

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS**



**EVOLUCION DE LOS CAMPOS DE VIENTO DIVERGENCIA Y VORTICIDAD  
SOBRE LA REGION TROPICAL DE AMERICA,  
DURANTE EL PERIODO DE MAYO A SEPTIEMBRE DE 1979.**



**O C E A N O L O G I A**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
OCEANOLOGO**

**PRESENTA**

**VICTOR RIVERA ALCANTAR**

**ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MARZO DE 1985.**

**BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA**

## Resumen

Las componentes u y v del viento obtenidas cada 12 horas durante el periodo del primero de Mayo al 22 de Septiembre de 1979 en el Primer Experimento Mundial del Tiempo, fueron utilizadas para obtener promedios mensuales de viento, divergencia y vorticidad, en la región tropical de América comprendida entre  $140^{\circ}\text{W}$ - $50^{\circ}\text{W}$  y  $20^{\circ}\text{S}$ - $40^{\circ}\text{N}$ ; en la vertical incluye los niveles de 1000, 500 y 300 mb. Los resultados son presentados en mapas de isolíneas, los cuales nos muestran las características sinópticas más sobresalientes de la región. El viento zonal tiene un comportamiento bien definido, aumentando su homogeneidad hacia los niveles superiores de la atmosfera; en el nivel de 1000 mb, el viento es básicamente del este, en el nivel de 500 mb viento del oeste aparece al norte y sur de la zona ecuatorial y en 300 mb el viento del oeste se amplía hacia el ecuador sugiriendo una inversión de la circulación en los niveles superiores de la atmósfera. El viento meridional es muy irregular y complejo, sin embargo se observa una circulación en forma de celda de Hadley; por ejemplo, en 1000 mb los vientos del norte y del sur se encuentran en una zona de confluencia entre los  $0$  y  $15^{\circ}\text{N}$ , y en 300 mb los vientos tienden a dirigirse al norte y sur del ecuador. El campo de divergencia en los 1000 mb se caracteriza por las zonas de convergencia que ocurren sobre el continente y la zona de convergencia intertropical localizada entre los  $0$  y  $20^{\circ}\text{N}$  en forma de banda zonal, la cual se desplaza hacia el norte conforme avanza el verano; en los niveles de 500 y 300 mb el viento ha homogenizado el campo de divergencia de tal manera que se observa convergencia en el Hemisferio Sur y divergencia en el Hemisferio Norte, presentando fuertes gradientes del campo de divergencia cerca de la línea del ecuador. El campo de vorticidad en el nivel de 1000 mb se acopla muy bien con el campo de divergencia, donde hay convergencia ocurre vorticidad ciclónica y donde hay divergencia ocurre vorticidad anticiclónica; sin embargo en los niveles de 500 y 300 mb esto no sucede, haciéndose el campo muy irregular y complejo.


EVOLUCION DE LOS CAMPOS DE VIENTO, DIVERGENCIA Y VORTICIDAD  
SOBRE LA REGION TROPICAL DE AMERICA,  
DURANTE EL PERIODO DE MAYO A SEPTIEMBRE DE 1979.

T E S I S

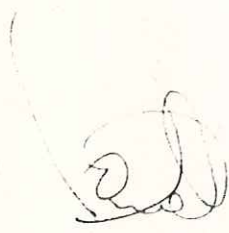
QUE PRESENTA:

Victor Rivera Alcántar

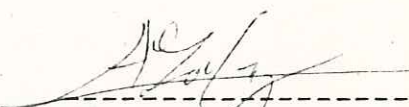
APROBADA POR:



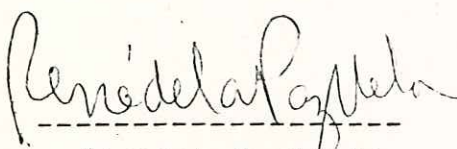
-----  
Presidente del Jurado  
M.C. Sergio Reyes Coca



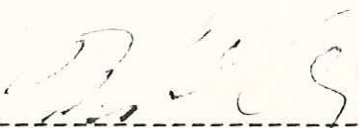
-----  
Sinodal Propietario  
M.C. René Pinet Placencia



-----  
Sinodal Propietario  
M.C. Adolfo Gonzalez Calvillo



-----  
Sinodal Suplente  
Oc. René de la Paz Vela



-----  
Sinodal Suplente  
Oc. Modesto Ortiz Figueroa

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Mis primeros y más grandes maestros.

A mis profesores progresistas,  
de amplio criterio y gran conocimiento,  
que dejaron una profunda huella en mi forma de ser.

A mis hermanos:

Insustituibles amigos y compañeros de gran parte de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Al M.C. Sergio Reyes Coca, por su dirección y apoyo en la presente tesis.

A los sinodales M.C. René Pinet, M.C. Adolfo Gonzalez, Oc. René de la Paz y Oc. Modesto Ortiz, que revisaron el escrito y presidieron el examen profesional.

Al M.C. Gerard Vogel por sus comentarios y sugerencias.

A los Oc. David Villalobos y Olga Ramírez por su compañerismo durante la carrera y su ayuda y comentarios en el desarrollo de la tesis.

A los tesistas Ninfa Diaz Sandi, Enrique Garcia, Paciano Rojo, y a los técnicos Héctor Santos y Javier Garcia, por diferentes contribuciones que hicieron al presente trabajo y por su compañerismo durante mi estancia en el CICESE.

A mis amigos Leopoldo Fragoso, Argelia Butterfield, Cuauhtemoc Millan y Roberto Merino, por su compañerismo y estímulo durante la etapa terminal de la carrera.

A la Q.F.B. Sonia Maldonado y a la M.C. Graciela Guerra, por su apoyo económico y moral durante gran parte de la carrera.

Al CICESE por el apoyo económico que me brindo y por múltiples facilidades que otorgo para el buen desarrollo de éste trabajo.

Al CONACyT por su financiamiento (proyecto No. PCECBNA-021026) al proyecto Meteorología de México y Centroamérica, desarrollado por el Grupo de Meteorología del CICESE, y del cual forma parte la presente tesis.

Finalmente pero de manera muy especial agradezco a mis padres: Maximino Rivera Alvarez y Eustolia Alcántar Martinez, por la confianza, comprensión y cariño que me han brindado a lo largo de toda mi vida.

Tabla de contenido

CAPITULO I	
I INTRODUCCION.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Objetivos.....	5
CAPITULO II	
II MATERIALES Y METODOS.....	6
2.1 Descripción del Area de Estudio.....	6
2.2 Datos del PEMT.....	9
2.3 Divergencia y Vorticidad.....	11
2.4 Estadísticas Básicas.....	13
CAPITULO III	
III RESULTADOS.....	15
3.1 Viento Zonal.....	17
3.2 Viento Meridional.....	24
3.3 Divergencia Horizontal.....	32
3.4 Vorticidad Relativa.....	38
CAPITULO IV	
IV DISCUSIONES.....	45
CAPITULO V	
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
LITERATURA CITADA.....	59

## LISTA DE ACRONIMOS

CAP	Centro de Alta Presión
CBP	Centro de Baja Presión
DE	Desviación Estandar
EUA	Estados Unidos de América
PEMT	Primer Experimento Mundial del Tiempo
HN	Hemisferio Norte
HS	Hemisferio Sur
OPS	Océano Pacífico Sur
VA	Vorticidad Anticiclónica
VC	Vorticidad Ciclónica
VAM	Vorticidad Anticiclónica Máxima
VCM	Vorticidad Ciclónica Máxima
ZC	Zona de Confluencia
ZD	Zona de Difluencia
ZCI	Zona de Convergencia Intertropical

## LISTA DE FIGURAS

---

- Fig. 1.- Mapa del área de estudio de los campos.....7  
promedios del viento zonal, viento meridional, divergencia y vorticidad.
- Fig. 2.- Promedios mensuales de viento zonal para.....18  
los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre de 1979; nivel de 1000 mb.
- Fig. 3.- Igual que en la Fig. 2 sólo que para el.....20  
nivel de 500 mb.
- Fig. 4.- Igual que en la Fig. 2 sólo que para el.....23  
nivel de 300 mb.
- Fig. 5.- Promedios mensuales de viento meridional,.....26  
para los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre de 1979; nivel de 1000 mb.
- Fig. 6.- Igual que en la Fig. 5 sólo que para el.....28  
nivel de 500 mb.

Fig. 7.- Igual que en la Fig. 5 sólo que para el.....31  
nivel de 300 mb.

Fig. 8.- Promedios mensuales de divergencia para.....33  
los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y  
Septiembre de 1979; nivel de 1000 mb.

Fig. 9.- Igual que en la Fig. 8 sólo que para el.....35  
nivel de 500 mb.

Fig. 10.- Igual que en la Fig. 8 sólo que para el.....37  
nivel de 300 mb.

Fig. 11.- Promedios mensuales de vorticidad para.....39  
los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y  
Septiembre de 1979; nivel de 1000 mb.

Fig. 12.- Igual que en la Fig. 11 sólo que para el.....41  
nivel de 500 mb.

Fig. 13.- Igual que en la Fig. 11 sólo que para el.....43  
nivel de 300 mb.

## CAPITULO I

### 1 INTRODUCCION

#### 1.1 Introducción

En los últimos años ha habido un creciente interés de la comunidad científica por el estudio de los fenómenos de gran escala en las regiones tropicales, se han implementado modelos de predicción que requieren de gran cantidad de datos tanto de la atmósfera como del océano; sin embargo la escasez y calidad de los mismos hasta la década de los 70's ha limitado la validez de los resultados obtenidos (Goldenberg y O'Brien, 1981).

En 1979 se llevó a cabo el Primer Experimento Mundial del Tiempo (PEMT) el cual nos brinda un excelente mosaico de datos en áreas poco exploradas y constituye el banco de datos más completo hasta nuestros días y posiblemente durante los siguientes 4 años (Bengtsson et al., 1982b). En él participaron los países miembros de la Organización de las Naciones Unidas, a través de sus institutos de investigación científica. Debido a esto se registró una gran cantidad de observaciones que cubrieron la totalidad de la atmósfera, obteniéndose datos que se

consideran de gran calidad puesto que se utilizan las metodologías y avances tecnológicos más recientes. Este conjunto de datos nos brinda la oportunidad de estudiar fenómenos atmosféricos de escala sinóptica y planetaria, tales como corrientes de chorro, circulación atmosférica, e interacción entre latitudes medias y bajas.

El análisis de los datos del PENT ha sido iniciado desde 1981, por los países más avanzados y, hoy en día, se tiene una buena descripción de los campos en escala planetaria (Anónimo, 1981); sin embargo, es aún necesario hacer estudios con mayor detalle para comprender las características y fenómenos regionales observados durante 1979.

El grupo de Meteorología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) inició en 1981 el proyecto denominado Meteorología de Centroamérica y México (MECEMEX); en él se incluye la dinámica y termodinámica de la atmósfera, interacción océano-atmósfera y climatología. Todo esto con el fin de entender la meteorología y climatología de la región y las interacciones entre las latitudes medias y los tropicos; asimismo tratar de establecer la influencia regional de los campos atmosféricos sobre fenómenos como: tormentas, huracanes, precipitación etc.

El presente trabajo, dentro de la parte dinámica, utiliza los datos de viento del nivel III-b del PENT (ver sección 2.2), obtenidos durante el verano de 1979, para generar campos promedio de las componentes u y v del viento, la divergencia, la vorticidad y sus estadísticas básicas en 3 diferentes niveles de presión. Los resultados son presentados en mapas de isolíneas que muestran las principales características sinópticas de la región.

## 1.2 Antecedentes

La mayoría de los estudios en la región tropical de América se han concentrado en el viento superficial sobre los océanos y su relación con los fenómenos de interacción océano-atmósfera. Izawa (1972) hace un análisis estadístico de las perturbaciones atmosféricas superficiales en base a fotografías de satélite, radiosondeos y datos de viento tomados por barcos mercantes. Wyrтки y Meyers (1976) realizaron un estudio climatológico de los vientos procesando 5 millones de observaciones de barcos mercantes, éstas fueron tomadas durante el período de 1947 a 1973. Los datos fueron interpolados para generar promedios mensuales en una malla de  $2^{\circ}$  latitud/ $10^{\circ}$  longitud. Goldenberg y O'Brien (1981) usaron los datos y promedios calculados por Wyrтки

y Meyers para encontrar la variabilidad espacial y temporal de los vientos de la región. Hastenrath y Lamb (1977) generaron un atlas climatológico para el nivel de superficie, sobre los océanos Atlántico Tropical y Pacífico Este. Ellos usaron 60 años de datos de barcos mercantes para obtener promedios mensuales de viento, presión atmosférica, persistencia, divergencia, vorticidad y esfuerzo del viento; con los promedios generaron mapas de isolíneas de cada una de las variables. Sadler y Kilonsky (1981) analizan los vientos superficiales derivados de satélite a partir del movimiento de las nubes. Obtiene promedios mensuales para 1979 y para el período de 1975-1980 sobre los océanos Pacífico y Atlántico. Vogel (1982) utilizó los datos derivados por Goldenberg y O'Brien (1981) para realizar un estudio climatológico en el Océano Pacífico Este, de la variación anual y estacional de los vientos superficiales, su divergencia y la zona de convergencia intertropical (ZCI).

Trabajos de la región para diferentes niveles de la atmósfera sólo se han hecho a escala mundial por ejemplo.: Mintz (1954) a partir de datos de diferentes fuentes (viento geostrofico obtenido de mapas circumpolares, globos de ascenso etc.) construye una distribución del viento zonal para todo el mundo desde el

nivel del mar hasta 50 mb, durante verano e invierno. Bengtsson et al., (1982b) usando datos del PENT obtuvo vientos y circulación atmosférica a escala mundial para los meses de Enero y Julio en los niveles de 200 y 850 mb.

### 1.3 Objetivos

i) Obtener y describir los campos promedio mensual de viento, divergencia y vorticidad sobre la región tropical de América, para el periodo del primero de Mayo al 22 de Septiembre de 1979.

ii) Estudiar la evolución mensual de los campos promedio de viento, divergencia y vorticidad, resaltando las características atmosféricas más sobresalientes sobre México durante el verano de 1979.

## CAPITULO II

### 2 MATERIALES Y METODOS

#### 2.1 Descripción del Area de Estudio

El área considerada para la obtención de los campos dinámicos se encuentra en la región tropical de América y está comprendida de  $40^{\circ}\text{N}$  a  $20^{\circ}\text{S}$  y de  $140^{\circ}\text{W}$  a  $50^{\circ}\text{W}$  (Fig. 1), hacia arriba incluye 3 niveles de presión: 1000, 500 y 300 mb. Esta gran extensión de área incluye parte del Océano Pacífico Este, el Golfo de México, Mar Caribe, el Océano Atlántico Oeste y en el Continente Americano, los Estados Unidos de América (EUA), México, Centroamérica y la parte septentrional de América del Sur. Este rectángulo, en proyección mercator, enmarca la República Mexicana y Centroamérica de tal manera que se pueden estudiar los fenómenos meteorológicos, de latitudes medias y bajas, que les afectan.

Meteorología de la Zona.- La circulación superficial en los trópicos esta dominada por los vientos alisios del NE y SE que se encuentran en una zona de confluencia (ZC) localizada en promedio entre los  $5^{\circ}\text{N}$  y  $10^{\circ}\text{N}$  (Wyrtki y Meyers, 1976; Hastenrath y Lamb, 1977). El viento

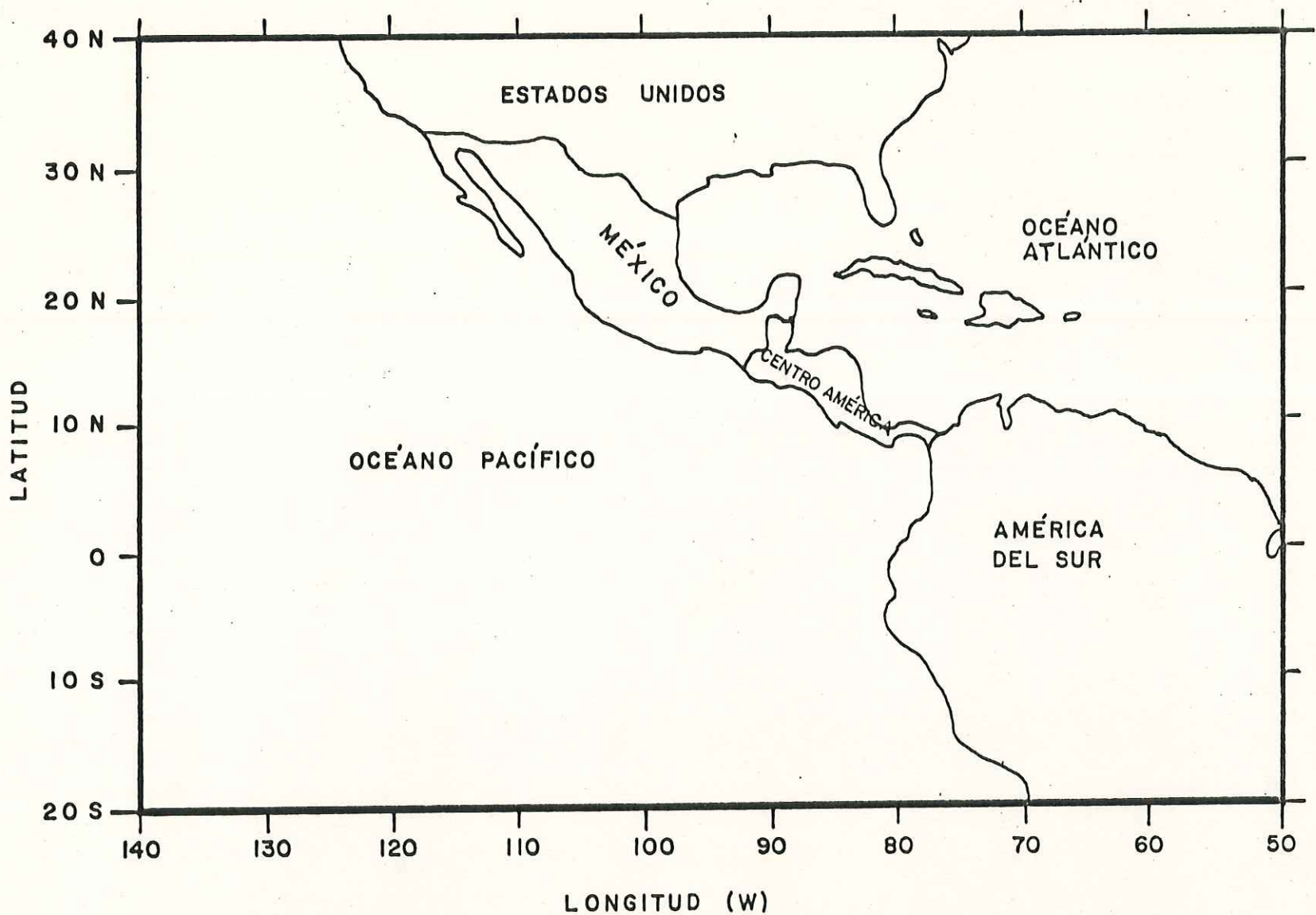


Fig. 1.- Mapa del área de estudio de los campos promedios del viento zonal, viento meridional, divergencia y vorticidad.

superficial en las latitudes medias del área de estudio esta dominada por los centros de alta presión (CAP) que se encuentran al oeste de California y Chile en el Océano Pacífico y entre Bermudas y las Islas Azores en el Océano Atlántico.

Condiciones Oceanográficas.- Las corrientes más importantes en el Océano Pacífico para ésta región son: la corriente de California y Norecuatorial en el Hemisferio Norte; la corriente del Perú y la Surecuatorial en el Hemisferio Sur; y la contracorriente Ecuatorial que fluye hacia el este entre las corrientes Nor y Surecuatorial (Short, 1976). En el Océano Atlántico las corrientes más importantes son: la Corriente del Golfo y la Norecuatorial. Estas corrientes varían de acuerdo a los cambios del patrón de viento del Pacífico y Atlántico, particularmente de los sistemas de vientos asociados a los CAP del Hemisferio Norte y Sur, siendo las más sobresalientes para éste estudio las corrientes frías de California y Perú pues inhiben la convección; sus variaciones estacionales pueden revisarse en el trabajo de Short (1976).

Orografía.- Las Montañas Rocosas y la Sierra Madre Occidental en EUA y México, respectivamente, forman una cadena montañosa de más de 2000 m de altura que se

continua hacia Centroamérica con pequeñas discontinuidades en el Istmo de Tehuantepec, entre Nicaragua y Costa Rica y cerca del canal de Panamá (Nieuwolt, 1977), en la parte oriental de América del Norte los Montes Apalaches en EUA alcanzan alturas entre 1000 y 2000 m; la Sierra Madre Oriental en México tiene entre 200 y 1000 m de altura (García et al., 1975). En América del Sur la Cordillera de los Andes es lo más sobresaliente, alcanza alturas mayores a los 4000 m.

## 2.2 Datos del PENT

Los datos del PENT fueron obtenidos por diferentes medios como son: satélites, aviones, barcos, boyas, radiosondeos y globos de caída, éstos fueron clasificados bajo el nombre de niveles de acuerdo a la calidad y tiempo en que eran procesados. El nivel I corresponde a las señales emitidas por los instrumentos de medición; el nivel II es la transformación de las señales a parámetros meteorológicos básicos; el nivel II-a son los datos utilizados para predicción en tiempo real; el nivel II-b son los datos de tiempo real corregidos y mezclados a nivel global en un período de tiempo no mayor a 3 meses después del día de la medición, la "b" denota que son diferidos. Estos datos fueron transformados en el Centro Europeo para la Predicción del Tiempo a datos

del nivel III-b, que fueron completados en Junio de 1981 y enviados a los Centros Mundiales de Datos en Washington y Moscú. El proceso de transformación del nivel II-b al III-b se logra mediante una asimilación intermitente de los datos usando un sistema de interpolación multivariado. La idea básica de la interpolación es determinar para cada punto de la malla el mejor peso que se le puede dar a partir de los datos originales. Los datos del nivel III-b consisten en mallas de  $1.875^\circ$  latitud/ $1.875^\circ$  longitud para 15 niveles de la atmósfera (de 1000 a 10 mb) y para cada 12 horas, las variables que se consideran son altura, componentes de viento, presión media al nivel del mar y como complemento temperatura y humedad relativa. (Bengtsson et al., 1982a). La precisión con que fueron tomados los datos varia dependiendo de la sensibilidad del instrumento de medición utilizado, en particular la precisión con que fueron medidas las componentes de viento fluctua entre  $\pm 1$  y 3 m/s, ver por ejemplo: Bengtsson et al., (1982a); Julian (1982) y Sparkman et al., (1981). En éste estudio se trabaja unicamente con los datos del nivel III-b para 3 diferentes niveles de presión, ésto debido a razones computacionales de espacio y tiempo y además por considerar a los niveles de 1000, 500 y 300 mb como los más representativos de las condiciones de la atmósfera; los datos fueron interpolados utilizando un

spline-cúbico bidimensional, para obtener una malla de  $2^{\circ}$  latitud/ $2^{\circ}$  longitud. Los datos de entrada con que se trabaja son del primero de Mayo al 22 de Septiembre de 1979 y constan de las componentes (u,v) del viento. El conjunto de datos para la zona y los 3 diferentes niveles de presión suman 2,481,240; éstos fueron proporcionados por el Dr. Daniel Cadet de la Universidad Estatal de Florida al grupo de Meteorología del CICESE registrados en forma de en cintas magnéticas. El procesamiento de los mismos se llevó a cabo mediante la computadora PRIME 400, contando ya el grupo de Meteorología con la mayor parte de los programas computacionales que se requirieron para el desarrollo de la presente tesis.

### 2.3 Divergencia y Vorticidad.

#### i) Divergencia .-

La ecuación de continuidad en ausencia de fuentes y sumideros se puede escribir como:

$$\partial\rho/\partial t + \nabla \cdot (\rho\vec{u}) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

donde:  $\rho$  = densidad,  $\vec{u} = (u, v, w)$  y  
 $\nabla = \hat{i}\partial/\partial x, \hat{j}\partial/\partial y, \hat{k}\partial/\partial z$

nos dice que existe un balance entre los cambios

temporales y espaciales de la densidad. A partir de ésta ley se puede derivar una expresión para la divergencia horizontal, considerando la densidad constante (Holton, 1979).

$$\text{divh } \vec{u} = \partial u / \partial x + \partial v / \partial y = -\partial w / \partial z \quad \dots\dots\dots (2)$$

Esta ecuación es válida para fenómenos de gran escala en la horizontal, de ella se hablará en el siguiente capítulo.

ii) Vorticidad.- La vorticidad es una medida de la tendencia a girar de las partículas de un fluido, es un campo vectorial definido como el rotacional de la velocidad.

$$\text{Vor} = \nabla \times \vec{u}$$

En meteorología dinámica al igual que en oceanografía física generalmente sólo se refiere a la componente vertical de la vorticidad (Holton, 1979).

$$\xi = \partial v / \partial x - \partial u / \partial y$$

donde:

u y v son las componentes horizontales del viento

iii) Método.- Para la obtención de la divergencia horizontal  $\partial u/\partial x + \partial v/\partial y$  y la vorticidad relativa  $\partial v/\partial x - \partial u/\partial y$  se usó el método espectral de diferencias finitas con un esquema de 5 puntos, ver por ejemplo Barreto (1983) y Haltiner y Williams (1979).

#### 2.4 Estadísticas Básicas.

Para tener una idea muy general de una variable, es necesario obtener su promedio y desviación estandar.

##### i) Promedio

El promedio de una variable se hace para resumir la información y poder visualizar con mayor facilidad las características más sobresalientes a nivel general, Panofsky y Brier (1963). En particular se obtienen promedios mensuales de los campos del viento zonal, viento meridional, divergencia y vorticidad. La ecuación que nos representa el promedio esta dada por:

$$\bar{X} = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots (3)$$

##### ii) Desviación Estandar (DE).

La variación de los campos promedio, se analiza

mediante la desviación estandar (DE); los mapas de isolíneas de ésta variable no serán presentados; sin embargo se hará una descripción somera en el siguiente capítulo a la par de los campos promedio. La DE es una medida de la dispersión de los valores con respecto al promedio y nos representa el rango entre el cual oscilan nuestros datos, Panofsky y Brier (1963).

La ecuación que nos representa la desviación estandar es:

$$DE = [(1/n-1) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2]^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

## CAPITULO III

## 3 RESULTADOS

Debido a la gran cantidad de valores numéricos obtenidos en los resultados, éstos se muestran en forma de mapas de isolíneas. Es necesario mencionar que, debido a la imposición de fronteras computacionales que no están presentes en la atmósfera real, los programas de isolíneas tienen problemas en los límites del área de estudio, por lo que los resultados obtenidos muy cerca de las fronteras ( $\sim 4^\circ$ ) deben ser tomados con cierta reserva.

Para lograr mayor claridad en la descripción de los mapas y poder visualizar mejor los fenómenos meteorológicos se han definido varias zonas: i) geográficas, ii) meteorológicas y iii) variables.

## i) Zonas Geográficas

Zona de las Bermudas. - Toma como centro las Islas Bermudas, hacia el oeste se extiende hasta las costas este de Estados Unidos (EUA); hacia el sur limita con las Islas Bahamas y las Antillas y hacia el norte y este

hasta los límites del área de estudio. Zona de la Vertiente del Pacífico.- Incluye las aguas adyacentes de México y Centroamérica en el Océano Pacífico. Zona del Amazonas.- Cubre la parte norte de Brasil, las Guayanas, la parte sur de Venezuela y Colombia, y la parte norte del Perú. Zona noroeste (NW) del dominio.- Incluye desde los  $10^{\circ}\text{N}$  a los  $40^{\circ}\text{N}$  y de los  $140^{\circ}\text{W}$  a los límites del Continente Americano.

ii) Zonas Meteorológicas

Usualmente ya han sido descritas en meteorología y climatología. Zona de Confluencia (ZC).- Es la zona donde se encuentran los vientos del norte y del sur, esta representada por la isolinia de  $v=0$ . Zona de Difluencia ZD.- Es la zona donde se separan los vientos en direcciones opuestas. Zona de Convergencia Intertropical (ZCI).- Es la zona de máxima convergencia orientada zonalmente, cerca del ecuador.

iii) Zonas Variables.

Son propias de éste estudio y serán especificadas en el momento necesario.

A continuación se presentan las principales

características observadas y su evolución temporal y espacial de las componentes del viento, divergencia, vorticidad y en forma somera sus estadísticas básicas. En el siguiente capítulo, se discutirán éstos resultados en forma global.

### 3.1 Viento Zonal

La circulación zonal de la atmósfera está en función de la componente u del viento, es positiva hacia el este y negativa hacia el oeste. En los mapas de isolíneas las regiones cubiertas por viento del este se denotan con líneas punteadas y la isolínea de cero esta marcada con línea más gruesa.

#### a) 1000 mb (Fig. 2).-

De Mayo a Septiembre el viento del este predomina en espacio y tiempo, los vientos más intensos ( $\geq 5\text{m/s}$ ) se localizan en el SE del Mar Caribe, en la parte del Océano Atlántico adyacente a las Antillas y en el Océano Pacífico Sur (OPS); de Mayo a Julio ocurren también entre los  $130-140^{\circ}\text{W}$  y entre  $10^{\circ}\text{N}$  y  $20^{\circ}\text{N}$ . El viento del oeste, con intensidades del orden de  $\geq 2.5\text{m}$ , cubre la parte de América del Norte adyacente al Océano Pacífico, la parte este y SE de EUA, la zona de las Bermudas y la Vertiente del Pacífico.

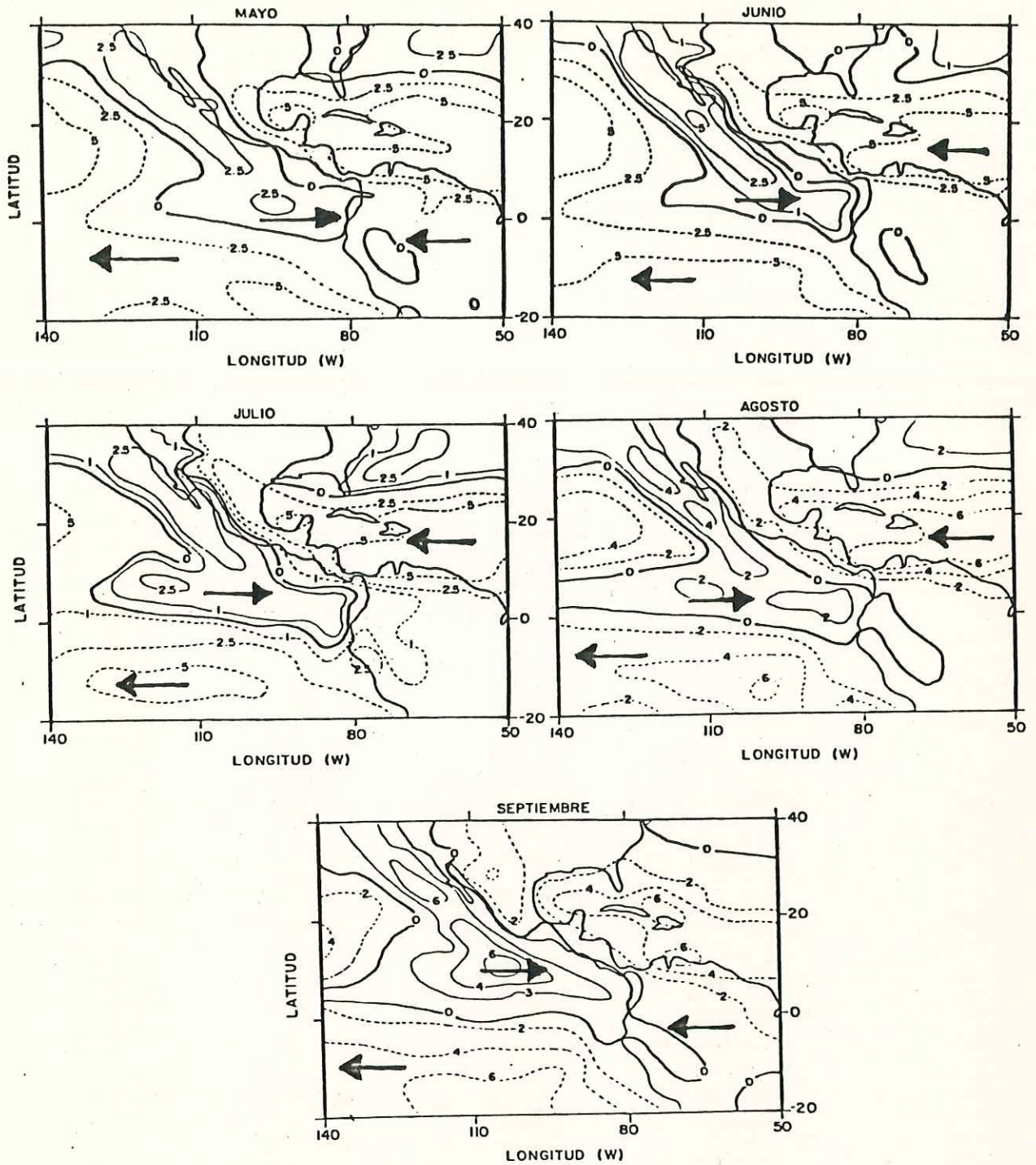


Fig. 2.- Promedios mensuales del campo de viento zonal para los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre de 1979; nivel de 1000 mb, las unidades estan dadas en m/s. Las líneas punteadas denotan viento del este, las líneas continuas viento del oeste y la isolínea de cero está marcada con la línea más gruesa.

Desviación estandar (DE) relativamente alta  $\geq 3\text{m/s}$  ocurre en el Hemisferio Norte entre los  $10$  y  $40^\circ\text{N}$  sobre todo en las zonas NE y NW del dominio. En el ecuador y en el Hemisferio Sur la DE es relativamente baja  $\leq 2\text{m/s}$ .

b) 500 mb (Fig. 3).-

Exclusivamente en éste nivel y en el siguiente hablaremos de 3 zonas variables, 2 con vientos del oeste (zonas norte y sur), y una con viento del este entre las otras 2 (zona ecuatorial). Estas zonas cambian en tiempo y espacio y sus variaciones serán descritas en cada nivel.

Zona Ecuatorial.- Es una banda zonal que en Mayo va de  $16^\circ\text{S}$  a  $8^\circ\text{N}$  en  $140^\circ\text{W}$  y de  $12^\circ\text{S}$  a  $8^\circ\text{N}$  en  $50^\circ\text{W}$  y tiene un ligero abultamiento hacia el norte en la parte media del dominio. En Junio se amplía hacia el norte y hacia el sur. En Julio sigue ampliándose hacia el norte alcanzando los  $25^\circ\text{N}$ . En Agosto y Septiembre la frontera Norte de ésta zona se hace más irregular, aunque cubre aproximadamente la misma área mientras que en el sur permanece casi igual en todos los meses. Los vientos más intensos en esta zona ( $\geq 5\text{m/s}$ ) se localizan durante todo el período de estudio en el Océano Pacífico, en el Mar Caribe, en la parte septentrional de América del Sur y el Océano Atlántico adyacente a las Antillas y en los meses de Julio y Agosto también sobre Centroamérica.

Zona Norte.- Abarca desde los límites superiores de la zona

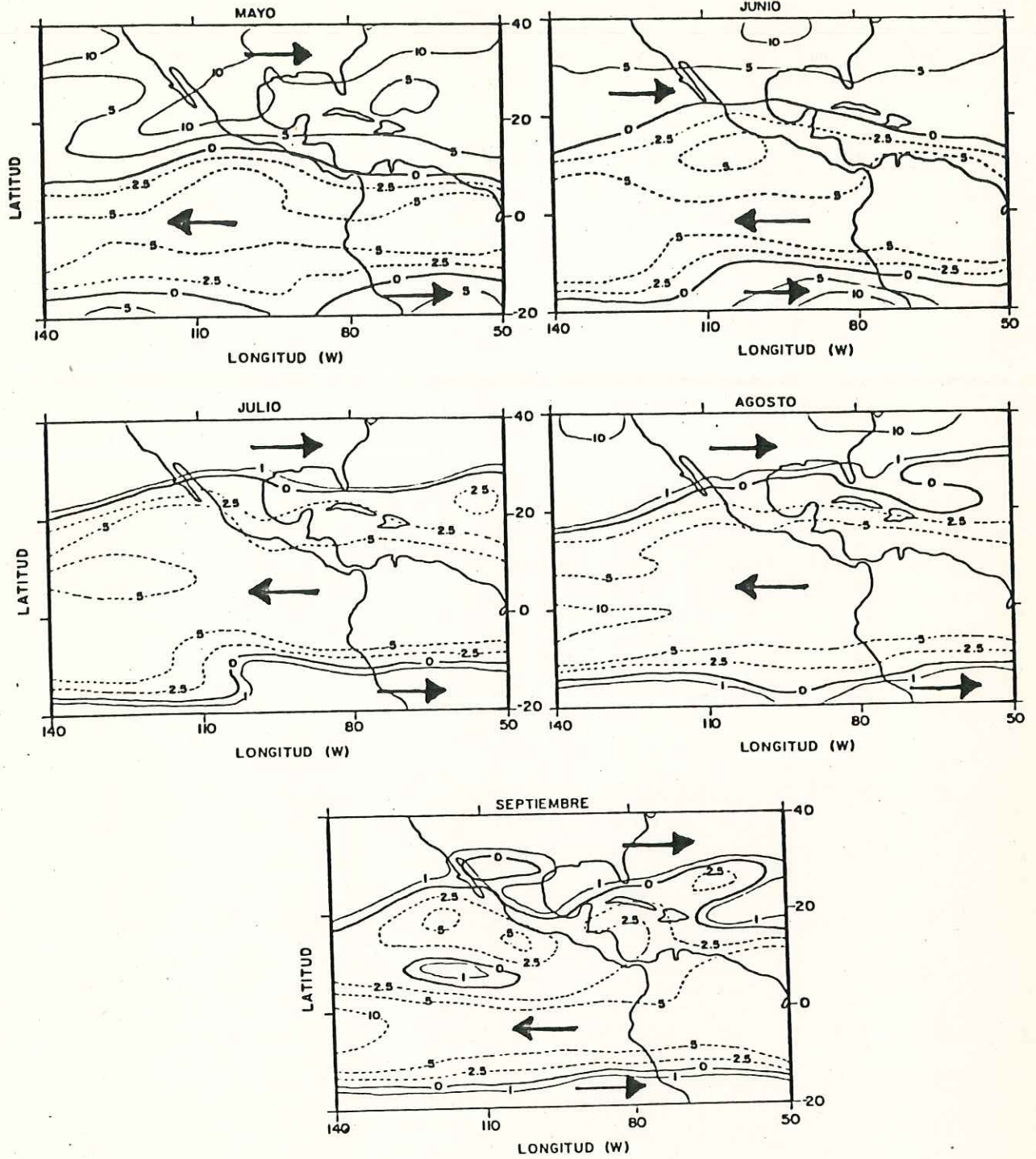


Fig. 3.- Igual que en la Fig. 2 sólo que para el nivel de 500 mb.

ecuatorial hasta el límite norte del área de estudio. Se observa que los vientos fuertes  $\geq 5\text{m/s}$  imperan en Mayo sobre la mayor parte de la zona. Los más intensos ( $\geq 10\text{m/s}$ ), también en Mayo, se ubican frente a las costas de Oregon, además de una lengüeta de viento que incluye el este y SE de los EUA, la parte norte de la zona de las Bermudas y los estados del norte de México excepto la península de Baja California. En Junio y Julio, los vientos disminuyen su intensidad observándose sólo una pequeña región al norte del dominio con vientos de  $\sim 10\text{m/s}$ ; sin embargo, en Agosto se incrementan a ( $\geq 10\text{m/s}$ ) sobre la parte norte de la zona de las Bermudas y frente a las costas de Oregon. En Septiembre los vientos en ésta zona tienen intensidades menores a  $10\text{m/s}$ .

Zona Sur.- Es una zona pequeña de viento del oeste que se encuentra aproximadamente entre  $12^\circ\text{S}$  y  $20^\circ\text{S}$  a lo largo de todas las longitudes del dominio. En Mayo y Junio tiene vientos fuertes ( $\geq 5\text{m/s}$ ) y de Julio a Septiembre tiene vientos con intensidades  $\leq 5\text{m/s}$ .

La DE del viento en éste nivel aumenta en general de Mayo a Agosto; alta DE  $\geq 5\text{m/s}$  ocurre en las zonas NE, NW y SW del dominio y baja DE  $\leq 4\text{m/s}$  ocurre en la zona ecuatorial a lo largo de todo el periodo de estudio.

c) 300 mb (Fig. 4).-

En éste nivel la zona ecuatorial se amplía conforme avanza el verano, mientras que la zona norte se restringe, siendo ésto más notorio en los meses de Julio y Septiembre. Zona Ecuatorial.- En Mayo comprende la zona del Amazonas y el Océano Pacífico Ecuatorial, extendiéndose de este a oeste hasta una longitud de  $130^{\circ}\text{W}$ . En Junio se amplía hacia los polos desde aproximadamente los  $8^{\circ}\text{S}$  a  $8^{\circ}\text{N}$  y ocupando todo el dominio longitudinalmente. En Julio se amplía aun más hacia el norte, hasta alcanzar los  $15^{\circ}\text{N}$  en  $140^{\circ}\text{W}$  y  $28^{\circ}\text{N}$  en  $50^{\circ}\text{W}$ . En Agosto y Septiembre restringe su área de  $10^{\circ}\text{S}$  a  $14^{\circ}\text{N}$  en  $140^{\circ}\text{W}$  y en  $70^{\circ}\text{W}$  forma una lengüeta de viento que va más al norte, mientras en  $50^{\circ}\text{W}$  se restringe entre  $10^{\circ}\text{S}$  y  $10^{\circ}\text{N}$ . Los vientos  $\geq 5\text{m/s}$  ocurren en Junio, Julio y Agosto sobre América del Sur y en el Océano Pacífico. Los vientos más intensos ( $\geq 10\text{m/s}$ ) ocurren en Agosto sobre una pequeña región limitada por los  $4^{\circ}\text{S}$ - $3^{\circ}\text{N}$  y  $135^{\circ}\text{W}$ - $108^{\circ}\text{W}$ . Zona Norte.- Incluye desde el límite superior de la zona ecuatorial, hasta agotar el área de estudio en el norte. Entre ésta zona y la anterior se dan gradientes de velocidad muy fuertes en el mes de Mayo; por ejemplo: en  $100^{\circ}\text{W}$  entre las latitudes de  $11^{\circ}\text{N}$  y  $14^{\circ}\text{N}$  la velocidad cambia de  $5\text{m/s}$  a  $10\text{m/s}$ , en éste mes hay velocidades  $\geq 10\text{m/s}$  desde los  $10^{\circ}\text{N}$  hasta los  $40^{\circ}\text{N}$  y a lo largo de todas las longitudes del área de estudio; pero los vientos más intensos  $\geq 20\text{m/s}$  se

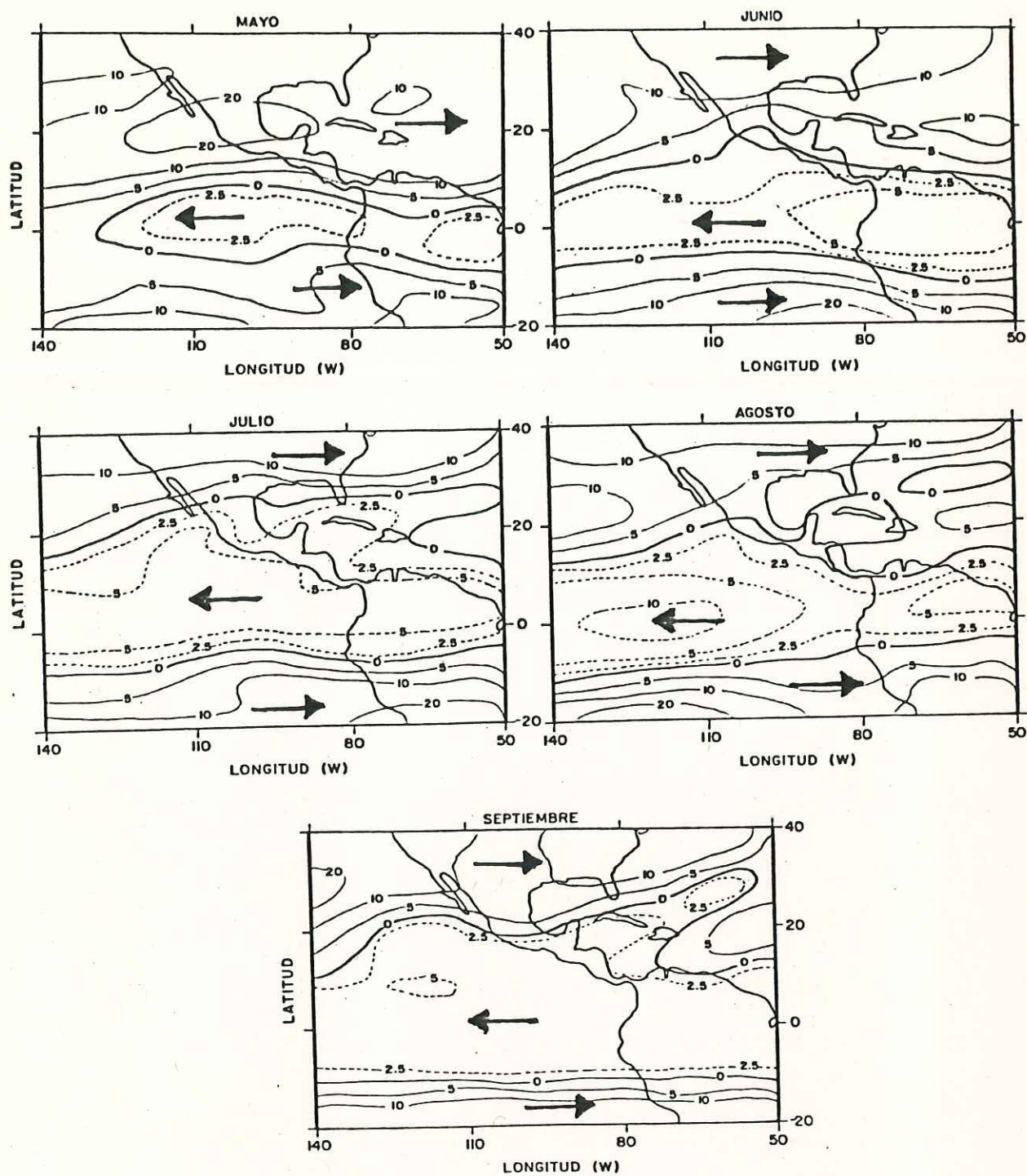


Fig. 4.- Igual que en la Fig. 2 sólo que para el nivel de 300 mb.

localizan sobre México, el Golfo de México, y frente a las costas de Baja California Sur y Sinaloa en el Océano Pacífico. De Junio a Septiembre los vientos tienen velocidades  $\geq 5\text{m/s}$  en la mayor parte de la zona, pero particularmente en Junio y Septiembre una gran extensión que abarca el norte de México, EUA y las aguas del Océano Pacífico y Atlántico adyacentes a éstos países, está cubierta por vientos  $\geq 10\text{m/s}$ . Zona Sur.- Comprende desde el límite inferior de la zona ecuatorial, hacia el sur hasta cubrir todo el dominio. En ésta zona el viento aumenta su intensidad conforme se avanza hacia el sur; los vientos  $\geq 10\text{m/s}$  se ubican de los  $15^{\circ}\text{S}$ - $20^{\circ}\text{S}$ .

DE alta  $\geq 6\text{m/s}$  ocurre al norte y sur de la zona ecuatorial. DE baja  $\leq 5\text{m/s}$  ocurre durante todo el periodo de estudio en la zona ecuatorial, con mínimos de  $\leq 3\text{m/s}$  en el mes de Junio.

### 3.2 Viento Meridional

La circulación meridional de la atmósfera está en función de la componente  $v$  del viento, la cual es positiva hacia el norte y negativa hacia el sur. En los mapas de isolíneas las regiones cubiertas por viento del norte se denotan con línea punteada y la isolínea de cero esta marcada con línea más gruesa.

a) 1000 mb (Fig. 5).-

De Mayo a Agosto el viento del sur predomina en el OPS, México, EUA y el Océano Atlántico; en Septiembre ya aparece viento del norte en gran parte de EUA y México. Durante todo el período de estudio la isolinia de  $v=0$  va casi paralela a la frontera oeste del continente Americano en EUA, México y Perú. De Mayo a Septiembre existen 2 zonas de viento del norte bien delimitadas, la primera localizada en la parte NW del dominio, con vientos intensos ( $\geq 5$  m/s) frente a las costas de California; la segunda se localiza en el SE del dominio y tiene vientos de menor intensidad. Zona de Confluencia.- La ZC denotada por la isolinia de  $v=0$  orientada zonalmente, se desplaza hacia el norte conforme avanza el verano siguiendo la zona de máxima radiación. En Mayo se localiza de  $\sim 3^{\circ}$ S,  $140^{\circ}$ W a  $5^{\circ}$ N,  $80^{\circ}$ W donde se rompe para luego descender a los  $5^{\circ}$ S y continuarse hacia el este. En Junio se desplaza  $3^{\circ}$  hacia el norte y tiene un abultamiento centrado en los  $10^{\circ}$ N,  $100^{\circ}$ W; también se trunca a los  $80^{\circ}$ W, para continuar en  $\sim 3^{\circ}$ S,  $77^{\circ}$ W y desplazarse hacia el este. En Julio la ZC se ubica aproximadamente a los  $7^{\circ}$ N, con un abultamiento muy pronunciado, centrado en  $28^{\circ}$ N,  $112^{\circ}$ W; después sigue el mismo comportamiento del mes de Junio. En Agosto la ZC va de  $8^{\circ}$ N,  $140^{\circ}$ W a  $11^{\circ}$ N,  $105^{\circ}$ W donde se rompe para

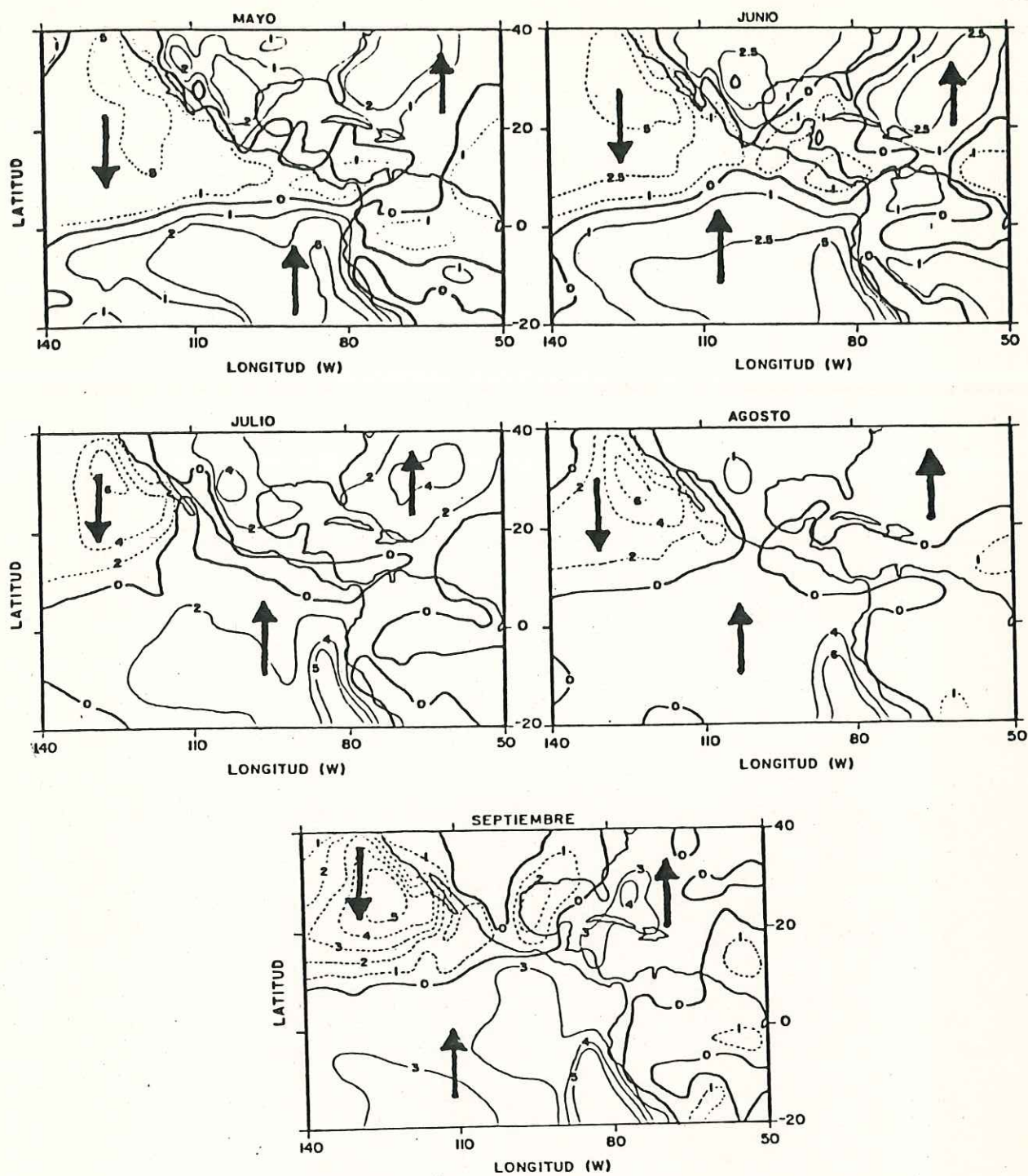


Fig. 5.- Promedios mensuales del campo de viento meridional, para los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre de 1979, nivel de 1000 mb, las unidades estan dadas en m/s . Las líneas punteadas denotan viento del norte, las líneas continuas viento del sur y la isolínea de cero está marcada con línea más gruesa.

continuar  $3^{\circ}$  más hacia el este, bajando en latitud a  $5^{\circ}$ N, para desplazarse hacia el este hasta  $63^{\circ}$ W, de donde regresa a  $78^{\circ}$ W para luego continuar a la par de la línea de costa de América del Sur. En Septiembre corre a lo largo de los  $10^{\circ}$ N desde  $140^{\circ}$ W hasta  $90^{\circ}$ W; donde se pierde dejando un amplio canal que incluye Centroamérica y la región del Amazonas, aparece en la parte septentrional del Perú y continúa por la línea de costa de Perú y Chile. De Mayo a Septiembre los vientos del norte y del sur más intensos ( $\geq 5$ m/s) se localizan frente a las costas de California y Perú, respectivamente. En la zona de las Bermudas el viento del sur se intensifica de Mayo a Julio de 2 a  $\geq 4$ m/s, para luego desvanecerse en Agosto y Septiembre.

DE alta  $\geq 4$ m/s ocurre de Mayo a Septiembre en las zonas NE, NW y SW del dominio. Baja DE  $\leq 2$ m/s ocurre en la zona ecuatorial. DE alta  $\geq 4$ m/s se localiza en Mayo sobre la parte occidental de EUA y en Mayo y Septiembre sobre el Golfo de México.

b) 500 mb (Fig. 6).-

El patrón de vientos es muy irregular y cambia notablemente en tiempo y espacio. El mes de Mayo se distingue de los demás por tener una ZC que se desplaza hacia el norte a partir de los  $140^{\circ}$ W y por incluir viento

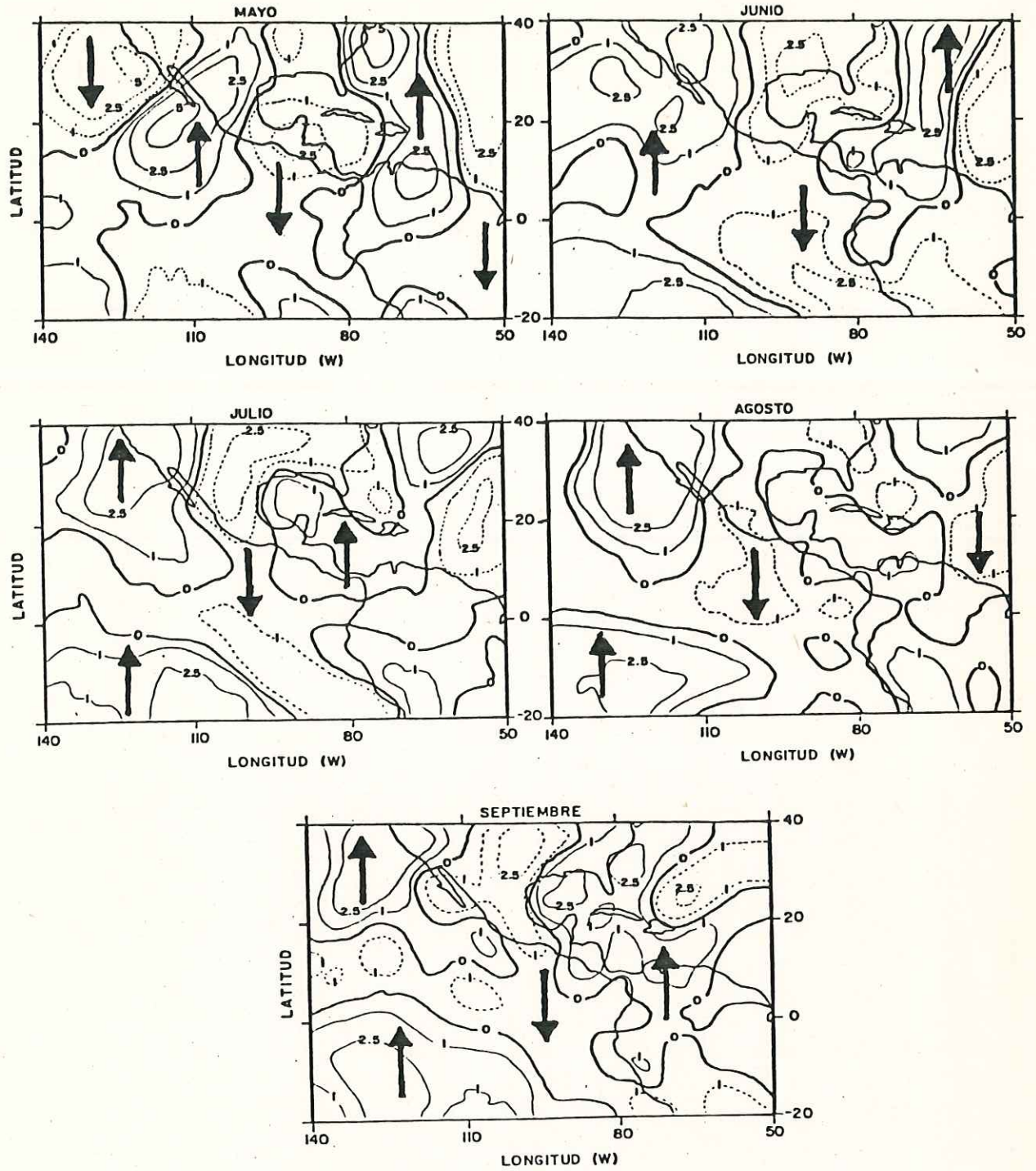


Fig. 6.- Igual que en la Fig. 5 sólo que para el nivel de 500 mb.

del norte en la parte NW del dominio. Zona de Confluencia.- En Mayo va de  $140^{\circ}\text{W}$  a  $130^{\circ}\text{W}$  en  $13^{\circ}\text{N}$ , de ahí se desplaza hacia el norte adentrándose en el continente hasta los  $38^{\circ}\text{N}$ ,  $108^{\circ}\text{W}$ . En Junio va de  $140^{\circ}\text{W}$  a  $127^{\circ}\text{W}$  en  $3^{\circ}\text{N}$ , donde se rompe para luego continuar en  $0^{\circ}$ ,  $122^{\circ}\text{W}$  y desplazarse hacia el SE hasta  $20^{\circ}\text{S}$ ,  $90^{\circ}\text{W}$ . En Julio se inicia en  $0^{\circ}$ ,  $140^{\circ}\text{W}$  y continúa hacia los  $4^{\circ}\text{S}$ ,  $110^{\circ}\text{W}$  teniendo un pico en  $133^{\circ}\text{W}$  que alcanza los  $6^{\circ}\text{N}$ ; luego continúa hacia el SE hasta  $20^{\circ}\text{S}$ ,  $90^{\circ}\text{W}$ . En Agosto va de  $3^{\circ}\text{N}$ ,  $140^{\circ}\text{W}$  a  $4^{\circ}\text{S}$ ,  $104^{\circ}\text{W}$  para continuar hasta  $10^{\circ}\text{S}$ ,  $97^{\circ}\text{W}$ . En Septiembre va de  $3^{\circ}\text{S}$ ,  $140^{\circ}\text{W}$  y sigue hacia los  $6^{\circ}\text{N}$ ,  $120^{\circ}\text{W}$  para continuar hasta los  $16^{\circ}\text{S}$ ,  $93^{\circ}\text{W}$ . Vientos del norte con intensidades  $\geq 2.5\text{m/s}$  se localizan en Mayo sobre la zona NW del dominio y el sur de México; en Junio y Julio frente a las costas de Perú y en la parte NE y NW de Estados Unidos. De Mayo a Septiembre ocurren también en el Océano Atlántico. Los vientos del norte más intensos ( $\geq 5\text{m/s}$ ) se localizan frente a las costas de California en el mes de Mayo. Los vientos del sur más intensos ( $\geq 5\text{m/s}$ ) ocurren en Mayo frente a las costas de Baja California Sur y en las costas NE de EUA. Vientos  $\geq 2.5\text{m/s}$  ocurren de Mayo a Julio sobre la zona de las Bermudas y la parte norte de México; en Agosto y Septiembre sobre la parte occidental de EUA, así como en la parte NW del dominio.

DE relativamente alta  $\geq 4\text{m/s}$  ocurre de Mayo a Septiembre entre los  $20^{\circ}\text{N}$  y  $40^{\circ}\text{N}$  y entre los  $10$  y  $20^{\circ}\text{S}$ ; DE relativamente baja  $\leq 2\text{m/s}$  ocurre en la zona ecuatorial.

c) 300 mb (Fig. 7).-

Dado que en éste nivel el viento no se orienta zonalmente, la ZC pierde todo sentido ya que se limitaría a pequeñas zonas discontinuas y/o aisladas. En Mayo ocurre viento del norte ( $\geq 5\text{m/s}$ ) en la zona NW del dominio y en la parte occidental de Estados Unidos. Viento del norte ocurre de Mayo a Septiembre en el Mar Caribe. Vientos máximos del norte ( $\geq 5\text{m/s}$ ) se localizan en el mes de Mayo sobre las zonas NE y NW del dominio, en la parte occidental de EUA y en el Mar Caribe. Los vientos máximos del sur ( $\geq 5\text{m/s}$ ) en Mayo ocurren frente a las costas de Baja California Sur en el Océano Pacífico y la zona de las Bermudas; en Junio y Agosto sobre la zona NW del área de estudio. En Junio el viento fuerte ( $\geq 5\text{m/s}$ ) sobre la zona de las Bermudas se reduce en espacio y se desplaza hacia el este, para después disminuir su velocidad en Julio-Agosto y se desvanece en Septiembre. Viento del sur ( $\geq 2.5\text{m/s}$ ) ocurren frente a las costas del Perú en Mayo y Agosto.

DE relativamente alta  $\geq 6\text{m/s}$  se encuentra al norte y

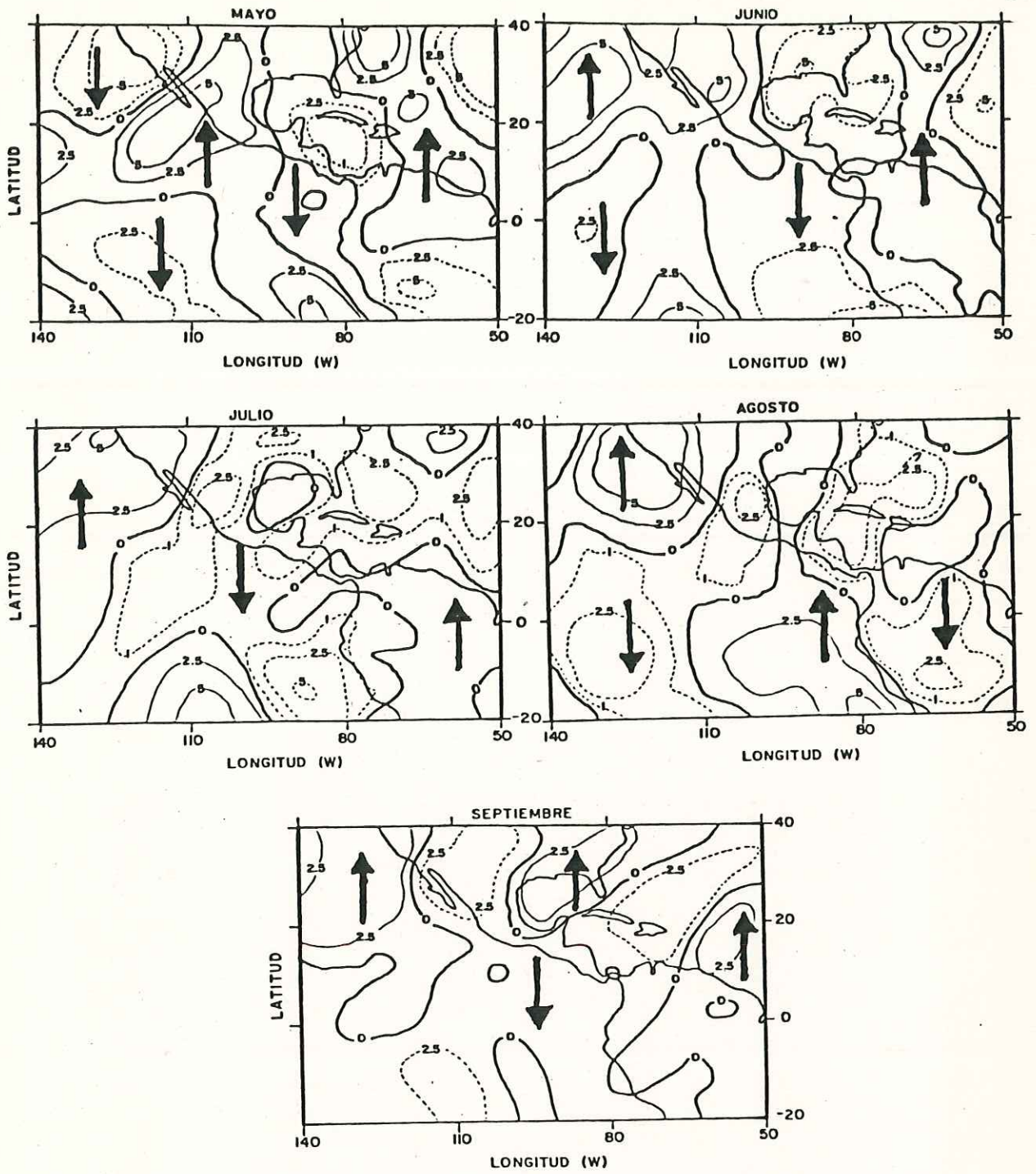


Fig. 7.- Igual que en la Fig. 5 sólo que para el nivel de 300 mb.

al sur de la zona ecuatorial. DE baja  $\leq 4\text{m/s}$  se localiza en la zona del ecuador a lo largo de todo el periodo de estudio.

### 3.3 Divergencia Horizontal

En las Figuras 8, 9 y 10 las líneas punteadas indican zonas de convergencia y las líneas continuas indican zonas de divergencia.

#### a) 1000 mb (Fig. 8).-

De Mayo a Septiembre se localizan 3 zonas de divergencia bien definidas, las 2 primeras están en la parte NE y NW del dominio, la tercera se encuentra entre los  $10^{\circ}\text{N}$  y  $20^{\circ}\text{S}$  sobre el Océano Pacífico, y la parte oeste de América del Sur. Entre los  $5^{\circ}\text{N}$  y  $20^{\circ}\text{N}$  hay una banda longitudinal de convergencia bien definida a lo largo de todo el periodo de estudio excepto en Junio y Julio, donde es interrumpida por una franja de divergencia de  $\sim 5^{\circ}$  de ancho, que se orienta de SE a NW. Todo el continente Americano es una zona de convergencia excepto la parte este de EUA y la parte oeste de América del Sur. Fuertes gradientes de divergencia se localizan en las fronteras del continente. La ZCI se encuentra entre los  $0$  y  $20^{\circ}\text{N}$  y se desplaza hacia el norte conforme avanza el verano. Máxima convergencia  $\geq 5 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se observa de Mayo a Septiembre en las costas occidentales de

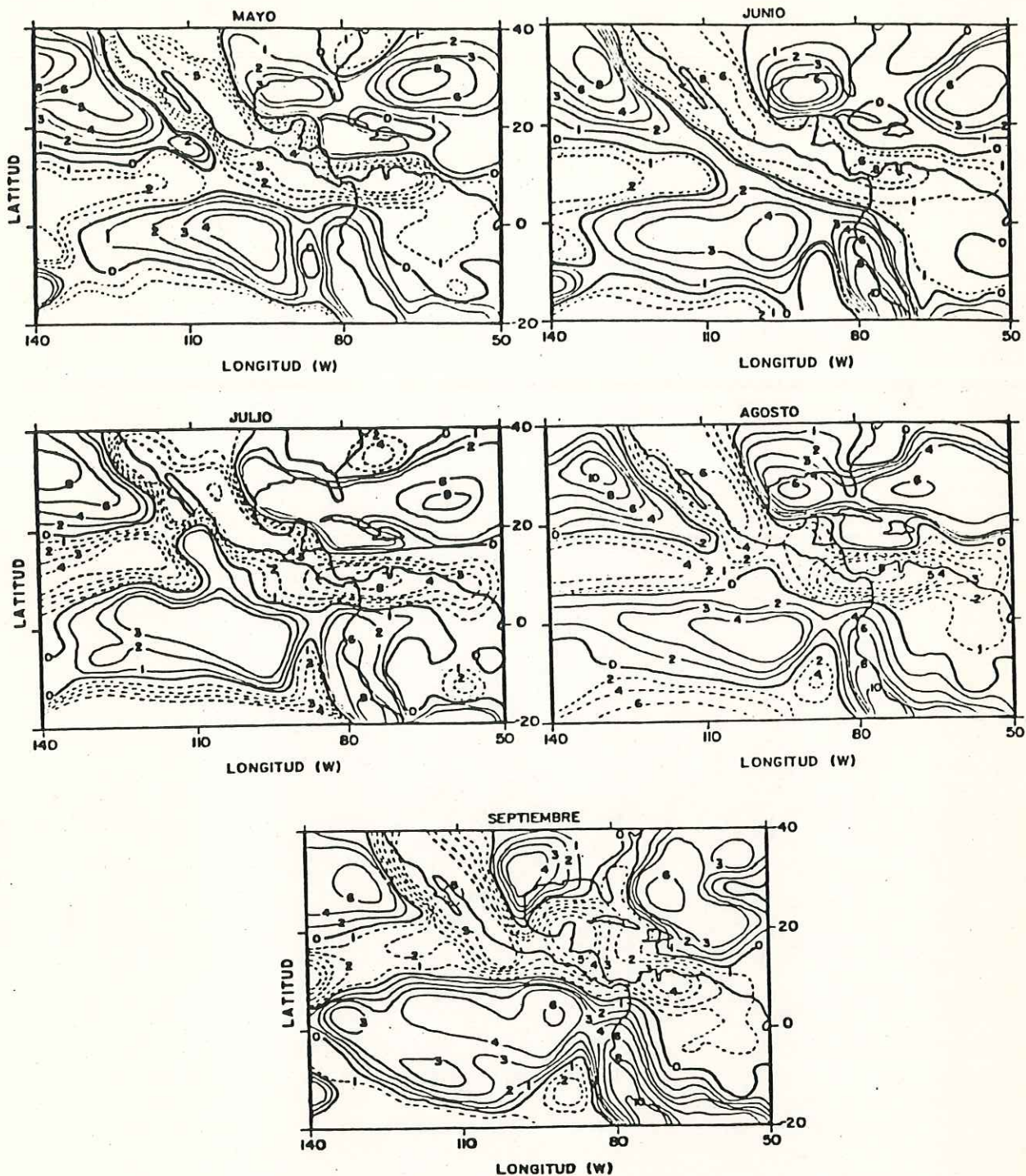


Fig. 8.- Promedios mensuales del campo de divergencia para los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre de 1979; nivel de 1000 mb, las unidades estan dadas en  $(10^{-6} \text{ S}^{-1})$ . Las líneas punteadas indican zonas de convergencia y las continuas zonas de divergencia.

México, la parte norte de Colombia y Venezuela. Máxima divergencia  $\geq 8 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre de Mayo a Septiembre en la zona NW del dominio y frente a las costas del Perú; en Mayo y Julio ocurre sobre el Océano Atlántico.

DE alta  $\geq 10 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre de Mayo a Septiembre entre los  $20^\circ \text{N}$  y  $40^\circ \text{N}$  y entre los  $10^\circ \text{S}$  y  $20^\circ \text{S}$ ; baja DE  $\leq 6 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se localiza en la zona ecuatorial.

b) 500 mb (Fig. 9).-

Las zonas de divergencia predominan sobre las zonas de convergencia. De Mayo a Septiembre la mayor parte del HN está cubierta por divergencia, con pequeños núcleos de convergencia. Todo el HS está cubierto por convergencia excepto por un pequeño núcleo de divergencia en el mes de Julio. La ZCI sólo se delinea en Septiembre entre los  $10^\circ \text{N}$  y  $15^\circ \text{N}$ , y en éste mes ocurren los más fuertes gradientes de divergencia en el ecuador. Zonas de máxima convergencia  $\geq 10 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se localizan entre  $10^\circ \text{S}$  y  $20^\circ \text{S}$  en los meses de Mayo, Agosto y Septiembre, y en los meses de Junio y Julio sobre Perú y frente a sus costas, con un pequeño núcleo de divergencia en el mes de Julio centrado en  $100^\circ \text{W}$ . Zonas de máxima divergencia  $\geq 10 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se encuentran en Mayo sobre la zona NW del dominio, México, zona de las Bermudas y en la parte del Océano Atlántico adyacente a las Antillas; en Junio

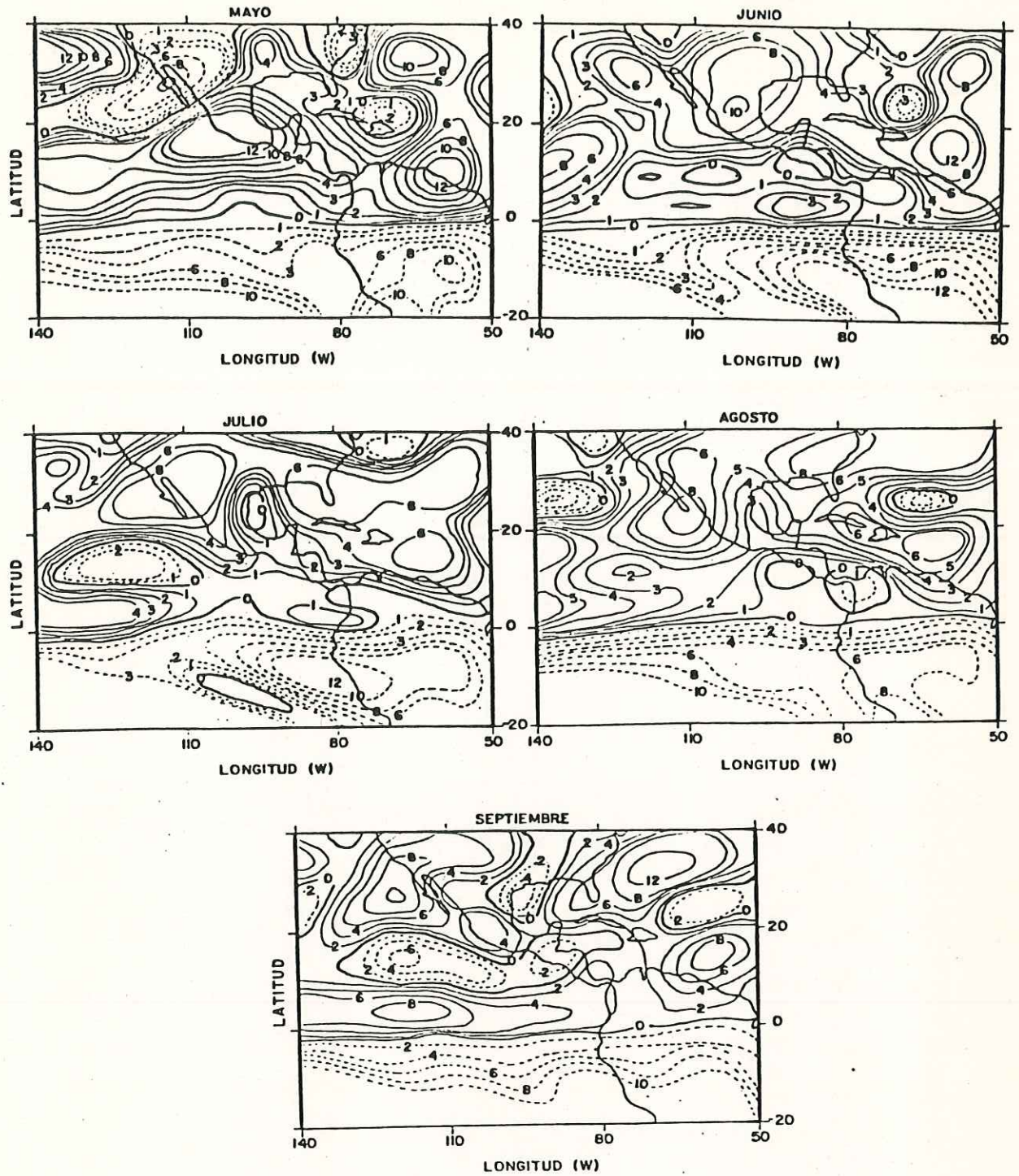


Fig. 9.- Igual que en la Fig. 8 sólo que para el nivel de 500 mb.

sólo se encuentra sobre ésta última y en Septiembre sólo en la zona de las Bermudas. Fuerte divergencia  $\geq 8 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre en el NW de México de Junio a Agosto.

DE alta  $\geq 10 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre de Mayo a Septiembre entre  $10^{\circ}\text{N}$  y  $40^{\circ}\text{N}$  y entre  $10^{\circ}\text{S}$  y  $20^{\circ}\text{S}$ ; baja DE  $\leq 7 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se localiza en la zona ecuatorial.

c) 300 mb (Fig. 10).-

La distribución de divergencia es similar al nivel anterior, el HN está cubierto en su mayor parte por divergencia y el HS por convergencia. Sin embargo en el mes de Mayo aparece una zona de convergencia entre los  $20^{\circ}\text{N}$  y  $40^{\circ}\text{N}$ , excluyendo las zonas NE y NW del área de estudio. De Junio a Septiembre entre 0 y  $40^{\circ}\text{N}$  ocurre divergencia con pequeños núcleos de convergencia principalmente en Agosto y Septiembre. Los gradientes de divergencia sobre el ecuador se intensifican en todo el periodo de estudio y en la zona NW del dominio se forma una zona de convergencia, en los meses de Junio, Agosto y Septiembre. Zonas de Máxima convergencia  $\geq 10 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se observan de Junio a Septiembre en el OPS, Perú, Bolivia y Brasil. Máxima divergencia  $\geq 10 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre en el mes de Mayo entre 0 y  $20^{\circ}\text{N}$ , intensificandose en la parte sur de México y todo Centroamérica; en el mes de Junio ocurre en el NE de México, SE de EUA, Océano

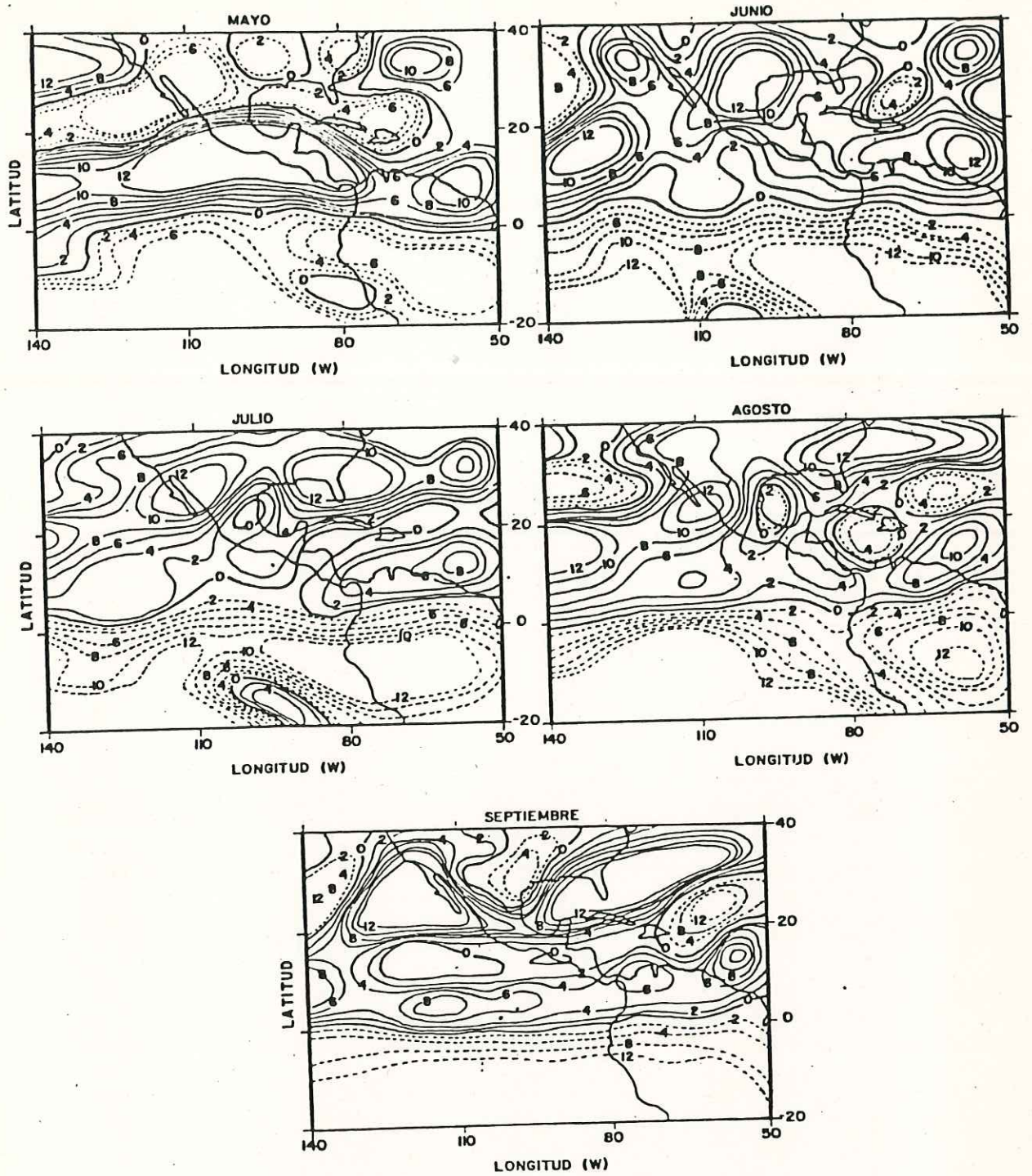


Fig. 10.- Igual que en la Fig. 8 sólo que para el nivel de 300 mb.

Pacífico entre los  $10^{\circ}\text{N}$  y  $20^{\circ}\text{N}$  y en la parte del Océano Atlántico adyacente a las Antillas; en Julio en el NW de México y SE de los Estados Unidos; finalmente en Septiembre ocurre en las aguas oceánicas de las penínsulas de Baja California y Florida.

DE alta  $\geq 10 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre de Mayo a Septiembre entre los  $10^{\circ}\text{N}$  y  $40^{\circ}\text{N}$  y entre los  $10^{\circ}\text{S}$  y  $20^{\circ}\text{S}$ ; baja DE  $\leq 6 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se localiza en la zona ecuatorial.

### 3.4 Vorticidad Relativa

En las Figuras 11, 12 y 13 las líneas punteadas indican zonas de vorticidad anticiclónica y las líneas continuas indican zonas de vorticidad ciclónica.

#### a) 1000 mb (Fig. 11).-

Vorticidad anticiclónica (a favor de las manecillas del reloj) ocurre de Mayo a Agosto en la parte NW del dominio, la parte este de EUA, Golfo de México, el Mar Caribe y entre los  $120^{\circ}$  y  $80^{\circ}\text{W}$  en el OPS, así como parte del Océano Atlántico y algunos núcleos en América del Sur. En Septiembre la descripción es la misma sólo que no hay vorticidad anticiclónica en el Golfo de México y el Mar Caribe. El continente está cubierto en su mayor parte por vorticidad ciclónica y hay fuertes gradientes de vorticidad en las fronteras del continente

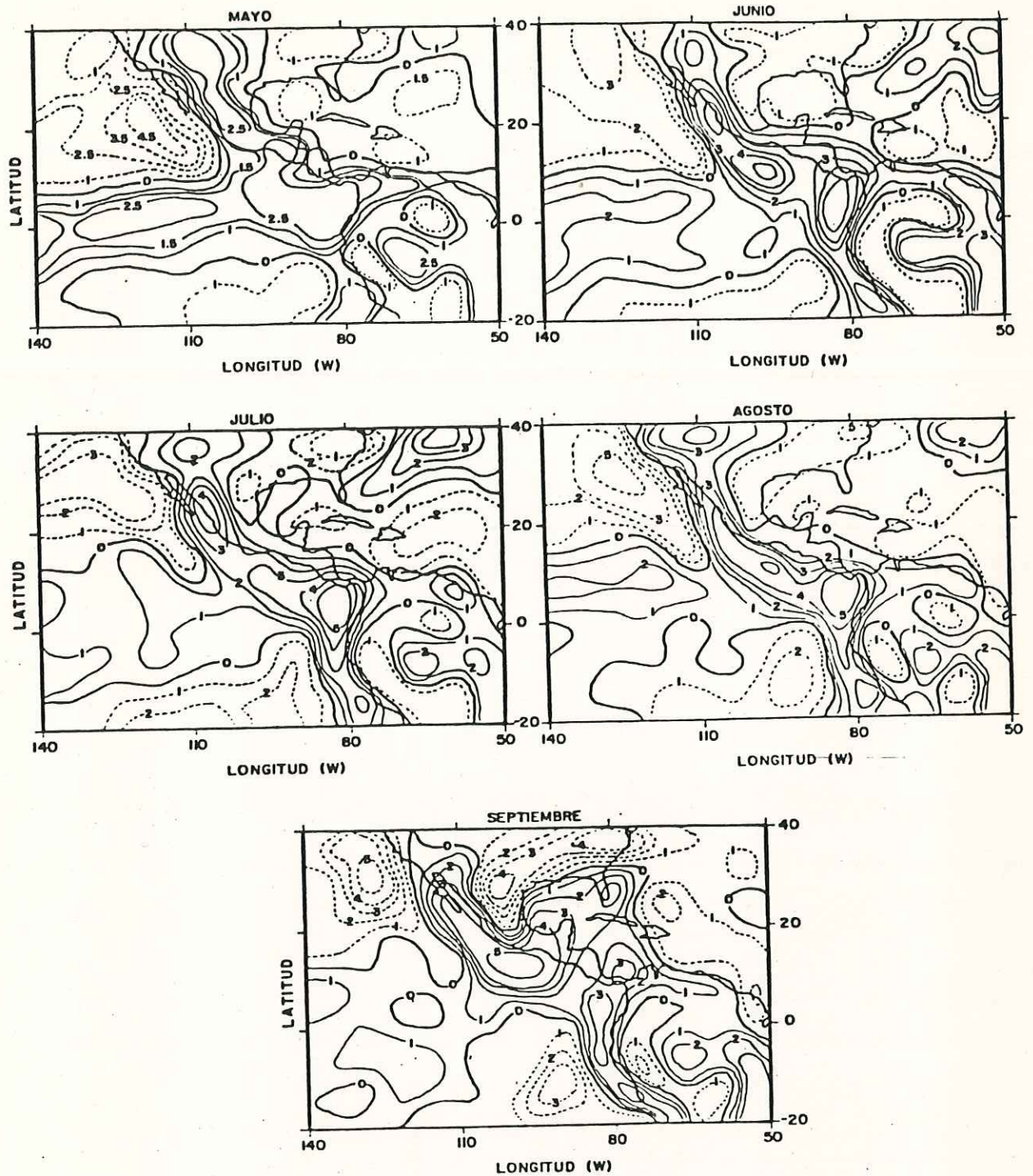


Fig. 11.- Promedios mensuales del campo de vorticidad para los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto y Septiembre de 1979; nivel de 1000 mb, las unidades estan dadas en  $(10^{-6} \text{ s}^{-1})$ . Las líneas punteadas indican zonas de vorticidad anticiclónica y las líneas continuas zonas de vorticidad ciclónica.

principalmente en las costas oeste de EUA, México y Perú. Vorticidad anticiclónica máxima (VAM)  $\geq 5 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se encuentra en la zona NW del área de estudio durante los meses de Agosto y Septiembre. Vorticidad ciclónica máxima (VCM)  $\geq 4 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre en núcleos sobre la Vertiente del Pacífico de Junio a Septiembre, principalmente en las costas de México y Panamá.

DE  $\geq 5 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre de Mayo a Septiembre entre los  $20^{\circ}\text{N}$  y  $40^{\circ}\text{N}$  y baja DE  $\leq 3 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre en la zona ecuatorial y en el Hemisferio Sur, principalmente en el OPS.

b) 500 mb (Fig. 12).-

En éste nivel y en el siguiente la vorticidad es muy variable temporal y espacialmente. En Mayo vorticidad anticiclónica (VA) ocurre en una franja de  $\sim 15^{\circ}$  orientada de SW a NE, incluye Centroamérica y parte de México; también ocurre en la parte este de los EUA, y en la zona NW del dominio, pero con un pequeño núcleo de vorticidad ciclónica (VC) en ésta última. Vorticidad anticiclónica se encuentra sobre México, EUA, y en grandes extensiones de los océanos Atlántico y Pacífico. En Junio VC ocurre en las zonas NE, NW y SE del área de estudio, ésta última se extiende hasta cubrir Centroamérica y el Mar Caribe; también se encuentra un

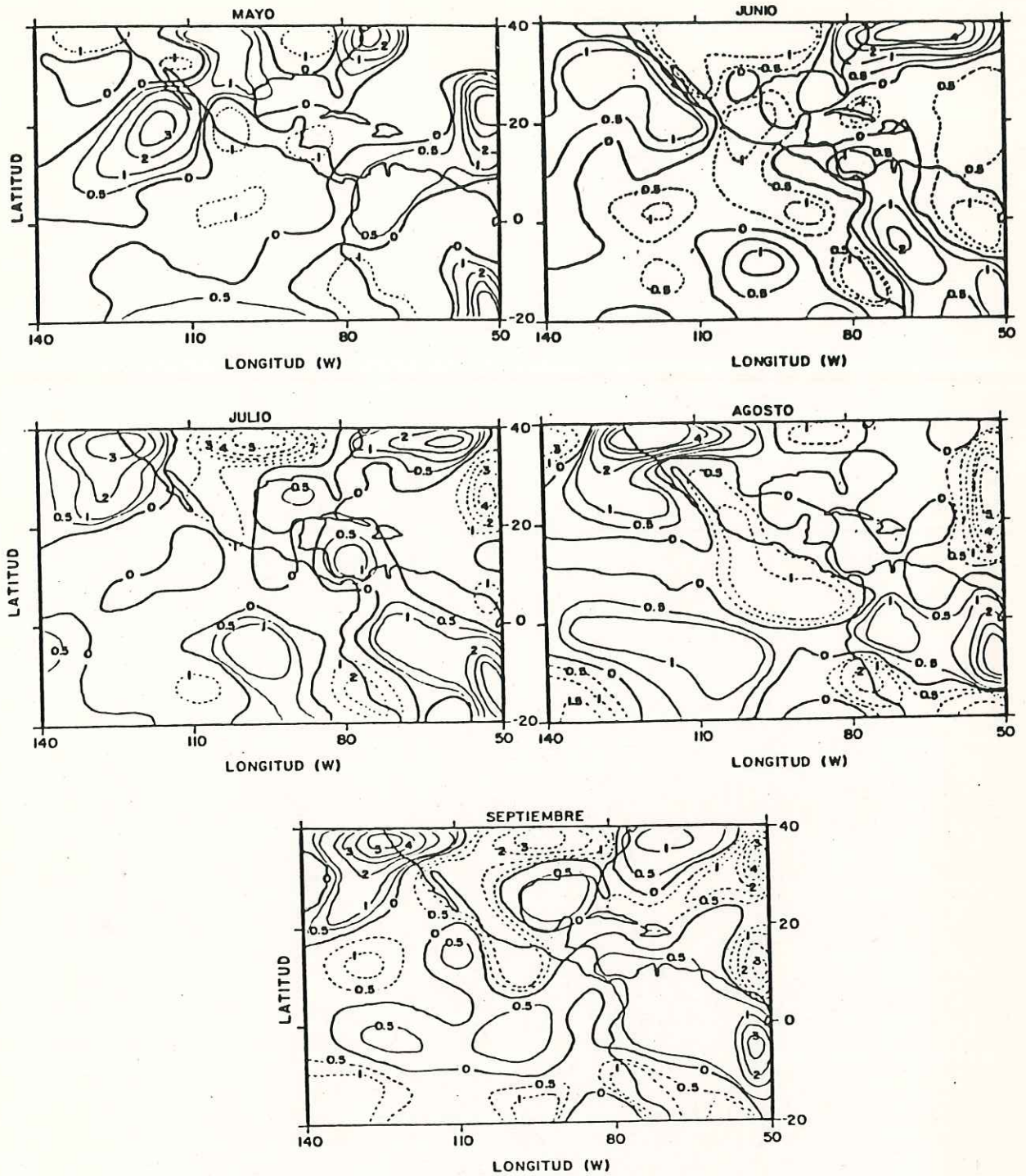


Fig. 12.- Igual que en la Fig. 11 sólo que para el nivel de 500 mb.

gran núcleo frente a las costas del Perú. En Julio ocurre lo mismo que en Junio sólo que aparece VC en la zona SW del dominio. En Agosto VA se localiza en las zonas NE, NW, SE y SW del área de estudio y sobre México, Centroamérica y una franja zonal en el Océano Pacífico. En Septiembre VA ocurre entre  $5^{\circ}\text{S}$  y  $20^{\circ}\text{S}$ , México, parte de EUA, Océano Pacífico y en la zona NE del dominio.  $VAM \geq 5 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se encuentra en Julio en el norte de EUA y en Agosto en el Océano Atlántico a la altura de  $25^{\circ}\text{N}$ .  $VCM \geq 5 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se observa en Agosto y Septiembre en la parte NW de los Estados Unidos.

DE alta  $\geq 5 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  ocurre de Mayo a Septiembre entre  $30^{\circ}\text{N}$  y  $40^{\circ}\text{N}$  y baja  $DE < 3 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  se encuentra entre los  $20^{\circ}\text{S}$  y  $20^{\circ}\text{N}$  con pequeños núcleos de  $DE \geq 4 \times 10^{-6} \text{ S}^{-1}$  sobre todo en la zona SE del dominio.

c) 300 mb (Fig. 13).-

En Mayo VA ocurre en una banda que se orienta aproximadamente de SW a NE y en núcleos cerca de las fronteras norte y este del dominio. Vorticidad ciclónica se localiza sobre México, el centro de EUA, y en el Océano Pacífico al norte y sur del ecuador. En Junio VA se observa sobre los océanos Pacífico y Atlántico y sobre América del Sur. Vorticidad ciclónica ocurre en la zona NW del dominio y en el Océano Atlántico frente a las

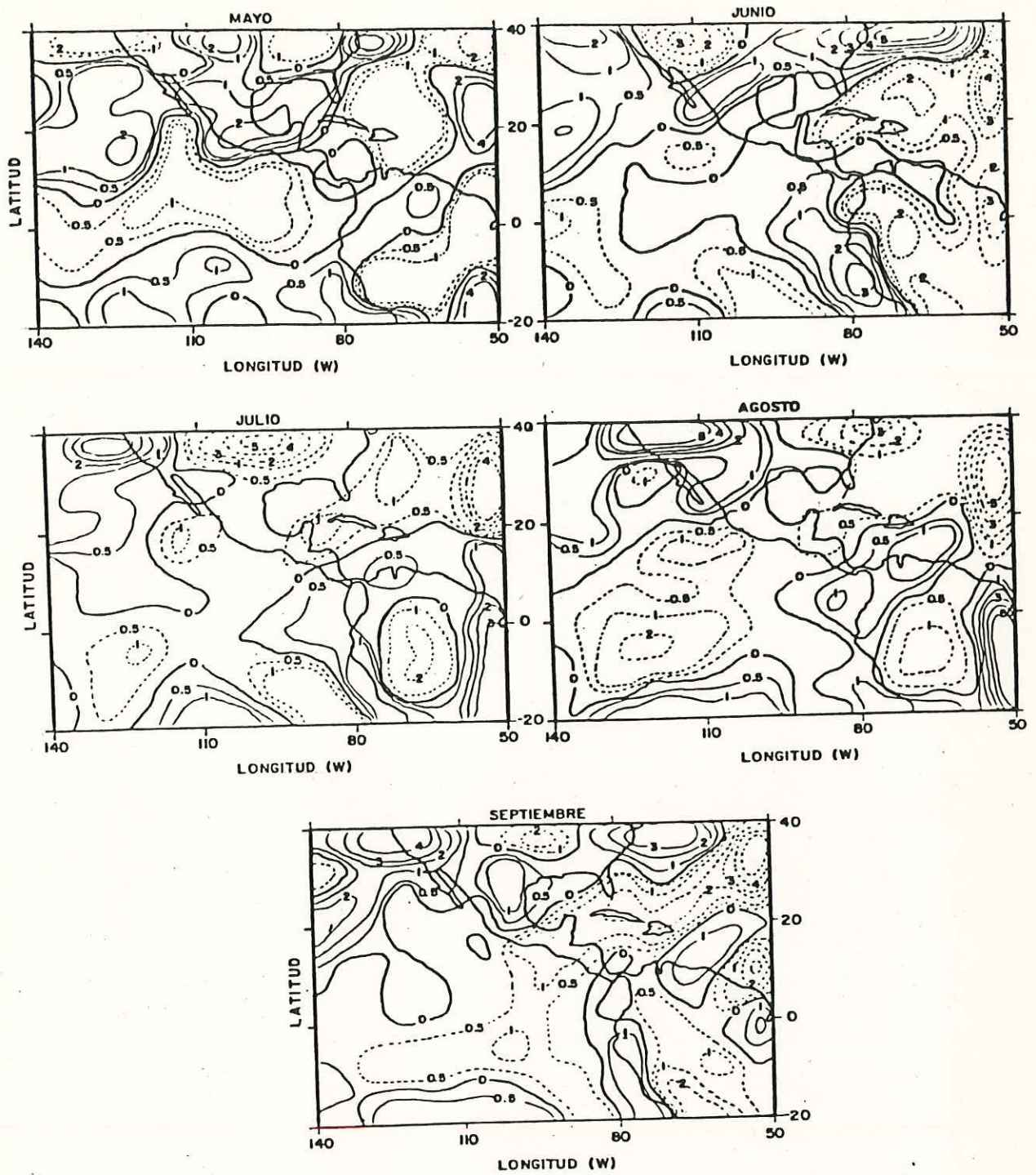


Fig. 13.- Igual que en la Fig. 11 sólo que para el nivel de 300 mb.

costas de centro y Sudamérica, Norte de México y el este y SE de los Estados Unidos. En Julio VA se localiza en la Vertiente de México, EUA, México, las zonas NE y SW del área de estudio y un gran núcleo sobre América del Sur. Vorticidad ciclónica se ubica entre 100 y 120°W, en el HS y en las zonas NW y SE del dominio. En Agosto VA se localiza en los océanos Pacífico y Atlántico, parte de México, Centroamérica, Golfo de México y una gran entrante sobre Brasil. Vorticidad ciclónica ocurre en las zonas SE y NW. En Septiembre VA se encuentra en los Océanos Pacífico y Atlántico, Centro y Sudamérica. Vorticidad ciclónica ocurre en la zona NW del dominio, norte de México, EUA, las Bermudas y núcleos sobre las Antillas, Perú y entre 130 y 90°W en 15°S.  $VAM \geq 5 \times 10^{-6} S^{-1}$  ocurre en Julio en la parte norcentral de los Estados Unidos.  $VCM \geq 5 \times 10^{-6} S^{-1}$  se encuentra en Junio en la zona de las Bermudas, y en Agosto en el NW de los Estados Unidos.

DE alta  $\geq 5 \times 10^{-6} S^{-1}$  ocurre de Mayo a Septiembre entre 20°N y 40°N y en la zona SE del dominio; baja DE  $\leq 3 \times 10^{-6} S^{-1}$  se observa en la zona ecuatorial y el OPS.

## CAPITULO IV

## 4 DISCUSIONES

Viento Zonal.- Los vientos del este y del oeste tienen su origen en los gradientes de temperatura que ocurren latitudinalmente a diferentes niveles de presión y al efecto de la rotación terrestre. En el nivel de 1000 mb durante el período de Mayo a Septiembre (Fig. 2) la predominancia de los vientos del este se presenta sobre toda el área de estudio a excepción de una lengüeta de viento del oeste que ocurre a lo largo de la costa de América del Norte. El predominio del viento del este se debe a que en la superficie el gradiente de presión tiene una dirección de las latitudes medias (cinturón zonal de CAP) hacia el ecuador (zona de baja presión), y además el viento es desviado por la fuerza de Coriolis a la derecha en el HN y a la izquierda en el HS; la lengüeta de viento del oeste es generada por los gradientes de presión que se forman entre el CAP de California y el Continente Americano. La influencia del CAP y el efecto topográfico de las Montañas Rocosas y la Sierra Madre Occidental de EUA y México, respectivamente, ocasionan que los vientos del este de la región del Caribe se encuentren con los vientos del oeste procedentes del

Océano Pacífico, haciendo que la isolínea de  $u=0$  vaya casi paralela a las costas occidentales del Continente Américo (Fig. 2). En los niveles superiores el gradiente de presión es del ecuador hacia los polos y por el efecto de Coriolis ocurren los vientos del oeste, aunado a esto la disminución del efecto de fricción en la vertical ocasiona que los vientos del oeste se intensifiquen y se amplíen latitudinalmente en 300 y 500 mb; restringiendo así la franja de viento del este, siendo esto más notorio en el nivel de 300 mb lo cual coincide con lo obtenido por Mintz, (1954), sin embargo conforme avanza el verano también se observa una ampliación y un corrimiento hacia el norte de la franja del viento del este debido, principalmente, al desplazamiento latitudinal de la zona de máxima radiación solar (Figs. 3 y 4). Esto sugiere que el viento zonal en los trópicos, se invierte en los niveles superiores de la atmósfera presentando una circulación "Walker", que consiste de un flujo vertical y zonal que ocurre a lo largo del ecuador y es primeramente producida por las diferencias de temperatura entre el Océano Pacífico este y oeste (Short, 1976). Otra de las características sobresalientes ocurre en los 300 mb donde se presentan los vientos más intensos, se observan corrientes de "chorro" al norte y sur del ecuador; en el HS la corriente no tiene mucha variación y se localiza entre

los  $12^{\circ}\text{S}$  y  $20^{\circ}\text{S}$ , con vientos hasta de  $20\text{m/s}$  en Junio y Julio; en el HN la corriente migra hacia el norte de Mayo a Agosto siguiendo el corrimiento de la zona de máxima radiación y en Septiembre baja latitudinalmente debido al decaimiento del verano (Fig. 4). Es también interesante notar que en Mayo ( $300\text{ mb}$ ) los vientos máximos del oeste ( $\geq 20\text{m/s}$ ) ocurren sobre la República Mexicana, esto posiblemente está relacionado con los fuertes gradientes de presión que ocurren entre el CAP localizado frente a las costas de Guerrero y el CBP ubicado en la parte norte de México (Anónimo, 1979).

Viento Meridional.- Una de las principales funciones del viento meridional en los trópicos, es la de transportar hacia latitudes más altas el exceso de energía calorífica suministrada por la radiación solar. Una de sus más sobresalientes características es la ZC, la cual se presenta en el nivel de  $1000\text{ mb}$  durante todo el periodo de estudio y es discontinua en espacio, (al menos en un punto) en los 3 niveles de presión analizados. Esta zona de confluencia, representada por la isolínea de  $v=0$ , se localiza entre los  $0$  y  $15^{\circ}\text{N}$  en el nivel de  $1000\text{ mb}$  (Fig. 5) y se desplaza hacia el norte conforme avanza el verano, debido principalmente a la gran insolación que recibe el HN en ésta época del año, lo cual causa que los CAP ubicados en las partes oceánicas de California y

Chile modifiquen sus posiciones de tal manera que los vientos del sur se introduzcan más al norte, desplazando así la ZC. El rango de latitud en el cual oscila ésta zona no concuerda con lo obtenido por Wyrski y Meyers (1976) y Hastenrath y Lamb (1977), debido principalmente a que ellos utilizaron promedios mensuales de series mucho más largas.

En los 500 mb la ZC se hace más irregular y compleja aunque se puede ver claramente en el Océano Pacífico; sus variaciones latitudinales se hacen más grandes y no se desplaza hacia el norte conforme avanza el verano (Fig. 6). También se observa que las zonas de confluencia y difluencia ocurren aproximadamente en la misma proporción de tal manera que el transporte de propiedades termodinámicas y dinámicas entre el ecuador y los polos se equilibra. En 300 mb el viento no se orienta zonalmente por lo que la ZC prácticamente se desvanece y se limita a pequeñas zonas discontinuas y/o aisladas; sin embargo, las ZD se pueden observar con cierta facilidad (Fig. 7); podríamos decir entonces que en el nivel de 1000 mb los vientos del norte y del sur se encuentran en una ZC y que éste fenómeno, aunado a la evaporación causada por el calentamiento solar, ocasiona un movimiento ascendente de aire tibio y húmedo que se enfría y pierde humedad en los niveles superiores de la

atmósfera, tendiendo a descender hacia las partes norte y sur del área de estudio, para luego dirigirse al ecuador, generando así una celda de Hadley para la región de estudio (Figs. 5, 6 y 7).

Los movimientos estacionales de los CAP de California y Chile ejercen un efecto dinámico que genera cambios de magnitud y dirección del viento en la región occidental del área de estudio. En Mayo antes de empezar el verano del HN el CAP frente a las costas de California aun permanece cerca del continente y su desplazamiento hacia el oeste en la vertical no es muy pronunciado, de tal manera que su influencia en el mes de Mayo alcanza todos los niveles de presión; no así en los meses siguientes en los que el cambio de estación hace que se desplace hacia el oeste afectando sólo el nivel de 1000 mb; en los niveles de 500 y 300 mb el viento se invierte por la lejanía del CAP ocasionada por la inclinación hacia el oeste del CAP en la vertical (Nieuwolt, 1977). En los mapas de isolíneas podemos observar que el viento del norte frente a las costas de California mantiene una velocidad  $\geq 5$  m/s en el nivel de 1000 mb (Fig. 5); en el nivel de 500 mb se invierte de Junio a Septiembre dando lugar a viento del sur  $\geq 2.5$  m/s, que se incrementa en los 300 mb a  $\geq 5$  m/s; pero en el mes de Mayo el viento del norte está presente para los 3

niveles de presión analizados.

Frente a las costas de Perú ocurre algo semejante el CAP de Chile se desplaza hacia el continente en el invierno (HS) ocasionando fuertes vientos del sur en el nivel de 1000 mb ( $\geq 5$ m/s); sin embargo en los niveles de 500 y 300 mb éstos vientos se debilitan y se desplazan hacia el oeste e incluso se invierten, debido a la inclinación hacia el oeste del CAP en la vertical.

Divergencia.- La divergencia y convergencia del viento juegan un importante papel en la climatología del área, ya que se relacionan con la formación de nubes y precipitación. La confluencia de los vientos del norte y del sur entre los 0 y 15°N aunado al efecto de los días más largos en el verano (HN), produce altas temperaturas que aumentan la convergencia de masas de aire tibio y húmedo originando así una zona de máxima convergencia que se orienta zonalmente cerca del ecuador (ZCI); de lo anterior se puede deducir que la ZC y la ZCI no son sinónimos, esto se nota porque la ZCI ocurre también dentro de los vientos del norte y del sur (Figs. 5 y 8), sin embargo se puede observar en los mapas de isolíneas que la ZC cae cerca del límite inferior de la ZCI, por lo que una de ellas puede usarse como indicativo de la posición de la otra; en los 1000 mb la ZCI se localiza

entre 0 y 20°N y se desplaza hacia el norte conforme avanza el verano siguiendo la zona de máxima radiación. Se observa también una amplia zona de convergencia sobre el continente, debido a que se encuentran los vientos del este procedentes de la región del Caribe y los vientos del NW y SW, generados en el Océano Pacífico en las cercanías de los CAP de California y Chile, también influye por supuesto el efecto topográfico y la convección que se produce sobre el continente por las altas temperaturas del verano (HN) (Fig. 8). Las zonas de divergencia ubicadas frente a las costas de California, Perú y zona de las Bermudas son propiciadas por los CAP anticiclónicos que generan divergencia; en las 2 primeras también influyen las corrientes oceánicas de California y Perú, pues inhiben la convección, generando zonas de relativa estabilidad. El CAP frente a las costas del Chile tiene una mayor influencia debido a que en el invierno (HS) se intensifica, sin embargo, entre 20°S y 30°S en el Océano Pacífico los vientos del este se encuentran con los vientos del SW, Sadler y Kilonsky (1981) y forman una zona de convergencia que se propaga hasta los 10°S dentro del área de estudio (Fig. 8). Debido a la fuerte isolación que sufren las zonas desérticas y la ZCI, la máxima convergencia en el nivel de 1000 mb ocurre sobre Arizona, Sonora, Sinaloa, la Península de Baja California y la zona de convergencia

intertropical.

En los 500 y 300 mb el campo de viento ha homogenizado el campo de divergencia de tal manera que se observa una amplia zona de divergencia en el HN y una zona de convergencia en el HS (Figs. 9 y 10). La disminución de la temperatura y pérdida de humedad del aire al ir ascendiendo provoca que el aire que asciende en la superficie tienda a descender en los niveles superiores desplazándose al norte y sur del ecuador, de tal manera que la zona de baja presión (máxima convergencia) ubicada cerca del ecuador en el nivel de 1000 mb tienda a desaparecer lentamente con la altura, convirtiéndose en una zona de alta presión en los niveles de 500 y 300 mb, siendo la presión generalmente mayor que en las fronteras de los tropicos (Nieuwolt, 1977), por ésta razón la ZCI no se presenta en los niveles de 500 y 300 mb, en su lugar aparecen zonas de divergencia, siendo ésto más evidente en el nivel de 300 mb (Figs. 8, 9 y 10).

Vorticidad.- La vorticidad ciclónica y anticiclónica juegan un papel importante en la meteorología del área puesto que se relacionan con las tormentas ciclónicas y el buen estado del tiempo, respectivamente. En los 1000 mb el campo de vorticidad está directamente relacionado

con el campo de divergencia, en las zonas donde hay convergencia ocurre vorticidad ciclónica y en las zonas donde hay divergencia ocurre vorticidad anticiclónica (Fig. 11). Estos dos campos se complementan uno al otro y en ellos es de particular importancia el efecto topográfico, pues propicia que los campos de divergencia y vorticidad se compaginen muy bien. La zona ecuatorial y la parte continental están cubiertas por vorticidad ciclónica asociada a la convergencia que ocurre en esas regiones, se puede observar el efecto de la zona de confluencia de los vientos y del encuentro de los vientos del este y oeste en la parte occidental del Continente Americano. En los 500 y 300 mb los campos de vorticidad y divergencia no se compaginan como en el nivel de 1000 mb debido posiblemente a la distribución de temperaturas y gradientes de presión. Se nota también una disminución general de la vorticidad, hasta de un orden de magnitud en los niveles de 500 y 300 mb, lo cual se puede explicar físicamente por la ausencia del efecto topográfico y por la homogenización del campo de viento, que propicia gradientes de velocidad muy pequeños. Se observan también cambios muy locales y rápidos de un mes a otro por lo que su evolución temporal y espacial no sigue una secuencia lógica; fuertes zonas de vorticidad ciclónica y anticiclónica ocurren en los márgenes del área de estudio, sin que haya una causa aparente o algo fácil de

deducir (Figs. 12 y 13), haciendose éste campo muy irregular y complejo.

## CAPITULO V

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se han podido observar las características promedio del campo de viento, divergencia y vorticidad; sin embargo, es necesario mencionar que éste es un estudio básico a nivel general por lo que se espera que los resultados puedan ser utilizados para futuras investigaciones en oceanografía y meteorología. Los datos y resultados de los niveles estandar de la atmósfera (1000, 850, 700, 500, 400, 300 y 100 mb) obtenidos en la primera fase de la presente tesis, están disponibles en la sección de meteorología del CICESE.

A) Las conclusiones más sobresalientes de éste trabajo son:

i) La circulación zonal en los trópicos se invierte en los niveles superiores de la atmósfera; en la superficie es de este-oeste y en las capas superiores es oeste-este (Figs. 2, 3 y 4).

ii) En las latitudes medias del HN ( $\sim 30^\circ$ ) la circulación zonal es del oeste para todos los niveles de

presión.

iii) La circulación meridional está bien representada por la celda de Hadley en los trópicos.

iv) La ZC es discontinua (al menos en un punto) en los 3 niveles de presión analizados y se hace más irregular y compleja hacia los niveles superiores de la atmósfera, donde tiende a desaparecer. La ZCI ocurre sólo en el nivel de 1000 mb desapareciendo en los niveles de 500 y 300 mb. En el nivel de 1000 mb ambas zonas se desplazan hacia el norte conforme avanza el verano, siguiendo el corrimiento de la zona de máxima radiación solar.

v) Los vientos del norte y del sur, sobre las regiones oceánicas de California y Perú, respectivamente, se invierten a los 500 mb.

vi) La DE del viento zonal y meridional es menor en la zona ecuatorial y mayor en las regiones norte y sur del dominio.

vii) Debido a la continuidad de masa, las zonas cubiertas por convergencia en el nivel de 1000 mb, se convierten en zonas de divergencia en los niveles de 500

y 300 mb.

viii) Los campos de divergencia y vorticidad estan muy relacionados en el nivel de 1000 mb; donde hay convergencia ocurre vorticidad ciclónica y donde hay divergencia ocurre vorticidad anticiclónica.

ix) La DE de la divergencia es baja en el ecuador y alta en la parte septentrional del dominio.

B) Algunas recomendaciones para continuar este trabajo y futuras investigaciones son:

i) Realizar el mismo estudio pero para un periodo de tiempo más largo, que incluya por lo menos un año, para poder observar los cambios estacionales de los campos de viento, divergencia y vorticidad.

ii) Obtener otros campos complementarios (velocidad vertical, campo vectorial del viento, velocidad potencial y función corriente), para tener una visión más completa de los procesos físicos que se llevan a cabo en la región.

iii) Evaluar transporte de masa y energía para hacer un balance total; tratando de entender como afectan

éstos cambios a los fenómenos de escala sinóptica.

iv) Comparar los campos de divergencia y vorticidad con los de lluvia y vapor de agua para tener una idea clara de la interrelación existente entre éstos campos.

## LITERATURA CITADA

Anónimo, 1979: Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos "Resumen Climatológico Mensual", DGSMN Vol. VI, No. del 6 al 12.

Anónimo, 1981: International Conference on Early Results of The FGGE and Large-Scale Aspects of its Monsoon Experiments GARP. Tallahassee, Florida, 12-17 January, 1981, pp. 579.

Barreto, B. J., 1983: Solución de la ecuación de Helmholtz usando análisis de Fourier con reducción cíclica recursiva y su aplicación en la predicción numérica. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, 114 pp.

Bengtsson, L., M. Kanamitsu, P. Kallberg y S. Upalla, 1982a: FGGE 4-dimensional data assimilation at ECMWF. Bull. Amer. Meteor. Soc., 63, 29-43.

Bengtsson, L., M. Kanamitsu, P. Kallberg y S. Upalla, 1982b: FGGE Research activities at ECMWF. Bull. Amer. Meteor. Soc., 63, 277-304.

- García, H., Y. Cordero y C. Satin, 1975: Geografía de la República Mexicana, Editorial Herrero, 294 pp.
- Goldenberg, S. B. y J. J. O'Brien, 1981: Time and space variability of tropical Pacific wind stress. Mon. Wea. Rev., 109, 1190-1207.
- Haltiner, G. J., y R. T. Williams, 1979: Numerical Weather Prediction and Dynamic Meteorology. John Wiley and Sons, Inc., 477 pp.
- Hastenrath, S., y P.J. Lamb, 1977: Climatic atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans. University of Wisconsin Press, Madison. 187 pp.
- Holton, J. R., 1979: An Introduction to Dynamic Meteorology, Academic Press, 391 pp.
- Izawa, T., 1972: Statistical aspects of lower atmospheric disturbances delineated from conventional and satellite data over the Tropical Pacific. Pap. Meteor. and Geophys., 23, 73-120.
- Julian, P. R., 1982: The aircraft dropwindsonde system in the global weather experiment. Bull. Amer. Meteor. Soc., 63, 619-627.

Mintz, Y., 1954: The observed circulation of the atmosphere. Bull. Amer. Meteor. Soc., 35, 208-213.

Nieuwolt, S., 1977: Tropical Meteorology "An Introduction to the Climates of the Low Latitudes", John Wiley and Sons, 207 pp.

Panofsky, H. A. y G. W. Brier, 1963: Some Applications of Statistics to Meteorology. Pennsylvania State University Press, 224 pp.

Sadler, J. C. y B. J. Kilonsky, 1981: Trade wind monitoring using satellite observation. Technical Report UHMET81-01, Department of Meteorology, University of Hawaii, 47 pp.

Short, K. S., 1976: Recent tropical storm climatology in the Eastern Tropical Pacific Ocean and some applications. Tesis de Maestria, Oregon State University, 62 pp.

Sparkman, J. K., Jr., J. Giraytys y G. J. Smidt, 1981: ASDAR: A FGGE real-time data collection system. Bull. Amer. Meteor. Soc. 62, 394-400.

Vogel, G., 1982: A climatology of the surface wind field, its divergence and the ITCZ over the Eastern Tropical Pacific Ocean. Tesis de Maestría, Florida State University., 93 pp.

Wyrski, K., y G. Meyers, 1976: The trade wind field over the Pacific Ocean. J. Appl. Meteor., 15, 698-704.