

**LEVANTAMIENTO DE LA CORTEZA TERRESTRE
EN PUERTO ANGEL, OAX.
DETECTADO POR OBSERVACIONES MAREOGRAFICAS**

FRANCISCO GRIVEL PIÑA *
Y RUFFO ARCE UGARTE **

RESUMEN

Se analizan datos mareográficos (alturas horarias) de las estaciones de Salina Cruz, Oax., Puerto Angel, Oax., Manzanillo, Col., y Acapulco, Gro. Al establecer una comparación entre los niveles medios anuales del mar en estas estaciones, se observa una anomalía en el de Puerto Angel en el año de 1966. Con objeto de detectar esta anomalía con más precisión y establecer la fecha de la ocurrencia, se hicieron filtrajes numéricos utilizando el filtro F_{49} de Groves. Los resultados de este filtraje muestran grandes variaciones del nivel medio diario del mar (0h y 12h) en la estación mareográfica de Puerto Angel. Una vez encontrada la fecha del inicio del abatimiento progresivo del nivel medio del mar, 17 de enero de 1966, en Puerto Angel se hizo una comparación entre las alturas horarias de la marea real con la pronosticada, para destacar más la evidencia de un levantamiento de la corteza en este puerto. El levantamiento de la corteza terrestre es del orden de los 14 cm, que hasta la fecha no ha vuelto a recuperarse.

* *Instituto de Geofísica, UNAM y Secretaría de Marina.*

** *Instituto de Geofísica, UNAM.*

ABSTRACT

Hourly tide-gage readings for the Pacific coastal stations at Salina Cruz, Oax., Puerto Angel, Oax., Manzanillo, Col., and Acapulco, Gro., are compared, and an anomaly is found in the mean annual sea level at Puerto Angel after 1966. Numerical filtering of the data, using Groves'F₄₉ filter, allows a precise discrimination of the anomaly from the large-amplitude daily fluctuations at Puerto Angel. A gradual descent of the mean sea level occurs over a period of two weeks after January 17, 1966; this change is compared to the hourly forecasts of the tide at Puerto Angel. The anomaly is attributed to a coastal uplift of order 14 cm during an episode of local seismic activity. The uplift did not subside during the following year and may be considered permanent.

INTRODUCCION

Las observaciones de la marea en las costas, islas, aguas profundas, etc., son múltiples y sirven:

- a) Para conocer su propagación y distribución en las diferentes fosas oceánicas, en las costas y aguas interiores.
- b) Para determinar el nivel medio del mar y otros planos de referencia con fines de levantamientos hidrográficos y geodésicos, obras marítimas, delimitación de zona federal, etcétera.
- c) Para obtener la información necesaria para el cálculo de las constantes armónicas y con ellas realizar el pronóstico de las mareas.
- d) Para apoyar el Sistema Nacional e Internacional de Alarmas contra maremotos, en la detección de mareas anormales, provocadas por terremotos o deslizamientos submarinos.
- e) Para hacer posible la investigación acerca de las fluctuaciones del nivel del mar y su relación con fenómenos meteorológicos y movimientos de la corteza terrestre.

OBSERVACIONES DEL CASO

La información mareográfica en Puerto Angel, Oax., (fig 1) se obtiene mediante un mareógrafo automático standard, en una estación primaria que forma parte de la red básica mantenida por el Instituto de Geofísica de la UNAM. La caseta del mareógrafo está apoyada en el piso del muelle y la regla de mareas en uno de los pilotes del mismo. También existen seis bancos de nivel, de los cuales tres están empotrados en diferentes sitios del piso del muelle y los otros tres en tierra firme.

El Instituto de Geofísica, por conducto del Servicio Mareográfico, realiza periódicamente visitas de inspección a sus estaciones

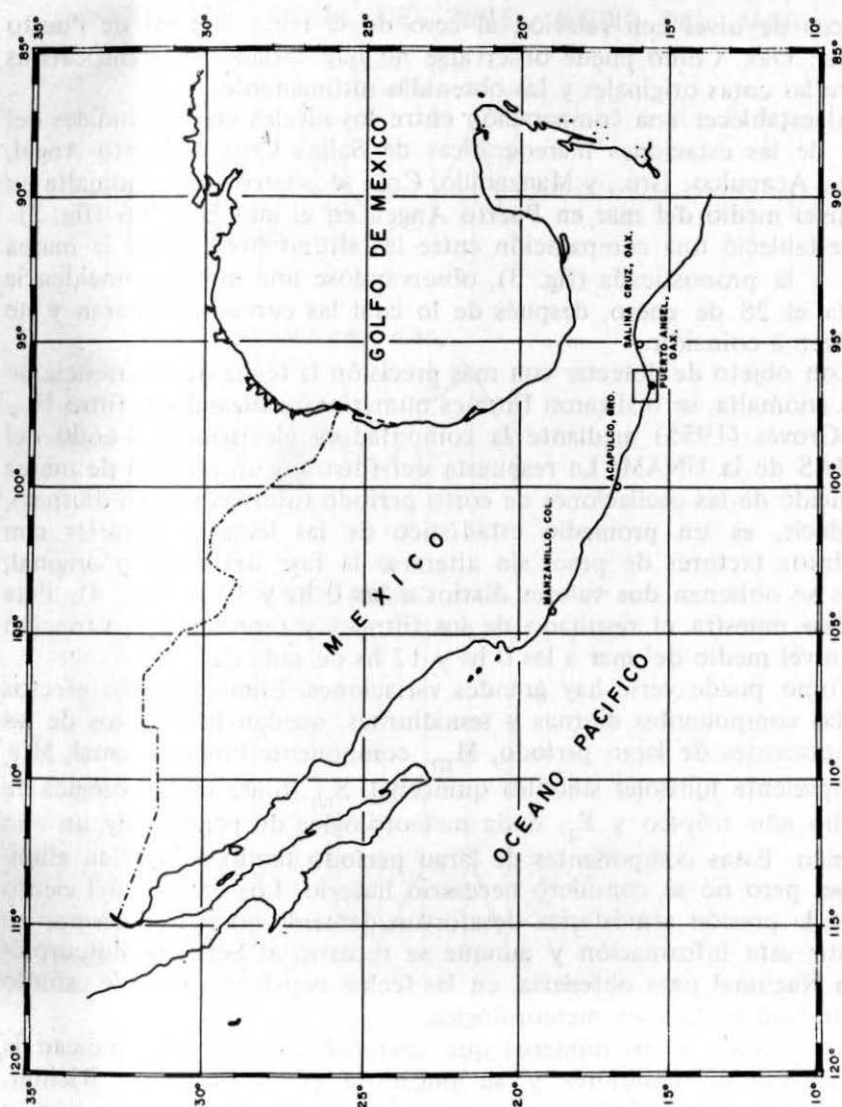


Fig. 1

efectuando la revisión y verificación del buen funcionamiento de los mareógrafos, así como nivelaciones para ligar el cero de la regla de mareas a todos los bancos de nivel de cada estación mareográfica. En la Tabla I se presentan las cotas de los

bancos de nivel con relación al cero de la regla original de Puerto Angel, Oax. Como puede observarse no hay variaciones significativas entre las cotas originales y las obtenidas últimamente.

Al establecer una comparación entre los niveles medios anuales del mar de las estaciones mareográficas de Salina Cruz y Puerto Angel, Oax., Acapulco, Gro., y Manzanillo, Col., se observó una anomalía en el nivel medio del mar en Puerto Angel, en el año de 1966 (fig. 2). Se estableció una comparación entre las alturas horarias de la marea real y la pronosticada (fig. 3), observándose una buena coincidencia hasta el 28 de enero, después de lo cual las curvas se separan y no vuelven a coincidir.

Con objeto de detectar con más precisión la fecha de ocurrencia de esta anomalía, se realizaron filtrajes numéricos utilizando el filtro F_{49} de Groves (1955) mediante la computadora electrónica B-6600 del CIMAS de la UNAM. La respuesta del filtro es un registro de marea reducido de las oscilaciones de corto periodo (diurnas y semi-diurnas), es decir, es un promedio estadístico de las lecturas horarias con distintos factores de peso, sin alterarse la fase del registro original, pues se obtienen dos valores diarios a las 0 hs y 12 hs (fig. 4). Esta gráfica muestra el resultado de los filtrajes y representa la variación del nivel medio del mar a las 0 hs y 12 hs de cada día.

Como puede verse hay grandes variaciones. Eliminados los efectos de las componentes diurnas y semidiurnas, quedan los efectos de las componentes de largo periodo, M_m , componente lunar mensual, M_{sf} , componente lunisolar sinódica quincenal, S_{sa} , onda meteorológica de medio año trópico y S_a , onda meteorológica de periodo de un año trópico. Estas componentes de largo periodo también podrían eliminarse, pero no se consideró necesario hacerlo. Los efectos del viento y de la presión atmosférica desafortunadamente no se indican por no existir esta información y aunque se recurrió al Servicio Meteorológico Nacional para obtenerla, en las fechas registradas en este estudio no trabajó la estación meteorológica.

Las flechas y los números que aparecen en la gráfica indican la ocurrencia de temblores y su magnitud en la escala de Richter, observándose que hubo una gran actividad sísmica en la región, a partir del 17 de enero de 1966. Los sismos que se indican quedan dentro de la región comprendida entre Manzanillo y los límites con Guatemala, en la Trinchera Mesoamericana y los originados en tierra firme cercanos a la zona de estudio. Únicamente se incluyeron sismos de magnitudes mayores de 3.5 en la escala de Richter (Tabla II).

VARIACION ANUAL DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

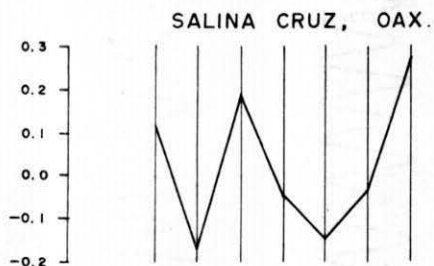
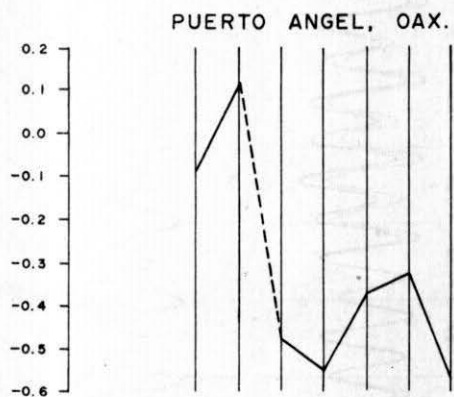
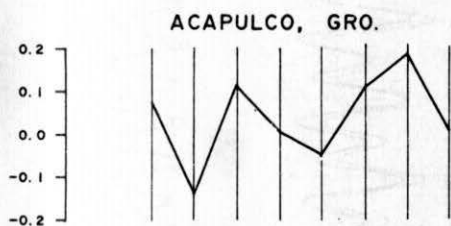
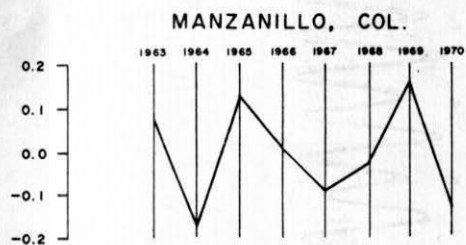
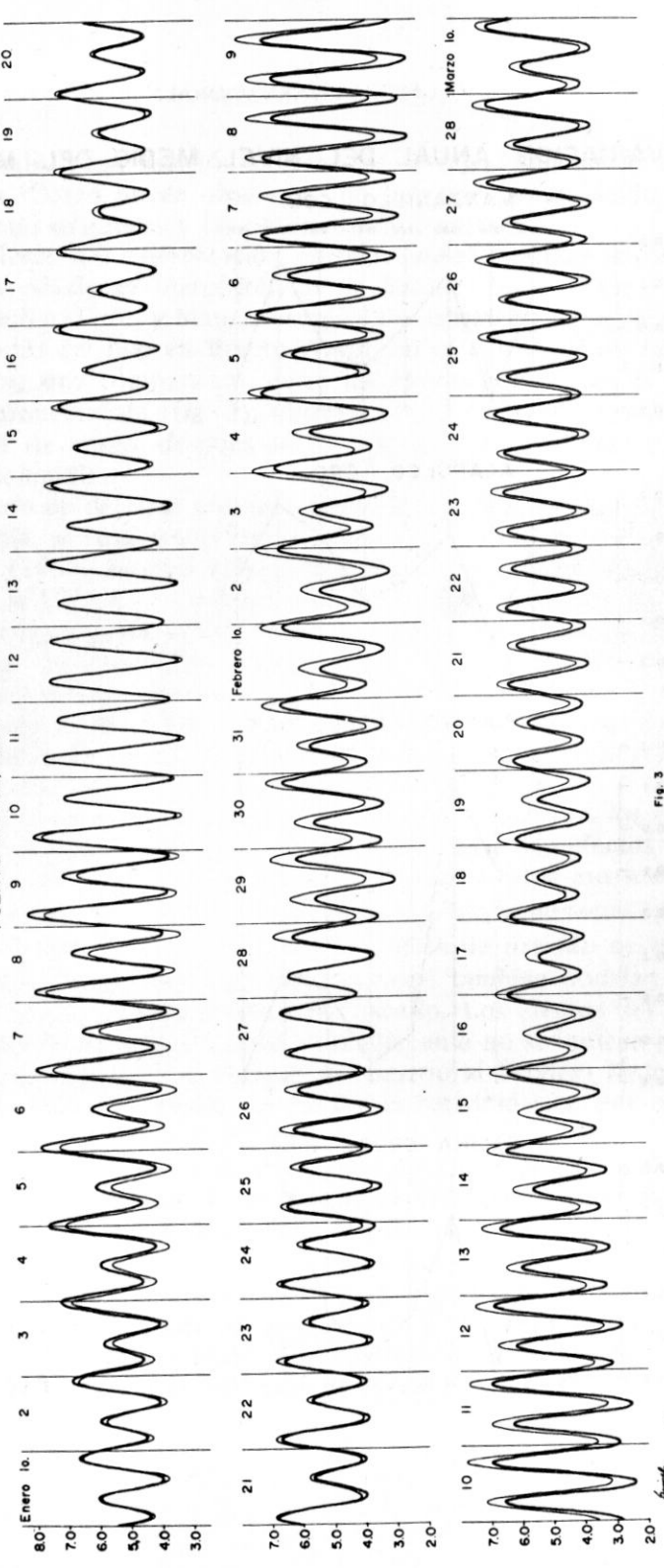


Fig. 2

COMPARACION ENTRE LAS ALTURAS HORARIAS REALES DE LA MAREA Y LAS PRONOSTICADAS, AÑO 1966.
 PUERTO ANGEL, OAX.

— ALTURAS REALES
 — ALTURAS PRONOSTICADAS



Sanchez et al.

Fig. 3

TABLA II.

LOCALIZACION DE LOS EPICENTROS CORRESPONDIENTES A LOS TEMBLORES OCURRIDOS EN LA ZONA DE ESTUDIO, CON MAGNITUD MAYOR A 3.5 DE LA ESCALA DE RICHTER (4 DE OCTUBRE DE 1965 A 29 DE MARZO DE 1966).

Fecha	Hora del Epicentro (90° W)	Magnitud	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Octubre 4	18h 06m 14s	4.4	15°53' N	96°09' W
Octubre 4	23h 06m 06s	4.7	15°53' N	96°09' W
Octubre 6	20h 37m 02s	4.1	16°03' N	95°29' W
Octubre 9	01h 47m 13s	5.5	16°13' N	97°11' W
Octubre 9	03h 37m 08s	4.5	15°50' N	92°50' W
Octubre 10	19h 10m 54s	3.9	16°29' N	98°13' W
Octubre 18	16h 50m 44s	5.6	15°32' N	95°38' W
Octubre 18	23h 12m 40s	4.5	18°55' N	101°43' W
Octubre 21	05h 50m 04s	3.7	16°15' N	93°31' W
Octubre 25	11h 05m 25s	5.7	17°14' N	94°37' W
Octubre 26	02h 02m 08s	3.8	17°01' N	101°11' W
Octubre 26	08h 58m 48s	4.3	13°48' N	91°47' W
Octubre 27	05h 20m 48s	4.7	16°04' N	99°33' W
Octubre 30	06h 47m 05s	3.9	14°32' N	92°19' W
Noviembre 1o.	03h 54m 15s	5.0	16°32' N	99°43' W
Noviembre 4	07h 48m 53s	4.7	18°17' N	103°19' W
Noviembre 10	15h 01m 15s	4.5	18°12' N	105°20' W
Noviembre 13	00h 47m 56s	3.6	17°01' n	101°11' W
Noviembre 13	04h 41m 12s	3.7	14°59' N	99°31' W
Noviembre 18	03h 23m 21s	5.0	16°27' N	95°26' W
Noviembre 20	21h 30m 54s	4.4	14°00' N	92°12' W
Noviembre 21	15h 39m 08s	5.2	14°59' N	99°31' W
Noviembre 25	04h 50m 39s	5.8	17°06' N	100°24' W
Noviembre 26	04h 05m 04s	4.7	16°42' N	98°12' W
Noviembre 29	21h 52m 01s	3.8	16°43' N	93°05' W
Diciembre 1o.	14h 21m 57s	5.5	15°53' N	96°09' W
Diciembre 1o.	21h 15m 56s	4.8	16°23' N	98°52' W
Diciembre 1o.	21h 48m 22s	4.4	16°23' N	98°52' W
Diciembre 6	05h 34m 47s	6.1	19°00' N	107°21' W
Diciembre 6	12h 42m 23s	5.6	19°00' N	107°21' W
Diciembre 9	00h 07m 37s	6.8	16°33' N	100°09' W
Diciembre 11	09h 30m 08s	4.2	14°12' N	90°48' W
Diciembre 20	00h 25m 37s	4.8	16°53' N	100°20' W
Diciembre 21	02h 40m 50s	5.3	16°08' N	98°19' W
Diciembre 22	20h 44m 46s	4.0	14°09' N	93°23' W
Diciembre 23	01h 56m 09s	3.9	14°09' N	93°23' W
Diciembre 23	05h 43m 01s	4.4	14°09' N	93°23' W

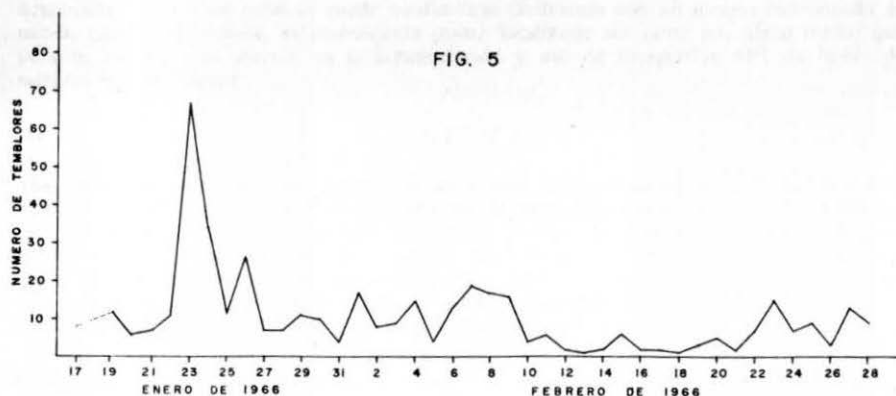
TABLA II.

LOCALIZACION DE LOS EPICENTROS CORRESPONDIENTES A LOS TEMBLORES OCURRIDOS EN LA ZONA DE ESTUDIO, CON MAGNITUD MAYOR A 3.5 DE LA ESCALA DE RICHTER (4 DE OCTUBRE DE 1965 A 29 DE MARZO DE 1966).

Fecha	Hora del Epicentro (90° W)	Magnitud	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
Enero 10. 1966	00h 36m 24s	4.5	16°22' N	97°48' W
Enero 9	18h 00m 35s	4.2	16°51' N	95°02' W
Enero 12	03h 55m 25s	4.6	16°56' N	100°40' W
Enero 12	06h 29m 28s	4.7	15°40' N	94°41' W
Enero 15	09h 46m 58s	4.6	18°02' N	100°46' W
Enero 17	00h 12m 06s	5.2	15°30' N	104°36' W
Enero 17	08h 42m 21s	4.6	13°48' N	91°47' W
Enero 22	01h 36m 54s	5.5	17°42' N	94°07' W
Enero 22	01h 47m 45s	4.7	18°55' N	101°43' W
Enero 22	18h 57m 29s	5.5	16°03' N	95°29' W
Enero 25	22h 45m 04s	4.7	16°03' N	95°29' W
Enero 27	13h 18m 35s	4.3	16°56' N	100°40' W
Enero 29	08h 40m 25s	5.5	15°54' N	91°30' W
Febrero 10.	09h 19m 32s	4.5	15°53' N	96°37' W
Febrero 10.	13h 22m 19s	4.7	16°23' N	98°52' W
Febrero 3	21h 42m 24s	3.6	17°31' N	95°18' W
Febrero 5	22h 12m 26s	5.2	16°51' N	93°18' W
Febrero 7	01h 40m 22s	4.9	19°00' N	108°18' W
Febrero 8	11h 06m 38s	5.5	18°31' n	106°34' W
Febrero 10	17h 31m 29s	4.4	14°32' N	92°19' W
Febrero 11	16h 38m 31s	4.1	19°05' N	102°35' W
Febrero 18	20h 00m 39s	5.2	15°24' N	94°22' W
Febrero 19	01h 30m 33s	4.1	18°02' N	100°46' W
Febrero 20	12h 24m 44s	4.8	16°33' N	100°09' W
Febrero 20	12h 59m 54s	5.1	16°33' N	100°09' W
Febrero 26	01h 54m 35s	4.8	15°20' N	92°13' W
Febrero 27	05h 49m 12s	4.3	14°32' N	92°19' W
Febrero 27	14H 44m 39s	5.1	18°04' N	103°35' W
Marzo 8	23h 08m 30s	5.1	16°03' N	95°29' W
Marzo 10	19h 32m 31s	4.9	15°25' N	103°55' W
Marzo 11	03h 49m 27s	4.6	15°25' N	103°55' W
Marzo 11	18h 53m 20s	4.6	14°43' N	93°20' W
Marzo 13	03h 39m 36s	4.2	16°56' N	100°40' W
Marzo 13	04h 01m 13s	4.1	16°31' N	100°23' W
Marzo 18	17h 36m 51s	4.2	14°43' N	93°20' W
Marzo 20	10h 26m 27s	4.4	14°26' N	94°29' W
Marzo 27	15h 07m 30s	3.6	14°43' N	93°20' W
Marzo 29	09h 37m 34s	3.7	16°46' N	95°54' W

A partir del 17 de enero de 1966, en que ocurrió un sismo de magnitud 5.2 en coordenadas $15^{\circ}30' N$ y $104^{\circ}36' W$, se observa en la gráfica un descenso progresivo del nivel medio diario del mar, el cual no ha vuelto a recuperarse hasta ahora, indicando un levantamiento de la corteza terrestre en la zona. Este movimiento se cuantificó por medio de las observaciones mareográficas, calculándose el nivel medio del mar antes y después de ocurrir dicho levantamiento. El nivel medio del mar, calculado con las observaciones realizadas de abril de 1964 a enero de 1966 y el calculado con las efectuadas de febrero de 1966 a diciembre de 1970, se muestran en la gráfica y arrojan una diferencia de 0.466 pies o sea 14 cm, magnitud aproximada del levantamiento de la corteza terrestre en la zona de Puerto Angel, Oax., sin poderse determinar su extensión. La ocurrencia total de este levantamiento fue progresiva, no como el ocurrido el 11 y 19 de mayo de 1962 en Acapulco, Gro., donde se registró un levantamiento brusco de 23 cm por sismos de una magnitud de 6.6 y 6.5 de la escala de Richter (Grivel, F. 1967).

El día 22 de enero de 1966, a las 18 h 57 m, se registró en Tacubaya, D. F., un sismo de magnitud de 5.5 de la escala de Richter, cuyo epicentro fue localizado a $16^{\circ}03' N$ y $95^{\circ}29' W$, a 112 km aproximadamente de Puerto Angel, Oax., en tierra firme. Después de este sismo, se registraron continuamente durante los días 23 y 24 de enero más de 130 pequeños sismos, registrados por la estación sismológica PBJ (Presa Benito Juárez), localizada a 150 km aproximadamente de Puerto Angel (el Boletín del Servicio Sismológico Nacional no da magnitudes de estos sismos ni su localización, sino



únicamente distancias aproximadas a los epicentros). A partir del día 17 de enero se observa en la gráfica un descenso del nivel del mar hasta el día 26 del mismo mes en que ocurrió un sismo de 4.7 de magnitud, localizado en las mismas coordenadas del anterior; el nivel del mar volvió a subir hasta el día 28 de enero en que bajó rápidamente, este descenso no ha vuelto a recuperarse hasta la fecha, atribuyéndose las subidas y bajadas del nivel del mar en estas fechas (17 al 28 de enero) a movimientos de la corteza terrestre detectados por las observaciones mareográficas. La figura 5 muestra el número de temblores diarios, ocurridos en el periodo del 17 de enero al 28 de febrero de 1966.

BIBLIOGRAFIA

- GROVES, G. W. 1955. Numerical Filters for discrimination against Tidal Periodicities. *Trans. American Geophys. Union*. 36 (6): 1075-1084.
- GRIVEL, F. 1967. Anomalías en el Nivel Medio del Mar en Acapulco, Gro., México. *Geofísica Internacional*, 7 (2): 53-61.