

ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS Y CLIMATOLOGICAS ALREDEDOR DEL GOLFO DE CALIFORNIA

1a. PARTE: ANALISIS DEL VIENTO.

Por

Sergio Reyes Coca ¹

Edgar Pavía López ¹

Julio Candela Pérez ²

Ricardo Troncoso Gaytan ²

¹Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada
Ensenada, B.C. México. 28230

²Estación Oceanográfica
Secretaría de Marina

Ensenada, B.C. México. 28230

REYES COCA, S., E. Pavía López, J. Candela Pérez y R. Troncoso Gaytán. 1984. Estudio preliminar de las condiciones meteorológicas y climatológicas alrededor del Golfo de California. 1ra. Parte. Análisis del viento. *Ciencias Marinas*, 10 (2): 9-26

RESUMEN

Se hace un estudio preliminar de los datos de viento de altura obtenidos durante siete años por las estaciones meteorológicas de la red mexicana del NO. Se describen las características del viento mediante secciones transversales y perfiles verticales de los promedios mensuales. Se encuentra que existe una gran dependencia en las características geográficas y estacionales. Se utilizan técnicas de análisis espectral para describir las escalas de tiempo de las perturbaciones atmosféricas predominantes en la región del Golfo de California. En base a las energías espectrales de varios niveles de presión se estima la influencia orográfica de la península en los flujos meridional y zonal. Se encuentra que hay una gran reducción de la energía a frecuencias sinópticas (del orden de una semana), disminuyendo gradualmente hacia el Sur.

ABSTRACT

A preliminary study is made of upper level winds obtained during seven years from meteorological stations in NW Mexico. The characteristics of the wind are described by means of cross sections and vertical profiles using monthly averages. A great dependence on geographical and seasonal characteristics is found to exist. Spectral analyses are used to describe the time scales of the atmospheric disturbances predominant in the Gulf of California region. Orographic influences of the peninsula on the meridional and zonal flow are estimated using spectral energies at various pressure levels. A great reduction of energy is found at synoptic frequencies (the order of one week), which gradually diminishes towards the South.

INTRODUCCION

Los aspectos más generales de la meteorología y climatología de la República Mexicana han sido ampliamente discutidos por diferentes autores (Landsberg, 1974; Mosiño y García, 1974). Estos trabajos dan una buena idea de los fenómenos observados en la región continental de México, donde la red meteorológica de superficie y altura está suficientemente bien distribuido para es-

tuar las condiciones sinópticas más relevantes. En lo que respecta a la región NO del país, donde las estaciones meteorológicas y climatológicas no cubren toda el área de Baja California ni del golfo, los estudios atmosféricos han sido muy escasos y sólo se reducen a observaciones rutinarias y presentación de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SARH, Boletines climatológicos), a observaciones esporádicas de cruceros oceanográficos (Roden, 1958; Alvarez Borrego, 1983)

y a expediciones geográficas de la Península de Baja California (Barrett, 1980).

Las características geográficas de la región del Golfo de California son de fundamental importancia cuando se trata de estudiar los fenómenos de escala local y sinóptica. La gran extensión meridional del golfo hace que éste sea afectado por fenómenos de medias y bajas latitudes en el transcurso del año; las cordilleras montañosas de la Península de Baja California y de la Sierra Madre Occidental generan un forzamiento dinámico en los niveles inferiores de la circulación atmosférica, de tal manera que las características de los parámetros termodinámicos son afectados grandemente, dando por consiguiente que las condiciones climáticas y meteorológicas sean muy diferentes dentro y fuera del golfo.

En este estudio preliminar, se presentan y discuten las principales características meteorológicas y climatológicas observadas en el periodo 1974-1980 a través de la Red Mexicana de Radiosondeo en la región del Golfo de California: Empalme (EMP), Guadalupe (GUD), Mazatlán (MAZ) y Socorro (SOC) y de las estaciones del SO de los Estados Unidos de América: San Diego (SAN) y Tucson (TUC). Los principales objetivos de esta investigación preliminar son la recopilación de información histórica y, de su análisis detectar y estudiar las principales características atmosféricas sobre la región del golfo.

MÉTODOS DE ANALISIS

El análisis de los datos se ha orientado para describir y entender las características del flujo de aire de más relevancia en la región del Golfo de California (Fig. 1). Para esto, se siguen tres métodos distintos:

a) **Promedios mensuales.** Se utilizan las observaciones básicas de radiosondeo obtenidas a las 00:00 y 12:00 horas GMT, durante 7 años y se obtienen promedios mensuales y estacionales, los que posteriormente son presentados en forma de perfiles verticales y secciones transversales de tiempo. De estos análisis se obtiene una idea cualitativa del comportamiento climatológico y de la va-

riabilidad inter e intra-anual para la región de estudio.

b) **Análisis espectral.** Se utilizan las observaciones básicas (dos por día), se completan las series mediante una interpolación lineal, y se aplican las técnicas conocidas de análisis espectral de series bidimensionales (Godin, 1978; Mooers, 1970) a las series de tiempo del viento. Para facilitar el análisis de tal cantidad de datos, se consideran sólo los niveles estándares de presión (superficie, 850, 700, 500, 300 y 200 mb) y se obtienen espectros para conjuntos de tres meses (invierno y verano); a su vez, estos espectros son promediados para obtener espectros representativos del invierno y verano para cada sitio y nivel considerados.

c) **Espectros cruzados vectoriales (ECV).**

Del paquete de datos originales se obtuvieron series de tiempo del viento (rapidez y dirección) para los niveles de 1000, 500 y 200 milibares (superficie, 5.5 y 12 kilómetros aproximadamente) y para cada sitio. Las series fueron descompuestas en componentes u y v (Este positivo y Norte positivo). El método de ECV se utilizó con el fin de comparar los hodógrafos resultantes (u , vs, v) entre pares de estaciones. Por este método, se descomponen los hodógrafos que se van a comparar en "elipses componentes", formadas por un par de vectores que giran en sentido contrario (componentes polarizadas), calculándose una elipse para cada frecuencia. El cálculo se basa en espectros cruzados entre los cuatro canales de entrada, esto es, entre (u_i, v_i) y (u_j, v_j) donde u_i , v_i , u_j y v_j son series de tiempo de cada componente para los sitios "i" y "j" respectivamente (Mooers, 1973). El último paso del cálculo consiste en utilizar los valores espectrales para obtener estimaciones de coherencia y admitancia, así como un coeficiente de correlación total para cada banda de frecuencia. Aquí sólo se presentan los coeficientes de correlación vs. frecuencia para tres pares de los sitios indicados en la Fig. 1, (GUD-SAN, SAN-EMP y EMP-MAZ). Cabe aclarar que estas estimaciones del coeficiente de correlación son invariantes bajo rotación de coordenadas y que el rango de variación del coeficiente de correlación es [0,1], como es usual, considerando que valores ma-

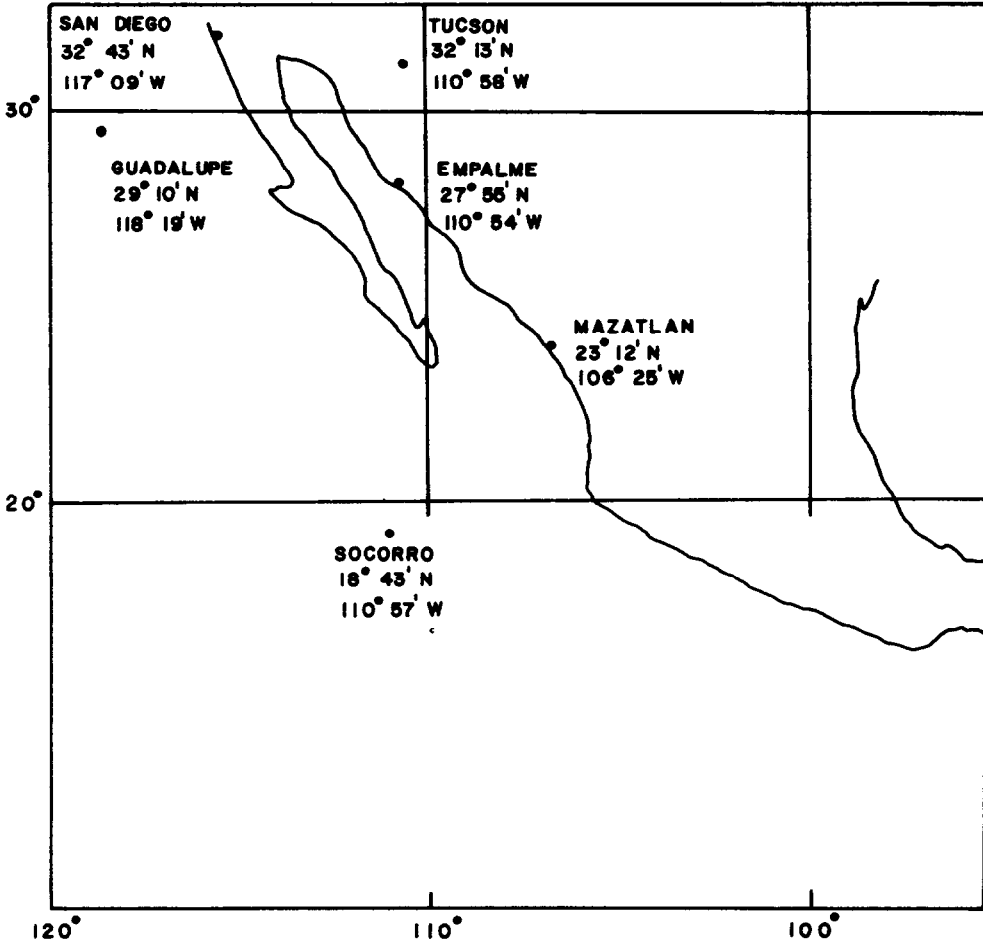


FIGURA 1. Golfo de California y red de estaciones de radiosondeo del NO de México y SO de E.U.A.

yores de 0.5 son significativos.

RESULTADOS

Debido a la gran cantidad de resultados obtenidos por cada método de análisis utilizado, sólo se discuten, en cada sección de este capítulo, las características generales observadas. En el capítulo siguiente se combinan los resultados de los distintos métodos para poder explicar las anomalías de mayor interés.

Perfiles verticales. En las Figs. 2 al 5 se

muestran los promedios estacionales de los perfiles verticales del viento: componente u (Fig. 2); componente v (Fig. 3); persistencia (Fig. 4) y rapidez media (Fig. 5). Las Tablas I, II y III presentan los valores de desviación estandar para los niveles representados en cada estación y complementan a las figuras 2, 3 y 5 respectivamente. De estos perfiles se puede observar lo siguiente:

- 1) en la atmósfera inferior (hasta los 3 km) el viento es muy variable en SOC y MAZ durante casi todo el año; mientras que en los otros sitios, durante invierno y primavera,

ESTUDIO PRELIMINAR ... PRIMERA PARTE

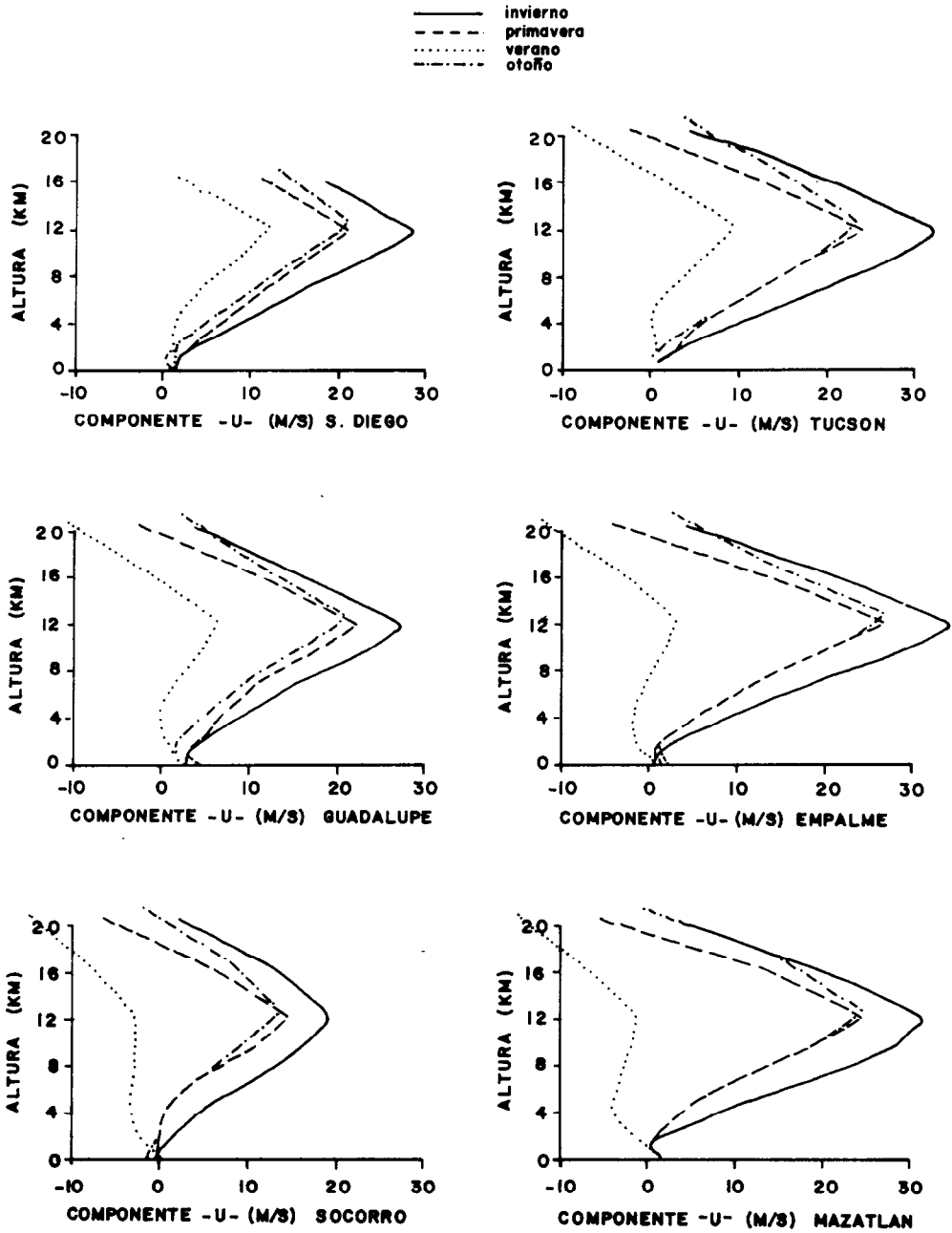


FIGURA 2. Perfiles promedio de viento, componente u para invierno, primavera, verano y otoño.

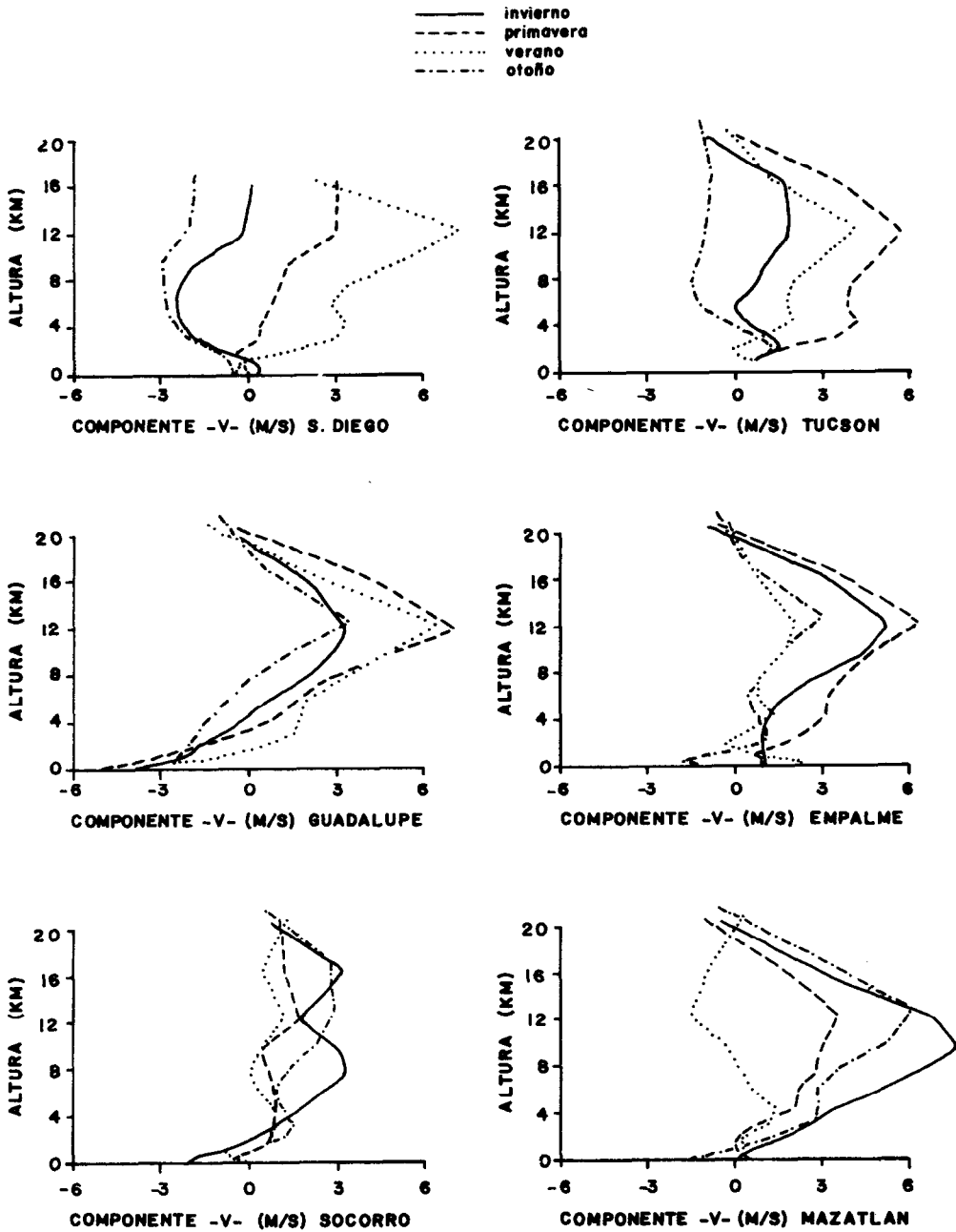


FIGURA 3. Perfiles promedio de viento, componente v para invierno, primavera, verano y otoño.

ESTUDIO PRELIMINAR . . . PRIMERA PARTE

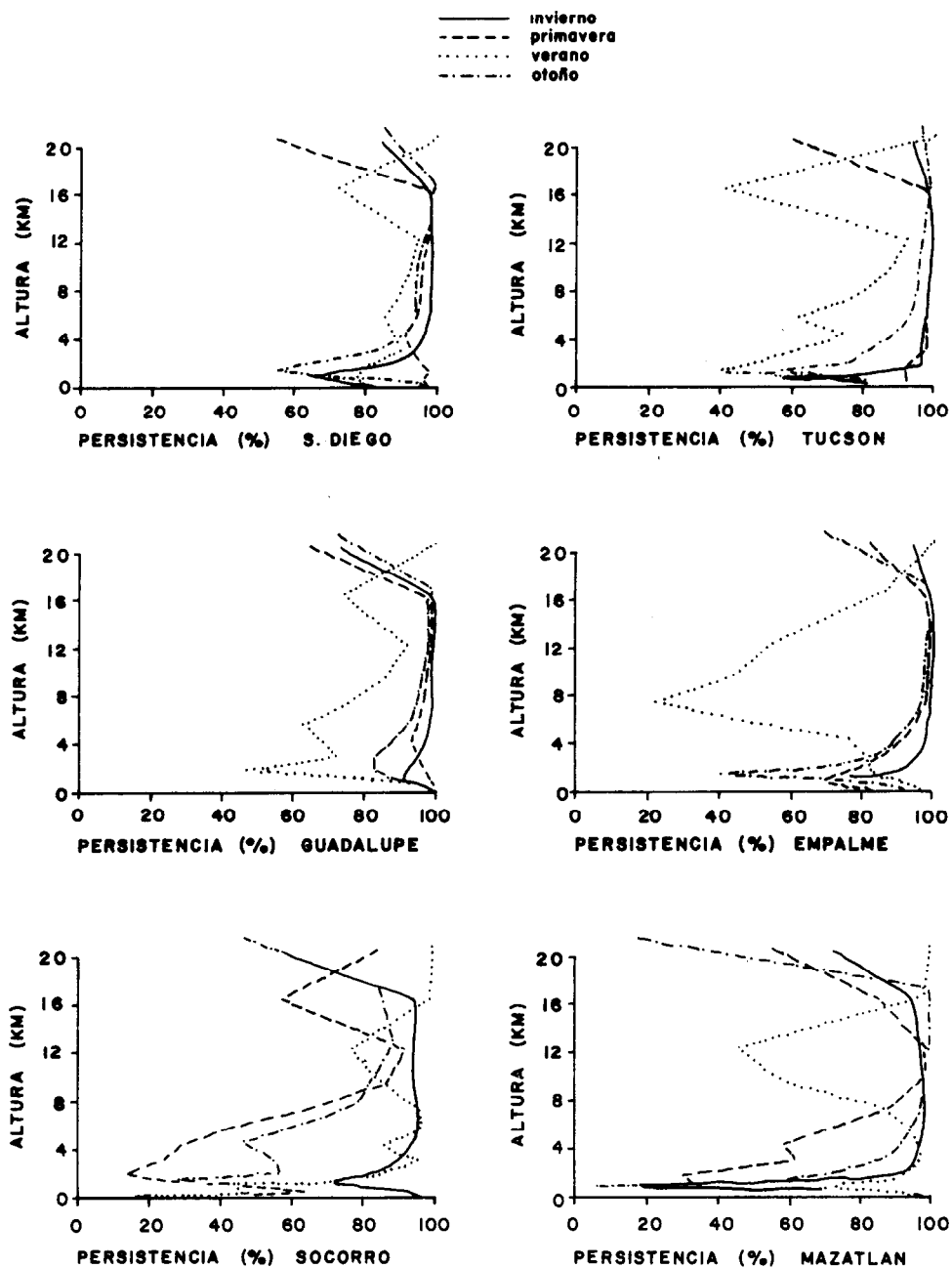


FIGURA 4. Perfiles promedio de la persistencia del viento para invierno, primavera, verano y otoño.

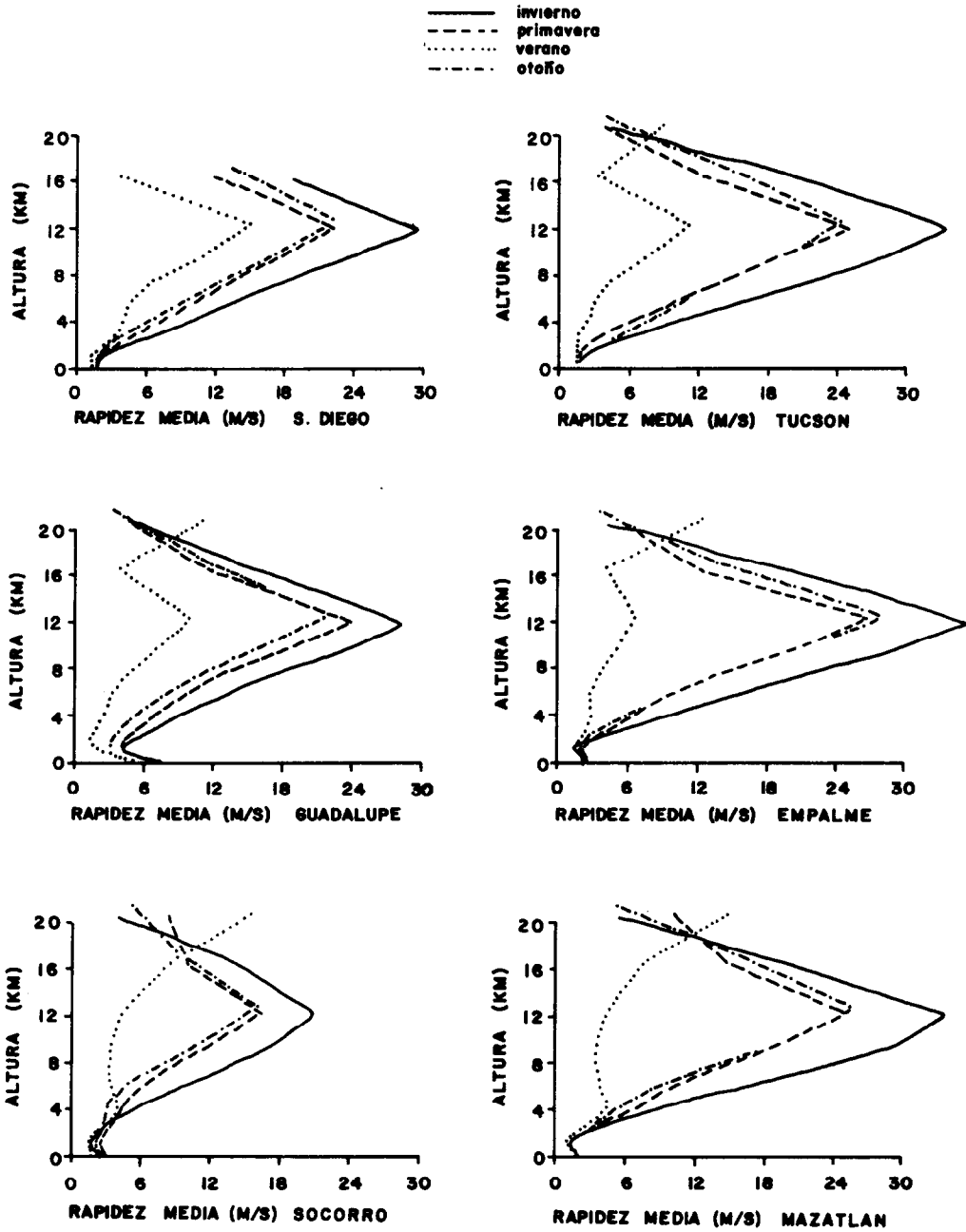


FIGURA 5. Perfiles promedio de la rapidez del viento para invierno, primavera, verano y otoño.

TABLA I. Desviaciones estandar para la componente u, por niveles.

TABLA I

SAN

Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
20	1.9	0.7	1.0	1.3
16	3.2	1.8	0.9	1.2
12	5.5	2.2	1.3	3.3
8	3.0	2.2	1.1	3.7
4	1.5	1.3	0.9	1.9
SUP	0.2	0.1	0.1	0.2

TUC

Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
20	1.5	0.6	1.0	1.0
16	2.9	1.5	0.8	0.8
12	5.5	2.9	1.5	5.2
8	2.6	2.4	0.8	3.2
4	0.8	1.2	0.7	1.9
SUP	0.3	0.3	0.2	0.5

GUD

Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
20	2.3	0.9	1.4	0.9
16	2.3	0.4	1.0	1.6
12	6.1	2.5	1.6	3.5
8	4.3	2.3	1.1	2.6
4	2.0	1.4	0.6	1.7
SUP	0.3	0.8	1.2	1.1

EMP

Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
20	1.6	1.0	1.3	1.1
16	2.8	1.1	0.9	1.8
12	5.3	2.4	1.9	2.5
8	3.5	2.0	1.3	2.3
4	1.1	1.1	0.5	1.1
SUP	0.2	0.2	0.2	0.4

SOC

Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
20	2.8	2.7	2.5	2.2
16	3.5	1.8	1.3	1.7
12	6.7	4.8	1.9	5.4
8	4.8	2.7	1.2	4.7
4	1.8	1.1	0.7	1.5
SUP	0.5	0.5	0.3	0.4

MAZ

Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
20	2.7	6.0	1.2	2.7
16	2.8	6.6	1.0	3.6
12	4.8	2.2	1.4	3.2
8	3.9	2.8	1.1	3.3
4	1.4	0.9	0.8	1.6
SUP	0.4	0.4	0.2	0.2

el viento es relativamente más persistente. Durante verano, la zona de baja presión continental, centrada en Arizona y Sonora (Baldwin, 1974), da por consecuencia que los vientos en TUC sean poco persistentes

y de baja intensidad. Por el contrario, en EMP la brisa marina es muy persistente y controla la dirección de los vientos superficiales, ya que la cordillera de Baja California presenta una barrera para la penetración

TABLA II. Desviaciones estandar para la componente v, por niveles.

TABLA II

SAN	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.1	0.1	0.3	0.6
	16	1.8	1.0	0.4	0.9
	12	3.3	2.5	2.4	1.6
	8	1.7	2.2	2.0	1.8
	4	1.5	1.0	1.0	0.7
	SUP	0.4	0.3	0.2	0.2

TUC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	0.6	0.2	0.1	0.6
	16	2.2	0.9	0.6	1.6
	12	2.1	2.0	1.9	3.8
	8	2.2	1.6	1.2	2.6
	4	1.0	1.1	0.7	1.2
	SUP	0.1	0.3	0.2	0.2

GUD	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.0	0.3	0.5	0.5
	16	1.0	1.4	0.4	0.9
	12	2.0	2.9	1.6	1.7
	8	1.5	1.9	2.2	1.8
	4	1.1	1.0	1.1	1.1
	SUP	0.7	1.1	0.7	0.5

EMP	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	0.4	0.2	0.2	0.4
	16	1.1	0.8	0.4	1.6
	12	2.8	2.0	1.5	3.4
	8	2.4	1.5	1.1	2.5
	4	1.2	1.2	0.5	1.3
	SUP	0.4	0.3	0.2	0.4

SOC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.4	1.5	2.5	1.6
	16	3.7	2.2	1.1	4.0
	12	6.7	4.1	0.6	5.5
	8	3.8	2.4	0.7	3.6
	4	1.1	0.8	1.3	1.4
	SUP	0.6	1.1	0.5	0.3

MAZ	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	2.0	2.7	1.2	1.2
	16	4.6	1.5	0.8	2.7
	12	5.5	2.9	1.4	3.3
	8	3.7	2.0	1.0	2.9
	4	1.4	1.8	0.6	1.3
	SUP	0.3	0.3	0.3	0.3

de los vientos del NO sobre el Pacífico. En la región baja del golfo, los vientos del NO no son tan afectados por la parte sur de la península y pueden penetrar hasta MAZ para interaccionar con la brisa local y dar un

viento resultante superficial ONO. Durante el verano, la zona intertropical de convergencia (ZIC) se encuentra cerca de SOC alrededor de la latitud 15°N, dando por consecuencia que los vientos horizontales diami-

TABLA III. Desviaciones estandar para la rapidez del viento, por niveles.

TABLA III

SAN	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.7	0.9	1.0	1.3
	16	3.0	1.8	0.3	1.2
	12	5.3	2.4	1.9	3.2
	8	2.7	2.3	1.2	3.1
	4	1.2	1.3	0.9	1.5
	SUP	0.2	0.1	0.1	0.2

TUC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.4	0.8	1.0	1.1
	16	2.7	1.5	0.3	0.9
	12	5.5	3.2	1.5	5.1
	8	2.5	2.6	1.0	2.9
	4	0.8	1.4	0.7	1.9
	SUP	0.3	0.2	0.2	0.2

GUD	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	0.9	0.7	1.4	0.8
	16	2.4	0.8	0.7	1.6
	12	6.0	3.0	1.5	3.8
	8	4.3	2.5	1.6	2.8
	4	1.8	1.5	0.9	1.3
	SUP	0.6	1.2	0.7	0.7

EMP	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.4	0.4	1.3	0.9
	16	2.7	1.1	0.7	1.8
	12	5.1	2.8	1.0	2.6
	8	3.3	2.3	0.9	2.4
	4	1.0	1.4	0.4	1.3
	SUP	0.1	0.2	0.1	0.2

SOC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.6	1.5	2.7	1.4
	16	2.7	1.7	1.3	0.7
	12	6.2	4.1	0.7	4.5
	8	4.4	2.6	0.8	3.1
	4	1.4	1.1	1.1	1.2
	SUP	0.5	0.3	0.4	0.5

MAZ	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	2.3	4.3	1.2	1.2
	16	2.8	5.7	0.9	4.0
	12	4.0	2.1	0.9	3.7
	8	3.5	2.5	0.6	3.6
	4	1.1	0.7	0.6	1.8
	SUP	0.4	0.4	0.2	0.3

nayan de intensidad y sean muy variables en dirección (Goldenberg y O'Brien, 1981); por el contrario, durante invierno, los vientos son más persistentes en esa región.

2) En niveles intermedios (entre 3 y 10 km) para casi todas las estaciones se nota una alta persistencia, con excepción de EMP, MAZ y SOC (arriba de 8 km) durante el verano; es en esta época cuando los vientos del Este

logran penetrar hasta la vertiente del Pacífico e interactuar con los vientos del NO disminuyendo la intensidad resultante y aumentando la variabilidad. Es interesante notar que mientras la componente u muestra un perfil regular a través del año, con máximo en invierno y mínimo en verano, la componente v es muy variable con máximos en primavera y verano para TUC, SAN y GUD; en invierno y otoño para MAZ y SOC y en primavera e invierno para EMP; en este caso, el desplazamiento latitudinal y estacional de la corriente de chorro (*jet stream*) y de la ZIC generan una gran variabilidad en la componente v especialmente para EMP (corriente de chorro) y para SOC (ZIC).

3) En los niveles superiores de la atmósfera el viento es muy persistente en invierno y variable en verano. En lo que respecta a la intensidad, la corriente de chorro ejerce sus máximos efectos a los 200 mb, principalmente durante invierno y para todos los sitios, disminuyendo gradualmente hacia el norte y sur de EMP. Durante verano, la corriente de chorro sólo se puede detectar en las estaciones del Norte, haciéndose prácticamente nulo su efecto en los sitios de MAZ y SOC donde el viento tiene una notable componente del E. Es interesante notar que el viento en todos los sitios, durante todas las estaciones arriba de una altura entre 14-20 km, tiene una tendencia a ser del Este.

Durante verano, la región superior de la tropósfera (4 a 14 km) muestra una predominancia de vientos del O y SO sobre TUC, SAN y GUD; mientras que SOC y MAZ muestran vientos del E con componentes SE y NE no muy bien definidas. Por otro lado, durante invierno, todos los sitios muestran un viento muy intenso y persistente del O; SAN tiene una clara componente del NO; TUC, GUD, EMP, SOC y MAZ muestran componentes débiles del SO.

Secciones transversales de tiempo. En las Figs. 6 y 7 se muestra el comportamiento mensual de las componentes de viento u y v, respectivamente. En el eje horizontal se indica el tiempo en intervalos anuales y en el

eje vertical la altura sobre el nivel medio del mar en kilómetros. De estas figuras se puede observar lo siguiente:

1) Componente u. Los sitios del Sur (EMP, MAZ y SOC) muestran un patrón muy regular y cíclico, con vientos máximos del O del orden de 20 a 30 m/s entre los 11 y 14 km durante invierno y mínimo del E entre 0 y 10 m/s durante el verano. Los sitios del N (GUD, SAN y TUC) también muestran máximos entre 30 y 40 m/s durante invierno, pero existe una mayor variabilidad interanual y sólo se observan vientos del E a muy altos niveles durante verano.

2) Componente v. en general, se observa una alta variabilidad interanual con vientos máximos del S de aproximadamente 5 m/s entre los 11 y 14 km de altura.

Análisis espectral. La Fig. 8 muestra los espectros promedio de invierno (enero, febrero, marzo) y verano (julio, agosto, septiembre) para los niveles de superficie, 500 mb y 200 mb. En general, podemos observar que las mayores energías se encuentran en las frecuencias bajas ($< 1/8$ CPD). Los resultados muestran mayor energía en invierno que en verano en las estaciones del Norte (SAN, TUC, GUD) que en las del Sur (SOC, MAZ, EMP) para los niveles de 500 y 200 mb. Asimismo, es posible observar que la energía aumenta del nivel superficial hacia los niveles superiores; esto es más evidente en las frecuencias bajas. Por otro lado, es importante señalar que los resultados del nivel superficial se comportan en forma distinta a los de los niveles superiores. Por ejemplo: los picos de las bajas frecuencias son menos evidentes; las energías para el verano son un tanto mayores que las del invierno; las estaciones del Sur tienen un poco más de energía que las del Norte durante el verano.

Considerando los resultados espectrales particulares de cada estación se observa lo siguiente: en el nivel de 850 mb la estación más energética es SAN y la menos es MAZ durante invierno y verano. En los niveles de 700 mb y 500 mb SAN es la más energética y SOC la menos, durante invierno y verano. En el nivel de 300 mb TUC es

ESTUDIO PRELIMINAR . . . PRIMERA PARTE

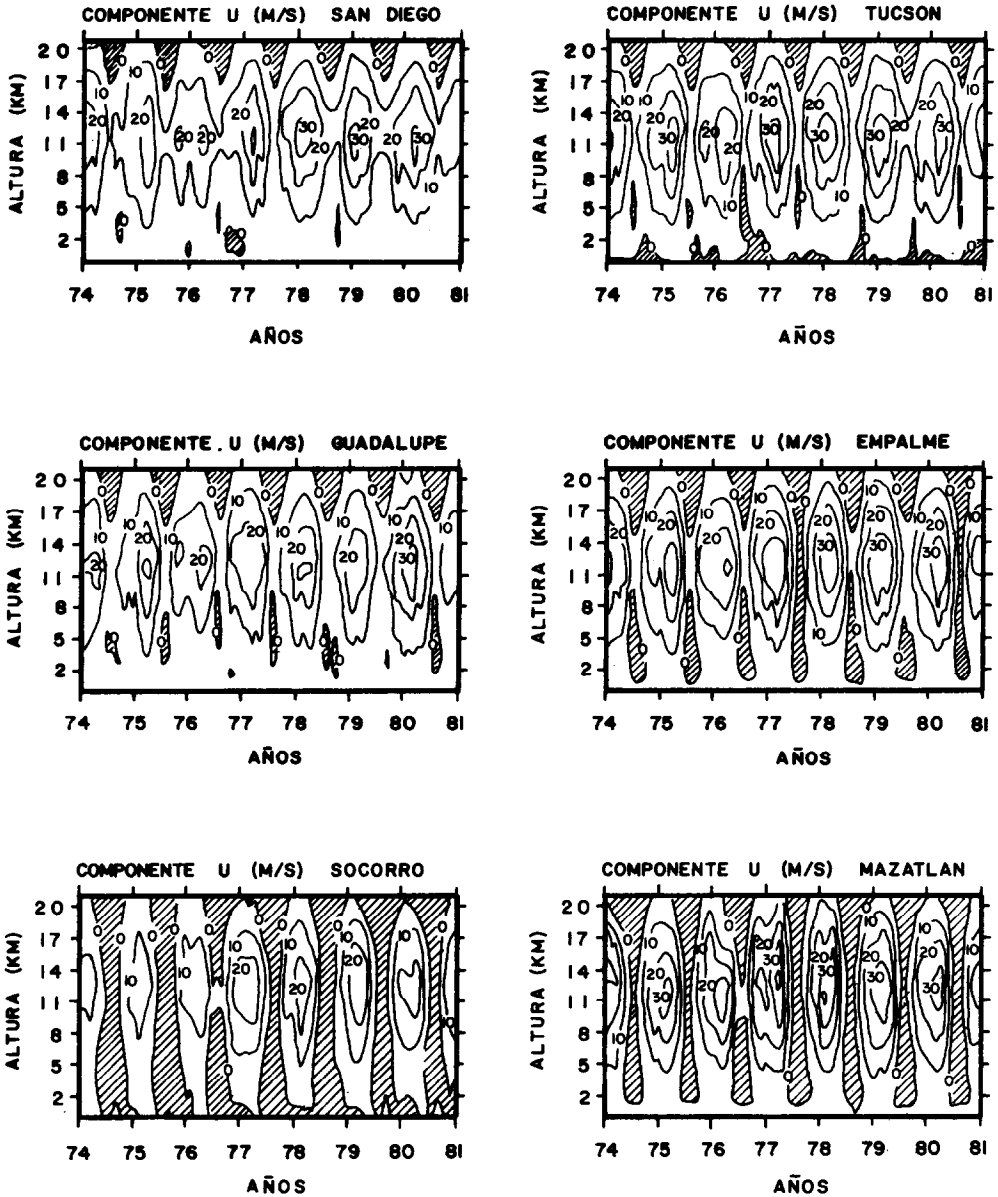


FIGURA 6. Contornos de la componente u del viento para los sitios considerados.

la más energética durante invierno y SAN durante verano, SOC es la menos energética durante ambos, invierno y verano. Finalmente, a 200 mb TUC fue la estación más energética y SOC la menos durante invierno y

verano.

Espectros cruzados vectoriales. Se decidió utilizar un ancho de banda espectral $f = 0.0027$ CPD que corresponde a un perio-

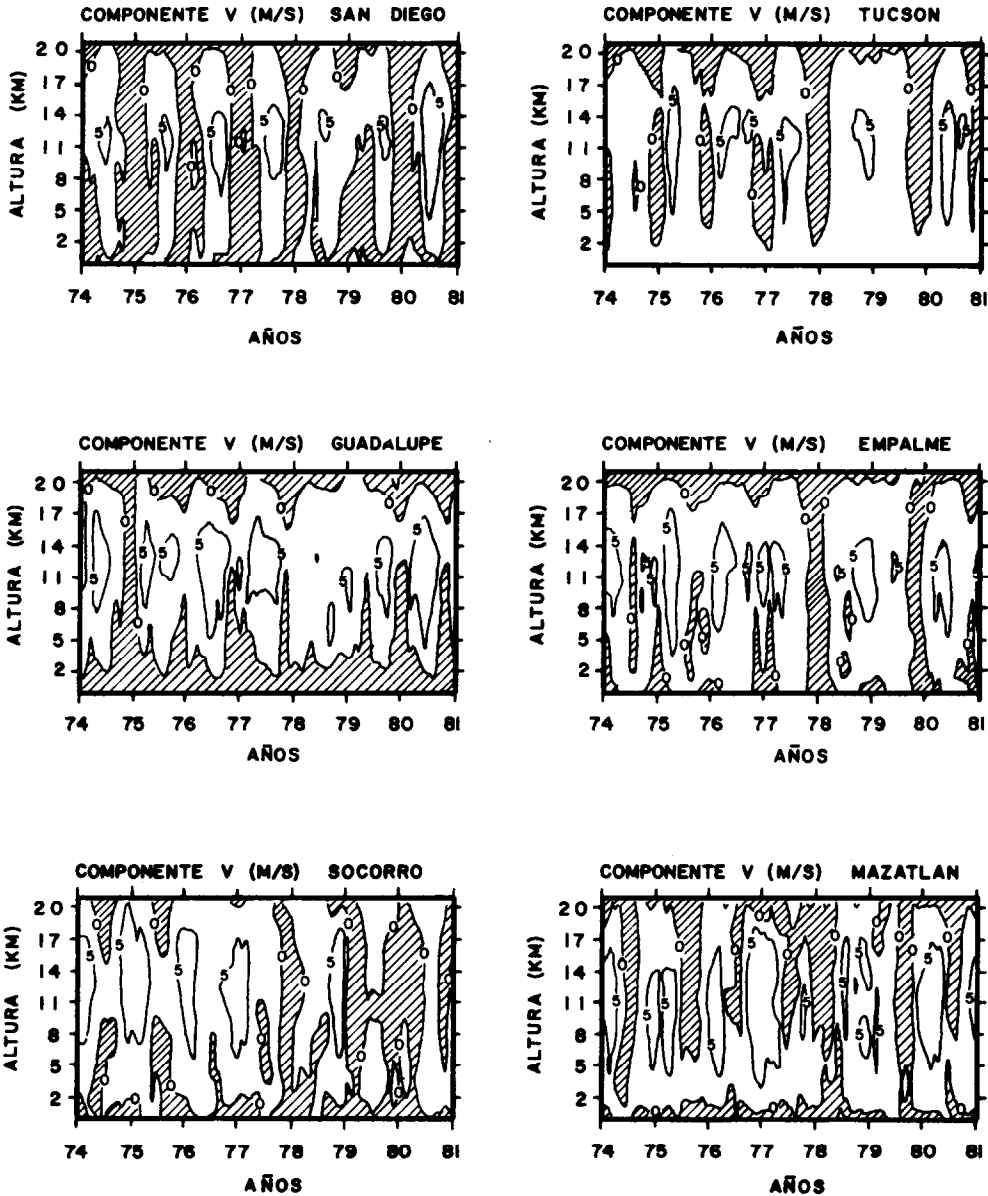


FIGURA 7. Contornos de la componente v del viento para los sitios considerados.

do de $T = 365$ días. Esto con el fin de resolver la componente anual, que es la componente más energética en todas las series analizadas. De hecho, tal componente modula a las series. La frecuencia anual

está bien correlacionada entre todos los pares de estaciones y niveles considerados, como se observa en las Figs. 9, 10 y 11. Si bien la frecuencia de muestreo (dos muestreos diarios) nos da una frecuencia de

ESTUDIO PRELIMINAR . . . PRIMERA PARTE

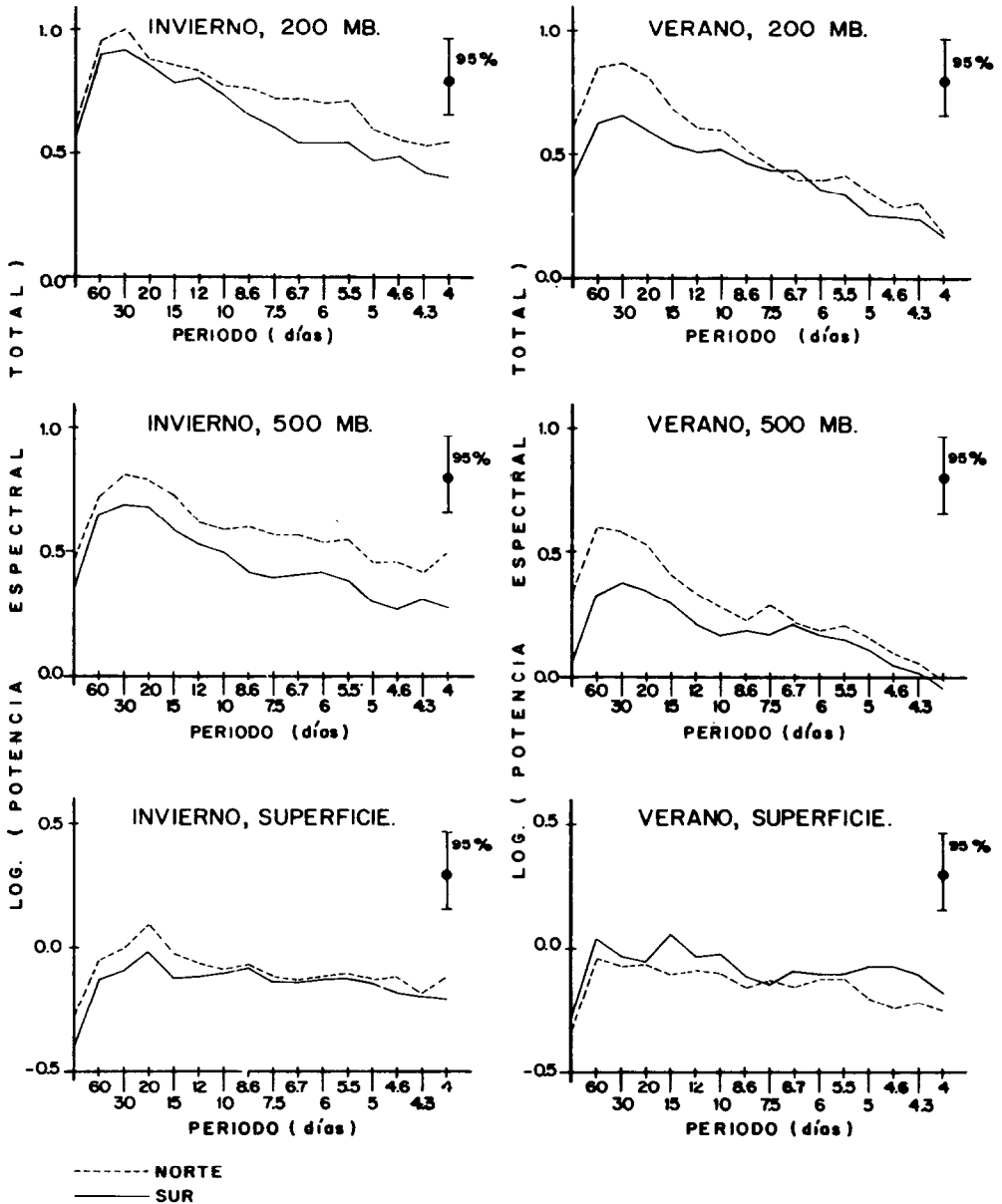


FIGURA 8. Espectros vectoriales característicos. La barra del nivel de significancia de 95 % se muestra a la derecha de cada espectro.

Nyquist = 1 CPD, los resultados se cortaron a la frecuencia de $f=0.31$ CPD, ya que no estamos interesados en frecuencias mayores.

La línea quebrada en las figuras indica

el valor de 0.5 de correlación más arriba del cual se considera que existe una correlación significativa entre las estaciones.

Para la Fig. 9 (SAN-EMP) notamos que

SAN - EMP

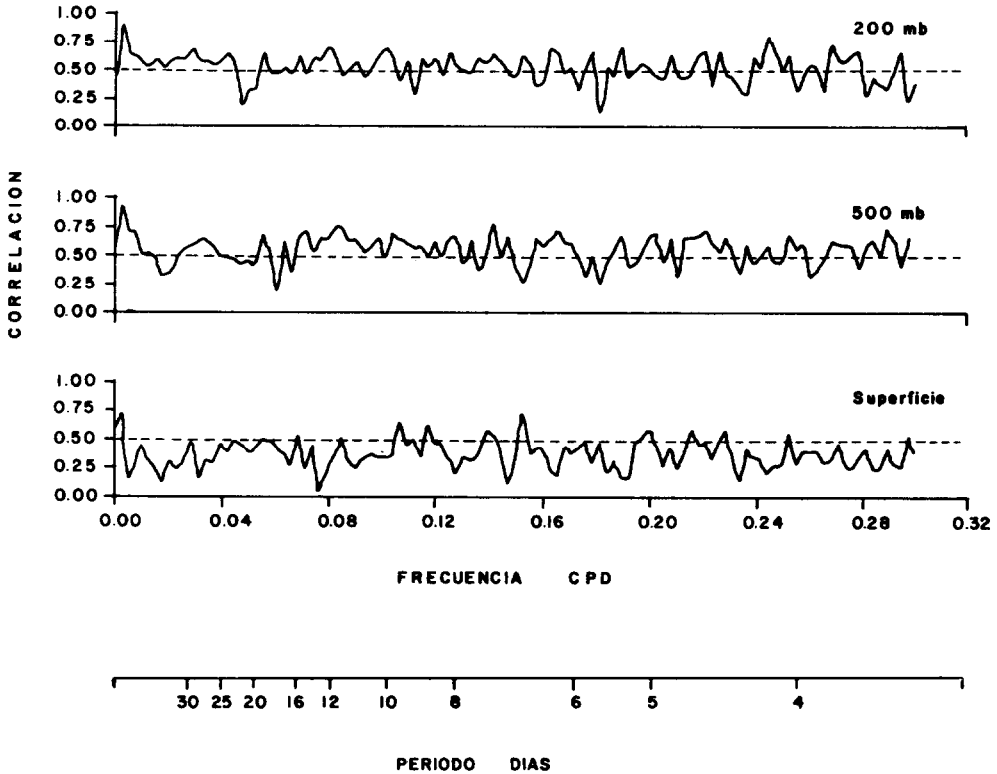


FIGURA 9. Coeficientes de correlación de los espectros cruzados entre San Diego y Empalme. La línea quebrada indica el nivel de 0.5 de correlación.

los periodos de ~ 4 , ~ 7 y 14 días están bien correlacionados (0.5 a 0.7) en ambas estaciones y en los tres niveles. Los periodos vecinos a 4.5 días están bien correlacionados en todos los niveles, sin embargo, el nivel de 500 mb tiene buena correlación también en periodicidades vecinas. El periodo de 6 días se encuentra desacoplado entre los niveles de superficie y 200 mb como lo indica la baja correlación en este periodo en el nivel de 500 mb. Para periodos mayores (30 y ~ 18 días) la correlación es significativa sólo en los niveles superiores (200 y 500 mb). Para los periodos entre 9 y ~ 10 días, la correlación es significativa en los tres niveles.

En la Fig. 10 (EMP-MAZ) observamos que los periodos comprendidos entre ~ 9 y ~ 11 días están bien correlacionados entre

las dos estaciones y a todos los niveles (excepto para $T=10.7$), siendo estos periodos ligeramente mejor correlacionados que los periodos entre 9 y ~ 10 días del caso anterior. Aquí, los periodos cercanos a 20 y a ~ 13 días se correlacionan bien en los tres niveles. Los periodos cercanos a 1 mes, ~ 5 y ~ 4 días sólo se correlacionan bien en los niveles superior y medio, mientras que para los periodos de 7 y ~ 6 días esto sólo ocurre en los niveles inferior y medio.

La fig. 11 (GUD-SAN) presenta una clara tendencia lineal negativa en el coeficiente de correlación con respecto a la frecuencia excepto para el nivel de superficie. Aquí, los periodos cercanos a ~ 4 y ~ 7 días están bien correlacionados en todos los niveles. Sin embargo, el rango de periodos

EMP - MAZ

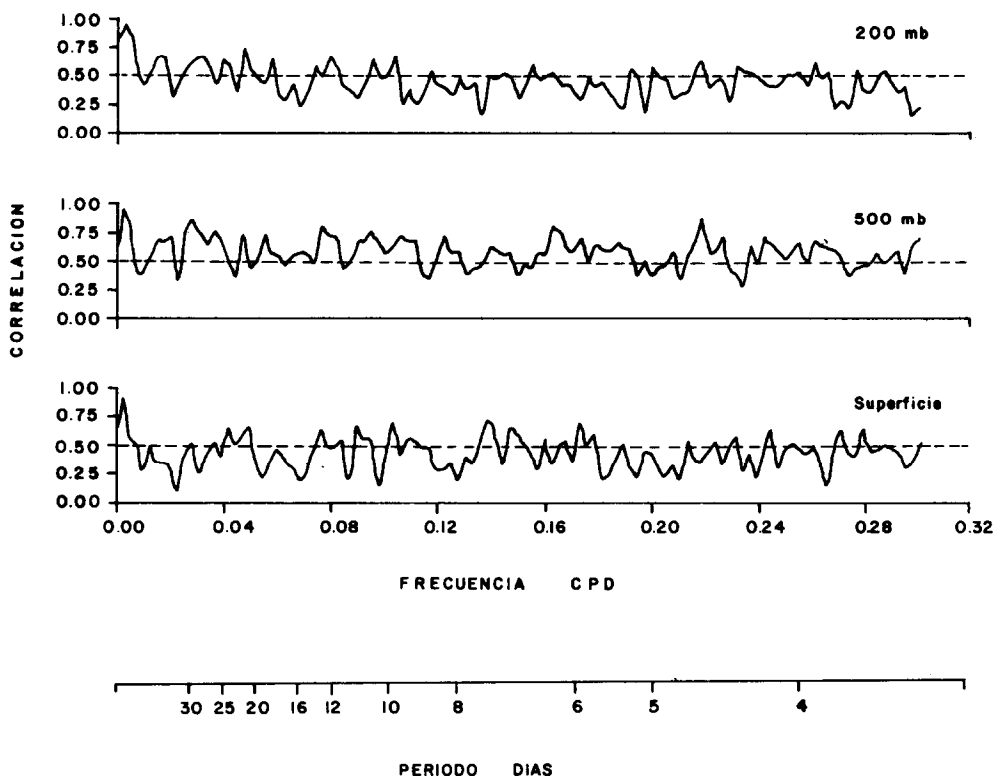


FIGURA 10. Coeficientes de correlación de los espectros cruzados entre Mazatlán y Empalme. La línea quebrada indica el nivel de 0.5 de correlación.

comprendido entre ~ 4 y ~ 6 días parece estar restringido a buenas correlaciones en los niveles superior y medio, excepto para $T=4.5$ días, el cual se correlaciona bien en los niveles de superficie y 500 mb. Las frecuencias más bajas (periodos mayores) se correlacionan bien en los niveles superiores, como lo muestran, por ejemplo, los periodos de 2 meses y ~ 17 días. Para el periodo de 9.6 días se presenta un caso similar al de 6 días en la Fig. 10, esto es: buena correlación en los niveles extremos y baja en el nivel medio, indicando un desacoplamiento entre los niveles de superficie y 200 mb para esa frecuencia.

El análisis de ECV es una primera aproximación a la descripción de las interacciones del viento entre distintas localidades

a distintos niveles de altura. Los resultados presentados sólo nos dan una idea cuantitativa general de tales características.

DISCUSION

Es claro de los resultados del viento de la baja tropósfera (1 a 3 km, sin considerar la capa superficial) que la región Norte del golfo es afectada, durante todo el año, por las masas de aire de medias latitudes provenientes del Oeste. La región del Sur es también afectada, durante el invierno, por la penetración de los vientos del O y NO; mientras que, durante verano, los vientos del E logran penetrar hasta el golfo para interactuar con los vientos del NO, formándose una zona frontal que puede desarrollarse hasta la región del medio golfo (Atkinson y

GUD - SAN

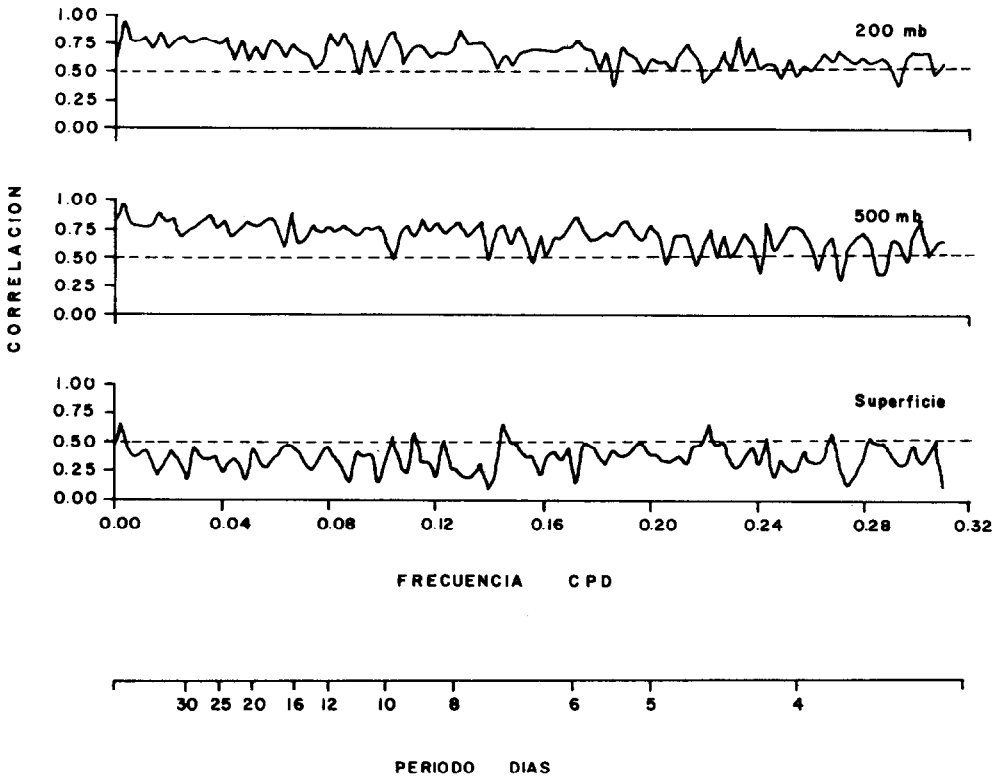


FIGURA 11. Coeficientes de correlación de los espectros cruzados entre Guadalupe y San Diego. La línea quebrada indica el nivel de 0.5 de correlación.

Sadler, 1970). En la región central del golfo, durante invierno, el viento resultante muestra una clara componente del O y NO; mientras que durante verano la persistencia disminuye notablemente y se pueden observar vientos del NE y SE, con una predominancia del último en el promedio para los 7 años considerados. Para verano, esto podría ser un resultado lógico, puesto que al disminuir la baroclinicidad en el Hemisferio Norte se esperará que la intensidad cambie muy lentamente con la altura (Krishnamurti, 1979).

Durante invierno, el calentamiento radiativo y la duración del día no permiten que en la región norte del golfo se desarrolle un sistema de brisas, típico de verano, sino que al debilitarse el anticiclón semiper-

manente centrado al oeste de California, los vientos de medias latitudes y de origen polar, penetran libremente hasta la Península de Baja California y parte del golfo.

Variabilidad y anomalías observadas. Ambas componentes de viento muestran una cierta periodicidad y regularidad en su comportamiento temporal; sin embargo, en algunos sitios se observan variaciones inter e intra- anuales muy considerables que pueden ser asociadas a perturbaciones de origen externo a la región del golfo. Por ejemplo: durante el invierno 1977-78 se observa en SAN y GUD una ligera intensificación en la corriente de chorro y en MAZ, SOC y EMP una mayor penetración de los vientos del N; de estos resultados se puede inferir una mayor baroclinicidad en el Hemisferio Norte aso-

ciada a un mayor transporte de calor latente y sensible entre el Ecuador y el Polo Norte. Esta anomalía del viento durante el invierno 1977-78 se discute someramente en la parte II de este estudio y se relaciona con el campo de agua anómalo detectado en la vertiente del Pacífico mexicano durante el invierno 1977-78 y el verano de 1978.

CONCLUSIONES

Se ha estudiado el viento a varios niveles en 6 sitios alrededor del Golfo de California. Se han utilizado promedios mensuales y perfiles verticales para describir las características estacionales. El estudio en el dominio de frecuencia (análisis espectral y espectros cruzados) nos da una primera idea de la energía de los fenómenos de acuerdo a su periodicidad. Es posible detectar las particularidades del área de observación a partir de los resultados de los niveles bajos. Los resultados del análisis de los niveles altos nos permite inferir la influencia de la orografía de la península y la presencia de un flujo homogéneo a una cierta altura. En general existe una frecuencia umbral ($\sim 1/8$ CPD); frecuencias bajas ($< 1/8$ CPD) tienen alta energía, las altas frecuencias ($> 1/8$ CPD) tienen poca energía. Los fenómenos son en general más energéticos durante el invierno que durante el verano, excepto en la superficie.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer al personal del grupo de meteorología del CICESE, en especial a los señores Gerard Vogel, Enrique García y Javier García por su colaboración en este trabajo. Esta investigación es parte de los estudios preliminares del proyecto Meteorología del Golfo de California ME GOCA). Este estudio fue financiado por el Gobierno Federal de México, a través de los presupuestos regulares del CICESE y la Secretaría de Marina.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ-Borrego, S. 1983. Gulf of California. Estuaries and Enclosed Seas. Ch. 17. Elsevier Scientific Pub. Co. Amsterdam, pp. 427-449.
- ATKINSON, G.D. and J.C. Sadler. 1970. Mean cloudiness and gradient level wind charts over the tropics. Technical Report No. 215, Vol. II, Publ. Air Weather Service, USAF. 21 pp.
- BALDWIN, J. L. 1974. Climates of the USA U.S. Department of Commerce, NOAA, Washington. 20402. 113 pp.
- BARRETT, E. 1980. Estudio Geográfico de la Península de Baja California. Secretaría de Educación y Bienestar Social, Mexicali, B.C. México. 102 pp.
- CANDELA, J. 1982. Corrientes en el Estrecho de Johnstone, B.C., Canadá, durante la primavera y el verano de 1973. Tesis de Maestría, CICESE. 208 pp.
- GODIN, G., 1978: L'Analyse des données de courants: Theorie et Pratique. Marine Sciences Directorate. Man. Rep. Ser. No. 49. Ottawa. 91 pp.
- GOLDENBERG, B. S. and J.J. O'Brien. 1981. Time and space variability of tropical pacific wind stress. Monthly Weather Review. Vol. 109, pp. 1190-1207.
- KRISHNAMURTI, T.N. 1979. Tropical Meteorology. Compendium of Meteorology. Vol. II, part 4. WMO. No. 364. Geneva, Switzerland. 428 pp.
- LANDSBERG, H.E. 1974. The Climate of North America. World Survey of Climatology Vol. 11. Ch 1. Elsevier Scientific Pub. Co. N.Y. pp. 1-47.
- MOOERS, C.N.K., 1970. The interaction of an internal tide with the frontal zone of a coast upwelling region. Ph. D. Thesis, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 480 pp.
- MOOERS, C.N.K., 1973. A technique for the cross spectrum analysis of pairs of complex valued series, with emphasis on properties of polarized components and rotational invariants. Deep Sea Res., Vol. 20, pp. 1129-1141.
- MOSIÑO y García, N.L. 1974. The Climate of Mexico World Survey of Climatology Vol. 11, Ch. 4. Elsevier Scientific Pub. p13 Co. N.Y. pp. 345-404
- RODEN, G.I. 1958: Oceanographic and Meteorological Aspects of the Gulf of California. Pacific Sciences. 12(1): 21-45.
- SARH, 1974-1980. Resumen Climatológico Estacional Invierno y Verano, Dir. Gen. de Geo. y Met. Vols. 1974 a 1980. México, D. F.

PRELIMINARY STUDY OF THE METEOROLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL CONDITIONS AROUND THE GULF OF CALIFORNIA PART I: WIND ANALYSIS

By

Sergio Reyes Coca ¹

Edgar Pavia López ¹

Julio Candela Pérez ²

Ricardo Troncoso Gaytán ²

¹Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada
Ensenada, B.C. México. 28230

²Estación Oceanográfica
Secretaría de Marina

Ensenada, B.C. Mexico. 28230

REYES-COCA, S., E. Pavia-López, J. Candela-Pérez and R. Troncoso-Gaytán. 1984. Preliminary study of the meteorological and climatological conditions around the Gulf of California. Part I: Wind Analysis. *Ciencias Marinas*, 10 (2): 27-43

INTRODUCTION

The most general characteristics of the meteorology and climatology of the Mexican Republic have been widely discussed by different authors (Landsberg, 1974; Mosiño and García, 1974). These works give a good idea of phenomena observed in the continental region of Mexico, where the meteorological network of surface and upper air stations is suitably distributed to study the most relevant synoptic conditions. In the northwest part of the country, the meteorological and climatological stations do not cover the entire area of Baja California nor the gulf. Atmospheric studies are rather scarce and consist only of routine observations and data presentation of the Servicio Meteorológico Nacional (SARH, Boletines climatológicos), as well as observations from oceanographic cruises (Roden, 1958; Alvarez-Borrego, 1983) and geographical expeditions of the Baja California Peninsula (Barret, 1980).

The geographic characteristics of the Gulf of California region are of fundamental importance when studying local and synoptic scale phenomena. Due to its great extension, the gulf is affected by medium and low latitude phenomena throughout the year. The mountain ranges of the Baja California Peninsula and the Sierra Madre Occidental generate a dynamic forcing in the lower levels of the atmospheric circulation, in such a way that the characteristics of the thermodynamic parameters are greatly affected, resulting in the very different

climatic and meteorological conditions inside and outside the gulf.

In this preliminary study we present and discuss the main meteorological and climatological characteristics observed during the period 1974-1980 as obtained from Mexican radiosonde stations in the Gulf of California region: Empalme (EMP), Guadalupe (GUD), Mazatlán (MAZ) and Socorro (SOC) and from two stations from the southwestern United States of America: San Diego (SAN) and Tucson (TUC). The main objectives of this work are to compile historic information and to detect and study the main atmospheric characteristics of the gulf region.

ANALYSIS METHODS

The data analysis has been directed to describe and understand the most relevant atmospheric characteristics in the Gulf of California region (Fig. 1) We used three different methods:

a) **Monthly averages** The basic radiosonde observations at 00:00 and 12:00 hours GMT during 7 years are used to obtain monthly and seasonal averages which later are presented as vertical profiles and time cross sections. From these analyses we get a qualitative idea of the climatological behavior and the inter and intra-annual variability for the study region.

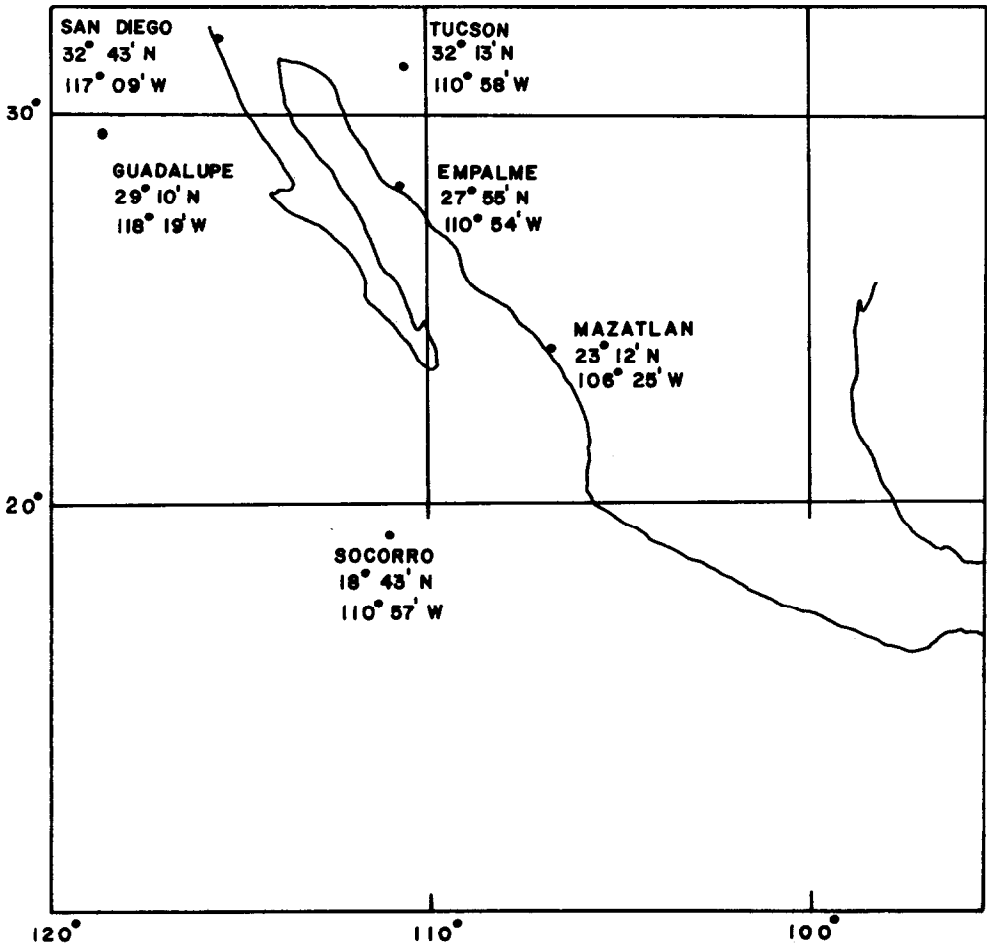


FIGURE 1. The Gulf of California and network of radiosonde stations of the northwest of Mexico and southwest of the United States.

b) **Spectral analysis.** We use the basic observations (two every day). Time series of the wind are completed by linear interpolation and known techniques of spectral analysis of bidimensional series are applied (Godin, 1978; Mooers, 1970). To facilitate the analysis of such a large amount of data, we consider only the standard pressure levels (Surface, 850, 700, 500, 300 and 200 mb) and obtain spectra for sets of three months (winter and summer); moreover, these values are averaged to obtain the winter and summer representative spectra for every considered site and level.

c) **Vectorial crossed spectra (VCE).** From the original data we obtained time series of the wind (speed and direction) for the 1000, 500 and 200 mb levels (surface, 5.5 and 12 km approximately) for every site. The series were separated into u and v components (positive to the east and north). The VCE method was used to compare resultant hodographs (u vs v) between respective station pairs.

The hodographs for comparison are separated into "component ellipses" that are formed by a pair of vectors that rotate in

opposite direction (polarized components); an ellipse for each frequency is calculated. The calculations are based on crossed spectra between the four entry channels, that is, between (u_i, v_i) and (u_j, v_j) where u_i, v_i, u_j and v_j are series of each component for sites "i" and "j" respectively (Mooers, 1973). The last step in the calculations uses spectral values to obtain coherency and admittance estimations, as well as a total correlation coefficient for each frequency band. We only present here the correlation coefficients vs. frequency for three pairs of the sites depicted in Fig. 1 (GUD-SAN, SAN-EMP and EMP-MAZ). These estimations of the correlation coefficient are invariate under coordinate rotation; the range of variation of the correlation coefficient is 0 to 1, with values higher than 0.5 considered significative.

RESULTS

Due to the great amount of results obtained from each analysis method, we only discuss the observed general characteristics. In the next chapter we combine the results of the different methods to better explain the anomalies of greater interest.

Vertical profiles. In figures 2 to 5, seasonal vertical profile averages for the wind are shown; u component (Fig. 2), v component (Fig. 3), persistence (Fig. 4) and mean speed (Fig. 5). Tables I, II and III give standard deviation values for the levels considered at each station and serve as a complement to Figures 2, 3 and 5, respectively. From these profiles we observe:

1) In the lower atmosphere (up to 3 km), the wind is very variable at SOC and MAZ during almost the entire year; at the other sites, the wind is relatively more persistent. As a result of the continental low pressure zone centered in Arizona and Sonora during summer (Baldwin, 1974), the winds at TUC show little persistence and are of low intensity. At EMP, on the contrary, the sea breeze is very persistent and controls the direction of the surface winds, with the Baja California mountain range being a barrier to the northwest winds from the Pacific. In the lower part of the gulf, the northwest winds are not very much affected

by the southern part of the peninsula and can penetrate to MAZ to interact with the local breeze, resulting in a west northwest surface wind. During summer the intertropical convergence zone (ITCZ) is located near SOC at 15°N latitude, resulting in diminished surface winds with a very variable direction (Goldenberg and O'Brien, 1981); during winter, on the contrary, the winds are more persistent.

2) For almost all stations, at intermediate levels (between 3 and 10 km), a high persistence is noted, except for EMP, MAZ and SOC (above 8 km) during summer; it is at this time of the year when east winds penetrate to the Pacific slope and interact with the northwest winds resulting in a diminished intensity and increased variability. It is interesting to note that while the u component shows a regular profile throughout the year, with a maximum in winter and a minimum in summer, the v component is very variable, with maximums in spring and summer for TUC, SAN, GUD; in winter and fall for MAZ and SOC and spring and winter for EMP. For the later cases the seasonal and latitudinal displacement of the jet stream and ITCZ generate a great variability in the v component, specially for EMP (jet stream) and for SOC (ITCZ).

3) In the upper levels of the troposphere the wind is very persistent in winter and variable in summer. With respect to the intensity, the jet stream exerts its maximum effects at 200 mb, mainly during

winter and for every site, gradually diminishing towards the north and south of EMP. During summer, the jet stream can only be detected in the northern stations, its effect being almost null at MAZ and SOC where the wind has a notable component from the east. It is interesting to note that the winds at all sites, during all seasons and above a height of 14-20 km, have a tendency to be east winds.

During summer, the upper troposphere (4 to 14 km) shows a wind predominantly from the west and southwest over TUC, SAN and GUD: SOC and MAZ show east winds with not very well defined southeast

PRELIMINARY STUDY... PART I

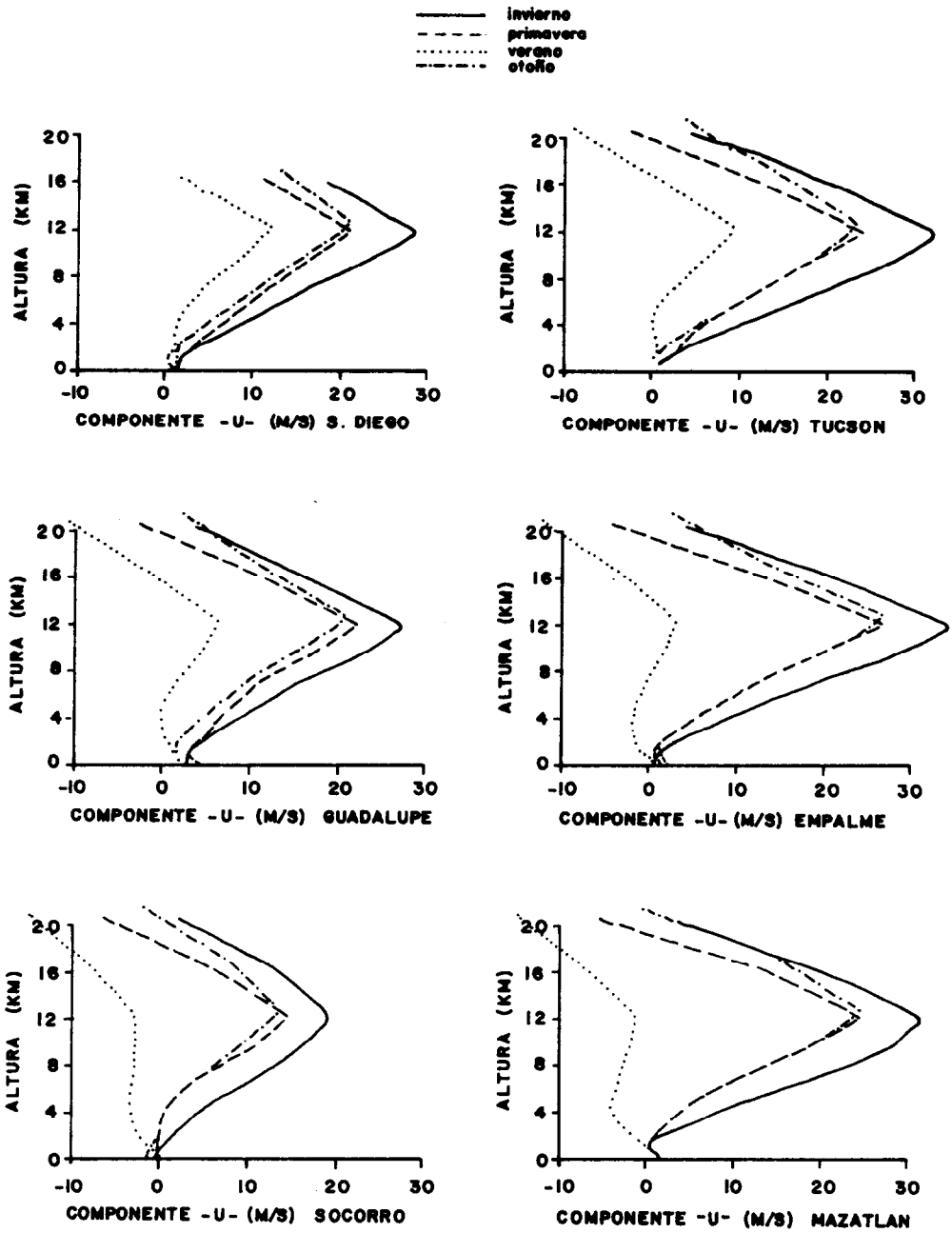


FIGURE 2. Wind average profiles, u component for winter, spring, summer and fall.

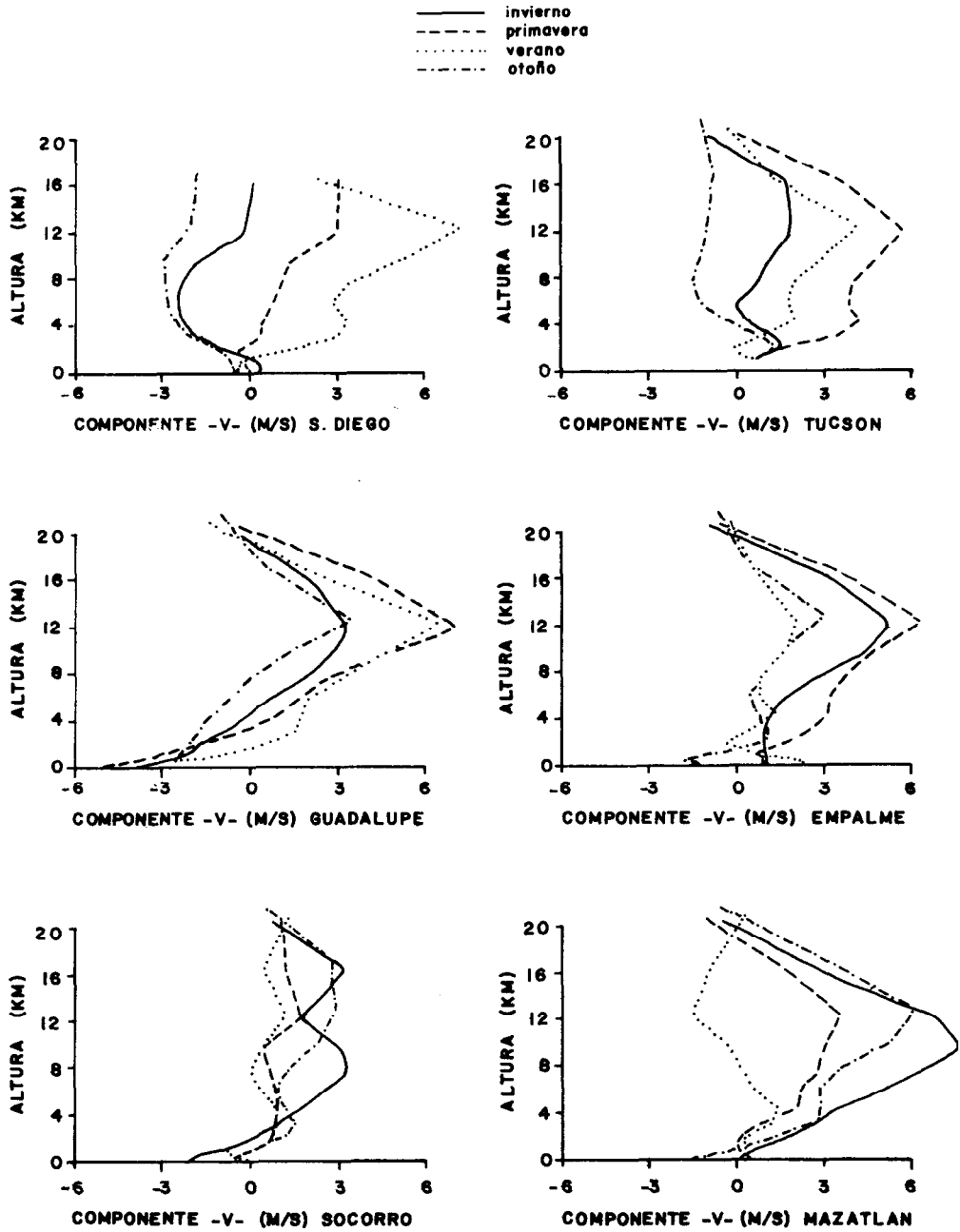


FIGURE 3. Wind average profiles, v component for winter, spring, summer and fall.

PRELIMINARY STUDY. . . PART I

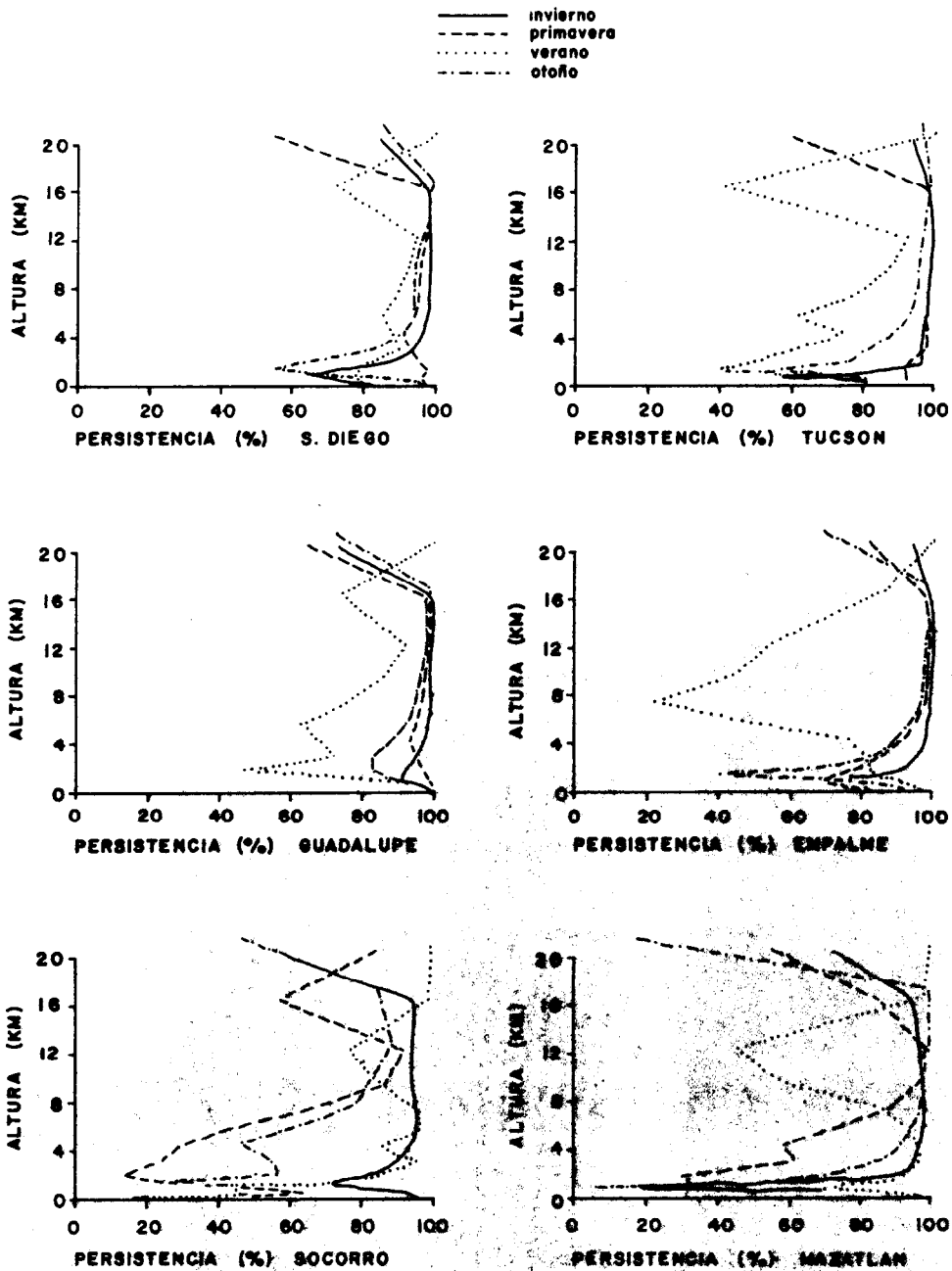


FIGURE 4. Wind persistancy average profiles for winter, spring, summer and fall.

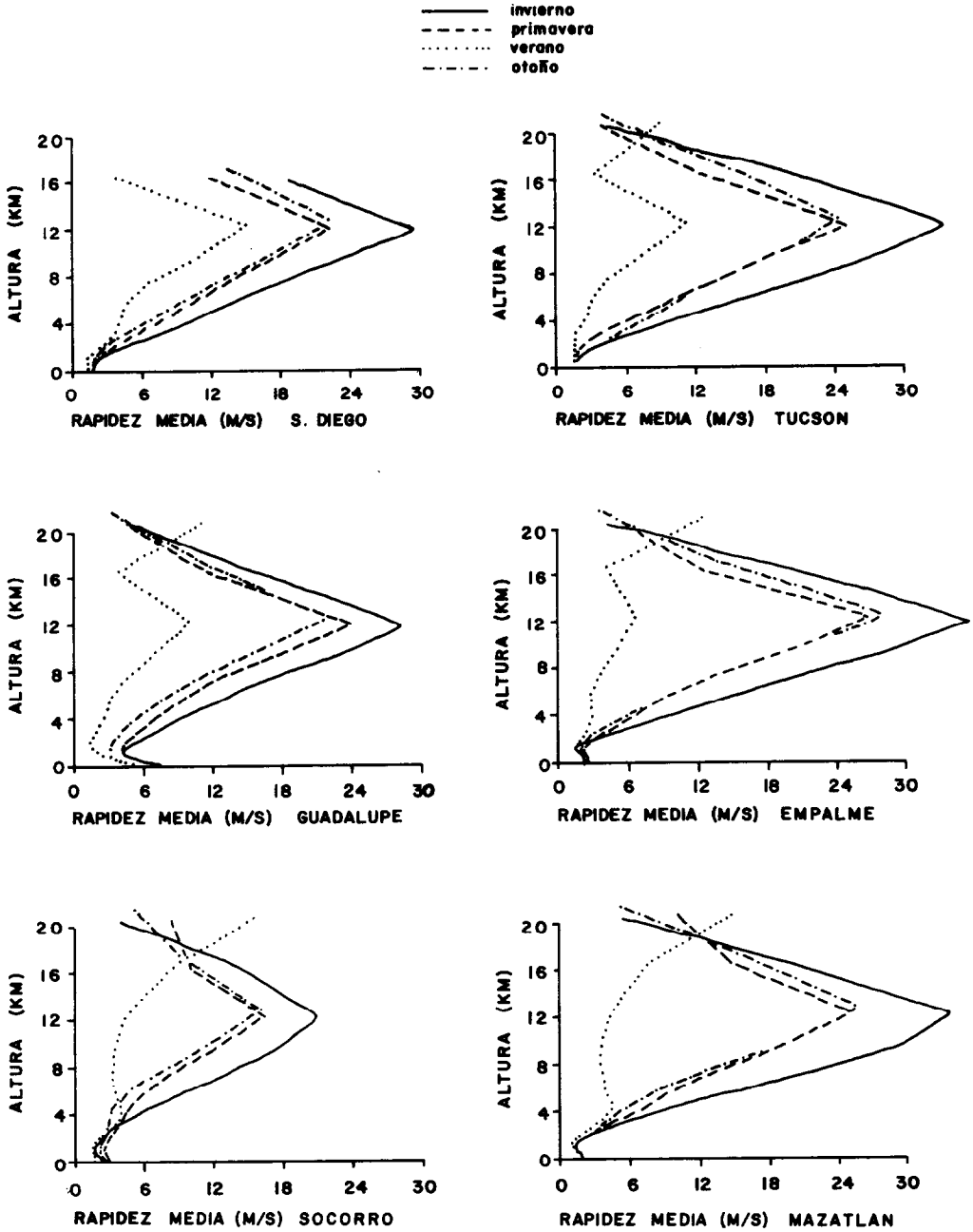


FIGURE 5. Wind speed average profiles for winter, spring, summer and fall.

PRELIMINARY STUDY... PART I

TABLE I. Standard deviations by levels of the u component.

TABLA I

SAN	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.9	0.7	1.0	1.3
	16	3.2	1.8	0.9	1.2
	12	5.5	2.2	1.3	3.3
	8	3.0	2.2	1.1	3.7
	4	1.5	1.3	0.9	1.9
	SUP	0.2	0.1	0.1	0.2

TUC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.5	0.6	1.0	1.0
	16	2.9	1.5	0.8	0.8
	12	5.5	2.9	1.5	5.2
	8	2.6	2.4	0.8	3.2
	4	0.8	1.2	0.7	1.9
	SUP	0.3	0.3	0.2	0.5

GUD	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	2.3	0.9	1.4	0.9
	16	2.3	0.4	1.0	1.6
	12	6.1	2.5	1.6	3.5
	8	4.3	2.3	1.1	2.6
	4	2.0	1.4	0.6	1.7
	SUP	0.3	0.8	1.2	1.1

EMP	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.6	1.0	1.3	1.1
	16	2.8	1.1	0.9	1.8
	12	5.3	2.4	1.9	2.5
	8	3.5	2.0	1.3	2.3
	4	1.1	1.1	0.5	1.1
	SUP	0.2	0.2	0.2	0.4

SOC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	2.8	2.7	2.5	2.2
	16	3.5	1.8	1.3	1.7
	12	6.7	4.8	1.9	5.4
	8	4.8	2.7	1.2	4.7
	4	1.8	1.1	0.7	1.5
	SUP	0.5	0.5	0.3	0.4

MAZ	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	2.7	6.0	1.2	2.7
	16	2.8	6.6	1.0	3.6
	12	4.8	2.2	1.4	3.2
	8	3.9	2.8	1.1	3.3
	4	1.4	0.9	0.8	1.6
	SUP	0.4	0.4	0.2	0.2

and northeast components, respectively. On the other hand, all sites during winter show a very intense and persistent west wind; SAN has a clear northwest component; TUC, GUD, EMP, SOC and MAZ show weak

southwest components.

Time cross sections. Figures 6 and 7 show the monthly behavior of the u and v wind components respectively; along the

TABLE II. Standard deviations by levels for v component

TABLA II

SAN	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.1	0.1	0.3	0.6
	16	1.8	1.0	0.4	0.9
	12	3.3	2.5	2.4	1.6
	8	1.7	2.2	2.0	1.8
	4	1.5	1.0	1.0	0.7
	SUP	0.4	0.3	0.2	0.2

TUC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	0.6	0.2	0.1	0.6
	16	2.2	0.9	0.6	1.6
	12	2.1	2.0	1.9	3.8
	8	2.2	1.6	1.2	2.6
	4	1.0	1.1	0.7	1.2
	SUP	0.1	0.3	0.2	0.2

GUD	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.0	0.3	0.5	0.5
	16	1.0	1.4	0.4	0.9
	12	2.0	2.9	1.6	1.7
	8	1.5	1.9	2.2	1.8
	4	1.1	1.0	1.1	1.1
	SUP	0.7	1.1	0.7	0.5

EMP	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	0.4	0.2	0.2	0.4
	16	1.1	0.8	0.4	1.6
	12	2.8	2.0	1.5	3.4
	8	2.4	1.5	1.1	2.5
	4	1.2	1.2	0.5	1.3
	SUP	0.4	0.3	0.2	0.4

SOC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.4	1.5	2.5	1.6
	16	3.7	2.2	1.1	4.0
	12	6.7	4.1	0.6	5.5
	8	3.8	2.4	0.7	3.6
	4	1.1	0.8	1.3	1.4
	SUP	0.6	1.1	0.5	0.3

MAZ	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	2.0	2.7	1.2	1.2
	16	4.6	1.5	0.8	2.7
	12	5.5	2.9	1.4	3.3
	8	3.7	2.0	1.0	2.9
	4	1.4	1.8	0.6	1.3
	SUP	0.3	0.3	0.3	0.3

horizontal axis, the time is indicated at annual intervals and, along the vertical axis, the height above mean sea level in kilometers is indicated. From these figures we can observe the following:

1) u component. The southern sites (EMP, MAZ and SOC) show a cyclic and very regular pattern, with maximum winds from the west of the order of 20 to 30 m/s between 11 and 14 km during winter

PRELIMINARY STUDY. . . PART I

TABLE III. Standard deviations by levels for the wind's speed.

TABLA III

SAN	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.7	0.9	1.0	1.3
	16	3.0	1.8	0.3	1.2
	12	5.3	2.4	1.9	3.2
	8	2.7	2.3	1.2	3.1
	4	1.2	1.3	0.9	1.5
	SUP	0.2	0.1	0.1	0.2

TUC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.4	0.8	1.0	1.1
	16	2.7	1.5	0.3	0.9
	12	5.5	3.2	1.5	5.1
	8	2.5	2.6	1.0	2.9
	4	0.8	1.4	0.7	1.9
	SUP	0.3	0.2	0.2	0.2

GUD	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	0.9	0.7	1.4	0.8
	16	2.4	0.8	0.7	1.6
	12	6.0	3.0	1.5	3.8
	8	4.3	2.5	1.6	2.8
	4	1.8	1.5	0.9	1.3
	SUP	0.6	1.2	0.7	0.7

EMP	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.4	0.4	1.3	0.9
	16	2.7	1.1	0.7	1.8
	12	5.1	2.8	1.0	2.6
	8	3.3	2.3	0.9	2.4
	4	1.0	1.4	0.4	1.3
	SUP	0.1	0.2	0.1	0.2

SOC	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	1.6	1.5	2.7	1.4
	16	2.7	1.7	1.3	0.7
	12	6.2	4.1	0.7	4.5
	8	4.4	2.6	0.8	3.1
	4	1.4	1.1	1.1	1.2
	SUP	0.5	0.3	0.4	0.5

MAZ	Z(KM)	INV	PRI	VER	OTO
	20	2.3	4.3	1.2	1.2
	16	2.8	5.7	0.9	4.0
	12	4.0	2.1	0.9	3.7
	8	3.5	2.5	0.6	3.6
	4	1.1	0.7	0.6	1.8
	SUP	0.4	0.4	0.2	0.3

and minimum from the east of 0 to 10 m/s during summer. The northern sites (GUD, SAN, TUC) also show maximums during winter (between 30 and 40 m/s), but there is a greater interannual variability and only

winds from the east at very high levels are observed during summer.

2) v component. In general, a high interannual variability with maximum winds

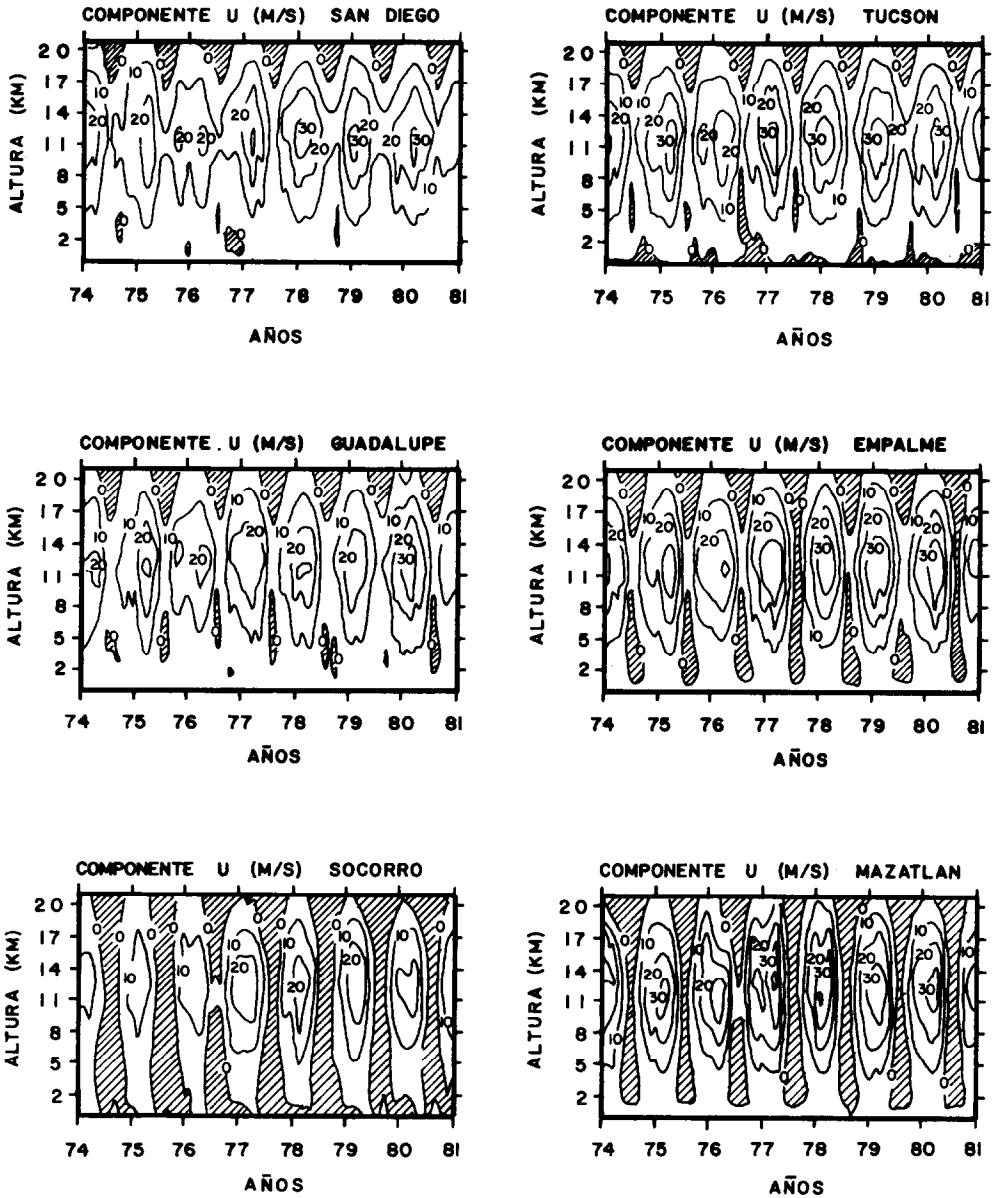


FIGURE 6. Wind's u component for the study areas.

from the south of approximately 5 m/s between 11 and 14 km is observed.

Spectral analysis. Figure 8 shows the winter (January, February, March) and

summer (July, August and September) average spectra for surface, 500 mb and 200 mb levels. In general, one can observe that the greater energies are found at low frequencies ($< 1/8$ CPD). The results show

PRELIMINARY STUDY. . . PART I

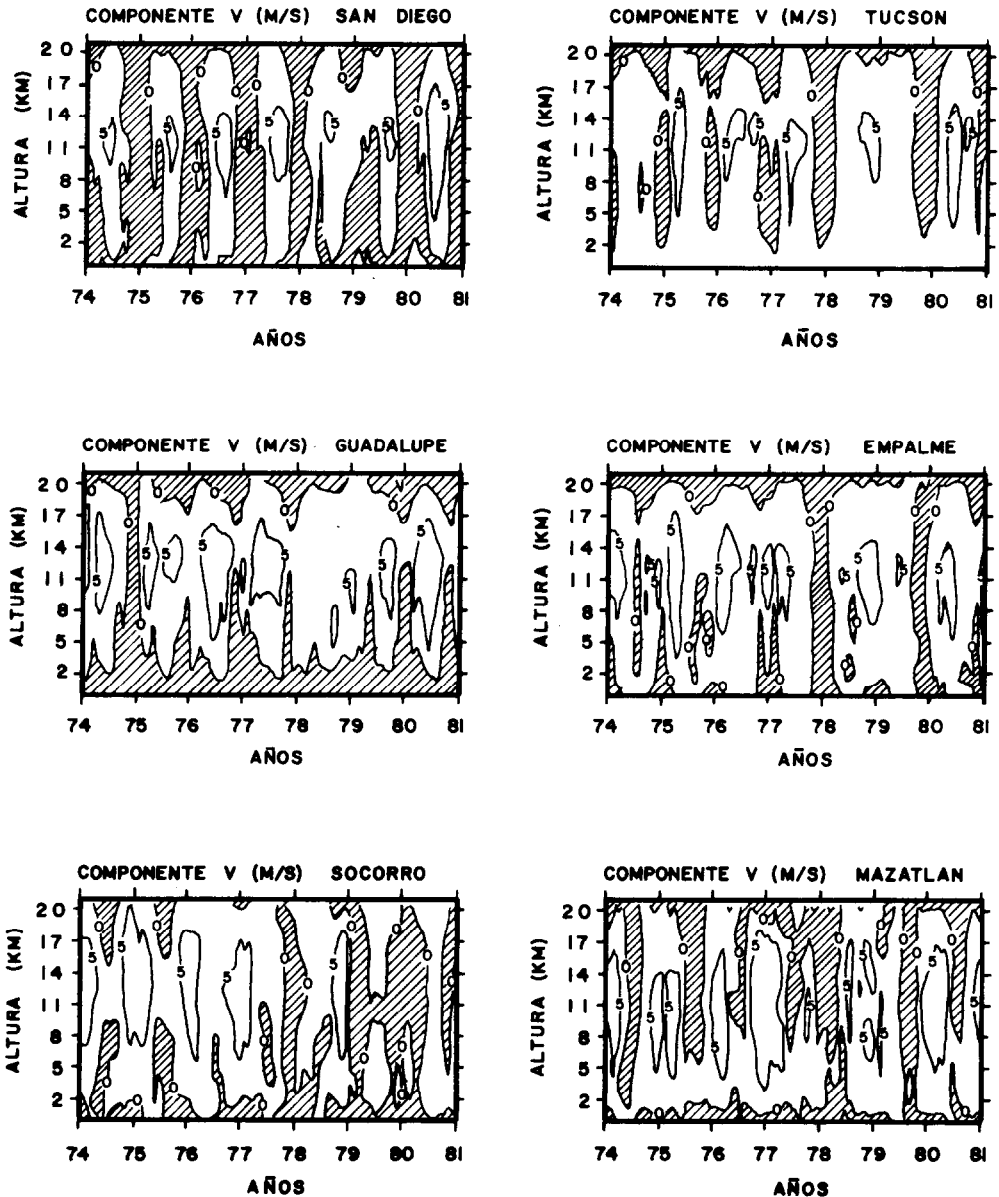


FIGURE 7. Wind's v component for the study sites.

greater energy in winter than in summer and for the northern stations (SAN, TUC, GUD) than for the southern (SOC, MAZ, EMP) for 500 and 200-mb levels. It is possible to observe that the energy increases

from the surface level to the upper levels; this is more evident in the low frequencies. On the other hand, it is important to point out that the results of the surface level behave in a different way from the results

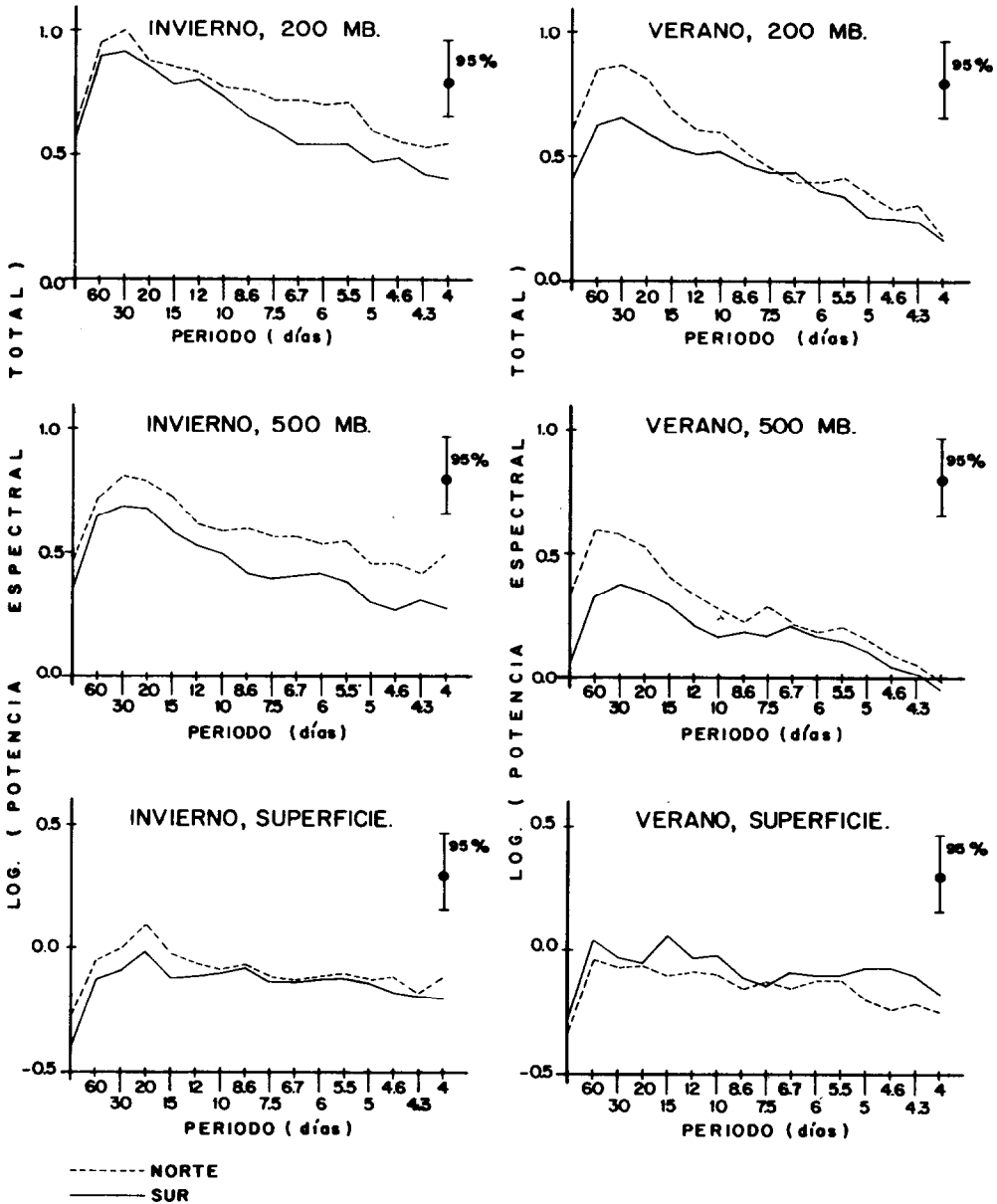


FIGURE 8. Characteristic vectorial spectra. The significance level of 95 % is shown at the right of each spectra.

of the upper levels. For example, the maxima in the low frequencies are less evident, the energies for summer are a little higher than those of winter, and southern stations have a little more energy than the northern

ones during summer.

Considering the particular spectrum for each station, we observe the following results: at the 850 mb level, the most energetic station

is SAN and the least is MAZ during winter and summer. At 700 and 500 mb levels SAN is the more energetic and SOC is the least during winter and summer. At 300 mb level TUC is the most energetic during winter and SAN during the summer, with SOC the least energetic during both winter and summer. Finally, at 200 mb, TUC, is the most energetic station and SOC the least during winter and summer.

Vectorial crossed spectra. We decided to use a spectral band width of $f = 0.0027$ CPD, corresponding to a period of $T = 365$ days, with the intention of solving the annual component, which is the series we analyzed. As a matter of fact, this component modulates the series. The annual frequency is well correlated among all the con-

sidered pairs of stations and levels, as shown in Figures 9, 10 and 11. Since the sampling frequency (2 daily) gives us a Nyquist frequency = 1 CPD, the spectral results were cut off at a $f = 0.31$ CPD with higher frequencies not being of interest.

The broken line in the figures indicates a correlation value of 0.5, above which a significant correlation between stations is considered to exist.

For figure 9 (SAN-EMP), one notes that periods of ~ 4 , ~ 7 and 14 days are well correlated (0.5 to 0.7) at both stations and at three levels. The periods close to 4.5 days are well correlated at all levels; moreover, the 500 mb level has a good correlation with neighboring periodicities.

SAN - EMP

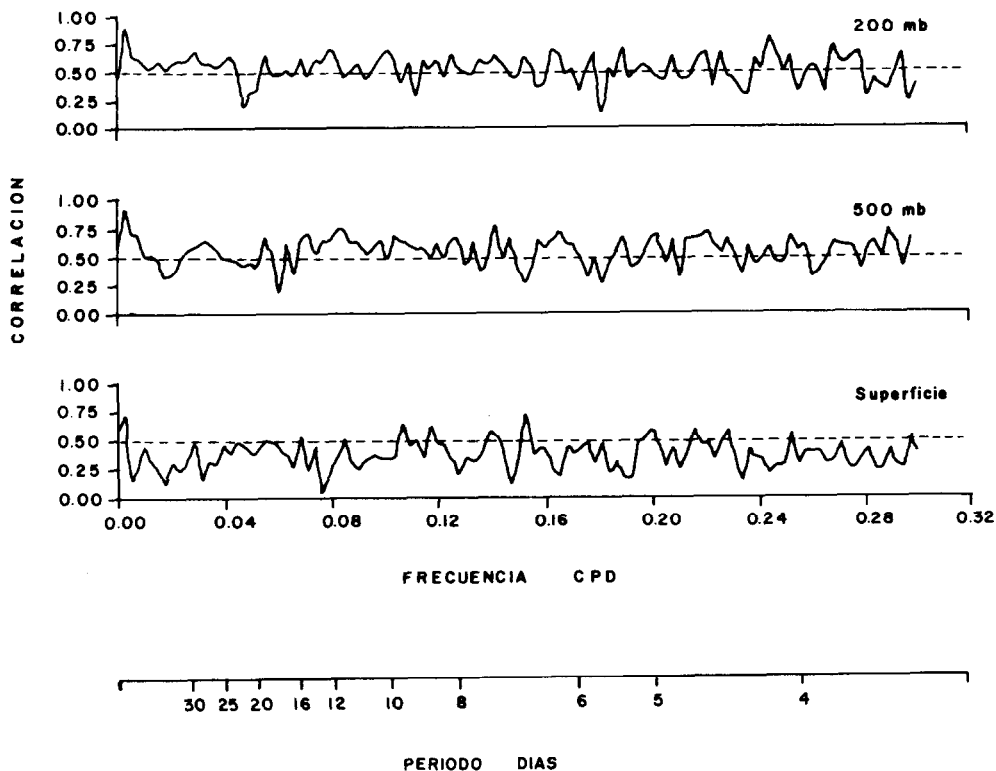


FIGURE 9. Correlation coefficients of the cross spectra between San Diego and Empalme. The broken line indicates the 0.5 correlation level.

EMP - MAZ

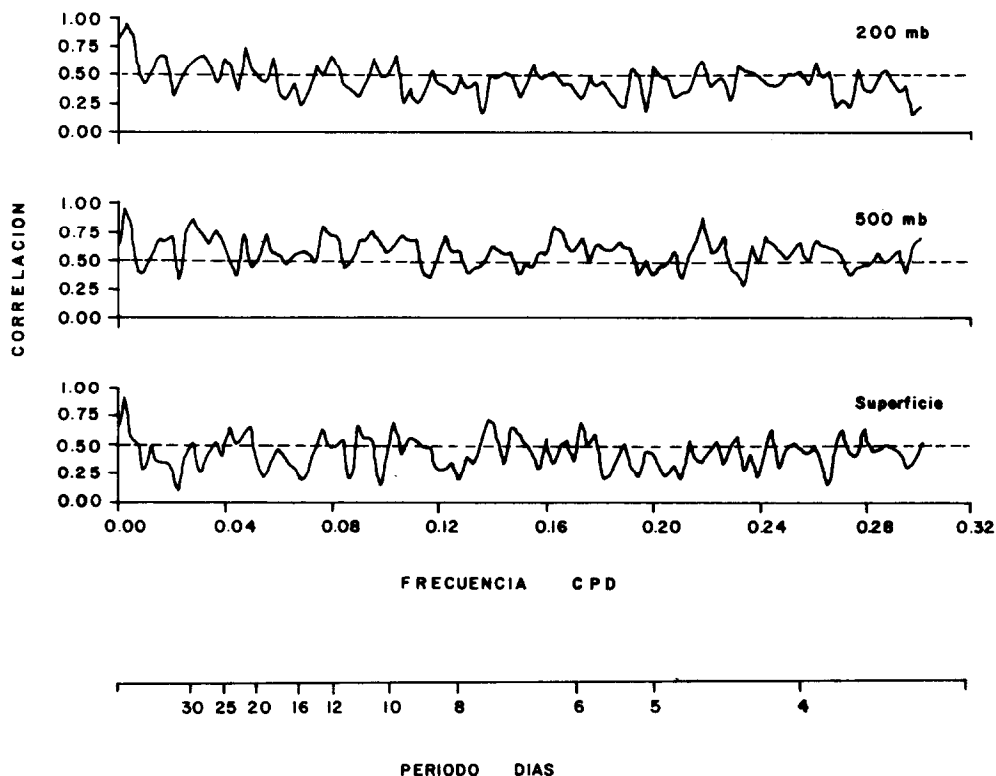


FIGURE 10. Correlation coefficients of the cross spectra between Mazatlan and Empalme. The broken line indicates the 0.5 correlation level.

The 6 day period is out of phase between the surface and 200 mb levels as the low correlation for this period at the 500 mb level indicates. For longer periods (30 and 18 days), the correlation is significant only for the upper levels (200 and 500 mb). For periods between 9 and 10 days, the correlation is significant at the three levels.

In figure 10 (EMP-MAZ), we observe that periods between 9 and 11 days are well correlated between the two stations and at all levels (except for $T = 10.7$), these periods being slightly better correlated than the periods between 9 and 10 days of the aforementioned case. Here, periods close to 20 days and to 13 days correlate well at all three levels. The periods close to a month, 5 and 4 days, correlate well only for the

upper and medium levels, while this only happens at the lower and medium levels, for the 7 and 6 day periods.

Figure 11 (GUD-SAN) presents a clear negative linear tendency in the correlation coefficient with respect to the frequency except for the surface level. Here the periods close to 4 and 7 days are well correlated at all levels. However, the periods ranging between 4 and 6 days seem to be restricted to good correlations only at the upper and medium levels, except for $T = 4.5$ days, which correlates well at surface and 500 mb levels. The lower frequencies (longer periods) correlate well at upper levels as the 2 month and ~ 17 day periods show. For a period of 9.6 days a similar case as for the 6 day period in Fig. 10 occurs; that is, a good cor-

GUD - SAN

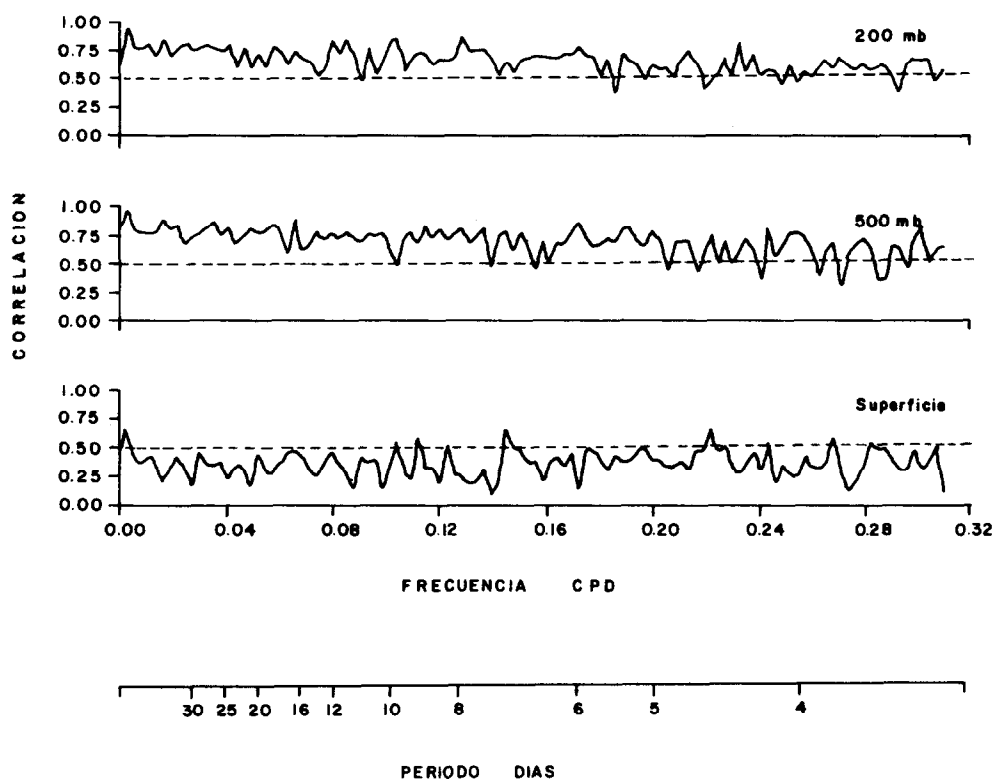


FIGURE 11. Correlation coefficients of the cross spectra between Guadalupe and San Diego. The broken line indicates the 0.5 correlation level.

relation at the extreme levels and poor at the medium level, indicating a linear phase shift between the surface and 200 mb levels for that frequency.

The VCS analysis is a first approximation to the description of the wind interaction between different localities at different height levels. The results shown give us only a general quantitative idea of such characteristics.

DISCUSSION AND CONCLUSION

It is clear from the results of the wind analyses that in the lower troposphere (1 to 3 km, without consideration of the surface layer) the northern region of the gulf is affected, all year long, by the air masses of

middle latitudes coming from the west. The southern region is also affected, during winter, by the penetration of winds from the west and northwest. During summer, east winds penetrate into the gulf to interact with northwest winds, forming a frontal zone that can develop over the central region of the gulf (Atkinson and Sadler, 1970). During winter, in the central region of the gulf, the resultant wind shows a clear component from the west and northwest while during summer, wind persistence decreases notably and winds from either the northeast and southeast can be observed, with a predominance of the latter in the average for the 7 years considered. For summer, this could be the logical result in that when baroclinicity decreases in the northern hemisphere, it would be expected that wind intensity

changes very slowly with height (Krishnamurti, 1979).

During winter, radiative warming and the short duration of the day do not allow a breeze system, typical of summer, to develop in the northern region of the gulf; on the other hand, when the semipermanent anticyclone centered west of California weakens, polar winds from middle latitudes penetrate freely into the Baja California Peninsula and part of the gulf.

Observed variability and anomalies

Both wind components show a certain periodicity and regularity in their temporal behavior; however, in some places very considerable inter and intra-annual variations which can be associated to disturbances of external origin to the gulf region are observed. For example, during the winter of 1977-78 one can observe a slight intensification in the jet stream and a great penetration of the north winds at MAZ, SOC and EMP. These wind anomalies during the winter of 1977-78 are briefly discussed in part II of this study as they relate to anomalous moisture fields observed in NW Mexico during the winter of 1977-78 and the summer of 1978.

The wind has been studied at several levels at 6 sites around the Gulf of California. Monthly averages and vertical profiles

have been used to describe the seasonal characteristics. The study in the frequency domain (spectral analysis and crossed spectra) gives us a first idea of the energy of the phenomena in relation with their periodicity. It is possible to detect the particularities of the observational area from the results of the lower levels. The results of the analysis at high levels allows us to infer the influence of the orography of the peninsula and the presence of an homogeneous flow at a certain height. In general, there is a threshold frequency ($\sim 1/8$ CPD); low frequencies ($< 1/8$ CPD) have high energy, high frequencies ($> 1/8$ CPD) have little energy. The phenomena are in general more energetic during winter than during summer, except at the surface.

ACKNOWLEDGEMENTS

We want to thank the members of the meteorology group of CICESE, specially to Gerard Vogel, Enrique García, and Javier García for their collaboration in this study. This research is part of the preliminary studies of the Meteorology of the Gulf of California Project. This study was supported by the Mexican Federal Government and the Secretaria de Marina.