



Bulletin de l'Institut français d'études andines

ISSN: 0303-7495

secretariat@ifea.org.pe

Institut Français d'Études Andines

Organismo Internacional

Martínez G., Rodney

Ondas lineales barotrópicas en la atmósfera tropical y el litoral ecuatoriano-colombiano

Bulletin de l'Institut français d'études andines, vol. 27, núm. 3, 1998

Institut Français d'Études Andines

Lima, Organismo Internacional

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627316>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

ONDAS LINEALES BAROTRÓPICAS EN LA ATMÓSFERA TROPICAL Y EL LITORAL ECUATORIANO-COLOMBIANO*

Rodney MARTÍNEZ G. **

Resumen

Usando series de tiempo de promedios diarios de presión atmosférica, temperatura ambiental, temperatura superficial y nivel medio del mar en los años 1994-1995 en cinco estaciones costeras de Ecuador y Colombia y una estación en las Islas Galápagos (Ecuador) se aplicaron las técnicas del análisis espectral para determinar las oscilaciones existentes en el océano y la atmósfera. Se obtuvieron dos modos predominantes en la atmósfera tropical: la oscilación de 37 días con muy alta coherencia y muy próxima a la oscilación de Madden y Julian (1972), y una segunda oscilación de 17 días de alta coherencia, de características muy similares a la onda Kelvin ecuatorial detectada en el Pacífico central, Wunsch y Gill (1976). En el océano fueron detectadas un modo de 14,7 días con alta coherencia y gran energía en el espectro correspondiente probablemente a la componente de mareas lunisolar quincenal, y una oscilación de 9 días que sugiere características de una onda Kelvin ecuatorial del primer período baroclínico de 9 días, similar a la mencionada por Wallace (1971). Se detectó en los espectros de temperatura superficial del mar la presencia de oscilaciones que podrían tener naturaleza de ondas internas con períodos de 30, 18,5 y 10 días. Fueron caracterizadas las ondas estacionales predominantes, determinándose los niveles más altos de energía en la estación húmeda.

Palabras claves: *Análisis espectral, ondas atmosféricas, ondas oceánicas, Ecuador, Colombia, Océano Pacífico, ENSO, TSM.*

ONDES LINÉAIRES BAROTROPIQUES DANS L'ATMOSPHÈRE TROPICALE ET SUR LA CÔTE ÉQUATORIANO-COLOMBIENNE

Résumé

On a appliqué des techniques d'analyse spectrale pour mettre en évidence les oscillations dans l'océan et l'atmosphère sur des séries de moyennes journalières de pression atmosphérique, de température de l'air, de la mer et du niveau de l'océan, relevées dans cinq stations côtières de l'Équateur et de la Colombie et dans une station des îles Galápagos (Équateur), pour la période 1994-1995. On a obtenu deux modes prédominants dans l'atmosphère tropicale : une oscillation de 37 jours avec une très forte cohérence et proche de l'oscillation de Madden et Julian (1972) et une seconde oscillation de 17 jours, de forte cohérence, dont les caractéristiques sont très

* Síntesis de la Tesis de Grado, Facultad de Oceanografía Física-Cartagena-Colombia.

** Instituto Oceanográfico de la Armada, Av. 25 de julio, Base naval sur, PO Box 5940 Guayaquil-Ecuador. E-Mail: inocar@inocar.mil.ec

similaires à l'onde de Kelvin détectée dans le Pacifique Central Wunsh et Gill (1976). Dans l'océan, on a détecté un mode de 14,7 jours de forte cohérence et de grande énergie dans le spectre, correspondant probablement à la composante de marées lunaires-solaires bimensuelles et une oscillation de 9 jours qui suggère les caractéristiques d'une onde de Kelvin équatoriale de la première période baroclinique de 9 jours, similaire à celle mentionnée par Wallace (1971). On a détecté dans les spectres de température de surface de l'océan des oscillations qui pourraient être des ondes internes de période de 30, 18,5 et 10 jours. On a caractérisé des ondes saisonnières prédominantes pour lesquelles on a observé un maximum d'énergie au cours de la saison humide.

Mots-clés : *Analyse spectrale, ondes atmosphériques, ondes océaniques, Équateur, Colombie, Océan Pacifique, ENSO, TSM.*

LINEAR BAROTROPIC WAVES IN THE TROPICAL ATMOSPHERE AND ON THE EQUATORIAN-COLUMBIAN COAST

Abstract

Using time series of daily averages of atmospheric pressure, environmental temperature, superficial temperature and mean sea level during 1994-1995 in five stations from Ecuador, Colombia and one station in the Galápagos Islands (Ecuador) techniques of spectral analysis were applied in order to determine the existent oscillations in the ocean and the atmosphere. They were given two predominant modes in the tropical atmosphere: the oscillation of 37 days with high levels of coherence, very close to the oscillation of Madden and Julian (1972) and a second oscillation of 17 days with high coherence, of characteristic very similar to the Kelvin Equatorial wave detected in the central Pacific (Wunsh and Gill, 1976). In the ocean were detected: a mode of 14.7 days with high coherence and great energy in the spectra associated to the biweekly moon component. Finally an oscillation of 9 days, that suggests characteristic of a Kelvin equatorial wave of the first baroclinic mode of 9 days very similar to waves mentioned by Wallace (1971). The presence of oscillations were detected with periods of 30, 18.5 and 10 days in the spectra of superficial temperature of the sea that could have nature of internal waves. The most predominant seasonal waves were characterised, showing higher energy in the humid season.

Key words: *Spectral Analysis, Atmospheric waves, Oceanic waves, Ecuador, Colombia, Pacific Ocean, ENSO, SST.*

INTRODUCCIÓN

Las definiciones teóricas y analíticas de las ondas tropicales han sido ampliamente estudiadas. Una completa y detallada descripción es dada por Adrian Gill (1982), en la cual se habla de los resultados alcanzados con respecto a los trópicos, enfatizando aspectos como los de la guía de onda ecuatorial, las ondas planetarias y el movimiento cuasi-geostrófico, movimientos baroclínicos cercanos al Ecuador, circulación tropical en la atmósfera y corrientes tropicales oceánicas, entre otros.

Para 1989, Stephen Chiswell y Roger Lukas, mediante el experimento NORPAX, efectuado entre Hawai y Tahiti, determinaron espectros de nivel del mar y corriente en el Pacífico Central Ecuatorial. Se encontraron picos centrados en períodos aproximados de 10 días. La dispersión zonal mostró que estos picos eran causados por ondas de gravedad de Rossby.

En 1986, Benjamin S. Giese y D. E. Harrison describieron la respuesta al pulso oceánico Kelvin en un evento idealizado de estrés de vientos del oeste, usando resultados de la teoría lineal, así como un modelo de circulación general de 27 niveles.

En 1994 Jiansheng Zou y Mojib Latif publicaron un trabajo, derivado de anomalías de alturas del nivel del mar, obtenidas por satélite (altimetría-GEOSAT). Su trabajo permitió identificar 4 modos (90 días, 6 meses, 1 y 3-4 años), correspondiente este último a un fenómeno ENSO en el Pacífico tropical.

En junio de 1995, William S. Kessler, Michael Mc Phaden y Klaus Weickmann determinaron ondas Kelvin con un período de 30-90 días. Las ondas Kelvin que fueron observadas fueron forzadas al oeste de la línea internacional de la fecha y se propagaron a velocidad de 2,4 m/s, con alta coherencia zonal sobre unos 10 000 km.

En septiembre de 1995, Shoshiro Minobe y Kensuke Takeuchi, publicaron un estudio que analizaba la conducta de ondas ecuatoriales de período anual y su rol en las variaciones oceánicas, es decir el desplazamiento del nivel del mar, corriente zonal y temperatura superficial del mar a lo largo del Ecuador en el Pacífico.

Más recientemente, en diciembre de 1995, Jean Philippe Boulanger y Christophe Menkes determinaron que un potencialmente importante mecanismo del fenómeno ENSO, comúnmente conocido como un oscilador de acción retardada, involucra ondas Kelvin y Rossby y sus reflexiones en la frontera oeste del Pacífico.

La ausencia de estudios sobre la región litoral de Ecuador y Colombia, motivó caracterizar más focalizadamente la variabilidad atmosférica y oceánica en esta región del Pacífico, para correlacionarla con las teorías existentes para el Pacífico central y occidental.

1. ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS OBTENIDOS

Se utilizaron series de tiempo con promedios diarios de temperatura superficial del mar, temperatura ambiental, presión atmosférica y nivel medio del mar para los años 1994-1995.

Los datos obtenidos corresponden a 3 estaciones meteorológicas y mareográficas en el litoral ecuatoriano: Esmeraldas (Lat: 0°56,25'N-Long: 79°56,7'W), Manta (Lat: 0°55,0'S-Long: 80°42,5'W), y La Libertad (Lat: 2°15'S-Long: 81°27'W); una estación

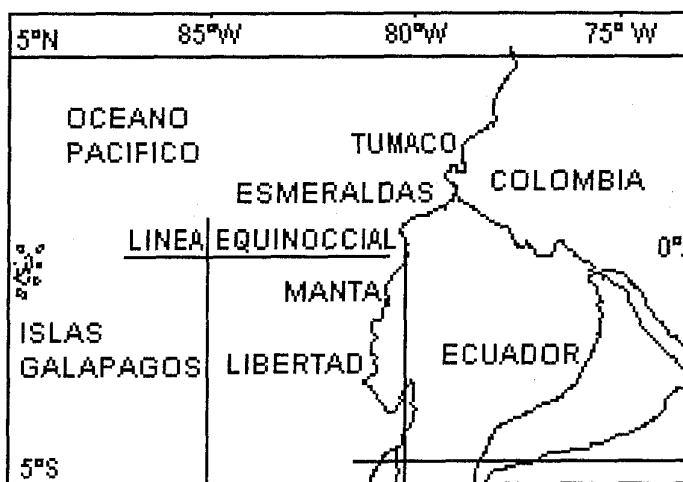


Fig. 1 - Ubicación de las estaciones en estudio.

ubicada en la isla Baltra del Archipiélago de Galápagos (Lat: 0°05'S-Long: 90°23,3'W) y dos estaciones ubicadas en Colombia, Tumaco (Lat: 1°45'N-Long: 78°47,5'W) y Buenaventura (Lat: 3°55'N-Long: 77°00'W).

2. METODOLOGÍA

Las series de tiempo fueron analizadas individualmente. Se verificó en primera instancia, los datos faltantes. Por la escasa cantidad de datos, fueron interpolados mediante el polinomio de interpolación cúbica (*cubic spline*).

El intervalo de muestreo para las series fue de 1 día, la frecuencia de muestreo 1, de tal forma que las frecuencias altas (ondas capilares, de ultragravedad, infragravedad) y marea fueron filtradas en el muestreo.

La frecuencia Nyquist, para todas las series de datos, fue de 0,5 ciclos/día ($T=2$ días).

Las series de datos completas, fueron procesadas estadísticamente, para comprobar su distribución de frecuencias, y tener la referencia de los indicadores estadísticos (media, mediana, desviación standard y varianza).

Los espectros de energía o autoespectros fueron calculados usando el método del periodograma promedio de Welch (1986). La serie de tiempo fue dividida en secciones, cada una de la cuales fue normalizada y removida la tendencia lineal; posteriormente se les aplicó una ventana "*hanning*", del tamaño de las secciones para la eliminación de lóbulos laterales. Las magnitudes elevadas al cuadrado de la transformada discreta de Fourier de las distintas secciones fueron promediadas para formar el autoespectro; el número de secciones traslapadas para el promedio dieron los grados de libertad para establecer un intervalo de confianza de 95%.

Todos los espectros fueron calculados utilizando 20 grados de libertad, de tal manera de alcanzar la estabilidad estadística, sacrificando al mínimo la resolución de la señal. Las variaciones producidas al incrementar los grados de libertad, fueron evidentes en cuanto a la amplitud de los espectros, en tanto que las variaciones en frecuencia fueron imperceptibles. El número de grados de libertad tuvo que ser incrementado en razón de la relativamente pequeña longitud de los registros.

Los espectros cruzados se calcularon utilizando el mismo método antes mencionado para el cálculo de los autoespectros, para las dos series de tiempo a relacionar; luego los autoespectros fueron multiplicados y promediados para formar el espectro cruzado.

Para la coherencia, en base a los autoespectros y el espectro cruzado, se calculó la función de coherencia, dividiendo el cuadrado del espectro cruzado para el producto de los autoespectros.

Posteriormente a la obtención de todos los espectros, en cada una de las fases de la investigación, se efectuó la selección de los picos de interés, que cumplieron con la estabilidad estadística impuesta (intervalo de confianza del 95%). Estos picos fueron analizados sobre los espectros de densidad espectral, se determinaron las frecuencias, los períodos y la proporción de energía (varianza en el espectro) que contiene cada una de las frecuencias estadísticamente significativas, y que por los procesos anteriores (ventanas espectrales y filtraje en el muestreo), están por fuera de la influencia del ruido

en los procesos analizados. Fueron analizados los espectros de transferencia en amplitud y fase, para determinar el nivel de respuesta a los impulsos entre señales y, con el espectro cruzado, se estableció la correlación estadística de las frecuencias significativas.

Como aspecto adicional de la investigación, se realizó un análisis estacional de las series de tiempo, es decir el procesamiento espectral de los parámetros, conformando series sintéticas uniendo los datos sólo para la estación húmeda o invernal, y lo propio para la estación de verano. Con el estudio espectral de estas series se confrontaron los resultados de las frecuencias y el comportamiento de la onda del Este (fluctuaciones de la zona de convergencia intertropical).

3. RESULTADOS

3. 1. Análisis espectral de parámetros atmosféricos

El procesamiento de las series de tiempo de PRESIÓN ATMOSFÉRICA y TEMPERATURA AMBIENTAL, determinó en los espectros la presencia de picos significativos, con el 95 % de confianza (Fig. 2). Las frecuencias, períodos y coherencias fueron obtenidos de la comparación de los espectros de densidad espectral o autoespectros, de las estaciones en estudio. Con los espectros cruzados entre las estaciones se validaron las frecuencias en las cuales existía correlación entre estaciones. Estas frecuencias luego fueron evaluadas en coherencia para determinar el nivel de correlación en cada banda de frecuencia. Finalmente se fijaron como frecuencias finales las detalladas en la Tabla 1.

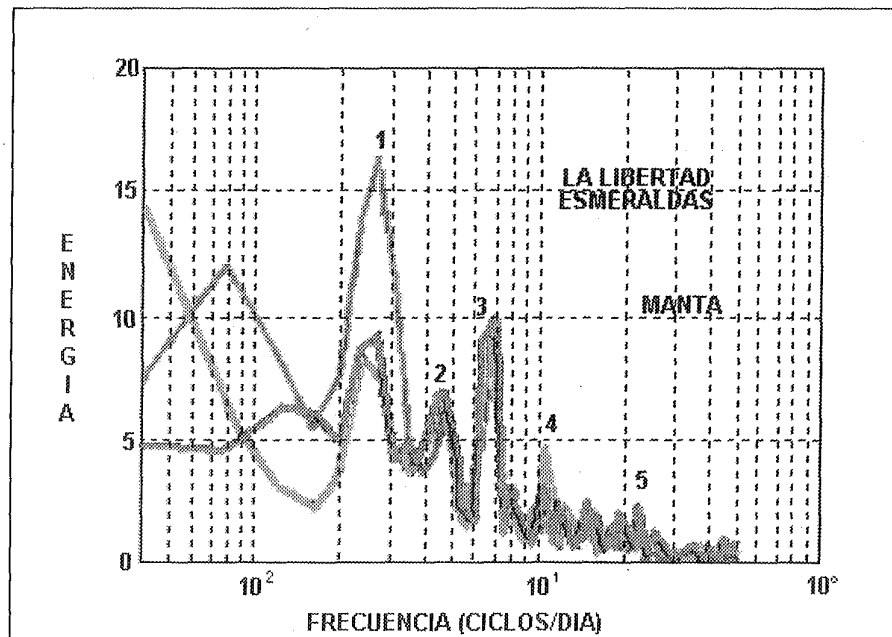


Fig. 2 - Densidad Espectral, Presión Atmosférica.

PICO	FRECUENCIA (CICLOS/DÍA)	PERIODO (DÍAS)	COHERENCIA
1	0.027	37	0.95
2	0.047	21	0.875
3	0.058	17.24	0.9
4	0.110	9	0.875
5	0.225	4	0.7

Tabla 1

Para complementar los resultados de los espectros de energía en presión atmosférica, es necesario interrelacionarlos con los espectros obtenidos para la temperatura ambiental mostrados en la Fig. 3.

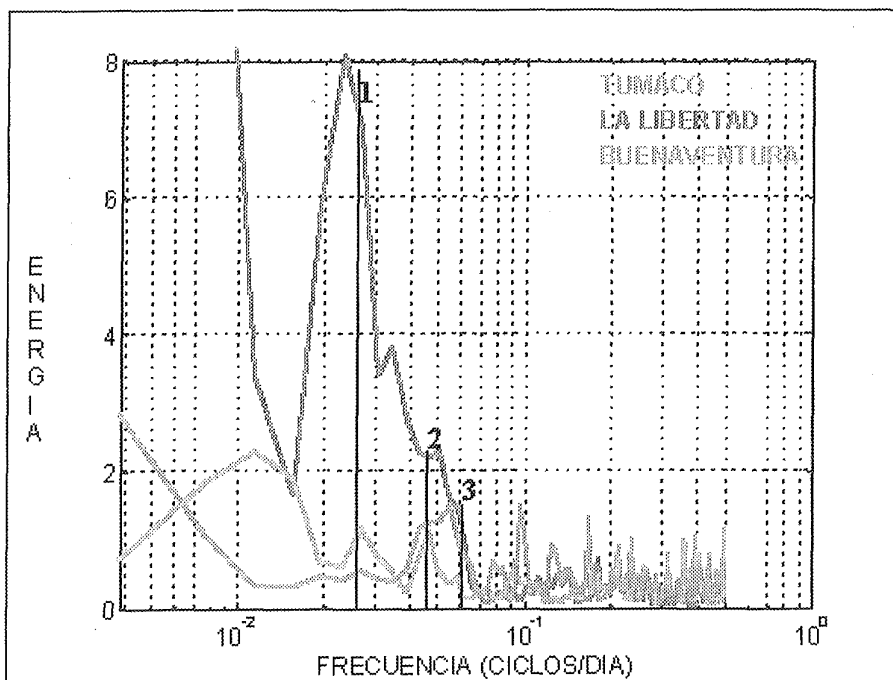


Fig. 3 - (Energía en °C² x día) Densidad Espectral, Temperatura ambiental.

PICO	FRECUENCIA (CICLOS/DÍA)	PERIODO (DÍAS)	COHERENCIA
1	0.027	37	0.575
2	0.047	21	0.38
3	0.058	17.24	0.575

Tabla 2

La Tabla 2 resume el análisis espectral de las series de tiempo de temperatura ambiental, las estaciones consideradas, y amplían el estudio hasta Tumaco y Buenaventura, comparándolas con La Libertad. Se encontraron tres frecuencias significativas con el 95% de confianza; el espectro cruzado entre las estaciones muestra la mayor energía en estas frecuencias, evidenciando correlación estadística; sin embargo la coherencia, a diferencia de la presión atmosférica, decrece substancialmente, tomando en cuenta que el ruido en la señal va en perjuicio del nivel de coherencia, y que la temperatura ambiental está sujeta a fluctuaciones locales y a variaciones de otros parámetros que no están considerados en el estudio, como son la humedad relativa, radiación solar y el viento. Las tres frecuencias aparecen también en el espectro de presión atmosférica, evidenciando que se trata de ondas que se propagan en la atmósfera modulando la presión y la temperatura con las mismas características.

3. 2. Análisis espectral de parámetros oceanográficos

El análisis del nivel medio del mar contempló dos fases: en la primera, se hizo el análisis espectral entre estaciones costeras, con el fin de encontrar las ondas que llegan a todas las estaciones y cómo difiere su intensidad con la distancia, a fin de establecer en primera aproximación si su propagación es a lo largo de la costa, o viene del océano propagándose ecuatorialmente. La segunda fase estableció el análisis espectral de todas las estaciones costeras comparadas con la estación oceánica, Isla Baltra en el Archipiélago de Las Galápagos ($0^{\circ}05'S-90^{\circ}23.3'W$), con la intención de establecer la ocurrencia de ondas de naturaleza puramente oceánica, que al llegar al continente empiezan su recorrido en forma paralela a la costa, a partir de la línea ecuatorial.

Los espectros de nivel medio del mar se muestran en la Fig. 4; los picos identificados se especifican en la Tabla 3.

PICO	FRECUENCIA (CICLOS/DÍA)	PERIODO (DÍAS)	COHERENCIA (EST.COSTA)	COHERENCIA (BALTRA)
1	0.020	50	0.55	0.11
2	0.035	28	0.40	0.37
3	0.0475	21	0.20	0.34
4	0.068	14.7	0.73	0.82
5	0.11	9	0.38	0.45

Tabla 3

De entre las frecuencias significativas aunque el comportamiento entre estaciones costeras es muy similar, la coherencia de las ondas detectadas fue muy baja excepto en la frecuencia de 0,068 ciclos/día ($T=14,7$ días) y con menos intensidad en la frecuencia de 0,02 ciclos/día ($T= 50$ días); en el espectro de energía existe una coincidencia de primer pulso en todas las estaciones, con amplitudes variables; los espectros cruzados indicaron una definida correlación entre estaciones en esta frecuencia y la coherencia

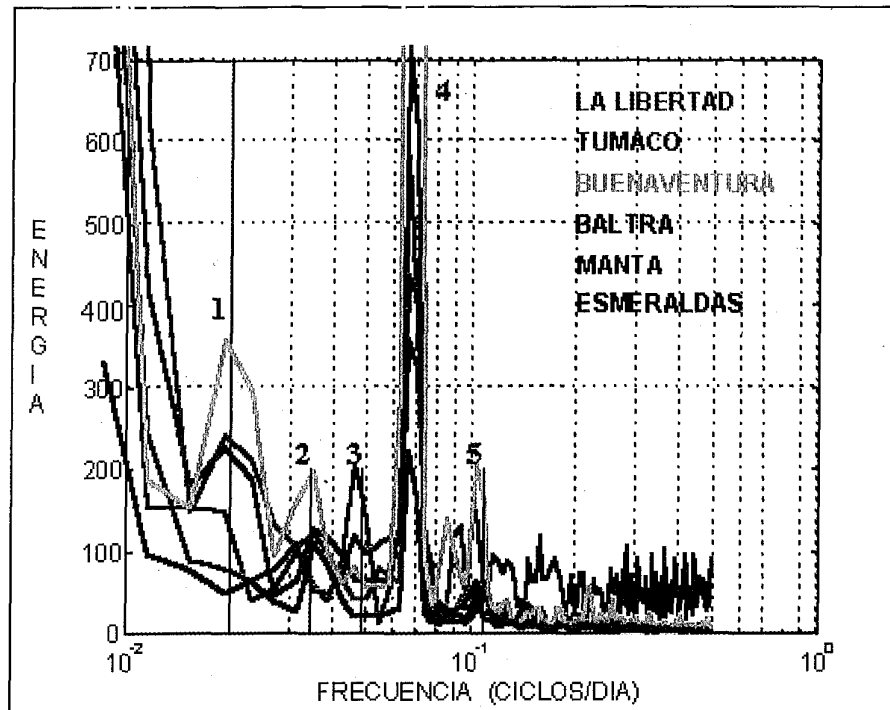


Fig. 4 - (Energía en $\text{m}^2 \times \text{día}$) Densidad Espectral, Nivel medio del mar.

es alta (0,73-0,82), tanto para las correlaciones entre estaciones costeras, como para las efectuadas con Baltra. Esto es indicativo de la presencia predominante de esta onda en toda el área de estudio.

En el análisis espectral con Baltra, este pulso se mantiene en frecuencia, pero su amplitud de energía es la menor de todas. Es notoria la gran cantidad de energía en esta frecuencia en la estación de Buenaventura. La segunda frecuencia tiene una coherencia de 0,55, siendo más acentuada entre estaciones costeras, y extremadamente baja entre Baltra y el continente, indicando que la influencia de esta señal es mucho menor en esta estación.

Los espectros de energía para la temperatura superficial del mar se muestran en la Fig. 5; las frecuencias significativas detectadas se detallan en la Tabla 4.

PICO	FRECUENCIA (CICLOS/DÍA)	PERIODO (DÍAS)	COHERENCIA
1	0.0325	30	0.5
2	0.054	18.51	0.4
3	0.068	14.7	0.3
4	0.096	10.41	0.66
5	0.275	3.63	0.52

Tabla 4

El análisis espectral de la temperatura superficial del mar se efectuó en tres estaciones, Esmeraldas, Manta y La Libertad. El espectro de energía muestra más frecuencias que el de nivel medio del mar; los espectros cruzados entre las estaciones, permitieron seleccionar los picos detallados en la Tabla 4-3. Los niveles de coherencia sin embargo, son bajos, excepto para la frecuencia de $T=10,41$ días. La temperatura superficial es un parámetro más sensible a la influencia de factores locales externos que introducen ruido en el sistema; sin embargo, el pico de los 14,7 días, persiste en el espectro pero con coherencia baja (0,3).

Cabe anotar que aun cuando no haya plena coincidencia de los períodos entre nivel medio y temperatura superficial del mar, es imposible desconocer la estructura armónica de las señales no coincidentes ($T=30$ días, $T=18,5$ días, $T=10,41$ días, $T=3,63$ días), lo cual podría sugerir la presencia de ondas internas que se desplazan a esta frecuencia y extienden su influencia a la superficie, lo cual se siente térmicamente, pero sin la energía suficiente para alterar la superficie del mar.

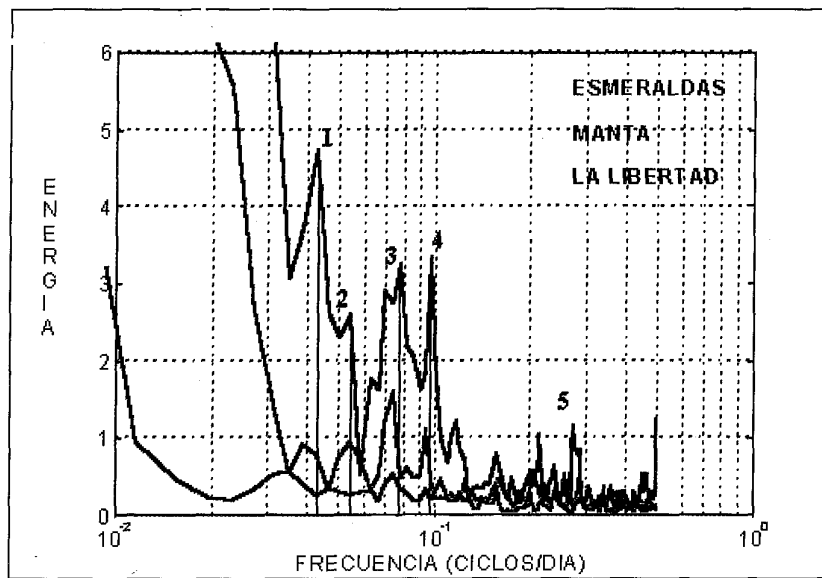


Fig. 5 - (Energía en $^{\circ}\text{C}^2 \times \text{día}$) Densidad Espectral, Temperatura Superficial del Mar.

4. CONCLUSIONES

Los espectros de la atmósfera sugieren la presencia de 2 modos predominantes que en su conjunto imprimen al sistema el 23.07 % de la energía. Estos fueron identificados mediante la aproximación de los cálculos y estudios comparados como una probable onda de Kelvin ecuatorial atmosférica de 37 días de período, muy próxima

a la oscilación Madden y Julian (1972) de 40-50 días, detectada en la atmósfera tropical. La segunda onda se identificó como una muy similar a la onda Kelvin ecuatorial de 17.24 días; los resultados obtenidos coinciden con los estudios hechos por Wunsch y Gill (1976) en el Pacífico central. Esta oscilación, al igual que las anteriores, es muy coherente con las de temperatura en la atmósfera, aunque para todos los casos los niveles de coherencia en los espectros de temperatura fueron notablemente bajos en comparación con la alta coherencia de la presión atmosférica, lo cual refuerza la idea de que como parámetro integral en la vertical contiene la información de la atmósfera y tiene menos influencia de factores locales, que en cambio afectan considerablemente a los espectros de temperatura.

En cuanto a las ondas en el océano fueron identificadas, mediante los espectros, dos señales de interés. La primera onda detectada, es la que más energía le imprime al sistema, 3,8%. Tiene la coherencia más alta de todas y su presencia en los espectros de nivel medio del mar es predominante; se identificó como una probable onda de Poincaré ecuatorial de modo 1 de período 14,7 días, que podría tener mucha relación con la componente de marea lunisolar-quincenal.

La segunda señal significativa podría asociarse como una probable onda Kelvin ecuatorial del primer modo baroclínico de período 9 días, muy próxima a la mencionada por Wallace (1971). Su influencia es perceptible en todas las estaciones, aunque su energía es mínima, 0,42 %.

Los espectros comparados de energía muestran una clara influencia del continente sobre las ondas. Al desplazarse a través de la guía de onda ecuatorial, las ondas encuentran el continente y su señal es desviada, siguiendo la línea de costa, lo cual genera una interferencia constructiva en los espectros de nivel del mar entre las ondas incidentes y las refractadas que viajan transversalmente. Las señales que no alcanzan a figurar en los espectros de Baltra sugieren la idea de que en el continente, por la interacción de las ondas incidentes y la plataforma, se producen señales que modulan las originales y forman ondas continentales con características propias, que se propagan a lo largo de la costa.

El análisis de los espectros de temperatura superficial del mar ayuda a validar la existencia de la señal de 14,7 días, pero permite observar la presencia de señales importantes que no aparecen en los espectros de nivel medio del mar. La no aparición de estas ondas en los espectros de nivel del mar sugieren la posibilidad de que su fuente de propagación no es la variabilidad de la superficie del mar por forzantes típicos de la atmósfera como el viento, sino más bien la relación que podrían tener con ondas internas que viajan ecuatorialmente en las inmediaciones de la termoclina.

Agradecimientos

Al Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (Armada de Colombia), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (República de Colombia), a la Facultad de Oceanografía Física (Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla"); a Serguei Anatolievich Lonin PhD, ingeniero oceanólogo y Director de la Investigación; Orlando

Malaver Calderón, Capitán de Fragata, oceanógrafo físico, Decano de la Facultad de Oceanografía Física de la Escuela Naval "Almirante Padilla"; Carlos Andrade Amaya MS, Capitán de Fragata, oceanógrafo físico, subdirector científico CIOH; Alfonso Mascarenhas Jr. PhD, oceanógrafo físico, Instituto de Investigaciones Oceanológicas Universidad Autónoma de Baja California; Luiz Bruner de Miranda PhD, oceanógrafo físico, Instituto Oceanográfico de la USP (Brasil); Carlos Torres G. MS, oceanógrafo físico, Instituto de Investigaciones Oceanológicas de Ensenada-Nuevo México; y a la Oficina de Internet Escuela Naval "Almirante Padilla".

Referencias citadas

- BOULANGER, J. & MENKES, Ch., 1995 - Propagation and reflection of long equatorial waves in the Pacific Ocean during the 1992-1993 El Niño. *Journal of Geophysical Research*, **100**: 25041-25059.
- CHISWELL, S. & LUKAS, R., 1989 - Rossby Gravity Waves in the Central Equatorial Pacific Ocean During the NORPAX Hawaii to Tahiti Shuttle Experiment. *Journal of Geophysical Research*, **94**: 2091-2098 p.
- GIESE, B. & HARRISON, D., 1986 - Aspects of the Kelvin Response to Episodic Wind Forcing. *Journal of Geophysical Research*, **95**: 7289-7312.
- GILL, A., 1982 - Atmosphere-Ocean dynamics, Vol. 30: 429-491; Academic Press, Inc.
- KESSLER, W., McPHADEN, M. & WEICKMANN, K., 1995 - Forcing of intraseasonal Kelvin waves in the equatorial Pacific. *Journal of geophysical Research*, **100**: 10613-10631.
- MADDEN, R. & JULIAN, P., 1972 - Description of Global Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40-50 Day Period. in: *National Center of Atmospheric Research*: 702-708.
- MINOBE, S. & TAKEUCHI, K., 1995 - Annual period equatorial waves in the Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, **100**: 18379-18392.
- WALLACE, J. M. & KOUSKY, V. E., 1971 - Observational evidence of Kelvin waves in the tropical stratosphere. *Journal of Atmospheric Science*, **25**: 900-907.
- WELCH, H., 1986 - Averaged Periodogram method. in: *Matlab user's Manual*: 125-129p.
- WUNSCH, C. & GILL, A.E., 1976 - Observations of equatorially trapped waves in Pacific sea level variations. *Deep sea Research*, **23**: 371-390.
- ZOU, J. & LATIF, M., 1994 - Modes of ocean variability in the tropical Pacific derived from Geosat altimetry. *Journal of Geophysical Research*, **99**: 9963-9975.