



REPORTE SOBRE LA ACTIVIDAD SISMICA DEL AREA DE BERLIN DEL
21 DE ABRIL AL 31 DE MAYO DE 1985 Y SU RELACION CON LAS
MAREAS.

M.S. Dina Larios de López

UNIDAD DE FISICA DE ROCAS
SUBSECCION DE INVESTIGACIONES
GEOTERMICAS

SUPERINTENDENCIA DE RECURSOS
GEOTERMICOS

COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRI-
CA DEL RIO LEMPA, CEL.

Septiembre de 1985.

INTRODUCCION

El 21 de Abril de 1985 se dió inicio en la zona de Berlín una actividad sísmica anormal que ha tenido máximos de sismicidad a finales de Abril y mediados de Mayo. Esta actividad continúa en forma variable hasta la fecha, presentando periodos de relativa calma y otros de moderada sismicidad. La situación parece que continuará por un intervalo de tiempo que no es posible determinar.

Debido a que CEL tiene importantes instalaciones en la zona, como son la Presa Hidroeléctrica 15 de Septiembre y el campo geotérmico de Berlín, es necesario que participe activamente en la investigación del fenómeno y sus posibles implicaciones. Por esa razón, la subsección de Investigaciones Geotérmicas ha iniciado el estudio de este problema, siendo este reporte el producto de algunas investigaciones preliminares que tratan de entender la naturaleza del fenómeno y su posible comportamiento futuro.

En carta enviada por M. Carr al Centro de Investigaciones Geotécnicas, señala la importancia del fenómeno, sobre todo porque el complejo volcánico Tecapa no tiene erupciones históricas, lo que debe haber permitido una separación gravitacional de los componentes del magma (diferenciación magmática) y traerían como consecuencia una erupción probablemente violenta, en caso de que ocurriera.

Este reporte trata de sintetizar la información disponible de los eventos ocurridos durante Abril y Mayo, así como establecer su naturaleza tectónica y volcánica estudiando la secuencia de eventos en el espacio y en el tiempo. La secuencia espacial de eventos ha permitido observar una relación con las fallas de la zona.

La sismicidad acumulada por día y por hora comparada con las mareas, tal como sucedió con la erupción del Lago de Ilopango que dio origen a las Islas Quemadas a finales del siglo pasado, hace suponer que el fenómeno está también asociado a la actividad de una cámara magmática.

CONSIDERACIONES SOBRE LA ACTIVIDAD SISMICA DEL AREA DE BERLIN.

El 21 de Abril de 1985 se inició en el área de Berlín una actividad sísmica intensa que ha continuado hasta la fecha, con periodos de relativa calma. La superficie que presenta una densidad mayor de epicentros es la comprendida geográficamente entre las coordenadas 13° - 20° N y 13° - 40° N de latitud y 88° - 20° W y 88° - 40° W de longitud. Hacia el centro de esta región está ubicado el complejo volcánico Tecapa constituido por los cráteres de la Laguna de Alegria, Laguna Ciega y Cerro Pelón. Las ciudades de Berlín y Santiago de María, así como el Campo Geotérmico de Berlín y Presa Hidroeléctrica 15 de Septiembre (San Lorenzo) se encuentran también en la región (Ver figura 1).

La sismicidad base del área considerada en los últimos 10 años no es despreciable, ya que aunque no se tienen datos exactos de la ubicación de hipocentros, la estación sismográfica de

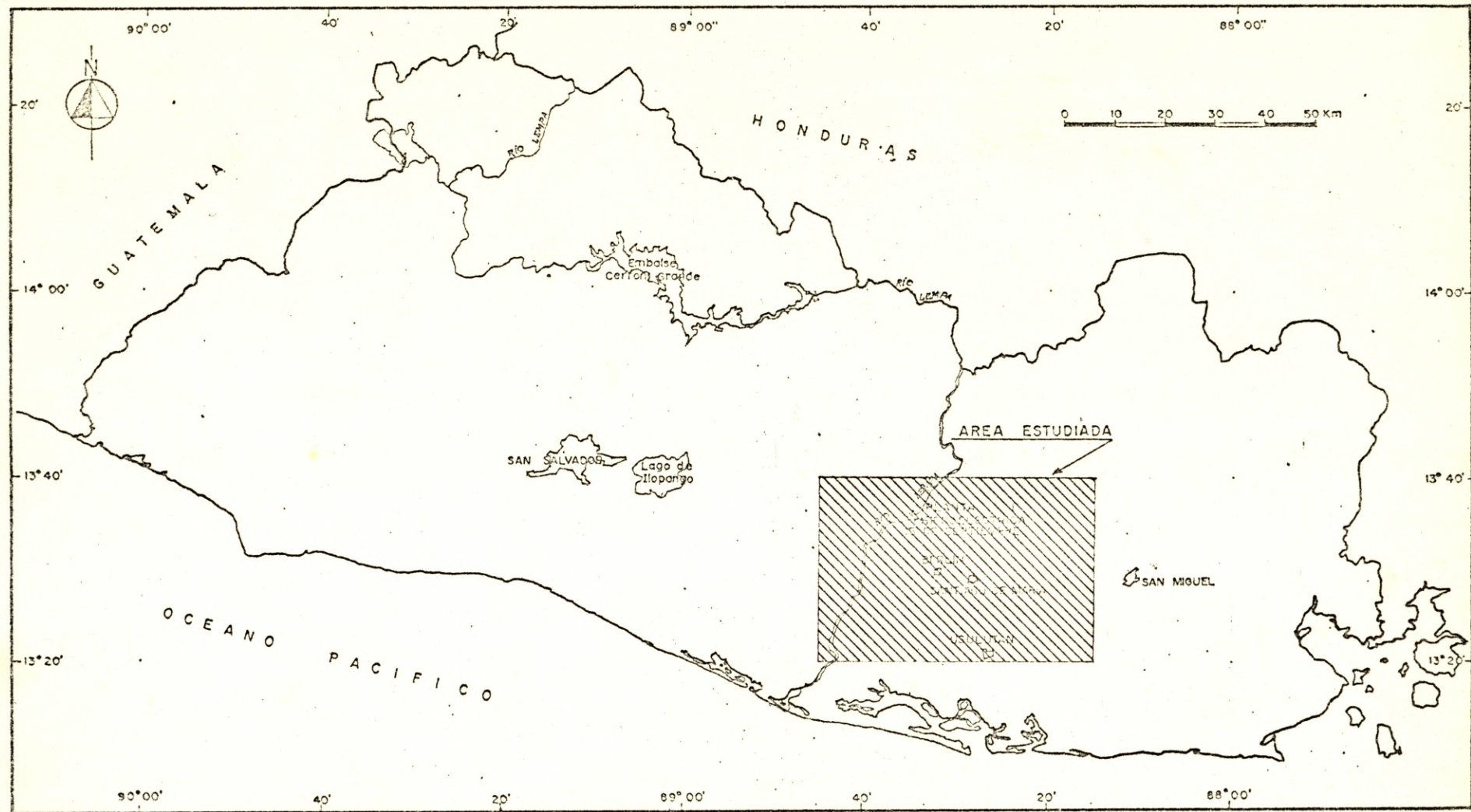


FIG. I UBICACION DEL AREA BAJO ESTUDIO

SIMBOLOGIA

△ RED SISMOLOGICA ANTES DE 1983

● NUEVA RED TELEMETRICA

○ ESTACIONES PROYECTADAS

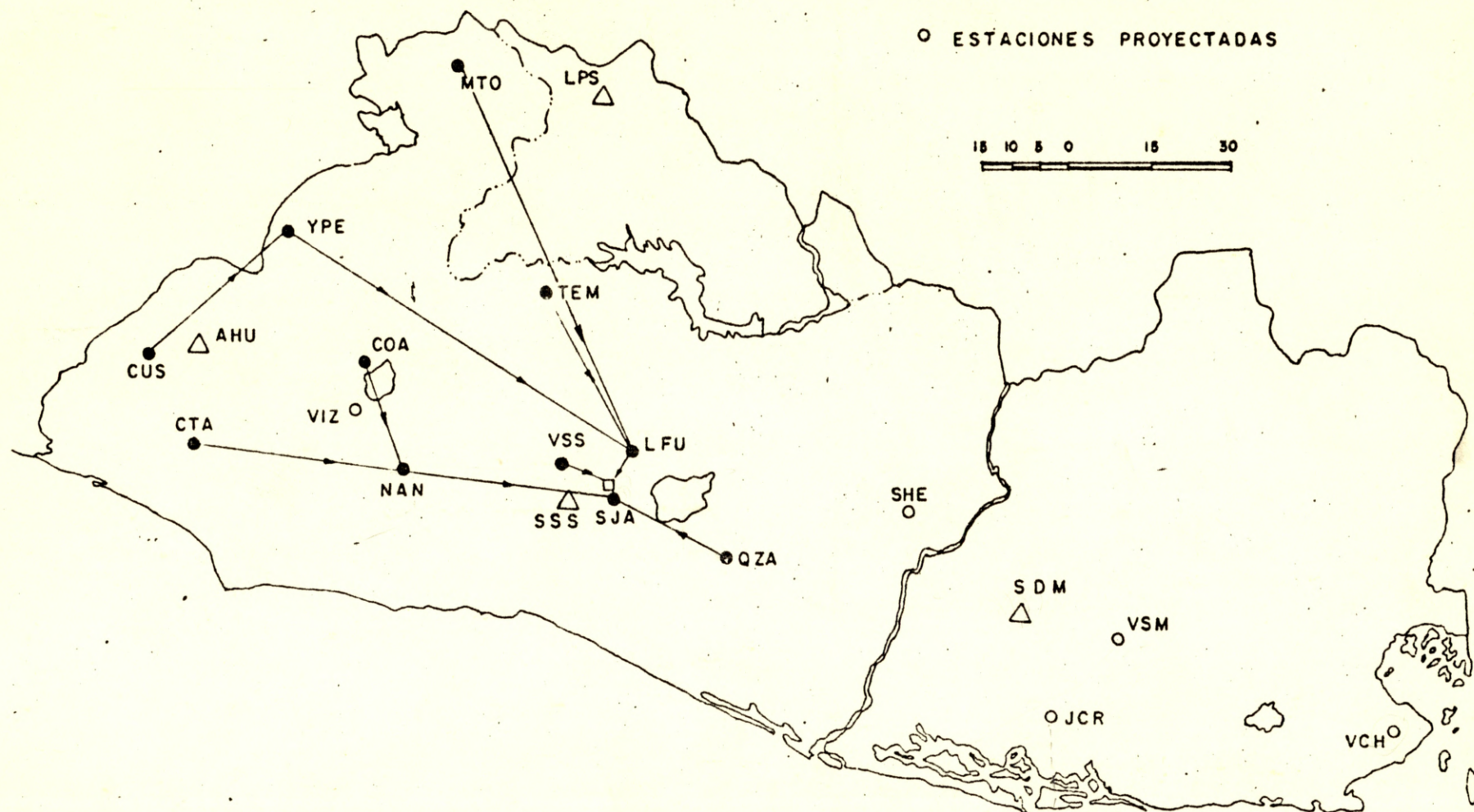


FIG. 2 LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES TELEMETRICAS INSTALADAS Y PROYECTADAS

Santiago de María registra una gran cantidad de sismos durante este intervalo de tiempo, con una diferencia de tiempo de arribo de las ondas S y P del orden de 1 segundo, lo que indica una distancia epicentral muy pequeña. Sin embargo, esa sismicidad no puede ser estudiada con exactitud debido a que la magnitud de los sismos es por lo general muy pequeña y por lo tanto no han sido detectados por las otras dos estaciones comunmente en funcionamiento en el país (La Palma y San Salvador). Además, la estación de Santiago de María no ha estado funcionando en forma continua. La ubicación de las estaciones puede verse en la figura 2 y los epicentros localizados en el período del 21 de Abril al 31 de Mayo pueden observarse en la figura 3.

En 1984 se inició la instalación de una moderna red sísmográfica telemétrica (fig.2) en el país. Sin embargo, la situación imperante en el norte y oriente del país hizo que la mayor parte de las estaciones fueran instaladas en la región central y occidental. Como consecuencia de esto, existe una deficiencia de estaciones al sur y oriente de la región de Berlín que origina un error en la localización de los epicentros desplazándolos, probablemente, hacia el noroeste (fig.3). A finales del mes de Mayo visitó el país el Dr. David Harlow del USGS, quien hizo una evaluación preliminar del problema (Harlow, 1985) y recomendó realizar un monitoreo conjunto del fenómeno por parte de CEL y el Centro de Investigaciones Geotécnicas CIG, realizando mediciones geoquímicas y geofísicas en la zona, así como manteniendo el conteo diario de sismos y localizándolos cada vez que fuera posible. Además, Harlow recomendó la instalación de más estaciones al sur y oriente de Berlín, con el objeto de obtener información más exacta de los hipocentros.

A principios de Junio, técnicos de CEL realizaron una investigación de campo (Hernández, 1985), identificando las dos grietas mostradas en la figura 3 y que ya habían sido reportadas por técnicos del CIG.

Es necesario hacer notar que tanto en el reporte de Harlow como en el de Hernández se destaca la necesidad de realizar mayores investigaciones a fin de determinar la naturaleza predominante del fenómeno.

Posteriormente, el CIG recibió carta y un artículo de Dr. Michael J. Carr. En su carta el Dr. Carr señala la conveniencia de realizar una investigación de la sismicidad acumulada hora a hora y día a día con el objeto de encontrar una correlación con las mareas de tierra. La hipótesis de la existencia de esta correlación se basa en el trabajo reportado por el Dr. Carr en el artículo enviado, y que trata sobre la actividad sísmica asociada a la erupción volcánica en el Lago de Ilopango que dio origen a las islas conocidas como "Islas Quemadas" a finales de 1879 y principios de 1880. Carr encontró una clara correlación entre la actividad sísmica acumulada hora a hora y día a día y las mareas. Para realizar este trabajo se basó en la información cualitativa del fenómeno, que proporciona el Geólogo Goodyear en su narración del fenómeno.

Mediante la asignación de un peso estadístico a cada uno de los eventos reportados por Goodyear, Carr pudo evaluar la sismicidad y correlacionarla con las mareas de tierra calculadas

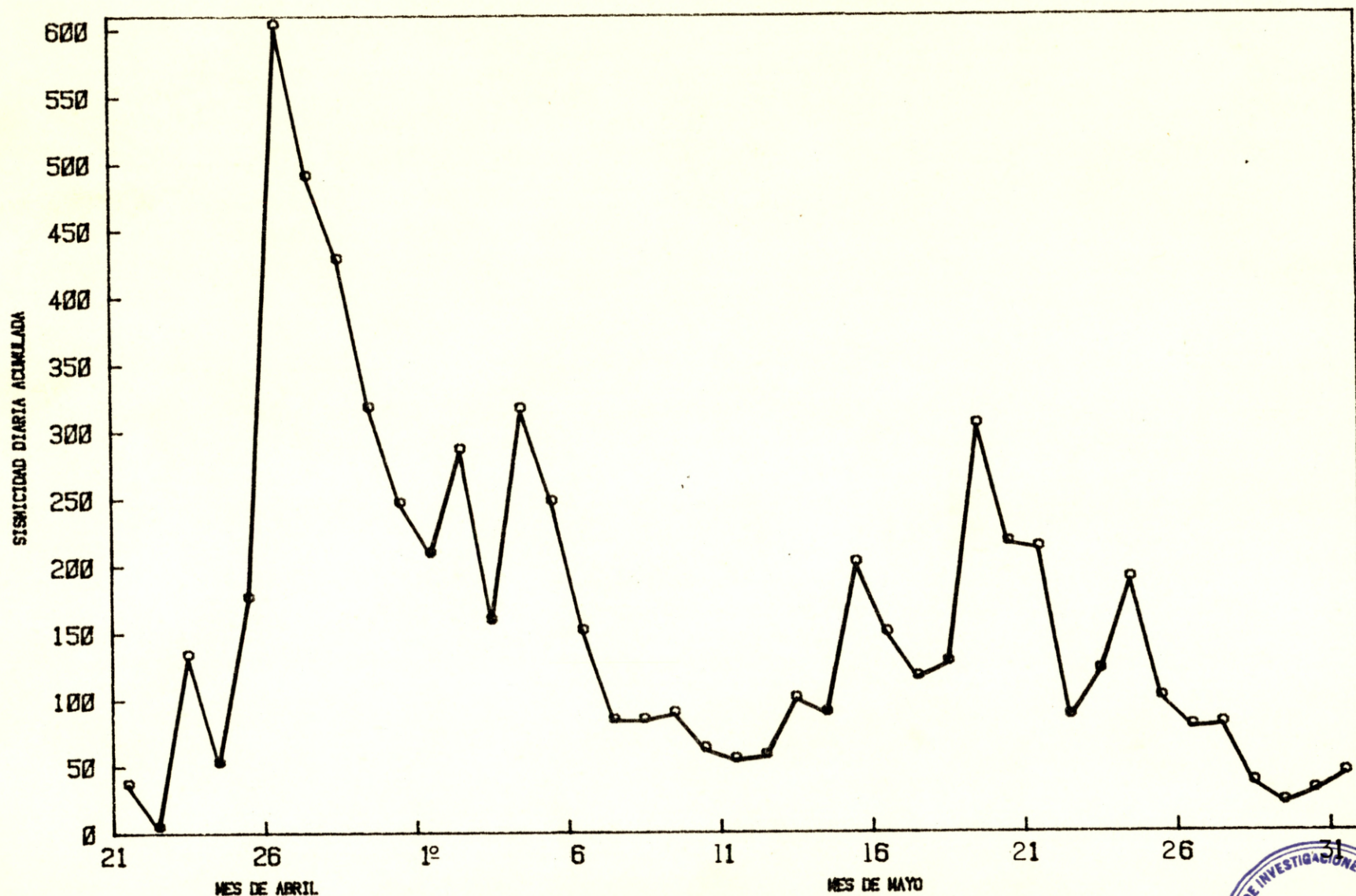


FIG. 5 SISMICIDAD ACUMULADA DIARIA BERLIN 21/4 A 31/5/85.



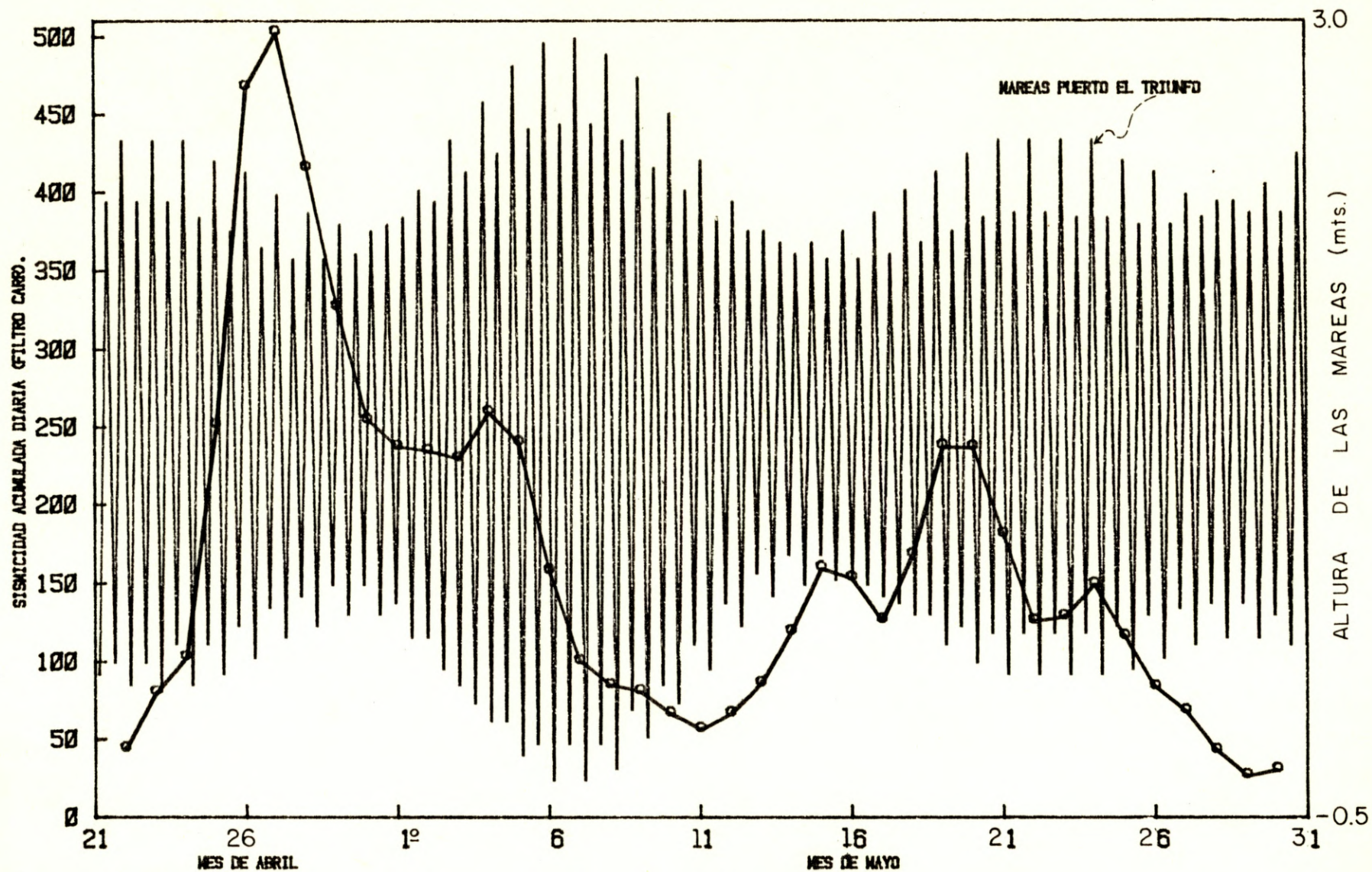


FIG.6 SISMICIDAD ACUMULADA DIARIA BERLIN Y CORRELACION CON MAREAS.

para las coordenadas del Lago de Ilopango en esas fechas.

Debido a que el Volcán Tecapa se encuentra cercano al Lago de Ilopango es de esperarse que si el fenómeno es de naturaleza volcánica, halla correlación entre las mareas y la actividad sísmica. Esta correlación se ha encontrado en otros eventos volcánicos del mundo (Carr, 1978). Además, teniendo a disposición información instrumental deberíamos esperar resultados mas objetivos.

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Para encontrar la correlación antes planteada se ha hecho uso de la información proporcionada por el Departamento de Sismología del CIG: determinación de hipocentros, tiempo de origen y magnitud basada en la duración de los eventos.

Primero se graficaron los epicentros en forma secuencial en el tiempo (ver fig. 3). Luego se unieron con líneas a fin de poder observar la tendencia espacial de la secuencia de eventos. Debe tenerse en cuenta aquí, que los epicentros considerados son unicamente aquellos de magnitud mayor que 2. Los sismos de magnitud menor no es posible ubicarlos con la información instrumental disponible. La secuencia de eventos puede observarse en la figura 4.

Para asignarle peso a los diferentes sismos fue necesario considerar la fórmula utilizada por el CIG para determinar la magnitud de los sismos como función de la duración en segundos (D), la distancia epicentral (d) y la profundidad (Z). La fórmula es la siguiente:

$$M = -0.87 + 2 \log(D) + 0.0036(d) + 0.013(Z)$$

donde M es la magnitud.

Considerando la distancia epicentral de la estación mas cercana (30 km.), las profundidades mas frecuentes: 15, 20 y 25 km. y dividiendo el espectro de magnitudes en los siguientes rangos, se encontró la siguiente duración media de los sismos:

RANGO DE MAGNITUD	DURACION(seg.)	PESO ASIGNADO
$M < 2$	~ 1	1
$2.0 \leq M < 3.0$	3.16	3
$3.0 \leq M < 4.0$	10.00	10
$4.0 \leq M < 5.0$	31.63	32

La sismicidad acumulada por día vrs. tiempo se graficó en la figura 5. Debido a que la periodicidad de las mareas es de aproximadamente 2 semanas se decidió filtrar los datos a fin de eliminar la sismicidad de período corto. Se trabajo con el filtro Sheppard y el Hanning, así como con el utilizado por Carr. De estos metodos de filtrado, el que resulto suavizar mejor la curva fue el de Carr. El filtro Carr consiste en tomar los datos del día (o la hora) anterior ($X(i-1)$), el día considerado (X_i) y el día (o la hora) siguiente ($X(i+1)$); dándoles un peso estadístico de 0.25, 0.50 y 0.25 respectivamente. De esta mane-

ra, el valor de la sismicidad filtrada X_i' viene dada por:

$$X_i' = 0.50X_i + 0.25[X(i-1) + X(i+1)]$$

La sismicidad acumulada por día (filtrada con el método de Carr) vrs. tiempo para el período del 21 de Abril al 31 de Mayo aparece graficada en la figura 6. Tanto en la figura 5 como en la 6 puede verse que las semanas de mayor actividad sísmica fueron las del 24 al 30 de Abril inclusive, y la del 14 al 21 de Mayo. Las figuras 7 y 8 ilustran la sismicidad acumulada por hora y filtrada con el método Carr para estos dos períodos.

La evaluación de las mareas de tierra no fue posible hacerla debido a que no se cuenta con el programa de computación que permite su evaluación. Este programa fue solicitado al Dr. Carr pero aún no ha sido recibido. Sin embargo, se consideró que si existía correlación con las mareas de tierra debería existir correlación con las mareas de agua del puerto más cercano. El Instituto Geográfico Nacional publica datos de mareas para los diferentes puertos del país, siendo el más cercano al Tecapa, el puerto El Triunfo (ver figura 2). Por esa razón se utilizaron datos de mareas de agua en lugar de mareas de tierra para poder establecer una correlación preliminar. Para esto se transformó la hora nacional en hora Greenwich sumándole 6 horas. En las figuras 6, 7 y 8 pueden observarse los datos de mareas graficados junto con la sismicidad acumulada.

La correlación aquí observada no es definitiva, en el futuro deberá establecerse la comparación nuevamente con las mareas de tierra calculadas para las coordenadas del volcán Tecapa.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la figura 3 encontramos graficadas las principales estructuras tectónicas de la región bajo estudio, así como los volcanes, epicentros de los sismos ocurridos en el período de tiempo considerado y delineamiento de las dos grietas que se formaron durante el máximo de sismicidad del mes de Abril que aparece en la figura 5. En la figura 4 aparecen los epicentros unidos por flechas a fin de poder observar mejor la secuencia de eventos localizados (o sea los de mayor magnitud). En estas figuras puede verse que los sismos parecen obedecer al movimiento de los sistemas de fallas predominantes en la región, especialmente las de rumbo este-oeste y N30W, estas últimas coinciden en dirección con las grietas formadas. Estas grietas que han tenido un desplazamiento vertical del orden de 30 cms. corresponden a fallas antiguas reactivadas por la reciente sismicidad (Santana de Zamora, comunicación verbal).

En la figura 5 aparece la sismicidad acumulada diaria para el período del 21 de Abril al 31 de Mayo de 1985. En esta gráfica puede observarse que el máximo mayor de sismicidad ocurre alrededor del día 27 de Abril, posteriormente se tiene dos máximos entre el 10. y 6 de Mayo, luego un mínimo bastante amplio entre el 7 y el 13 de Mayo, y finalmente fluctuaciones de período menor que 7 días del 14 al 31 de Mayo. Debe tenerse en

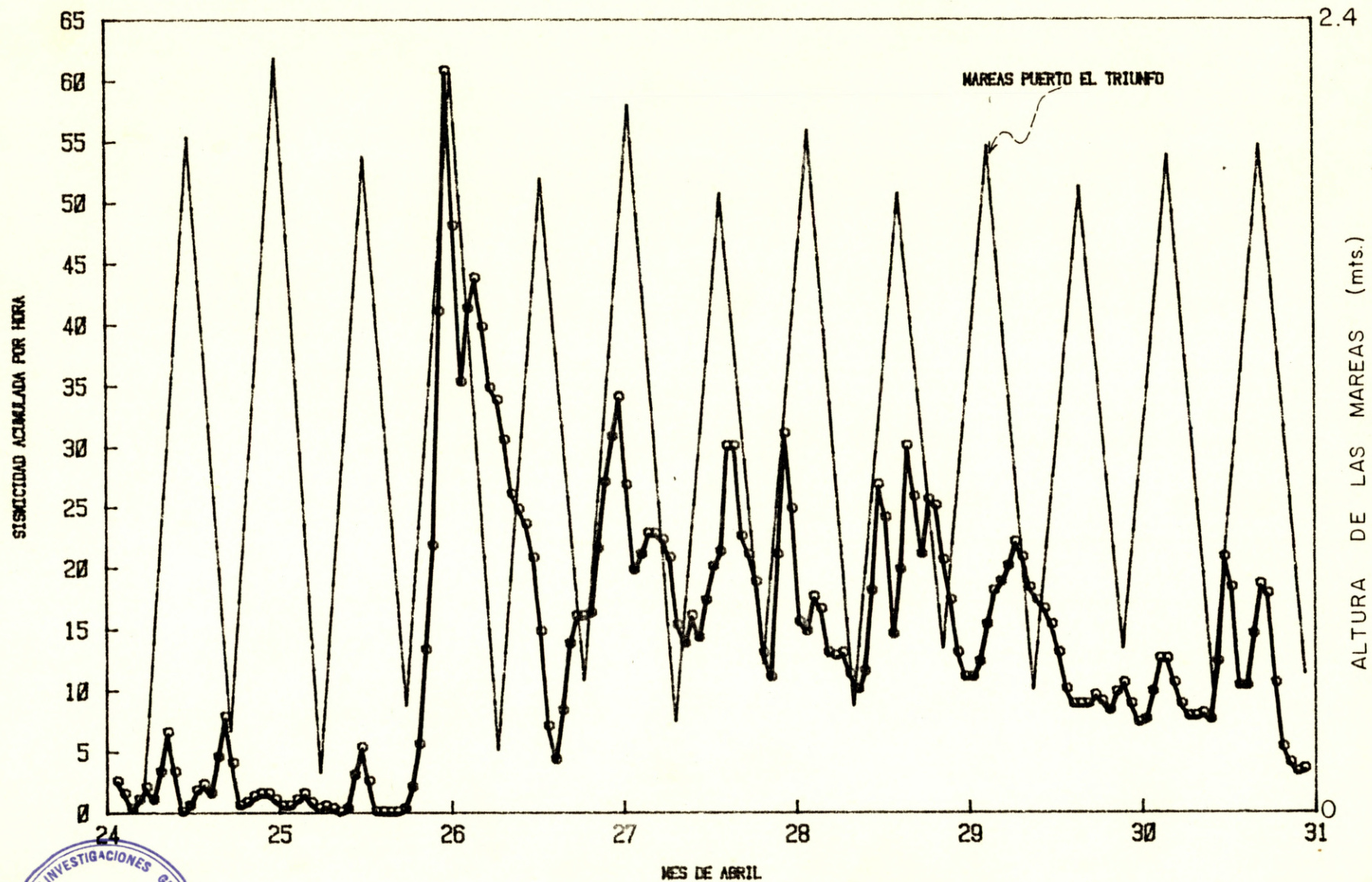


FIG.7 SISMICIDAD BERLIN ABRIL 24-30/1985 Y CORRELACION CON MAREAS.



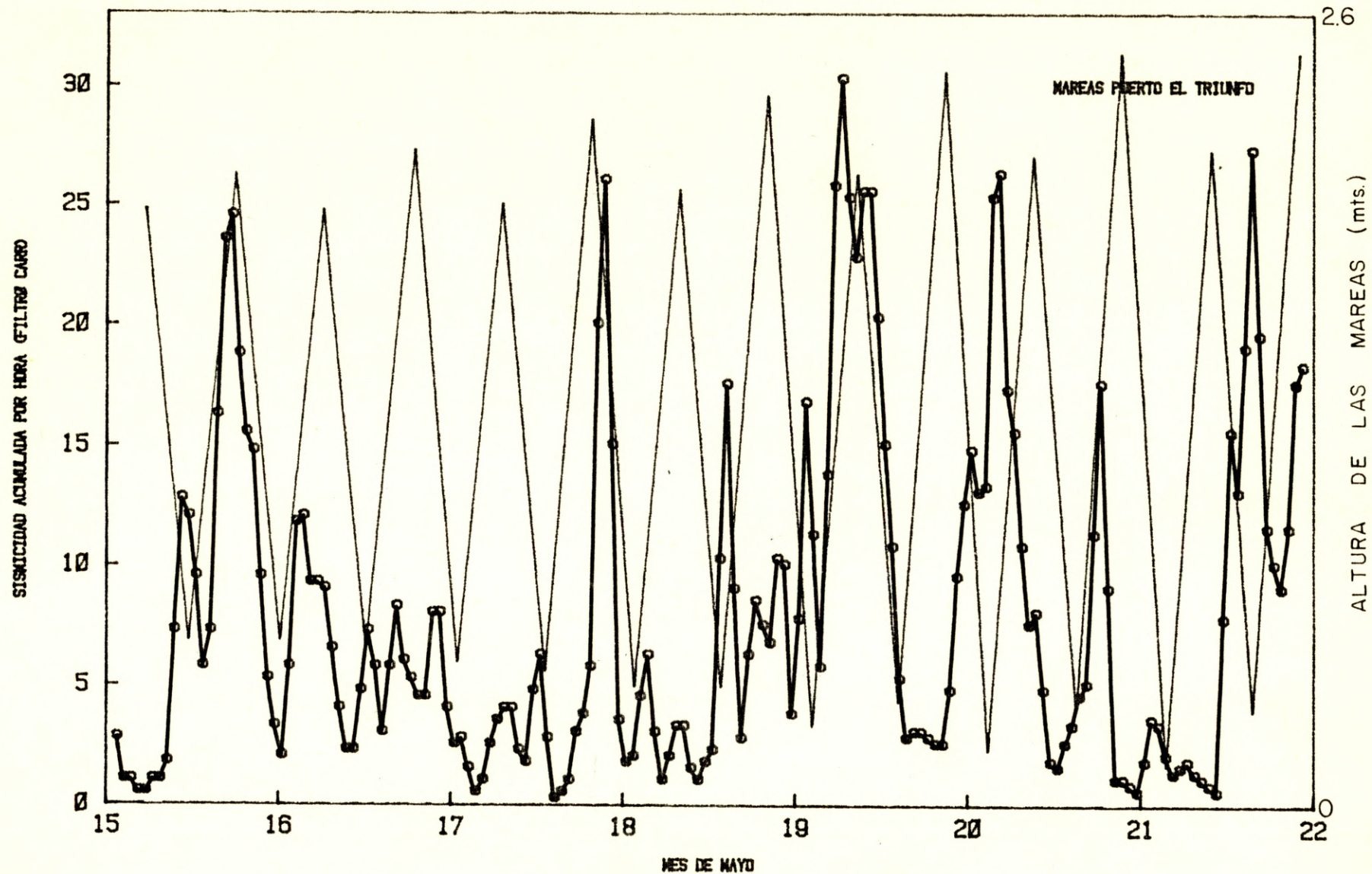


FIG.8 SISMICIDAD BERLIN 15-21 DEMAYO/85 Y CORRELACION CON MAREAS.

cuenta que los datos obtenidos tienen un margen de error debido a discontinuidades cortas de funcionamiento de las estaciones cercanas, tanto por falta de energía como por la situación bélica de la zona que impide algunas veces darle mantenimiento al equipo. Sin embargo, la gráfica mostrada es representativa del fenómeno ya que la información analizada ha sido abundante.

Con el objeto de eliminar las señales de período corto (menor que tres días) se filtraron los datos con el filtro utilizado por Carr y que describimos en la sección IV de este reporte. En la figura 6 aparece la sismicidad filtrada junto con la gráfica de las mareas del puerto El Triunfo para este lapso de tiempo. La correlación entre la sismicidad y las mareas no parece muy clara en la figura, pero si consideramos los puntos en los que ocurren cambios de pendiente mayores en la curva de sismicidad, si podemos ver que coinciden con los máximos o mínimos de mareas. Se debe tener en cuenta que la atracción luni-solar no es el único factor determinante de la sismicidad del área.

En las figuras 7 y 8 se ha considerado los períodos de mayor actividad sísmica: del 24 al 30 de Abril y del 14 al 21 de Mayo. Se utilizó el filtro Carr y se graficaron los datos junto con las mareas del puerto El Triunfo en base horaria.

La figura 7 muestra que de 13 máximos de marea, 11 coinciden con máximos de actividad sísmica, y de 13 mínimos de mareas, al menos 8 coinciden con mínimos de actividad sísmica. En forma similar, en la figura 8 puede verse que de 13 máximos de mareas, 9 coinciden con máximos de actividad sísmica y de 13 mínimos de mareas, 8 coinciden con mínimos de actividad sísmica. Existen perturbaciones de período menor que 12 horas que deben atribuirse a causas diferentes a la atracción luni-solar.

Las perturbaciones de período menor que 3 horas fueron eliminadas al usar el filtro Carr.

En las graficas 5, 6, 7 y 8 se ha unido directamente los puntos en lugar de usar el método convencional para graficar (trazando la mejor curva), esto se debe a que el enfoque del problema es buscando tendencias y no relaciones cuantitativas.

La correlación de las mareas con la sismicidad parece clara sobre todo al considerar los datos hora a hora. Este estudio indica que las variaciones de sismicidad están íntimamente asociados con la atracción luni-solar, lo cual parece evidenciar la naturaleza volcánica del fenómeno. Sin embargo, como es de esperarse, la localización de los epicentros y su secuencia apoyan, también, la idea de una sismicidad tectónica. Es decir, el fenómeno parece ser volcano-tectónico, como ocurre frecuentemente en regiones volcánicas adyacentes a zonas de subducción (fronteras de placas de la corteza terrestre) como ocurre en El Salvador (ver figura 9).

RECOMENDACIONES

Considerando que CEL tiene fuertes intereses económicos en la zona de Berlín, y que ésta es una región densamente poblada, es necesario que CEL y el CIG lleven a cabo el convenio de cooperación sugerido por Harlow a finales de Mayo. El estu-

dio continuo de este fenómeno permitiría, al menos, recopilar importante información científica que serviría como base para estudios futuros de fenómenos semejantes en el país. En el mejor de los casos, el monitoreo del proceso permitiría predecir su comportamiento futuro, lo que sería de vital importancia tanto para CEL como para la población de esa región.

Finalmente, es necesario señalar la importancia que tiene el funcionamiento continuo de los acelerógrafos instalados en las diferentes presas hidroeléctricas del país, particularmente la 15 de Septiembre, ya que al producirse un sismo de magnitud mayor, será necesario contar con los registros que permitan determinar la aceleración generada por él con el objeto de inferir si cae dentro del rango establecido en los contratos de construcción como en los de las compañías de seguros.

REFERENCIAS

- 1.- Carr, M.J. and Golombek, M.P., 1978. Tidal triggering of seismic and volcanic phenomena during the 1879-1880 eruption of Islas Quemadas Volcano in El Salvador, Central America. - Journal of Volcanology and Geothermal Research, 3:299-307.
- 2.-ELC, Campo Geotérmico de Berlín- Geología, Geocronología y Mineralogía Secundaria, Marzo 1981.
- 3.-Harlow, David H., 1985. Recent Earthquake Activity in Usulután Department, El Salvador. U.S. Agency for International Development.
- 4.- Hernández, Walter, 1985. Informe Preliminar de la Actividad Sísmica del Area de Berlín. Superintendencia de Recursos Geotérmicos, CEL.
- 5.- Santana de Zamora, A.. Comunicación Verbal. Superintendencia de Recursos Geotérmicos. CEL.



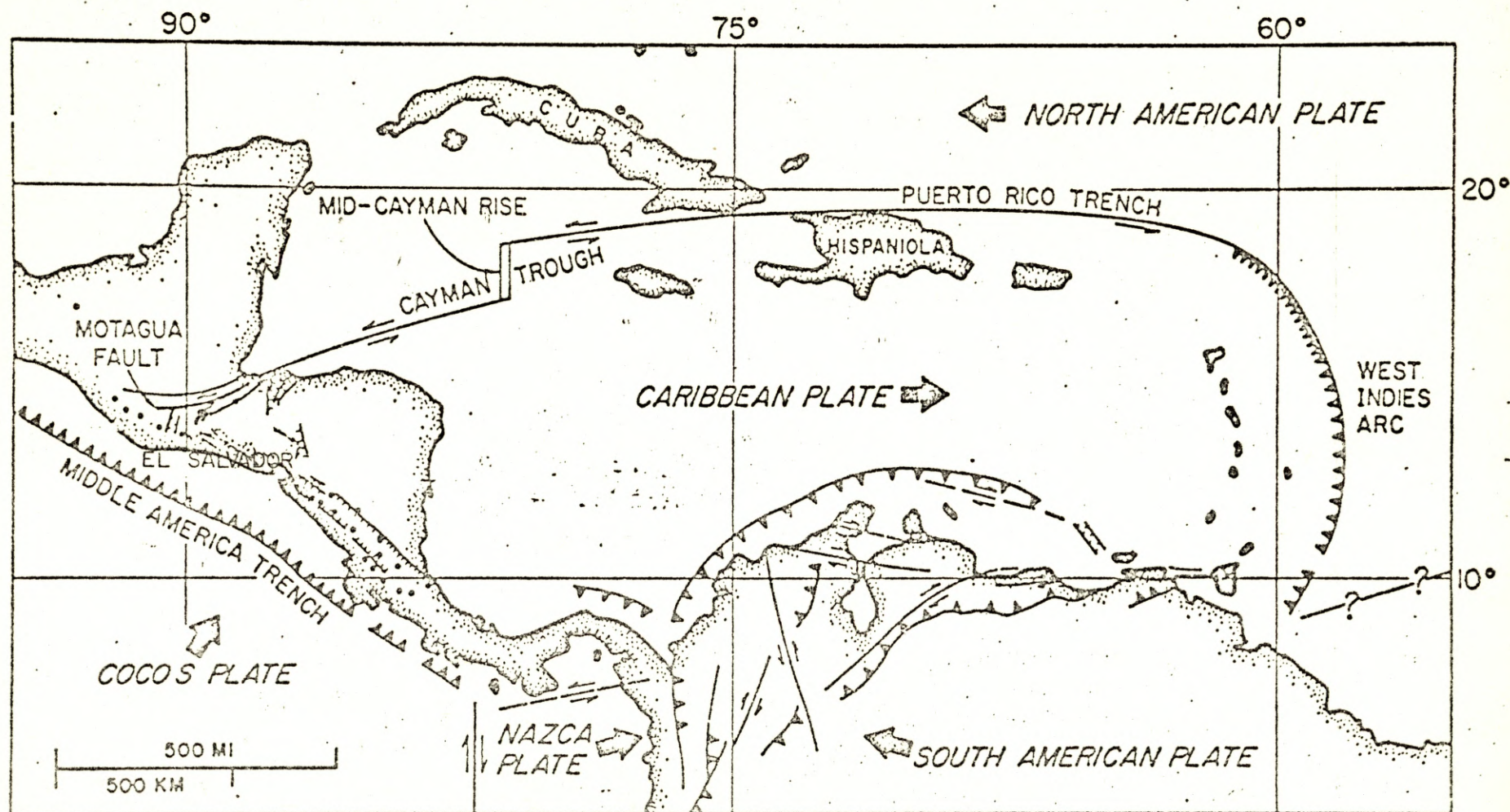


FIG. 9 UBICACION DE EL SALVADOR EN LA PLACA DEL CARIBE

INDICE

	Pag..
Introducción.....	1
Consideraciones sobre la actividad sísmica del area de Berlín.....	1
Metodología de Investigación.....	7
Resultados y Conclusiones.....	8
Recomendaciones.....	11
Referencias.....	12

FIGURAS

Fig.1.- Ubicación de la region bajo estudio.....	2
Fig.2.- Red de Estaciones Telemétricas Sismográficas de El Salvador.....	3
Fig.3.- Localización de los epicentros de los sismos Abril y Mayo del area de Berlín..... (Mapa Anexo)	
Fig.4.- Secuencia de los epicentros de la fig.3 (Mapa Anexo)	
Fig.5.- Sismicidad diaria acumulada Berlín 21/4 al 31/5 de 1985.....	5
Fig.6.- Sismicidad diaria acumulada de Berlin y correlación con Mareas.....	6
Fig.7.- Sismicidad de Berlín del 24-30 de Abril y correlación con Mareas.....	9
Fig.8.- Sismicidad de Berlín del 15-21 de Mayo y correlación con Mareas.....	10
Fig.9.- Ubicación de El Salvador en la Placa del Caribe....	13