



## EVIDENCIAS DE LA OSCILACION DEL TIPO MADDEN Y JULIAN EN EL CARIBE COLOMBIANO

### >> Resumen

SAMUEL RIVERA PÁEZ

RICARDO MOLARES B.

CENTRO DE  
INVESTIGACIONES  
OCEANOGRÁFICAS E  
HIDROGRÁFICAS CIOH  
Cartagena

La presente investigación, está dirigida al análisis del comportamiento climático en el área de Santa Marta para el período comprendido entre julio de 1989 y agosto de 1992. El estudio se fundamenta en la teoría clásica, respecto al comportamiento oceánico y atmosférico en el trópico. Tiene como fin, determinar la presencia de la oscilación interestacional de 30-60 días en el área de Santa Marta para lo cual se determinó como área de estudio una franja costera del litoral Caribe colombiano, de aproximadamente 100 Kms, correspondiente a la Sierra Nevada de Santa Marta al norte del departamento del Magdalena. El área de estudio limita al oeste por el aeropuerto Simón Bolívar de la ciudad de Santa Marta (Lat. 11° 08' 00" N, Long. 74° 14' 00" W) y al este por la estación de los Naranjos en el Parque Nacional Tayrona (Lat. 11° 18' 00" N, Long. 73° 53' 00" W).

Mediante el análisis estadístico y espectral de series de tiempo, comprendidas entre 1989-1992, de promedios diarios de temperatura superficial del mar, temperatura ambiental, salinidad, radiación solar, brillo solar, viento, humedad atmosférica y precipitación se detectaron las oscilaciones predominantes en la atmósfera y el océano.

Se determinaron e identificaron sus características espaciales y temporales, así como su incidencia y naturaleza.

Como resultado se pudo determinar que la Oscilación Interestacional correspondiente a 30-60 días, de la forma Madden y Julian (1971), modela los parámetros meteorológicos y los parámetros oceanográficos superficiales del agua de mar en el área de Santa Marta y la Sierra Nevada de Santa Marta, afectando principalmente el comportamiento de la temperatura ambiente, la humedad relativa, el brillo solar, la radiación, la precipitación, la salinidad y la temperatura superficial del agua de mar. Se evidenció el fenómeno de surgencia documentado por otros autores en la zona de la península de la Guajira y se determinó que los sistemas oscilan en períodos aproximados de 90, 20, 14.7, 11, 8, 6 y 4 días. La identificación de la oscilación de los parámetros meteorológicos en el área de estudio ayuda a entender el comportamiento del clima convirtiéndose en la base fundamental para la descripción de fenómenos atmosféricos.

CIOH

[www.cioh.org.co](http://www.cioh.org.co)

## >> Abstract

This paper presents the analysis of meteorological and oceanographic data series from some IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) and INVEMAR (Instituto de Investigaciones Marinas) stations along the Colombian Caribbean northeast coast. Using the spectral time series analysis the climatic behavior in a complicated region due to the influence of the Santa Marta mountain (Sierra Nevada de Santa Marta) that have 4500 mts high close to the coast is described. As a result 8 different oscillations (90, 20, 14.7, 11, 8, 6 and 4 days period) and evidence of the intraseasonal Madden Julian Oscillation (30-60) in the data sets were found.

## >> Introducción

En años recientes, la familia de fenómenos asociados con la llamada oscilación de 30-60 días o de Madden y Julian (MJO) ha llegado a ser el punto focal para estudios de variabilidad interestacional de la atmósfera tropical. La oscilación de 40-50 días es la señal más fuerte de baja frecuencia encontrada en la atmósfera tropical. Su potencial efecto en el clima a largo plazo o en las predicciones climáticas a corto plazo, cada vez están más cerca de ser alcanzadas. En su trabajo pionero Madden y Julian (1971-1972) describieron la oscilación como una onda de escala global de propagación al este, en una celda de circulación zonal a lo largo del Ecuador. Parker (1973) habla de oscilaciones casi-periódicas del viento zonal en la región entre 70 y 150 mb con período de 25-40 días, concluyó que eran Ondas Kelvin Ecuatoriales con una estructura horizontal de número de onda 1 zonal propagándose hacia

Descripciones amplias de la oscilación de 40-50 días no surgieron hasta finales de los años setenta; estas descripciones estuvieron basadas sobre los resultados del primer experimento GARP (GLOBAL ATMOSPHERIC RESEARCH PROGRAM). Algunos ejemplos son los trabajos de Zangvil (1975) y Maruyama (1982), Lorenc (1984), Murakami y Nakazawa (1985), y otros. Estos autores encontraron que la oscilación de 40-50 días está conectada con características regionales así como episodios monzónicos, rupturas y fluctuaciones de los chorros de bajo nivel sobre India y el sudeste asiático.

Yasunari (1980-1981) concluyó que las oscilaciones están relacionadas con los ciclos activo-pasivo en la región monzónica. Madden y Julian (1981) presentaron suficiente evidencia sobre el papel de la convección en la oscilación, y compartieron los resultados encontrados por Yasunari.

La naturaleza global de la oscilación fue revelada por diferentes estudios de período largo de información de viento y radiación. (Weickmann et al. (1985), Knutson et al. (1986), Lau y Chan (1983 a,b), Lau (1985 a,b) y Lau y Chan (1986 b)). Evidencia estadísticamente significativa para esta oscilación y las conexiones entre la circulación alta del aire y las anomalías de convección fueron presentadas por Weickmann, Lussy y Kutzbach (1985) basadas en análisis espectral cruzado de 28-72 días sobre oscilaciones de Ondas Largas de Radiación Saliente (OLR) y 250 mb en función estrecha durante diez estaciones de invierno del hemisferio norte.

De los resultados obtenidos en los estudios citados anteriormente, las claves características de la variación interestacional de la atmósfera tropical se sintetiza así:

1. Predomina una oscilación de baja frecuencia en el período general entre los 30 y 60 días (referida en los documentos como oscilación 40-50 días u oscilación de baja frecuencia).
2. La oscilación tiene predominantemente escalas zonales de números de onda 1 y 2, propagándose hacia el este a lo largo del Ecuador.
3. Una fuerte convección se confina en regiones ecuatoriales del Océano Indico y oeste del sector Pacífico, mientras que el patrón de vientos aparece propagándose alrededor del globo.
4. Durante la estación del verano norte monzónico, hay una marcada propagación de la anomalía hacia el norte sobre India y Asia del este y de menor extensión una penetración hacia el sur durante el invierno norte.
5. Una coherente fluctuación entre las anomalías de circulación extratropical y la oscilación tropical de 40-50 días puede existir, indicando posibles interacciones tropicales - latitudes medias en el lapso de tiempo mencionado.
6. La oscilación de 40-50 días aparece en fase con la oscilación de 10-20 días sobre la India y el Pacífico oeste. Ambas están cercanamente conectadas con el episodio monzónico y forman condiciones sobre las regiones mencionadas.

La propagación al este a lo largo del Ecuador y la corta escala de tiempo de 30-60 días aparecen como las principales características de la oscilación. En años recientes las variaciones de 30-60 días se han podido observar claramente en los vientos de superficie, los flujos de calor latente, la temperatura superficial del mar y las corrientes oceánicas (Madden y Julian, 1994). Otros autores han estudiado las relaciones existentes entre las variaciones de los flujos de calor latente en la superficie y la actividad convectiva en el trópico asociada

con MJO (Emanuel, 1987; Neelin et al., 1987). Jones y Gautier (1995) muestran evidencia observable del acople entre el flujo de calor latente y la precipitación en el trópico en el dominio de la frecuencia de MJO.

Estudios recientes (Hendon y Salby, 1994 y Bantzer y Wallace, 1996) han llegado a comprobar que la zona en la cual se presenta una mayor influencia por el paso de la Oscilación (MJO) es el Océano Indico y el Pacífico Sudeste; manifestaciones del paso de la oscilación se pueden apreciar a lo largo de todo el cinturón ecuatorial entre las latitudes 12N y 12S.

El objetivo fundamental de esta investigación determina el comportamiento climático en el área de Santa Marta para el período comprendido entre julio de 1989 y agosto de 1992, con el fin de verificar la hipótesis de que: la oscilación intraestacional correspondiente a 30-60 días, de la forma Madden y Julian (1971), se evidencia en los parámetros meteorológicos y los parámetros oceanográficos superficiales del agua de mar en el área de Santa Marta y la Sierra Nevada. El cumplimiento de este objetivo, implica efectuar: un completo análisis estadístico, determinar las oscilaciones existentes en el espectro para las series de tiempo de temperatura ambiente y superficial del mar, humedad relativa, salinidad, precipitación, brillo y radiación solar y viento, sus frecuencias y probable naturaleza, establecer la interrelación entre los diversos parámetros, desfase temporal, coherencia y la tendencia estacional, comparar la información obtenida con las características clásicas de las ondas lineales barotrópicas conocidas y las investigaciones anteriores sobre temas relacionados.

Para lo anterior, se determinó como área de estudio una franja costera del Litoral Caribe colombiano, de aproximadamente 100 Kms, correspondiente a la Sierra Nevada de Santa Marta, al norte del departamento del Magdalena. El área de estudio limita al oeste con el Aeropuerto Simón Bolívar de la ciudad de Santa Marta y al este con la Estación de los Naranjos en el Parque Nacional Tayrona.

## >> Metodología

Se consideró información de cinco estaciones ubicadas en el área de estudio pertenecientes al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Aeropuerto Simón Bolívar (Est.1), Universidad del Magdalena (Est.3) y Parque Nacional Tayrona (Est.5), Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Benito Vives de Andreis (Punta Betín (Est.2)) y del programa CARICOMP (Bahía de Chengue (Est.4)). En la tabla 1 se relacionan las estaciones con la información disponible en cada una de ellas, con la cual se realizó la presente investigación.

En consideración a que la definición de clima se relaciona con los valores medios de los parámetros meteorológicos que se pueden registrar durante un período de referencia suficientemente largo en una región, se efectuó el procesamiento estadístico de las series de tiempo, buscando comprobar su distribución de frecuencias.

Seguidamente y una vez estandarizadas las series de tiempo se efectuó el análisis espectral de cada parámetro, trabajando con el período de muestreo de las series originales, obteniéndose las frecuencias respectivas en cada caso. Una vez estandarizadas las series, se determinó como período de muestreo 24 horas, frecuencia Nyquist 0.5 ciclos / día, resolviendo así frecuencias cuyo período máximo fuera de 2 días.

Desde la Figura 1 a la Figura 8 se representan graficados los promedios mensuales de los parámetros meteorológicos durante los períodos como en cada caso se indican, logrando así obtener el comportamiento anual del clima para el área de estudio.

Recopiladas las series de tiempo, fueron analizadas individualmente verificándose, en primera instancia, los datos faltantes. Las series donde existían numerosos datos faltantes se desecharon. Donde faltaba un número menor de datos, se interpoló mediante el polinomio de interpolación cúbica (Cubic spline).

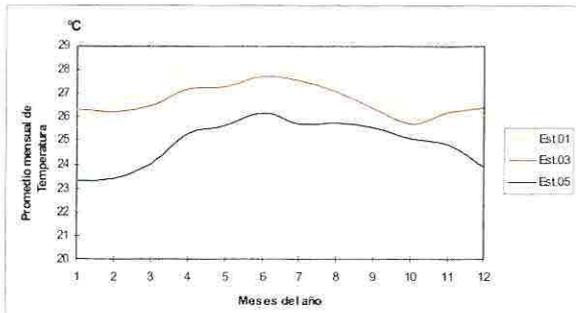
Una vez listas las series, se efectuó el análisis estadístico correspondiente.

**Tabla 1.** Tipo de información disponible en cada estación.

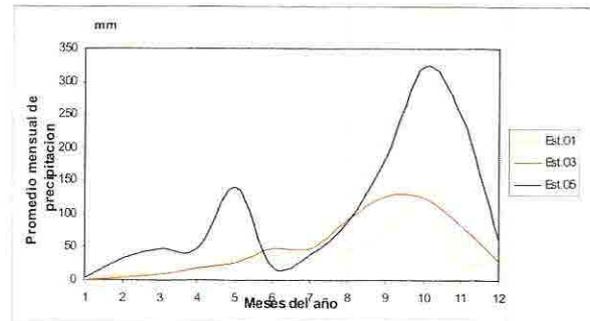
	Est.1	Est.2	Est.3	Est.4	Est.5
PARA M	A. SIMON BOLIVAR	PUNTA BETIN	UNIV. M/LENA	CHENGUE	PARQUE TAYRONA
VV	X	X			
DV	X	X			
PR	X	X	X	X	X
HR	X	X	X		X
BS	X		X		X
TS	X	X	X	X	X
TH	X		X		X
RAD		X			
TSM		X		X	
SSM		X		X	

VV: Velocidad del viento  
 DV: Dirección del viento  
 PR: Precipitación  
 HR: Humedad relativa  
 BS: Brillo solar

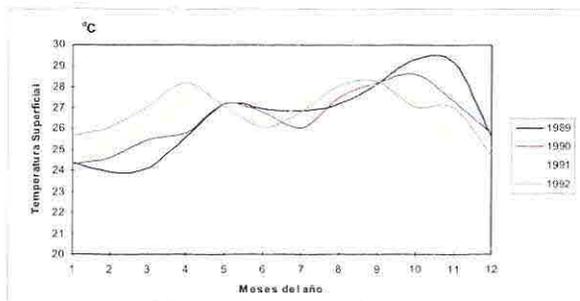
TS: Temperatura seca  
 TH: Temperatura húmeda  
 RAD: Radiación  
 TSM: Temperatura superficial del agua de mar  
 SSM: Salinidad superficial del agua de mar



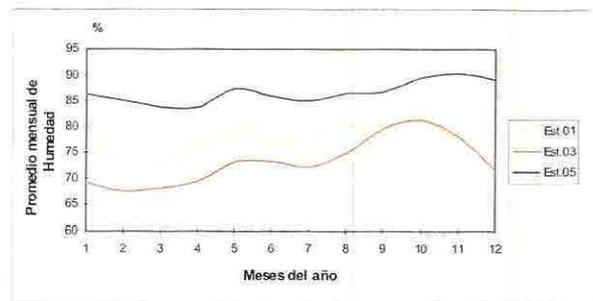
**Figura 1.** Curva de temperatura promedio mensual en las estaciones de estudio durante el período 89/92.



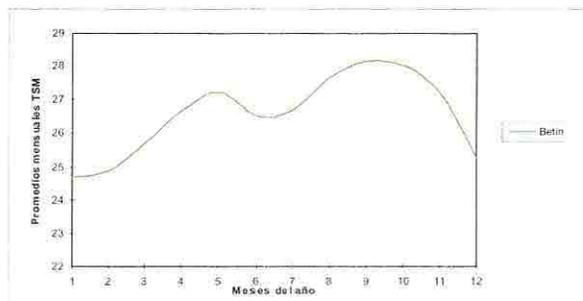
**Figura 4.** Curvas de precipitación mensual promediada para los meses del año en las estaciones 01, 03, 05.



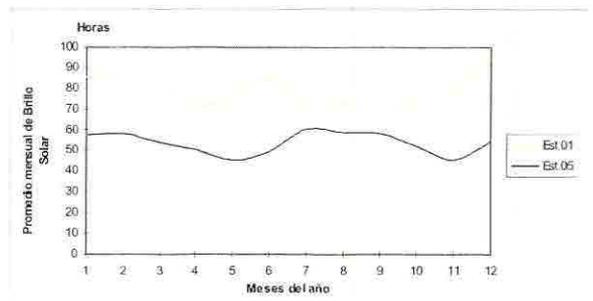
**Figura 2.** Curvas de promedios de temperatura mensual durante el período 1989 - 1992 en Punta Betín.



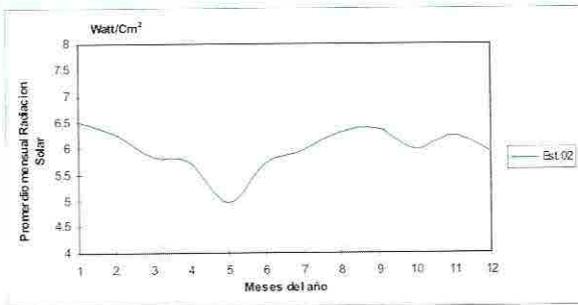
**Figura 5.** Curva de humedad relativa promedio mensual en las estaciones de estudio durante el período 89/92.



**Figura 3.** Promedio Mensual de la temperatura superficial del agua de mar en Punta Betín. Información tomada por el programa CARICOMP entre 1989 y 1992.



**Figura 6.** Curva de promedio mensual de la suma diaria de brillo solar.



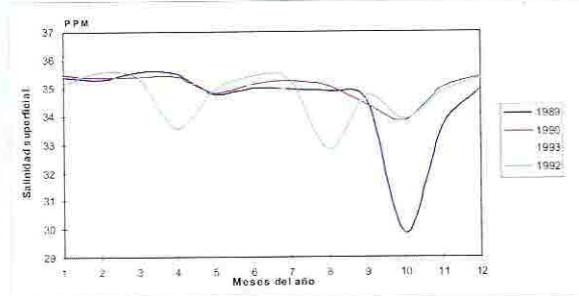
**Figura 7.** Curva de promedios mensual de suma diaria de radiación solar en la estación del INVEMAR

## >> Análisis Espectral

Los espectros de energía o autoespectros fueron calculados usando el método del Periodograma Promedio de Welch (1986) contemplado en la rutina SPECTRUM del programa MATLAB. Según éste, la serie de tiempo se divide en secciones, a las que se les remueve la tendencia lineal y se le aplican una ventana "Hanning" del tamaño deseado por el investigador, que en éste caso fue de 256 para las series de menos de 1024 días de observación y de 512 para las mayores, con intervalo de confianza del 95%.

Todos los espectros fueron calculados utilizando diferentes grados de libertad. Los cambios en los autoespectros, al variar los grados de libertad, fueron evidentes en cuanto a la amplitud del espectro, en tanto que las variaciones en frecuencia fueron mínimas.

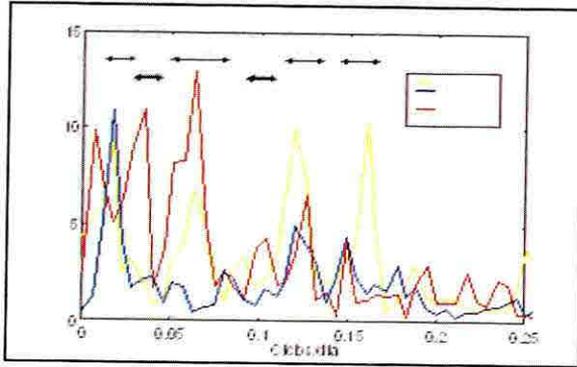
Los espectros cruzados se calcularon utilizando el mismo método de los autoespectros en las dos series de tiempo a relacionar; luego los autoespectros fueron multiplicados y promediados para formar el espectro cruzado empleando la rutina CSD de MATLAB.



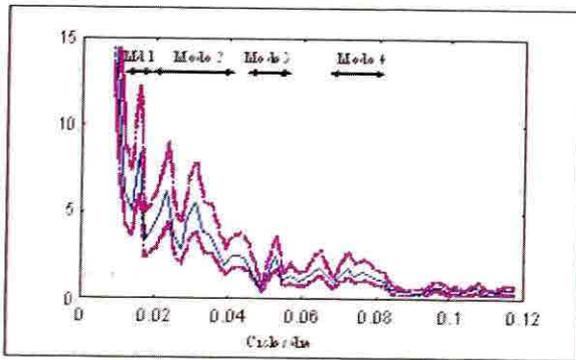
**Figura 8.** Curva de promedios mensuales de salinidad superficial del agua de mar durante el período comprendido entre 1989 y 1992 en Punta Betín.

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

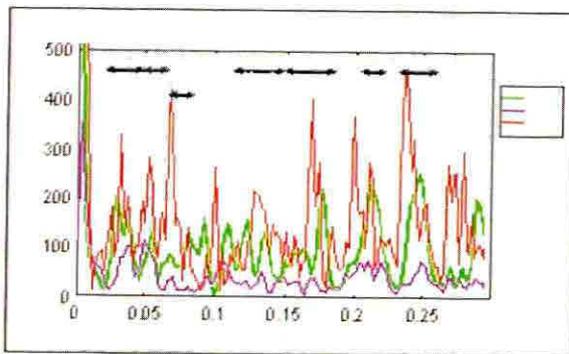
Posterior a la obtención de los espectros, en cada una de las fases de la investigación se seleccionaron los picos de interés. El objetivo fue identificar aquellos que cumplieran con el concepto de estabilidad estadística impuesta (intervalo de confianza del 95%). Para éstos, sobre los espectros de densidad espectral, se determinaron las frecuencias y los períodos. Desde la Figura 9 a la Figura 15 se grafican los espectros obtenidos para cada uno de los parámetros meteorológicos estudiados. También se analizaron 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 trató de establecer la correlación estadística de las frecuencias significativas.



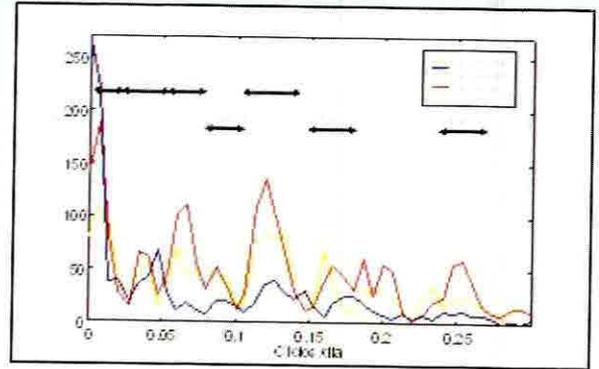
**Figura 9.** Espectro de densidad de energía para la temperatura en las estaciones de estudio. ( $t=12$ , grados libertad 100, ventana espectral 350, intervalo de confianza 95%).



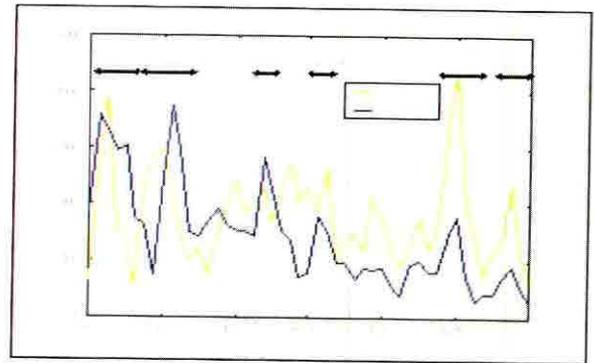
**Figura 10.** Espectro de densidad de energía para la temperatura superficial del agua de mar en Punta Betín ( $t=24$ h, grados libertad 100, ventana espectral "Hanning" de 512, intervalo de confianza 95%).



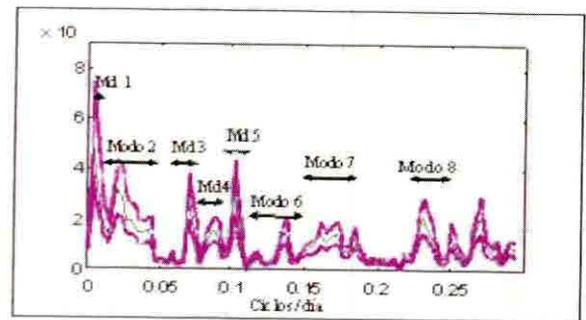
**Figura 11.** Espectro de densidad de energía para la precipitación en las estaciones de estudio. ( $t=12$ , grados libertad 100, ventana espectral 350, intervalo de confianza 95%).



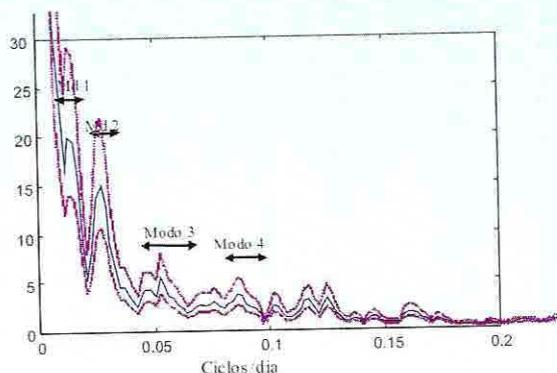
**Figura 12.** Espectro de Densidad de Energía para la humedad relativa en las estaciones de estudio. ( $t=12$ , grados libertad 100, 95% de intervalo de confianza).



**Figura 13.** Espectro de densidad de energía para la suma diaria del brillo solar durante el período de estudio en las estaciones 01 y 05. ( $t=1$ , grados libertad 100, intervalo de confianza 95%, Est. 01(amarillo), Est. 05(azul)).



**Figura 14.** Espectro de Densidad de Energía para la suma diaria de radiación solar durante el período de estudio en la estación del INVEMAR. ( $t=24$  h, grados libertad 100, La línea punteada corresponde al intervalo de confianza el cual es de 95%).



## >> Discusión y Resultados

**a) Estadística.** El cuerpo de agua superficial de la Bahía de Santa Marta y sus alrededores, se ve afectado de manera significativa por el régimen de lluvias de la Sierra Nevada. Tanto en temperatura como en salinidad; se evidencian cambios significativos cuando se presentan lluvias en el sector, producto del sistema hidrográfico que riega su costa con ríos provenientes de la Sierra. Como lo manifiesta Müller (1979), el agua superficial experimenta un enfriamiento durante la temporada de vientos, lo cual se evidencia con las temperaturas presentadas durante la época de Alisios, cuando las aguas alcanzan sus menores temperaturas. Los resultados obtenidos guardan también estrecha relación con los obtenidos por Herrmann (1972). La relación entre la salinidad superficial, la temperatura y la época de vientos, es evidente de acuerdo con los gráficos de promedios anuales y generales (Figuras 3 y 8).

Es de resaltar que el comportamiento de la temperatura superficial del agua de mar y salinidad en el año de 1989, son bastante diferentes a los de los demás años contemplados en el presente estudio. (Figura 3 y 8). Esta variación en el comportamiento puede estar relacionada con el fenómeno del Niño registrado ese año. Es evidente que para el segundo semestre de 1989, la temperatura superficial se incrementó considerablemente, mientras que la salinidad cayó a sus más bajos niveles.

**Figura 15.** Espectro de Densidad de Energía para la salinidad superficial del agua de mar en Punta Betín ( $t=24h$ , grados libertad 100, ventana espectral "Hanning" de 512, intervalo de confianza 95%).

El comportamiento de la precipitación corresponde a las épocas expuestas por Herrmann (1970), Schnetter (1970) y Müller (1973), quienes determinaron la ocurrencia de la época seca entre diciembre y abril, mientras que la época de lluvias ocurre desde mayo a noviembre en dos períodos separados por un pequeño verano denominado de San Juan que ocurre entre Junio y Agosto (Figura 4). De manera general, la zona de estudio presenta un comportamiento temporal de la precipitación muy similar en cada una de las estaciones, sin embargo, se aprecia una variación espacial en el régimen de precipitación a medida que se avanza de oeste a este (Est. 01 - 03 - 05). Como se expone en los estudios que relacionan el tipo de vegetación, con la distribución de la precipitación (C. Pérez (1962), R. Schnetter (1970), Herrmann (1970)), se comprobó que la distribución de la precipitación al sur-oeste de la zona de estudio, en cercanías del Aeropuerto Simón Bolívar, presenta un régimen de lluvias mas bajo en comparación a las demás estaciones contempladas.

Como característica especial se observa un menor valor del promedio anual de brillo solar en la estación del Parque Tayrona, indicando la gran nubosidad presente en la zona (Figura 6). De igual forma se hace evidente que el efecto del Veranillo de San Juan tiene mayor incidencia al sur del área de estudio, ya que en las estaciones de Punta Betín y del Parque Tayrona se presenta una leve disminución en radiación y brillo solar para la época (Figura 7 y 6). Lo anterior se

explica al observar la posición de estas dos estaciones con respecto a la acción de los vientos y de la masa orográfica en la formación y ubicación de masas nubosas. La temperatura y la humedad, como era de esperarse, fluctuaron de acuerdo a las variaciones estacionales conocidas (Figuras 1, 2, 3 y 5). Los vientos Alisios aparecen de manera significativa a mediados de diciembre, manteniéndose hasta marzo. Los registros mostraron vientos del sur-sudeste durante dos épocas del año, la primera en los meses de abril, mayo y junio, y la segunda temporada entre los meses de agosto, septiembre y octubre. Se puede apreciar que mientras los vientos Alisios del norte se presentan en el área de estudio, la humedad, la temperatura ambiente, la temperatura superficial del mar, la salinidad, la precipitación y el brillo solar tienen comportamientos correspondientes a la intensidad y dirección de los mismos. La humedad disminuye por efecto del transporte realizado por la corriente de aire, desplazando el viento húmedo con viento seco.

Por la acción de los vientos Alisios que al estrellarse con la Sierra regresan a la costa, la temperatura ambiente disminuye, evidenciándose promedios menores a los de otras zonas del Caribe colombiano. El fenómeno denominado "Brisa" colabora con la acción de los vientos Alisios que determinan el fenómeno de surgencia desde las inmediaciones de Santa Marta hasta la Alta Guajira. Este trabajo concuerda con lo observado por Corredor y otros investigadores, ya que al efectuar el análisis de las series de tiempo se observa como el comportamiento de la temperatura superficial del mar y de la salinidad superficial del mar varía para la zona en las épocas de Alisios, haciendo evidente el fenómeno.

En menor proporción y durante los primeros meses del año, se destaca un viento norte-noroeste y de julio a agosto un viento sur-sudoeste. Los meses de octubre, noviembre,

diciembre se caracterizan por estar influenciados por vientos del sudeste.

b) Sobre las Oscilaciones. Los espectros analizados permiten concluir que los sistemas están modulados por 8 modos predominantes de períodos aproximados a los 90, 30 - 60, 20, 14.7, 11, 8, 6 y 4 días. Al identificar estos modos mediante la aproximación de cálculos y la correlación con estudios anteriores, se obtuvieron las siguientes conclusiones: El denominado modo 1 evidencia las oscilaciones estacionales en el área de estudio, correlacionándose con la bibliografía existente sobre el comportamiento anual de los diferentes parámetros analizados.

El modo 2, se identifica como una Onda Kelvin Ecuatorial atmosférica con un período entre 25 y 60 días, esta oscilación se encuentra en la banda de frecuencia de la Oscilación Intraestacional de Madden y Julian (1972) de 30 - 60 días, la cual fue detectada en la atmósfera tropical. Al igual que Martínez (1996), se detectó la presencia de un modo (3) en la banda correspondiente al período de 21 días, esta oscilación no se ajusta a los patrones de ondas conocidos, estableciéndose, de acuerdo a los estudios de GARP, que tiene naturaleza planetaria. A pesar de que sus orígenes no son conocidos aún, se le denomina la autooscilación de 2 a 3 semanas ya que, según Murakami (1974), es una onda en la que el sistema océano-atmósfera oscila en esa frecuencia. Su presencia es evidente en el Océano Índico y en el Pacífico tropical y se manifiesta modulando la temperatura ambiente, la precipitación, la radiación, el brillo solar y la salinidad. El cuarto modo corresponde a una onda que se puede identificar como una Onda Kelvin Ecuatorial con un período comprendido entre 14,7 y 17 días, los resultados obtenidos coinciden con los estudios hechos por Gill y Wunsch (1971) en el Pacífico central. Esta oscilación presenta tendencias estadísticas coherentes y se hace

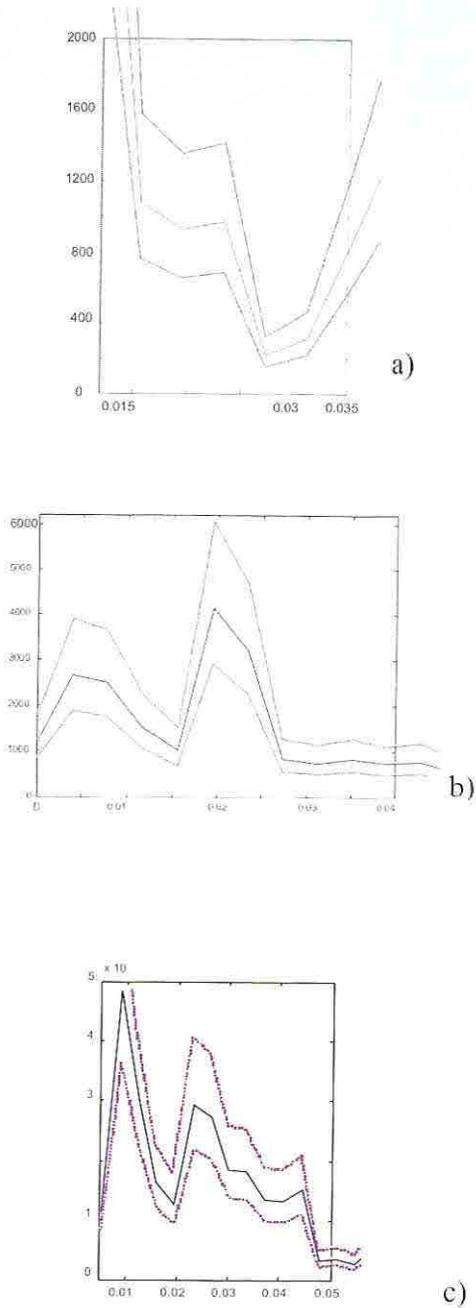
manifiesta en los parámetros estudiados. El modo 5 no es evidente en todas las estaciones, por lo que su caracterización presenta dificultad y hace suponer que se trate de oscilaciones locales con manifestaciones restringidas a ciertos sectores. El modo 6, es quizás, uno de los más representativos en la zona de estudio, corresponde a una oscilación de 8 días, que le entrega al sistema un buen porcentaje de energía en la gran mayoría de espectros estudiados, se correlaciona con estudios que hablan de la oscilación de la Zona de Convergencia Intertropical en un período muy similar a este. Tiene influencia principalmente en la temperatura tanto del agua como del ambiente, la humedad relativa, la radiación y el brillo solar. El séptimo modo, se refiere a una onda de un período aproximado de 6 días, la cual no se pudo correlacionar con información de estudios anteriores. La última señal (Modo 8), figura también en Martínez (1996) y corresponde a la onda mezclada Planetaria-Gravedad de 4 días; los parámetros obtenidos coinciden plenamente con los encontrados por Weisberg et al. (1979) y Martínez (1996). Esta oscilación puede también ser de período inercial para la posición de la zona estudiada y por lo tanto reunir las características como tal.

Las coherencias relativamente altas, reflejan para las series de tiempo tomadas, una estabilidad estadística significativa, que permite confiar en los resultados obtenidos.

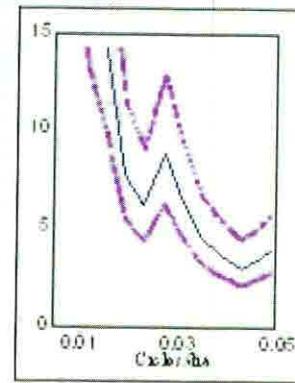
**c) Sobre la Oscilación Madden y Julian.** Se puede concluir que: Existen evidencias de que MJO, confinada a la banda de frecuencias correspondiente a 30-60 días, modela los parámetros meteorológicos y los parámetros oceanográficos superficiales del cuerpo de agua en el área de Santa Marta, afectando principalmente el comportamiento de la temperatura ambiente, la humedad relativa, el brillo solar, la radiación, la precipitación, la salinidad y la temperatura superficial. Las Figuras 16, 17, 18, 19 y 20 muestran la

ventana correspondiente a MJO. La oscilación fue identificada y graficada en las figuras 9 - 15 como modo 2. En el plano espacial, el efecto es significativo en la Estación 5 donde los porcentajes de aporte de energía de la señal, son más elevados que en las otras estaciones. Estas variaciones y características están correlacionadas con los estudios básicos de Madden y Julian donde se relaciona a esta oscilación con una actividad convectiva que se ve manifiesta en nubosidad, variaciones en los flujos de calor, precipitación y temperatura. Si se observan las variaciones en conjunto, podemos apreciar que muy seguramente las variaciones temporales de parámetros como el flujo total de calor también puede variar en ese período. De otra parte, los estudios realizados en el presente trabajo, caracterizan la Oscilación, que se encuentra confinada a este período como una Onda Kelvin con características de desplazamiento global y con dirección este, lo cual se puede correlacionar con los trabajos pioneros de investigación sobre MJO.

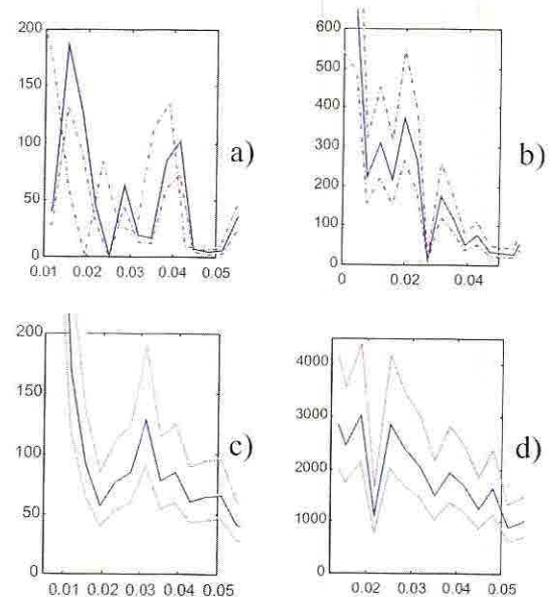
Sobre el comportamiento de los diferentes parámetros con relación a la presencia de la Onda Intraestacional podemos sugerir que al presentarse el paso de la onda por el sector, las nubes producto de los procesos convectivos asociados con la misma, se estrellan con la masa orográfica de la Sierra Nevada de Santa Marta, produciéndose una precipitación que alimenta la extensa cuenca hidrográfica de la misma y que termina desembocando en la zona costera produciendo la respectiva disminución en la salinidad y aumento en la temperatura. Esto asociado con el fenómeno de surgencia, sumado con la presencia de vientos encañonados por los valles hidrográficos de la Sierra, hacen que las variaciones en temperatura y salinidad de las aguas costeras de la misma presenten unas características muy peculiares que deben ser estudiadas con detenimiento en lo que respecta a sus efectos sobre la flora y la fauna marina del sector.



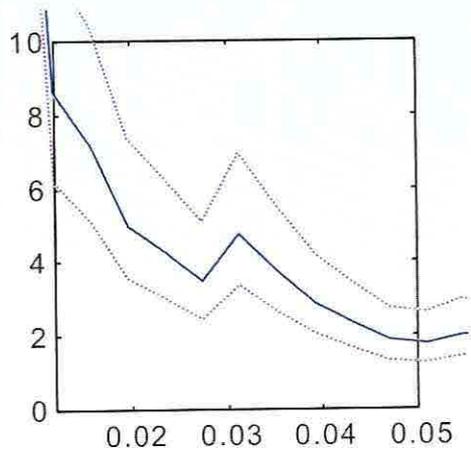
**Figura 16.** Espectros de Energía para el brillo solar (a- Estación 01, b- Estación 05) y para radiación solar (c- Estación 02), presentando el dominio de la frecuencia donde se localiza la Oscilación Madden y Julian ( $dT=24h$ , 100 grados de libertad, ventana Hanning de 256 y 95 % de intervalo de confianza).



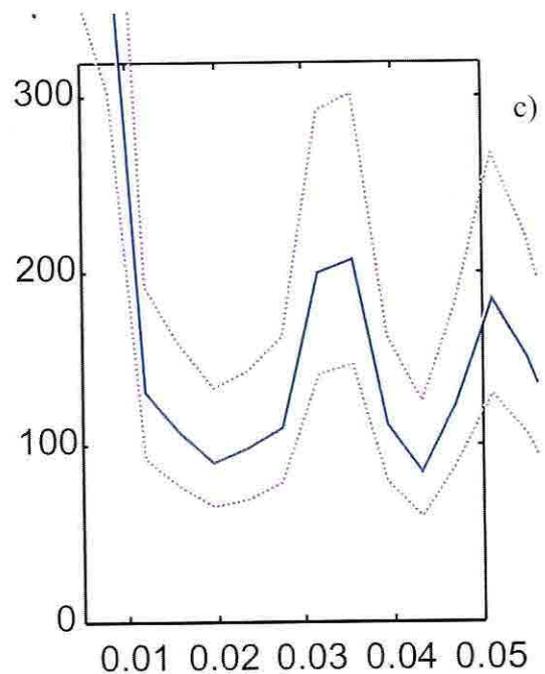
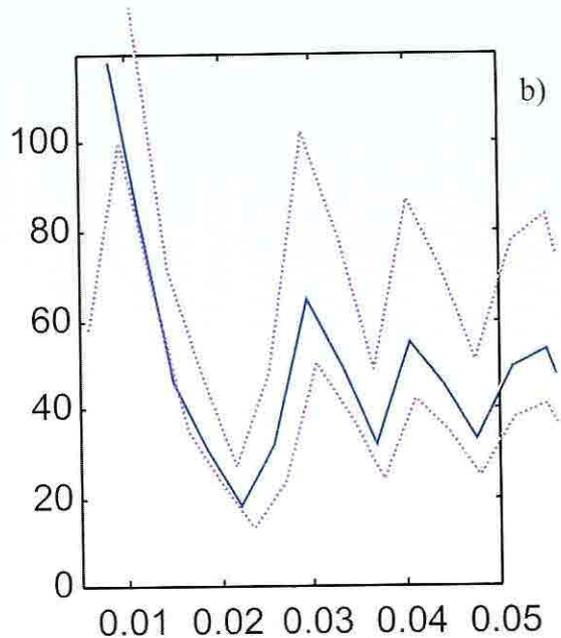
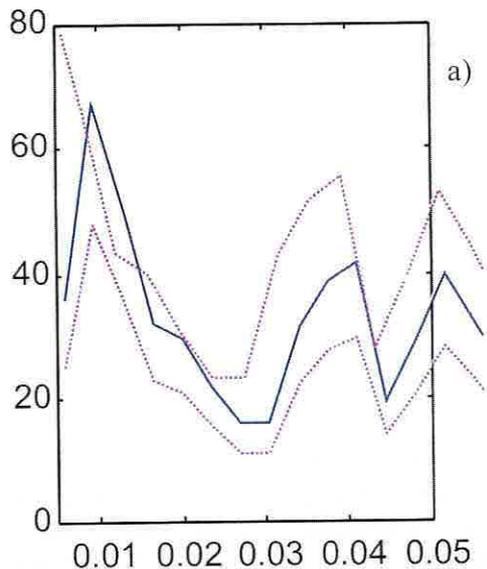
**Figura 17.** Espectro de Energía para la salinidad en la Estación 02, evidenciando la señal de una oscilación, que modula este parámetro, en el dominio de la frecuencia donde se localiza la Oscilación Madden y Julian ( $dT=24h$ , 100 grados de libertad, ventana Hanning de 256 y 95 % de intervalo de confianza).



**Figura 18.** Espectros de Energía para la humedad relativa (a- Estación 01, b- Estación 02, c- Estación 03, d- Estación 05), restringidos al dominio de la frecuencia donde se localiza la Oscilación Madden y Julian ( $dT=24h$ , 100 grados de libertad, ventana Hanning de 256 y 95 % de intervalo de confianza).



**Figura 19.** Espectro de Energía para la temperatura superficial del agua de mar ( $dT=24h$ , 100 grados de libertad, ventana Hanning de 256 y 95 % de intervalo de confianza), en la Estación 02, evidenciando la señal de una oscilación, que modula este parámetro, en el dominio de la frecuencia donde se localiza la Oscilación Madden y Julian.



**Figura 20.** Espectros de Energía para la precipitación (a- Estación 01, b- Estación 03 y c- Estación 05). El dominio se encuentra restringido a la banda de frecuencia donde se localiza la Oscilación Madden y Julian. Se observa la tendencia de la oscilación dentro del periodo 20-50 días ( $dT=24h$ , 100 grados de libertad, ventana Hanning de 256 y 95 % de intervalo de confianza).

## >> Bibliografía

- ANDRADE C., Notas de clase para análisis de series de tiempo del aire y del océano, Naval Postgraduate School, Monterrey California, 1989.
- FRANCO, A.S., Analise Espectral, Teoría e practica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de Sao Paulo (IPT) 1984.
- GILL, A. E., Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 106, 1980, p. 447-462.
- HENDON, H. H. and M. L. Salby, The life cycle of the Madden-Julian oscillation. *J. Atmos. Sci.*, 51, 1994, p. 2225-2237.
- HERRMANN R., Las Causas de la Sequía Climática en la Región Costanera de Santa Marta Colombia. *Rev. de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, Vol. 13, 52, 1970, p. 479-485.
- \_\_\_\_\_. Deutungsversuch der Entstehung der "Brisa", eines föhnwindartigen Fallwindes der nordwestlichen Sierra Nevada de Santa Marta. *Kolumbien. Mitt. Inst. Colombo-Alemán Invest. Cient.* 1970, Vol4, 83 - 95
- KNUTSON, T.R., K.M. WEICKMANN and J.E. KUTZBACH: Global scale intraseasonal oscillation of outgoing longwave radiation and 250 mb zonal wind during northern hemisphere summer. *Mon. Wea.Rev.*, 1986, 114, 605-523.
- LAU,K.M., Subseasonal Oscillations, bimodal climate state and the el Niño Southern Oscillation. *Coupled Ocean-Atmosphere Model*, J. Nihoul, Ed., Elsevier, 1985a.
- LAU,K.M., Elements of a stochastic dynamical theory of the long-term variability of el Niño Southern Oscillation., *J. Atmos. Sci.*, 1985b, 42, 1552-1558
- LAU.K.M., and P.H., CHANG., Short term climate variability and atmospheric teleconnection as inferred from outgoing longwave radiation. *J. Atmos. Sci.*, 1983a, 40, 2735-2750.
- LAU, K. M., and L. PENG, 1987: Origin of low-frequency (intraseasonal) oscillations in the tropical atmosphere. Part I: basic theory. *J. Atmos. Sci.*, (44), 950-972.
- MADDEN R.A. and P.R. Julian, Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J. Atmos. Sci.* 28, 1971, p. 702-708.
- \_\_\_\_\_. and \_\_\_\_\_. Description of Global-Scale Circulation Cells in the Tropics with a 40-50 Day Period. *J. Atmos.Sci*, 29, 1972, p. 1109-1123.
- \_\_\_\_\_. and \_\_\_\_\_. Observation of the 40-50 day tropical oscillation a review. *Mon. Wea. Rev.*, 1994, 122, 814-837.
- MADDEN R.A. Seasonal variations of the 40-50 day oscillation in the tropics. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 43(24), 1987, p.3138-3158.
- MURAKAMI T. and Nakazawa T., Tropical 45 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere summer. *J. Atmos. Sci.*, 42, 1985, p. 1107 - 1122.
- MARTINEZ, R., Estudio del comportamiento de ondas lineales barotrópicas en la atmósfera tropical y el litoral ecuatoriano-colombiano en un periodo determinado. Cartagena de Indias, 1996. Trabajo de grado (Oceanografía Física). Escuela naval de Cadetes Almirante Padilla. Facultad de Oceanografía
- MÜLLER K., Interrelaciones entre salinidad y temperatura en la Bahía de Santa Marta. *An.Ins.Inv.mar Punta de Betín*, 11, 1979, p. 219-226.
- PARKER, D.E., Equatorial Kelvin waves al 100 milibars. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1973, 99, 116-129.
- SALZWEDEL II. and K. Müller, A. Summary of Meteorological and Hidrological data from the Bay of Santa Marta, Colombian Caribbean, *Ap.Inst.Inv.Mar. Punta de Betín*, 13, 1983, p. 67-83.
- SCHNETTER, R. Untersuchungen zum Standortklima im trockengebeit von Santa Marta. *Kolumbien. Mitt. Inst. Colombo Aleman Invest.Cient.* 1970, 4: 45-75.