

VARIACIONES ESPACIALES Y ESTACIONALES DEL VIENTO SUPERFICIAL EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS, B.C.

Por

Edgar Pavía

y

Sergio Reyes

Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada (CICESE).
Ensenada, B.C. México 80232.

RESUMEN

Se analizan por medio de espectros rotacionales y funciones empíricas ortogonales, los datos de viento superficial obtenidos en tres puntos de la Bahía de Todos Santos y el viento sinóptico estimado para la región durante 1979. Se utilizan filtros apropiados para separar las bandas de alta y baja frecuencia con energía más significativa. Las bajas frecuencias muestran el efecto del viento sinóptico; las frecuencias altas muestran los efectos de brisa y de convección libre. Durante la primavera y el otoño el sistema de brisa marina y terrestre se encuentra medianamente desarrollado, como corresponde a una época de transición. El invierno presenta una circulación de brisa marina y terrestre anómalamente bien desarrollada, mientras que durante el verano la brisa fué más bien débil; ésto se explica por un período relativamente poco lluvioso durante febrero y la presencia de condiciones Santana durante septiembre, respectivamente. El efecto friccional y de orientación de la línea de costa es claramente observado en los autovectores de viento resultante de los datos analizados.

ABSTRACT

Surface wind data obtained at three sites of Todos Santos Bay, Mexico, and synoptic wind estimates for the region during 1979, are analyzed by means of rotary spectra and empirical orthogonal functions. Filters are used to obtain the high and low frequencies bands with most significant energy. Low frequencies show the synoptic wind effect; high frequencies show the breeze and free convection effects. During spring and fall the sea and land breeze regime is found to be more or less developed, corresponding to transition periods. Winter shows anomalous strong sea and land breeze circulation, while during summer the breeze was rather weak; this is explained by a relatively dry period during February and the presence of Santana condition events during September, respectively. The frictional and coastline orientation effects are clearly observed from the resultant wind eigenvectors of the analyzed data.

INTRODUCCION

La circulación atmosférica en regiones costeras ha sido ampliamente estudiada y actualmente se conocen bien la dinámica y los fenómenos asociados que dan lugar a los vientos costeros y brisas de mar y tierra (Fisher, 1960; Geisler y Bretheron, 1969; Hsu, 1970; McPherson, 1970; Neumann y Mahrer, 1971; Johnson y O'Brien, 1973; Halpern, 1974; Neumann, 1977; Reed, 1979; Yoshikado, 1981; entre otros). Similarmente, el régimen de vientos en bahías ha sido estudiado por Alvarez (1977), Barbato (1978) y Reyes et al. (1982), haciendo evidentes algunos factores geográficos restrictivos en el comportamiento espacial y temporal de los vientos superficiales.

En el caso más simple, podemos decir que durante el día la superficie de la tierra aumenta su temperatura en mayor magnitud en comparación con la superficie del mar. Esto provoca un mayor aumento en la temperatura del aire sobre la tierra; este aire se eleva por convección haciendo que el aire sobre el mar, más frío y denso, fluya hacia la tierra. A cierta altura, cuando la influencia del calentamiento superficial disminuye, el aire sobre la tierra regresa hacia el mar, donde reemplaza el aire superficial que inicialmente fluyó hacia la tierra; esto es la brisa marina. Durante la noche, la superficie de la tierra se enfría más que la superficie del mar, invirtiéndose la circulación y dando lugar a la brisa terrestre. Debido a que el valor absoluto del gradiente de temperatura entre mar y tierra es mayor durante el día, la brisa terrestre es de dimensiones menores que la brisa marina.

La atmósfera local sobre la Bahía de Todos Santos es principalmente afectada por la circulación atmosférica de latitudes medias, por la condición del anticiclón semipermanente centrado al oeste de los Estados Unidos y por la corriente oceánica de California (Bakun y Nelson, 1978; Stevenson, 1960). En consecuencia, las perturbaciones y anomalías observadas en el viento local durante 1979 pueden ser explicadas en función de la dinámica regional atmosférica y de la interacción océano-atmósfera, ya que la importancia de los fenómenos asociados a ambas es muy significativa en esta región.

En este estudio analizamos un año de datos de viento superficial (local y sinóptico) obtenidos en varias estaciones meteorológicas distribuidas alrededor de la Bahía de Todos Santos, B.C. (fig. 1). Nuestro principal interés es estimar las variaciones espaciales y temporales en función de las características orográficas y estacionales. Los resultados obtenidos son de gran utilidad para entender algunos fenómenos locales como son circulación superficial del mar, dispersión de contaminantes, regiones y épocas de mayor inestabilidad y turbulencia atmosférica y, en general, procesos oceanográficos y meteorológicos relacionados.

ANALISIS DE DATOS

La obtención y reducción de los datos utilizados en este estudio ya han sido

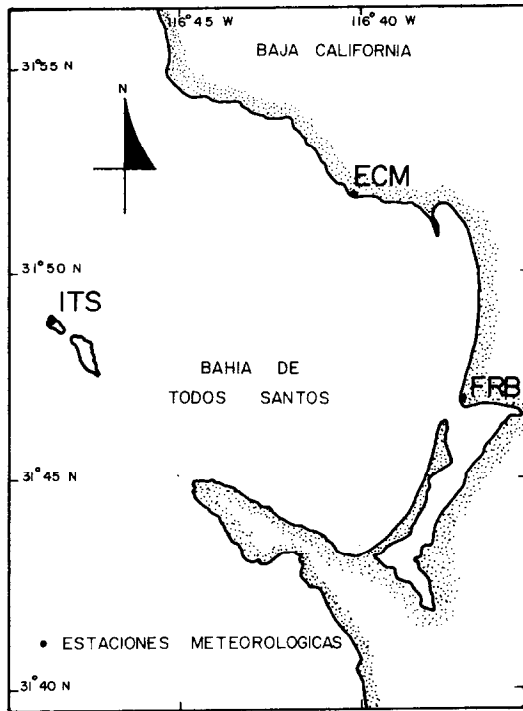


Fig. 1.- Bahía de Todos Santos, B.C., México. Área de estudio.

explicadas en trabajos anteriores (Parés, 1981; Reyes et al., 1982). En este estudio sólo se discute el procedimiento efectuado a las series seleccionadas: se escogieron los datos de los meses de febrero, mayo, septiembre y diciembre como representativos del invierno, primavera, verano y otoño respectivamente. Los datos locales fueron obtenidos en la Isla Todos Santos (ITS), la Escuela de Ciencias Marinas (ECM) y el "Faro Beach" (FRB). El viento sinóptico (SIN) se estimó de los mapas de presión superficial para la región. Primeramente se calculó el promedio, varianza y la desviación estándar por componentes u (positiva hacia el este) y v (positiva hacia el norte) a las series de datos (ver tabla 1). Para los vientos locales se estimaron las variaciones diurnas de los días promedios o típicos, por mes y para cada sitio meteorológico (figs. 2-5). El método está descrito por Pavía (1979) y consiste básicamente en estimar los valores medios a lo largo del día de los componentes u y v , la rapidez, la desviación estándar, la magnitud vectorial y la persistencia.

En el caso del viento sinóptico se calcularon espectros rotacionales. Esto es la representación en frecuencia de una serie de tiempo vectorial en términos de

VIENTO SUPERFICIAL EN BAHIA DE TODOS SANTOS

energía. El método consiste básicamente en descomponer el vector bidimensional en dos movimientos circulares con fase y magnitud propia para cada frecuencia.

Tabla I. Estadística general para todas las series consideradas

SERIE	MINIMO (m/s)	MAXIMO (m/s)	PROHEDIO (m/s)	VARIANZA (m ² /s ²)	DES. EST. (m/s)
U SIN 02	-7.8000	12.9400	0.7538	18.8642	4.3433
V SIN 02	-25.8900	4.2400	-5.7420	15.4394	3.9293
U ITS 02	-7.7700	16.0400	1.8205	15.0897	3.8845
V ITS 02	-13.7500	6.8400	-2.7232	5.3087	2.3041
U ECM 02	-2.9000	11.7400	1.3323	8.2715	2.8760
V ECM 02	-3.0700	5.1700	0.0049	2.1561	1.4684
U FRB 02	-3.9000	8.0300	0.5252	4.0805	2.0200
V FRB 02	-5.8100	6.6900	0.2042	1.1541	1.0743
U SIN 05	-13.5000	14.9100	4.6235	19.8400	4.4542
V SIN 05	-25.1000	-2.4300	-11.0361	21.2119	4.6056
U ITS 05	-7.5500	19.3400	3.2725	11.9300	3.4540
V ITS 05	-16.9900	9.3400	-1.1122	8.8028	2.9669
U ECM 05	-1.5500	6.5000	0.6873	2.1981	1.4826
V ECM 05	-1.9200	3.9700	0.2635	0.4896	0.6997
U FRB 05	-3.0700	6.5300	0.9310	2.2948	1.5149
V FRB 05	-1.9200	6.2400	0.7182	1.3213	1.1495
U SIN 09	-11.0500	13.7600	0.8448	11.9663	3.4592
V SIN 09	-19.5000	3.4500	-9.5908	18.1958	4.2657
U ITS 09	-4.3700	13.7400	3.2067	7.6343	2.7630
V ITS 09	-5.8700	4.5500	-1.2696	3.5910	1.8950
U ECM 09	-5.7200	14.7100	1.7235	8.0336	2.8432
V ECM 09	-12.0800	16.4500	0.3056	3.6843	1.9194
U FRB 09	-3.1200	4.4600	0.7105	2.0275	1.4239
V FRB 09	-1.7900	3.8600	0.6751	1.2332	1.1105
U SIN 12	-15.3500	8.3500	-2.5251	18.9092	4.3485
V SIN 12	-13.5100	7.1300	-2.0114	17.9975	4.2423
U ITS 12	-7.1300	11.9800	0.3991	13.7924	3.7138
V ITS 12	-9.5900	5.0400	-1.1666	4.8026	2.1915
U ECM 12	-5.2500	10.9700	0.6697	4.7669	2.1833
V ECM 12	-5.3100	3.0100	-0.0967	1.3943	1.1308
U FRB 12	-3.3900	9.3100	0.0921	1.9059	1.3805
V FRB 12	-9.7200	4.5800	-0.1973	1.8968	1.3773

La energía total de la serie (figs. 6-9) para cada banda de frecuencia, es la suma de la varianza de la rotación en el sentido de las manecillas del reloj (frecuencias negativas), y la varianza de la rotación en contra de las manecillas del reloj (frecuencias positivas); ver Candela (1982) y Parés (1981) para una descripción y aplicación del método de espectros rotacionales a series vectoriales de corrientes marinas y viento, respectivamente. Los espectros se calcularon para cada tres meses de datos, asociando las cuatro series a las estaciones del año (ver fig. 6). Debido a que los datos no estaban igualmente espaciados, se interpolaron linealmente cada 8 horas. Se escogió la interpolación lineal debido a que las interpolaciones de orden superior creaban lóbulos que producían una sobrestimación de la energía en las altas frecuencias. Similarmente, se estimaron espectros rotacionales para los datos disponibles de febrero, mayo, septiembre y diciembre de ITS, ECM y FRB (figs. 7-9).

Para los datos simultáneos de febrero, mayo, septiembre y diciembre se efectuaron análisis de componentes principales o funciones empíricas ortogonales (FEO) en su forma bidimensional (figs. 10 y 11). La principal importancia de

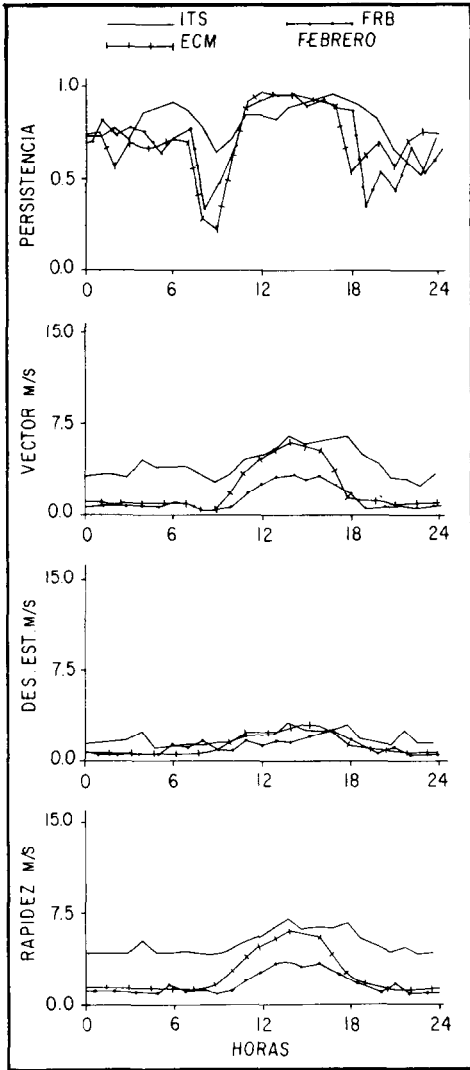


Fig. 2.- Variación diaria del viento local. Febrero 1979. Promedio escalar y desviación estandar de la rapidez, promedio vectorial y persistencia del viento.

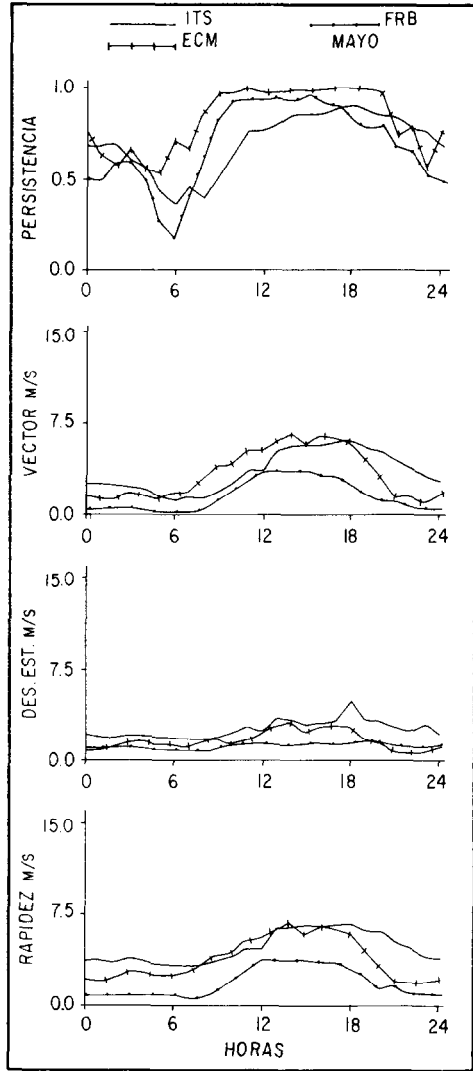


Fig. 3.- Variación diaria del viento local. Mayo 1979. Promedio escalar y desviación estandar de la rapidez, promedio vectorial y persistencia del viento.

VIENTO SUPERFICIAL EN BAHIA DE TODOS SANTOS

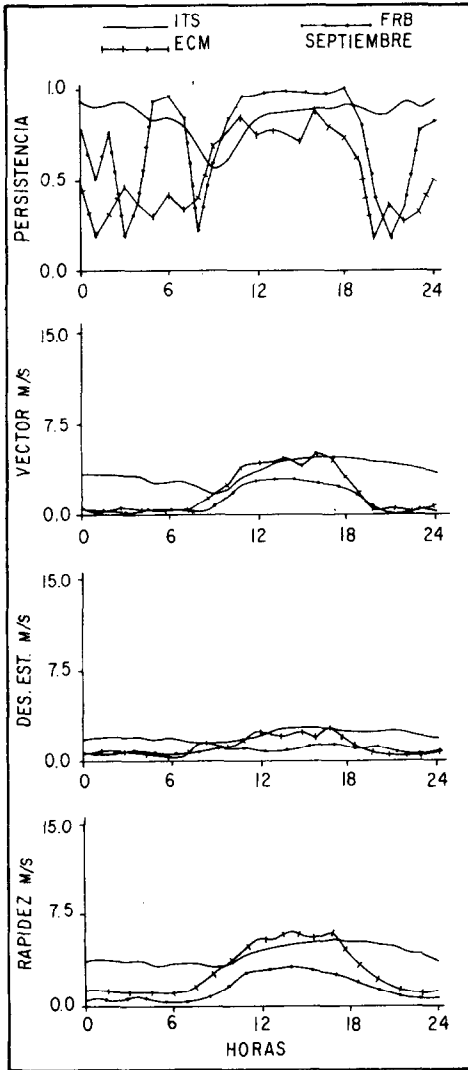


Fig. 4.- Variación diurna del viento local. Septiembre 1979. Promedio escalar y desviación estandar de la rapidez, promedio vectorial y persistencia del viento.

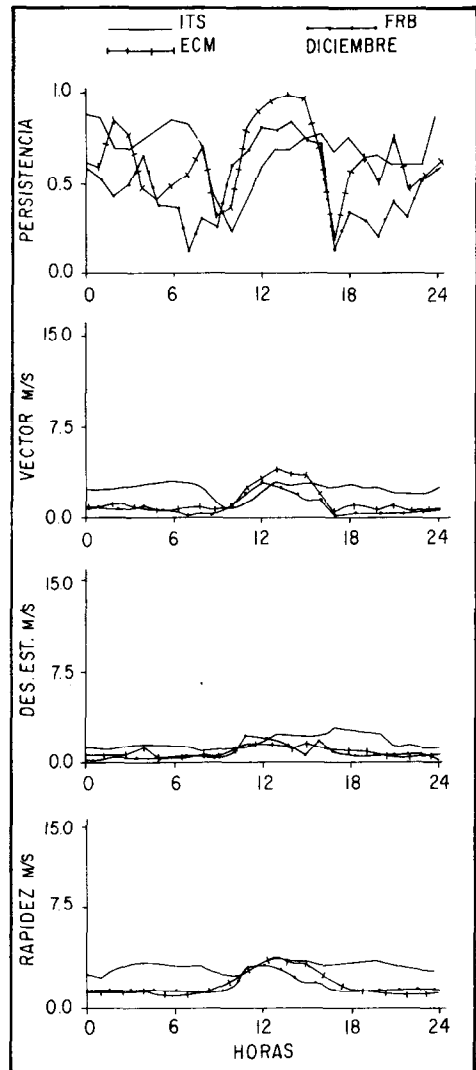
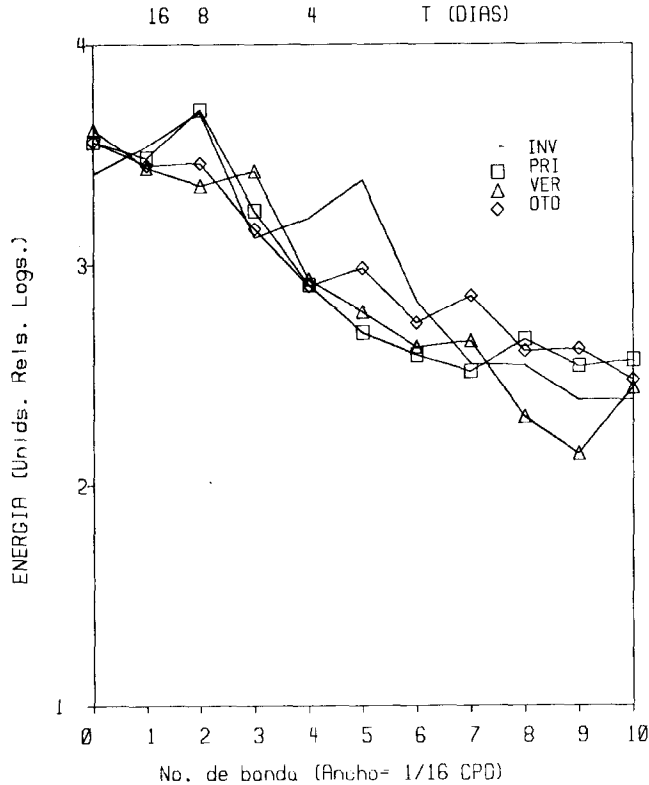


Fig. 5.- Variación diurna del viento local. Diciembre 1979. Promedio escalar y desviación estandar de la rapidez, promedio vectorial y persistencia del viento.



...Fig. 6.- Espectros rotacionales del viento sinóptico con 34 grados de libertad en promedio, para las cuatro estaciones de 1979. La gráfica muestra el logaritmo de la energía total (frecuencia positiva más frecuencia negativa) para cada banda.

las FEO es que la varianza de un conjunto de series de tiempo es descompuesta en modos ortogonales, es decir sin correlación entre ellos. Después es posible calcular el porcentaje del total de la varianza para cada modo, siendo más importantes en tanto mayor sea este porcentaje, para más detalles ver Parés (1981) y Reyes y Parés (1982). Debido a que en nuestras series existen claramente dos tipos de efectos: sinóptico o de baja frecuencia y de brisa o de frecuencia diurna (alta frecuencia), se procedió previo al análisis a filtrar las series. El filtro utilizado consiste en pasar dos veces una media corrida de 24 hs. y una tercera de 25 hs. De esta forma se obtuvieron los juegos de datos filtrados con frecuencias menores a 1 ciclos por día (CPD) y los residuales de los originales menos los filtrados con un rango de frecuencias entre 1 CPD y la frecuencia de corte. Este filtraje implica la pérdida de 70 datos horarios, por lo que para estos análisis se eliminó la serie más corta del conjunto de datos: ECM mayo.

VIENTO SUPERFICIAL EN BAHIA DE TODOS SANTOS

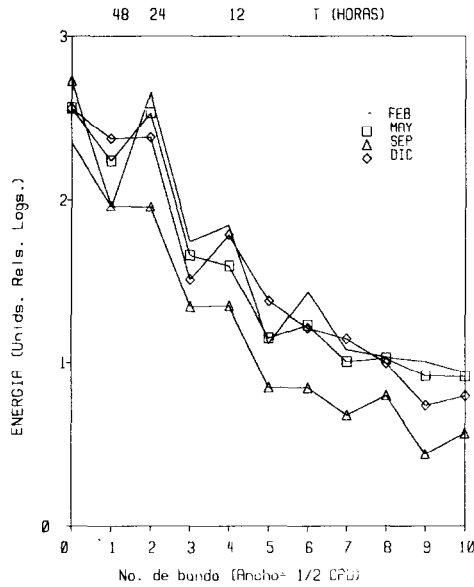


Fig. 7.- Espectros rotacionales de ITS con 30 grados de libertad en promedio, para cuatro meses representativos de 1979. La gráfica muestra el logaritmo de la energía total (frecuencia positiva más frecuencia negativa) para cada banda.

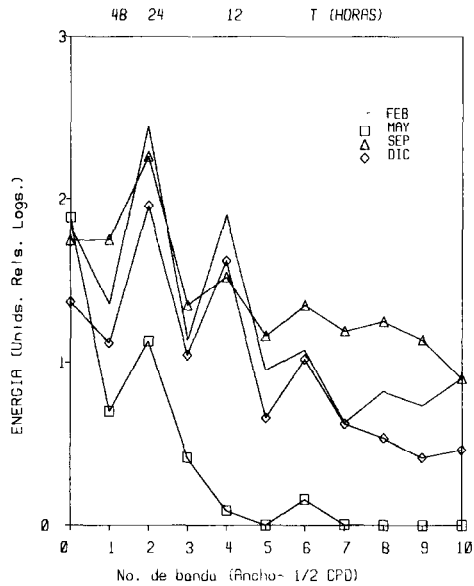


Fig. 8.- Espectros rotacionales de ECM con 22 grados de libertad en promedio, para cuatro meses representativos de 1979. La gráfica muestra el logaritmo de la energía total (frecuencia positiva más frecuencia negativa) para cada banda.

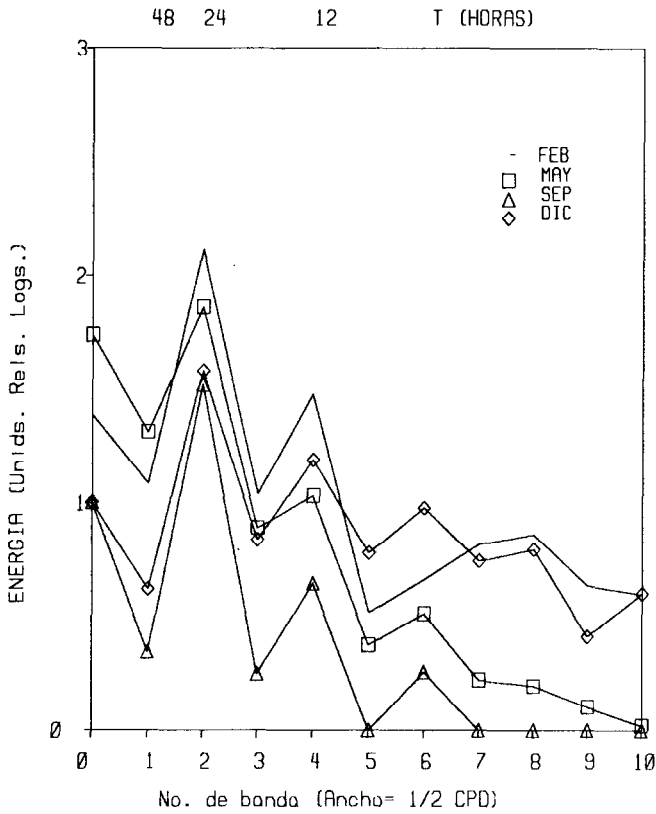


Fig. 9.- Espectros rotacionales de FRB con 21 grados de libertad en promedio, para cuatro meses representativos de 1979. La gráfica muestra el logaritmo de la energía total (frecuencia positiva más frecuencia negativa) para cada banda.

Tanto para el caso del análisis espectral como para las FEO, consideramos al vector de viento (\underline{W}) como un número complejo: $\underline{W} = u + \underline{j} v$.

RESULTADOS

Estadística general.-

De la tabla 1 podemos observar que todas las series presentan valores positivos y negativos (excepto v SIN mayo, que siempre es negativa) por lo que generalmente los valores promedio son pequeños. Si consideramos el valor absoluto de las magnitudes promedio, entonces los valores mayores los encontramos en las series de componentes de SIN e ITS en los meses de mayo y septiembre, lo cual puede considerarse como normal. Para la varianza la situación es similar con excepción de septiembre donde ECM presenta valores un poco mayores que ITS.

VIENTO SUPERFICIAL EN BAHIA DE TODOS SANTOS

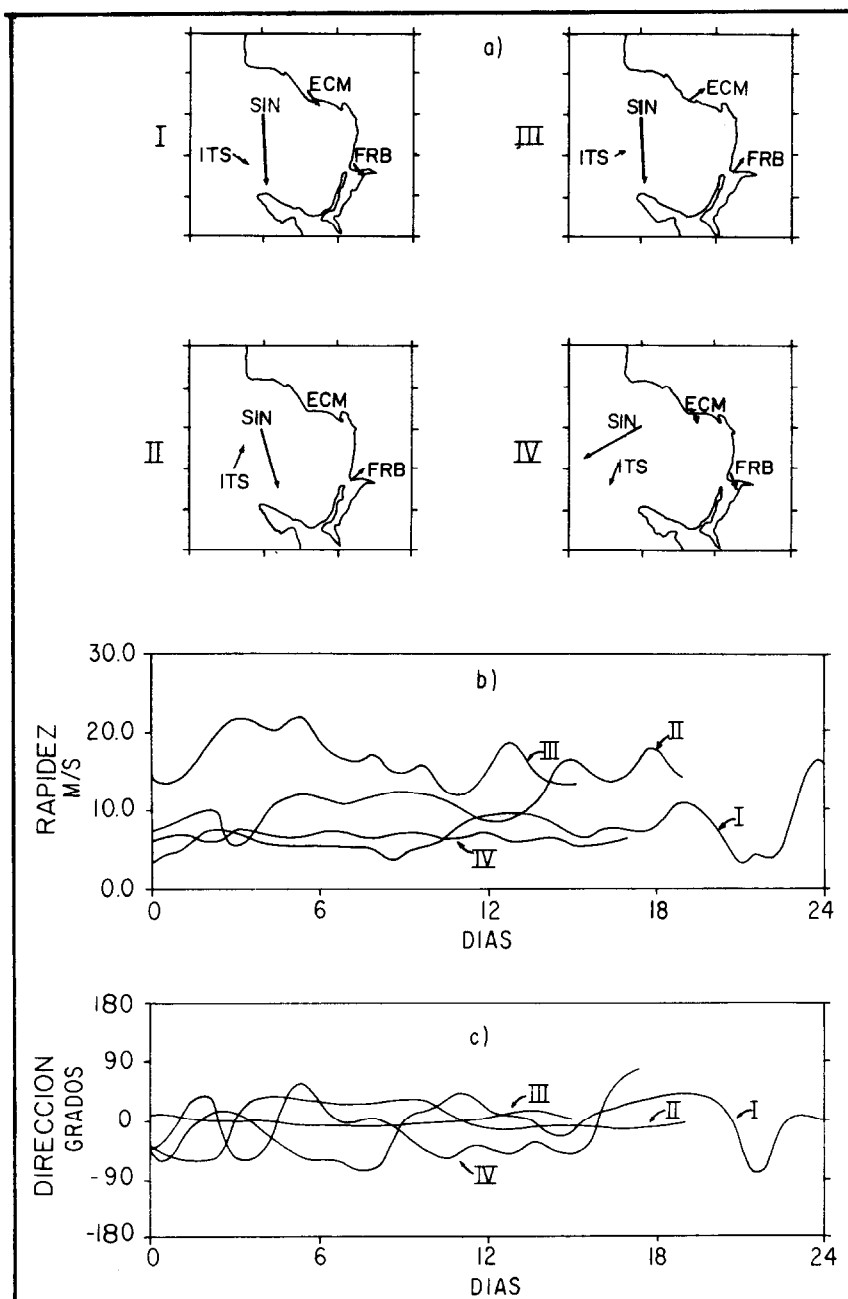


Fig. 10.- Análisis de componentes principales para las series filtradas. I.- Febrero 3-26, II.- Mayo 12-29, III.- Agosto 27 Septiembre 10, IV.- Diciembre 3-19. a).- Autovectores característicos, b).- Coeficientes de expansión para la rapidez, c).- Coeficientes de expansión para la dirección.

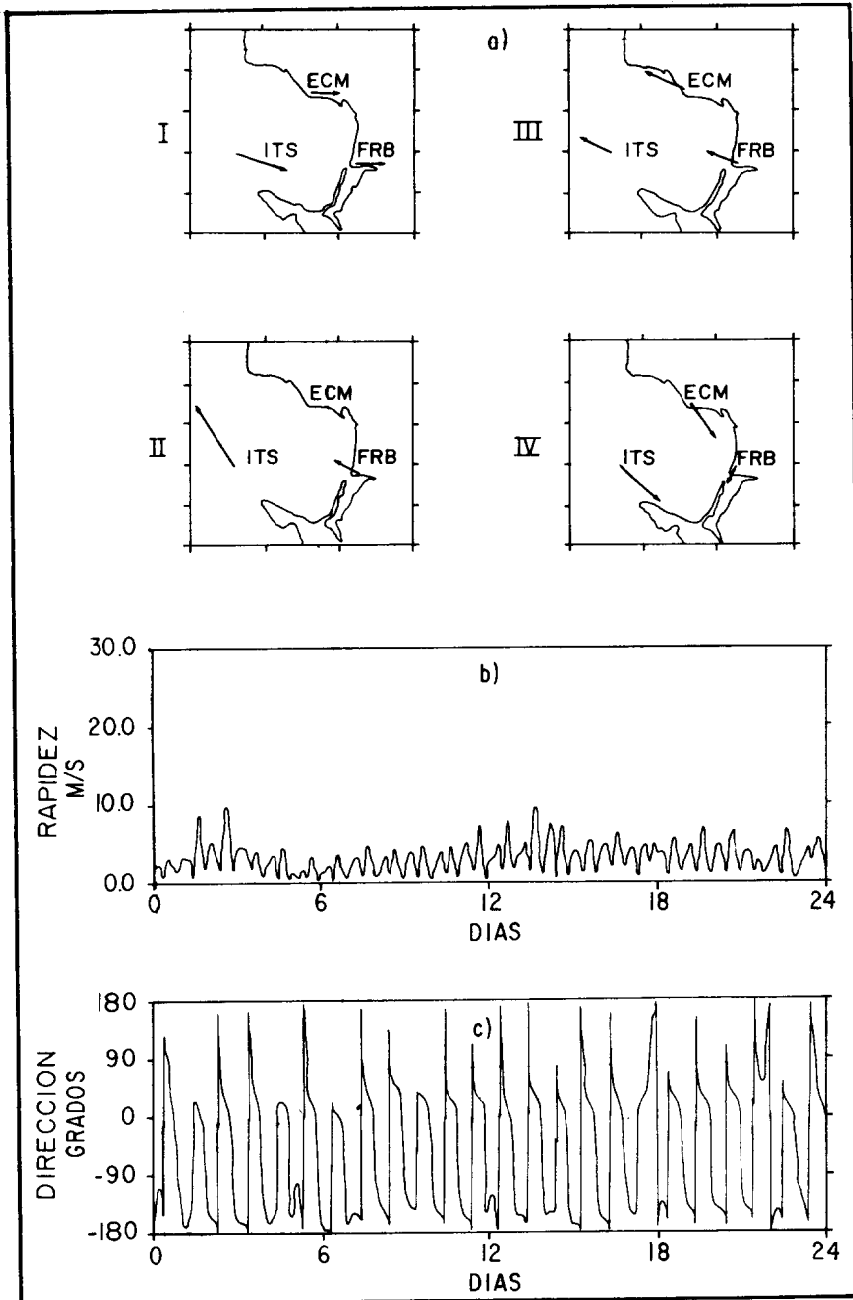


Fig. 11.- Análisis de componentes principales para las series residuales. I.- Febrero 3-26, II.- Mayo 12-29, III.- Agosto 27 Septiembre 10, IV.- Diciembre 3-19. a).- Autovectores característicos, b).- Coeficientes de expansión para la rapidez durante febrero, c).- Coeficientes de expansión para la dirección durante febrero.

Si tomamos a la varianza como una medida de la energía de la serie (Peña,1977), podemos decir que con excepción hecha del caso mencionado, las series más energéticas son SIN e ITS. En el caso de la Bahía de Todos Santos, las variaciones diurnas se pueden considerar como normales (figs. 2-5), sin embargo, la variación estacional de las mismas presenta anomalías que son originadas por fenómenos de escala sinóptica y que se discutirán más adelante.

Análisis espectral del viento sinóptico.-

Estos análisis muestran que para cada caso las bajas frecuencias ($< 1/2$ CPD) son las más importantes (fig. 6). El invierno y la primavera tienen picos significativos en la banda 2 ($1/8$ CPD); el verano presenta un mínimo en esta banda, pero tiene un pico en la banda 3 ($\sim 1/5$ CPD) que no se encuentra en ningún otro caso; el invierno presenta además un pico en la banda 5 ($\sim 1/3$ CPD). El otoño no presenta picos significativos.

Análisis espectral del viento local.-

En el caso de ITS (fig. 7) se encontró que las bajas frecuencias ($< 1/2$ CPD) presentan la más alta energía, sólo febrero tiene el pico más importante en la banda 2 (1 CPD). Durante septiembre, por el contrario, la frecuencia diurna presente muy baja energía mientras que la banda 0 presenta el máximo valor. Durante mayo y diciembre existen picos importantes tanto para las frecuencias bajas como para la frecuencia diurna. Es importante señalar que la banda 4 (frecuencia semidiurna) también presenta un pico significativo, aunque de menor valor.

Los espectros de ECM (fig. 8) presentan el pico más evidente en la frecuencia diurna, las frecuencias baja (banda 0) y semidiurna (banda 4) presentan también picos significativos, pero de menor valor. Durante febrero las frecuencias diurnas y semidiurna son muy evidentes. Mayo presenta el valor más alto de energía en la banda 0; sin embargo septiembre y diciembre, al igual que febrero, muestran su más alta energía en la frecuencia diurna. En general las energías de la frecuencia diurna son menores que en ITS.

Para FRB (fig. 9), al igual que en ECM, la frecuencia diurna es la más importante, presentando picos menos significativos en la baja frecuencia y en la frecuencia semidiurna. Así mismo febrero presenta los valores más altos en las bandas 2 y 4, y septiembre los menores. Mayo y diciembre presentan valores intermedios. Las energías son en general menores que en ECM.

Análisis de componentes principales.-

Las FEO de las series filtradas dan en los 4 casos un primer modo representativo del efecto sinóptico con un gran porcentaje del total de la varianza (fig. 10).

Este porcentaje es mayor en febrero (88o/o) y menor en septiembre (61o/o). Las características de este modo son: i) el autovector representativo del viento sinóptico es de mucho mayor magnitud que los autovectores locales; ii) la principal dirección de este modo es entre NNW y NNE y con poca variabilidad. Con las series residuales se realizaron dos formas de FEO: 1) con todas las series disponibles; 2) sin las series SIN. En la forma 1 el modo que representa la brisa no tenía un alto porcentaje del total de la varianza e incluso en septiembre y diciembre no eran el modo principal. Sin embargo en la forma 2 encontramos en los 4 casos que el primer modo representa a la brisa con un alto porcentaje de la varianza total (la más alta en febrero con 83o/o y la menor en diciembre con 77o/o). Este modo de brisa de los juegos de series residuales se caracteriza por tener dos direcciones preferentes para los autovectores locales: hacia el mar y hacia la tierra. Estos autovectores son generalmente mayores en ITS (fig. 11).

DISCUSION

El resumen climatológico anual de 1979 (Servicio Meteorológico Nacional, 1979) señala que la región norte de Baja California tuvo precipitaciones por arriba de lo normal durante los meses de enero y mayo; y por abajo durante los meses de febrero, marzo, abril y junio; estando dentro de lo normal los otros meses. Por lo tanto podemos asociar a la precipitación anormal un aumento o reducción de la insolación, dependiente de la nubosidad, que resultará en un aumento o disminución en la intensidad de las brisas locales. Similarmente, los movimientos anómalos de la corriente de chorro o "jet stream" subtropical, y su efecto en los vientos sinópticos prevalecientes del noroeste en la región de la bahía (ver tabla 1), darán por consecuencia situaciones irregulares al interactuar con el régimen de brisas local. Así, por ejemplo, del análisis estacional del viento sinóptico (fig. 6) se observa que las frecuencias de 1/8 CPD de invierno (enero, febrero y marzo) y primavera (abril, mayo y junio) muestran aproximadamente la misma energía espectral, siendo este un resultado directo de la baja precipitación observada, la cual está asociada con el paso de frentes polares y zonas de baja presión durante esta época del año. Por otro lado, se observa que para esta misma frecuencia (banda 2) la energía del verano (julio, agosto y septiembre) es ligeramente menor que la del otoño (octubre, noviembre y diciembre); sin embargo las bandas laterales (1 y 3) presentan mayor energía, lo cual es una indicación de anomalía en los vientos puesto que deberíamos esperar que durante verano, la energía asociada al paso de frentes polares (con frecuencia de 1/8 CPD) sea menor que durante el resto del año (Munn, 1966). Esta influencia polar se hizo evidente no sólo en medias latitudes del litoral americano del Pacífico sino también en las regiones tropicales del Pacífico del Este en las que se observó una disminución en la penetración de la Zona Intertropical de Convergencia en el hemisferio norte (Gunther, 1980; Reyes y Vogel, 1982).

Por otro lado, las condiciones locales (i. e. la brisa marina y terrestre), a través del año, también fueron irregulares en relación a las condiciones sinópticas.

Es interesante notar que la influencia sinóptica fue muy notoria y determinante sólo en la estación de la Isla de Todos Santos (ITS), mientras que en las estaciones costeras (ECM y FRB) el efecto sinóptico sólo se hizo sentir en condiciones extremas como lluvias, condiciones Santana y nieblas profundas. En lo que resta de esta sección analizaremos por separado las condiciones normales desde el punto de vista de la teoría simplificada de brisa y las condiciones anómalas observadas desde el punto de vista sinóptico de interacción tierra-mar-aire.

Discusión de la brisa típica.-

Para poder describir y entender los mecanismos dinámicos y termodinámicos generadores de la brisa, es necesario hacer algunas simplificaciones. Durante el día en una región costera completamente despejada de nubes y con superficies homogéneas del océano y de la tierra, se produce un calentamiento radiativo homogéneo, que da como consecuencia un sistema de vientos que se pueden estudiar mediante un balance entre las fuerzas inerciales, de Coriolis, de fricción y del gradiente de presión (Holton, 1979). El resultado directo de esta simplificación es que a mayor gradiente térmico entre las superficies del mar y tierra, por ejemplo durante verano, se esperará una mayor energía del viento en sus altas frecuencias (1 y 2 CPD). En el caso de las costas del Pacífico de Baja California Norte, el aumento de la temperatura superficial del mar, combinado con la baja humedad relativa, propicia un aumento de la evaporación. Esto provoca, en el verano, que durante la noche el enfriamiento radiativo propicie una densa niebla que en general es disipada hasta las 09:00 o 10:00 hrs. Lo que no permite a la brisa marina su desarrollo y persistencia típicos sino hasta media mañana, no obstante que empiece antes que en otros meses (ver figs. 2-5).

Discusión de la brisa anómala.-

Para poder entender los resultados anómalos en los vientos locales obtenidos durante 1979, es necesario considerar el problema complejo de la interacción del régimen de brisa local y el viento sinóptico. Los vientos locales, por tener menor energía asociada, son grandemente afectados por los fenómenos sinópticos. Así, por ejemplo, observamos durante febrero una brisa anómalamente bien desarrollada y un período de baja precipitación y de días despejados. Esto último provocó un mayor calentamiento diferencial en comparación con los otros meses de invierno. En este caso una característica definitiva de la circulación de brisa marina y terrestre es la de ser no-lineal (Geisler y Bretherton, 1969). Conjuntamente, la disminución en la precipitación está correlacionada con la disminución del paso de frentes polares y la consecuente disminución de la baroclinicidad de medias latitudes típicas de invierno. Todo esto se refleja en la poca energía espectral para las bajas frecuencias del viento sinóptico, detectada durante febrero (fig. 6). Por otro lado, durante septiembre, la magnitud de la brisa marina fue menor que lo esperado para la época de verano. Esto se debió a la presencia de vientos ocasionales del este, conocidos como condición Santana. Sin embargo es necesario mencionar

que este fenómeno no fue tan marcado como en el otoño, ya que sólo podemos detectar una baja energía en la frecuencia diurna de ITS y un debilitamiento en la componente u del viento de ECM y FRB (ver tabla I) durante este período.

Características de los autovectores estacionales.-

El análisis de FEO para las bajas frecuencias (fig. 10) muestra el efecto sinóptico sobre el régimen de vientos en la Bahía de Todos Santos. Los autovectores locales muestran que la estación ITS es la que tiene mayor influencia sinóptica, lo cual se explica por estar menos afectada por las condiciones locales, como orografía, línea de costa y calentamiento terrestre. Para el caso de las series residuales (fig. 11) los resultados muestran los efectos del régimen de brisa marina y terrestre. Considerando los coeficientes de expansión, los autovectores representativos (principalmente ECM y FRB) son en general aproximadamente perpendiculares a la línea de costa; y muestran una variación diurna evidente en la dirección así como una variación semidiurna en la rapidez, que son debidas a las intensificaciones de la brisa marina y terrestre durante el día y la noche y a los procesos de convección libre. Los autovectores de FRB y ECM son menores que el de ITS, esto es debido al efecto friccional que la costa ejerce sobre el viento.

CONCLUSIONES

Se ha estudiado el viento sinóptico y el viento local en tres puntos de la Bahía de Todos Santos durante 1979. Dos tipos de efectos son claramente distinguidos: i) los resultados de los fenómenos sinópticos; ii) el que resulta del régimen de brisa marina y terrestre.

Los fenómenos sinópticos están gobernados principalmente por el sistema de alta presión centrado al oeste de California, cuya conducta es posible inferir del análisis de las bajas frecuencias del viento. Este sistema de alta presión fue muy persistente durante el invierno, causando un debilitamiento en los frentes polares al pasar por la región; siendo más variable durante los últimos cuatro meses del año, permitiendo los vientos del este conocidos como condición Santana.

El efecto sinóptico fue más marcado durante la primavera, por un reforzamiento del viento del NW; y su influencia mayor sobre la región de la isla y la parte SE de la bahía y menor en la parte NE. El efecto de brisa fue más notorio durante febrero, por una baja nubosidad que acentuó el gradiente término al aumentar la insolación. Durante septiembre la brisa marina fue debilitada por la presencia de vientos del este.

Los vientos locales en la Bahía de Todos Santos son principalmente generados por las características físicas de la región; pero estos son grandemente afectados por la situación meteorológica general. Sin embargo tanto los mecanismos generadores del viento local como los fenómenos de escala sinóptica, no actúan en

forma homogénea en toda la bahía.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer primeramente a los señores Gerard Vogel y Alejandro Parés con quienes iniciamos el programa Circulación Atmosférica en la Bahía de Todos Santos (CABATOS), del cual es resultado el presente trabajo. Así mismo al personal técnico de la Sección de Meteorología del CICESE: Héctor Santos, Javier García y Enrique García, por todo el soporte durante el mantenimiento de las estaciones y el procesamiento de datos. Los investigadores Hugo Peña (CICESE) y Julio Candela (Secretaría de Marina) nos beneficiaron con sus opiniones y sugerencias. Este estudio fue financiado por el Gobierno Federal de México a través del presupuesto general del CICESE.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ L.C., 1977: Vientos en la Bahía de Todos Santos, B. C., *Ciencias Marinas*, 4, 1, pp. 81-89.
- BAKUN A. y C. Nelson., 1978: Climatology of upwelling related processes off Baja California. CALCOFI Prog. Rept. XIX, pp. 107-127.
- BARBATO J., 1978: Areal parameters of the sea breeze and its vertical structure in the Boston basin. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 59, 11, pp. 1420-1431.
- CANDELA J., 1982: Corrientes en el Estrecho de Johnstone, B. C., Canada durante la Primavera y el Verano de 1973. Tesis de maestría CICESE, 208 pp.
- FISHER E., 1960: An observational study of the sea breeze. *Jour. of Met.*, 17, pp. 645-660.
- GEISLER J. y F. Bretheron., 1969: The sea breeze forerunner. *Jour. Of Atm. Sci.*, 26, pp. 82-95.
- GUNTHER B., 1980: Eastern North Pacific tropical cyclones of 1979. *Mon. Wea. Rev.*, 108, pp. 631-641.
- HALPERN D., 1974. Summertime surface diurnal period winds measured over an upwelling region near the Oregon coast. *Jour. of Geop. Res.*, 79, 15, pp. 2223-2230.
- HOLTON J., 1979: *An introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press, N. Y., 391 pp.
- HSU S., 1970: Coastal Air-Circulation System: Observations and empirical model. *Mon. Wen. Rev.*, 98, 7, pp. 487-509.

- JOHNSON A. y J. O'Brien., 1973: A study of an Oregon sea breeze event. *Jour. of App. Met.*, 12, pp. 1267-1283.
- McPHERSON R., 1970: A numerical study of the effect of a coastal irregularity on the sea breeze. *Jour. of App. Met.*, 9, pp. 767-777.
- MUNN, E., 1966 *Descriptive Micrometeorology*. Met. Ser. of Canada, Academic Press, New York, 245 pp.
- NEUMANN J. y Y. Mahrer., 1971: A theoretical study of the land and sea breeze circulation. *Jour. of Atm. Sci.*, 28, pp. 532-542.
- NEUMANN J., 1977: On the rotation rate of the direction of sea and land breezes *Jour. of Atm. Sci.*, 34, pp 1913-1917.
- PARES A., 1981: Análisis de componentes principales de los vientos superficiales sobre la Bahía de Todos Santos. ESCM UABC, Tesis Profesional, 76 pp.
- PAVIA E., 1979: Brisas en la Bahía de Todos Santos, B. C., durante los meses de marzo a agosto de 1978. ESCM UABC, Tesis Profesional, 51 pp.
- PEÑA H., 1977: *Análisis Espectral*. Departamento de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Guayaquil, Ecuador. 40 pp.
- REED J., 1979: Cape Cañaveral sea breezes. *Jour. of App. Met.*, 18, pp. 231-235.
- REYES S. y A. Pares., 1982: Análisis de componentes principales de los vientos superficiales sobre la Bahía de Todos Santos. Sometida para su publicación a *Geofísica Internacional*.
- REYES S. y G. Vogel., 1982: Meteorological Observations in the tropical Pacific region. *Trop. Ocean Atmos. Nwsl.*, 11, pp. 8-9.
- REYES S., G. Vogel, E. Pavia y Pares A., 1982: Synoptic effects on the local winds of Todos Santos Bay. A case study. Aceptado para su publicación en *Monthly Wather Review*.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, 1979: Resumen Climatológico Anual. SARH, México, D. F.
- STEVENSON R., 1960: Winds over coastal southern California. *Bull. So. Cal. Aca. of Sci.*, 59, 2, pp. 103-119.
- YOSHIKADO H., 1981: Statistical analyses of the sea breeze pattern in relation to general weather conditions. *Jour. of the Met. Soc. of Japan.*, 59, 1, pp. 98-107.