

Universidad Autónoma de Baja California
Escuela Superior de Ciencias Marinas



Análisis objetivo del Campo de Viento Superficial
en el Océano Pacífico Oriental durante el Período de
1977 a 1981

Tesis que para obtener
el Título de Oceanólogo

P r e s e n t a

JUAN MANUEL LOPEZ MARISCAL

Verano 83

A mi madre
A mis hermanas
A mi hermano

A Fani

RESUMEN

Se aplica análisis objetivo mediante el método de correcciones sucesivas (MCS) a 4 años de datos de barcos mercantes (julio de 1977 a junio de 1981), para obtener los campos mensuales de viento superficial en los nodos de una malla regular situada en una región del Océano Pacífico oriental adyacente al Continente Americano. Se utilizan 2 tipos de datos de entrada (las observaciones de viento y promedios de viento) para obtener los campos en ciertos meses del período de estudio. Se comparan entre sí los campos obtenidos mediante los dos procedimientos, y con los campos de viento derivados de un análisis subjetivo. Se encuentra que los campos obtenidos utilizando directamente las observaciones son una mejor estimación de la situación real. Se hace una descripción de las características climatológicas más importantes del campo de viento promedio y de las condiciones del viento en febrero y agosto de los 4 años estudiados. Se investiga la relación entre la posición de la zona de confluencia (ZC) de los Alisios del Norte y del Sur con la precipitación anormalmente baja registrada en algunas estaciones de la costa occidental mexicana en 1977 y con el número bajo y alto de perturbaciones tropicales registradas en 1977 y 1978 respectivamente. No se obtiene ningún resultado definitivo entre la posición de la ZC y los fenómenos mencionados, pero el comportamiento de la ZC durante algunos meses sí parece indicar los resultados encontrados por otros autores.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle en primer lugar al M.C. Sergio Reyes Coca por haber dirigido esta tesis y por todo el apoyo y oportunidades que me brindó durante la realización de la misma. Al M.C. Gerard Vogel por sus valiosos comentarios a la tesis. Al Oc. Edgar Pavía por su valiosa ayuda en la generación de los símbolos matemáticos de este escrito y por sus revisiones y comentarios al mismo. A Enrique García por su magnífico trabajo en la realización de las figuras y tablas; y a los Sres. Hector Santos y Javier García por diferentes contribuciones que hicieron al presente trabajo. En conjunto quiero agradecerles a todos ellos, integrantes de la Sección de Meteorología, su apoyo y compañerismo durante mi estancia en el CICESE.

Quiero agradecerles al Dr. T.N. Krishnamurti y a los integrantes de su laboratorio en la Universidad Estatal de Florida por haberme proporcionado la subrutina de análisis objetivo y por su ayuda durante mi estancia de dos meses en dicha universidad. Al Oc. Alejandro Parés le agradezco su compañerismo y ayuda tanto en el CICESE como durante mi estancia

en la universidad antes mencionada.

Agradezco también los valiosos comentarios y correcciones que hicieron los sinodales que revisaron la tesis y sobretodo, su comprensión en todo el proceso conducido a la presentación del examen profesional.

Ante la imposibilidad de nombrarlos a todos, quiero agradecer a todas aquellas personas, tanto del CICESE como de la ESCM, que de alguna manera contribuyeron a la realización de esta tesis.

Finalmente, pero de manera muy especial, quiero agradecer a mi madre, Isabel M. de López, el apoyo y cariño que me ha brindado durante toda mi vida; y a Fani, mi compañera, por su cariño, paciencia, y compañía durante estos últimos cinco años.

INDICE

1. INTRODUCCION.....	1
1.1 Introducci3n y Antecedentes.....	1
1.2 Area de Estudio.....	4
1.3 Datos de Barcos Mercantes.....	7
1.4 Objetivos.....	11
2. METODOS DE ANALISIS.....	12
2.1 Procesamiento Preliminar de los Datos.....	12
2.2 An3lisis Objetivo.....	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	25
3.1 Comparaci3n de los Campos de Viento.....	25
3.2 Campos de Viento Promedio y Estadística General.....	29
3.3 Campos de Viento en 1977 y 1978.....	34
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
4.1 Conclusiones.....	39
4.2 Recomendaciones.....	41
BIBLIOGRAFIA.....	43
FIGURAS Y TABLAS.....	45

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.- Mapa del área de estudio y zonas climatológicas que comprende (según Nieuwolt, 1977).

Fig. 2.- Mapa con observaciones de un día típico.

Fig. 3.- (a) Campo de viento climatológico del mes de febrero. (b) Igual que (a) pero del mes de agosto.

Fig. 4.- (a) Campo objetivo (caso a) de viento superficial en agosto de 1980. (b) Igual que (a) pero para el caso (b).

Fig. 5.- Promedios de viento superficial en agosto de 1980.

Fig. 6.- (a) Diferencias vectoriales entre el campo objetivo (caso a) y el campo subjetivo en agosto de 1978. (b) Igual que (a) pero entre el campo objetivo (caso b) y el campo subjetivo.

Fig. 7.- (a) Campo objetivo (caso a) de viento superficial en agosto de 1978. (b) Igual que (a) pero para el campo objetivo (caso b). (c) Igual que (a) pero para el campo subjetivo.

Fig. 8.- Diferencias vectoriales entre el campo objetivo (caso a) y el campo subjetivo en febrero de 1980.

Fig. 9.- Campo superficial de viento promedio para 48 meses (julio de 1977 a junio de 1981).

Fig 10.- Isolineas de la componente v para el campo de viento promedio.

Fig. 11.- (a) Isolineas de la desviación estandar de la componente u del campo de viento promedio. (b) Igual que (a) pero de la componente v.

Fig. 12 .- (a) Campo de viento promedio del mes de febrero (1978-1981). (b) Igual que (a) pero del mes de agosto (1977-1980).

Fig. 13.- (a) Isolineas de la componente v para el campo de viento promedio del mes de febrero. (b) Igual que (a) pero del mes de agosto.

Fig. 14.- Desviaciones porcentuales de la precipitación en cuatro regiones de la costa occidental mexicana y número de perturbaciones tropicales en los años de 1976 a 1979.

Fig. 15.- (a) Localización de los zona de confluencia del viento en los meses de julio y agosto de 1977 y para el promedio de los mismos meses. (b) Igual que (a) pero para los meses de septiembre y octubre.

Fig. 16.- Localización de la zona de confluencia del viento en los meses de mayo, julio y agosto de 1978 y para el promedio de los mismos meses.

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1.- Promedios diarios de observaciones (\hat{N}), su desviación estandar (S_N), y la separación promedio de las observaciones (D), para tres meses del período de estudio.

Tabla No. 2.- Desviaciones máximas toleradas y radios de influencia para cada iteración.

Tabla No. 3.- Estadísticas básicas y comparativas para los campos subjetivo y objetivos.

Tabla No. 4.- Estadísticas sobre los campos mensuales, promedio, y diarios; y sobre las observaciones utilizadas.

1. INTRODUCCION

1.1 Introducción y Antecedentes

Dentro del proyecto de 'Meteorología de Centroamérica y México (MECEMEX)' de la Sección de Meteorología del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) se han iniciado estudios de macroescala en la región del Océano Pacífico adyacente al continente Americano. En este programa, el estudio de las características atmosféricas superficiales sobre el océano es de gran importancia para entender mejor los fenómenos de interacción océano-atmósfera y sus repercusiones en la meteorología y climatología de esta región del continente.

En particular, el viento superficial sobre el océano es un parámetro que controla el intercambio de propiedades entre el océano y la atmósfera a través de flujos de momento y de calor latente y sensible; asimismo, afecta la distribución de estas propiedades en la atmósfera mediante advección de masas de aire y localización de zonas de convergencia. El viento es, en términos generales, un elemento importante en la generación y propagación de perturbaciones atmosféricas (i.e. ondas atmosféricas, frentes,

tormentas, huracanes, etc. Holton, 1979). El viento superficial transmite momento al océano generando la circulación superficial y fenómenos relacionados tales como surgencias colicas, propagación de ondas internas y otros. La precipitación en la vertiente occidental de México y Centroamérica es afectada por los fenómenos de interacción océano-atmósfera de la región del Océano Pacífico oriental, y es esta una razón importante para el estudio del campo de viento superficial en esta zona.

Son estos fenómenos de interacción océano-atmósfera los que, en escalas de tiempo y espacio adecuadas, contribuyen a determinar las condiciones climatológicas de una cierta región geográfica.

El campo de viento superficial sobre el Océano Pacífico ha sido objeto de varios estudios. Willebrand (1978) estudió mediante métodos espectrales el campo de viento cuasi-geostrofico de la zona norte (mayor de 20°N) de los océanos Pacífico y Atlántico. La zona tropical del Pacífico ha sido estudiada por meteorólogos y oceanógrafos en relación al fenómeno del Niño y la dinámica ecuatorial asociada. Wyrski y Meyers (1976) procesaron 5 millones de observaciones de viento tomadas por barcos mercantes durante el período de 1947 a 1973 en la zona de 30°N a 30°S para realizar un estudio climatológico de los vientos

Alisios. Con estos datos calcularon promedios del esfuerzo del viento en rectángulos de 2° de latitud por 10° de longitud para meses individuales y meses promedio, calcularon los campos dinámicos y aplicaron análisis espectral a algunos parámetros del esfuerzo del viento. Los datos y promedios calculados por Wyrтки y Meyers sirvieron de base para otros estudios. Barnett (1977) realizó análisis de componentes principales a partir de los datos de Wyrтки y Meyers para obtener las escalas de tiempo y espacio más importantes del sistema de vientos Alisios; Goldenberg y O'Brien (1981) procesaron subjetivamente los promedios de esfuerzo del viento para obtener un campo de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ en latitud y longitud y sobre ese campo, de mayor resolución espacial, realizaron análisis espectral de frecuencia y número de onda. Vogel (1982) utilizó el conjunto de datos derivado por Goldenberg y O'Brien para obtener el campo de viento y realizar un estudio climatológico de la zona intertropical de convergencia (ZIC).

Para poder estudiar el viento superficial a escalas grandes (mayor de 1000 km de acuerdo a Roll, 1972) y obtener parámetros derivados de éste (i.e. campos de divergencia, rotacional, esfuerzo del viento, etc.), es necesario obtener una estimación del campo de viento en los nodos de una malla regular. La estimación generalmente se hace en base a un conjunto de observaciones que están distribuidas irregularmente sobre el área

considerada y algún método que permita obtener los valores del viento en los nodos de la malla en función de los valores de viento medidos y que se encuentran mas cercanos a cada uno de los nodos. Es deseable que el método proporcione la mejor estimación posible al campo de viento real, que sea un método numérico que se pueda aplicar operacionalmente y que sea independiente del sujeto que realiza la estimación del campo. Estas condiciones se aplican igualmente a la estimación de los campos de otros parámetros meteorológicos.

En el presente trabajo se obtienen los campos de viento superficial en los nodos de una malla regular en una región del Océano Pacífico oriental en base a las observaciones mas o menos rutinarias, que hacen los barcos mercantes a lo largo de sus rutas de navegación para un período de 4 años (de 1977 a 1981).

1.2 Area de Estudio

El área considerada para la obtención del campo de viento superficial está comprendida entre los 20°S a 40°N y de 130°W a la costa occidental del continente Americano (Fig. 1). Esta región tiene una gran variación meridional, sobretodo hacia el norte de 10°N y por sus dimensiones se considera una región

de escala grande.

Debido a su gran extensión zonal, el área de estudio comprende a casi todo el Océano Pacífico tropical entre las longitudes mencionadas; hacia el norte incluye una parte de la región conocida como de latitudes medias. Es, por lo tanto, una región afectada por fenómenos meteorológicos de estas dos zonas y por interacción entre fenómenos tropicales y de latitudes medias.

Considerando como el límite de la zona tropical a la isoterma superficial media de 18°C para el mes mas frío del año (Nieuwolt, 1977), la zona tropical del área de estudio comprende una región mas pequeña que para el resto del Pacífico debido a la presencia de las corrientes frías de California y Perú a lo largo de las costas nororiental y suroriental respectivamente, ver Fig. 1.

La circulación atmosférica superficial del Pacífico tropical está dominada por los sistemas de vientos Alisios. En gran parte del hemisferio norte estos vientos tienen una dirección entre este y noreste, mientras que en el hemisferio sur poseen una dirección entre este y sureste. Los dos sistemas de viento confluyen en una región que se encuentra, en promedio anual, entre 6°N y 10°N en el Pacífico Oriental (Vogel, 1982).

La mayor parte de la región tropical del área de estudio es de clima seco, presentando climas húmedos únicamente en una banda zonal ligeramente al norte del ecuador que se ensancha hacia el norte a partir de 120°W hasta la costa del continente, abarcando a la costa mexicana hasta el Trópico de Cáncer (Fig. 1).

El viento superficial en la región de latitudes medias del área de estudio, se encuentra dominado por la presencia del centro semipermanente de alta presión localizado al oeste de California, el cual forma parte del cinturón subtropical de centros de alta presión. Este centro de alta presión (CAP) induce una circulación anticiclónica provocando que, en promedio, el viento superficial sea paralelo a las costas de Baja California. De la parte sur del CAP, se desprenden los vientos que forman parte de los Alisios del Noreste.

Toda la región de la Península de Baja California y áreas oceánicas adyacentes, reciben poca precipitación durante el año. Únicamente en invierno es cuando hay intrusión de frentes del Pacífico norte que provocan precipitación en la parte norte de la península (Riley y Spolton, 1981). Mientras que en verano, la precipitación es provocada por sistemas tropicales en la parte sur de la península.

1.3 Datos de Barcos Mercantes

El conjunto total de reportes de barco para este trabajo, incluye 4 años de datos desde julio de 1977 a junio de 1981 para el Océano Pacífico únicamente. Los datos se encuentran en forma de archivos mensuales con un total aproximado de 870,000 reportes para todo el océano, con un máximo de 30,225 para mayo de 1981 y un mínimo de 13,275 para septiembre de 1978. Estos datos poseen ciertas limitaciones y características particulares que es conveniente mencionar:

a) La falta de observaciones meteorológicas rutinarias y distribuidas uniformemente sobre áreas extensas del océano, se ha tratado de corregir con las observaciones que hacen los barcos mercantes a lo largo de sus rutas de navegación. Los barcos hacen estas observaciones voluntariamente y en base a acuerdos internacionales, en el entendido de que las actividades de investigación y de predicción del tiempo que se deriven de estas observaciones, repercutirán en un mejor desempeño de las actividades de navegación (Roll, 1965). Tenemos entonces, que las observaciones se hacen por personal que en ocasiones tiene poca o ninguna preparación en las técnicas de medición y observación, lo cual introduce errores en los datos. Más aun, muchos barcos no tienen los instrumentos de medición necesarios y

las observaciones de algunos parámetros se hacen en base a estimaciones visuales.

b) Además de los problemas operacionales de medición y observación, existen ciertos problemas cuando se realizan observaciones meteorológicas sobre un barco. El viento es medido con anemómetro o bien es estimado en base a la escala Beaufort de fuerza del viento. Cuando se mide con anemómetro existen tres problemas que pueden afectar la medición del viento: i) alteración del flujo por la superestructura del barco, sobretudo por el casco; ii) el barco es una fuente de calor radiativo y convectivo que puede afectar al flujo de aire y iii) existen errores por los movimientos del barco (cabeceo y bamboleo) que son difíciles de determinar (Roll, 1965).

c) La escala Beaufort es una escala visual que se basa en la apariencia de la superficie del océano para estimar la rapidez del viento. La escala es del 0 al 12 y a cada número le corresponde cierto intervalo de rapidez. La dirección se estima en base a la dirección de las olas de viento. La escala Beaufort está calculada para una altura de 10 m sobre el nivel del mar y para condiciones de estabilidad neutra, por lo que pueden ocurrir desviaciones significativas bajo otras condiciones de estabilidad térmica. La estimación visual del viento depende mucho de la

experiencia del observador y existen varios factores que pueden afectar la apariencia de la superficie del océano. Algunos de estos factores son: el retraso entre el aumento del viento y la formación de las olas, la profundidad, lluvia intensa y corrientes de marea (Roll, 1965).

d) Finalmente, la distribución de las observaciones es muy irregular y limitada a ciertas regiones en donde se encuentran las principales rutas de navegación. En general, el hemisferio sur es el que posee la menor cobertura, mientras que la región norte del Pacífico presenta bastante buena cobertura. En la Fig. 2 se muestran las observaciones para un día del conjunto de observaciones utilizados en este trabajo.

A pesar de las limitaciones mencionadas, las observaciones de los barcos mercantes constituyen uno de los conjuntos más completos de datos disponibles. Recientemente se han empezado a obtener datos de viento a diferentes niveles de la atmósfera por medio de satélite, sin embargo, estas observaciones no se han podido obtener con la suficiente precisión y continuidad para la superficie del océano (O'Brien, 1981).

Los datos de barcos mercantes utilizados para este trabajo fueron proporcionados a la Sección de Meteorología del CICESE por

la Comisión Interamericana del Atún Tropical. Los datos se encuentran grabados en cintas magnéticas en forma de registros; cada registro corresponde al reporte de un barco y en él se asientan la posición (latitud y longitud), año, mes, día y hora de la observación; esta última, viene reportada como hora central de Greenwich. El resto del registro consta de las mediciones y observaciones de diversos parámetros meteorológicos reportados de acuerdo a los códigos de la Organización Meteorológica Mundial para los reportes de barco. Casi la totalidad de los reportes incluyen la observación de parámetros meteorológicos tales como: viento, presión atmosférica, temperatura del aire, nubosidad y otros; mientras que únicamente algunos reportes incluyen observaciones de parámetros tales como: temperatura de punto de rocío, temperatura de la superficie del océano, período y altura de las olas y otros.

1.4 Objetivos

Los objetivos de este trabajo son:

i) Aplicar análisis objetivo mediante el método de correcciones sucesivas (MCS) para la estimación de los campos mensuales de viento superficial durante los 4 años de datos disponibles.

ii) Estimar la desviación de los campos calculados comparandolos con el viento superficial derivado de los campos de esfuerzo del viento obtenidos mediante análisis subjetivo por Goldenberg y O'Brien (1981).

iii) Describir las características climatológicas principales del campo superficial de viento en base a los campos obtenidos mediante análisis objetivo. En particular, se hace énfasis en la descripción del viento durante las estaciones lluviosas en la región tropical en 1977 y 1978 debido a la precipitación anómalamente baja registrada en la costa occidental mexicana en el primer año y al número bajo y alto de tormentas tropicales y huracanes registrados durante 1977 y 1978 respectivamente.

2. METODOS DE ANALISIS

2.1 Procesamiento Preliminar de los Datos

Para fines de comparación se obtuvieron los campos mensuales de viento superficial con el MCS mediante dos procedimientos diferentes utilizando dos tipos distintos de datos de entrada al análisis. En el caso (a), se obtuvieron campos diarios directamente con las observaciones diarias de los barcos y se promediaron todos los campos diarios de un mes para obtener un campo mensual promedio. En el caso (b) se calcularon promedios mensuales de viento dentro de cuadrados de 2° de lat./lon. y se utilizaron únicamente promedios con cinco o más observaciones por mes para obtener un campo mensual. La comparación se hizo con el fin de observar si los campos de los casos (a) y (b) eran similares, ya que los del caso (a) requieren de un tiempo computacional considerablemente mayor que los del caso (b).

Para definir la resolución de la malla de 2° de lat./lon. se tomó en cuenta el número de datos localizados dentro de los límites del área de estudio para el promedio diario de observaciones en algunos meses particulares. Es deseable tener una resolución espacial grande en la estimación de los campos de

viento pero se debe establecer un límite en base a la cantidad de datos disponibles. Para establecer un criterio entre el número de observaciones disponibles y la resolución de la malla, se consideró la siguiente fórmula (Tripoli y Krishnamurti, 1975):

$$D = (A/N)^{\frac{1}{2}} \quad \dots(1)$$

donde D representa la separación promedio de las observaciones en unidades de malla (1 unidad de malla=2° de latitud), A el área del dominio analizado (área de estudio) expresada en unidades de malla, es decir, el área en grados geográficos dividida entre el área de un cuadrado elemental de la malla, también en grados geográficos, y N el número de observaciones utilizado para la obtención de un determinado campo. Es conveniente definir D de esta manera porque, suponiendo una distribución uniforme de las observaciones en el dominio y para N fija, D será mayor para una malla de mayor resolución (i.e. menor espaciamiento entre los nodos). Por supuesto es deseable tener una alta densidad de datos para que D sea pequeña y poder escoger la malla con mayor resolución.

Para el presente análisis se calcularon las separaciones promedio de la cantidad media de observaciones diarias en algunos meses, tomando A=545 (número de cuadrados de 2° X 2° en el

dominio del análisis). Los resultados se presentan en la tabla 1 y son del mismo orden de magnitud que la separación promedio de aproximadamente 500 km utilizada por Tripoli y Krishnamurti (1975).

Para la estimación de los campos se aislaron las observaciones correspondientes al dominio de análisis y de regiones adyacentes hasta latitudes de 60°N y 40°S y hasta 150°W de longitud. Se incluyeron datos adyacentes al dominio debido a que el MCS permite incorporar datos hasta una cierta distancia de las fronteras del dominio en el cálculo de los campos.

En los reportes de barco, el viento aparece codificado en forma de rapidez expresada en nudos o m/s, y dirección meteorológica con respecto al norte verdadero. Para cada observación de viento se calcularon las componentes cartesianas, u positiva hacia el este y v positiva hacia el norte, en m/s. Durante este procesamiento se eliminaron las velocidades con magnitudes mayores a 40 m/s asociadas a errores en la codificación o a los huracanes (Goldenberg y O'Brien, 1981). Además, se tuvo cuidado de eliminar observaciones que, por errores en la recopilación de los reportes de barco, aparecían más de una vez. La cantidad de estas observaciones repetidas varió ampliamente, con un máximo de 693 (26.6%) en noviembre de

1978 y un mínimo de 9 (0.5%) en febrero de 1978.

Para el cálculo de los campos conforme al caso (b), se calcularon promedios de las componentes de viento para todas las observaciones dentro de cuadrados de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ y así obtener un vector promedio de viento mensual. Para el MCS se utilizaron únicamente promedios con 5 o más observaciones, lo cual está muy por debajo del mínimo de 40 observaciones sugerido por Mertins (1976) para un promedio mensual representativo; sin embargo, el número de promedios disponibles no permitió trabajar con valores más representativos. La posición del vector promedio dentro de cada uno de los cuadrados se localizó en el promedio de las posiciones (centro de gravedad) de las observaciones promediadas.

2.2 Análisis Objetivo

Análisis objetivo es un término general utilizado en meteorología para designar a los métodos que permiten obtener una estimación del campo de algún parámetro meteorológico en los nodos de una malla regular a partir de un conjunto de datos distribuidos irregularmente en el espacio y en el tiempo (Belousov et al., 1971). El método debe constar de algún procedimiento bien definido que pueda ser aplicado

independientemente del sujeto que realiza el análisis, en contraste a los métodos de análisis subjetivo, en donde se combinan ciertas técnicas con la experiencia del sujeto que realiza el análisis. Con los métodos de análisis subjetivo, dos personas que realicen la estimación de un mismo campo no arribarán, en general, a los mismos resultados; además requieren de un mayor esfuerzo y cantidad de tiempo.

El MCS fue propuesto inicialmente por Bergthórsson y Döös (1955) y modificado posteriormente por Cressman (1959). Tripoli y Krishnamurti (1975) adaptaron y aplicaron el MCS para la estimación del campo de viento en niveles bajos de la atmósfera (850 mb); la aplicación del MCS a nuestros datos se basó directamente en éste último estudio.

El MCS se basa en las modificaciones a un campo inicial aproximado (CIA) del parámetro que se desea estimar, definido en los nodos de una malla regular. Las modificaciones se realizan mediante un proceso iterativo de tal forma que a la m -ésima iteración se modifica el campo resultante de la $(m-1)$ -ésima iteración y el CIA se va transformando en el campo final analizado que constituye la estimación al campo real. Considérense los valores de un campo aproximado (CA) de un cierto parámetro meteorológico, $u_{ij}^{(m)}$, definido en los nodos de una malla

regular a la m-ésima iteración; donde i y j son los números de los nodos en la dirección oeste-este y sur-norte respectivamente, sobre la malla de L por M nodos ($i=1, \dots, L$; $j=1, \dots, M$). Para cada una de las observaciones dentro del dominio del análisis, se calcula el valor del CA en la localidad de la observación, s , utilizando la fórmula de interpolación de Lagrange para 9 puntos:

$$u_{gs}^{(m)} = \sum_{i=I-1}^{I+1} \sum_{j=J-1}^{J+1} w_{ij}(x_s, y_s) u_{gij} \quad \dots (2)$$

donde:

$$w_{ij}(x, y) = \frac{\prod_{\substack{k=I-1 \\ k \neq i}}^{I+1} (x - x_k)}{(x_i - x_k)} \frac{\prod_{\substack{p=J-1 \\ p \neq j}}^{J+1} (y - y_p)}{(y_j - y_p)}$$

donde x y y son las distancias en la dirección oeste-este y sur-norte, respectivamente, medidas a partir del nodo (1,1) en la esquina sudoccidental de la malla, mientras que I y J son los números del nodo interior (no perteneciente a la frontera del dominio, i.e. $I=2, \dots, L-1$; $J=2, \dots, M-1$) más cercano a la localidad de observación s .

Para estaciones fuera del dominio se utiliza la siguiente fórmula de interpolación:

$$u_{gs}^{(m)} = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M \Lambda_{ij}^{(m)} u_{g_{ij}}^{(m)}}{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M \Lambda_{ij}^{(m)}} \quad \dots(3)$$

donde $\Lambda_{ij}^{(m)}$ es la función de peso de Cressman (1959) a la m-ésima iteración definida por:

$$\Lambda_{ij}^{(m)} = \begin{cases} (R^{(m)2} - d^2) / (R^{(m)2} + d^2) & \text{si } d < R^{(m)} \\ 0 & \text{si } d \geq R^{(m)} \end{cases} \quad \dots(4)$$

donde $R^{(m)}$ es el radio de influencia a la m-ésima iteración, el cual define la distancia máxima en que se deben considerar observaciones fuera del dominio del análisis, y d es la distancia de círculo máximo (distancia más corta entre dos puntos sobre la superficie de la Tierra) dada por:

$$d = \cos^{-1} [\sin(y_{ij}) \sin(y_s) + \cos(y_{ij}) \cos(y_s) \cos(x_s - x_{ij})] / 2 \quad \dots(5)$$

donde y_{ij} y x_{ij} son la latitud y longitud respectivamente, del nodo (i, j) , mientras que y_s y x_s son la latitud y longitud de la localidad de observación, s , situada fuera del dominio.

Con el valor del CA interpolado en la localidad s ($u_{gs}^{(m)}$) se calcula la diferencia entre el valor del parámetro observado, u_s , y el valor interpolado:

$$E_s^{(m)} = u_s - u_{gs}^{(m)} \quad \dots (6)$$

Las diferencias $E_s^{(m)}$ cercanas a un punto (i, j) de la malla se utilizan para calcular una corrección a ese punto, dada por:

$$C_{ij}^{(m+1)} = \frac{\sum_{s=1}^N W_s^{(m)} E_s^{(m)}}{\sum_{s=1}^N W_s^{(m)}} \quad \dots (7)$$

donde N es el número de localidades de observación, s , dentro de un área definida por un radio de influencia con centro en el punto (i, j) , y $W_s^{(m)}$ es un factor de peso a m -ésima iteración que se explica mas adelante.

Para obtener el CA a la $(m+1)$ -ésima iteración se calcula la distancia del 'centro de gravedad' de las observaciones al punto (i, j) . Únicamente se consideran las observaciones que intervienen en el cálculo de la corrección dada por (7); es decir, las comprendidas dentro de un área circular definida por el radio de influencia a la m -ésima iteración. La distancia al centro de gravedad se calcula también con la fórmula de distancia de círculo máximo (ecuación 5). El CA a la $(m+1)$ -ésima iteración

se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$u_{gij}^{(m+1)} = u_{gij}^{(m)} + a C_{ij}^{(m+1)} \quad \dots (8)$$

donde a es un factor de suavizado dado por:

$$a = \begin{cases} 1 & \text{si } \bar{d} \leq 0.5R^{(m)} \\ (R^{(m)} - \bar{d}) / 0.5R^{(m)} & \text{si } \bar{d} > 0.5R^{(m)} \end{cases} \quad \dots (9)$$

Este factor de suavizado es importante para que exista una transición suave entre regiones con alta densidad de observaciones y regiones con poca densidad en donde es preferible que el CIA cambie poco a que se obtengan resultados irreales en estas regiones (Reverdin, 1980).

En la corrección (ecuación 7) a los campos del caso (b), los pesos W_s , únicamente consistieron de una función de peso espacial dada por (4), pero en la obtención de los campos del caso (a) se centró el análisis a las 12:00 GMT (hora central de Greenwich) y se multiplicaron las diferencias, $E^{(m)}$, correspondientes a ese día, por un factor de peso temporal dado por:

$$\beta(\Delta t) = \exp [-a(\Delta t)^2]$$

donde Δt es la diferencia entre la hora del análisis ($t_0=12.0$) y la hora de la observación (t_p). El factor a , se escogió de tal manera que $\beta(\pm 12)=0.5$ (Reverdin, 1980). Con este factor temporal los pesos W_s , quedaron como:

$$W_s^{(m)} = A_s^{(m)} \beta_s(\Delta t)$$

Para la obtención de los campos de viento superficial con los datos de barcos, se aplicó el MCS a las componentes u y v del viento por separado. Basandose en los trabajos de otros autores (Cressman, 1959; Tripoli y Krishnamurti, 1975; Reverdin, 1980), se realizaron un total de 4 iteraciones para la obtención de cada uno de los campos y se calculó el error cuadrático medio entre el CA y las observaciones al final de cada iteración. Además, se definieron valores máximos para el valor absoluto de las desviaciones entre el CA y las observaciones (ecuación 6) en cada iteración, de tal forma que, si estas desviaciones excedían los límites prefijados para una iteración determinada, se descartaba esa observación en el cálculo de la corrección $C_{ij}^{(m+1)}$. Los valores de estas desviaciones máximas toleradas disminuyeron de una iteración a la siguiente (ver

tabla 2) y sus valores se escogieron para que fueran similares a los utilizados por Tripoli y Krishnamurti (1975).

El radio de influencia que aparece en las ecuaciones (4) y (9) decrece de una iteración a la siguiente. En la primera iteración, el radio de influencia es grande y se modifican los errores de mayor escala en el CIA; en las iteraciones siguientes, el radio de influencia disminuye y se modifican los errores mas finos del CA. El radio de influencia final, $R^{(4)}$, determina un límite inferior a la escala mas pequeña que puede ser analizada dentro del campo estimado (Cressman, 1959); de tal forma que se puede considerar que el radio de influencia actúa como un filtro paso bajo: solo las longitudes de onda $\lambda > R$ aparecerán dentro de un análisis espectral del CA al final de la n -ésima iteración (Reverdin, 1980).

En la obtención de cada campo (mensual o diario), el radio de influencia a cada iteración se calculó en función de la separación promedio de las estaciones (ecuación 1). Por lo tanto, para una mayor cantidad de observaciones se tendrán radios de influencia mas pequeños. En la tabla 2 se muestran los radios de influencia utilizados en cada iteración como función de la separación promedio de las observaciones.

El CIA utilizado en el MCS tiene poca influencia en regiones con alta densidad de observaciones ya que éstas modifican sustancialmente al CIA. Sin embargo, en regiones desprovistas de observaciones, el CIA cambia poco y es por lo tanto deseable que en estas regiones el CIA sea lo más parecido posible a la situación real que se desea estimar (Reverdin, 1980). El MCS parte de la premisa de que en regiones con baja densidad de observaciones es preferible que casi no se modifique el CIA, para evitar que observaciones distantes puedan producir situaciones irreales.

En el presente trabajo, los campos iniciales aproximados para cada mes se tomaron de los campos climatológicos mensuales de viento a nivel gradiente elaborados por Atkinson y Sadler (1970). El nivel gradiente se define como el nivel más bajo al cual el viento es esencialmente geostrofico y para la elaboración de esos campos el nivel gradiente se tomó aproximadamente a 1 km por encima de la superficie terrestre (Atkinson y Sadler). Estos campos climatológicos de viento se encuentran en forma de cartas mensuales con líneas de corriente e isotacas, para una región de 35°S a 35°N alrededor de toda la tierra. Para la obtención de los campos iniciales aproximados en la malla de 2° X 2°, se digitizaron las cartas mensuales con ayuda de un digitizador electrónico en los puntos de una malla

con cuadrados de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$. Los campos digitizados se interpolaron linealmente a la malla de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ utilizada en el presente trabajo. Los puntos de la malla al norte de $34^{\circ}N$ se obtuvieron mediante extrapolación lineal hasta $40^{\circ}N$. Los campos climatológicos para los meses de febrero y agosto se muestran en las Figs. 3a y 3b

Antes de obtener los campos de viento mediante MCS, las componentes u y v de los campos climatológicos fueron reducidas en un 30% por 2 razones: i) para reducir la magnitud a una que fuera representativa de las condiciones a 10 m sobre la superficie del océano, ya que empíricamente se ha encontrado que la magnitud del viento superficial es alrededor de un tercio más pequeña que la magnitud del viento a nivel gradiente (Atkinson y Sadler, 1970); y ii) para reducir la influencia del CIA sobre los datos de entrada al MCS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Comparación de los Campos de Viento

Los campos del caso (a) y (b) se obtuvieron para los meses de febrero y agosto de los 4 años de datos disponibles. Se escogieron estos meses como representativos de las condiciones de invierno y verano, ya que durante estas estaciones se presentan las condiciones mas contrastantes en la variación anual del viento superficial.

Se hizo una comparación visual de los campos de los casos (a) y (b) y se observaron diferencias significativas para los campos de un mismo mes. Para agosto de 1980 (Figs. 4a y 4b) se observa que el campo del caso (b) es menos suave que el correspondiente del caso (a), presentando ciertas zonas donde las diferencias entre ambos campos son significativas y el campo del caso (b) en discrepancia con respecto al viento climatológico para esas zonas. Alrededor de 4°N y 124°W se observa viento del sur en el campo del caso (b), probablemente provocado por el único promedio de viento situado alrededor de esa zona (Fig. 5) y una región con viento del noroeste alrededor de 18°N y 118°W ; ambas características no se observan en el campo del caso (a).

Además, en todo el hemisferio sur (ver Fig. 4b) se observan pocos cambios con respecto al campo climatológico de agosto (Fig. 3b) debido a la carencia absoluta de promedios en esa zona del dominio.

Para comparar aún más los campos de viento de los 2 casos se hizo una comparación con unos campos de viento obtenidos a partir de los campos de esfuerzo del viento superficial de Goldenberg y O'Brien (1981), mencionados en la sección 1.1. La magnitud del viento se calculó obteniendo la raíz cuadrada de la magnitud del esfuerzo del viento y la dirección es la misma para los vectores de ambos campos. Los valores del viento fueron interpolados linealmente a latitudes pares y para una región de 20°S a 28°N, ya que los campos de Goldenberg y O'Brien (1981) se extienden únicamente hasta 29°N.

La comparación del viento subjetivo con los vientos objetivos de los casos (a) y (b) se hizo graficando mapas con las diferencias vectoriales: $\underline{V}_d = \underline{V}_o - \underline{V}_s$, donde \underline{V}_d es el vector diferencia, \underline{V}_o alguno de los dos tipos de campos objetivos, y \underline{V}_s es el campo subjetivo. Estos mapas se obtuvieron para los meses de febrero de 1978, 1979, y 1980 y para agosto de 1977, 1978, y 1979. Para todos estos meses las diferencias fueron mayores para el viento del caso (b). En las Figs. 6a y 6b se muestran los

mapas con los vectores \underline{V}_d para los campos objetivos de los casos (a) y (b), respectivamente; y las Figs. 7a, 7b, y 7c muestran los campos de viento objetivos y subjetivos en agosto de 1978 utilizados en la obtención de las Figs. 6a y 6b. Se observan las diferencias vectoriales más notables para el campo del caso (b), mientras que el del caso (a) presenta ciertas diferencias alrededor de 10°N y 110°W ; y cerca de Sudamérica en el ecuador. En la primera zona, las diferencias se deben a que los Alisios del Sur se extienden más al norte y con mayor magnitud en el campo subjetivo que en el objetivo; diferencias que también se observan para el resto de los meses de agosto. Las diferencias del campo objetivo del caso (a) con respecto al subjetivo son menores en los meses de febrero que en los de agosto, presentándose las diferencias más notables en febrero de 1980 (Fig. 8). En todos los meses de febrero la zonas de diferencias más notables se encuentran en el extremo sureste del dominio y en la región de Centroamérica.

La tabla 3 muestra estadísticas de los campos subjetivo y objetivos para los meses de febrero y agosto de 3 años. Se observa que la raíz cuadrada de la desviación cuadrática media (ϵ) de las componentes u y v de los campos objetivos con respecto al subjetivo, es menor para los campos del caso (a). Los promedios de las componentes u y v, son mayores para el campo

subjetivo lo cual refleja su mayor intensidad tal y como fueron obtenidos a partir de los campos de esfuerzo del viento. Además, la mayor variabilidad de los campos subjetivos se refleja en los valores de la desviación estandar de sus componentes en relación a los valores del mismo parámetro para los campos objetivos.

En base al criterio de que los campos de un análisis objetivo tienen que ser comparables a los resultados de un análisis subjetivo del mismo campo (Bergthórsson y Döös, 1953), y a las discrepancias de los campos del caso (b) con respecto a los climatológicos; se consideró que los campos del caso (a) estiman mejor la situación real del campo de viento mensual. Se debe tomar en cuenta que los campos del caso (a) incorporan mayor cantidad de información al utilizar todas las observaciones de un día para el cálculo de campos diarios; es cierto también, que se incorporan mas errores al utilizar directamente las observaciones, sin embargo, esta situación es en parte controlada mediante el mecanismo de rechazo de observaciones erróneas en el transcurso de cada iteración del MCS (sección 2.1). Además, el ruido presente en los campos diarios es suavizado mediante el promedio de todos los campos de un mes. En lo que sigue los campos de viento superficial se refiere a los campos obtenidos mediante MCS de acuerdo al caso (a).

3.2 Campos de Viento Promedio y Estadística General

Para resumir la información de los campos mensuales, se obtuvo un campo de viento promedio de los 48 meses y campos de viento promedio para los meses de febrero y agosto (4 campos para cada mes). A continuación se discute algunas de las características climatológicas más importantes del flujo superficial.

El viento superficial promedio para los 48 meses (Fig. 9) se caracteriza por la presencia de los dos sistemas de viento: los Alisios del Norte (AN) y los Alisios del Sur (AS). Ambos sistemas presentan vientos con magnitudes máximas del orden de 7.5 m/s, lo cual está de acuerdo con los resultados obtenidos por Vogel (1982); los AN tienen una dirección predominante del noreste que se establece conforme los vientos del margen oriental del anticiclón giran de una dirección noroeste a una noreste desde 40°N a 20°N . Los AS tienen una dirección predominante del sureste y cruzan el ecuador en todo el dominio cubriendo una área más extensa que los AN. Conforme se aproximan al ecuador, los AS giran gradualmente en sentido ciclónico y en sentido anticiclónico al cruzar el ecuador, debido al aumento de la aceleración de Coriolis; el giro aumenta de oeste a este en la banda zonal cercana al ecuador y es más acentuado aproximadamente

desde 100°W a la costa del continente debido a efectos monsoónicos (Vogel, 1982).

Los dos sistemas coinciden en una zona de confluencia (ZC) situada al norte del ecuador que, en general, no coincide con lo que estrictamente se conoce como zona intertropical de convergencia (ZIC) y que constituye la banda de máxima convergencia orientada zonalmente y que también se localiza al norte del ecuador (Vogel, 1982). Sin embargo, existe una relación positiva entre la localización de la ZC y la intensidad y localización de la ZIC (Hastenrath y Lamb, 1978), por lo que la posición de la ZC puede utilizarse como un indicativo de la posición de la ZIC. La localización de la ZC para el viento promedio, se puede identificar mediante la isolínea de $v=0$ y ésta se sitúa alrededor de los 7°N (Fig. 10).

La variabilidad de las componentes u y v del viento promedio se analiza mediante la desviación estandar (Figs. 11a y 11b), la cual presenta valores altos (>1.5 m/s) para unas bandas alrededor de la ZC con un ancho aproximado de 13° de latitud en la parte occidental del dominio; las bandas se extienden de aproximadamente 4°N a 17°N para u y del ecuador a 13°N para v . Ambas bandas se extienden ligeramente hacia el norte alrededor de 110°W y después se estrechan, principalmente la de u , conforme se

aproximan al continente; probablemente reflejando las restricciones impuestas a la variación de la ZC y de la ZIC por la costa y la carencia de datos en esa región.

La componente v presenta variabilidad alta (~ 2 m/s) para la región noroeste del dominio, relacionada a la variación anual en la posición e intensidad del anticiclón en esa zona. Por el contrario, la variación de u es menor (~ 1 m/s), posiblemente debido a las magnitudes pequeñas de esa componente tanto en febrero como en agosto (ver Figs. 12a y 12b). La variabilidad en el hemisferio sur es pequeña para ambas componentes pero a pesar de que la persistencia es alta para los Alisios (Wyrski y Meyers, 1976), los resultados en esa región se deben tomar con cuidado debido a la baja densidad de observaciones en todo el hemisferio sur.

Para analizar la variación anual del campo de viento, se describen las características del flujo promedio para febrero y agosto como meses representativos de las condiciones de invierno y verano del hemisferio norte, respectivamente. Los AN y los AS cubren mayor área y son más intensos para los inviernos respectivos de cada hemisferio (Figs. 12a y 12b). Esta diferencia repercute en una posición más al norte de la ZC, y por tanto de la ZIC, en agosto que en febrero; en este último mes,

la ZC (denotada por la isolinia de $v=0$) se encuentra alrededor de 3°N (Fig. 13a) mientras que en agosto se encuentra alrededor de 12°N y presenta variación latitudinal entre 90° y 110°W , al grado de que no es posible localizarla sobre el océano entre 100° y 110°W (Fig. 13b).

En febrero, el centro del anticiclón se encuentra aproximadamente a 29°N y 128°W (Fig. 12a), presentando vientos de baja magnitud (< 4 m/s) al oeste de 122°W y al norte de 26°N y tiene una extensión mas pequeña que en agosto. En este último mes, por el contrario, el centro se encuentra al oeste de 130°W , es de mayor extensión y presenta vientos de mayor magnitud que en febrero, sin embargo, hacia el sur del anticiclón, los vientos van perdiendo rapidez hasta la ZC de tal forma que los AN son menos fuertes que en febrero. Es interesante notar que tanto en agosto como en febrero los vientos soplan paralelos a la costa de Baja California, aunque en este último mes son de menor magnitud.

En agosto la región tropical centrada alrededor de 100°W y 14°N presenta vientos de baja magnitud y se caracteriza por ser una área de generación de perturbaciones tropicales, lo cual contribuye a una alta variabilidad del viento en esa zona. Mientras que en febrero, alrededor de esa misma zona se observan vientos del noreste hasta de 5 m/s, que son acelerados por la

intrusión de masas de aire polar a través del Golfo de Tehuantepec y Centroamérica en esa época del año (Vogel, 1982).

Otra característica contrastante entre los meses de febrero y agosto es que durante este último se observa claramente el giro de los AS al cruzar el ecuador que se convierten en vientos del suroeste desde aproximadamente 94°N hasta la costa del continente. Por el contrario, en febrero, los vientos del suroeste justo al norte del ecuador están confinados a una pequeña región cercana a las costas de Sudamérica y son de baja intensidad.

En la tabla 4 se muestran algunas estadísticas sobre las observaciones utilizadas, los campos diarios, los campos mensuales, y los campos promedio para los meses de agosto y febrero. Las estadísticas son de 2 tipos: sobre los valores de las componentes del viento de los campos mensuales y campos promedio (columnas 1-4); y sobre los promedios y desviaciones estandar de las componentes del viento de los campos diarios y de las observaciones utilizadas en estos últimos (columnas 5-12).

En los promedios de las componentes de los campos mensuales resultantes se observa un valor pequeño de la componente v para los meses de febrero lo cual refleja la mayor intensidad y

extensión de los AN que tienden a compensar las componentes del sur de los AS durante febrero; en agosto se observa un promedio positivo para v de acuerdo a la mayor extensión e intensidad de los AS. Por otro lado, los promedios sobre todos los días del mes de los promedios de las componentes u y v de las observaciones, no reflejan la tendencia mencionada para las componentes de los campos resultantes, debido, tal vez, al ruido presente en dichas observaciones y a la desigualdad en su distribución.

Finalmente se observa que las desviaciones estandar son mayores para las componentes de las observaciones, disminuyen para los campos diarios al aplicar el MCS y decrecen aún mas para los campos mensuales, lo cual refleja el suavizado de las variaciones de los campos diarios al obtener el campo mensual.

3.3 Campos de Viento en 1977 y 1978

En la Fig. 14 se muestran las desviaciones porcentuales de la precipitación anual con respecto a los valores normales para cuatro regiones de la costa occidental de México desde 1976 a 1979; se muestra también, el número anual de perturbaciones tropicales (tormentas y huracanes) generadas en la zona del

Océano Pacífico oriental. Las desviaciones de precipitación se calcularon con los datos de las siguientes estaciones: Tapachula, Tonalá, y Salina Cruz (región S); Acapulco (región SW); Manzanillo, Puerto Vallarta, San Blas y Mazatlán (región W); La Paz y Guaymas (región NW).

En 1977 se observa una precipitación anómalamente baja, particularmente para las regiones sur y sudoccidental de la costa, y el número de perturbaciones (9) está por debajo del promedio anual (15) para esa zona (Gunther, 1980). En 1978, por el contrario, se observa un número anómalamente alto (21) de perturbaciones tropicales, mientras que la precipitación es cercana a lo normal, salvo para la región suroeste.

Debido a la ocurrencia de precipitación baja en 1977 y al número bajo y alto de perturbaciones tropicales en 1977 y 1978 respectivamente, se examinó la posición de la ZC en los meses de julio a octubre de 1977 y de mayo a octubre de 1978, este último período comprende la estación lluviosa y de generación de perturbaciones tropicales en el Pacífico Oriental.

Hastenrath (1976), encontró que durante la estación lluviosa de años anómalamente secos en la región de Centroamérica y el Caribe, la ZIC se localiza más al sur de su posición normal.

Mientras que Gray (1968) encontró que la frecuencia de generación de perturbaciones tropicales en el hemisferio norte es mayor cuando la ZC se encuentra mas separada del ecuador.

En las Figs. 15a y 15b se muestra la posición de la ZC (isolinia de $v=0$) para los meses de 1977 junto con la posición mensual promedio para 4 años. Se puede observar que la ZC se localiza al sur de su posición promedio únicamente en julio, con una separación máxima del orden de 6° de latitud a $105^\circ W$, mientras que en septiembre y octubre se localiza al norte del promedio, con una separación máxima de 2.5° a $120^\circ W$ en septiembre y del orden de 1° alrededor de $107^\circ W$ en octubre; en agosto la ZC se encuentra al sur de su posición promedio al oeste de $116^\circ W$ y al norte para longitudes al este de $116^\circ W$, siendo la separación máxima de aproximadamente 2° hacia ambos lados de la intersección de las dos isolinias. Los resultados de esta comparación no parecen mostrar las tendencias encontradas por Hastenrath (1976) y Gray (1968), debido, tal vez, a que un promedio de 4 años es poco representativo de la posición normal de la ZC y a que el número reducido de estaciones utilizado en el cálculo de las desviaciones de la precipitación puede estar sobrestimando la anomalía de precipitación. Sin embargo, la gran separación encontrada para julio podría constituir una indicación del desplazamiento hacia el sur de la ZC durante estaciones lluviosas

anómalamente secas.

Para el número anómalamente alto de perturbaciones tropicales registradas en 1978 se hizo una comparación igual a la de 1977 con la localización de la ZC. En junio y octubre de 1978 la posición de la ZC fue prácticamente igual que el promedio para esos meses, estando ligeramente al sur ($\sim 1^\circ$ de latitud) en junio entre aproximadamente 102° y 120° W; en mayo estuvo ligeramente al norte que el promedio, con una separación máxima del orden de 2.5° a 97° W; en julio y septiembre se localizó al norte con una separación máxima de 3° a 130° W en julio y de la misma magnitud para septiembre alrededor de 106° W. Por el contrario, en agosto se localizó al sur de la posición promedio, con una separación similar a la de julio alrededor de 110° W. Las posiciones para mayo, julio y agosto se presentan en la Fig. 16 y los meses de julio y agosto son particularmente contradictorios ya que son los 2 meses que presentan la mayor cantidad de perturbaciones tropicales en 1978, 5 y 6 respectivamente. Las separaciones de la ZC son pequeñas para los 6 meses considerados y podría ser que, al igual que en 1977, el promedio de 4 años no sea representativo de la posición normal de la ZC.

Por otra parte, la generación de perturbaciones tropicales en el Pacífico Oriental y su variación interanual no se pueden

explicar únicamente en base a la posición de la ZC; se deben considerar otros factores tales como: las anomalías de la temperatura superficial del océano, la circulación del Pacífico Suroriental, el corte vertical de la componente zonal del viento y el número de perturbaciones provenientes del Océano Atlántico (Short, 1976); ya que aunque la ZC no haya estado desplazada anómalamente hacia el norte, algunos de los factores anteriores pueden haber provocado las frecuencias anómalas observadas en 1977 y 1978.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se aplicó análisis objetivo mediante MCS para obtener los campos superficiales promedio de viento mensual en el período de julio de 1977 a junio de 1981 utilizando reportes de barcos mercantes. Los campos se calcularon para la región del Océano Pacífico oriental sobre una malla de 2° de lat./lon. y están disponibles para futuros estudios.

Para fines de comparación se calcularon los campos mensuales de viento utilizando 2 conjuntos diferentes de datos de entrada al MCS: a) las observaciones directas de los barcos para calcular campos diarios y promediando estos últimos para obtener un campo mensual y, b) calculando promedios mensuales de viento con 5 o más observaciones dentro de cuadrados de 2° de lat./lon. En base a una comparación visual entre los dos tipos de campos objetivos, así como una comparación mediante mapas de diferencias vectoriales y estadísticas básicas de cada tipo de campo objetivo con campos analizados subjetivamente, se pudo concluir que los campos del inciso (a) estiman mejor la situación real del viento superficial. Este resultado es consistente con el hecho de que

se incorpora mayor información utilizando las observaciones directamente en el cálculo de campos diarios; además, estos últimos ofrecen la posibilidad del estudio del viento superficial a escalas de tiempo más corto.

La concordancia entre los campos objetivos del inciso (a) y los campos subjetivos para los meses de febrero y agosto fue buena para la mayor parte del dominio analizado y mejor en febrero que en agosto. Sin embargo, se debe estudiar más detenidamente y mediante comparaciones con otros campos, las discrepancias encontradas para determinar que campos estiman mejor la situación real: los objetivos o los subjetivos.

En los campos de viento promedio, tanto para los 48 meses como para febrero y agosto, se identificaron características climatológicas de macroescala encontradas en otros trabajos (Vogel, 1982, Hastenrath y Lamb, 1978; Hastenrath, 1976). Se pudieron observar las variaciones de la circulación superficial entre el invierno y el verano del hemisferio norte, tanto para la región de la ZC como para la zona del anticiclón del Océano Pacífico.

No se encontró una correlación cualitativa entre la posición de la ZC y la anomalía de precipitación en 1977, así como tampoco

con el número anómalamente bajo y alto de perturbaciones tropicales durante 1977 y 1978 respectivamente, posiblemente debido a la poca representatividad de un promedio de 4 años. Sin embargo, la separación considerable ($\sim 6^\circ$ de latitud) de la ZC en julio de 1977 con respecto al promedio localizado más al norte, puede constituir evidencia de la relación entre la localización de la ZIC y la ocurrencia de condiciones anómalamente secas en la región de Centroamérica y el Caribe. Este tipo de correlaciones deben ser estudiadas más a fondo ya que eventualmente permitirían la predicción climática de anomalías de precipitación en la región mencionada (Hastenrath, 1976).

4.2 Recomendaciones

Algunas recomendaciones que se pueden mencionar para proseguir este estudio y futuras investigaciones son:

i) Tratar de incorporar más datos para el cálculo de los campos de viento mediante MCS, sobretodo en el hemisferio sur donde la densidad de observaciones es baja.

ii) Realizar una estimación estadística del error tomando en

cuenta los factores que afectan la precisión de los campos analizados objetivamente (Cadet y Reverdin, 1981). Esta estimación podría determinar las regiones de mayor validez de los campos.

iii) Comparar los campos obtenidos mediante MCS variando algunos de los parámetros utilizados, tales como: un campo inicial aproximado más representativo de las condiciones superficiales, las desviaciones máximas toleradas y radios de influencia a cada iteración (tabla 2).

iv) Obtener campos de divergencia, vorticidad y otros parámetros meteorológicos (temperatura del aire, temperatura superficial del océano, flujo de vapor, etc.) para poder realizar un estudio más completo de la interrelación de estos diferentes parámetros en las variaciones de precipitación y frecuencia de ocurrencia de perturbaciones tropicales.

BIBLIOGRAFIA

- Atkinson, G.D. y J.C. Sadler, 1970: Mean-Cloudiness and Gradient Level Winds over the Tropics. Tech. Rept. No. 215. Air Weather Service (MAC), U.S. Air Force, 22 pp.
- Barnett, T.P., 1977: The Principal Time and Space Scales of the Pacific Trade Wind Fields. *J. Atmos. Sci.*, 34(2), 221-236.
- Belousov, S.L., L.S. Gandin y S.A. Mashkovich, 1968: Computer Processing of Meteorological Data. Israel Program for Scientific Translations. Jerusalem, Israel, 210 pp.
- Bergthórsson, P. y B.R. Döös, 1955: Numerical Weather Map Analysis. *Tellus*, 7(3), 329-340.
- Cadet, D. y G. Reverdin, 1981: The Monsoon over the Indian Ocean during Summer 1975. Part I: Mean Fields. *Mon. Wea. Rev.*, 109(1), 148-158.
- Cressman, G.P., 1959: An Operational Objective Analysis System. *Mon. Wea. Rev.*, 87(10), 367-374.
- Goldenberg, S.B. y J.J. O'Brien, 1981: Time and Space Variability of Tropical Pacific Wind Stress. *Mon. Wea. Rev.*, 109(6), 1190-1207.
- Gray, W.M., 1968: Global View of the Origin of Tropical Disturbances and Storms. *Mon. Wea. Rev.*, 96(10), 669-700.
- Gunther, B.E., 1980: Eastern North Pacific Tropical Cyclones of 1979. *Mon. Wea. Rev.*, 108(6), 631-641.
- Hastenrath, S., 1976: Variations in Low-Latitude Circulation and Extreme Climatic Events in the Tropical Americas. *J. Atmos. Sci.*, 33(2), 202-215.
- Hastenrath, S. y P. Lamb, 1978: On the Dynamics and Climatology of Surface Flow over the Equatorial Oceans. *Tellus*, 30(5), 436-448.
- Holton, J.R., 1979: An Introduction to Dynamic Meteorology. 2a ed. A.P., Nueva York, 391 pp.

Mertins, H.O., 1976: Compendium of Lecture Notes in Marine Meteorology for Class III and Class IV Personnel. World Meteorological Organization. WMO-No. 434, 222 pp.

Nieuwolt, S., 1977: Tropical Climatology. John Wiley. Londres. 207 pp.

O'Brien, J.J., 1981: The Future for Satellite-Derived Surface Winds. *Oceanus*, 24(3), 27-31.

Reverdin, G., 1980: La Mousson Indienne D'Ete: Etude de la Circulation dans les Basses Couches de l'Atmosphere. Tesis Doctoral. L'Universite Pierre et Marie Curie (Paris 6), 223 pp.

Riley, D. y L. Spolton, 1981: World Weather and Climate. 2a ed. Cambridge Univ. Press. Cambridge, Inglaterra, 127 pp.

Roll, H.U., 1965: Physics of the Marine Atmosphere. A.P., Nueva York, 426 pp.

Roll, H.U., 1972: Problem Areas in Air-Sea Interaction, In Studies in Physical Oceanography (Wust 80th birthday tribute, Ed. A.L Gordon), Publ. por Gordon y Breach, Vol.1, 63-72.

Short, K.S., 1976: Recent Tropical Storm Climatology in the Eastern Tropical Pacific Ocean and some Applications. Tesis de Maestria, Oregon State Univ., 62 pp.

Tripoli, G.J. y T.N. Krishnamurti, 1975: Low-level Flows over the GATE Area during Summer 1972. *Mon. Wea. Rev.*, 103(3), 197-216.

Vogel, G., 1982: A Climatology of the Surface Wind Field, its Divergence and the ITCZ over the Eastern Tropical Pacific Ocean. Tesis de Maestria, Florida State Univ., 93 pp.

Willebrand, J., 1978: Temporal and Spatial Scales of the Wind Field over the North Pacific and North Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 8(11), 1080-1094.

Wyrтки, K. y G. Meyers, 1976: The trade Wind Field over the Pacific Ocean. *J. Appl. Met.*, 15(7), 698-704.

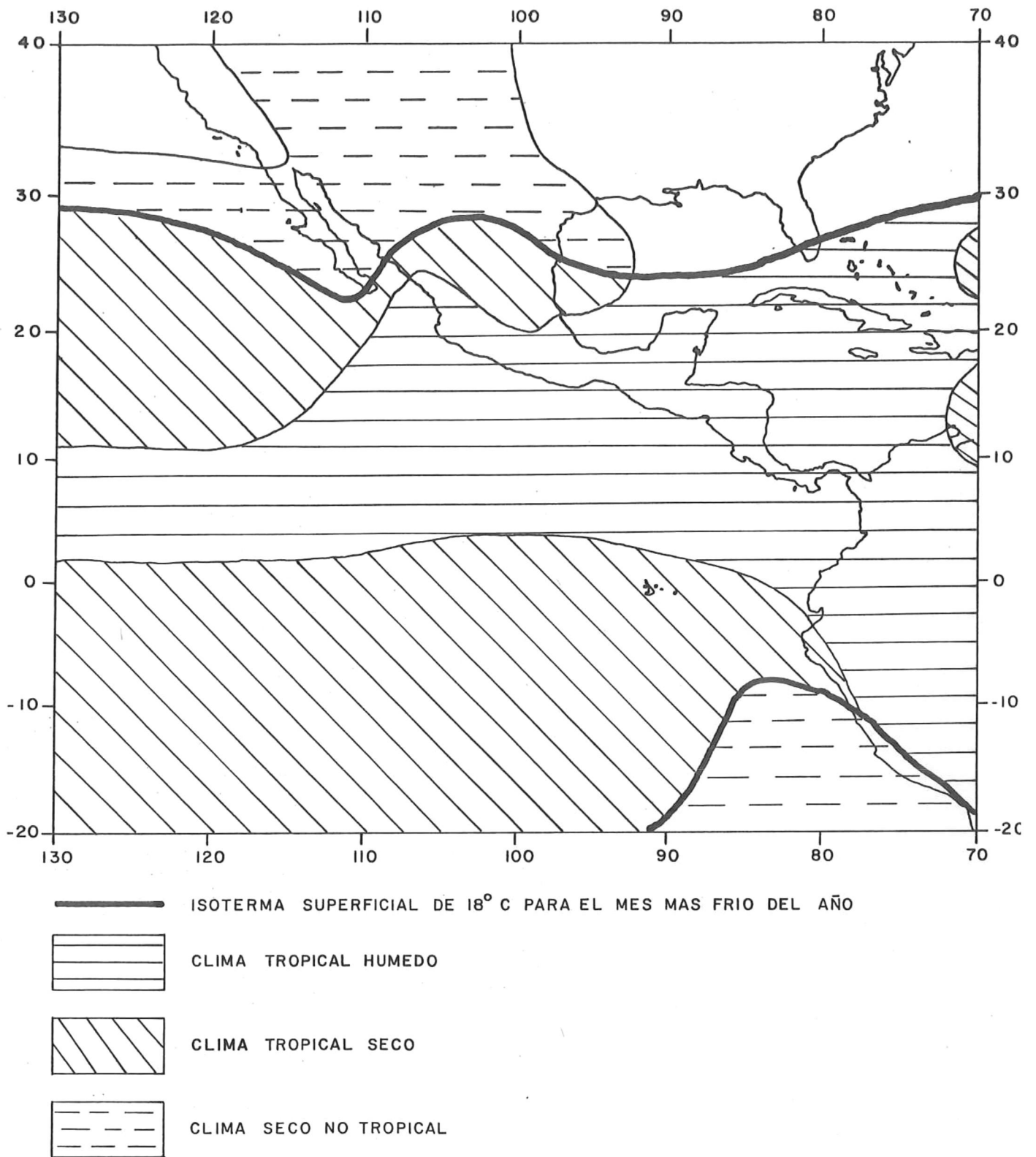


Fig. 1 Area de estudio y zonas climatológicas que comprende (Según Nieuwolt, 1977).

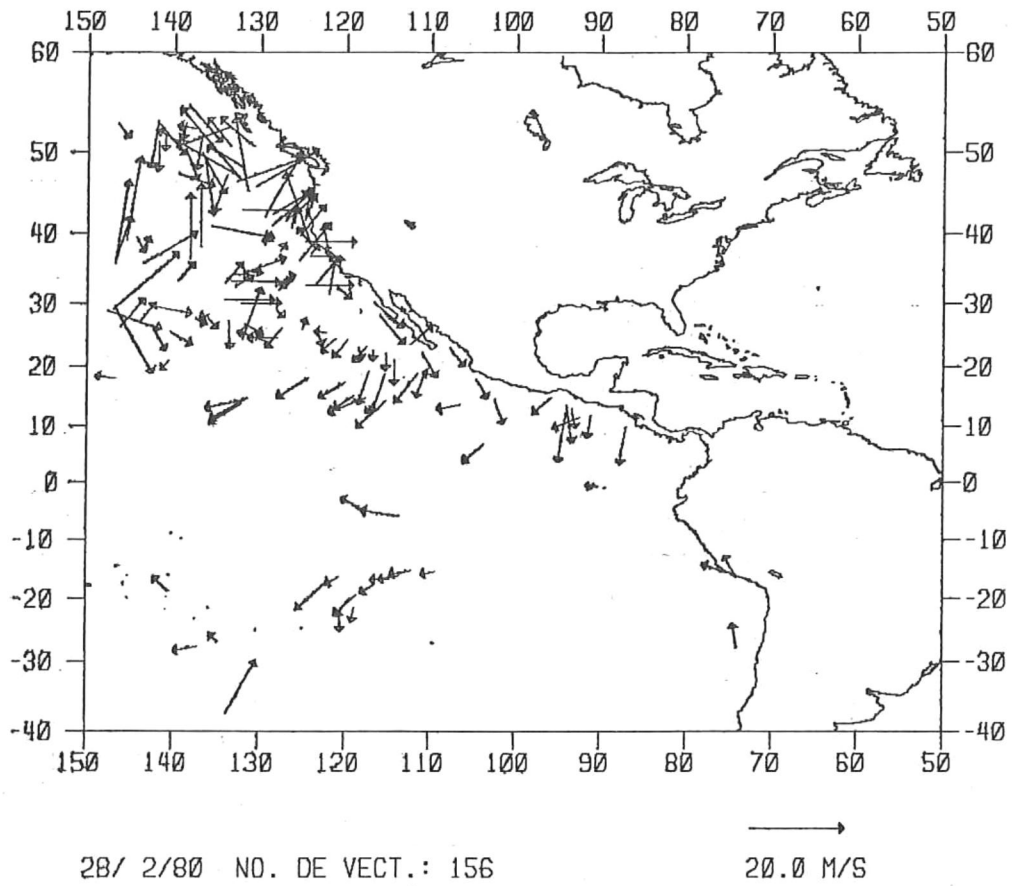


Fig. 2 Mapa con observaciones de un día típico

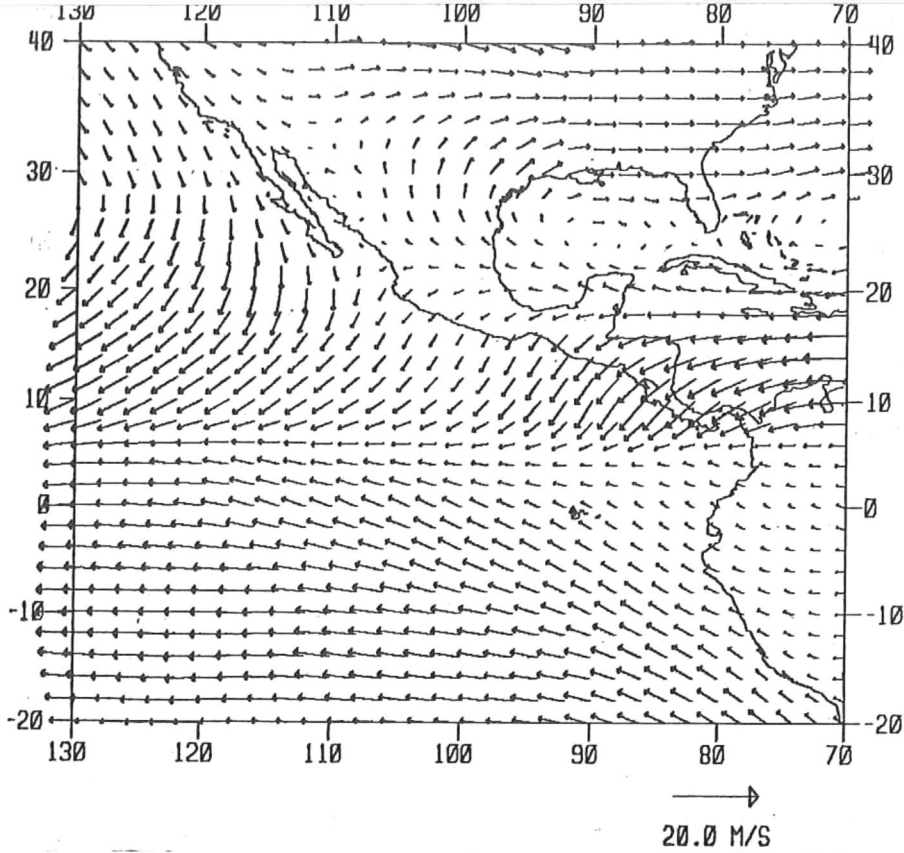


Fig. 3a Campo de viento climatológico del mes de febrero.

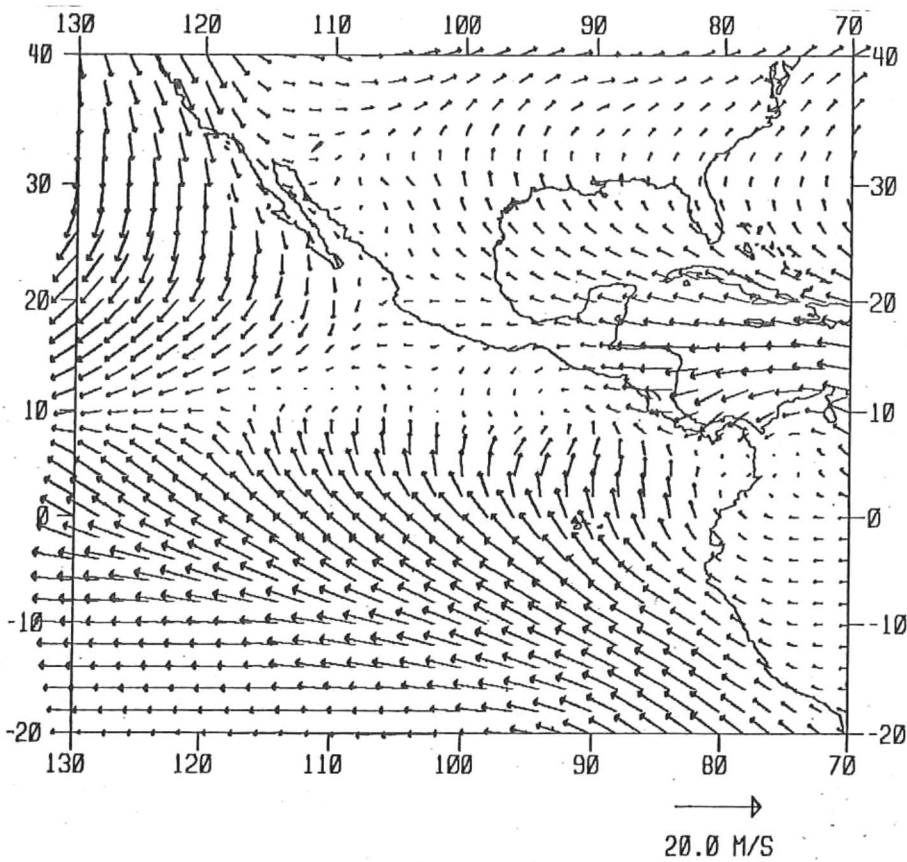


Fig. 3b Campo de viento climatológico del mes de agosto.

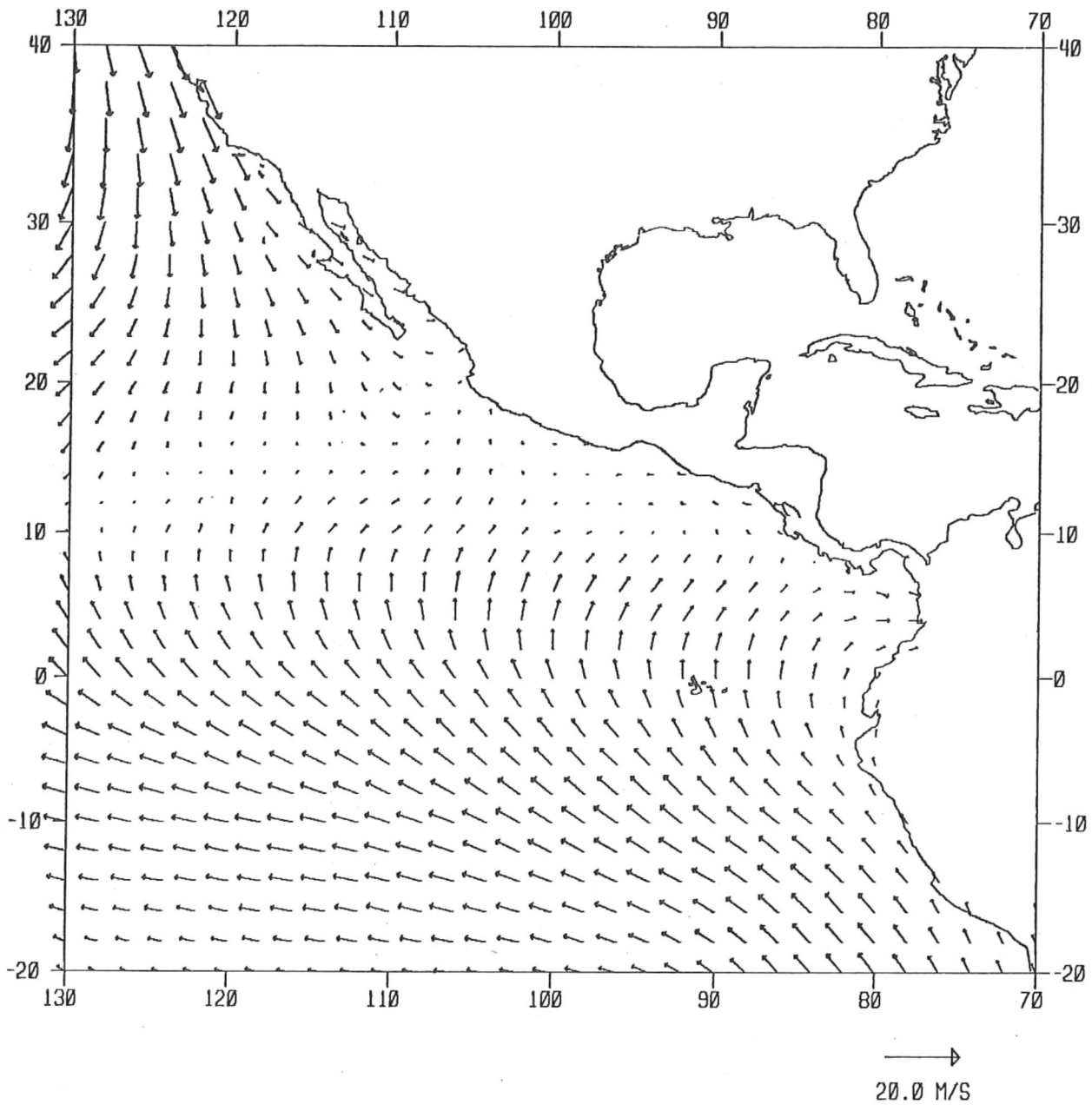


Fig. 4a Campo objetivo (caso a) de viento superficial en agosto de 1980.

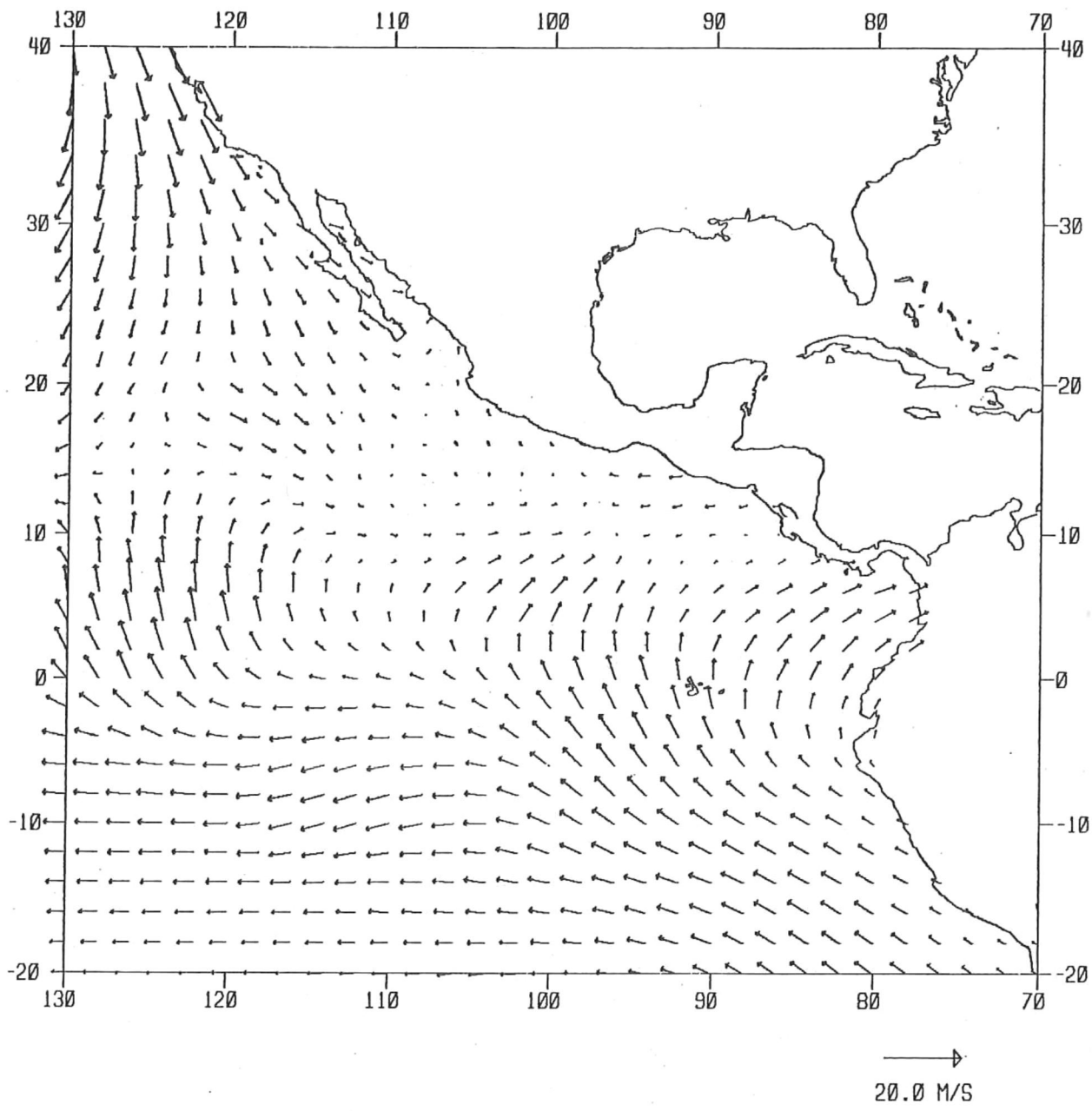


Fig. 4b Campo objetivo (caso b) de viento superficial en agosto de 1980.

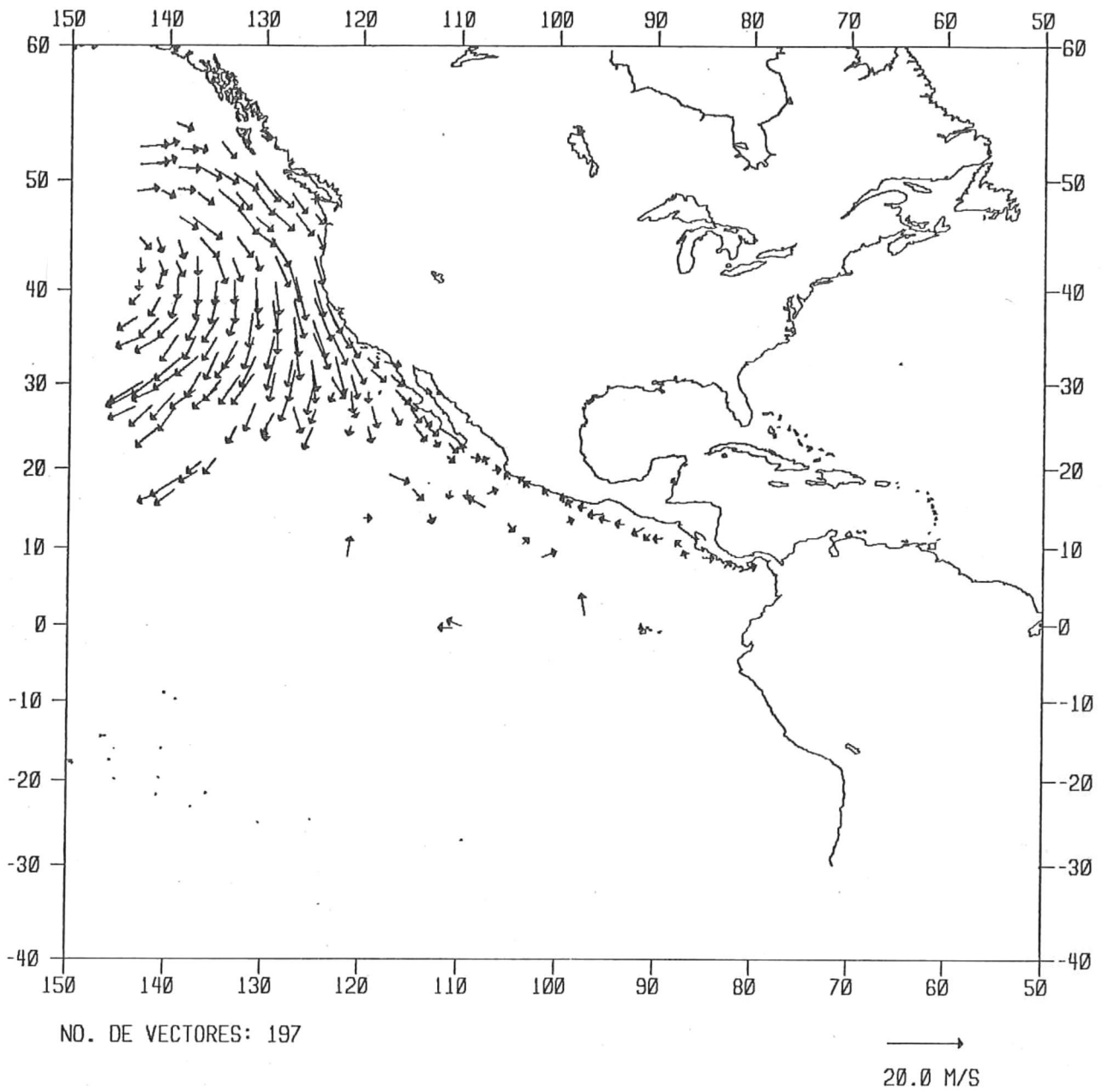


Fig. 5 Promedios de viento superficial en agosto de 1980.

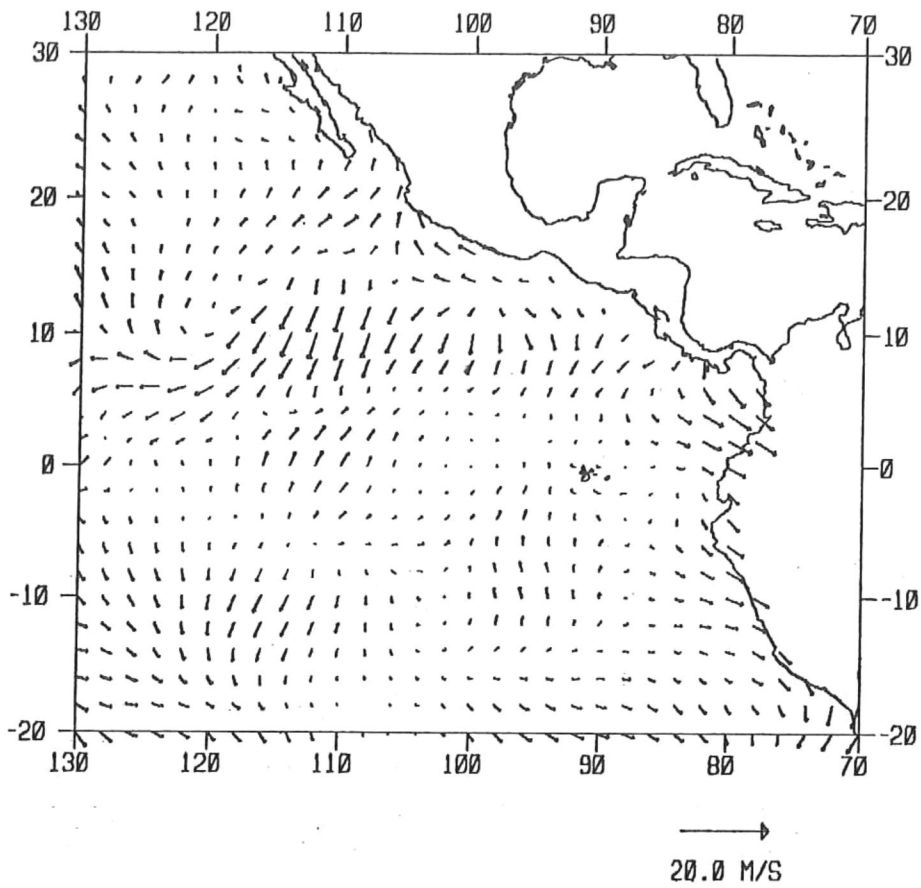


Fig. 6a Diferencias vectoriales entre el campo objetivo (caso a) y el campo subjetivo en agosto de 1978

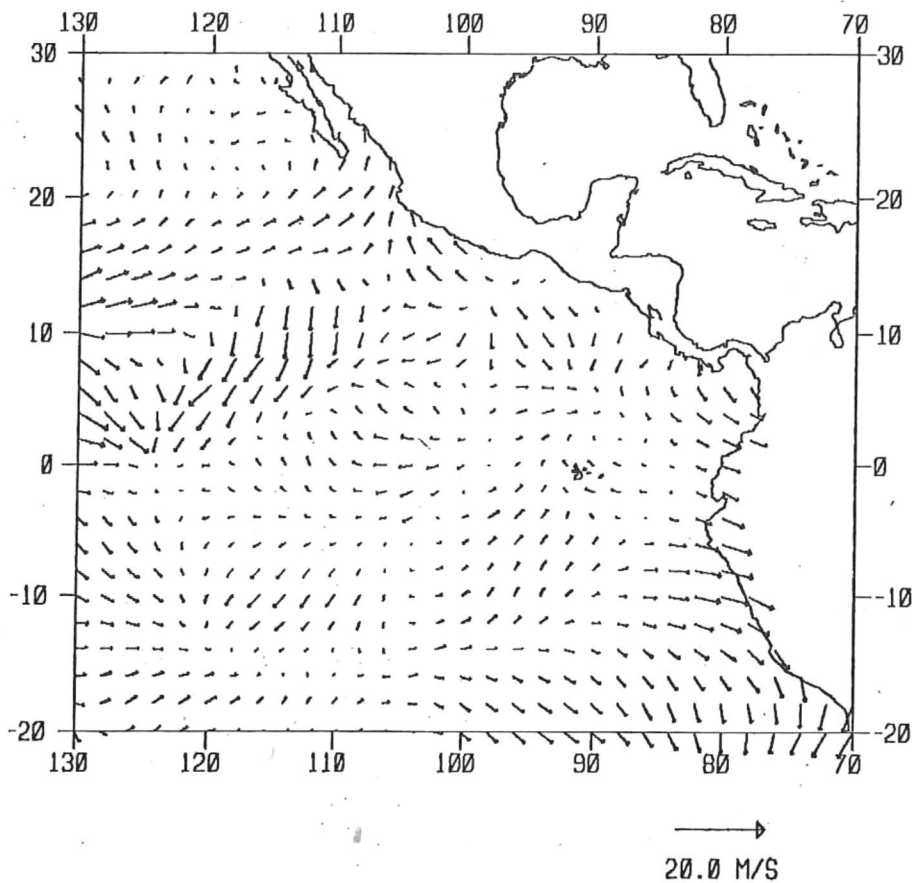


Fig. 6b Diferencias vectoriales entre el campo objetivo (caso b) y el campo subjetivo en agosto de 1978

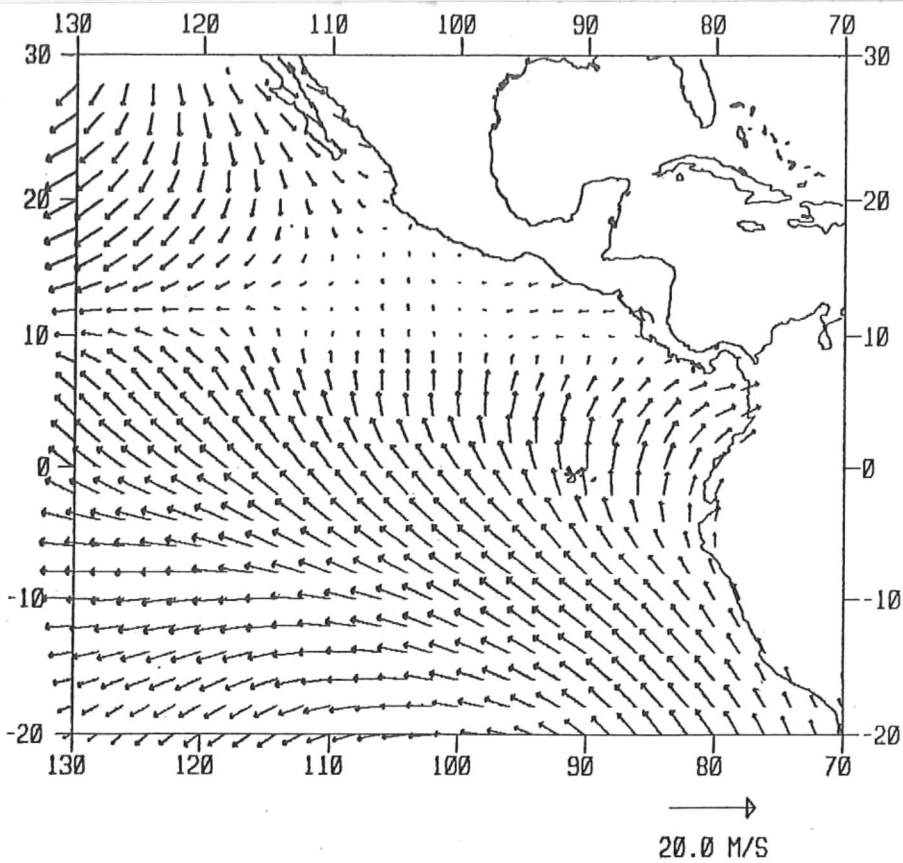


Fig. 7a Campo objetivo (caso a) de viento superficial en agosto de 1978.

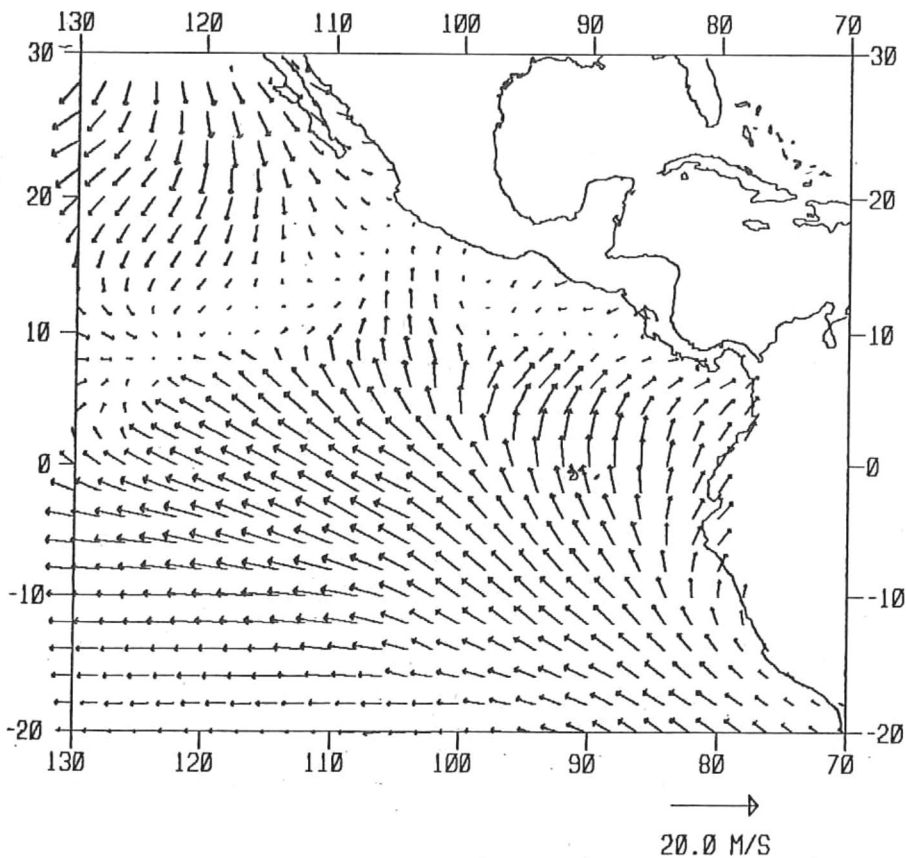


Fig. 7b Campo objetivo (caso b) de viento superficial en agosto de 1978.

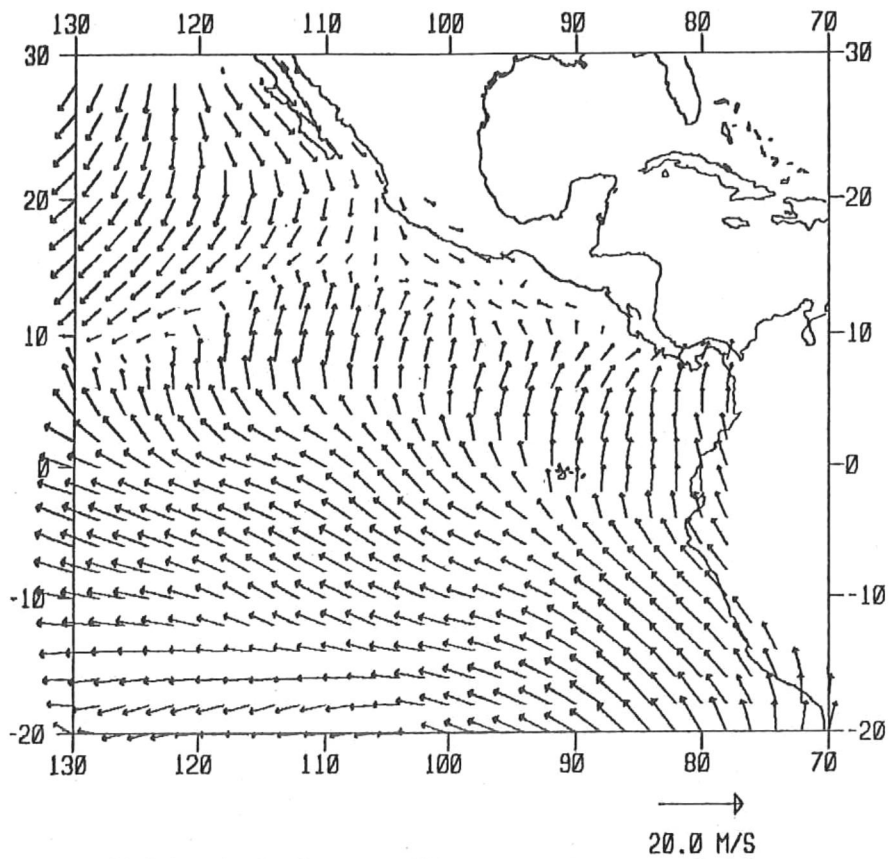


Fig. 7c Campo subjetivo de viento superficial en agosto de 1978.

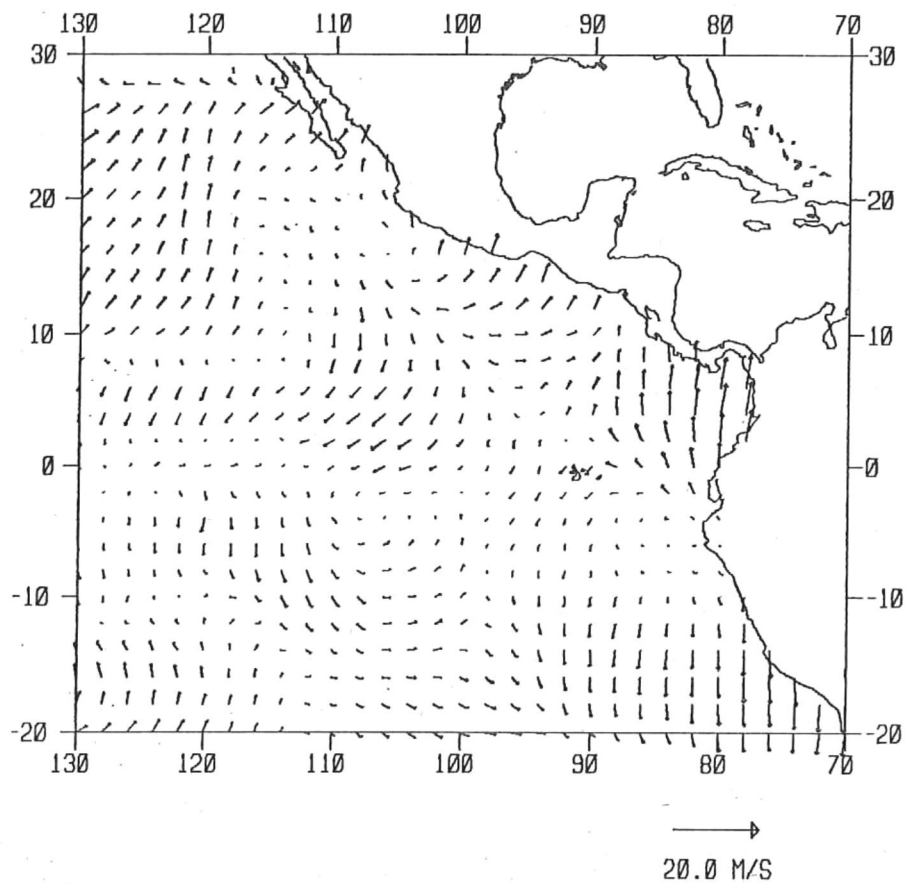


Fig. 8 Diferencias vectoriales entre el campo objetivo (caso a) y el campo subjetivo en febrero de 1980.

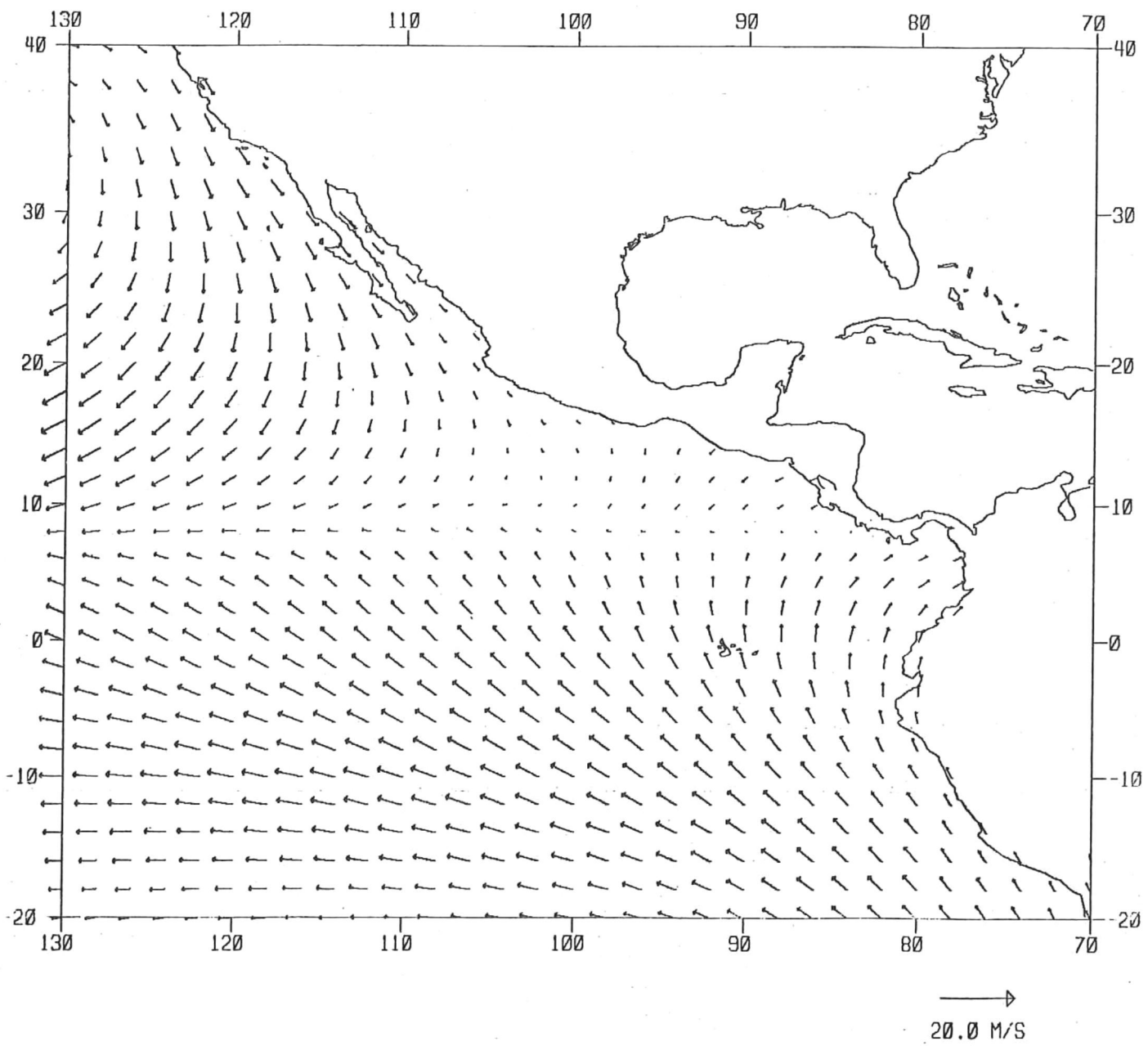


Fig. 9 Campo superficial de viento promedio para 48 meses (julio de 1977 a junio de 1981).

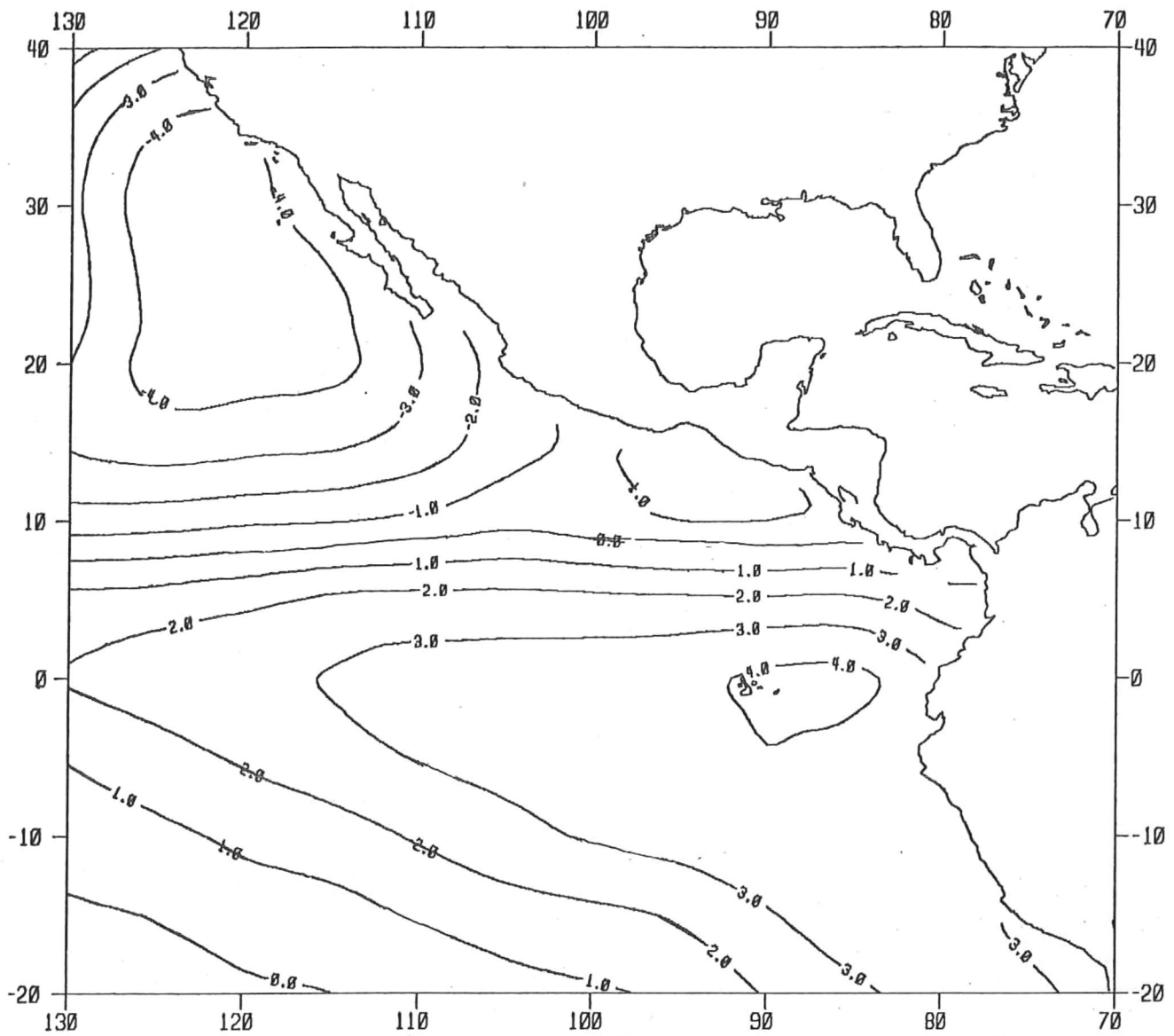


Fig. 10 Isolines de la componente v para el campo de viento promedio.

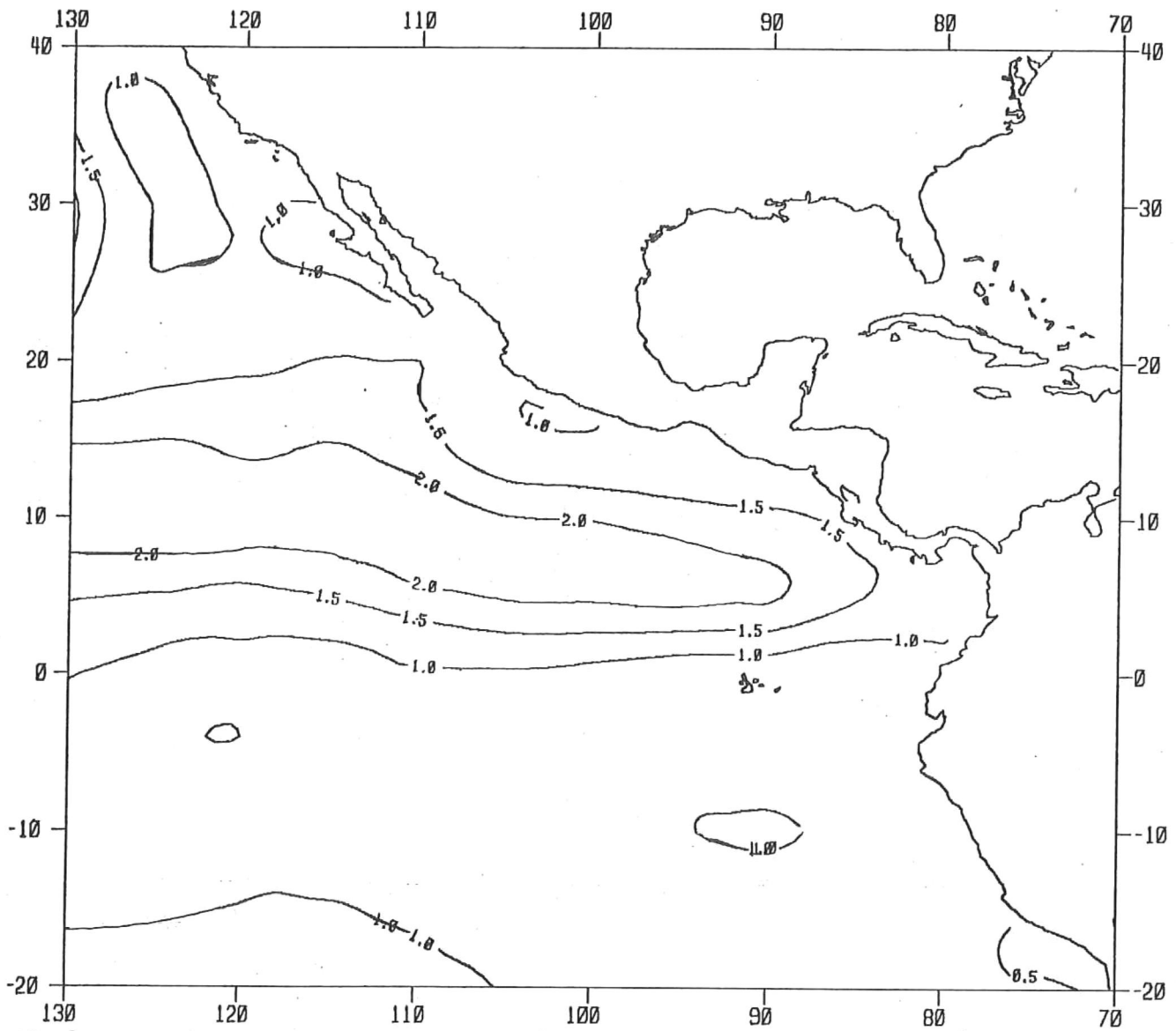


Fig. 11a Isolneas de la desviación estandar de la componente u del campo de viento promedio.

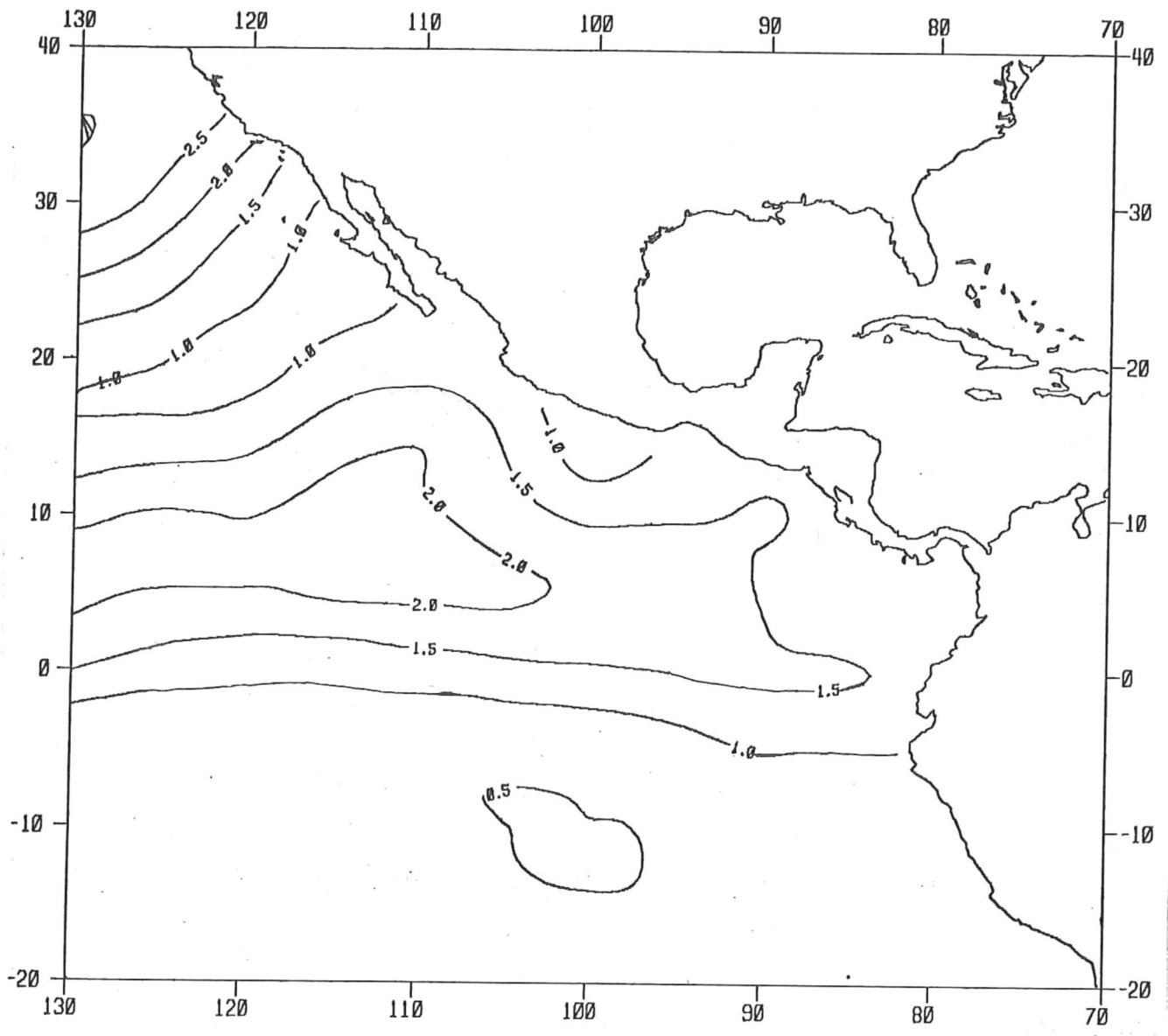


Fig. 11b Isolneas de la desviación estandar de la componente v del campo de viento promedio.

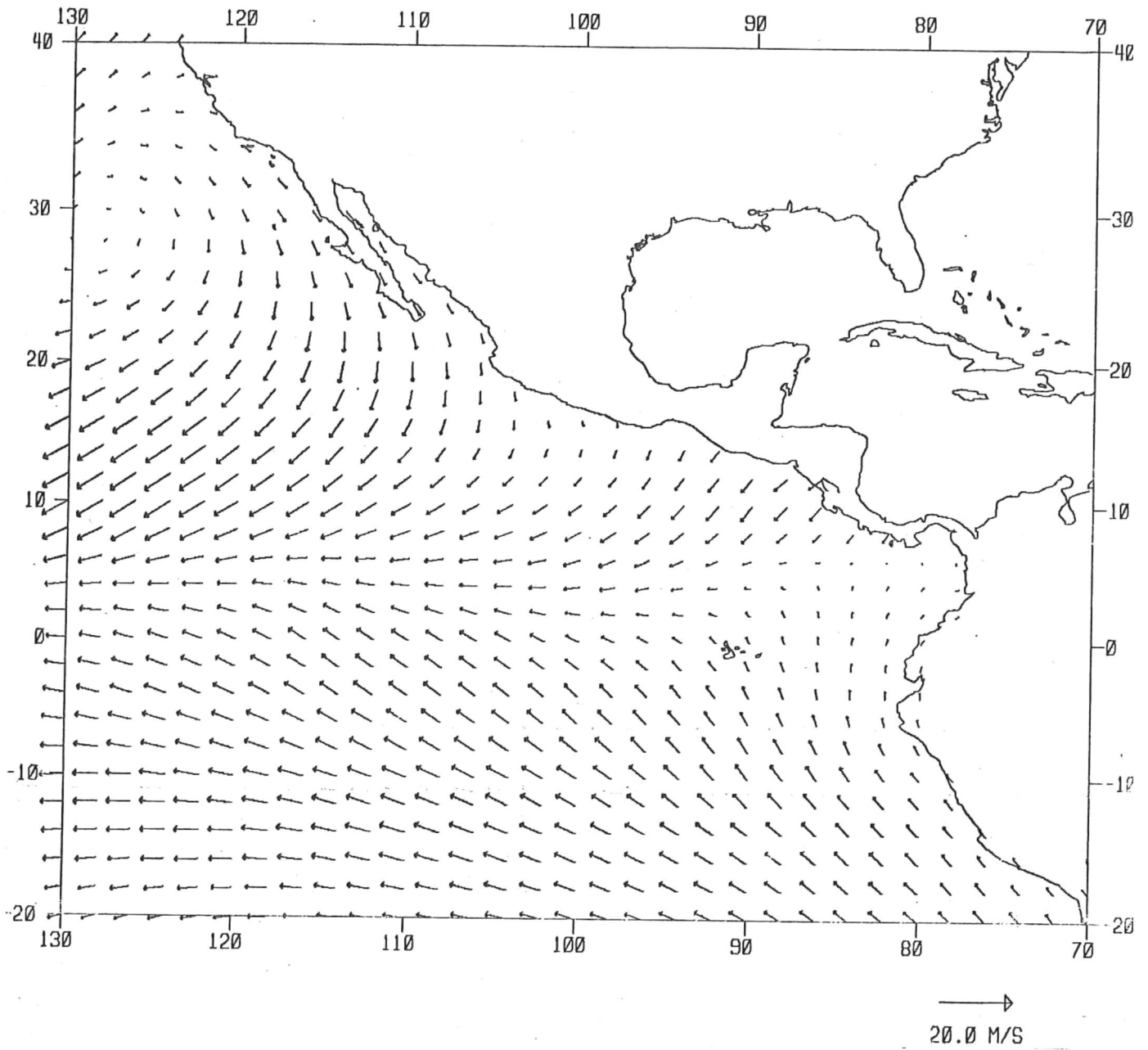


Fig. 12a Campo de viento promedio del mes de febrero (1978-1981).

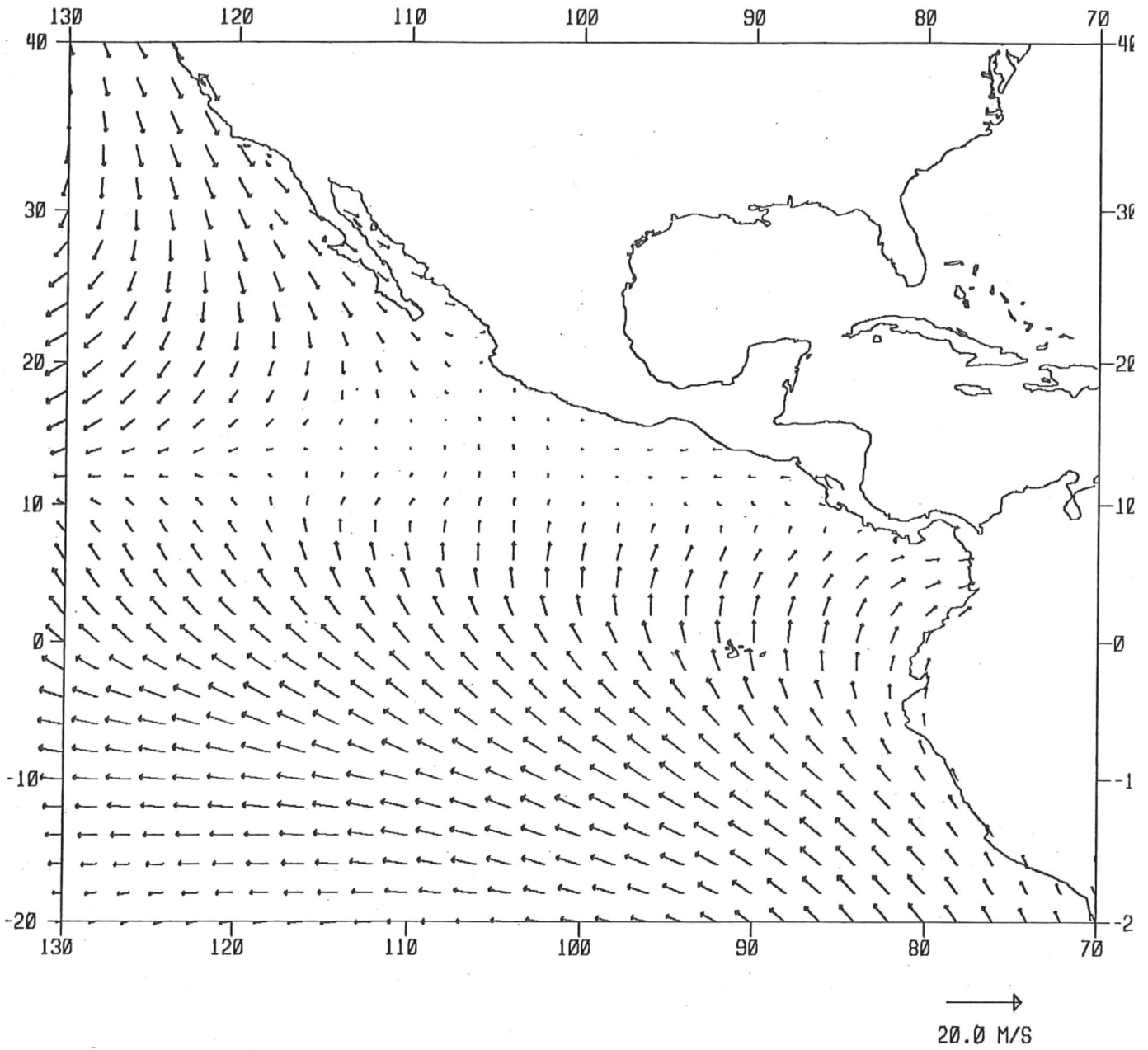


Fig. 12b Campo de viento promedio del mes de agosto (1977-1980).

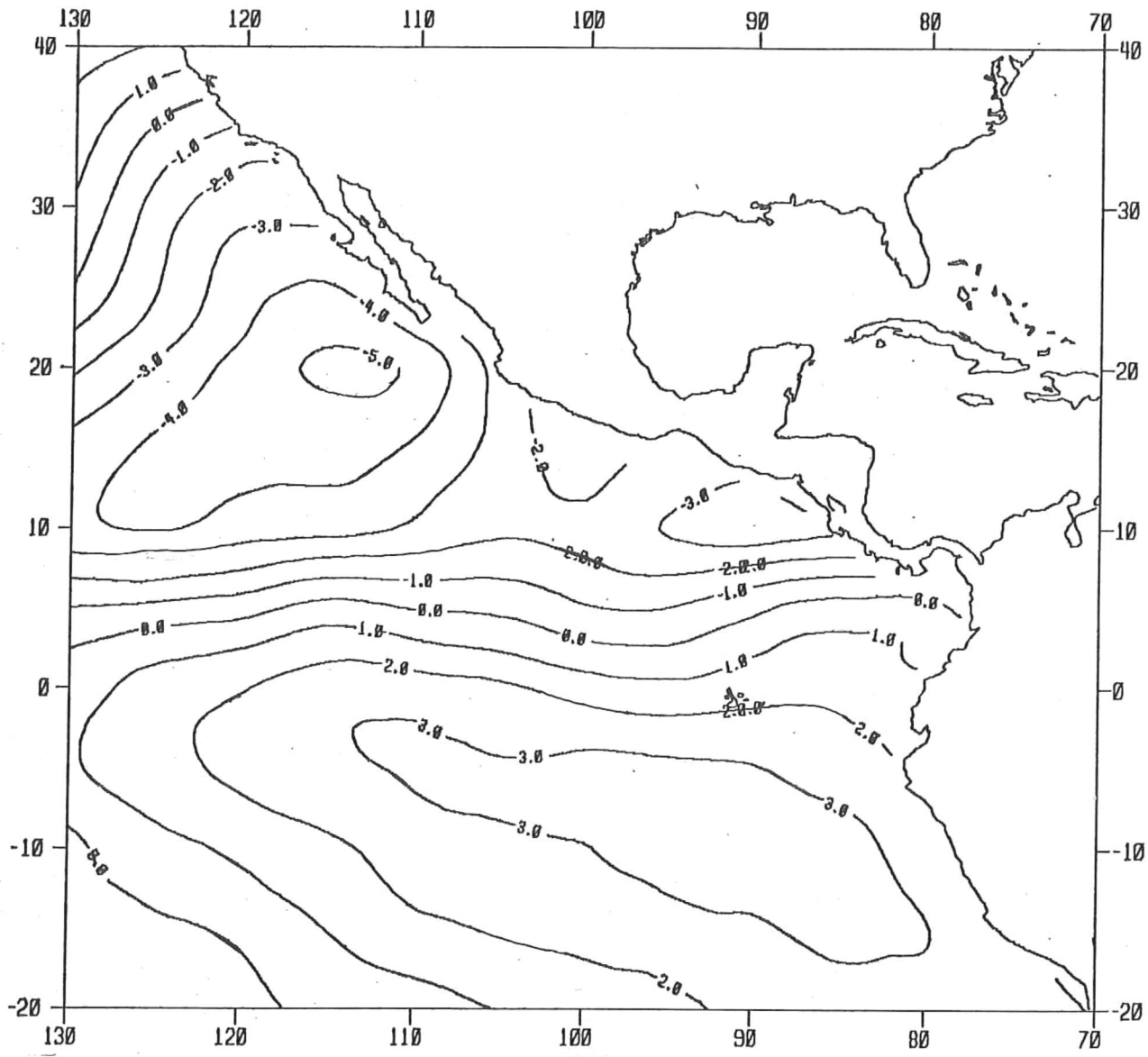


Fig. 13a Isolneas de la componente v para el campo de viento promedio del mes de febrero.

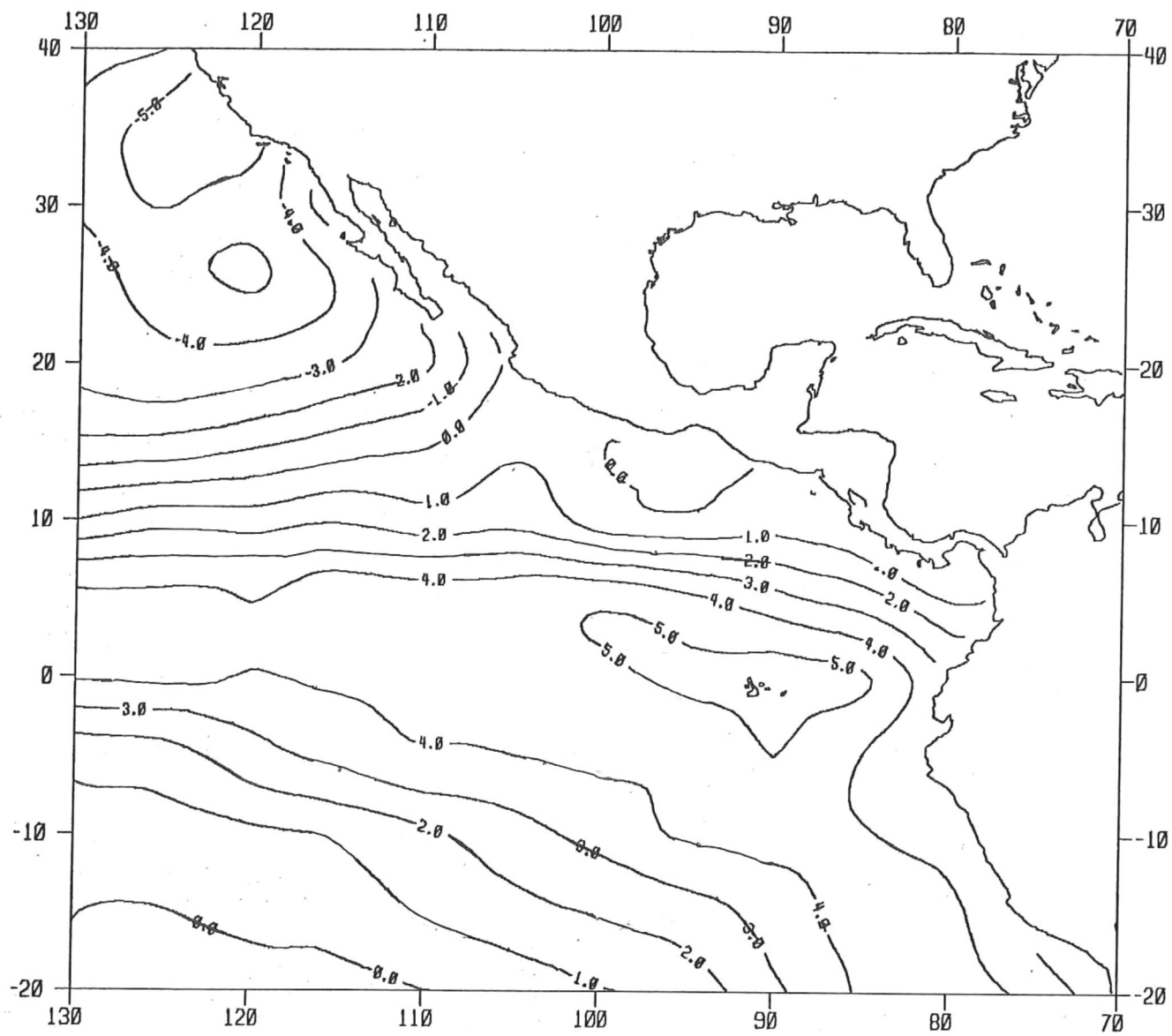


Fig. 13b Isolneas de la componente v para el campo de viento promedio del mes de agosto.

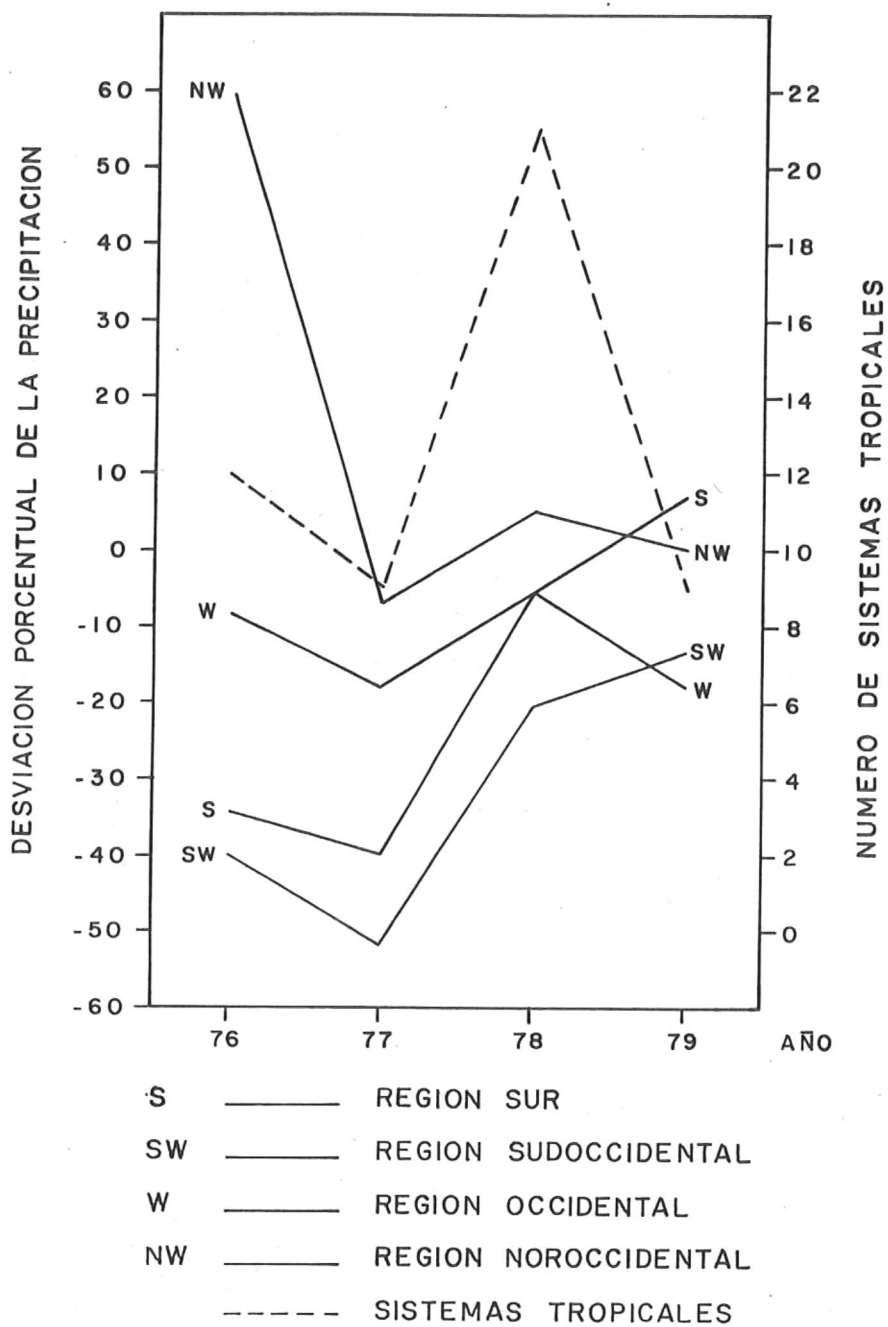


Fig. 14.- Desviaciones porcentuales de la precipitación en cuatro regiones de la costa occidental mexicana y número de perturbaciones tropicales en los años de 1976 a 1979.

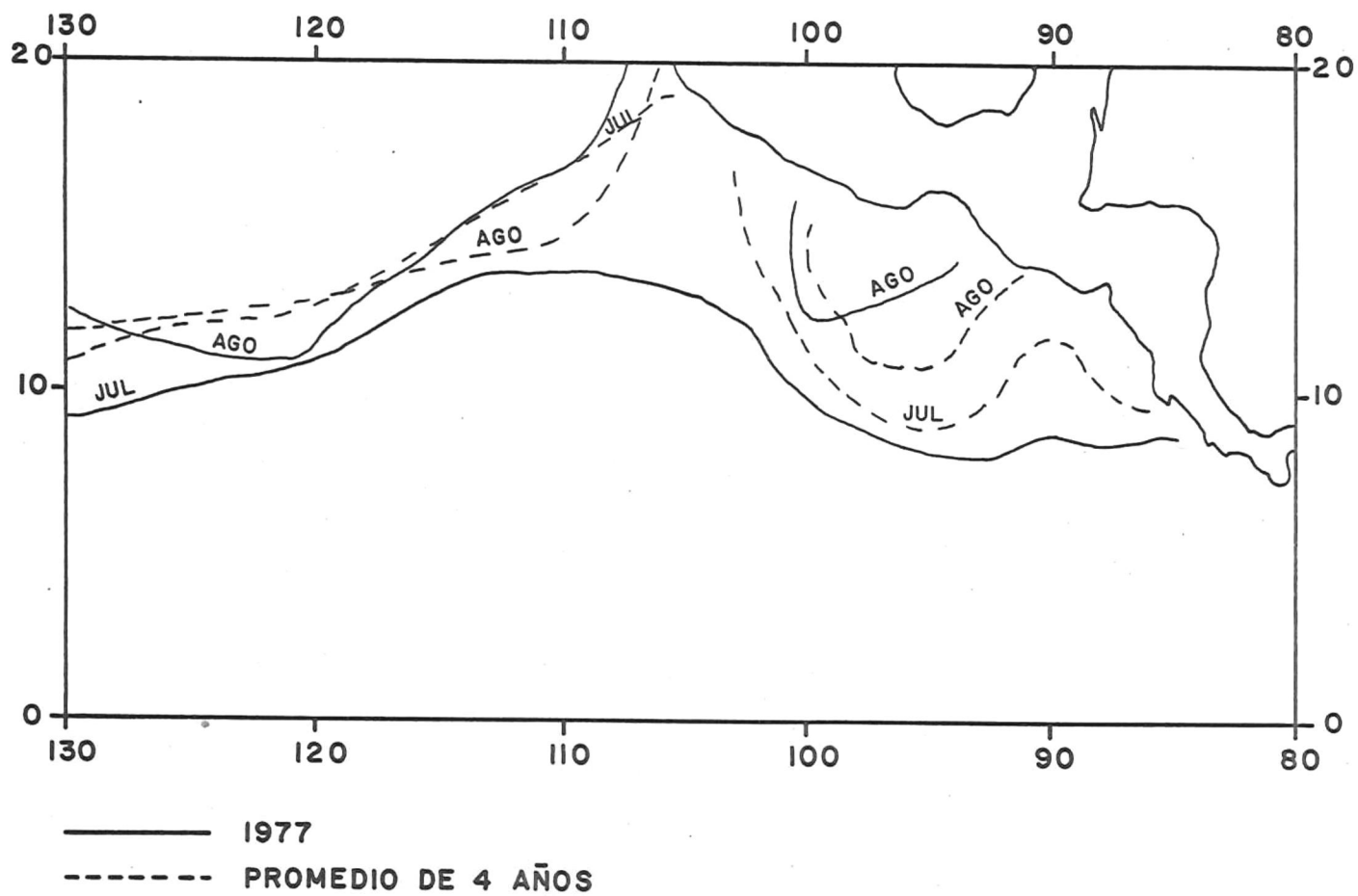


Fig. 15a Localización de la zona de confluencia del viento en los meses de Julio y Agosto de 1977 y para el promedio de los mismos meses.

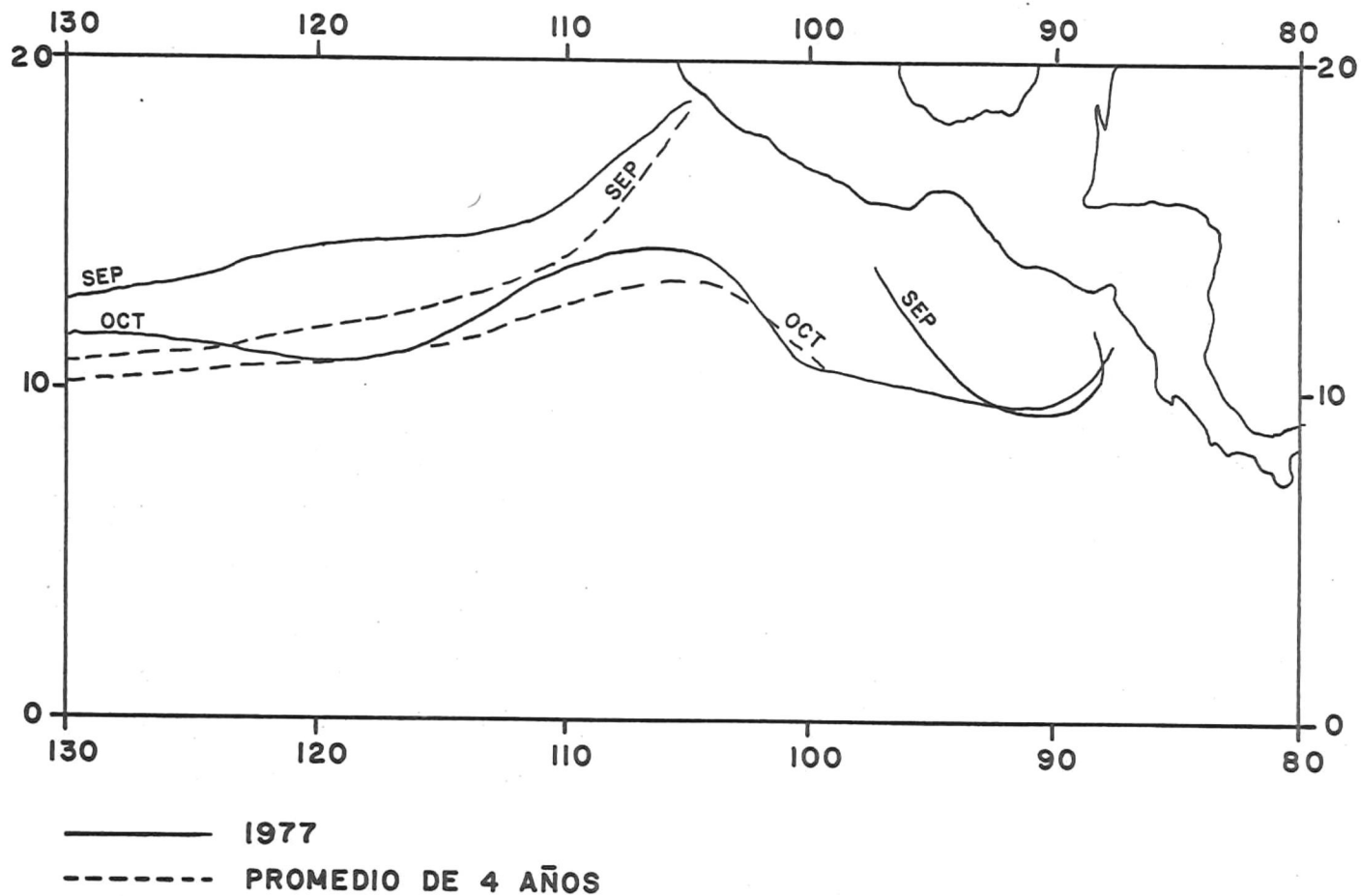


Fig. 15b.- Localización de la zona de confluencia del viento en los meses de julio y agosto de 1977 y para el promedio de los mismos meses.

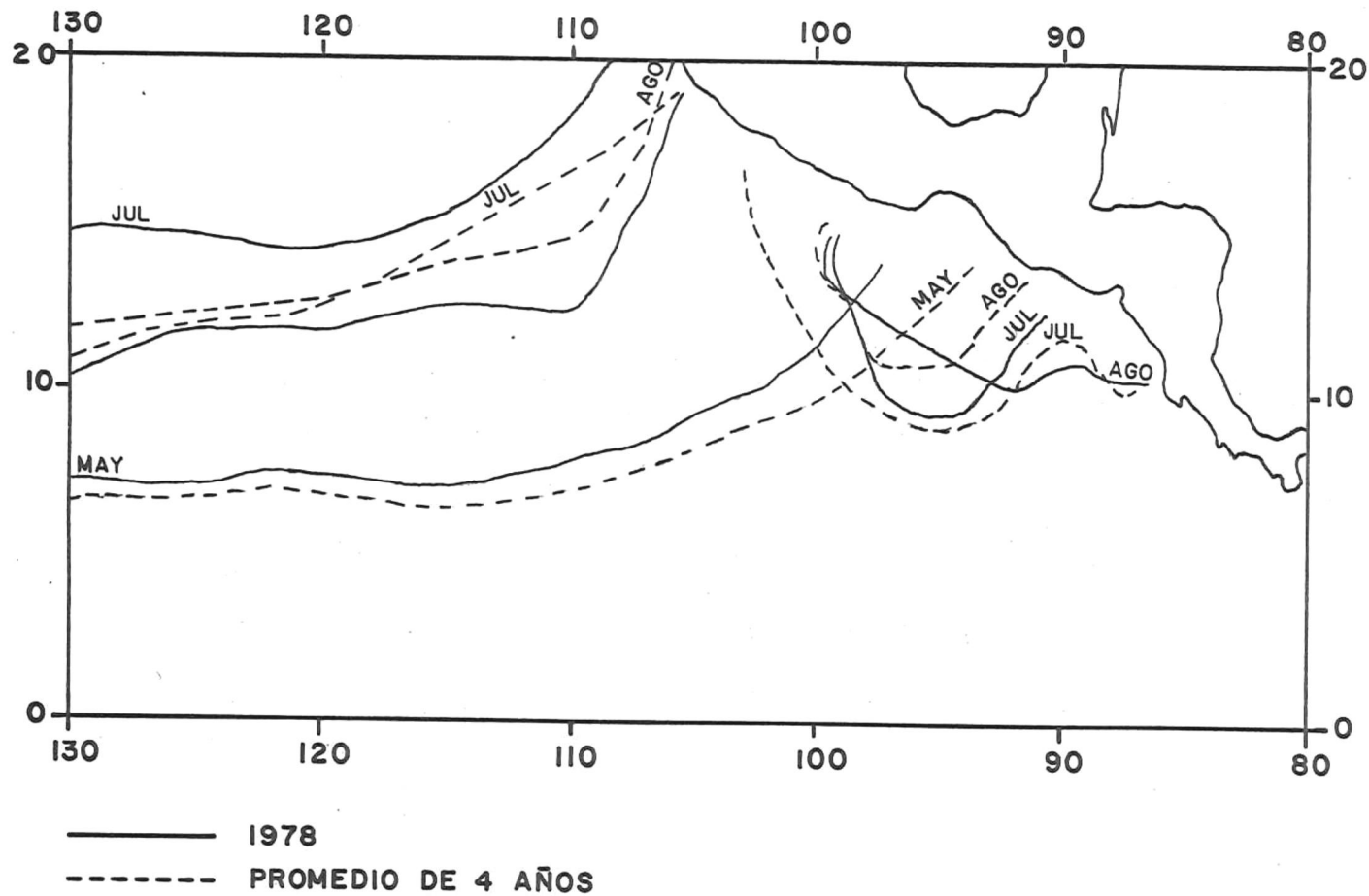


Fig. 16.- Localización de la zona de confluencia del viento en los meses de mayo, julio y agosto de 1978 y para el promedio de los mismos vientos.

MES Y AÑO	\hat{N}	S_N	D (EN U.M.)	D (EN KM)
JUNIO 1977	197	18.8	1.66	369.8
MAYO 1978	154	21.4	1.89	418.3
MARZO 1979	126	25.8	2.08	462.4

UNIDAD DE MALLA (U.M.) = 2° DE LATITUD

Tabla No. 1.- Promedios diarios de observaciones (\hat{N}), su desviación estandar (S_N), y la separación promedio de las observaciones (D), para tres meses del período de estudio.

ITERACION	1	2	3	4
DESVIACIONES MAXIMAS (M/S)	30.0	20.0	15.0	10.0
RADIO DE INFLUENCIA	5 D	4 D	3 D	2 D

Tabla No. 2.- Desviaciones máximas toleradas y radios de influencia para cada iteración.

MES Y AÑO	VIENTO SUBJETIVO (M/S)				VIENTO OBJETIVO (CASO A) (M/S)						VIENTO OBJETIVO (CASO B) (M/S)					
	\bar{U}	\bar{V}	S_u	S_v	ϵ_u	ϵ_v	\bar{U}	\bar{V}	S_u	S_v	ϵ_u	ϵ_v	\bar{U}	\bar{V}	S_u	S_v
AGOSTO 1977	-3.7	2.9	3.8	3.3	1.5	1.5	-3.6	2.1	3.2	2.9	1.8	2.3	-3.4	1.7	3.5	3.2
FEBRERO 1978	-4.3	0.2	2.6	3.5	1.2	1.5	3.8	-0.1	2.1	2.4	1.4	2.0	-3.7	-0.5	2.0	2.2
AGOSTO 1978	-3.6	1.9	3.5	3.4	1.5	1.7	-3.4	1.5	3.1	2.8	2.2	1.8	-2.8	1.4	3.4	2.7
FEBRERO 1979	-4.6	0.1	2.5	3.8	1.2	1.8	-3.9	0.1	2.1	2.9	1.9	2.3	-3.3	-0.9	2.3	2.8
AGOSTO 1979	-2.7	2.7	3.5	3.6	1.8	1.9	-2.4	1.7	2.8	2.5	2.1	2.8	-2.1	1.8	3.0	2.7
FEBRERO 1980	4.1	0.3	2.4	3.6	1.2	2.1	3.7	0.2	2.1	2.2	1.4	2.6	-3.6	0.7	2.0	1.7
PROMEDIO DE 7/77 A 6/80	-3.6	1.2	3.2	3.7	1.6	1.7	3.1	0.8	2.7	2.6						

Tabla No. 3.- Estadísticas básicas y comparativas para los campos subjetivo y objetivos.

MES Y AÑO	ESTADÍSTICAS SOBRE LOS CAMPOS MENSUALES Y CAMPOS PROMEDIO				ESTADÍSTICAS SOBRE LOS PROMEDIOS Y DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS OBSERVACIONES Y CAMPOS DIARIOS							
	\bar{U} m/s	\bar{V} m/s	S_u m/s	S_v m/s	\bar{S}_u m/s	\bar{S}_v m/s	\bar{U}_o m/s	\bar{V}_o m/s	\bar{S}_{u_o} m/s	\bar{S}_{v_o} m/s	\hat{N}	S_N
AGOSTO 1977	-3.2	1.7	3.4	3.1	4.1	3.9	-0.3	-0.6	4.6	5.3	184	26.4
FEBRERO 1978	-3.4	-0.1	2.5	2.4	3.4	3.5	0.0	1.1	6.4	6.6	156	16.4
AGOSTO 1978	-3.0	1.1	3.3	3.1	4.1	3.4	0.8	-0.9	5.2	5.1	153	18.2
FEBRERO 1979	-3.5	0.0	2.6	2.8	3.5	3.8	0.6	-1.0	6.5	6.3	127	36.7
AGOSTO 1979	-2.1	1.3	2.9	2.8	4.0	3.9	0.2	-1.2	4.3	4.8	159	21.9
FEBRERO 1980	-3.3	0.3	2.4	2.2	3.5	3.3	-0.1	1.3	6.4	6.1	171	20.4
AGOSTO 1980	-2.1	1.2	3.0	3.0	3.8	3.8	0.4	-2.9	5.1	5.2	154	28.5
FEBRERO 1981	-3.8	0.1	2.7	2.7	3.6	3.6	-0.6	-0.3	6.2	6.1	150	37.5
FEBRERO PROMEDIO 1978 - 1981	-3.5	0.1	2.5	2.5	PROMEDIO DE LAS DES- VIACIONES ESTANDAR DE LAS COM- PONENTES DE LOS CAM- POS DIARIOS	PROMEDIO DE LOS PROMEDIOS Y DESVIACIONES ESTANDAR DE LAS COMPONENTES DE LAS OBSERVACIONES UTILIZADAS EN EL MES	NUMERO PROMEDIO DE OBSERVACIONES DIARIAS Y SU DESVIACION ESTANDAR					
AGOSTO PROMEDIO 1977 - 1980	-2.6	1.3	3.0	2.9								
CAMPO PROMEDIO 1977 - 1981	-2.8	0.6	2.7	2.6								

Tabla No. 4.- Estadísticas sobre los campos mensuales, promedio, y diarios; y sobre las observaciones utilizadas.