

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS MARINAS

OCEANOLOGIA

CAMPO DE AGUA PRECIPITABLE ATMOSFERICO Y FLUJO SUPERFICIAL
TOTAL DE VAPOR DE AGUA SOBRE EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL,
NORTE AMERICA Y CENTRO AMERICA DE MAYO A SEPTIEMBRE DE 1979

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O

PRESENTA

David Octavio Villalobos Fierro

ENERO 85

BIBLIOTECA CENTRAL ENSENADA

CAMPO DE AGUA PRECIPITABLE ATMOSFERICO Y FLUJO SUPERFICIAL
TOTAL DE VAPOR DE AGUA SOBRE EL OCEANO PACIFICO ORIENTAL,
NORTE AMERICA Y CENTRO AMERICA DE MAYO A SEPTIEMBRE DE 1979.

TESIS

QUE PRESENTA

David Octavio Villalobos Fierro

APROBADA POR



H. C. René Pinet Plasencia.

Presidente del jurado



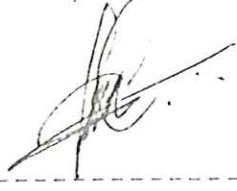
H. C. Adolfo González Calvillo.

Sinodal propietario



Oc. Modesto Ortiz Figueroa.

Sinodal propietario



H. C. Sergio Reyes Coca.

Sinodal suplente



Oc. René de la Paz Vela.

Sinodal suplente

Con amor y cariño

A mi padre Luis Villalobos Guerrero de quien guardo un hermoso recuerdo.

A mi querida madre Sra. Rebeca Fierro de Villalobos, ejemplo patente de lucha y esfuerzo constante ante las adversidades de la vida, que me enseñó que existen derrotas y victorias que se les debe hacer frente con fe e insistencia.

Por su gran cariño y apoyo que siempre me ha brindado a lo largo de mi vida, le dedico este humilde trabajo que es insignificante comparado a lo que me ha dado.

A mis hermanos ; Luis, Lorena, Carlos, Jaime y Javier compañeros y verdaderos amigos que han seguido el camino a mi lado proporcionándome todo apoyo y confianza.

A mis familiares y amigos.....

Con amor y cariño

A mi novia Olga Elena, colega inseparable a lo largo de mis últimos años de estudio compañera de contiendas y batallas que siempre está a mi lado.

A los padres de mi novia Sr. Constantino Ramírez y Sra. Felicitas Siqueiros de Ramírez.

A Carlitos

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al personal del grupo de Meteorología del CICESE su ayuda en la elaboración de esta tesis, muy especialmente al M.C. Sergio Reyes Coca por su dirección y orientación en el trabajo sin lo cual no hubiera sido posible su realización; al Sr. Enrique García, por su participación en la elaboración de las figuras, al Ing. Hector Santos y al Sr. Javier García que contribuyeron de alguna u otra forma en la realización de éste trabajo.

Asimismo quiero agradecer a los Srs. Abel Álvarez Ayala y Sergio Ramos por su cooperación al facilitarme el material de dibujo.

Agradezco a todos los compañeros del CICESE y ESCM que de alguna forma ayudaron en la realización de éste trabajo, especialmente a mis compañeros Olga Elena Ramírez Siqueiros y Víctor Rivera Alcántara por sus valiosos comentarios y contribuciones.

A los sinodales del comité de tesis que revisaron el escrito y dirigieron el examen profesional, agradezco sus valiosas sugerencias y correcciones al texto, y su comprensión y ayuda en todo el proceso para la presentación del examen.

Agradezco de una forma muy particular a mis padres Sr. Luis Villalobos Guerrero y Sra. Rebeca Fierro de Villalobos, así como a mis hermanos Luis, Lorena, Carlos, Javier y Jaime por toda su ayuda y afecto que me han dado durante mi vida.

Esta tesis se desarrolló en el grupo de Meteorología del Departamento de Oceanografía Física del CICESE. Esta tesis forma parte del proyecto METEOROLOGIA DE CENTRO AMERICA Y MEXICO, financiado por CONACYT bajo el proyecto No. PCECBNA-021026.

RESUMEN

Se examina la estructura espacial y la evolución temporal del promedio mensual del agua precipitable en tres diferentes niveles atmosféricos de Presión; Nivel I de la superficie a los 700 mb; nivel II de los 700 a los 500 mb; y nivel III de los 500 a los 300 mb; sobre el Océano Pacífico Oriental, Norte América, Centro América y parte oeste del Océano Atlántico. El análisis se basa en datos obtenidos cada 12 hrs a partir del primero de Mayo al quince de Septiembre de 1979. El paquete de datos de satélite Tiros-II, radiosondeo y cobertura de nubes son analizados objetivamente sobre una malla regular de 2 grados de latitud por 2 grados de longitud, dando campos de agua precipitable uniformemente distribuidos. Estos datos se combinan con los campos de agua precipitable obtenidos a partir de los datos del nivel III-b del Primer Experimento Mundial del Tiempo (PEIT), obteniendo los campos de agua precipitable finales. La estructura y evolución del agua precipitable sobre los océanos es similar para los tres diferentes niveles. Se observa que las principales regiones de mayor contenido de agua precipitable a través de los tres diferentes niveles se localizan a lo largo de un cinturón zonal entre los 0 y 15 grados N sobre el Océano Pacífico, asociado a la posición de la zona de convergencia tropical, mientras que sobre la tierra los valores más altos se localizan en la zona del Amazonas. El efecto conjunto de la variación mensual latitudinal de la zona de máxima radiación solar y la orografía que presenta el continente, son los factores que explican el rompimiento de la zonalidad del agua precipitable que se presenta sobre el continente, aumentando el contenido de agua precipitable hacia el Norte durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, retornando hacia el sur durante Septiembre. En el nivel I el contenido de agua precipitable se ve fuertemente concentrado, siendo del orden de tres veces mayor que en el nivel II y del orden de diez veces mayor que en el nivel III, mostrando el efecto orográfico de los sistemas montañosos de ambos hemisferios, caracterizados por dos gradientes simétricos con valores bajos de agua precipitable. En el nivel II y III sobre el continente se muestran los fenómenos de convectividad y elevación de masas de aire asociados al campo de viento. Se encuentran zonas altamente convectivas en la parte media oeste de la República Mexicana, al Norte de Colombia y masas de agua del Océano Pacífico, adyacentes a estas regiones. Se analiza el flujo superficial total de vapor de agua alrededor de la República Mexicana, a través de 10 segmentos. Se encuentra que conforme avanza el verano el flujo se incrementa transportando gran contenido de humedad, principalmente a través de los transectos del límite sur, este y noreste, indicando al Mar Caribe, Golfo de México y vertiente del Pacífico de Centro América como las fuentes principales de vapor de agua.

INDICE

CAPITULO I

1	INTRODUCCION.....	1
1.1	.- Introducción.....	1
1.2	.- Area de estudio.....	3
1.3	.- Antecedentes.....	6
1.4	.- Objetivos.....	8

CAPITULO II

2	DATOS Y METODO DE ANALISIS.....	10
2.1	.- Datos del satélite Tiros-II.....	10
2.2	.- Datos de cobertura de nubes.....	14
2.3	.- Datos de radiosondeo.....	15
2.4	.- Analisis objetivo.....	17
2.5	.- Datos del nivel III-B.....	19
2.6	.- Mezcla de datos.....	21
2.7	.- Confiabilidad de los campos de AP finales.....	23
2.8	.- Flujo superficial total de vapor de agua.....	28

CAPITULO III

3	RESULTADOS.....	30
3.1	.- Evolución de los campos de agua precipitable.....	30
a)	Nivel I (superficie-700 mb).....	30
b)	Nivel II (700-500 mb).....	37
c)	Nivel III (500-300 mb).....	46
3.5	.- Flujo superficial total de vapor de agua.....	54

CAPITULO IV

4	DISCUSIONES.....	59
---	------------------	----

CAPITULO V

	CONCLUSIONES.....	72
	RECOMENDACIONES.....	75
	BIBLIOGRAFIA.....	77

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.- Area de estudio del Campo de Agua Precipitable.....4
Atmosférico
- Figura 2.- Diagrama que muestra el procedimiento general.....11
para la obtención de los campos finales de Agua
Precipitable Atmosféricos.
- Figura 3.- Datos de Agua Precipitable (mm) obtenidos a través.....12
del satélite Tiros-II para el nivel I (superficie-700 mb)
para el 1ro. de Mayo de 1979 a las 12:00 TIG.
- Figura 4.- Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm).....13
usando los datos del satélite Tiros-II para el
nivel I (superficie-700 mb) para el 1ro. de Mayo
de 1979 a las 12:00 TIG.
- Figura 5.- Digitalización de cobertura de nubes para.....16
el 1ro. de Mayo de 1979. Para el nivel I
(superficie-700 mb). Los círculos muestran áreas
convectivas con un 90% de humedad.
- Figura 6.- Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm) usando.....20
los datos obtenidos a través del análisis
objetivo para el nivel I (superficie-700 mb)
para el 1ro. de Mayo de 1979 a las 12:00 TIG.

- Figura 7.- Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm) usando.....22
los datos del nivel III-o (PENT) para el nivel I
(superficie-700 mb) para el 1ro. de Mayo de 1979
a las 12:00 THG.
- Figura 8.- Distribución gaussiana de las ponderaciones24
asignadas a los datos del análisis objetivo y del
nivel III (PENT) durante el proceso de mezcla.
(Reproducido de Cadet, 1983).
- Figura 9.- Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm) final.....25
obtenido después del proceso de mezcla para el nivel I
(superficie-700 mb) para el 1ro. de Mayo de 1979 a las
12:00 THG.
- Figura 10.- Gráfica de los datos de radiosondeo de.....27
Agua Precipitable contra los datos obtenidos después
del proceso de mezcla. Para el nivel I (superficie-700 mb)
y la relación de las cantidades estadísticas para los
tres niveles.
- Figura 11.- Mapa que muestra las diferentes secciones.....29
donde se calculó el Flujo Superficial Total de Vapor
de Agua.

- Figura 18.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....41
del campo de Agua Precipitable (mm) para el mes de Junio.
Nivel II (700-500 mb).
- Figura 19.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....42
del campo de Agua Precipitable (mm) para el mes de Julio.
Nivel II (700-500 mb).
- Figura 20.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....44
del campo de Agua Precipitable (mm) para el mes de Agosto.
Nivel II (700-500 mb).
- Figura 21.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....45
del campo de Agua Precipitable (mm) para el 1 al 15 de
Septiembre. Nivel II (700-500 mb).
- Figura 22.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....47
del campo de Agua Precipitable (mm) para el mes de Mayo.
Nivel III (500-300 mb).
- Figura 23.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....49
del campo de Agua Precipitable (mm) para el mes de Junio.
Nivel III (500-300 mb).

Figura 24.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....	50
del campo de Agua Precipitable (mm) para el mes de Julio. Nivel III (500-300 mb).	
Figura 25.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....	52
del campo de Agua Precipitable (mm) para el mes de Agosto. Nivel III (500-300 mb).	
Figura 26.- Promedio mensual (a) y desviación estandar (b).....	53
del campo de Agua Precipitable (mm) para el 1 al 15 de Septiembre. Nivel III (500-300 mb).	
Figura 27.- Series de tiempo del Flujo Superficial Total.....	55
de Vapor de Agua alrededor de la República Mexicana. Para los segmentos meridionales (1,2,3, 6,7 y 8) y los segmentos zonales (4,5,9 y 10). Las unidades son ($\times 10^5$ kg/m s).	

LISTA DE ACRONIMOS

Agua Precipitable	AP
Centro Europeo de Predicción del Tiempo	CEPT
Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada	CICESE
Meteorología de Centro América y México	MECEMEX
Océano-Atmósfera-Tierra	OAT
Océano Pacífico Oriental	OPO
Primer Experimento Mundial del Tiempo	PEMT
Tiempo del Meridiano de Greenwich	TMG

CAPITULO I

1 INTRODUCCION

1.1 .- Introducción

El conocimiento cualitativo y cuantitativo de las componentes del ciclo hidrológico del sistema Océano-Atmósfera-Tierra (OAT), sobre una región determinada es de gran importancia en muchas ramas de la Geofísica. El camino hacia tal conocimiento ha sido obstruido por mediciones inadecuadas de los procesos involucrados, es por esto que las ciencias geofísicas han demandado programas especiales de observación. En Oceanografía y Meteorología se han empezado a realizar una serie de programas de observación para obtener un conocimiento más amplio de los procesos que se llevan a cabo en el sistema Océano-Atmósfera. Es así que importantes programas como el Primer Experimento Mundial del Tiempo (PEMT), cuyas siglas en inglés son (FGGE/GARP), que se realizó durante 1979, ha sido uno de los proyectos científicos más grandes y complejos que hasta ahora se haya llevado a cabo con la participación de los países que forman la Organización Meteorológica Mundial. Durante este experimento se observó

por primera vez casi la totalidad de la atmósfera terrestre y la superficie del mar simultáneamente y a escala sinóptica.

México, como miembro de la organización Meteorológica Mundial, a través del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), ha iniciado una serie de estudios de macroescala en la región del Océano Pacífico Oriental (OPO), Norteamérica y Centroamérica dentro del proyecto de investigación "Meteorología de Centroamérica y México" (MECENEX) del grupo de Meteorología. En este programa, el estudio de las características del vapor de agua presente en la atmósfera, es de gran importancia para el entendimiento total y global de la energía involucrada en el ciclo hidrológico y sus repercusiones en la Meteorología y Climatología de esta región del continente. El contenido de vapor de agua se puede obtener de diferentes formas, una de estas formas es obtener el agua precipitable (AP), que se define como la cantidad de agua líquida (volumen por unidad de área) que se obtendría si se condensara el vapor de agua atmosférico presente en una columna de aire sobre una área de base unitaria (Viswanadham, 1981).

En este capítulo se da una introducción, planteando la importancia del problema así como algunos trabajos relacionados con éste. Se describe el área de estudio y se plantean los objetivos. En el capítulo II se da una descripción de los datos y los métodos utilizados en esta tesis. En el capítulo III se describen los resultados del agua precipitable para tres diferentes niveles atmosféricos así como del flujo superficial total de vapor de agua que se obtuvo alrededor de la República Mexicana. En el capítulo IV se discuten los resultados haciendo énfasis en las regiones del Océano Pacífico Oriental, República Mexicana, Centro América, Golfo de México, Mar Caribe y zona del Amazonas. En el capítulo V se presentan las conclusiones y se indican algunas recomendaciones para ampliar más este trabajo.

1.2 .- Area de estudio

El área de estudio considerada para la obtención de los campos de agua precipitable atmosféricos está comprendida entre las siguientes coordenadas geográficas: de los 20 grados S a los 40 grados N, de los 140 grados W a 50 grados W (Fig. 1). Esta región comprende parte del sur de los Estados Unidos de Norte América, la República Mexicana, Centro América y la parte Norte de América del Sur, así como una gran extensión del Océano Pacífico

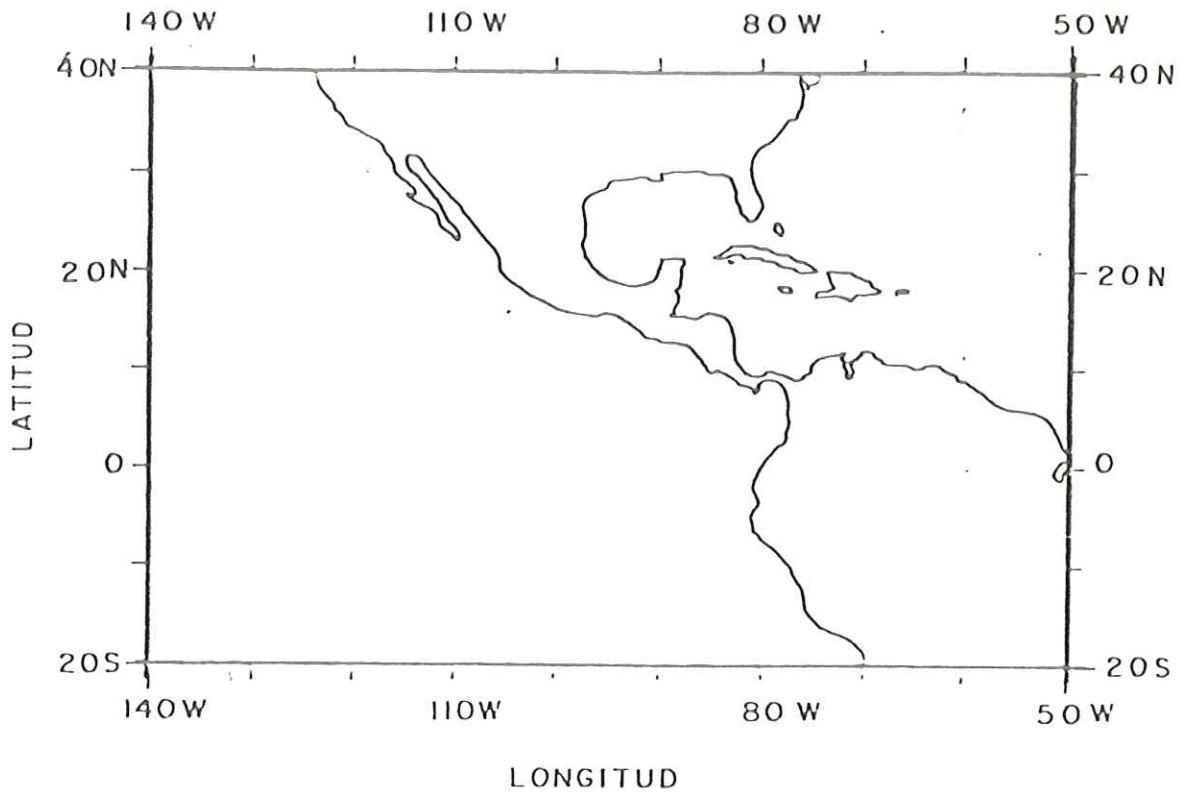


Fig.1 Area de estudio del Campo de Agua Precipitable Atmosférico.

Oriental , mientras que por el este abarca el Golfo de México , Mar Caribe y una pequeña parte del Océano Atlántico. Esta región es afectada por fenómenos meteorológicos tropicales y de latitudes medias. La circulación general atmosférica está caracterizada por la presencia de la celda de Hadley, que es una forma de convección térmica provocada por la diferencia del calentamiento solar entre las regiones ecuatoriales y polares (Holton, 1979). Esta celda visualiza la circulación general atmosférica como el resultado de un ciclo completo zonalmente simétrico, en la cual el aire ecuatorial calentado se eleva, transportando propiedades de niveles inferiores de la atmósfera a niveles superiores, y se mueve hacia las latitudes medias donde se enfría, se hunde, y se mueve hacia el ecuador de nuevo.

La circulación oceánica de nuestra área de estudio está caracterizada en la parte norte por la corriente de California con aporte de agua fría y la corriente norecuatorial con una dirección hacia el oeste. En la parte sur tenemos la corriente de Perú con aporte de agua fría y la corriente surecuatorial con una dirección hacia el oeste y la contracorriente ecuatorial que fluye en dirección contraria a las corrientes nor y surecuatorial.

La región considerada para la obtención del flujo superficial total de vapor de agua está comprendida entre

Los 120 grados N a 90 grados N y de 10 grados N a 30 grados N (alrededor de la República Mexicana).

1.3 .- Antecedentes

Debido a la creciente necesidad e interés de una información más detallada de la distribución de vapor de agua presente en cualquier momento y en diferentes niveles de la atmósfera, se han realizado un gran número de investigaciones a lo largo de todo el mundo. Algunos estudios que están relacionados a la la región de interés del presente trabajo son los realizados por Denton y Estoque (1954) que evaluaron los patrones de las componentes del flujo total de humedad mensuales y estacionales mostrando que existe una relación entre éstos patrones y la distribución de precipitación, además hacen notar la importancia de los sistemas turbulentos, llamados en inglés como "eddy", en el efecto del transporte de humedad. Hastenrath (1966) obtiene los flujos de vapor de agua atmosféricos sobre el Mar Caribe y el Golfo de México en base a datos de radiosondeo tomados dos veces al día durante un año completo, obteniendo la dirección predominante del transporte de humedad y los flujos de vapor de agua, analizando la influencia de éstos en los procesos de precipitación y evaporación en la zona. Rasmusson (1967) estimó los flujos de vapor de agua sobre

Norte América y los mares de América Central (Golfo de México y Mar Caribe) analizando los valores promedio mensual de las componentes del flujo de vapor de agua total, además discute los aspectos más importantes de la climatología del flujo de vapor de agua regional. Tuller (1968) calculó valores promedio de agua precipitable alrededor del mundo durante tres años obteniendo un patrón general latitudinal con valores altos cerca del ecuador y valores bajos en los polos. Viswanadham, et al., (1980) realizó estudios de las condiciones de humedad promedio en el hemisferio sur usando datos de radiosondeo, analizando los campos de agua precipitable para las cuatro estaciones del año para diferentes niveles de presión.

Otros Estudios que se han realizado, en los cuales usan métodos similares al que se utiliza en éste trabajo son; Cadet y Reverdin (1981) investigaron el transporte de vapor de agua sobre el Océano Indico durante el monzón del verano de 1975, donde el principal paquete de datos utilizados lo constituyen campos meteorológicos determinados a partir de una asimilación objetiva de los datos de superficie y capas superiores, presentando la evolución diaria de los flujos de vapor de agua a través de diferentes secciones de la región. Cadet (1983) obtiene los campos de agua precipitable en tres capas atmosféricas (superficie-700 mb, 700-500 mb y de 500-300mb) sobre el Océano Indico durante el verano de 1979, utilizando los

datos del nivel III-b (datos con cierto proceso) del PENT y los del satélite Tiros-II. Cadet y Huston (1984) realizan la obtención del campo de agua precipitable sobre África y el Océano Atlántico durante el verano de 1979, aplicando el análisis objetivo y dando la descripción y comportamiento de los campos. Reyes y Cadet (1985) discuten aspectos generales del AP sobre Norte América y Centro América donde relacionan los fenómenos atmosféricos observados en la región del OPO durante el verano de 1979 con la evolución del campo de agua precipitable y los flujos de vapor de agua.

1.4 .- Objetivos

i) Estudiar la estructura y evolución del campo de agua precipitable en diferentes niveles atmosféricos (superficie-700 mb, 700-500 mb y de 500-300 mb) durante el periodo del 1ro de Mayo al 15 de Septiembre de 1979.

ii) Analizar el comportamiento del flujo superficial total de vapor de agua alrededor de la República Mexicana durante el mismo periodo.

En la presente tesis se estudia la estructura y evolución del campo de agua precipitable atmosférico sobre el OPO, Norte América y Centro América de Mayo a Septiembre

de 1979. El análisis se hace sobre una malla regular de 2 grados de latitud por 2 grados de longitud para tres diferentes niveles atmosféricos; nivel I de la superficie a 700 mb; nivel II de los 700-500 mb y el nivel III de los 500-300 mb. Se analiza el flujo superficial total de vapor de agua alrededor de la República Mexicana. En este trabajo se aporta una descripción más detallada del contenido y evolución del campo del agua precipitable así como una amplia discusión del flujo superficial sobre la región. Además, se agrega al estudio el período correspondiente al mes de Septiembre complementando el trabajo realizado por Reyes y Cadet (1985).

CAPITULO II

2 DATOS Y METODO DE ANALISIS

La secuencia que muestra los diferentes paquetes de datos y método de análisis que se utilizan para obtener los campos finales de agua precipitable atmosféricos se presentan en la fig.2.

2.1 .- Datos del satélite Tiros-II

Se utiliza la información de los sondeos realizados por el satélite Tiros-II dos veces al día durante el periodo del primero de Mayo al 15 de Septiembre de 1979, los datos de AP son obtenidos a través del método descrito por Smith, et al., (1979) en base a la radianza captada por un espectrómetro que está abordo del satélite. La fig.3 muestra un ejemplo de los datos de AP obtenidos a partir de las mediciones realizadas por el satélite para el primero de Mayo de 1979 en el nivel I. Posteriormente a éstos datos se les aplica el método que se presenta en la sección 2.4, obteniendo así el campo de AP en base a los datos del satélite solamente, (ver Fig.4).

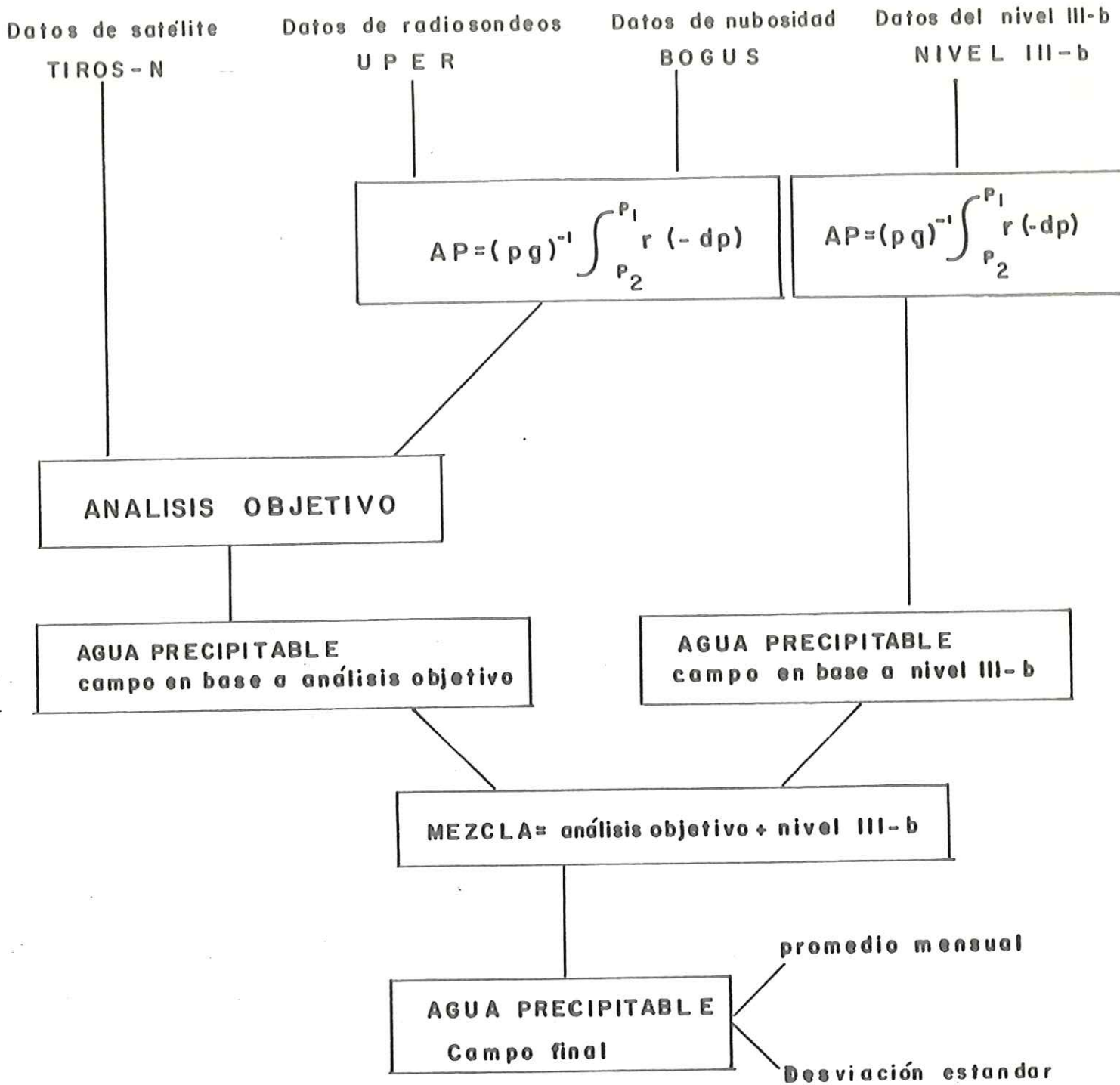


Figura 2.- Diagrama que muestra el procedimiento general para obtener los campos finales de Agua Precipitable Atmosféricos.

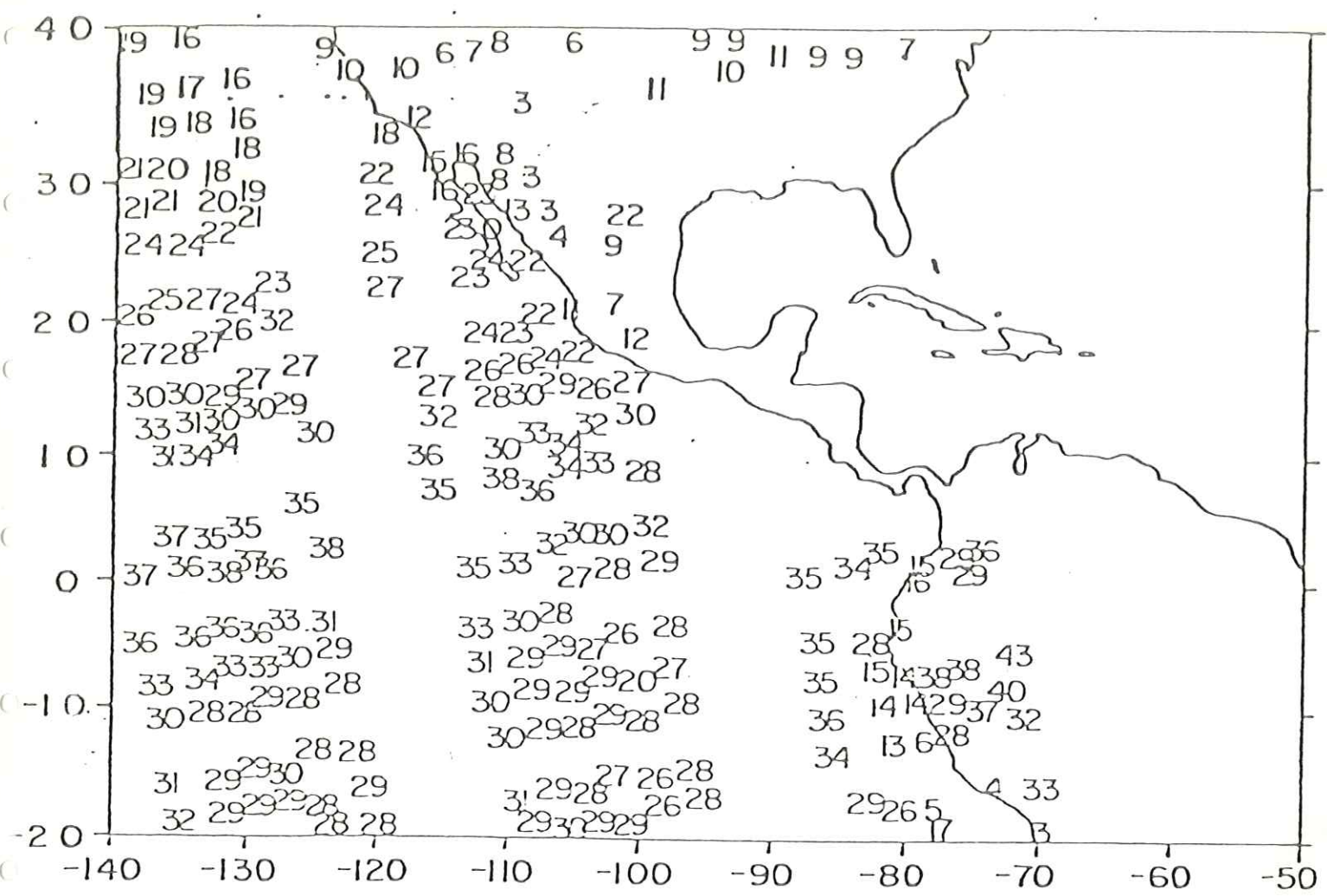


Fig. 3 Datos de Agua Precipitable (mm) obtenidos por el satélite Tiros-N para el nivel I (superficie -700 mb) para el 1 de Mayo de 1979 a las 12:00 TMG

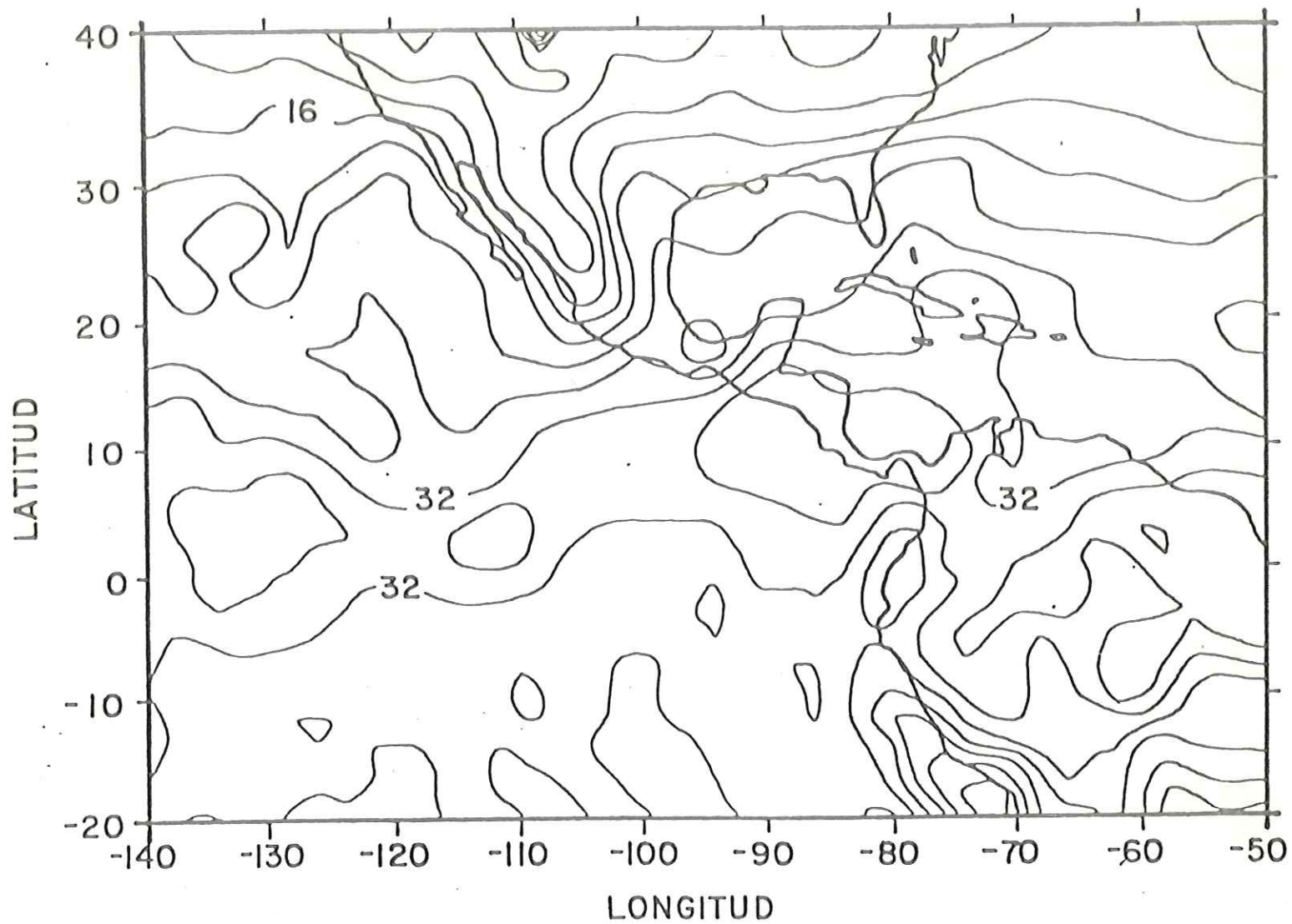


Fig.4 Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm) con los datos del satélite Tiros-N para el nivel I (superficie-700) para el 1 de Mayo de 1979 a las 12:00 TMG

Uno de los problemas del uso de la información de satélite es su carácter asinóptico, es decir, éste tipo de datos no están bien sincronizados en la hora de medición. El muestreo del satélite a lo largo de órbitas polares es realizado en el mismo tiempo local, es decir aún para regiones adyacentes los datos son recibidos a diferentes horas del día. Para nuestro propósito éste problema se puede solucionar ya que el AP en los tres niveles no cambia mucho en orden de horas (Cadet, 1983), de tal forma que para obtener los mínimos efectos y obtener campos con características sinópticas, los datos se tomaron dos veces al día, a las 00:00 y 12:00 TIG (Tiempo del Meridiano de Greenwich) el cual corresponde al período cuando el satélite cubría el dominio.

2.2 .- Datos de cobertura de nubes

El uso de los datos obtenidos a partir de las observaciones del satélite presenta serias dificultades debido a la imposibilidad del mismo de realizar mediciones sobre áreas nubladas (regiones de actividad convectiva). Para solucionar éste problema fue necesario incluir un paquete de datos determinados subjetivamente, esto es, donde la experiencia y conocimiento del investigador se aplica, a partir de imágenes infrarojas (fotografías) tomadas por satélite. Las imágenes de satélite, tomadas

dos veces al día, son analizadas para estimar la posición y extensión de las áreas perturbadas por nubosidad. A partir de esta información se seleccionan los perfiles de agua precipitable que fueron probados y que obtuvo Cadet (1983) mediante el método desarrollado por Thompson y West (1967) y por Smigileski y Haze (1970), para estimar la humedad relativa usando fotografías de satélite, donde supone que es de 90 % de la superficie a los 700 mb, de 80 % de los 700 mb a los 500 mb y de 70 % de los 500 mb a los 300 mb, estos valores son los utilizados en este trabajo. La fig.5 muestra un ejemplo de las áreas de cobertura de nubes estimada para el primero de Mayo de 1979 en el nivel I.

2.3 .- Datos de radiosondeo

Un paquete de datos de radiosondeo conteniendo los parámetros básicos meteorológicos en diferentes niveles de la atmósfera es usado en el análisis para calcular el AP, introduciendo de esta forma una mayor información. El cálculo se realizó empleando la fórmula siguiente (Saucier, 1955):

$$AP = (\rho g)^{-1} \int_{p_2}^{p_1} r (-dp) \dots\dots\dots(1)$$

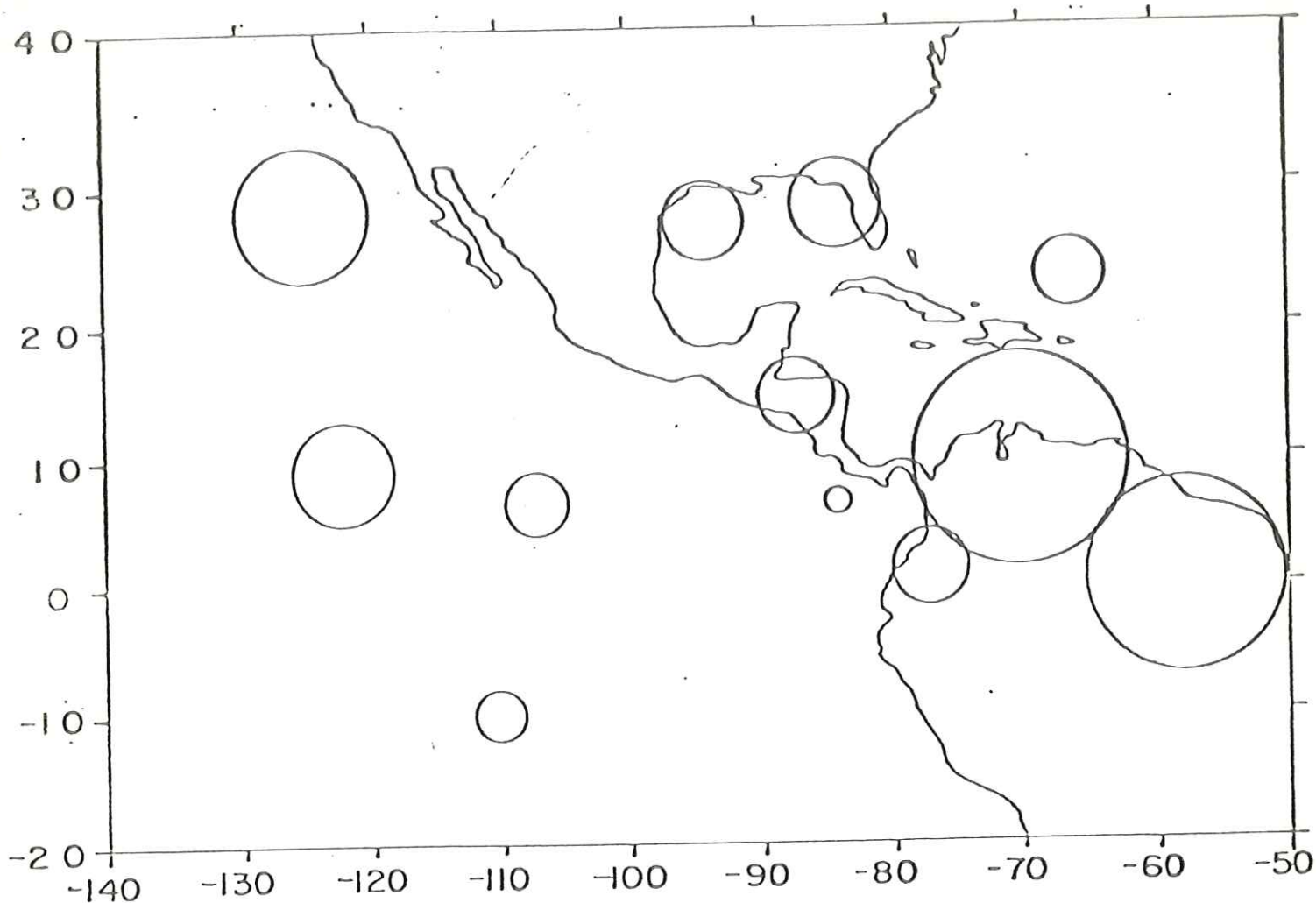


Fig.5 Digitalización de cobertura de nubes para el mo. de Mayo de 1979. Para el nivel l (superficie-700mb). Los círculos muestran áreas convectivas con un 90% de humedad.

Donde: P_1 y P_2 en (mb) son los límites inferior y superior para cada nivel de la atmósfera, g (cm/s^2) es la gravedad, ρ (gr/cm^3) es la densidad del aire y r (gr/kg) es la razón de mezcla promedio, que es definida como el peso de vapor de agua contenido en combinación de un peso unitario de aire seco (Byers, 1959). La técnica usada para el cálculo de AP es mediante la regla trapezoidal.

2.4 .- Análisis objetivo

Los procesos de la transformación de datos a partir de observaciones sobre puntos distribuidos irregularmente en el espacio, en datos dentro de los puntos de una malla regular ha sido llamado análisis objetivo (Cressman, 1959). De esta forma análisis objetivo ha sido un término general que se ha utilizado en Meteorología para designar a los métodos que permiten obtener una estimación del campo de algún parámetro en los nodos de una malla regular a partir de un conjunto de datos distribuidos irregularmente en el espacio. El método debe constar de algún procedimiento bien definido que pueda ser aplicado independientemente del sujeto que realiza el análisis (López, 1983). El análisis objetivo que se utiliza en este trabajo, aplica el método de correcciones sucesivas propuesto por Bergthörsson y Doos (1955), y Cressman (1959). La técnica usada en el análisis de AP fué adaptada y modificada por Tripoli y Krishnamurti

(1975). El método de correcciones sucesivas se basa en las modificaciones sucesivas a un campo de prueba inicial (de Climatológico) 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 la m -ésima iteración modifica el campo resultante de la $(m-1)$ -ésima iteración y el campo de prueba se va transformando en el campo final analizado que constituye la estimación del campo real. Para más detalle de este método ver Tripoli y Krishnamurti (1975) y López (1983).

El análisis objetivo se aplicó combinando los tres diferentes paquetes de datos descritos anteriormente (Tiros-II, radiosondeo y cobertura de nubes) y fue centrado a las 00:00 y 12:00 TIG. Debido a que la cobertura de datos fue buena sobre la región de estudio y como el AP para los tres diferentes niveles no cambia mucho sobre períodos de tiempo corto (Cadet 1983), el campo de prueba se tomó con valores constantes de 30 mm para el nivel I, 20 mm para el nivel II y de 10 mm para el nivel III, (Reyes y Cadet 1985). Posteriormente cada campo de AP se usó como campo inicial para los subsecuentes campos. Los períodos de tiempo durante el análisis son tomados alrededor de 36 hrs; por ejemplo, para el análisis de las 12:00 TIG los datos de la noche anterior, los del día presente y los de la noche siguiente son usados para obtener el AP, esto evita la posible escasez de datos obteniendo una mejor

cobertura. Para eliminar posibles datos malos, se lleva a cabo en el análisis un total de cuatro pasadas de corrección sucesivas a través de los campos de AP con un radio de influencia que decrece con cada pasada, donde los valores usados son de 5, 4, 3, y 2 unidades de malla. Para cada iteración la diferencia entre el valor observado y el valor del campo de prueba inicial se calcula, cuando ésta diferencia excede un cierto criterio de rechazo, el dato es eliminado. Siguiendo a Cadet(1983) el criterio de rechazo fue de 20, 15, 10 y 5 mm para cada pasada en el nivel I, de 8, 5, 3 y 2 mm para el nivel II y de 4, 3, 2 y 1.5 mm para el nivel III. Este criterio es más bien subjetivo. La fig.6 muestra el campo de AP obtenido a través del análisis objetivo para el 1ro de Mayo de 1979 en el nivel I.

2.5 .- Datos del nivel III-b

Otro paquete de datos es la información obtenida durante el PENT que se proceso en el Centro Europeo de Predicción del Tiempo (CEPT) por Bengtsson, et.al.(1982) dándoles el nombre de datos del nivel III-b de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (Anónimo 2, 1982) Los parámetros meteorológicos incluyen: la temperatura del aire, la altura geopotencial, el viento (tres componentes), la humedad relativa y la presión. Estos campos estaban en una malla regular de 1.875 grados latitud/longitud para 15

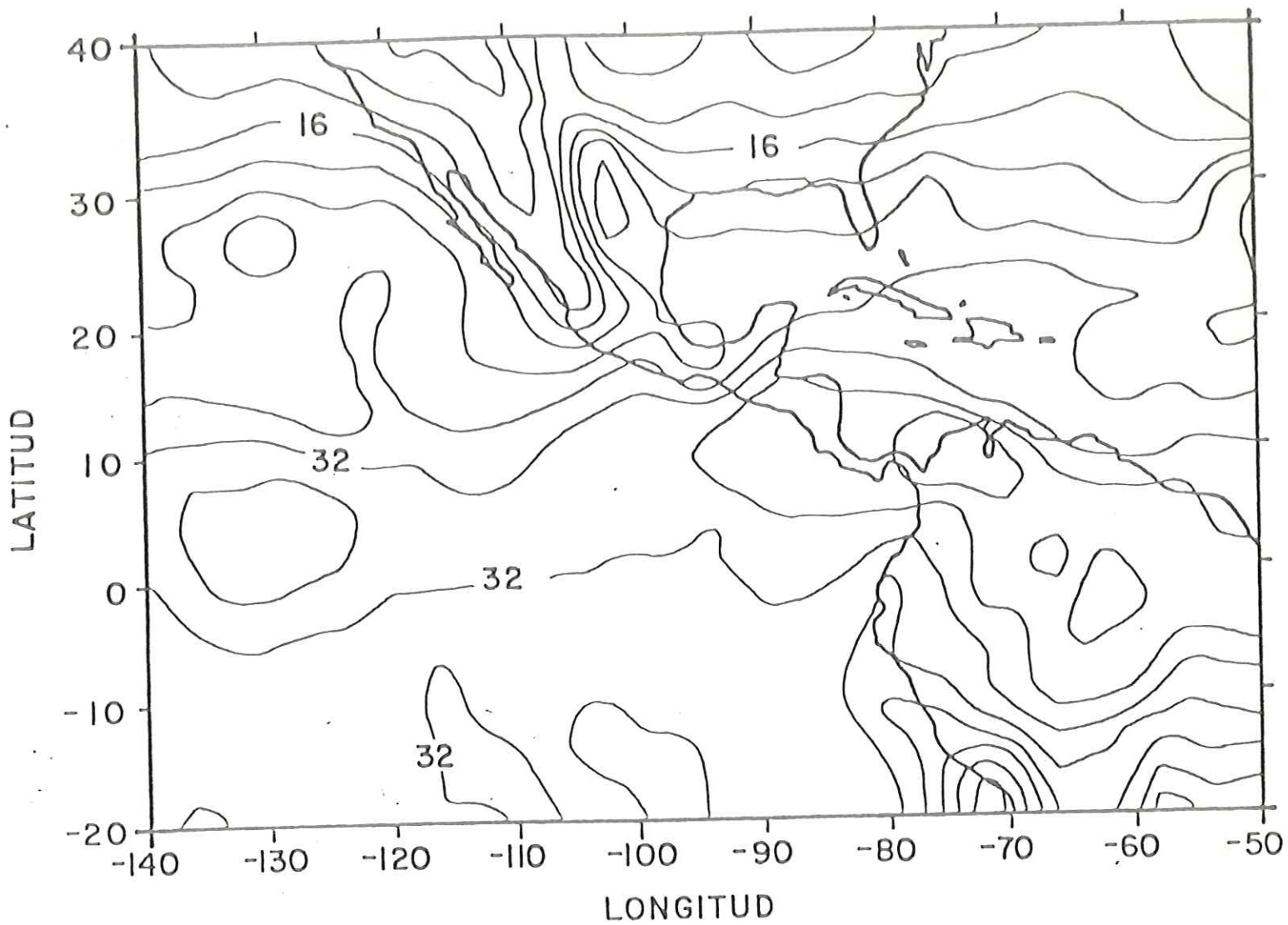


Fig. 6 Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm) con los datos obtenidos a través del análisis objetivo para el nivel I (superficie -700) para el 1 de Mayo de 1979 a las 12:00 TMG

niveles de presión. Los niveles estándar de interés para nuestro estudio son los de 1000, 850, 700, 500, 400, 300 y 100 mb. Los campos del nivel III-b son convertidos a una malla regular de 2 grados de latitud/longitud desde los 20 grados S a los 40 grados N y de 140 grados W a 50 grados W usando la técnica de interpolación spline-cúbica a las 00:00 y 12:00 TMG. El campo de AP para cada uno de los diferentes niveles es calculado a través de la fórmula y técnica utilizada con los datos de radiosondeo descrito anteriormente (sección 2.3). La fig.7 muestra el campo de AP en base a los datos del nivel III-b para el 1 de Mayo de 1979 para el nivel I.

2.6 .- Mezcla de datos

El proceso de mezcla es una forma de combinar información procedente de fuentes distintas, dando ponderaciones diferentes durante el proceso. El proceso de mezcla involucra a los dos diferentes paquetes de datos, los de análisis objetivo (Tiros-N, cobertura de nubes y radiosondeo) y los del nivel III-b. Los datos del nivel III-b fueron considerados más confiables sobre los continentes, debido a que existen extensas redes de estaciones meteorológicas; por otro lado, los datos de análisis objetivo fueron considerados más seguros sobre el océano, dándoles ponderaciones mayores a los datos del

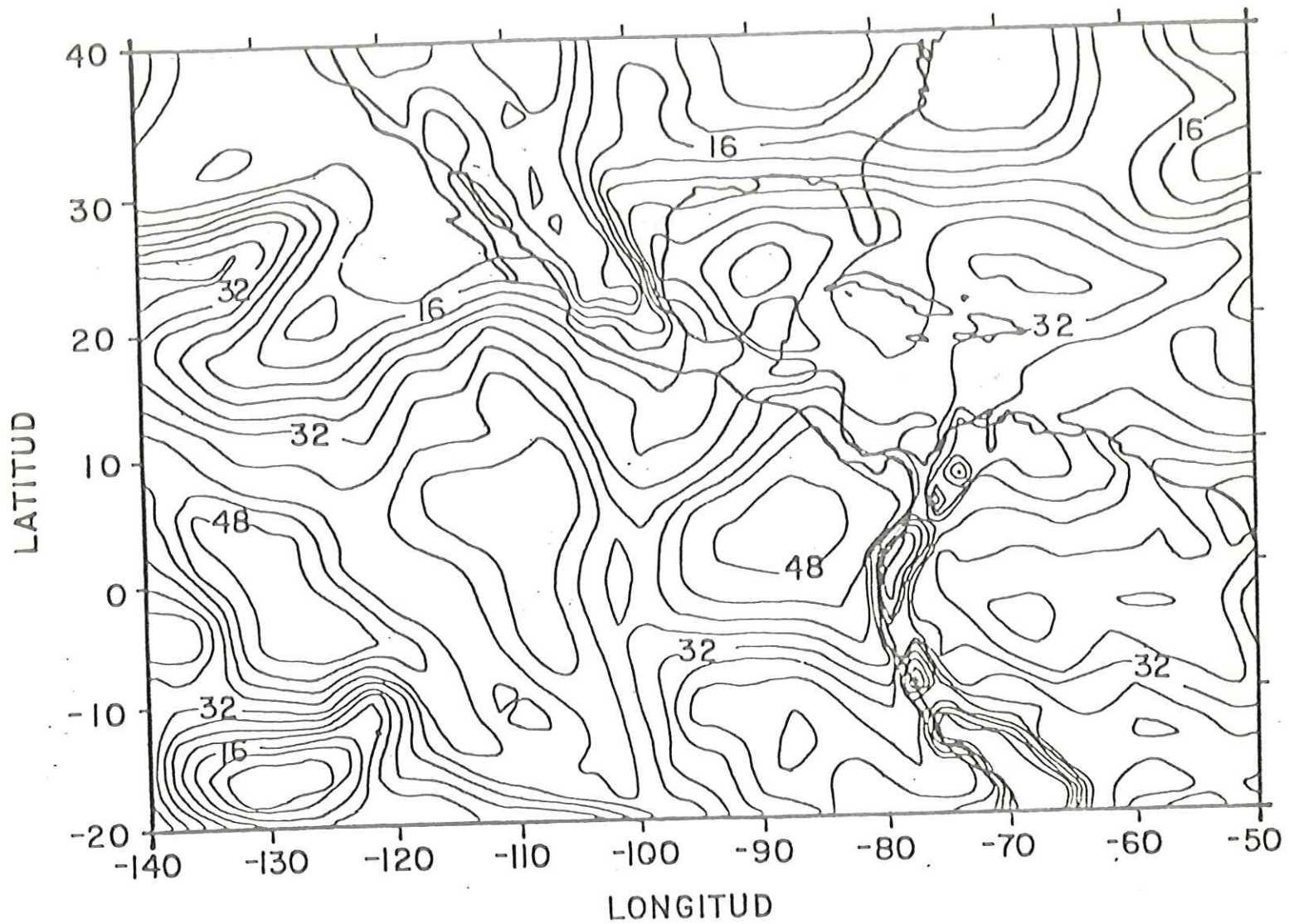


Fig.7 Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm) con los datos del nivel III-b (PEMT) para el nivel I (superficie -700) para el 1 de Mayo de 1979 a las 12:00 TMG

nivel III-b sobre tierra, mientras que lo opuesto prevaleció sobre el océano. Estas ponderaciones están en función de la diferencia relativa, dependiendo de la desviación estándar de los valores de AP sobre una distribución gaussiana. La fig. 8 muestra las ponderaciones asignadas sobre la distribución gaussiana utilizada. Para asegurar continuidad entre la frontera del mar y la tierra, la mezcla en cada punto nodal se realizó alrededor de nueve puntos, el punto localizado a 2 grados desde el punto central se le dio una ponderación igual a la mitad de la ponderación del punto central. Para una referencia más amplia sobre las ponderaciones usadas ver Cadet (1983). La fig. 9 muestra el campo de mezcla de AP final para el 1ro de Mayo de 1979 en el nivel I.

2.7 .- Confiabilidad de los campos de AP finales

Debido a la escasez de datos de radiosondeo, sobre la región del OPO la exactitud de los campos de AP finales ha sido estimada usando los datos de radiosondeo sobre el sureste de los Estados Unidos donde existe una mayor densidad y confiabilidad de datos. Los valores de AP finales que se obtuvieron después del proceso de mezcla son promediados en espacio y tiempo en base a nueve puntos de la malla para cada tres días de intervalo, obteniendo un paquete de datos promedio de AP finales. Similarmente los

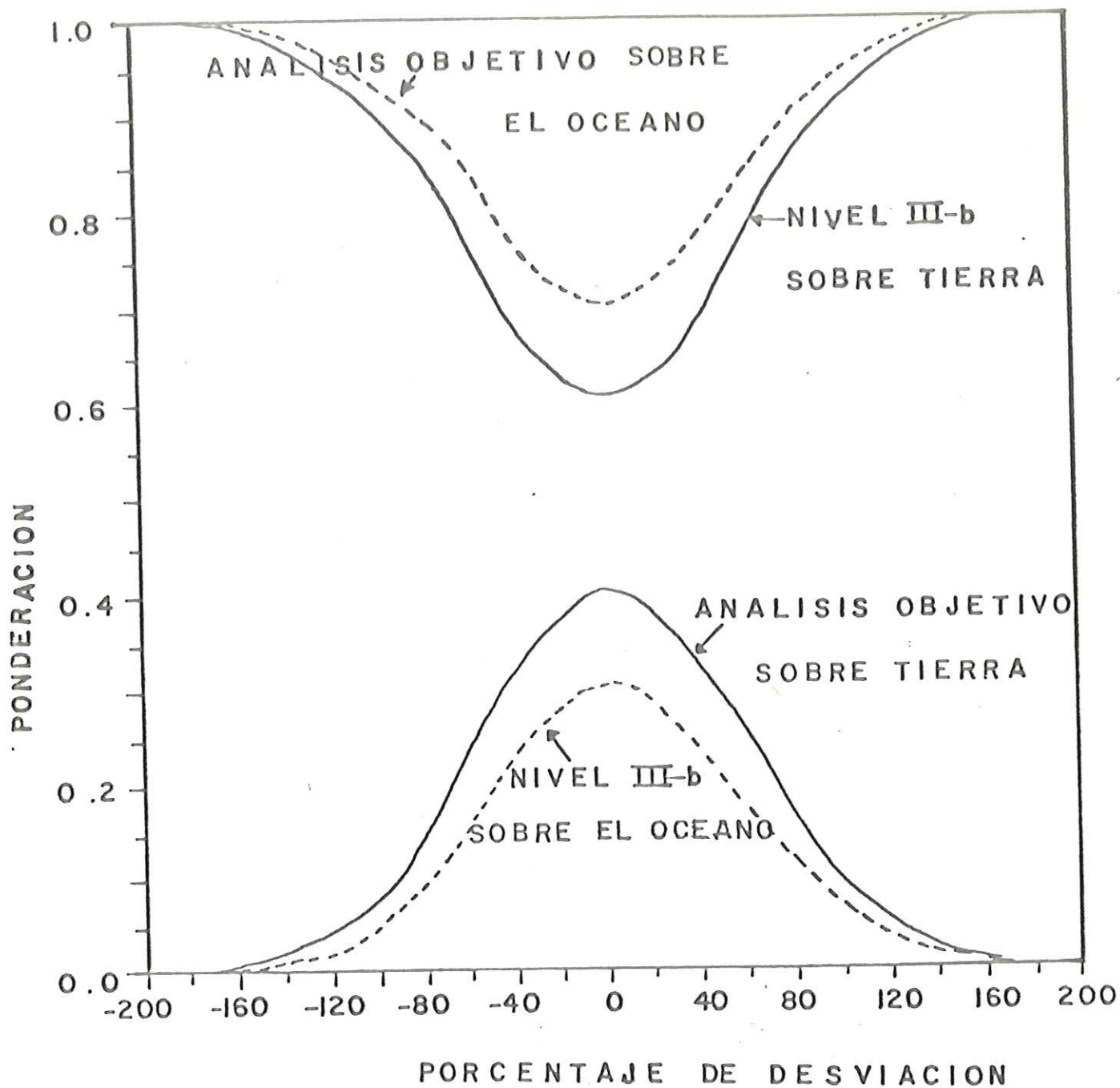


Fig. 8 Distribución gaussiana de las ponderaciones asignadas a los datos del análisis objetivo y del nivel III-b (PEMT) durante el proceso de mezcla. (Reproducido de Codet, 1983)

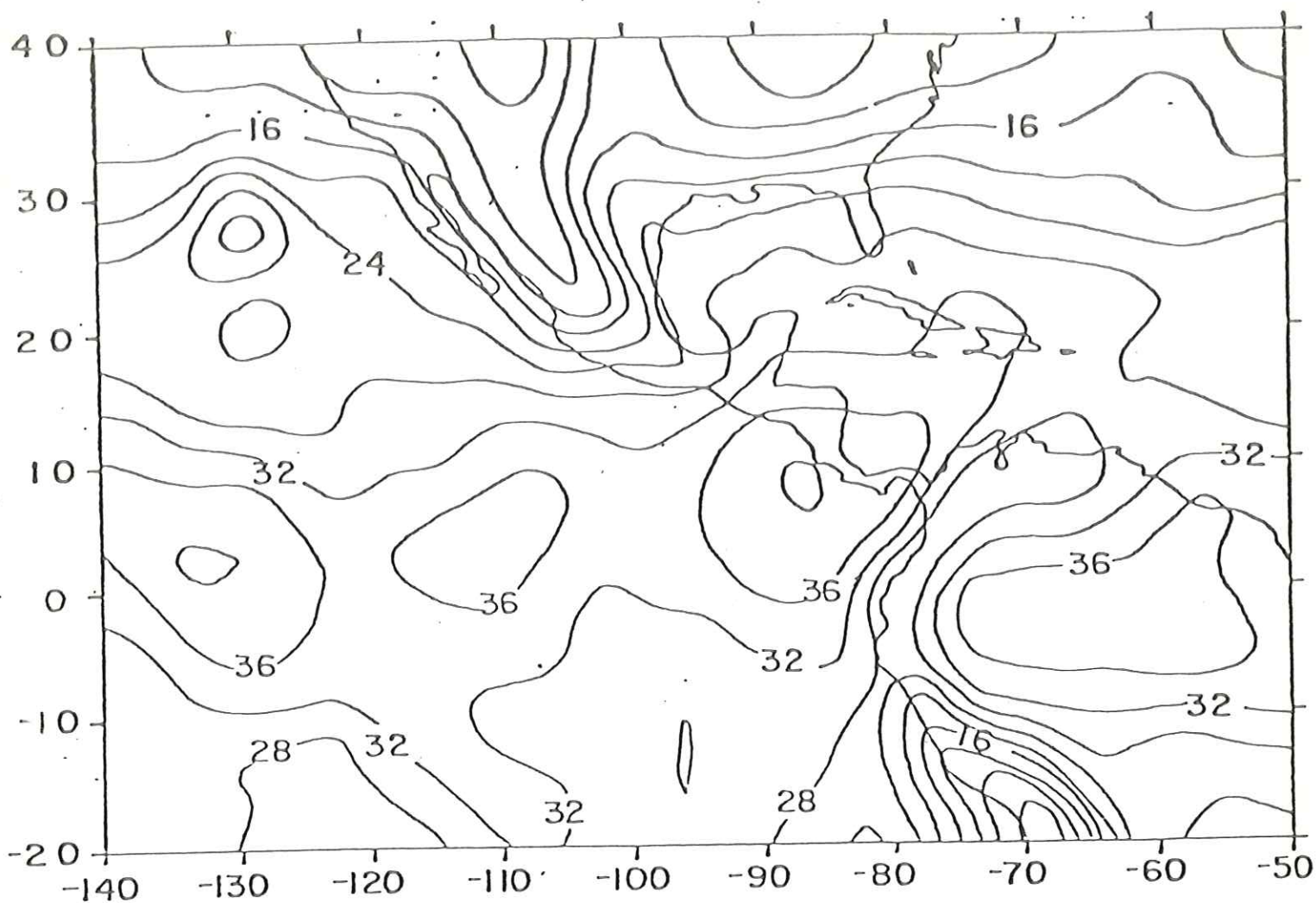


Fig. 9 Análisis del Campo de Agua Precipitable (mm) final obtenido despues del proceso de mezcla, para el nivel I (superficie-700 mb) para el 1 de Mayo de 1979 a las 12:00 TMG

datos disponibles de radiosondeo, que son los que se concideran en general más exactos, fueron promediados dentro de los mismos nueve puntos de la malla para los mismos días e igual intervalo, obteniendo un paquete de datos de radiosondeo promediados. Una línea recta es aproximada usando un análisis de regresión y se calcular algunas estadísticas básicas para ambos paquetes de datos y para cada nivel. La fig.10 muestra la gráfica de AP de los datos de radiosondeo contra los datos de AP finales para el nivel I y se da la relación de las cantidades estadísticas para los tres niveles. Durante el proceso se observó que el paquete de datos de radiosondeo tiene una desviación estandar más alta de 7.2 mm comparada con 5.8 mm de los datos de AP finales. En cuanto a los valores promedio que para el nivel I, fueron del mismo orden de magnitud y la pequeña diferencia relativa (error relativo) que nos indica que tanto error existe en cien unidades que se miden, nos permite asegurar que los campos de AP promedio mensuales obtenidos pueden ser aceptados con suficiente confianza estadística y pueden ser usados en posteriores análisis. En cambio el nivel II y Nivel III no dan una comparación estadística confiable.

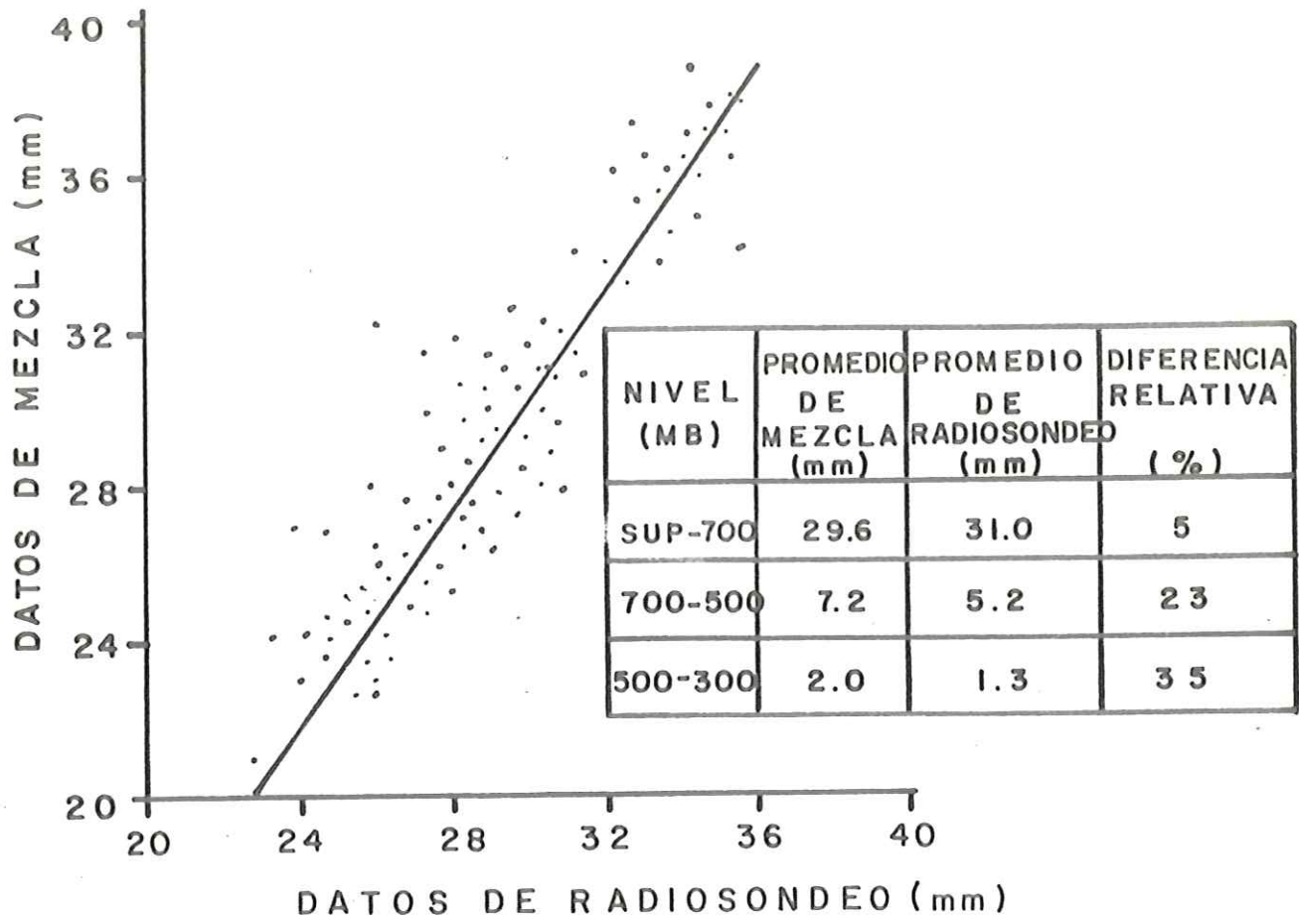


Fig.10 Grafica de los datos de radiosondeo de Agua Precipitable contra los datos obtenidos despues del proceso de mezcla. Para el nivel I (superficie - 700 mb). El ajuste de la recta mostro un coeficiente de correlacion de 95% (0.95). Se muestran las cantidades estadisticas para los tres niveles.

2.3 .- Flujo superficial total de vapor de agua

La obtención del flujo superficial total de vapor de agua en éste trabajo es similar al estudio realizado por Cadet y Reverdin (1981). El flujo es calculado a través de diferentes secciones transversales longitudinales y latitudinales alrededor de la República Mexicana, de los 120 grados W a los 90 grados W y de los 10 grados N a los 30 grados N. La fig.11 muestra las diferentes secciones para las cuales se calculan los flujos. El flujo de vapor de agua se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$F_{total} = \rho r v l \dots\dots\dots (2)$$

donde: ρ (gr/cm³) es la densidad del aire, r (gr/kg) es la razón de mezcla, V (m/s) es la componente del viento en el nivel superficial perpendicular a la sección transversal y l (km) la longitud de la sección a un metro de altura. Las unidades de flujo estan dadas en kg/m².s. El flujo a través de cada sección de 10 grados de longitud fué determinado como la suma de 5 flujos individuales calculados a través de cada sección unitaria (2 grados de longitud), quedando la fórmula como:

$$F_{total} = \rho \sum_{i=1}^{n=5} r_i v_i \Delta l \dots\dots\dots (3)$$

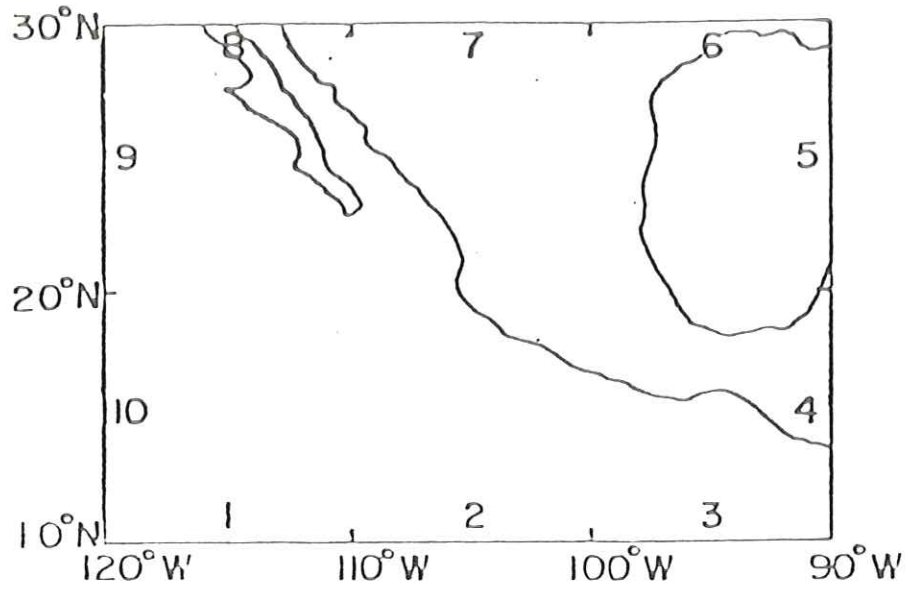


Fig. II Mapa que muestra las diferentes secciones transversales donde se calculó el flujo superficial total de Vapor de Agua.

CAPITULO III

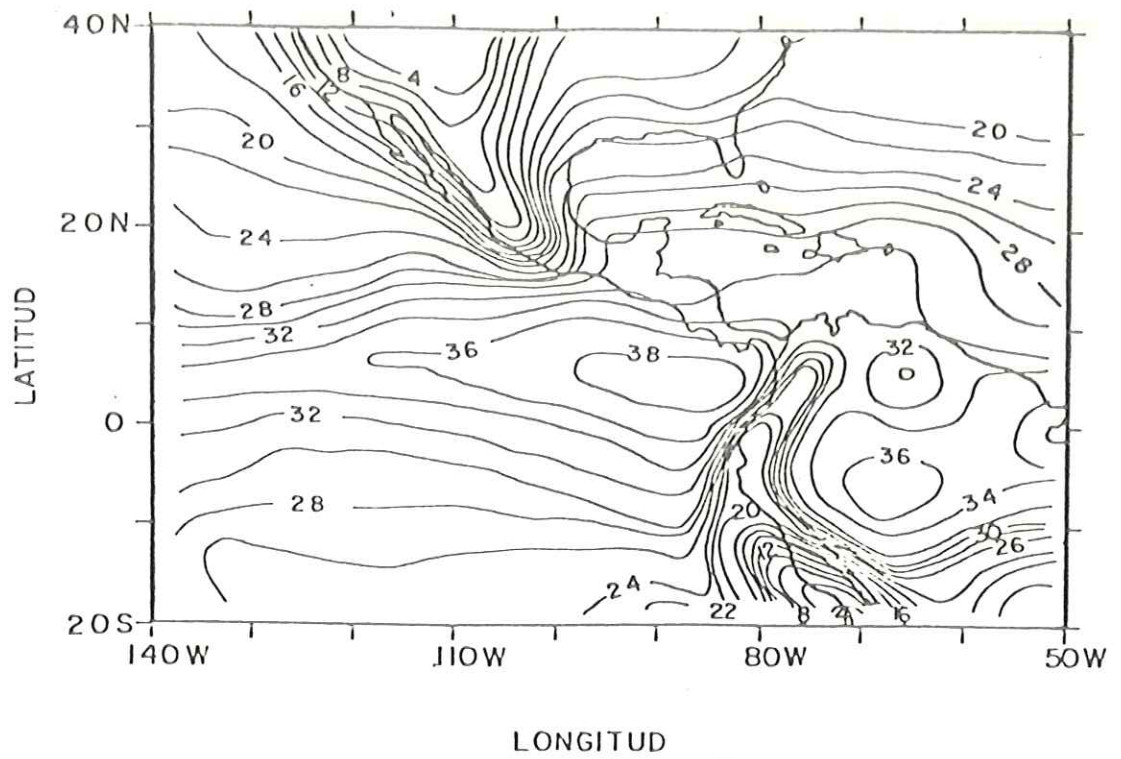
3 RESULTADOS

Los resultados que se presentan en éste trabajo son: i) Promedios mensuales y desviación estandar de los campos de agua precipitable en los tres niveles atmosféricos descritos anteriormente. ii) El flujo superficial total de vapor de agua, se presenta en series de tiempo para 10 diferentes secciones transversales.

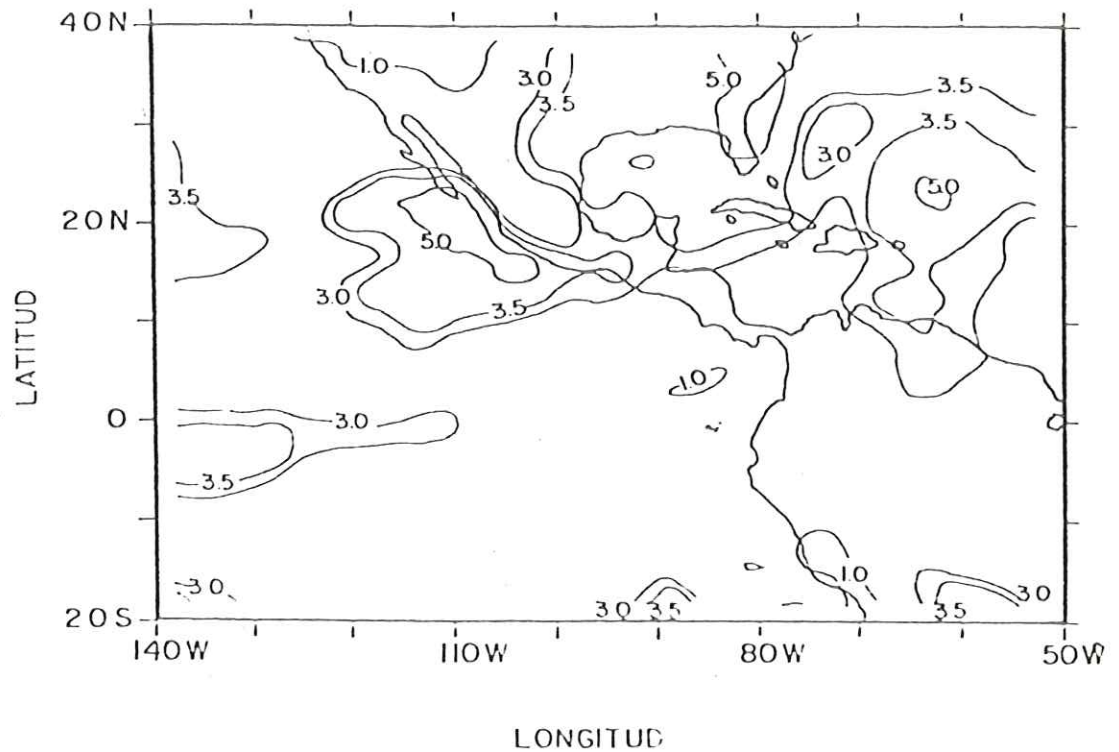
3.1.- Evolución de los campos de agua precipitable

a) Nivel I (superficie-700 mb)

En éste nivel se encuentran los valores más altos de AP. La fig.12a muestra el campo de AP para el mes de Mayo, en el que se observa que la mayor cantidad de AP se presenta entre los 0 grados y 10 grados N sobre la costa de Centro América y en el Océano Pacífico con valores de 38 mm y 36 mm. Nótese la tendencia de las isolíneas de extenderse hacia el oeste entre las latitudes mencionadas. Se presentan también valores altos de 36 mm al este de los



a) Promedio mensual

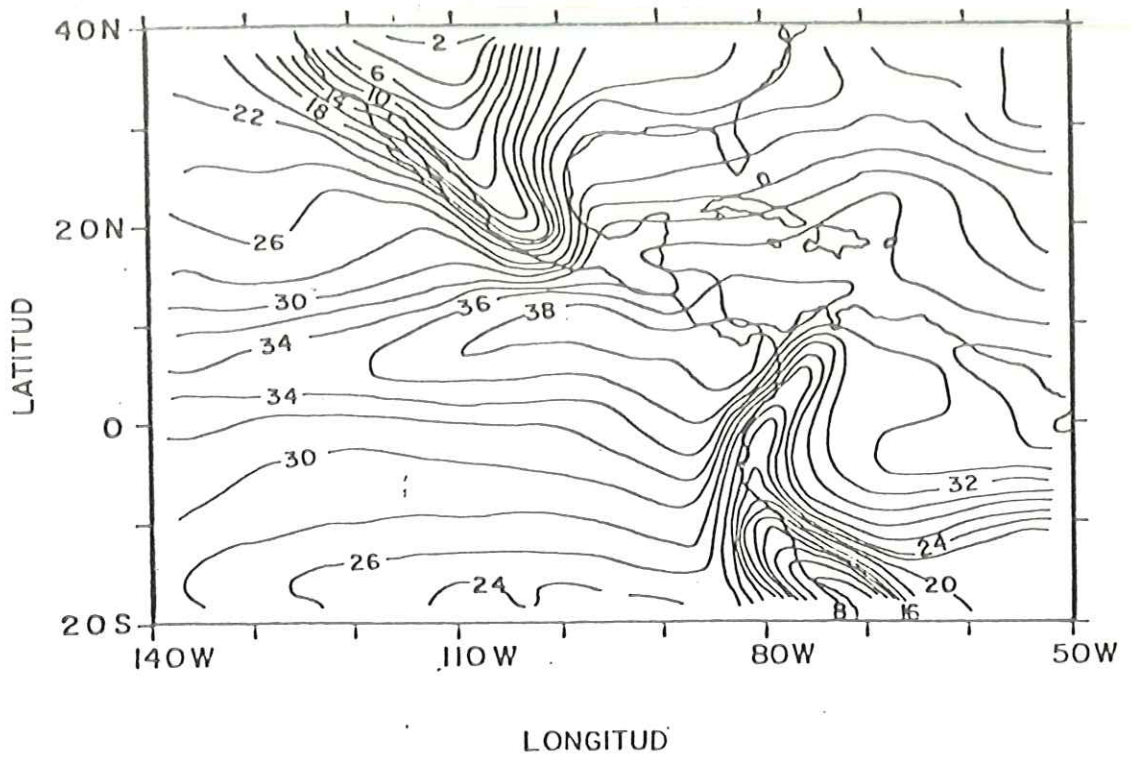


b) Desviación estandar

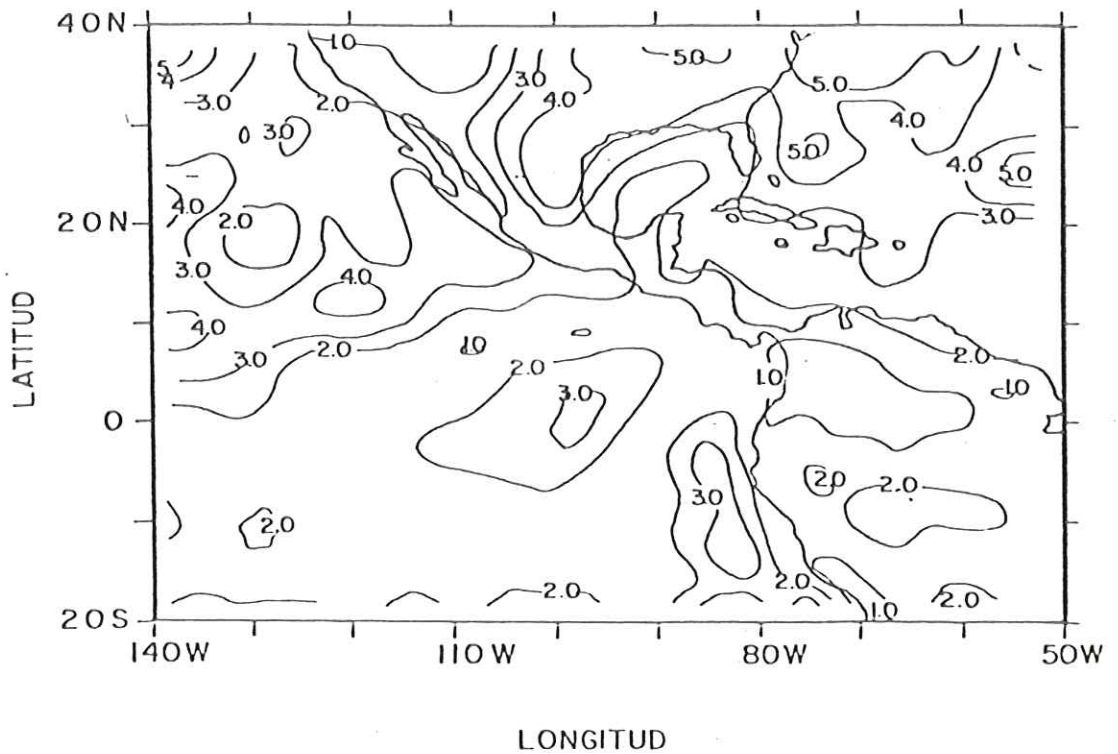
Fig. 12 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) poro el mes de Moyo de 1979. Nivel I (superficie - 700 mb).

80 grados W y 5 grados S sobre la zona del Amazonas. Sobre el Mar Caribe y Golfo de México se observa una inclinación de las isolíneas hacia el noreste y hacia el norte, presentando valores de 32 mm y 26 mm respectivamente. El contenido de AP sobre los continentes se caracteriza por dos gradientes simétricos que se presentan sobre los sistemas montañosos del hemisferio norte y la cordillera Andina en el hemisferio sur, donde los valores más bajos de AP son encontrados. La mayor desviación estandar (Fig.12b) se presenta sobre la vertiente del Océano Pacífico y costa oeste de la República Mexicana, así como sobre el sureste de los Estados Unidos.

Durante el mes de Junio (Fig.13a) el valor más alto (38 mm) de AP se presenta entre los 80 grados W y 110 grados W sobre la costa de Centro América y en el OPO. Entre los 0 grados y 10 grados W se observa la tendencia de las isolíneas a extenderse zonalmente. Al este de los 80 grados W y sobre el Mar Caribe se ve la inclinación de las isolíneas hacia el noreste, caracterizado por una lengüeta (34 mm) que penetra más allá de los 20 grados N. Al este de los 70 grados W sobre la zona del Amazonas el contenido de AP ha disminuido aproximadamente 4 mm en comparación al mes anterior. La mayor desviación estandar (Fig.13b) de 5 mm se presenta sobre la costa este de los Estados Unidos y de 4.0 mm en varias partes aisladas del OPO entre los 0 grados y 20 grados N y parte noreste de la República



a) Promedio mensual



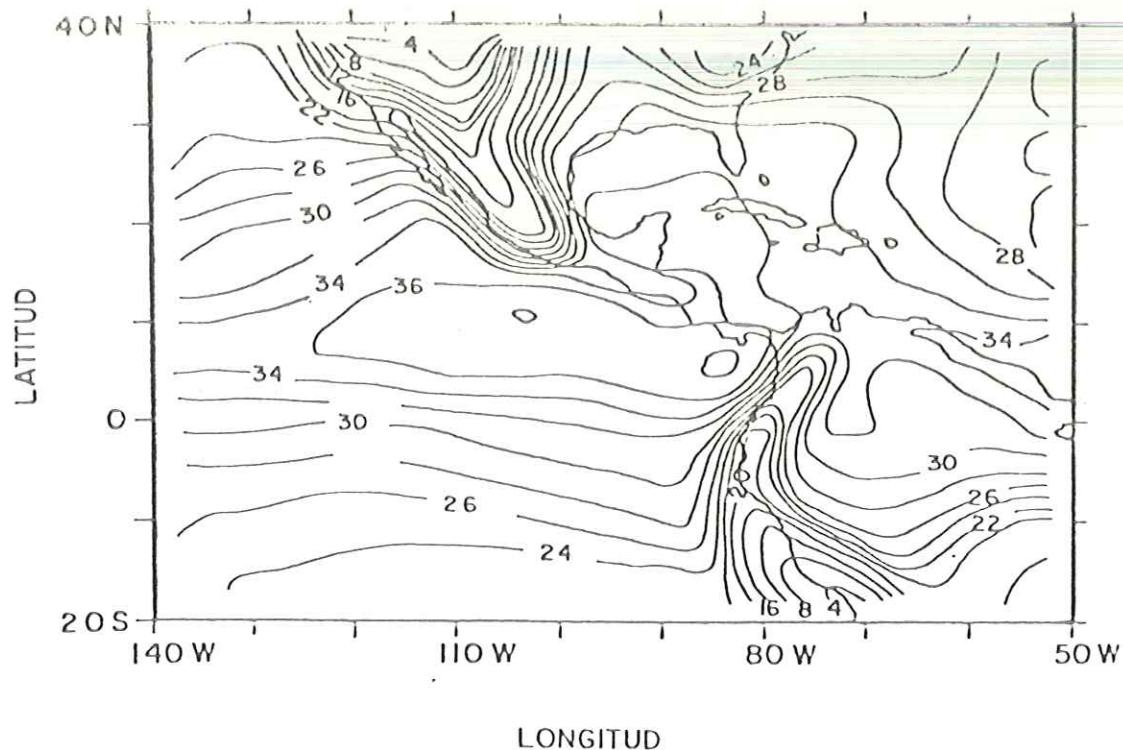
b) Desviación estandar

Fig. 13 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Junio de 1979. Nivel I (superficie - 700).

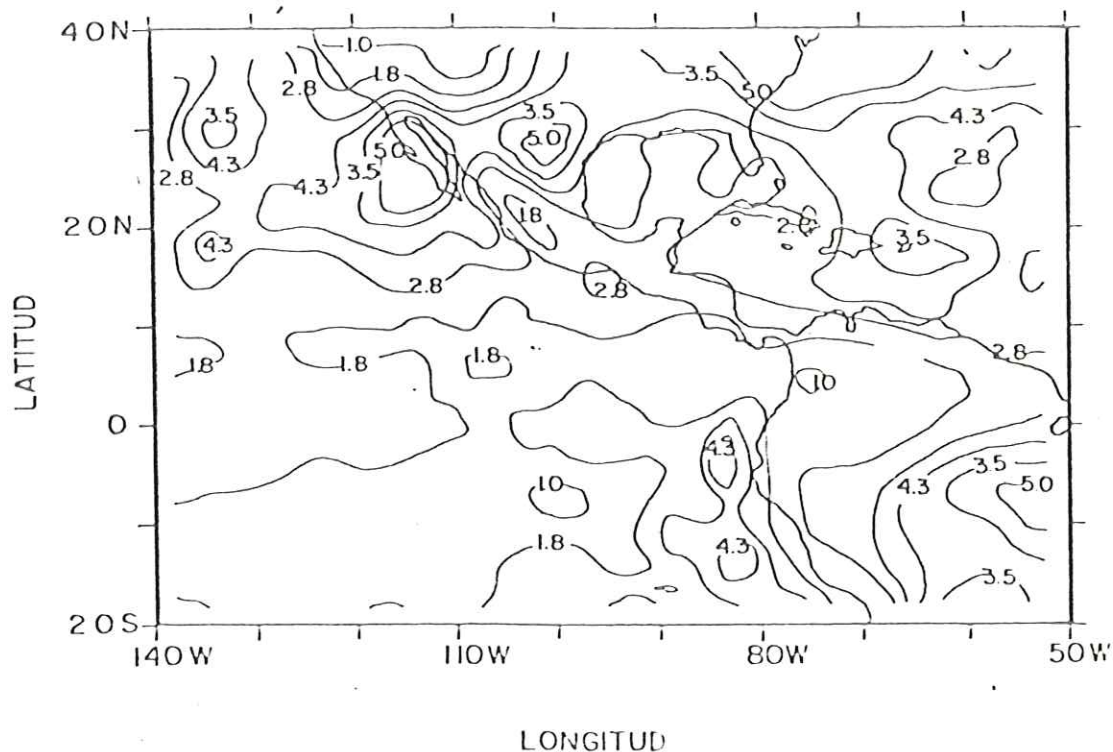
Mexicana.

Para el mes de Julio (Fig.14a) el campo de AP se caracteriza en general por un máximo desplazamiento meridional de las isolíneas, principalmente al este de los 110 grados W y arriba de los 10 grados N sobre el Golfo de México, Mar Caribe llegando a la costa sureste de los Estados Unidos. El mayor valor (36 mm) se presenta entre los 80 grados W y 120 grados W y entre los 0 grados y 12 grados N sobre la costa de Centro América y océano Pacífico. Una inclinación de isolíneas hacia el noroeste se ve sobre las masas de agua adyacentes a la costa oeste de la República Mexicana. La mayor desviación estandar 5 mm (Fig.14b) se encuentra sobre la costa noroeste y parte noreste de la República Mexicana, así como sobre la costa este de los Estados Unidos y en la zona del Amazonas.

El mes de Agosto (Fig.15a) se caracteriza por un desplazamiento zonal máximo de las isolíneas tanto al este como al oeste entre los 0 grados y 15 grados N. El valor más alto (38 mm) se presenta entre los 80 grados W y 110 grados W sobre la costa de Centro América y océano Pacífico. Nótese que en particular la isolínea que representa el mayor valor de AP (38 mm) no se ha extendido más allá de los 110 grados W. La mayor desviación estandar 4.2 mm (Fig.15b) se observa sobre la costa sureste de los Estados Unidos.

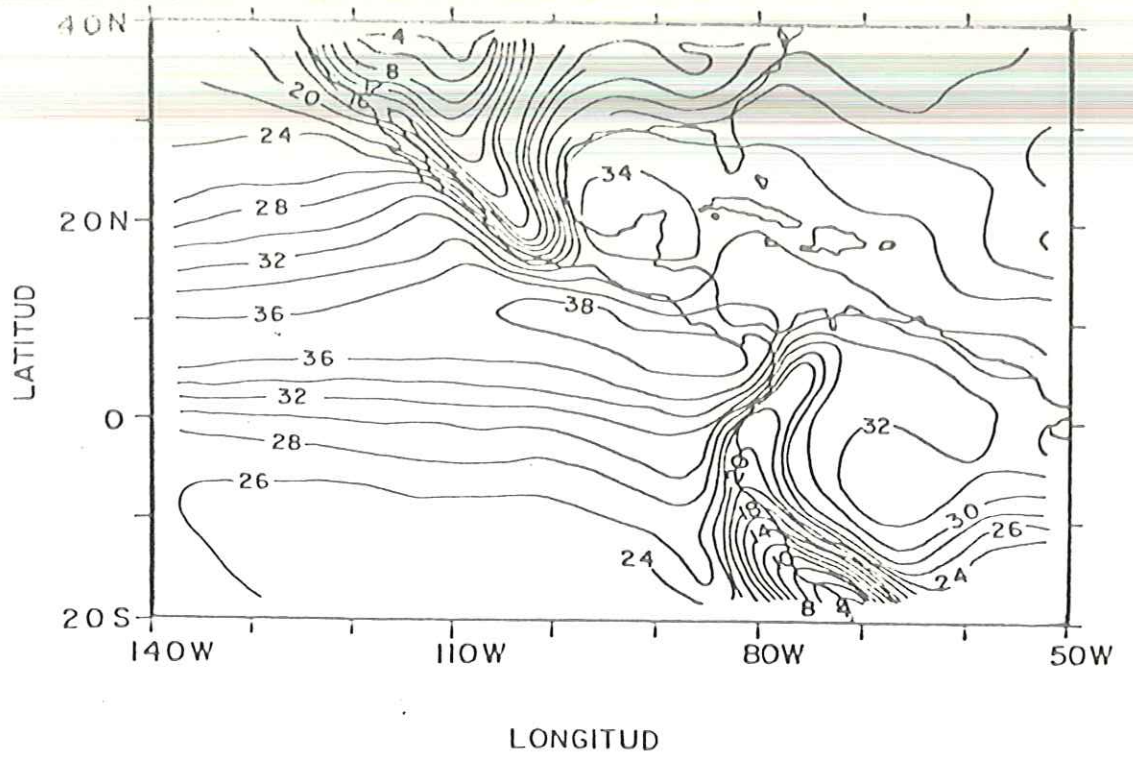


a) Promedio mensual

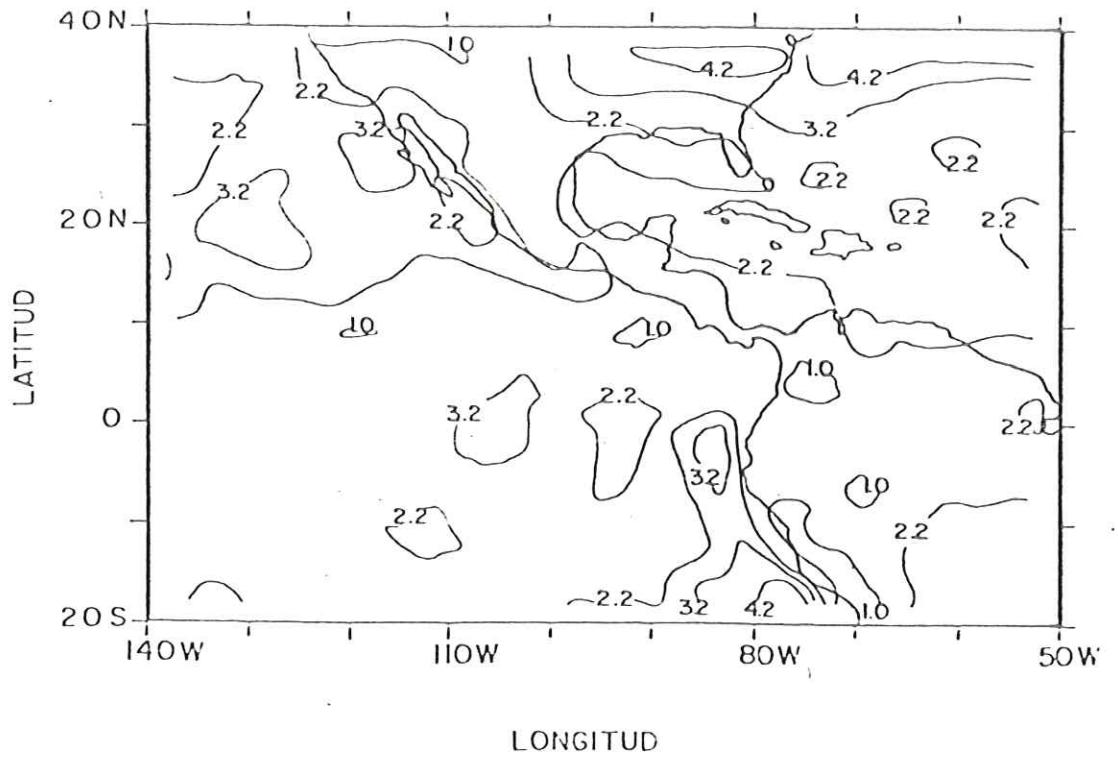


b) Desviación estándar

Fig. 14 Promedio mensual (a) y desviación estándar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Julio de 1979. Nivel I (superficie - 700).



a) Promedio mensual



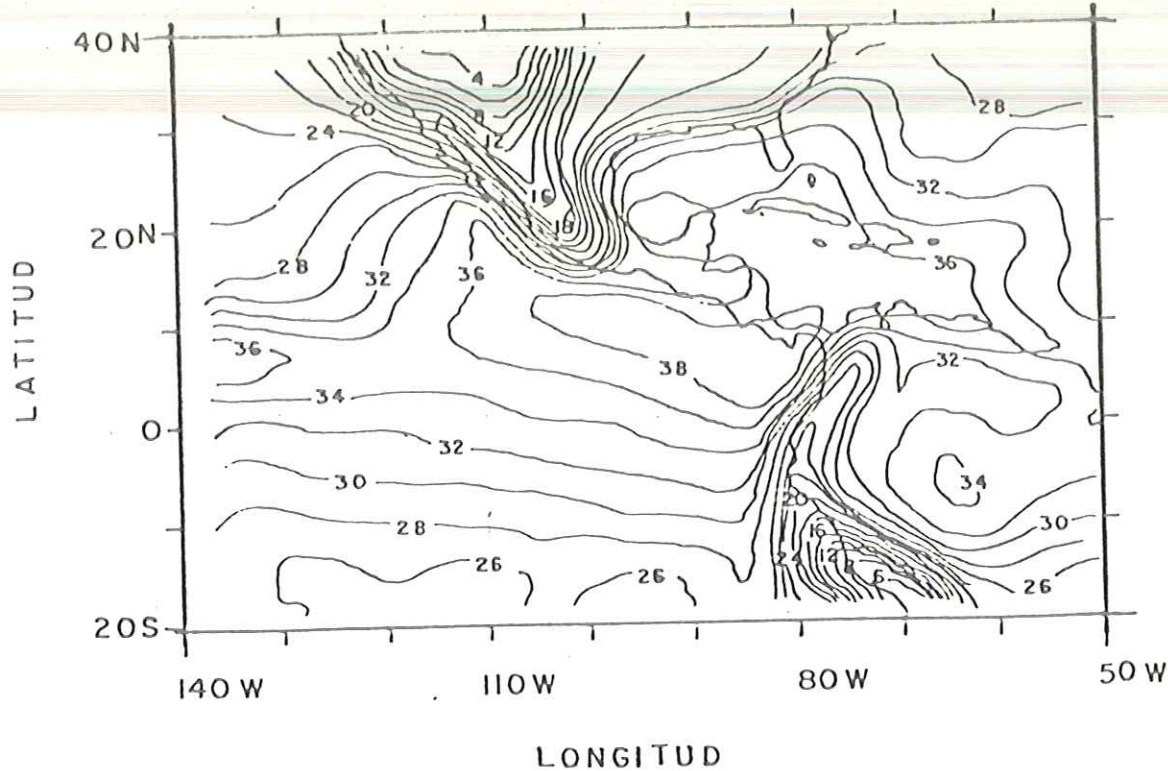
b) Desviación estandar

Fig.15 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférica (mm) para el mes de Agosto de 1979. Nivel I (superficie - 700).

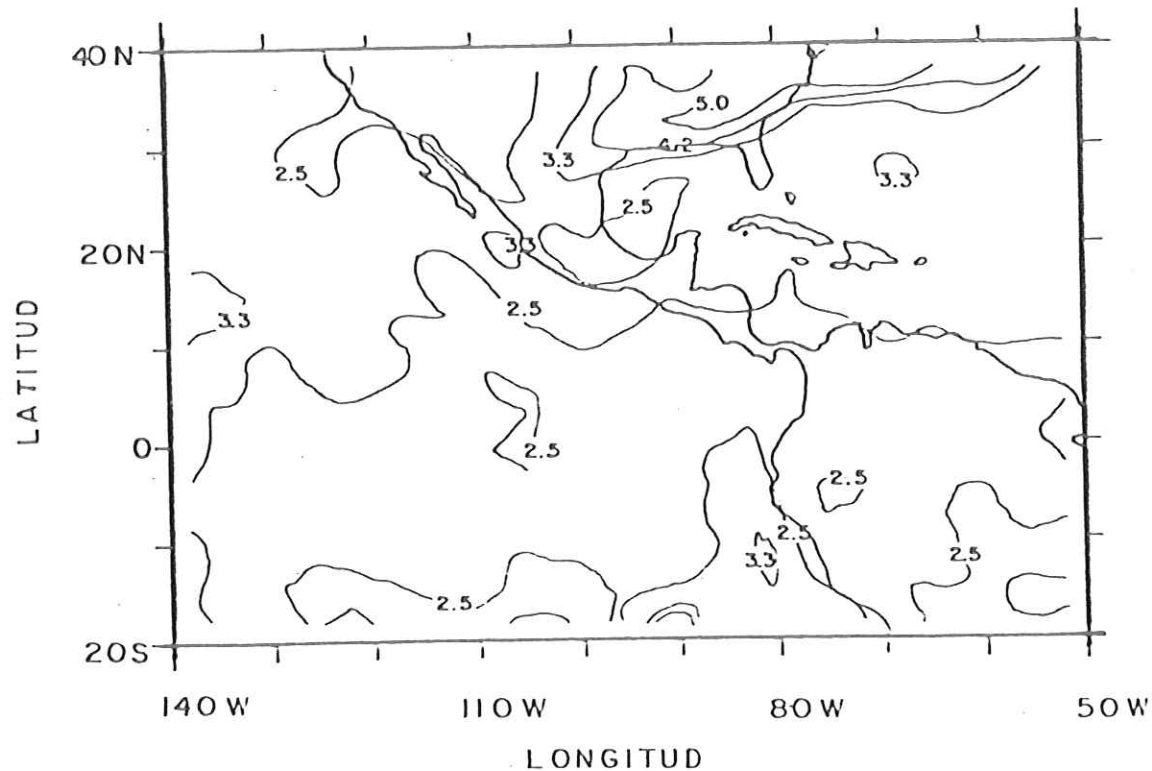
Del primero al 15 de Septiembre (Fig. 16a) el campo de AP se caracteriza por el inclinamiento de las isolíneas de 36, 34, 32 y 30 mm al noreste de los 110 grados W sobre las masas de agua adyacentes a la costa oeste de la República Mexicana. Se presenta también un desplazamiento de isolíneas al noreste de los 80 grados W sobre el Mar Caribe y Golfo de México, alcanzando la costa sureste de los Estados Unidos. La mayor desviación estandar de 5 mm (Fig. 16b) se presenta sobre la costa sureste de los Estados Unidos.

b) Nivel II (700-500 mb).

El contenido de agua precipitable para el nivel II (700-500 mb) es del orden de tres veces menor que el del nivel I. Vemos que para el mes de Mayo (Fig. 17a) se caracteriza por un alto valor de AP (11 mm) entre los 60 grados W y los 80 grados W sobre la zona septentrional de América del sur. Se observa al oeste de los 80 grados W entre los 0 grados y 10 grados N una tendencia de las isolíneas a desplazarse hacia el oeste sobre el Océano Pacífico. Se presenta al este de los 80 grados W sobre el Mar Caribe una lengüeta que se inclina hacia el noreste. Sobre la República Mexicana se observa que las isolíneas muestran una tendencia hacia el norte. La mayor desviación

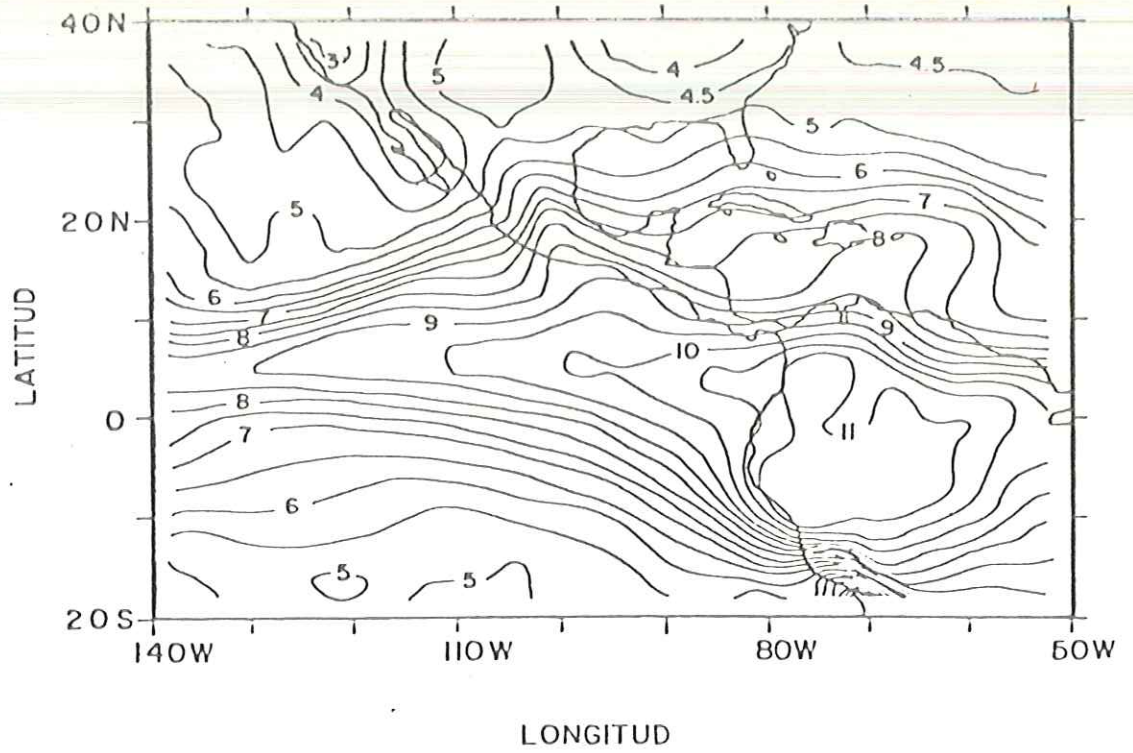


a) Promedio mensual

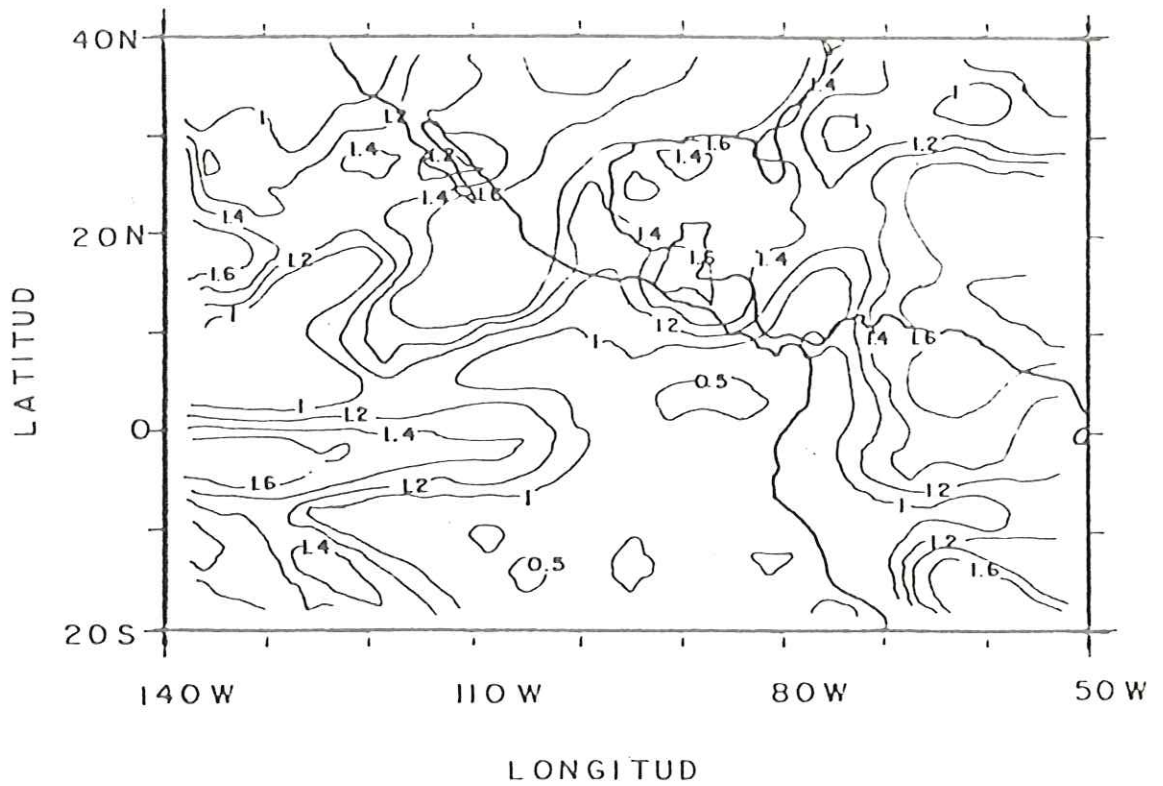


b) Desviación estandar

Fig. 16 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el 1 al 15 de Septiembre de 1979. Nivel I (superficie - 700 mb).



a) Promedio mensual



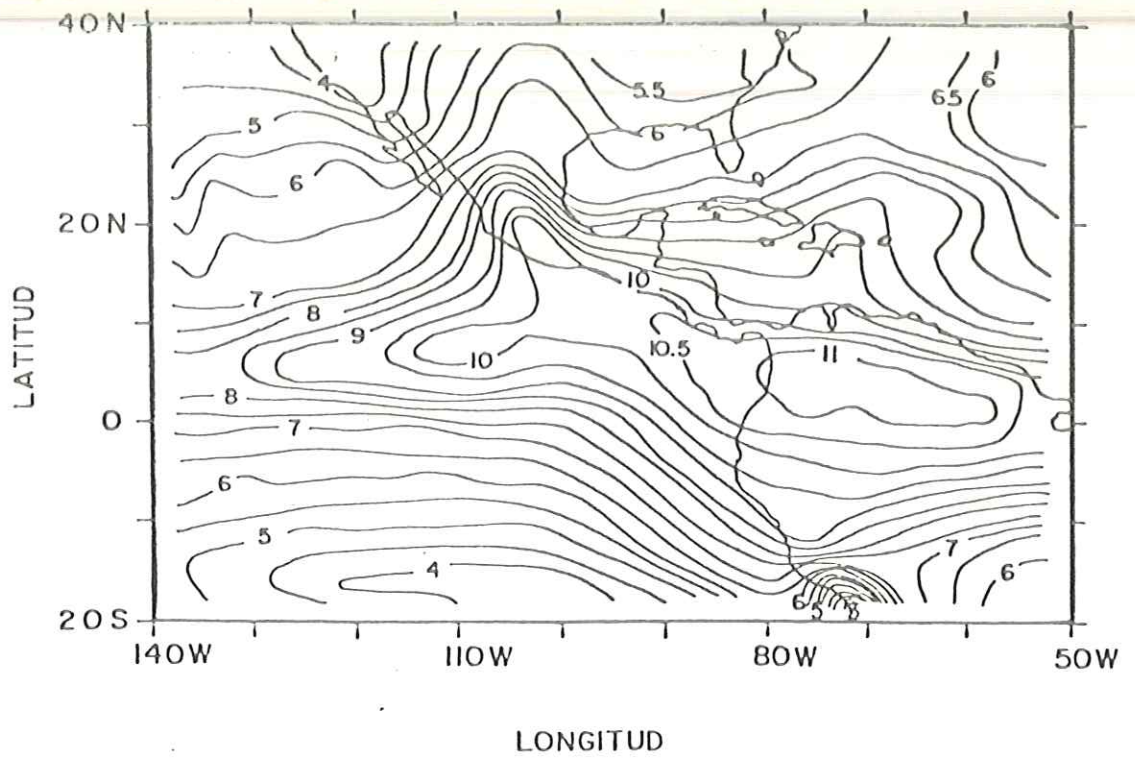
b) Desviación estandar

Fig. 17 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Mayo de 1979. Nivel II (700-500 mb).

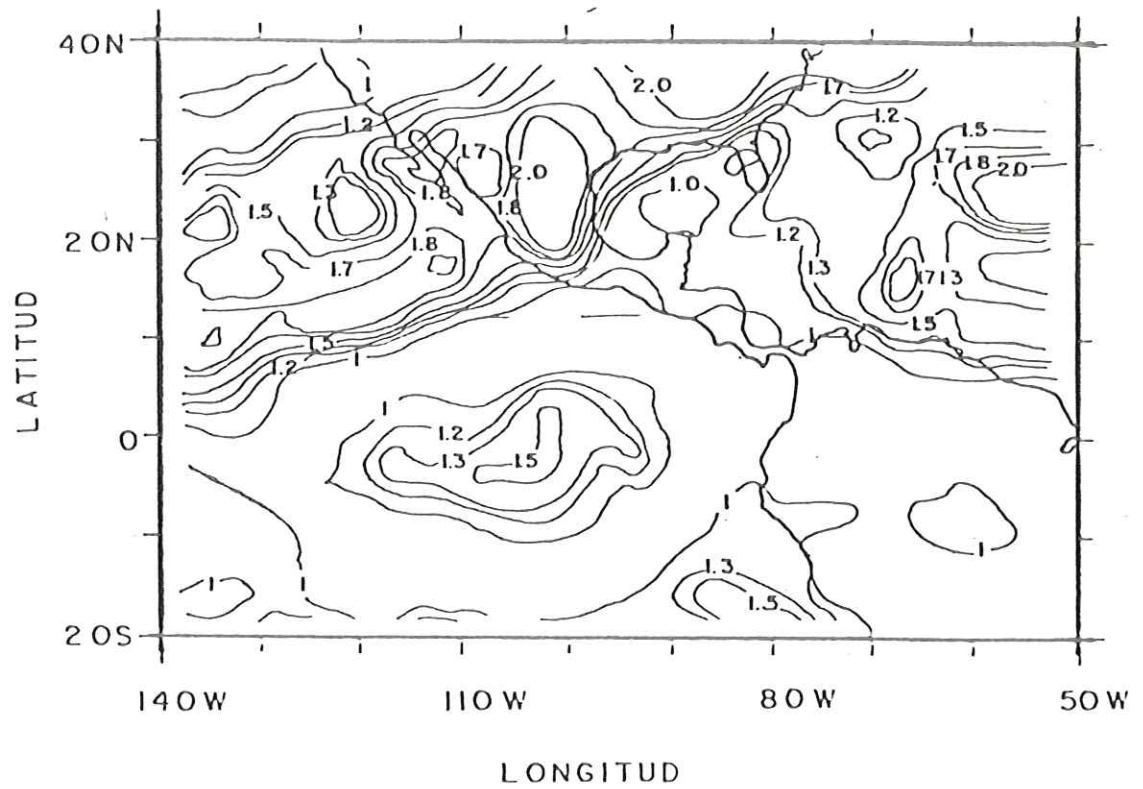
estandar de 1.6 mm (Fig.17b) se presenta al este de los Estados Unidos, norte de la República Mexicana y hasta los 120 grados W sobre el Océano Pacífico. Altas desviaciones estandar se observan también al este de los 70 grados W entre los 0 grados y 25 grados N, así como al oeste de los 130 grados W a los 5 grados S.

Durante el mes de Junio (Fig.18a) el máximo valor (11 mm) de AP es encontrado por arriba de los 0 grados sobre la parte norte de América del sur con una tendencia a extenderse hacia el norte sobre la costa oeste de Centro América. En éste mes se aprecian tres lenguetas una que se tiende zonalmente entre los 0 y 10 grados N sobre el OPO con un valor de 10 mm, otra sobre la República Mexicana hacia el norte con la misma magnitud anterior y la tercera sobre el Mar Caribe con una tendencia hacia el noreste presentando un valor de 9 mm. La mayor desviación estandar de 2.0 mm (Fig.18b), se encuentra sobre el norte de la República Mexicana así como al sureste de los Estados Unidos, y por el Océano Atlántico entre los 20 y 30 grados N.

En el mes de Julio (Fig.19a) se caracteriza por que se presenta el máximo desplazamiento meridional de las isolíneas de AP. Se presentan tres regiones con valores altos de AP durante éste mes, una se encuentra a los 80 grados W y 7 grados N sobre la parte norceste de América

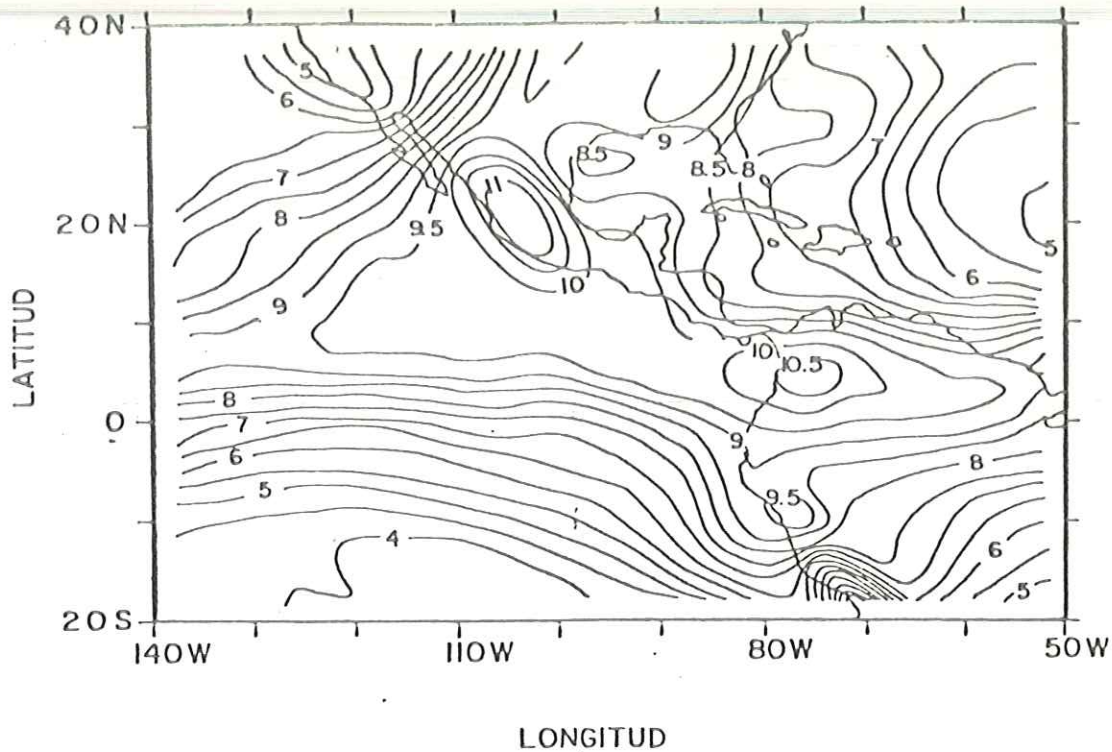


a) Promedio mensual

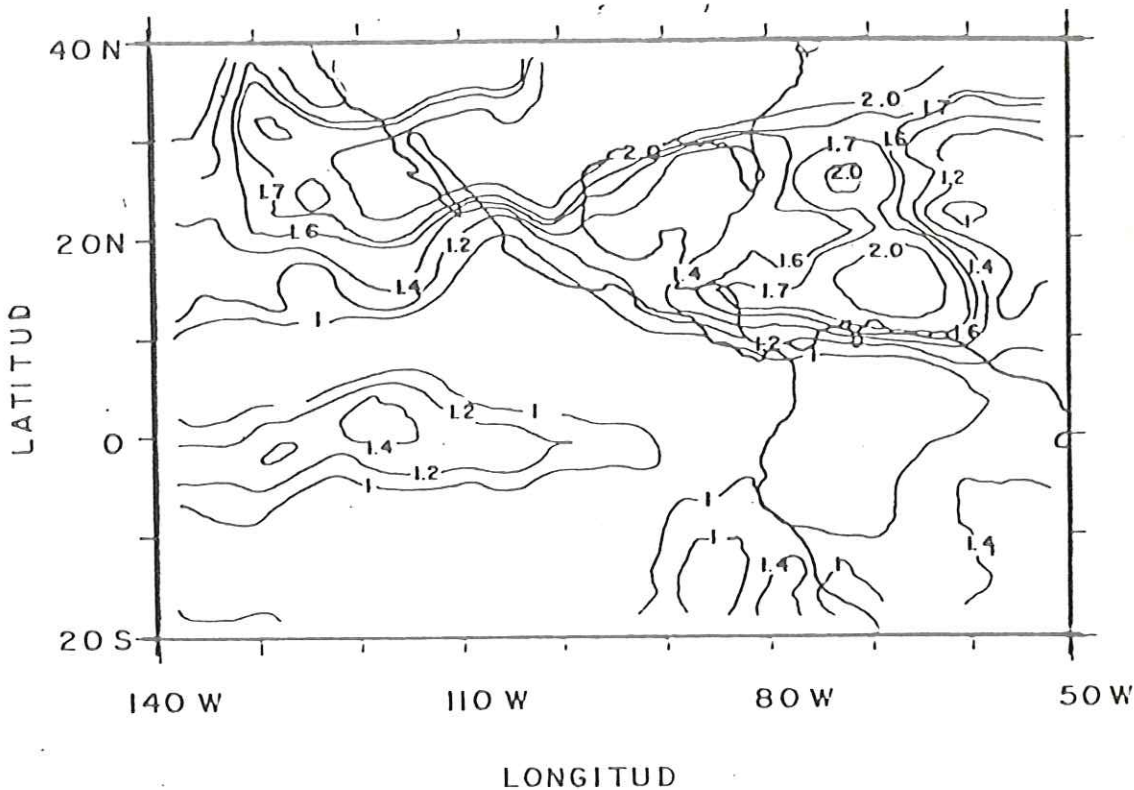


b) Desviacion estandar

Fig: 18 Promedio mensual (a) y desviacion estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Junio de 1979. Nivel II (700- 500).



a) Promedio mensual



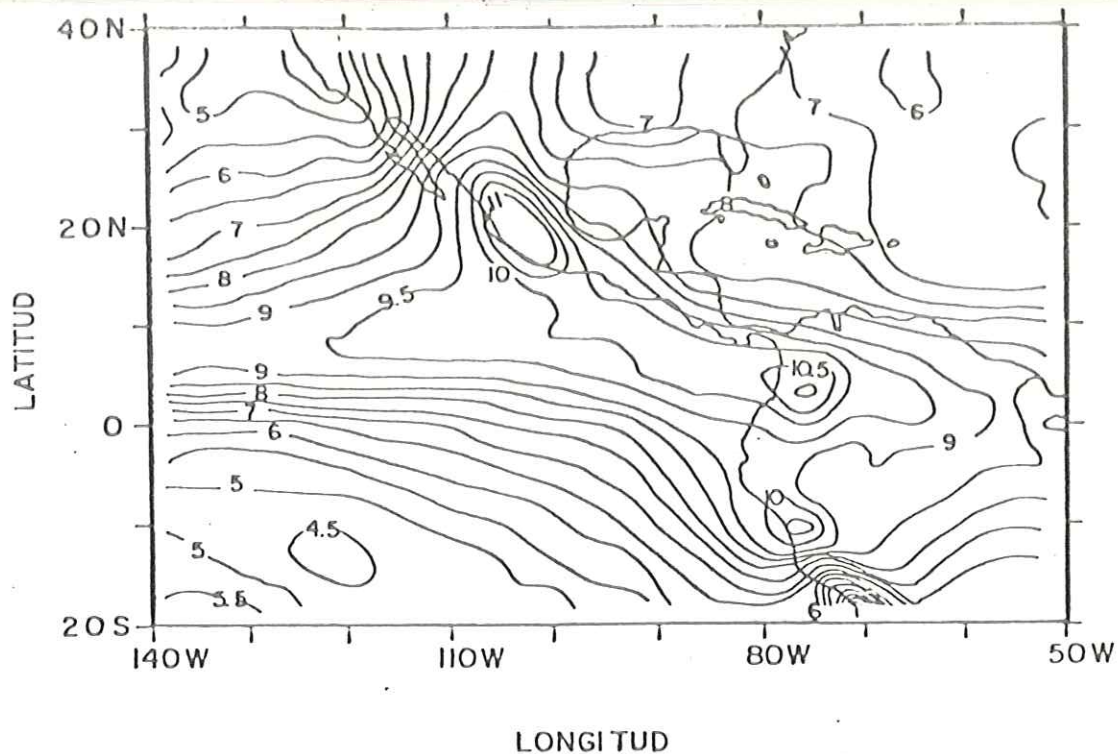
b) Desviación estándar

Fig. 19 Promedio mensual (a) y desviación estándar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes Julio de 1979. Nivel II (700-500 mb).

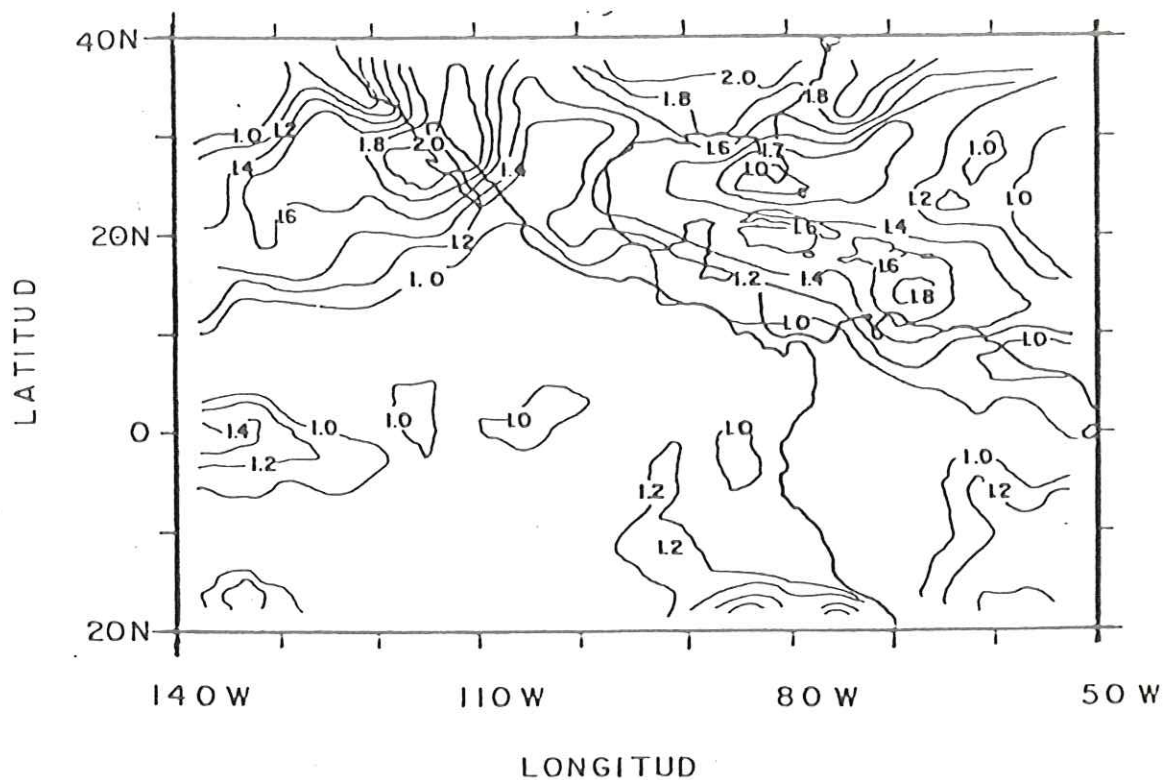
del sur con un valor de 10.5 mm, otra se encuentra a los 105 grados W y 20 grados N sobre la República Mexicana con un valor de 11 mm y la tercera a los 80 grados W y 10 grados S sobre Perú con un valor de 9.5 mm. Se puede apreciar una inclinación de isolíneas que une las regiones de valores altos de AP a lo largo de la costa de Centro América y de la República Mexicana. La máxima desviación estandar de 2.0 mm (Fig.19b) se presenta sobre los 70 grados W entre los 18 grados N y 30 grados N al este de las Antillas, y sobre el este de los Estados Unidos, noroeste de la República Mexicana hasta los 130 grados W y 20 grados N sobre el Océano Pacífico.

En el mes de Agosto (Fig.20a) se ve un relajamiento meridional general de las isolíneas tendiendo a retornar hacia latitudes menores. Se observan tres máximos de AP al igual que en el mes anterior. La mayor desviación estandar de 2.0 mm (Fig.20b) se presenta sobre el noroeste de la República Mexicana y sureste de los Estados Unidos.

Durante los primeros quince días de Septiembre (Fig.21a), se va acentuando el retorno meridional de las isolíneas. Siguen persistiendo los tres máximos valores de AP al igual que el mes anterior. La máxima desviación estandar de 2.0 mm (Fig.21b) se presenta al sureste de los Estados Unidos, así como a los 140 grados W entre los 10 grados N y 20 grados N sobre el OPO. Máximos valores de AP

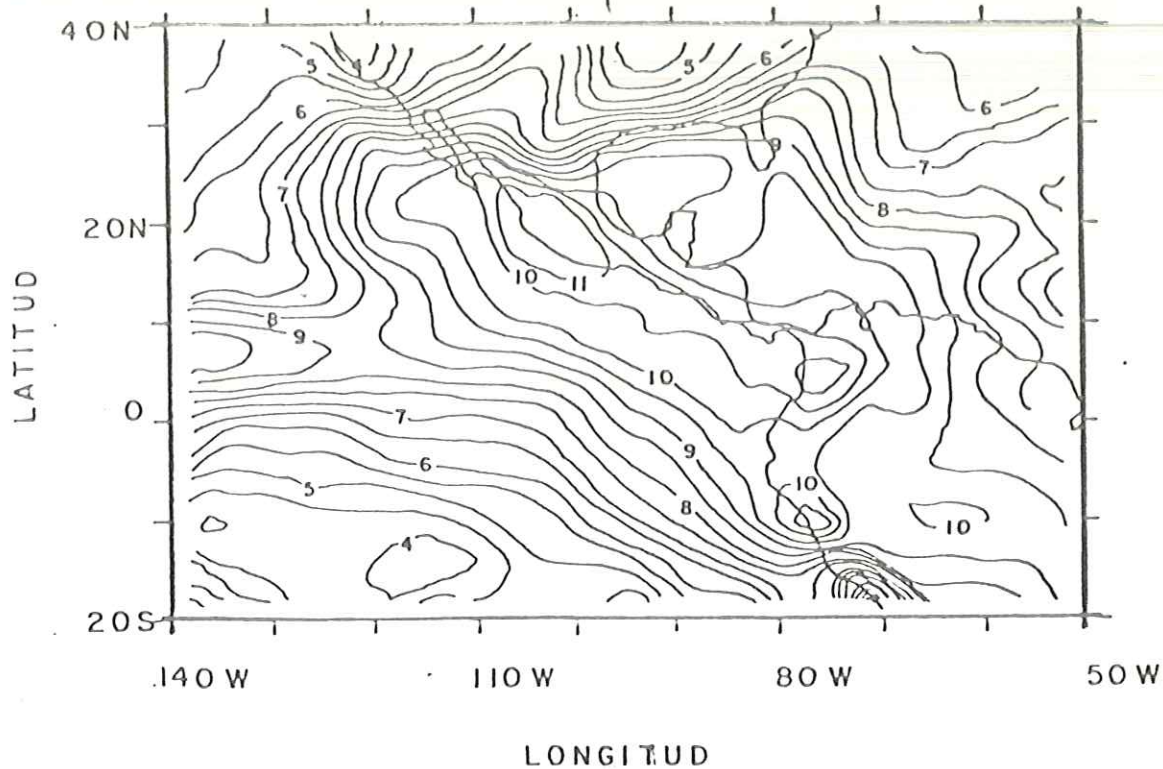


a) Promedio mensual

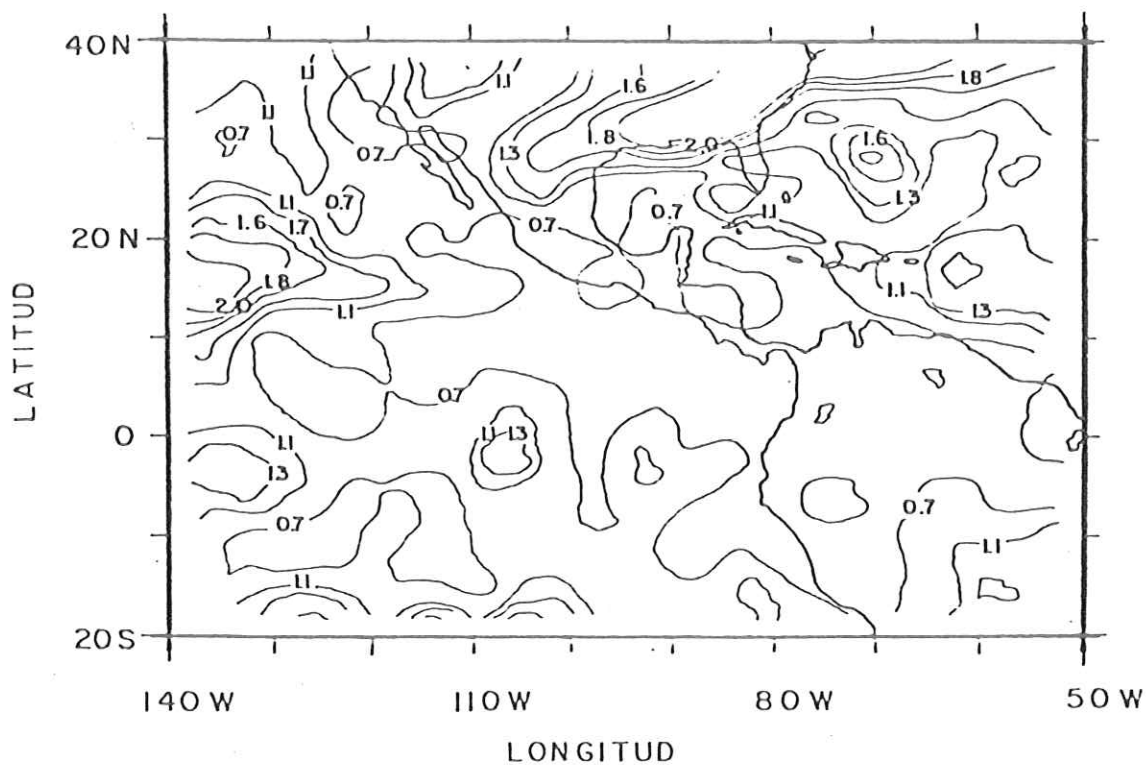


b) Desviación estandar

Fig.20 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes Agosto de 1979. Nivel II (700-500 mb)



a) Promedio mensual



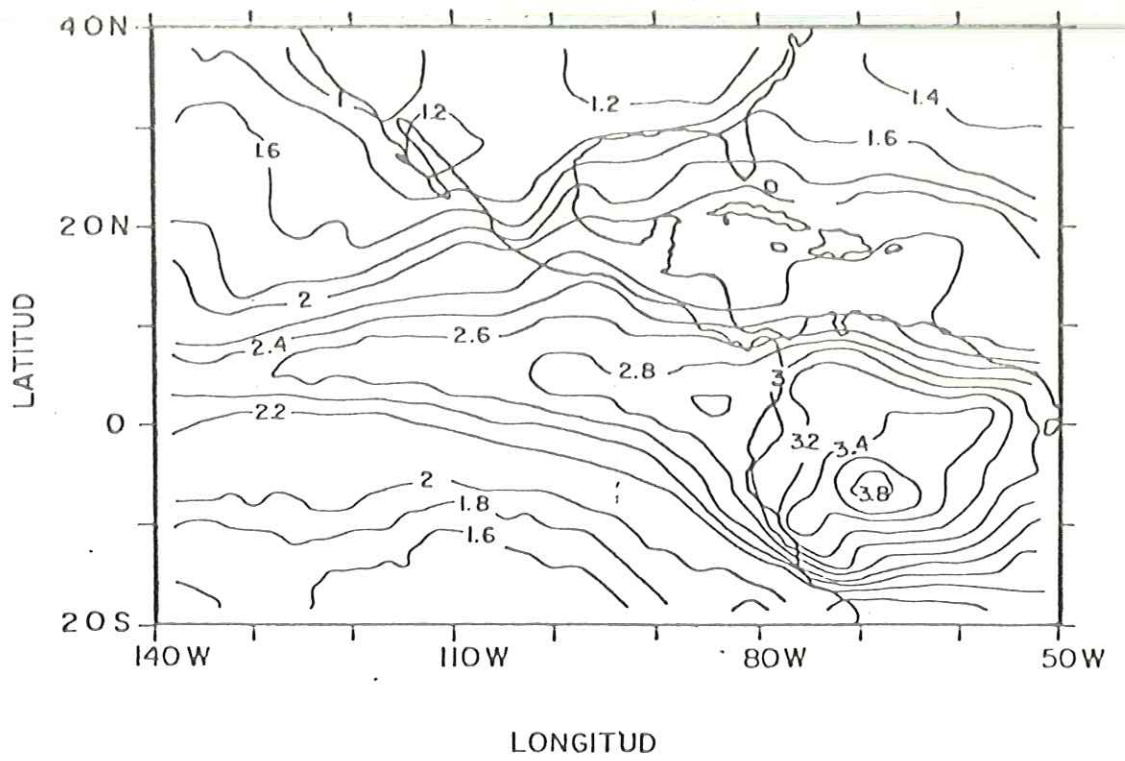
b) Desviación estándar

Fig. 21 Promedio mensual (a) y desviación estándar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el 1 al 15 de Septiembre de 1979. Nivel II (700 - 500 mb).

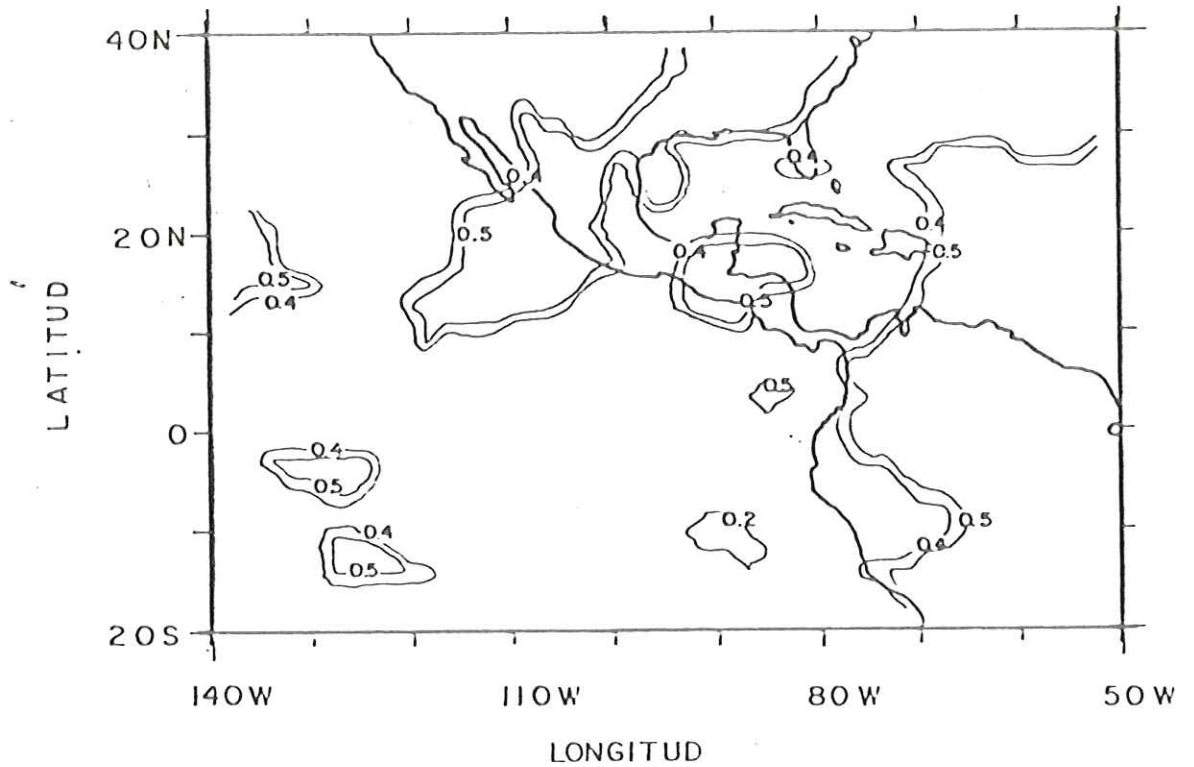
se encuentran durante los cuatro meses y medio sobre las cordilleras montañosas del hemisferio norte y sur de América, presentando pequeños gradientes principalmente sobre la cordillera Andina, sin presentar cambio alguno significativo.

c) Nivel III (500-300 mb).

La cantidad de AP para este nivel es del orden de diez veces menor que el nivel I y del orden de tres veces menor que el nivel II. El contenido de AP para el mes de Mayo (Fig. 22a) se caracteriza por un máximo de 3.8 mm a los 68 grados W y 7 grados S sobre la parte central de América del sur septentrional. Entre los 0 grados y 12 grados N se presenta la tendencia de las isolneas a extenderse hacia el oeste sobre el Océano Pacífico. Al este de los 80 grados W y al norte de los 10 grados N sobre el Mar Caribe, se presenta la inclinación de una lengüeta hacia el norte. Conforme avanza uno de oeste a este las isolneas se van inclinando hacia latitudes mayores, alcanzando su máxima inclinación sobre el continente. La máxima desviación estandar de 0.5 mm (Fig. 22b) se presenta sobre el sureste de los Estados Unidos, norte de la República Mexicana y en el Océano Pacífico hasta los 120 grados W, también en Centro América, y al este de los 80 grados W entre los 20



a) Promedio mensual



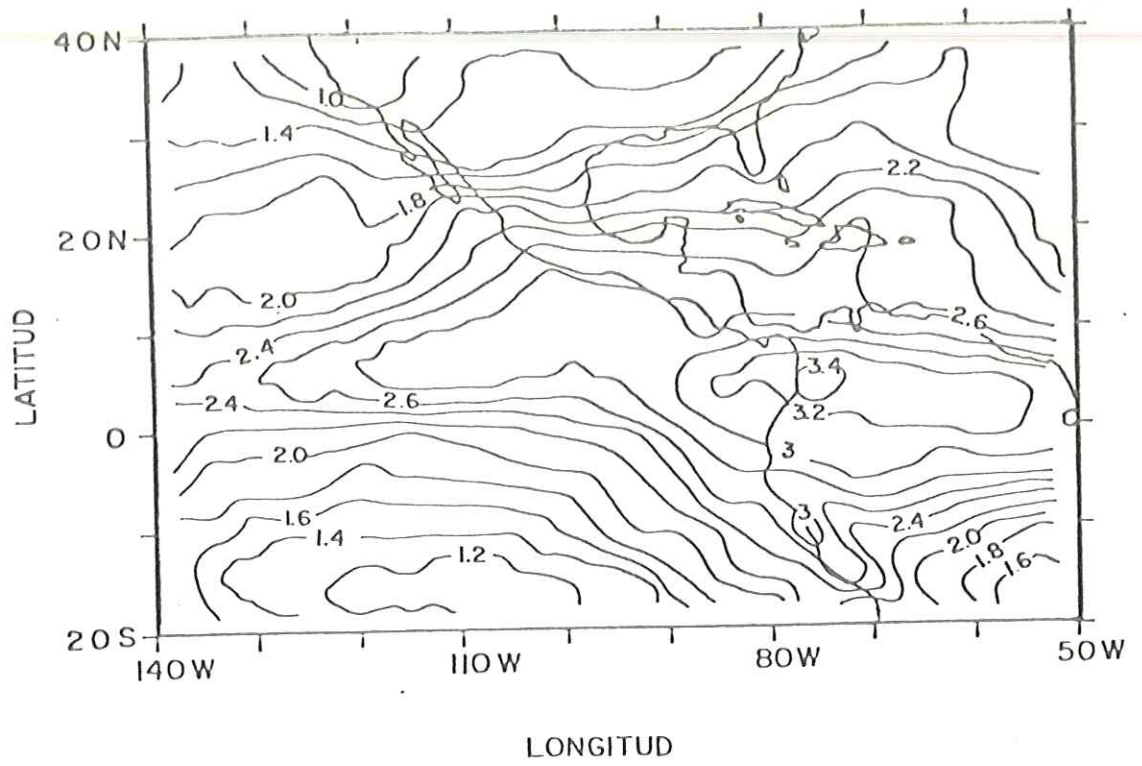
b) Desviación estandar

Fig 22 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Mayo de 1979. Nivel III (500-300mb)

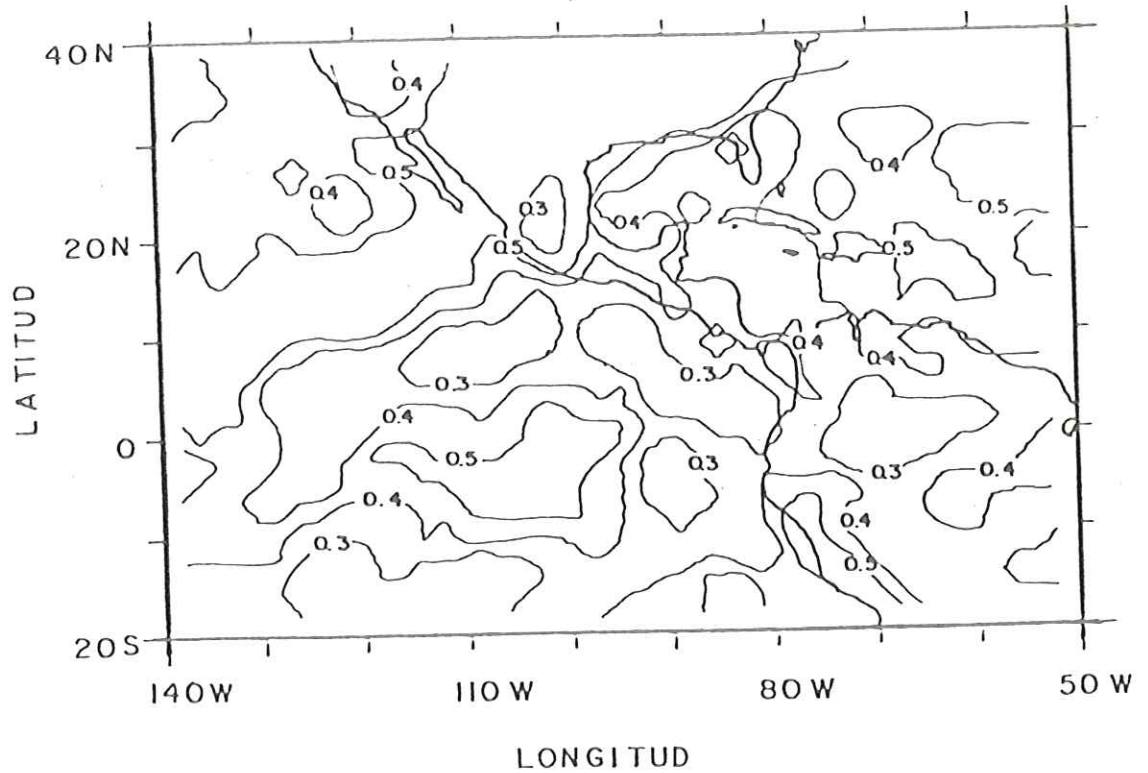
grados S y 25 grados N.

Durante el mes de Junio (Fig. 23a) el máximo valor de 3.4 mm se encuentra a los 80 grados W sobre la parte noroeste de América del sur. El desplazamiento de las isolíneas entre los 0 grados y 12 grados N ha aumentado hacia el oeste sobre el Océano Pacífico. Al este de los 80 grados W sobre el mar Caribe la inclinación de una lengüeta con un valor de 2.6 mm se ha desplazado hacia el noreste. La mayor desviación estandar de 0.5 mm (Fig. 23b) se encuentra en varias partes del continente tanto al norte como al sur, así como sobre el Océano Pacífico y Océano Atlántico.

Para el mes de Julio (Fig. 24a) se caracteriza por un desplazamiento máximo meridional de las isolíneas principalmente sobre la parte noreste de Norteamérica. Dos valores máximos de 3.0 mm se encuentran: uno a los 105 grados W y 19 grados N sobre la parte central de la República Mexicana y otro a los 80 grados W y 5 grados S sobre Colombia y Océano Pacífico adyacente. Al este de los 80 grados W y norte de los 10 grados N se observa una disminución en la cantidad de AP. Se observa una inclinación de isolíneas de noroeste a sureste a lo largo de Centro América y la República Mexicana así como sobre las masas de agua adyacentes del Océano Pacífico. La mayor desviación estandar de 0.7 mm (Fig. 24b) se presenta sobre

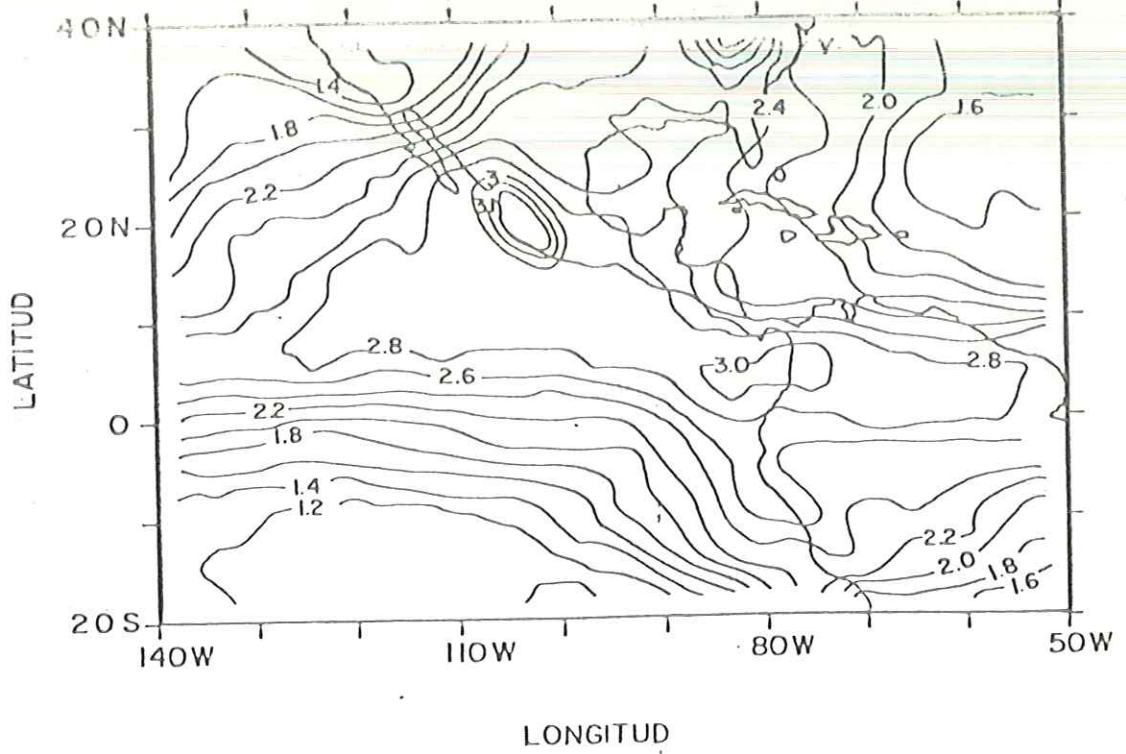


a) Promedio mensual

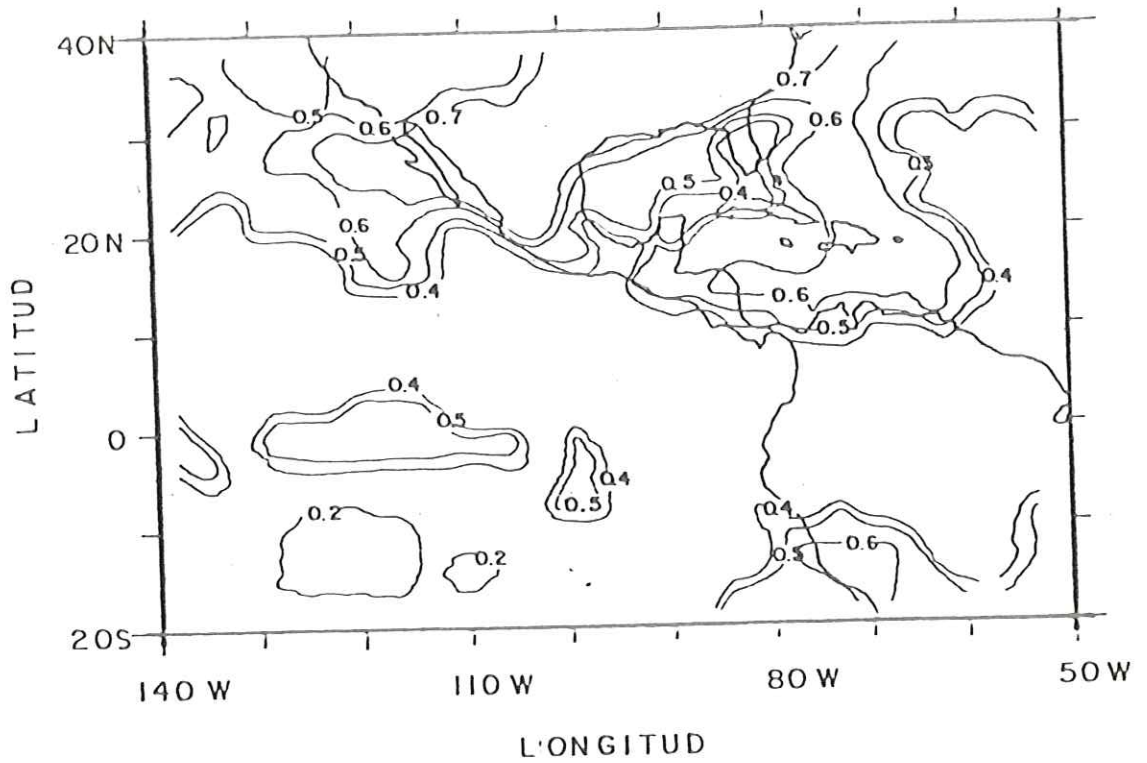


b) Desviacion estandar

Fig. 23 Promedio mensual (a) y desviacion estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Junio de 1979. Nivel III (500-300m)



a) Promedio mensual



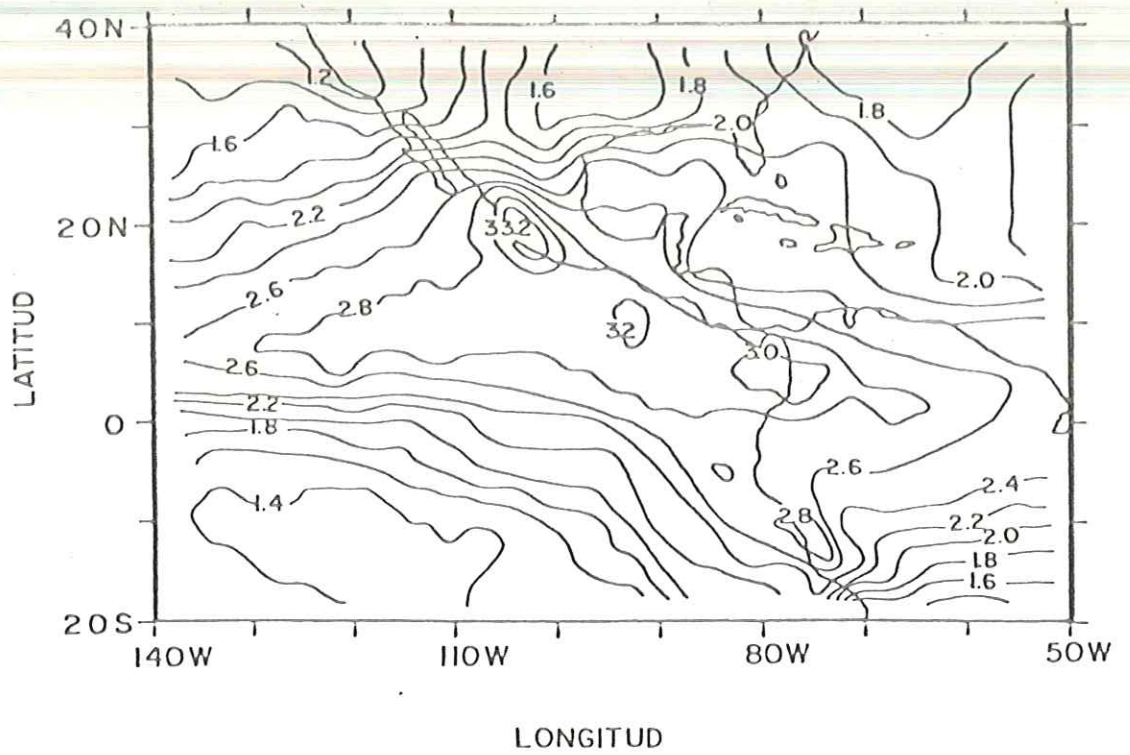
b) Desviación estandar

Fig. 24 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Julio de 1979. Nivel III (500-300 mb)

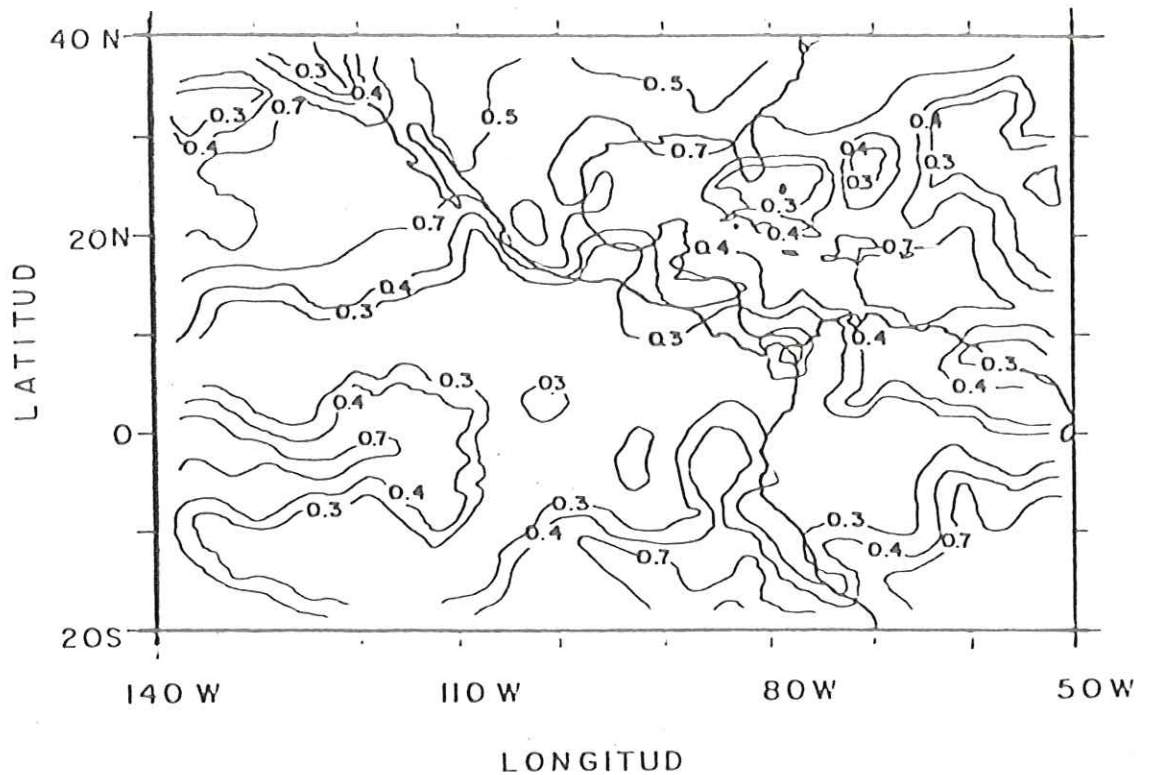
el este de los Estados Unidos, norte de la República Mexicana y Océano Pacífico adyacente a la costa noroeste de México. Se ven también altas desviaciones estandar (0.6 mm) sobre el Mar Caribe entre los 30 grados W y 65 grados W.

En el mes de Agosto (Fig.25a) se observa un retorno general de las isolíneas tendiendo a regresar hacia latitudes menores. Se presentan tres valores máximos de AP (aproximadamente 3.2 mm) a lo largo de la vertiente del Pacífico de Centro América y República Mexicana. Entre los 0 grados y 20 grados N se acentúa la tendencia de las isolíneas a desplazarse hacia el oeste sobre el Océano Pacífico. La máxima desviación estandar (Fig.25b) se presenta a latitudes altas tanto sobre el continente como sobre el océano.

Durante los primeros quince días de Septiembre (Fig.26a) se caracteriza por un desplazamiento de las isolíneas de noroeste a sureste a lo largo de la vertiente del Océano Pacífico y costa de Centro América y la República Mexicana. Los máximos valores siguen situados a lo largo de la vertiente del Pacífico de Centro América y suroeste de la República Mexicana. Sobre la parte central del sur de los Estados Unidos y el norte de la República Mexicana se aprecia la formación de un gradiente de AP. La máxima desviación estandar de 0.7 mm (Fig.26b) se presenta

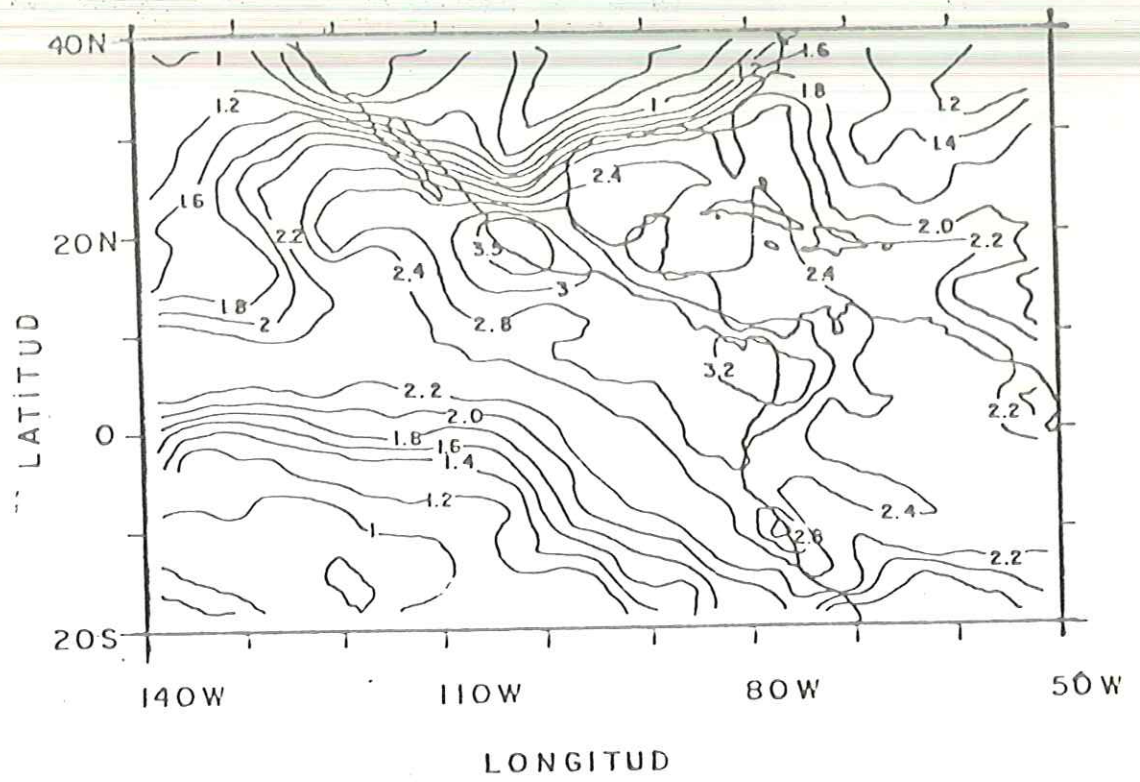


a) Promedio mensual

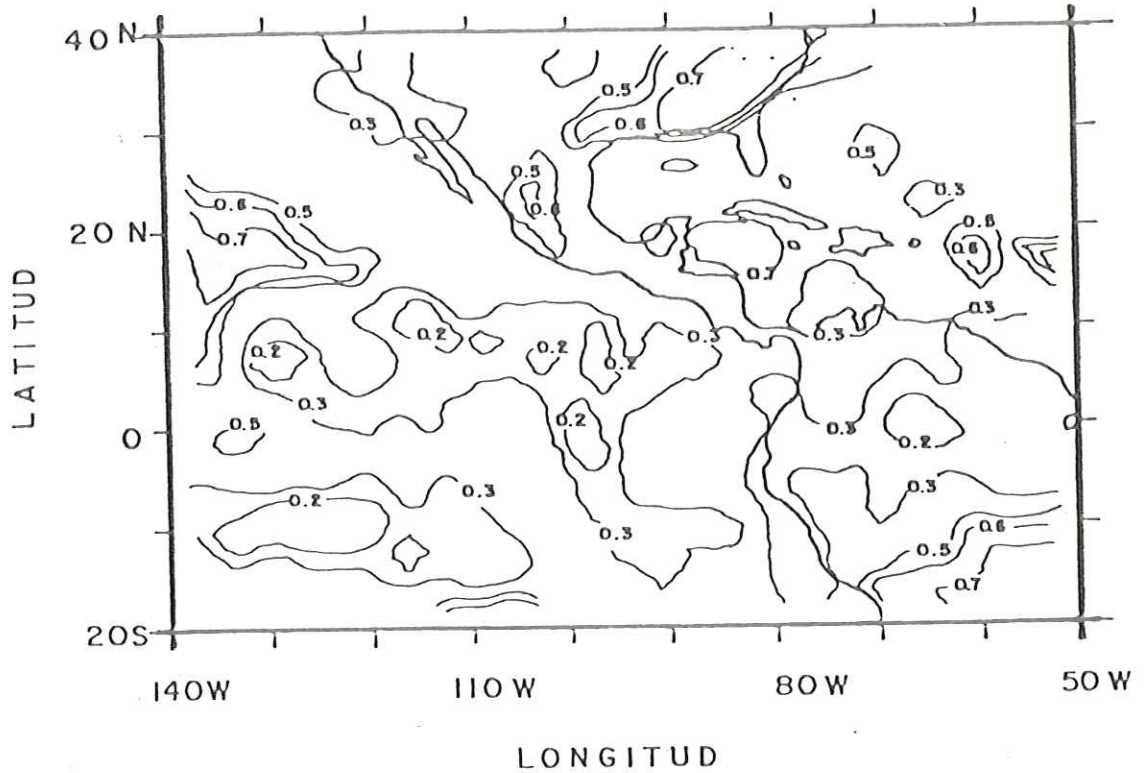


b) Desviación estandar

Fig. 25 Promedio mensual (a) y desviación estandar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el mes de Agosto de 1979. Nivel III (500 - 300 mb).



a) Promedio mensual



b) Desviación estándar

Fig.26 Promedio mensual (a) y desviación estándar (b) del Campo de Agua Precipitable Atmosférico (mm) para el 1 al 15 de Septiembre de 1979. Nivel III (500 - 300 mb).

sobre el sureste de los Estados Unidos y de 0.6 mm en la parte central de la República Mexicana, así como al oeste de los 120 grados W entre los 5 grados N y 25 grados N sobre el Océano Pacífico.

3.5 .- Flujo superficial total de vapor de agua

En latitudes tropicales la variación de radiación y temperatura a través del año es relativamente pequeña y la marcha de estaciones es reflejada en el cambio de estación seca o lluviosa, de aquí que el patrón de flujo del vapor de agua atmosférico es de particular interés para el entendimiento de las estaciones y características del clima regional. Los flujos totales de vapor de agua superficial son presentados en series de tiempo, del primero de Mayo al 15 de Septiembre, a través de 10 diferentes segmentos (Fig. 27). El valor está multiplicado por 10^5 y es expresado en $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{seg}$. Los valores de flujo, mayores de cero (positivos) que se obtienen a través de las secciones longitudinales indican un flujo hacia el norte y los menores de cero (negativos) hacia el sur. Para las secciones latitudinales los mayores de cero (positivos) indican un flujo hacia el este y los menores de cero (negativos) hacia el oeste.

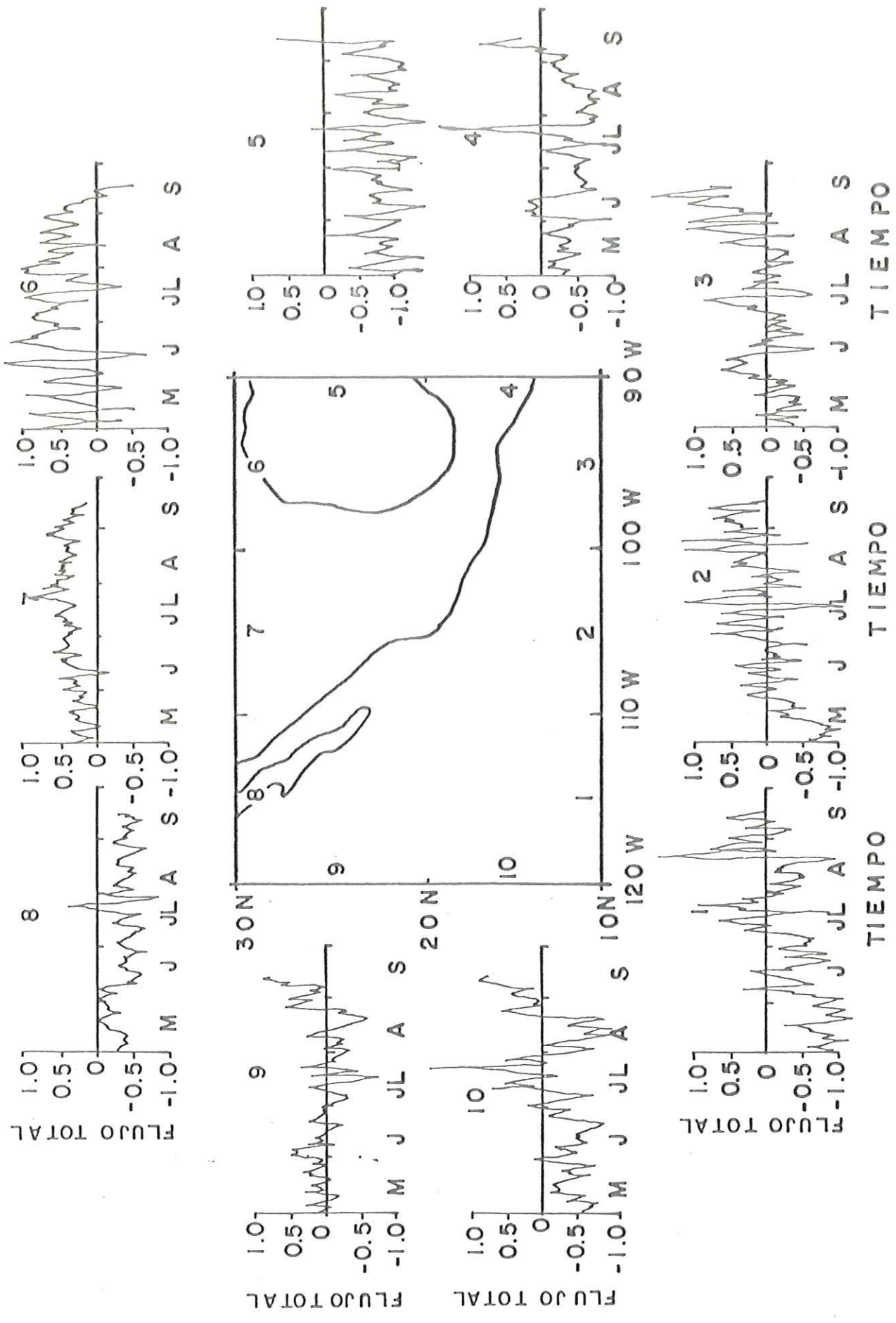


Fig. 27.- Series de tiempo del Flujo Superficial Total de Vapor de Agua alrededor de la República Mexicana. Para los segmentos meridionales (1,2,3,6 y 7) y zonales (4,5,9 y 10). Las unidades son ($\times 10^5 \text{ kg/m s}$)

A través del transecto 1 durante los meses de Mayo y Junio el flujo es esencialmente hacia el sur aproximadamente del orden de 1.0 y 0.5 respectivamente, posteriormente en el mes de Julio domina el flujo hacia el norte observándose un flujo hacia el sur de 0.7 durante el día 17. Durante la primera mitad de Agosto el flujo es hacia el sur presentándose un flujo de 0.9 entre los días 17 y 18, luego se ve en los días 19 y 20 un fuerte flujo hacia el norte máximo de 2.0, prevaleciendo después de estos días un flujo dominante hacia el norte hasta mediados de Septiembre.

En el transecto 2 durante el mes de Mayo el flujo dominante es hacia el sur mientras que durante Junio es alternante. Para el mes de Julio es básicamente hacia el norte presentando un flujo de 1.0 hacia el sur durante el día 15 siguiendo a éste un flujo de la misma magnitud hacia el norte. Durante los primeros quince días de Agosto el flujo es hacia el sur, posteriormente el flujo es hacia el norte con valores altos durante los cuales se presenta un flujo hacia el sur, continuando hacia el norte hasta mediados de Septiembre.

Para el transecto 3 a lo largo de los primeros cuatro meses los flujos son alternantes (aproximadamente de 0.5), mientras que para la primera mitad de Septiembre es hacia el norte observándose valores máximos de 2.0 durante los

días 10 y 11.

El transecto 4 se caracteriza por un dominante flujo hacia el oeste, a excepción de los días del 23 al 26 de Julio en que se observa un fuerte flujo de aproximadamente 2.0 hacia el este. Para el transecto 5 el flujo con valores entre 0.5 y 1.0 se presenta esencialmente hacia el oeste. Para el transecto 6 durante el mes de Mayo es alternante, dominando el flujo hacia el norte. En Junio es hacia el norte presentándose un flujo de 0.3 hacia el sur el día 12. Posteriormente hasta Septiembre es practicamente hacia el norte.

El transecto 7 se caracteriza por un permanente flujo hacia el norte (aproximadamente de 0.5).

En el transecto 8 el flujo es hacia el sur (aproximadamente de 0.5) durante los cuatro meses y medio, presentándose un pequeño flujo hacia el norte entre los días 23, 24 y 25 de Julio.

A través del transecto 9 durante los tres primeros meses el flujo se dirige hacia el este con bajos valores y posteriormente se invierte hacia el oeste, luego en la primera mitad de septiembre se presenta hacia el este.

En el transecto 10 se caracteriza por un flujo

dominante hacia el oeste a excepción de un fuerte flujo de 2.0 hacia el este durante los días 23, 24 y 25 de Julio.

CAPITULO IV

4 DISCUSIONES

Para ser consistentes y dar una mayor claridad de los fenómenos involucrados en éste análisis, la presentación de la discusión se hace por niveles iniciando por el nivel inferior.

a) Nivel I (superficie-700 mb)

El análisis para éste nivel revela una disminución del contenido de AP de latitudes ecuatoriales hacia latitudes mayores ya que la habilidad o capacidad de la atmósfera para retener el vapor de agua está en función de la temperatura y presión. Encontrando los valores más altos sobre las zonas ecuatoriales y subtropicales que se caracterizan por altas temperaturas y gran contenido de humedad, principalmente en la época de verano que es cuando la incidencia de los rayos solares se proyectan durante más tiempo y con mayor intensidad sobre éstas zonas. Los valores más altos de AP se encuentran en éste nivel, donde el orden de magnitud es tres veces mayor que el nivel II y del orden de diez veces que el nivel III. Esto se debe a que la fuente principal de vapor de agua atmosférico se encuentra sobre la superficie de la tierra, concentrando fuertemente el contenido de AP en el nivel inferior de la atmósfera. En éste nivel los valores máximos

sobre el océano generalmente son mayores que los valores máximos que se encuentran sobre tierra debido a la mayor evaporación que se produce sobre los océanos y a la elevación del continente sobre el nivel del mar donde el espesor & profundidad del nivel de la superficie a los 700 mb es menor.

Los valores más altos de 30 mm y 36 mm se localizan entre los 0 grados y 15 grados N sobre la costa oeste de Centro América y Océano Pacífico y conforme pasa el tiempo durante los cuatro primeros meses tienden a abarcar una mayor área, principalmente hacia el oeste sobre el OPO, alcanzando su máxima extensión en el mes de Agosto. Esto se debe principalmente a dos posibles causas: Entre estas latitudes se presenta la zona de máxima radiación solar en donde uno de sus efectos principales es la formación de la zona de convergencia caracterizada por la confluencia de los vientos alisios del noreste y los alisios del sureste. Además de la presencia de las corrientes nor y sur ecuatorial, caracterizadas por altas temperaturas que transfieren gran contenido de humedad y calor mediante el proceso de evaporación, saturando de humedad al nivel inferior de la atmósfera.

El desplazamiento meridional que se observa en las isolíneas de AP principalmente sobre los océanos se debe a que conforme pasa el tiempo durante los primeros cuatro meses la zona de máxima radiación se va desplazando hacia el norte

alcanzando su máximo desplazamiento durante el mes de Agosto. Así vemos que sobre el Golfo de México y Mar Caribe existe una alta insolación, provocando una mayor evaporación y aumentando el contenido de AP, alcanzando sus valores más altos de 34 mm y 36 mm durante el mes de Agosto y primera mitad de Septiembre.

Un rompimiento de la zonalidad en la continuidad de las isolíneas sobre el OPO se observa sobre la costa que es afectada por las corrientes de California y del Perú, donde el contenido de AP disminuye drásticamente debido a las bajas temperaturas que presentan estas corrientes provocando que las masas de aire sobre éstas tengan temperaturas más bajas que las de su alrededor y por lo tanto disminuye su capacidad para retener el vapor de agua. Mientras que sobre las corrientes nor y sur ecuatorial se advierte que la zonalidad se mantiene continua presentando valores altos de AP.

El comportamiento del campo de AP se puede asociar también a las perturbaciones atmosféricas que se presentaron durante el verano de 1979. Durante este año fue manifiesta la actividad de perturbaciones atmosféricas de sistemas de origen tropical durante el período de tiempo del 31 de Mayo al 18 de Noviembre, presentándose 19 perturbaciones de las cuales 16 ocurrieron durante el período de nuestro estudio, 13 sobre el OPO y 6 sobre el Golfo de México (Gunter, 1980, Anónimo 1, 1979). Las perturbaciones que se presentaron sobre el OPO

mostraron una dirección predominante hacia el noroeste teniendo su origen en la vertiente del Pacífico de la República Mexicana. Se puede apreciar un comportamiento similar de desplazamiento hacia el noroeste de las isolíneas de AP que se encuentran sobre esta área. Por otro lado, sobre el Golfo de México todas las perturbaciones presentaron una dirección hacia el noroeste sobre la costa sureste de los Estados Unidos, donde un patrón de desplazamiento similar es observado en los campos de AP sobre estas zonas. Ahora, de las zonas y áreas donde se obtienen valores más altos de desviación estandar (Figs. 12b-16b), observamos que en general se localizan precisamente sobre el OPO y costa oeste de la República Mexicana y por otro lado sobre el Golfo de México y costa sureste de los Estados Unidos, que prácticamente son las áreas donde se presentaron las diferentes perturbaciones atmosféricas.

Sobre los continentes el contenido de AP se caracteriza por dos fuertes gradientes simétricos: Uno que se encuentra sobre el sistema montañoso y planicies altas de América del norte y otro sobre la cordillera Andina en América del sur. Aquí es donde se encuentran los valores más bajos debido a la elevación de ambos sistemas montañosos. Sobre la zona del Amazonas es donde se encuentran los valores más altos para las áreas continentales, se sugiere que se debe principalmente a la gran evapotranspiración efectuada por las plantas, además de la abundante precipitación que se presenta en esta área

donde la radiación solar provoca una gran evapotranspiración que aumenta el contenido de AP en la atmósfera.

b) Nivel II (700-500 mb)

El contenido de AP para este nivel (Figs. 17a-21a) es del orden de tres veces menor que el del nivel anterior ya que se encuentra más alejado de la superficie de la tierra que es la fuente principal de vapor de agua de la atmósfera, además que en este nivel existe aproximadamente 2 Km de distancia entre los 700 y 500 mb a diferencia del nivel anterior que hay aproximadamente 3 Km de distancia entre la superficie y los 700 mb, por lo tanto obtenemos valores más bajos. Para este nivel el contenido de AP que se encuentra sobre el sistema montañoso de América del Norte y la cordillera Andina en América del Sur, se puede apreciar más claramente. A estas alturas el vapor de agua se ha transportado de un lugar a otro a través de la circulación de vientos de tal forma que el contenido de vapor de agua atmosférico no se sabe con certeza si el origen proviene del océano ó del continente. Sobre el Océano Pacífico se presenta un patrón zonal de AP más o menos uniforme entre los 20 grados N y 10 grados S con valores de 5 mm a 9 mm que conforme se acercan al continente, se desplazan hacia latitudes mayores. Esto se debe al diferente calentamiento provocado por la radiación solar entre el océano y el continente. Sobre el océano el calentamiento es atenuado debido a su capacidad calorífica, además que el calor es

dispersado hacia las masas de agua inferiores evitando cambios bruscos y altas temperaturas sobre la superficie del mar, mientras que sobre la tierra la superficie se calienta en gran manera y presenta cambios bruscos de temperatura, esto produce masas de aire más caliente sobre los continentes que sobre los océanos, particularmente en verano y por lo tanto la capacidad del aire a retener más vapor de agua se encuentra sobre los continentes.

Vemos que conforme avanza el tiempo de Mayo a Junio la cantidad de AP sobre la región de la República Mexicana va aumentando hasta llegar a formar un centro máximo de 11 mm. en el mes de Julio y que prevalece hasta Septiembre. Esto se debe a que la radiación solar va aumentando hacia latitudes mayores durante los meses de Mayo a Agosto, provocando una gran evapotranspiración sobre esta región que se caracteriza por grandes bosques y abundante vegetación, además de las altas cantidades de precipitación. Durante los primeros cuatro meses las isolíneas de AP muestran un desplazamiento meridional, principalmente sobre el continente en el Hemisferio Norte, alcanzando su máximo desplazamiento durante los meses de Julio y Agosto que es cuando se presenta el máximo desplazamiento de la zona de mayor radiación solar, empezando a regresar hacia latitudes menores durante el mes de Septiembre.

Se sugiere que la formación de los centros de alta concentración de AP están asociados a zonas convectivas que transportan el vapor de agua que proviene de la evapotranspiración de los bosques que se encuentran en montañas a niveles superiores de la atmósfera. En el campo promedio de AP para el mes de Mayo (Fig. 17a) se observa que la máxima cantidad de AP de 11 mm se encuentra sobre América del Sur zona septentrional oeste, debido al efecto conjunto de la evapotranspiración y del transporte de vapor de agua provocado por los vientos superficiales del suroeste provenientes del Océano Pacífico y los vientos del sureste que al atravesar la zona del Amazonas se satura de humedad, ambos sistemas de viento chocan con la cordillera Andina tendiendo a elevarse sobre de ésta, transportando vapor de agua a niveles superiores pero no en gran proporción ya que al ir ascendiendo las masas de aire se expanden disminuyendo su temperatura y el vapor de agua empieza a condensarse aumentando el volumen y peso de las gotas de agua hasta llegar a cierto punto en el cual se empieza a precipitar perdiendo cierta cantidad de AP.

La disposición de isolíneas de noroeste a sureste entre los 20 grados N y 10 grados S que se presenta a lo largo de la Vertiente del Pacífico de América Central y República Mexicana, a partir del mes de Julio prevaleciendo hasta Septiembre (Figs. 19a-21a), se debe al efecto conjunto de la actividad convectiva y masas de aire ascendentes asociado al campo de viento superficial que al chocar con las llamadas

tierras continentales se elevan transportando vapor de agua y aumentando el contenido de AP a niveles superiores.

En el Golfo de México y Mar Caribe el contenido de AP se mantiene con valores constantes de 9 mm y 8 mm, mostrando un patrón más o menos zonal durante los dos primeros meses a excepción de una lengüeta (isolínea de 8 mm) que se observa sobre el Mar Caribe. Posteriormente se ve el rompimiento de ésta zonalidad en los meses siguientes debido al aumento de AP sobre América del Norte, producto de una elevación de temperatura sobre el continente correspondiente al corrimiento hacia el norte de la zona de máxima radiación, tendiendo a retornar hacia el sur durante el mes de Septiembre que es cuando las masas de aire de latitudes medias y polares se empiezan a desplazar hacia el sur, a través de Norteamérica disminuyendo la capacidad de la atmósfera a retener vapor de agua y por consiguiente obtenemos valores bajos de AP.

En general los valores más altos de desviación estándar (Fig. 17b-21b) se presentan en el Hemisferio Norte por arriba de los 10 grados N, correspondiente al período de lluvias y tormentas tropicales de primavera-verano. Nótese la isolínea de 1.0 mm como límite inferior de la zona de mayor desviación estándar. Los valores más altos se encuentran sobre la costa sureste de los Estados Unidos que es una región fuertemente afectada por las perturbaciones tropicales que se presentaron durante 1979 (Anónimo 1, 1979).

c) Nivel III (500-300 mb)

La estructura espacial y evolución temporal del campo de AP para este nivel (Fig. 22a-26a) es algo semejante al del nivel II teniendo sus valores más altos de 3.0 mm que es aproximadamente del orden de tres veces menor que el nivel II y del orden de diez veces menor que el nivel I. Sobre el OPQ se presenta un patrón zonal de AP siendo interrumpido por la presencia del continente, en el cual el contenido de AP aumenta debido a la variación mensual latitudinal de la zona de máxima radiación solar que se recorre hacia el norte durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, desplazando las isolíneas hacia el norte retornando hacia el sur durante el mes de Septiembre donde se observa un retorno de las isolíneas sobre la parte Norte de nuestra área de estudio.

Se sugiere que los principales procesos de transporte de vapor de agua que se presenta en este nivel son : La actividad convectiva que se presenta con mayor intensidad sobre el OPQ a lo largo de un cinturón zonal entre los 0 grados y 15 grados N, correspondiente a la posición de la zona de convergencia tropical superficial y a lo largo de la Vertiente del Pacífico de Centro América y República Mexicana, entre los 20 grados N y 10 grados S, formándose dos centros de fuerte actividad convectiva uno de los cuales se localiza sobre la parte media oeste de la República Mexicana y otro sobre la costa norte de Colombia. Estas regiones están

caracterizadas por ser tierras elevadas en las que se tiene extensas áreas boscosas y abundante vegetación, además de una alta precipitación. Sobre estas áreas se produce fuertemente la evapotranspiración que es un factor principal de aporte de vapor de agua a niveles superiores de la tropósfera.

Los valores de mayor desviación estandar (Figs. 22b-26b) se presentan en el Hemisferio Norte al norte de los 10 grados N correspondiente al período de lluvias y tormentas tropicales que se presentaron durante el primavera-verano de 1979 (Anónimo 1, 1979), (Gunter, 1980). Los valores más altos se localizan en la parte sureste de los Estados Unidos y parte norte de la República Mexicana.

Flujo Superficial total de vapor de agua

Los flujos superficiales de vapor de agua son presentados en series de tiempo del 1ro. de Mayo al 15 de septiembre de 1979, a través de 10 diferentes segmentos (Fig. 27). El valor está multiplicado por 10^5 y las unidades están dadas en $\text{kg/m}^2\text{s}$. El flujo que se presenta a través de los transectos longitudinales del límite sur (1, 2, y 3) va aumentando conforme pasa el verano, iniciándose con un flujo hacia el sur y alternante durante los meses de Mayo y Junio respectivamente. Observándose a partir de Julio a excepción del mes de Agosto un flujo predominante hacia el norte, éstos flujos son el principal agente de transporte de humedad hacia el OPO norte y

costa suroeste de la República Mexicana, desempeñando un importante papel durante el período de lluvias de ésta región. La variación de dirección del flujo es debido a la variación de la componente del viento más bien que a la humedad. La magnitud se debe principalmente al contenido de humedad que se transporta a través de éstos transectos característicos de ésta región. Además, la magnitud de la componente meridional del viento a lo largo de éstos es de bajo valor, con una magnitud entre los 0 y 1 m/seg, (Reyes y Cadet, 1985).

Los flujos que se presentan a través de los transectos latitudinales del límite este (4 y 5), son esencialmente hacia el oeste, transportando gran contenido de humedad proveniente del Mar Caribe y el este del Golfo de México. En general la intensidad que se presenta a través de éstos transectos es debido al efecto conjunto del contenido de humedad y altas velocidades de la componente del viento (aproximadamente 5 m/seg promedio mensual) (Reyes y Cadet 1985). Rasmusson (1967) en su estudio encuentra que la fuente principal de humedad que penetra hacia la parte este de Norte América se localiza en un cinturón entre los 15 grados N y 30 grados N, proveniente del Mar Caribe y Golfo de México, es por esto que el segmento 5 presenta valores más altos que el del segmento 4.

Los flujos que se observan a través de los transectos del límite norte (6,7), presentan un flujo predominantemente hacia

el norte introduciendo gran contenido de humedad a través de la costa sureste de los Estados Unidos lo que concuerda con Rasmusson (1967). El flujo que penetra a través del transecto 5, sobre el Golfo de México donde el contenido de humedad se incrementa por el exceso de evaporación da vuelta hacia el norte debido a la orografía continental, penetrando por la costa sureste de los Estados Unidos, éste es el efecto que produce un persistente flujo hacia el norte en el transecto 6, éstos flujos se vieron fuertemente afectados por las perturbaciones tropicales que se presentaron durante 1979, así podemos identificar un pico durante el 23 y el 24 de Julio que corresponden al huracán "Dolores" y "Fefa" (Anónimo [1], 1979). En el transecto 7 el flujo es hacia el norte con menor intensidad que el transecto 6, ya que se ve afectado por la escasez de humedad de la parte este y oeste de la Sierra Madre Occidental caracterizadas por tierras áridas y desérticas. Los flujos que se presentan a través de los transectos; 8 hacia el sur y el 9 que es variable se ven afectados por el desplazamiento del centro de alta presión que se localiza en el Océano Pacífico norte, a partir de Julio el flujo que se presenta a través del transecto 9 se vuelve alternante, posteriormente durante Septiembre se invierte hacia el este y se vuelve más intenso debido al cercamiento del centro de alta presión aumentando la intensidad del viento en ésta zona. El flujo que se presenta a través del transecto 10 se caracteriza por un persistente flujo hacia el oeste durante Mayo y Junio, y primera mitad de Julio invirtiéndose durante los días 23, 24

y 25 de este mes para posteriormente seguir hacia el oeste.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Se examinó la estructura espacial y la evolución temporal del promedio mensual del agua precipitable en tres diferentes niveles atmosféricos de Presión: de la superficie a 700 mb, de 700 a 500 mb y de 500 a 300 mb, sobre el océano Pacífico oriental, Norteamérica y Centroamérica. El análisis se basa en datos obtenidos cada 12 hrs del primero de Mayo al quince de Septiembre de 1979. El paquete de datos de satélite Tiros-N, radiosondeo y de cobertura de nubes son analizados objetivamente sobre una malla regular de 2 grados de latitud por 2 grados de longitud dando campos de agua precipitable uniformemente distribuidos. Estos datos son mezclados con los campos de agua precipitable obtenidos a partir de los datos del nivel III-b del Primer Experimento Mundial del Tiempo, los cuales también son analizados objetivamente obteniendo los campos de agua precipitable finales.

La estructura y evolución del agua precipitable sobre los océanos es algo similar para los tres diferentes niveles. Se observa que las principales regiones de mayor contenido de agua precipitable a través de los tres diferentes niveles se localizan a lo largo de un cinturón zonal entre los 0 y 15 grados N sobre el Océano Pacífico, asociado a la posición de

la zona de convergencia tropical, mientras que sobre la tierra los valores más altos se localizan en la zona del Amazonas.

El efecto conjunto de la variación mensual latitudinal de la zona de máxima radiación solar y la orografía que presenta el continente son los factores que explican el rompimiento de la zonalidad del agua precipitable que se presenta sobre el continente, aumentando el contenido de agua precipitable hacia el Norte durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, retornando hacia el sur durante Septiembre.

En el nivel I el contenido de agua precipitable se ve fuertemente concentrado, siendo del orden de tres veces mayor que el nivel II y del orden de diez veces mayor que el nivel III, mostrando el efecto orográfico de los sistemas montañosos de ambos hemisferios, caracterizados por dos gradientes simétricos con valores bajos de agua precipitable. En el nivel II y III se muestran los fenómenos de convektividad y elevación de masas de aire asociados al campo de viento superficial. Se encuentran zonas altamente convectivas en la parte media oeste de la República Mexicana y al Norte de Colombia y masas de agua del Océano Pacífico adyacentes a estas regiones. Se sugiere que los centros de alta concentración de AP están relacionados a zonas altamente convectivas que transportan el vapor de agua que proviene de la evapotranspiración de los bosques que se encuentran en los sistemas montañosos que sobrepasan los niveles superiores de

la atmósfera.

Se analiza el flujo superficial total de vapor de agua al rededor de la República Mexicana. Se encuentra que conforme pasa el verano el flujo se incrementa principalmente por el sur, este y noreste trayendo consigo una gran cantidad de humedad indicando al Mar Caribe, Golfo de México y vertiente del Océano Pacífico de Centro América como las fuentes principales de vapor de agua.

RECOMENDACIONES

Algunas de las consideraciones que pueden ser útiles para llevar a cabo un estudio más a fondo de éste trabajo son:

i) Obtener los campos de las componentes de viento (U y V) asociado a las diferentes niveles para las cuales se obtuvo el AP. Para observar el efecto de éstos sobre el transporte del vapor de agua..

ii) Calcular y analizar los campos promedios mensuales de AP por lo menos durante un año para entender la evolución temporal a escala estacional.

iii) Es necesario tener una mayor información sobre las áreas oceánicas para así poder eliminar el análisis subjetivo que se realiza cuando se presentan perturbaciones atmosféricas.

iv) Obtener el cálculo de las componentes del flujo total (flujo turbulento que en inglés se llama "eddy" y flujo advectivo) de vapor de agua para tener una idea más clara de cual de éstos es más significativo, así como realizar el cálculo a diferentes niveles para analizar su influencia a mayor altura.

v) Analizar por separado los flujos máximos que se presentaron durante los días 23, 24 y 25 de Julio a través de los transectos 4 y 10 que se dirigen hacia el este

vi) Calcular y analizar los flujos de vapor de agua dentro y fuera de los transectos que aquí se utilizaron para tener una continuidad de lo que se presenta a sus alrededores.

BIBLIOGRAFIA

Anónimo [1], DGGN., 1979: Resumen Climatológico Anual. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Vol. VI, No. 17 México D.F. 87 p.

Anónimo [2], First Global GARP Experiment (FGGE/GARP)., 1982: FGGE Data Catalogue. Supplement No. 9. Environmental Data and Information Service National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), U.S. Department of Commerce. 105 p.

Bengtsson, L., H. Kanamitsu, P. Kallberg and S. Uppla, 1982: FGGE 4-Dimensional Data Assimilation at ECMWF. Bull. Amer. Meteorol. Soc. [63]:29-43

Bergthörsson, P. y B. R. Doos., 1955: Numerical Weather Map Analysis. Tellus, 7(3), 329-340.

Benton, G. S. and Estoque, M. A., 1954: Water-Vapor Transfer Over The North American Continent. J. Meteor. 11, 462-477.

Byers, R. H., 1959: General Meteorology. Third edition, McGraw-Hill. 540 p.

Cadet, D., 1983: Mean Field of Precipitable Water Over The Indian Ocean During The 1979 Summer Monsoon From TIROS-N Sounding and FGGE Data. Tellus, 35b:329-345.

Cadet, D. y G. Reverdin, 1981: Water Vapor Transport over the Indian Ocean during Summer 1975. Tellus, 33, 476-487.

Cadet, L.D. y H.S. Huston, 1984: Precipitable Water over Africa and the Eastern Atlantic Ocean during the 1979 Summer. Sometido a publicarse a J. Meteorol. Soc. of Japan.

Cressman, G. P. 1959: On Operational Objective Analysis System. Mon. Wea. Rev. 87, 367-374.

Gunter, B. E., 1980: Eastern North Pacific Tropical Cyclones of 1979. Mon. Wea. Rev., Vol. 8, 631-641.

Hastenrath, S. L., 1966: The Flux of Atmospheric Water Vapor over the Caribbean sea and the Gulf of Mexico. J. of Appl. Meteorol. Vol V, 778-788.

Holton, J. R., 1979: An Introduction to Dynamic Meteorology. Second edition, A.P. Nueva York. 391 pp.

López, J. H., 1983: Análisis Objetivo del Campo de Viento superficial en el Océano Pacífico Oriental durante el período de 1977-1981. Universidad Autónoma de Baja California, ESCh. Tesis Profesional, 45 pp.

Rasmusson, E., 1967: Atmospheric Water Vapor and Water of Northamerica. Part II. Large-Scale Water Balance Investigation. Mon. Wea. Rev. Vol.96, 720-743.

Reyes, S. y D. Cadet, 1985: Meteorological Characteristics over Tropical America during Summer 1979. Part I. Water Vapor and Wind Fields. Sometido a publicación al Mon. Wea. Rev.

Saucier, J. W., 1955: Principles of Meteorological Analysis. The University of Chicago Press. 438 pp.

Smigielski, F. J. and L.H. Mace, 1970: Estimating Mean Relative Humidity from the surface to 500 millibars by use of satellite pictures. ESSA. NESCTH 23, 12 pp.

Smith, W. L., H.H. Woolf, C.H. Hayden, D.Q. Mark and L.H. McMillin, 1979: The TIROS-N Operational Vertical Sounder. Bull. Amer. Meteorol. Soc. 60, 1177-1187 pp.

Thompson, A. H. and P.W. West, 1967: Use of Satellite Cloud Pictures to Estimate Average Relative Humidity below 500 mb, with Application to the Gulf of Mexico area. Mon. Wea. Rev. Vol. 95, 791-795 pp.

Tripoli, G. J. and T.N. Krishnamurti, 1975: Low-Level Flows over the GATE area during Summer 1972. Mon. Wea. Rev. Vol. 103, 197-216 pp.

Tuller, E. S., 1966: World Distribution of Monthly and Annual Precipitable Water. Mon. Wea. Rev. Vol. 96, 785-797 pp.

Viswanadham, H., Jagan Mohana Rao and G. S. S. Nunes., 1980: Some Studies on Moisture Conditions in the Southern Hemisphere. Tellus, 32, 131-142 pp.

Viswanadham, Y., 1981: The Relationship between Total Precipitable Water and Surface Dew point. J. of Appl. Meteorol. Vol. 20, No. 1. 3-8 pp.