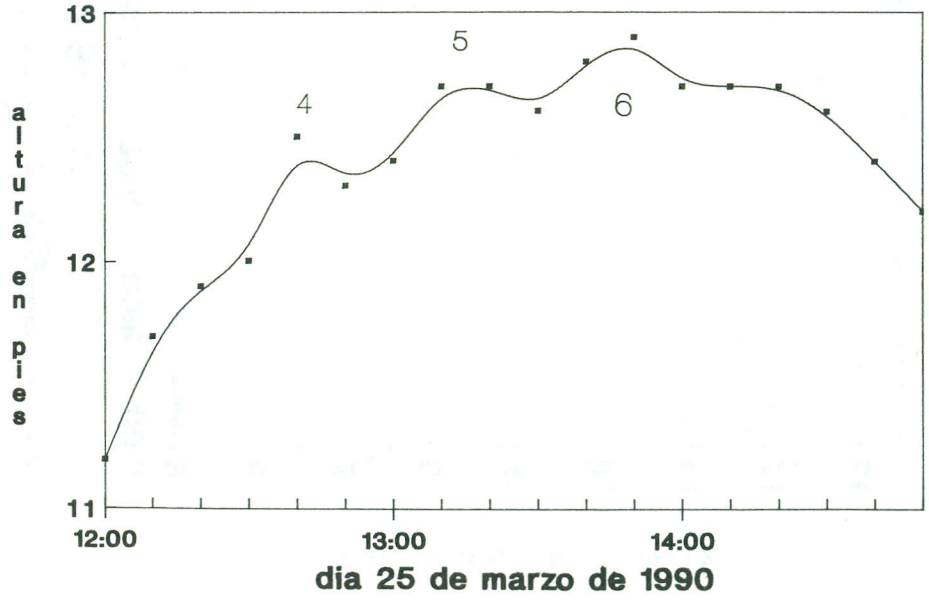
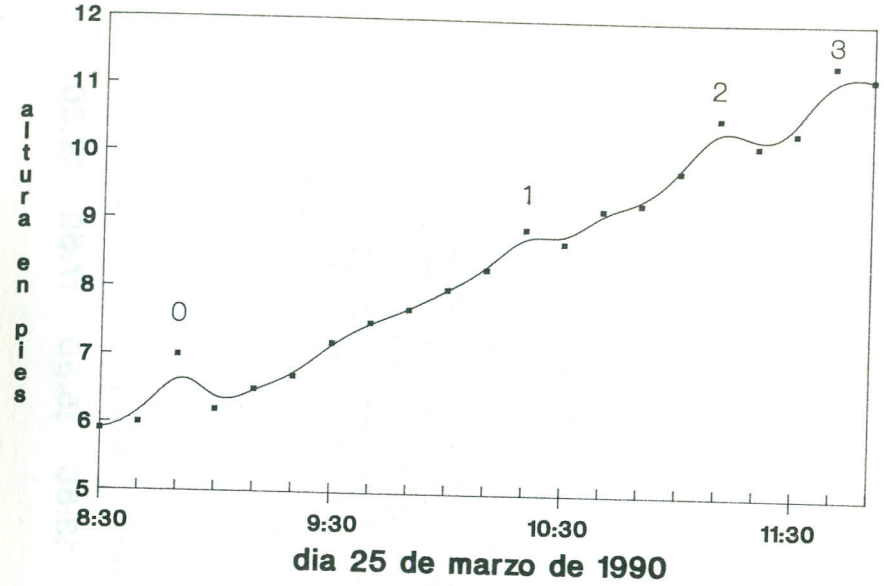


Figura 5 Maremoto superpuesto a la onda de marea en Quepos.



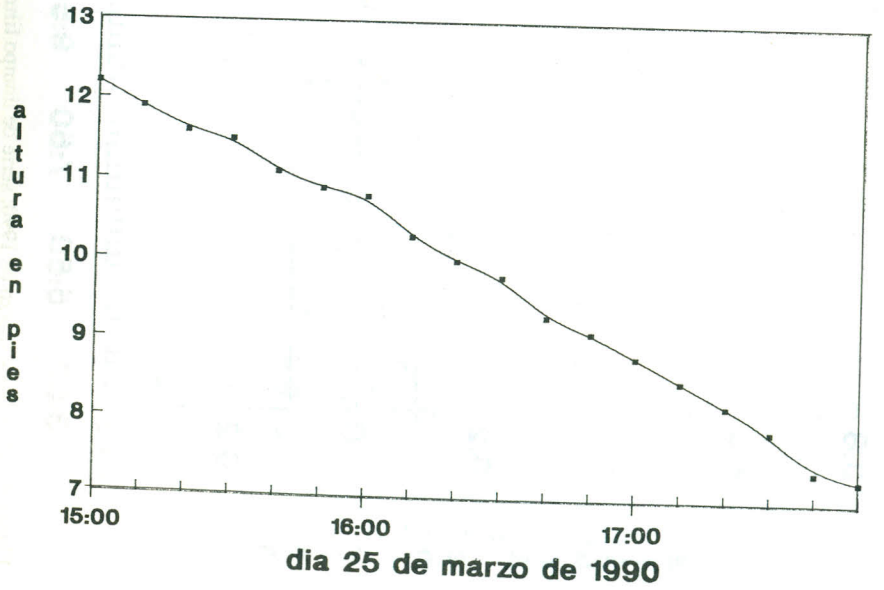


Figura 5 Continuación.

Aproximadamente 50 minutos después de esta cresta (87 minutos más tarde del movimiento principal) aparece la cresta correspondiente a la onda principal generada por el sismo. Esto ha sido constatado al estimar el tiempo empleado por la onda maremoto desde su centro de generación a Puerto Quepos. El resultado concuerda con el tiempo observado. Luego del arribo de la onda principal, se presentan 6 ondulaciones más, a distintos intervalos, asociadas éstas con amplitudes y energías diferenciadas, producto ello de las reflexiones particulares de la costa o desde el borde de la plataforma continental. En este trabajo proponemos una posible evolución del evento hasta las 14 horas, cuando se nota una clara atenuación de la anomalía manifiesta.

En cuanto concierne a la respuesta del mareógrafo de acuerdo a la intensidad del sismo, debemos anotar que una extensa revisión de los sismogramas, antes y después del sismo de Cóbano, así como de los registros mareográficos, antes y después del acontecimiento (veánse Figuras 8 y 9), revelan una insensibilización del mareógrafo para eventos de intensidad ≤ 5.2, así como una respuesta contundente a la intensidad 6.8. Una estadística de la incógnita para el rango intermedio, resulta fundamental en el control de la sismicidad local.

Hipótesis sobre la evolución del fenómeno

En la Figura 7 se destacan claramente 3 grupos de picos espectrales de variada resolución, si exceptuamos los posibles sub-armónicos alrededor de los 21 y 24 minutos. Es evidente que hay energía que destaca del ruido de fondo alrededor de las periodicidades: 1h: 14', 45', 34' y 29'. Esto coincide con la imagen temporal que exhiben las Figuras 4, 5 y 6. Lo que no es evidente en estas figuras es la naturaleza del ligamen entre las crestas presentes y las correspondientes periodicidades, producto de las posibles reflexiones apuntadas anteriormente.

En la Figura 5 hemos intencionalmente enumerado las crestas a partir el arribo directo de la onda principal (0), y hemos establecido nuestra hipótesis, luego de una serie de estimaciones de posibles tiempos y trayectorias de viaje de los frentes, y sus reflexiones por los contornos.

Nótese en la Figura 1, que de acuerdo la posición del epicentro, del lado Este continental, los únicos sitios de posible intercepción de los frentes y sus reflejos son: áreas de Pta. Guapinol, Pta. Judas, Quepos, entrada al estero Damas y entrada al estero Palo Seco. De esta manera, las 6 crestas protagonistas restantes pudieron haber obedecido el siguiente comportamiento:

- Cresta 1:
  Tiempo de recorrido a Quepos: aprox. 3 h (1:30' a Pta. Guapinol desde el epicentro; 1:30' a Quepos).
- Cresta 2:
  Total de recorrido: aprox. 3 h (Quepos-Pta. Judas-Quepos). Generada por la reflexión de 0 en Quepos.

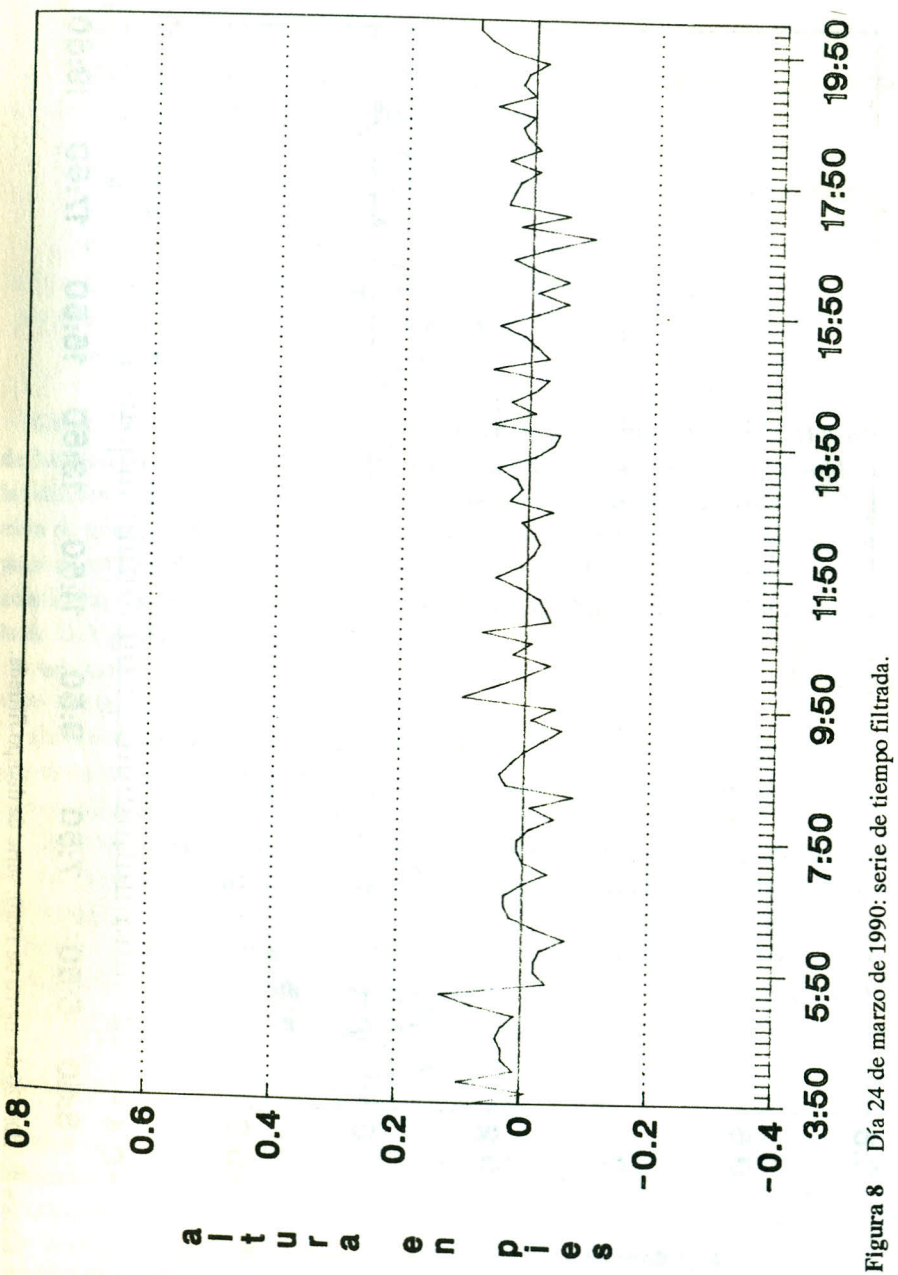


Figura 8 Día 24 de marzo de 1990: serie de tiempo filtrada.

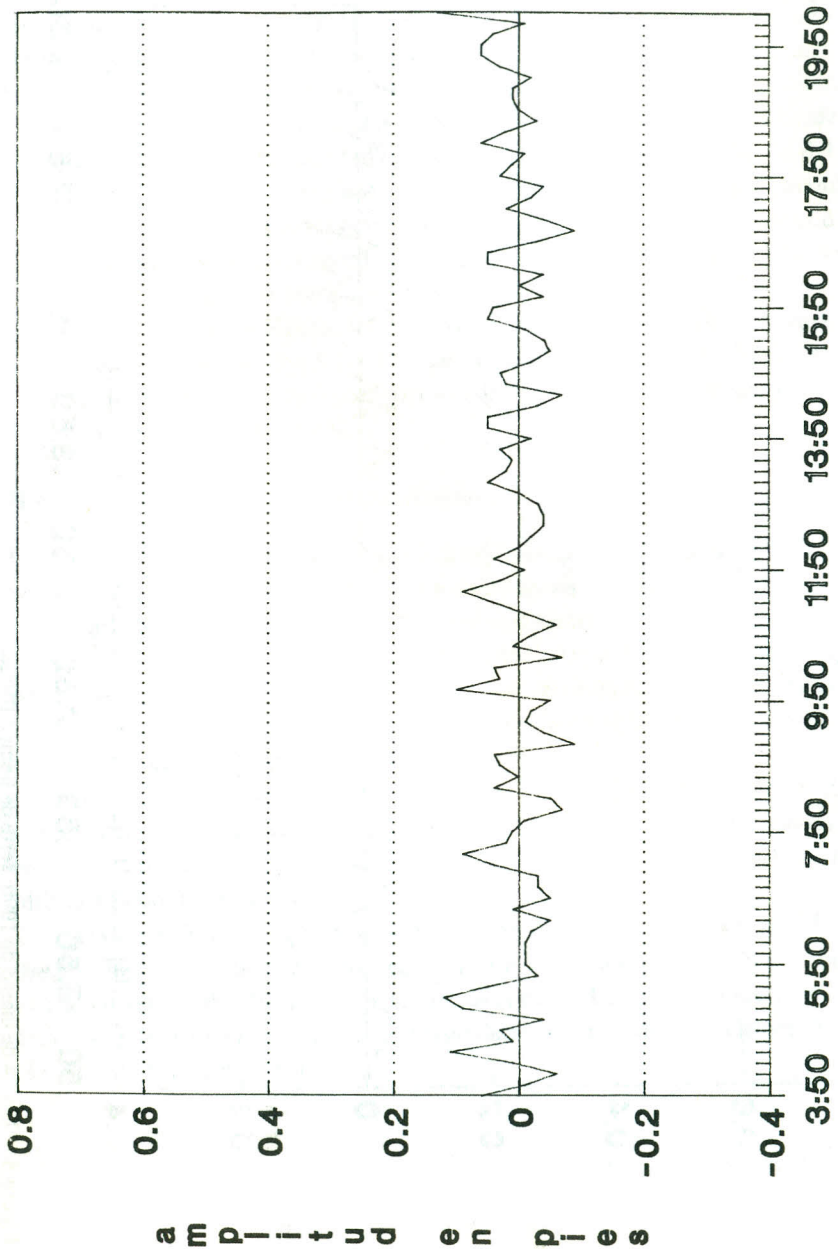


Figura 9 Día 26 de marzo de 1990: serie de tiempo filtrada.

- Cresta 3:
  Tiempo de recorrido: aprox. 30' (Quepos -Ent. Est. Damas- Quepos). Generada por parte de la energía reflejada de 2 en Quepos.
- Cresta 4:
  Tiempo de recorrido: aprox. 1 h 5' (Quepos-Ent. Est. Palo Seco-Quepos). Generada por parte de la energía reflejada de 2 en Quepos.
- Cresta 5:
  Tiempo de recorrido: aprox. 3 h (Quepos-Pta. Judas-Quepos). Generada por 1 reflejada en Quepos.
- Cresta 6:
  2h:40' < t. recorr. < 3h (Quepos-Punta Judas-Quepos; t menor, quizá producto del ángulo de incidencia de la onda generatriz). Generada por parte de la energía reflejada de 2 en Quepos.

Como dicho, la anterior hipótesis se sustenta no sólo en una razonable estimación de los tiempos promedios de recorrido, sino además, en las trayectorias posibles de las diferentes ondas generadas; lo cual involucra alternativas diferenciadas de disipación de energía de las ondas. Tomando en cuenta este punto, resulta razonable que, para aproximadamente una misma longitud de onda de cada una de las crestas en consideración, la amplitud de la 6, generada por la 2 triparticionada, sea menor que la de la 5, producto de la sola reflexión de 1.

Asimismo, resulta lógico una mayor amplitud de la cresta 3 respecto de la 4, en vista del recorrido menor de aquella.

En la estimación de los tiempos de viaje de las ondas 1, 2 y 5 hemos implícitamente aceptado su entrecruzamiento, sin pérdidas energéticas, de acuerdo a la teoría de las ondas solitarias.

Compárense las Figuras 5, 6 y 7, y nótese como las periodicidades exhibidas en las dos primeras, están efectivamente presentes en los "paquetes" energéticos de la última figura.

Si bien es cierto que la reflexión del lado Oeste del continente fue posible, así como la reflexión de energía desde el borde de la plataforma, las estimaciones efectuadas hacen pensar que tales eventos no han logrado sensibilizar los mareógrafos en Quepos.

Conclusiones

Es bien conocido el hecho de que los registros de maremotos generados en épocas diferentes, correspondientes a una determinada estación de registro, se parecen más entre sí, que los registros del mismo maremoto de diferentes estaciones de registro; esto hace pensar que las características de propagación de la onda maremoto son definidas por la batimetría local. De tal manera que, al ser los maremotos poco frecuentes, es difícil contar con una serie de observaciones que permita un análisis estadístico

de validez; por tal motivo, es altamente deseable la aplicación de modelos numéricos que complete y fundamente las observaciones, cuya bondad en los resultados, es asimiso corroborada por los datos observados. Si contemporáneamente se establece una densa red de mareógrafos a los largo de la costa, con el fin de controlar el sentido de variación del nivel del mar (Pugh 1988), los datos generados resultan ser información complementaria, de inestimable validez, en el pronóstico de sismos importantes, y el posible impacto de los maremotos asociados sobre la costa.

Bibliografía

Caldwell, P.C. and B.J. Kilonsky. "Manual for the TOGA Sea Level Center: Sea level data processing and quality control programs". *TOGA Sea Level Center unp. doc.* 30 pp. Hawaii, 1988a.

Caldwell, P.C. and B.J. Kilonsky. "Manual for the TOGA Sea Level Center: Tidal analysis and prediction programs". *TOGA Sea Level Center unp. doc.* 26 pp. Hawaii, 1988b.

Cruz, Gonzalo and M. Wyss. "Large earthquakes, mean sea level and tsunamis along the Pacific coast of Mexico and Central America". *Bull. Seismol. Soc. Amer.* Vol. 73. 1983.

Güendel. Informe sobre la secuencia sísmica a la entrada del Golfo de Nicoya del 25-3-90 presentado al Observatorio Vulcanológico y Sismológico de la Universidad Nacional. 1990.

Lopes, R.M.C. *et al.* "Lunar and solar triggering of earthquakes". *Phys. Earth Planet. Int.*, 59, pp. 127-129. 1990.

IOC, UNESCO. *Manual of sea level measurement and interpretation.* 1985.

Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI). Abril, 1990: El terremoto de la entrada del Golfo de Nicoya del 25 de marzo de 1990. Costa Rica, América Central, 1990.

Pugh, D.T. *Tides, surges and mean sea level,* 473 pp. John Wiley and Sons Ltd. New York, 1987.

Wilson, B. W. and A. Torum. "The Tsunami of the Alaskan earthquake, 1964. Engineering evaluation". *Tech. Mem.* No. 25. U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Eng. Res. Center, 1968.