

## ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS Y CLIMATOLOGICAS ALREDEDOR DEL GOLFO DE CALIFORNIA 2da. PARTE: ANALISIS DE LOS PARAMETROS TERMODINAMICOS

Por

Sergio Reyes Coca

Gerard Vogel

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

REYES COCA, S. y G. Vogel. 1984. Estudio preliminar de las condiciones meteorológicas y climatológicas alrededor del Golfo de California. 2da. Parte: Análisis de los parámetros termodinámicos. *Ciencias Marinas*, 10 (2): 45-64

### RESUMEN

Se hace un estudio preliminar de algunas variables termodinámicas (temperatura, humedad y razón de mezcla) obtenidas durante el periodo 1974-1980 por seis estaciones de radiosondeo en la región noroeste de México y suroeste de Estados Unidos. Los resultados indican que durante las épocas de invierno y primavera existe una gran predominancia del flujo del Oeste, ocasionando las características típicas de latitudes medias: paso de frentes fríos, masas de aire marítimo polar, etc; por otro lado, durante verano y otoño, las masas de aire tropical y continental son predominantes en el Sur y parte central del Golfo de California, permitiendo un aumento en la advección de calor sensible y latente de las latitudes bajas. Se estima el factor de estabilidad estática y el contenido de agua precipitable para tres capas atmosféricas (superficie a 1 km, de 1 a 4 km y de 4 a 10 km de altura) sobre la región del Golfo de California. Se encuentra que la región sur del golfo tiene una gran cantidad de agua precipitable promedio (~ 32 mm), reduciéndose hacia el Norte, donde los valores promedio son del orden de 15 mm para el total de la columna atmosférica. Finalmente, la evolución de los campos de agua precipitable y estabilidad estática es relacionada con el comportamiento del campo de temperatura y la estadística de perturbaciones tropicales; obteniéndose una correlación positiva para toda la región en los meses de verano y otoño y una correlación negativa en los meses de invierno y primavera sólo para la región norte del Golfo de California.

### ABSTRACT

A preliminary study is made of thermodynamic variables (temperature, humidity and mixing ratio) obtained during the period 1974-1980 from six radiosonde stations in northwest Mexico and southwest United States. During the winter and spring seasons, a predominantly westerly flow occurs, resulting in characteristics typical of middle latitudes: cold fronts, maritime polar air masses, etc. On the other hand, during summer and fall, tropical and continental air masses are dominant over the central and southern Gulf of California, permitting an increase in sensible and latent heat advection from lower latitudes. Static stability and the amount of precipitable water are estimated for three atmospheric layers (surface to 1 km, 1 to 4 km and 4 to 10 km) over the Gulf of California region. Large amounts of mean precipitable water (~ 32 mm) over the southern gulf region are found to decrease northward, where mean values are of the order of 15 mm for the entire atmospheric column. Finally, the evolution of the precipitable water and static stability fields in relation to the behavior of the temperature field and tropical cyclone statistics indicates a positive correlation for the entire region during summer and fall and a negative correlation for the northern Gulf of California region during winter and spring.

### INTRODUCCION

Las características geográficas del Golfo de California son de fundamental impor-

tancia cuando se trata de estudiar fenómenos atmosféricos de escala local y sinóptica.

La gran extensión meridional del golfo hace que éste se vea afectado por fenómenos de latitudes medias y bajas durante el transcurso del año; las cordilleras montañosas de la Península de Baja California y de la Sierra Madre Occidental generan un forzamiento dinámico en los niveles inferiores de la circulación atmosférica, de tal manera que las características de los parámetros termodinámicos son afectadas grandemente, dando por consiguiente que las condiciones climáticas y meteorológicas sean muy diferentes dentro y fuera del golfo.

En la 1a. parte de este estudio (Reyes *et al.*, 1984) se discutió el comportamiento y características generales del viento, así como las escalas de tiempo de los fenómenos meteorológicos y climatológicos que afectan a la región atmosférica alrededor del Golfo de California. Se encontró que la parte norte del golfo está principalmente dominada por perturbaciones de latitudes medias provenientes del Océano Pacífico y controladas por la corriente de chorro; por el contrario, la parte sur tiene gran influencia de las masas de aire tropical durante el verano y son controladas por los alisios del Este y por la zona intertropical de convergencia (ZIC). La parte central (sobre Empalme) tiene influencia tanto de latitudes medias (invierno) como de latitudes tropicales (verano).

En esta 2a. parte se presenta el análisis de los parámetros termodinámicos y se discuten las características observadas en el campo de agua atmosférica sobre la vertiente del Pacífico mexicano y su relación con las perturbaciones tropicales sobre el Océano Pacífico oriental.

## MÉTODOS DE ANALISIS

**Consideraciones generales.** El análisis de los datos se ha orientado para describir y entender algunas características atmosféricas en la región del Golfo de California (Fig. 1). Para ésto, se utilizan las observaciones básicas obtenidas a las 00:00 y 12:00 hrs. GMT, durante 7 años, por la red de radiosondeo del NO de México: Empalme (EMP), Guadalupe (GUD), Mazatlán (MAZ) y Socorro (SOC) y del SO de EUA: San Diego (SAN) y Tuc-

son (TUC); la precipitación para cada sitio considerado y la estadística de huracanes y tormentas tropicales de la vertiente del Pacífico. Para facilitar el análisis de tal cantidad de datos, se consideran sólo 14 niveles barométricos, desde la superficie hasta los 50 mb, y se obtienen promedios mensuales de los parámetros básicos (temperatura, humedad relativa y razón de mezcla) para cada sitio; a partir de éstos, se calculan series de tiempo (de la estabilidad estática y el agua precipitable) que ayuden a estimar las condiciones meteorológicas y climatológicas de la región.

## Cálculo de parámetros

a) La razón de mezcla ( $r$ ) se define como el cociente entre la masa de vapor de agua y la masa del aire del medio:

$$r = \frac{622 e}{P - e} \quad \dots (1)$$

donde  $e$  (mb) es la presión del vapor de agua,  $P$  (mb) es la presión del aire del medio y  $r$  (gm/kg).

b) El agua precipitable ( $W$ ) es el equivalente líquido del vapor de agua en una columna vertical de aire de área unitaria:

$$W = \int_{P_1}^{P_2} dW = (g^{-1}) \int_{P_1}^{P_2} r (-dP) \quad \dots (2)$$

donde  $P_1$  (mb) y  $P_2$  (mb) son los límites de presión inferior y superior de la columna de aire,  $g$  (cm/seg<sup>2</sup>) es la aceleración de gravedad,  $r$  (gm/kg) es la razón de mezcla y  $W$  (gm/cm<sup>2</sup>). Una expresión alternativa para  $W$  en cm esta dada por:

$$W \text{ (cm)} = [W \text{ (gm/cm}^2\text{)}] / \rho \quad \dots (3)$$

donde  $\rho$  (gm/cm<sup>3</sup>) es la densidad del aire.

c) La estabilidad estática ( $N$ ) describe un estado de la atmósfera y representa el efecto probable de movimiento de una parcela de aire sujeta a una fuerza externa, y se define como:

$$N = g d(\ln \theta) / dz \quad \dots (4)$$

donde  $g(\text{cm}/\text{seg}^2)$  es la aceleración de gravedad,  $\theta$  ( $^{\circ}\text{K}$ ) es la temperatura potencial,  $z(\text{cm})$  es la distancia vertical y  $N(1/\text{seg}^2)$ .

Para una discusión mas completa sobre la derivación de las ecuaciones 1-4 ver Saucier (1972).

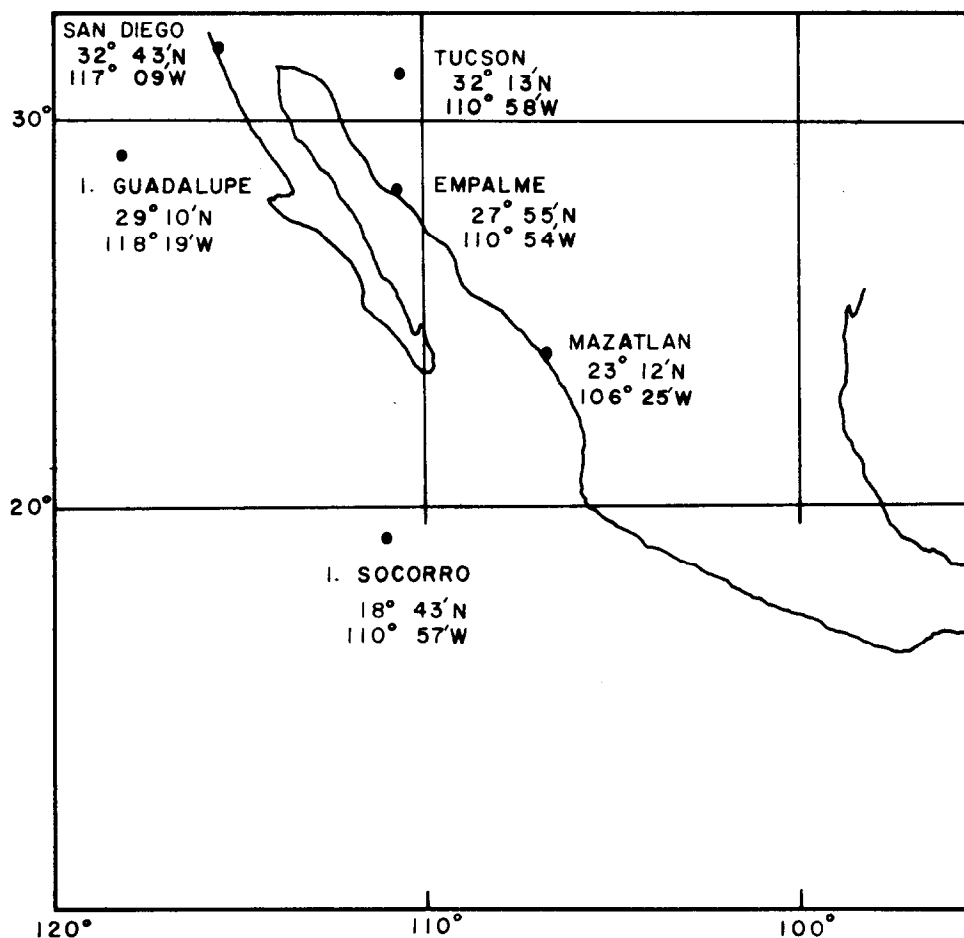


FIGURA 1. El Golfo de California y red de estaciones de radiosondeo del noroeste de México y SW de E.U.A.

## RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos por cada método de análisis y para cada parámetro considerado. En el capítulo siguiente se combinan estos resultados con el campo de precipitación para poder explicar las anomalías observadas. A continuación se analizan los resultados obtenidos mediante varios métodos gráficos:

**Perfiles verticales.** En las Figs. 2, 3 y 4 se muestran los perfiles promedio de temperatura, humedad y razón de mezcla de invierno, primavera, verano y otoño para cada sitio estudiado. En el eje vertical se representan los niveles de altura y en el eje horizontal la variable de interés. Además se insertan los valores de desviación estandar obtenidos para cada nivel y estación consideradas.

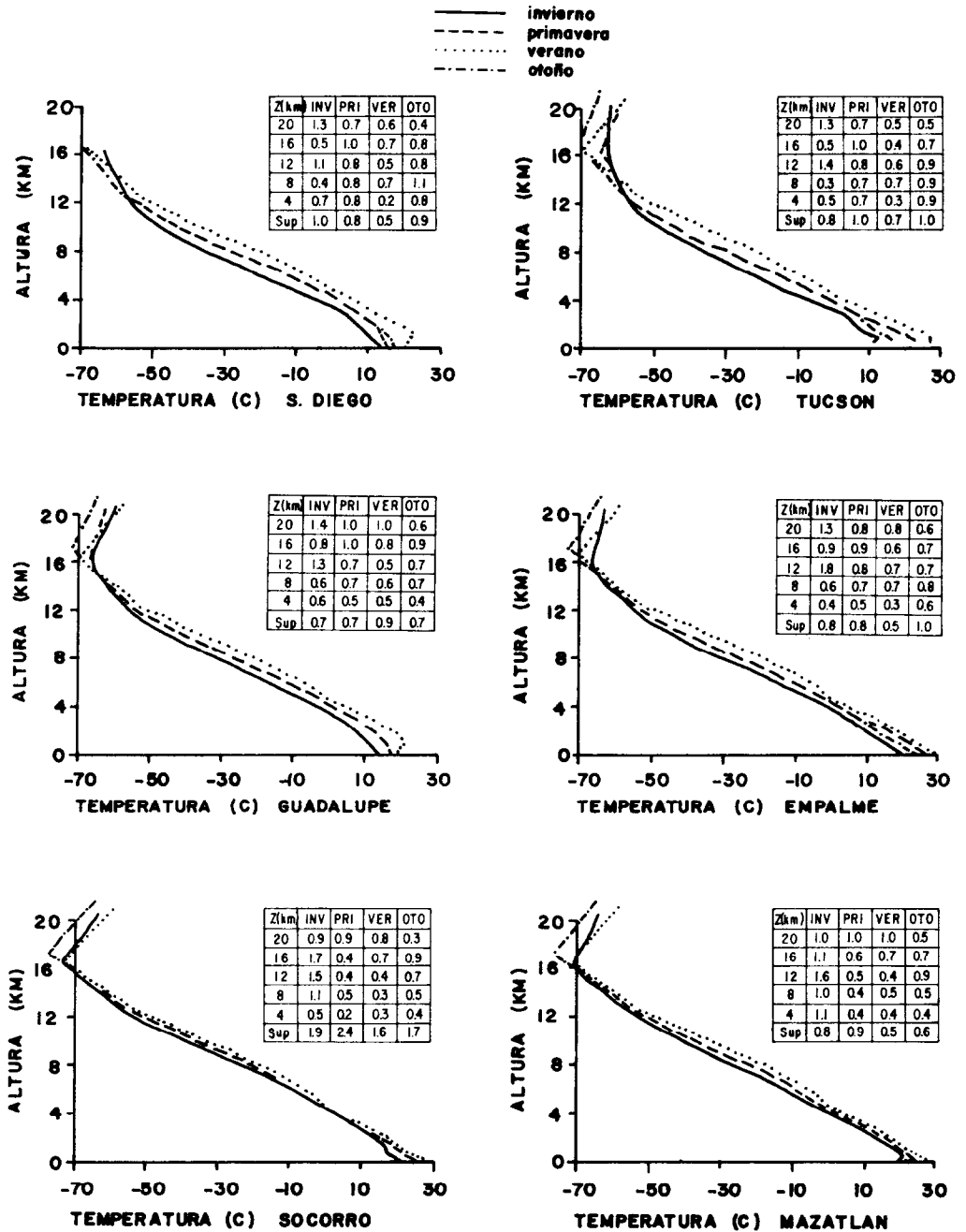


FIGURA 2. Perfiles promedio de temperatura del aire para invierno, primavera, verano y otoño. Las tablas muestran los valores de desviación estandar para cada sitio, estación y nivel considerados.

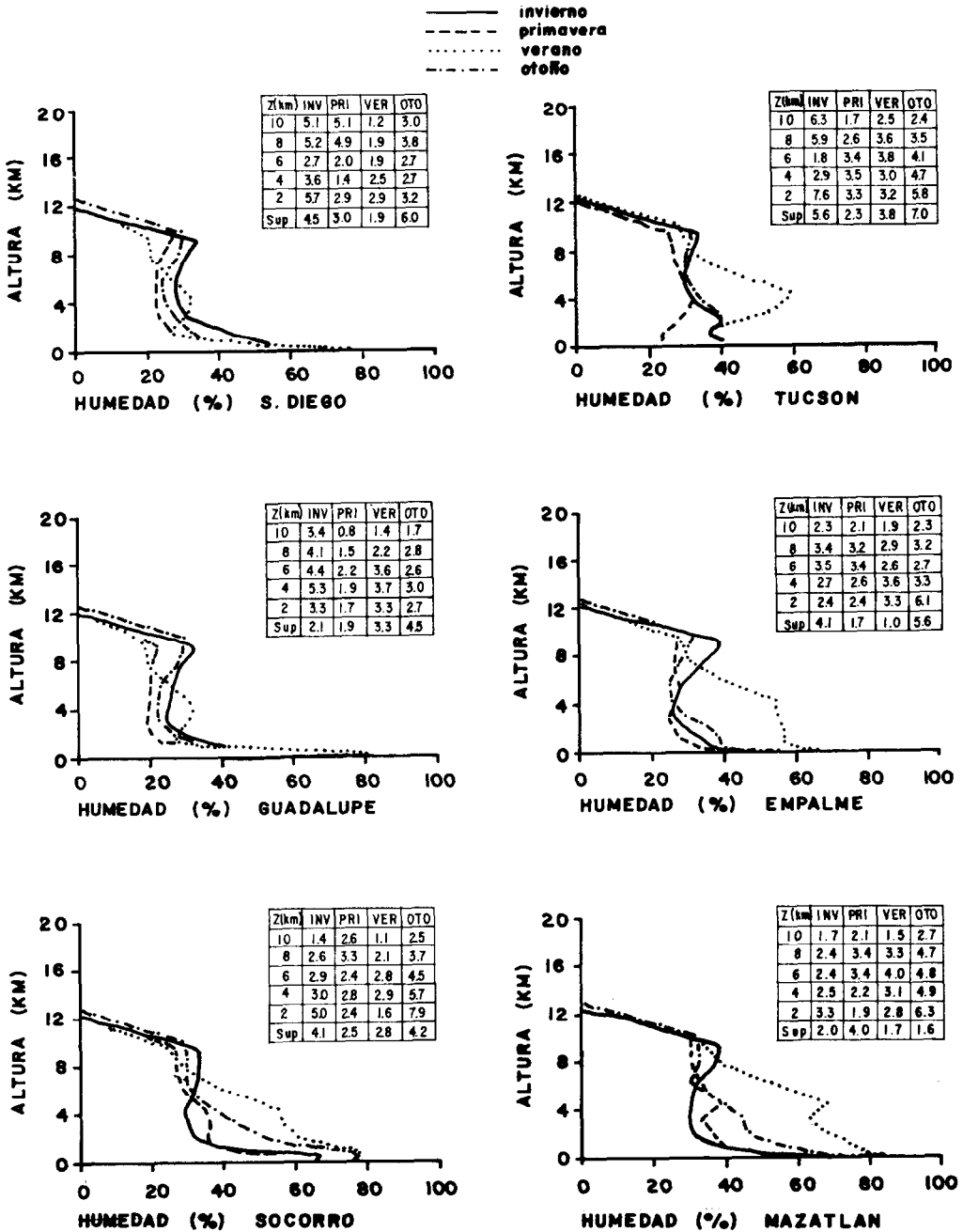


FIGURA 3. Perfiles promedio de humedad relativa para invierno, primavera, verano y otoño. Las tablas muestran los valores de desviación estándar para cada sitio, estación y nivel considerados.

ESTUDIO PRELIMINAR... 2a. PARTE

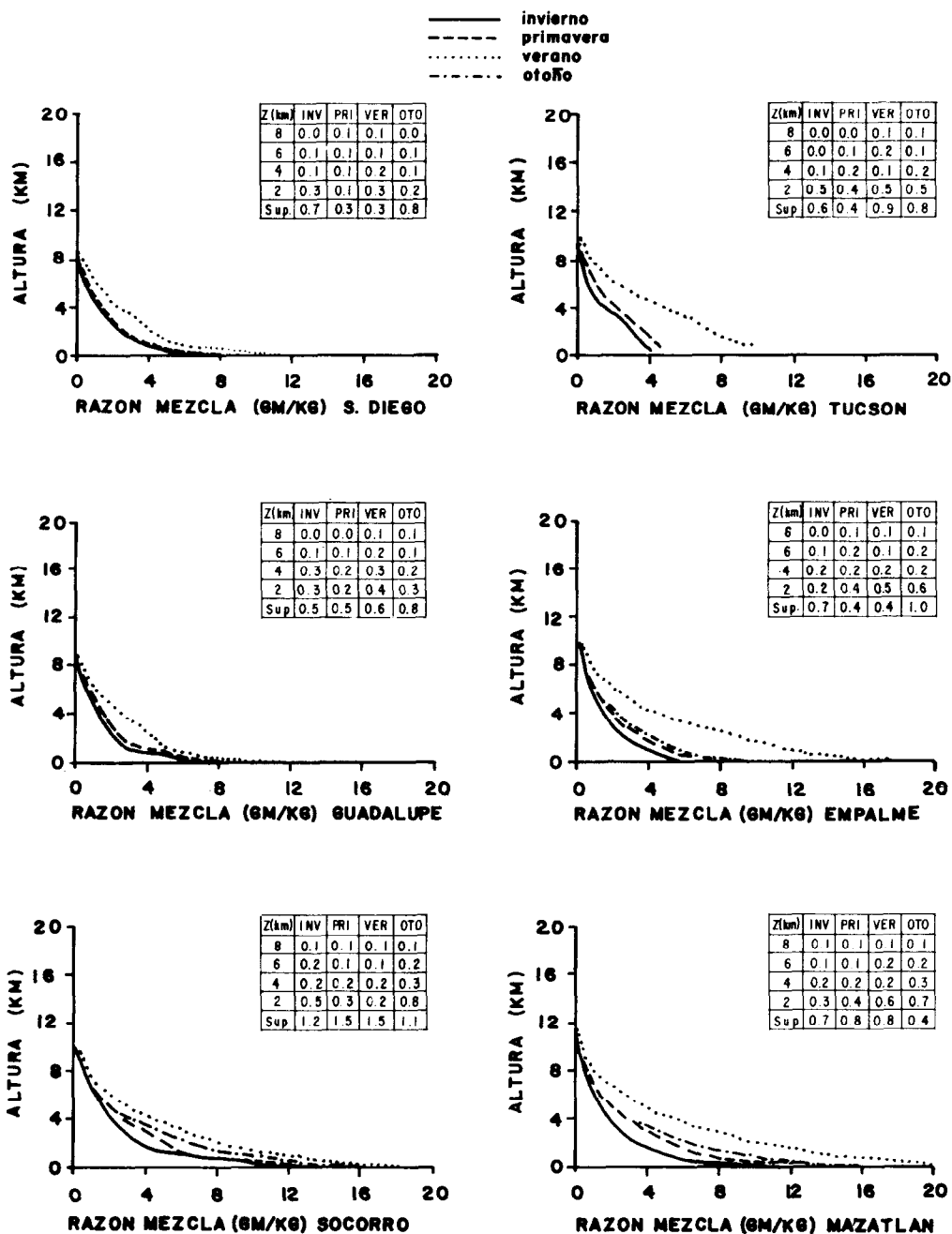


FIGURA 4. Perfiles promedio de razón de mezcla para invierno, primavera, verano y otoño. Las tablas muestran los valores de desviación estandar para cada sitio, estación y nivel considerados.

De los perfiles de temperatura del aire (Fig. 2), y para el nivel superficial, se puede ver que TUC y EMP muestran la mayor variación estacional, siendo la primera de valores más extremos por encontrarse bajo condiciones más continentales. Por otro lado, SOC y GUD muestran la menor variación, siendo la primera de características marítimo tropicales y la segunda de características templadas. Considerando ahora el intervalo entre la superficie y 1 km, se puede ver que la temperatura disminuye muy lentamente para casi todos los casos, excepto para SAN y GUD durante verano, en que se observa una inversión, la cual debe originarse debido a la influencia de la corriente fría de la corriente de California, que no permite gran transferencia de calor sensible a la atmósfera. TUC muestra una inversión poco profunda durante invierno, la cual puede deberse a el enfriamiento radiativo nocturno, típico de las regiones desérticas. MAZ, durante invierno, también muestra una inversión de temperatura, la cual puede deberse a una ligera disminución en la temperatura superficial del mar adyacente. A partir de 2 km, todos los perfiles de temperatura empiezan a disminuir rápidamente. Alrededor de 15 km los valores de invierno son mayores que los de verano para los sitios del Norte, esto como una consecuencia de la mayor transferencia de calor sensible a niveles superiores durante la época de mayor gradiente de temperatura entre el Ecuador y los polos. La altura promedio de la tropopausa se observa entre los 16 y 18 km, disminuyendo del Sur hacia el Norte y del verano al invierno. Los cálculos de desviación estandar (del orden de 1°C o menores) nos permiten aceptar significativamente los perfiles estacionales obtenidos.

De los perfiles de humedad relativa (Fig. 3) y para el nivel superficial, TUC y EMP muestran los mínimos valores y la mayor variación estacional. Por otro lado, SAN y GUD muestran muy poca variación estacional, con valores cerca de 80 % durante todo el año. MAZ y SOC también muestran valores cerca de 80 % pero solamente en verano y otoño. En la región entre superficie y 10 km, la humedad relativa es altamente variable entre estaciones para la mayoría de los sitios, con excepción de SAN y

GUD que muestran una disminución muy marcada y uniforme entre la superficie y 2 km y poca variación entre 2 y 10 km para las cuatro estaciones. Nótese también un gran aumento en humedad relativa para TUC a niveles medianos durante verano. A partir de los 13 km de altura, la atmósfera es completamente seca. Los valores de desviación estandar nos dan una buena significancia estadística hasta los 9 ó 10 km; a partir de esta altura, la presencia del vapor de agua disminuye rápidamente hasta cero y entonces los perfiles deben analizarse con cautela.

De los perfiles de razón de mezcla (Fig. 4), y considerando el nivel superficial, la razón de mezcla se observa máxima durante verano para todos los sitios. EMP y MAZ muestran las mayores variaciones entre verano e invierno; de éstas, EMP es la del cambio más extremoso, mostrando una diferencia de cerca de 12 gm/kg entre ambas estaciones. Esto puede ser evidencia de la relativa alta evaporación ocasionada por las altas temperaturas de verano en el golfo (ver Fig. 2). Por su parte, GUD muestra sólo una variación del orden de 3 gm/kg entre ambas épocas, siendo evidente su condición marítima. Por otra parte, si consideramos niveles superiores, MAZ, SOC, EMP y TUC muestran bastante diferencia entre invierno y verano. Se puede observar que a la razón de mezcla (y por ende la concentración del vapor de agua) se encuentra principalmente abajo de 10 km. Los sitios del Sur (excepto EMP durante invierno) muestran una gran influencia del mar superficial altamente evaporativo; mientras que los sitios del Norte muestran condiciones de baja transferencia de calor latente y sensible típicas de la corriente de California. En lo que respecta a la desviación estandar, los valores obtenidos son siempre menores de 1 gm/kg, por lo que entonces los perfiles estacionales (hasta los 8 km) tienen una buena significancia estadística.

**Secciones transversales de tiempo.** En las Figs. 5 y 6 se muestran los contornos de los parámetros de interés para cada sitio y periodo analizado; en el eje vertical se representa la altura y en el eje horizontal se representa el tiempo en intervalos anuales. Los resulta-

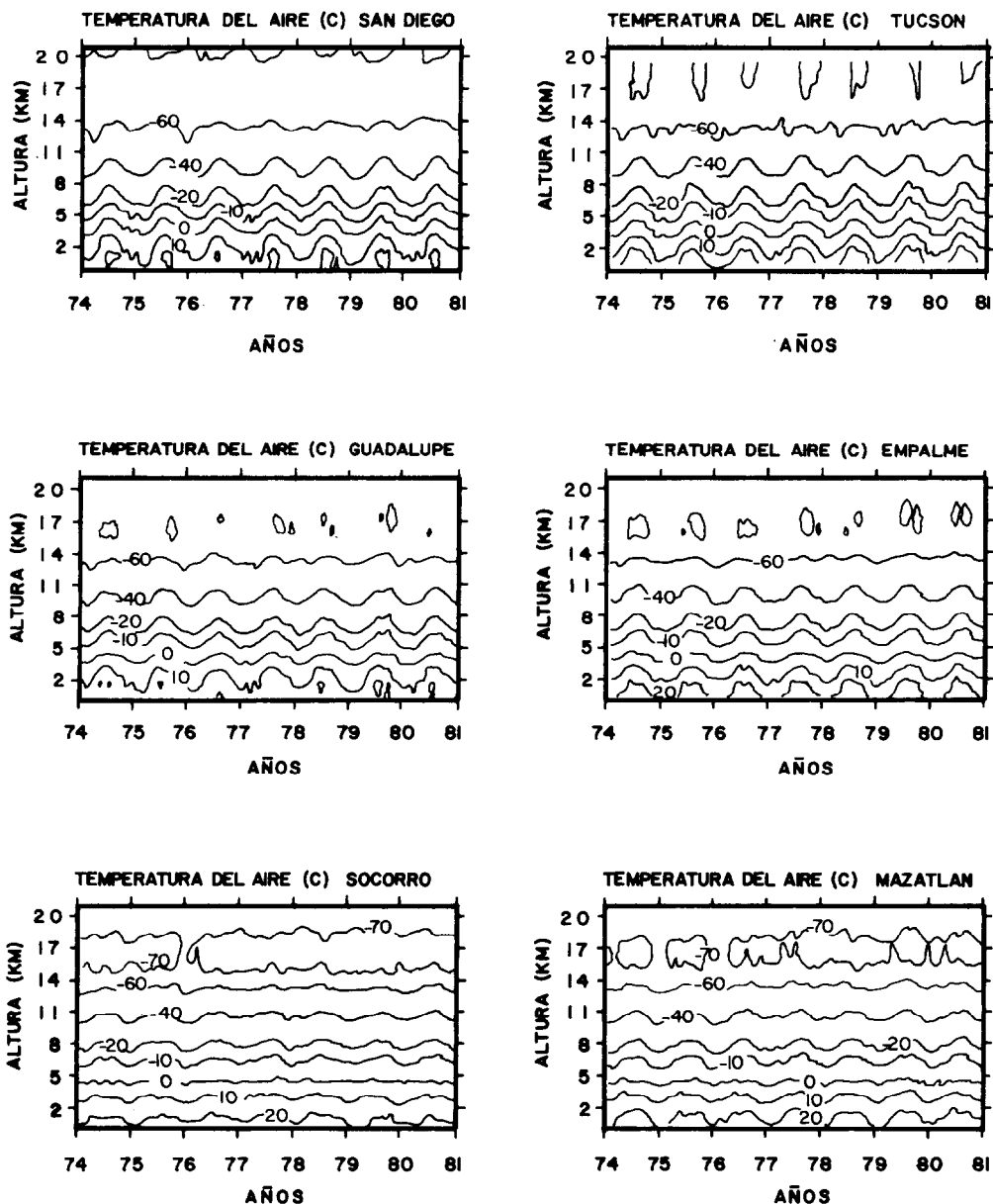


FIGURA 5. Contornos de temperatura del aire para los sitios considerados.

dos de esta sección se discuten para cada parámetro observado, asimismo los resultados ya discutidos en las secciones anteriores se consideran implícitos en las siguientes secciones.

De los contornos de temperatura (Fig. 5) y considerando los niveles superficiales (hasta 1.5 km), se puede ver que EMP y MAZ a veces presentan dos máximos de temperatura durante el periodo caliente del año



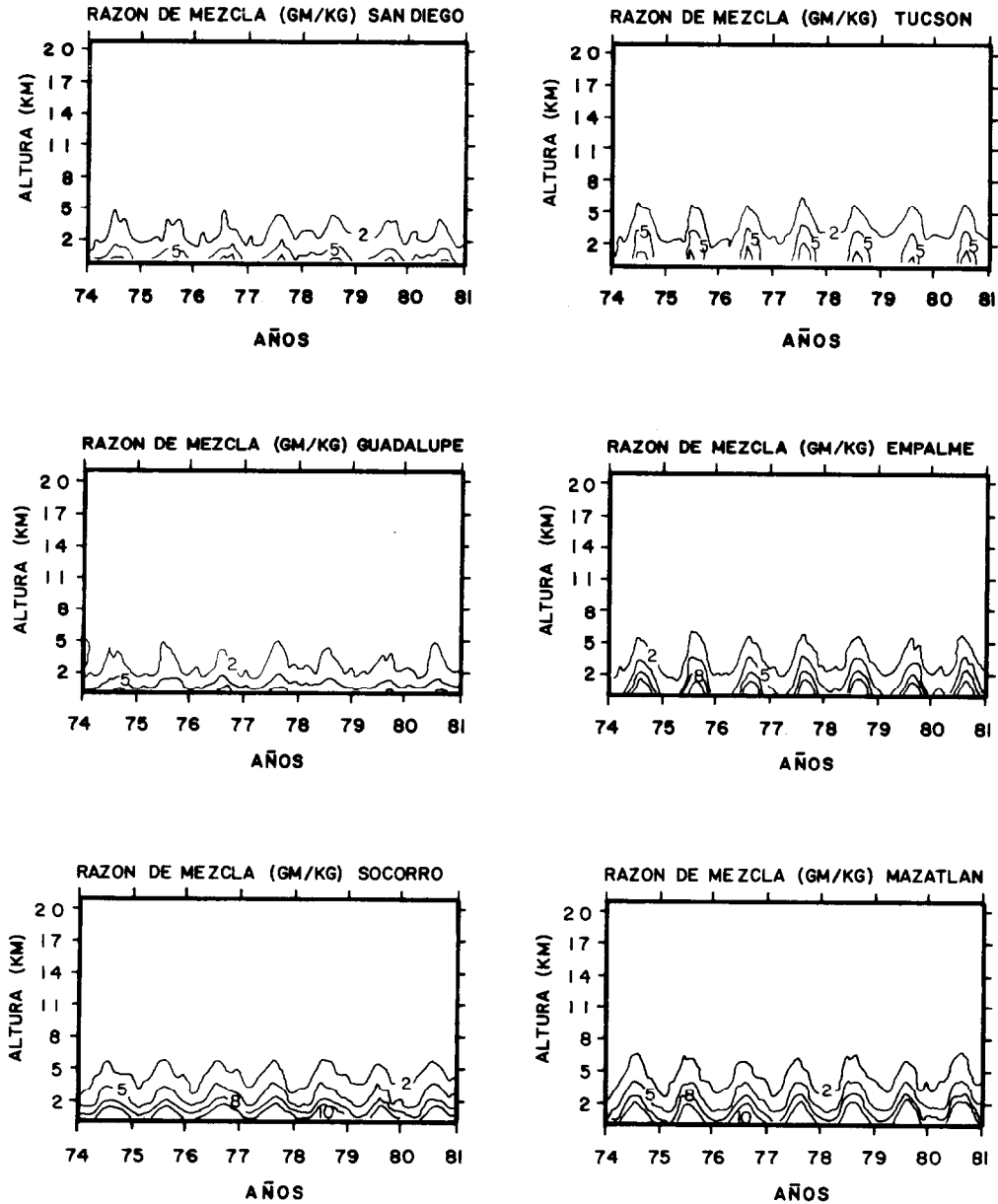


FIGURA 6. Contornos de razón de mezcla para cada sitio considerado

(los cuales deben estar relacionados con la presencia de las lluvias de verano), pero sólo durante invierno es evidente un mínimo de temperatura. SAN y GUD muestran la mayor variabilidad interanual, mientras que

los otros sitios muestran un patrón bastante persistente. SAN y GUD muestran características similares de inversión durante la mayoría de los veranos y disminución de temperatura con la altura durante invierno;

como se menciona en la sección de perfiles verticales, la corriente de California favorece una mayor transferencia de calor sensible de la baja atmósfera a la superficie del mar ocasionando las inversiones típicas de verano en la vertiente del Pacífico norte. Durante el invierno, la baja atmósfera es relativamente más fría que el agua superficial, favoreciéndose el transporte de calor sensible del océano a la atmósfera (Favre y Hasselmann, 1978). En lo que respecta a MAZ y SOC, se observa poca variación estacional, principalmente para SOC que se encuentra totalmente bajo influencia marítima. Arriba de los niveles superficiales hasta la tropopausa; variaciones interanuales e interestacionales tienden a disminuir para todos los sitios.

De los contornos de razón de mezcla (Fig. 6) y para niveles superficiales (hasta 0.5 km) sólo SOC y MAZ muestran valores mayores de 7 gm/kg durante todo el año. EMP muestra un mayor rango de variabilidad interestacional (de 3 a 12 gm/kg); esta relativa alta cantidad de vapor de agua durante verano debe estar relacionada con el aumento de temperatura superficial en la capa límite del medio y alto Golfo de California y con el consecuente aumento de evaporación. Durante invierno la temperatura superficial en la capa límite océano-atmósfera disminuye considerablemente (Van Andel, 1966) y la evaporación se hace mínima. En lo que respecta a GUD y SAN, las variaciones anuales y estacionales no tienen un patrón tan bien definido como en las otras regiones. La influencia de los frentes de medias latitudes sobre la región del NO de Baja California es de mayor efecto en las características de vapor de agua y de precipitación que la influencia local de la corriente de California. Esta influencia planetaria de latitudes medias se presenta bien en SAN y GUD, en los que se observa un aumento en la variabilidad interanual arriba de los 1.5 km.

**Agua precipitable.** Para obtener una idea de la cantidad de agua (líquida y gaseosa) en la atmósfera, y su variación en el tiempo, característica de cada sitio estudiado, se integró en la vertical el agua precipitable contenida en una columna de área unitaria y para

tres capas atmosféricas representativas de: a) la capa límite (superficie a 1 km); b) tropósfera media (1 a 4 km) y c) tropósfera superior (4 a 10 km) y para el contenido total desde la superficie hasta los 10 km de altura. Los resultados se muestran en las Figs. 7-10 y en la Tabla I. El resultado más evidente es la gran cantidad de agua precipitable que tienen los puntos del Sur durante el verano y la mayor variabilidad intra-anual de los sitios desérticos. En general, todas las estaciones muestran un periodo anual bien definido para el agua precipitable total; sin embargo, existe mayor variabilidad interanual cuando observamos las distintas capas atmosféricas consideradas, por ejemplo: GUD, SAN y SOC son altamente variables en las capas superficial y media. Estos resultados se discuten en el próximo capítulo, en relación a la influencia de los frentes de medias latitudes (durante invierno) y a la transferencia de calor latente en la interfase mar-aire y de la presencia de perturbaciones tropicales (durante verano).

**Estabilidad estática.** Se calculó la estabilidad estática (N) para tres regiones atmosféricas representativas de: a) la capa límite (superficie hasta 900 mb); b) tropósfera media (900 hasta 500 mb) y c) tropósfera superior (500 hasta 100 mb). Se dice que existe estabilidad en una región atmosférica cuando N es mayor que cero y que existe inestabilidad cuando N es menor que cero. Los resultados se muestran en las Figs. 11, 12 y 13 respectivamente.

a) Para la capa límite (Fig. 11) GUD y SAN muestran una gran estabilidad durante verano. En lo que respecta a TUC, que se encuentra a una altura de 0.7 km (con presión superficial del orden de 950 mb), muestra una alta inversión en la temperatura de invierno en los primeros 0.2 km, por lo que en la región superficial (sup. a 900 mb) la atmósfera es generalmente estable. MAZ evidencia un claro ciclo anual y una alta estabilidad durante invierno con mínimos en verano. SOC muestra una débil estabilidad durante primavera y condiciones de inestabilidad durante verano y otoño. EMP muestra una débil estabilidad a lo largo del año con mínimos durante verano y sin un ciclo anual

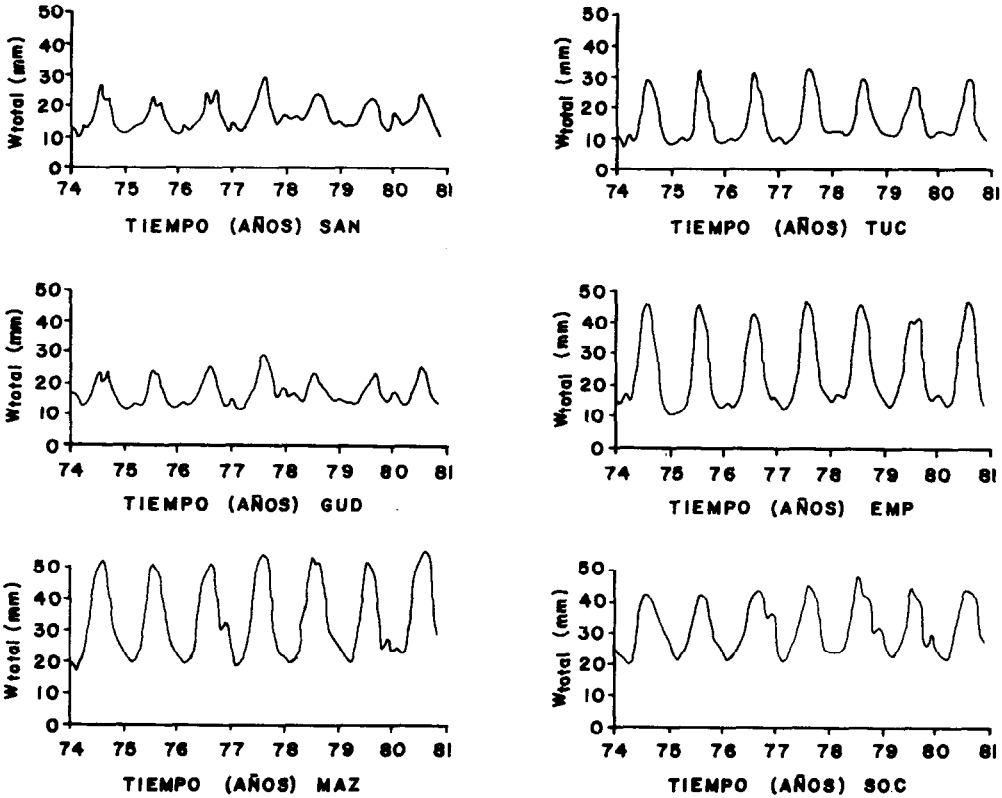


FIGURA 7. Series de tiempo del promedio mensual de agua precipitable en una columna de aire desde la superficie hasta 10 km de altura.

bien definido. En general, para esta región atmosférica, el rango de variación intra-anual es mínima para SOC y EMP, siendo bastante grande en los otros sitios.

b) Para la región troposférica intermedia (de 900 a 500 mb) se observa una gran disminución en el rango de variación estacional con respecto a la región superficial y una gran variabilidad para casi todos los sitios, con excepción de TUC que muestra un ciclo anual bien definido. Recuérdese que TUC tiene valores de presión superficial del orden de 950 mb, por lo que la región atmosférica de 900 a 500 mb incluye parte de la capa límite planetaria.

c) Finalmente, para la región de la alta tropósfera (de 500 a 100 mb) se observa un ciclo anual bien definido para todas las se-

ries, con máximos en invierno y mínimos en verano, siendo primavera y otoño épocas de transición. SOC y MAZ muestran un pequeño rango de variación estacional, evidenciando su cercanía a regiones homogéneas de temperatura; por el contrario, TUC, SAN, GUD y EMP muestran un gran efecto de las latitudes medias, en que los gradientes térmicos son más intensos.

**Sistemas tropicales en el Océano Pacífico oriental y precipitación en la vertiente mexicana.** En la Tabla II se muestran las estadísticas de los sistemas tropicales observados en el Océano Pacífico oriental durante el periodo 1974-1980. Es bien conocido que, durante verano y otoño, los alisios del hemisferio sur penetran hasta latitudes del orden de 10° a 15°N en el Pacífico oriental, dando por consecuencia una mayor in-

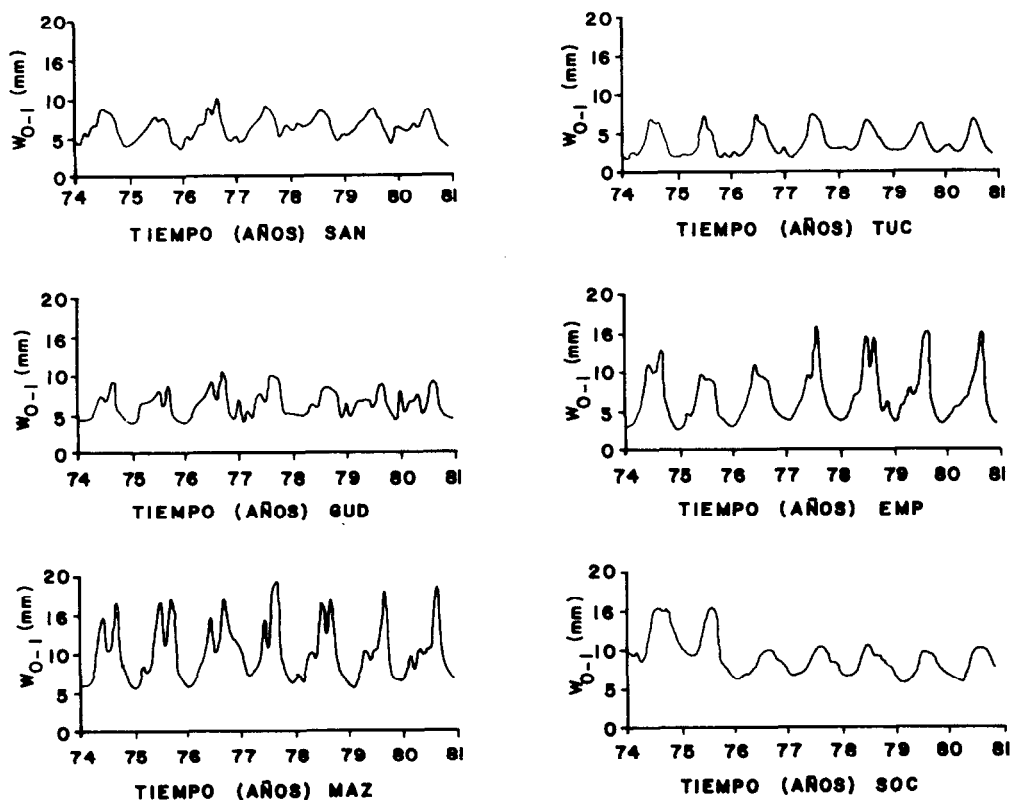


FIGURA 8. Series de tiempo del promedio mensual de agua precipitable para la capa límite (superficie hasta 1 km).

trusión de masas de aire tropical y un aumento en la generación de perturbaciones tropicales que pueden ser transportadas hacia el Norte, dejando sentir sus efectos en la vertiente mexicana del Pacífico. Por lo tanto, la precipitación (y en general el campo de agua) deberá mostrar cierta dependencia en la presencia o ausencia de sistemas tropicales. En la Fig. 14 se muestra la precipitación promedio anual observada para los sitios de radiosondeo en el periodo 1977-1980. El hecho de que la precipitación observada no siempre muestra una correlación positiva significativa con la incidencia de sistemas tropicales, sugiere que otros factores son importantes en la generación de precipitación de verano a lo largo de la vertiente mexicana.

## DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Hasta el momento hemos presentado, y discutido aisladamente, los resultados obtenidos mediante los distintos métodos de análisis utilizados. En este capítulo se discuten globalmente los resultados y se hace uso de la información climatológica de precipitación superficial y de la presencia de tormentas tropicales y huracanes. Esta información se obtuvo de las publicaciones del Servicio Meteorológico Nacional (México) y de la National Oceanics and Atmospheric Administration (NOAA, EUA). Los movimientos de masas de aire, discutidos en la primera parte de este estudio (Reyes *et al.*, 1984), se reflejan en las características termodinámicas estudiadas; la penetración del flujo del Oeste en la región norte, durante invierno, permite la penetración de frentes

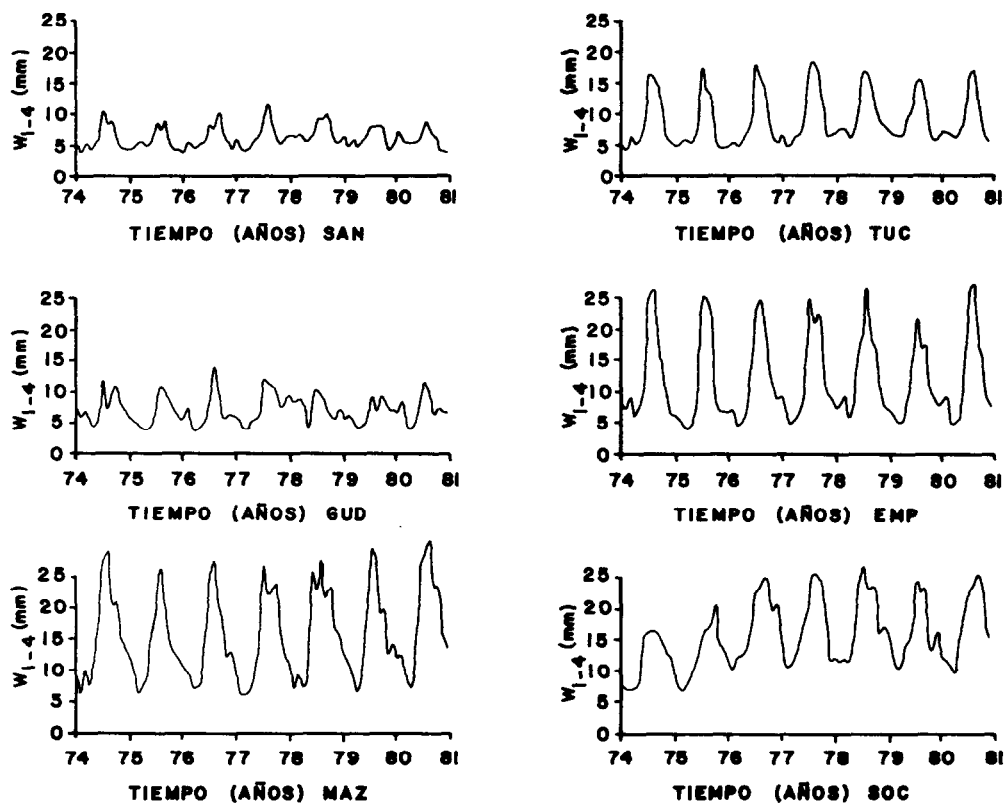


FIGURA 9. Series de tiempo del promedio mensual de agua precipitable para la tropósfera media (1 a 4 km).

de latitudes medias, asociados con un aumento en el agua precipitable. Nótese que, durante invierno, los valores en SAN y GUD no son muy diferentes a los de MAZ y SOC; mientras que durante verano, las diferencias son más notables (Figs. 8-10). La afluencia de masas de aire frío sobre la corriente de California (relativamente menos fría) genera una transferencia de calor sensible en la interfase mar-aire, ocasionando inestabilidad en la capa límite y el consecuente levantamiento del aire para reforzar las precipitaciones típicas de invierno en la región. Es interesante notar que la gran variabilidad observada, tanto en el agua precipitable como en la precipitación, tiene su origen fuera de la región de estudio y que la influencia de la corriente de California tiene menor importancia en el campo de agua atmosférica en relación a su efecto sobre el campo

de temperatura.

Durante el verano, el fortalecimiento y el desplazamiento hacia el Norte del anticiclón semipermanente centrado al Oeste de California (Atkinson y Sadler, 1970), desvía la penetración de los frentes de latitudes medias y las características de la concentración de vapor de agua (asociadas a la subsidencia generada por la celda de Hadley en las latitudes medias) muestran una disminución que sólo es perturbada por la ocasional intrusión de masas de aire tropical provenientes del Pacífico tropical oriental.

En lo que respecta a la región norte del Golfo de California, las cordilleras montañosas tanto de la península como del continente, debilitan grandemente el intercambio de las propiedades termodinámicas dentro y

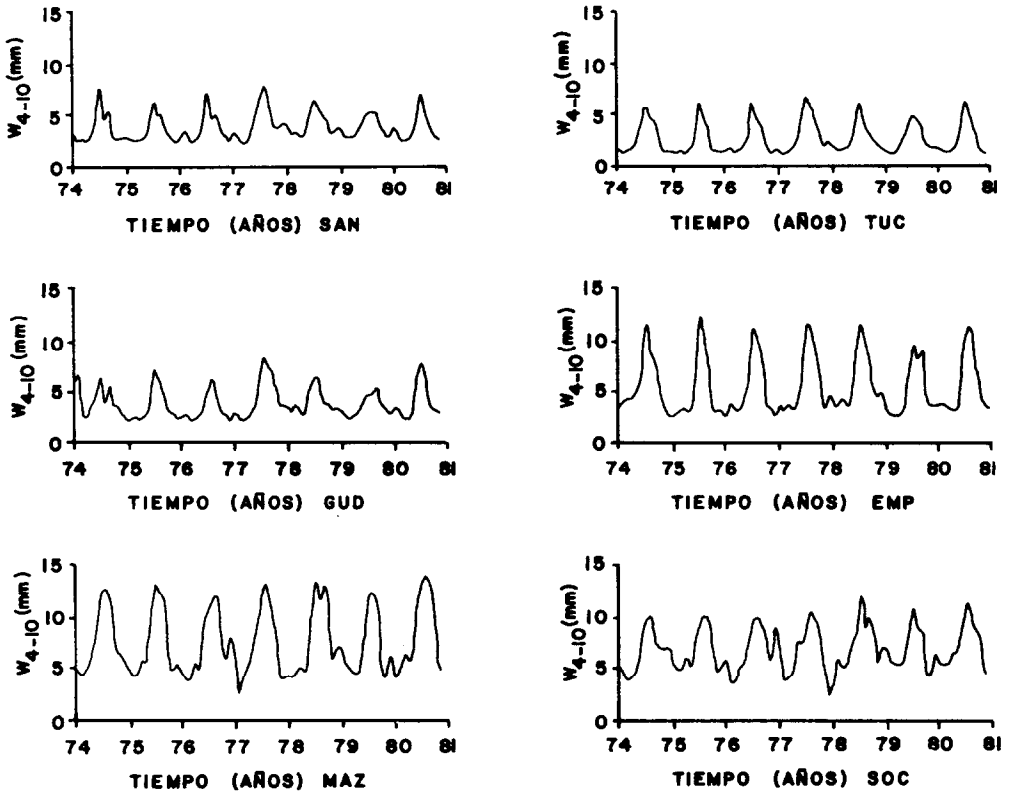


FIGURA 10 . Series de tiempo del promedio mensual de agua precipitable para la tropósfera superior (4 a 10 km).

fuera del golfo. Esto se evidencia en las observaciones para TUC en que los gradientes térmico y de vapor de agua, dentro de la capa límite, son relativamente grandes a lo largo del año, caracterizando a TUC como una región continental de débil estabilidad durante el día y en verano y muy estable durante la noche y en invierno.

En la región central del golfo (EMP) existe un gran rango de variación entre invierno y verano para todos los parámetros observados. Para la capa límite, y durante verano, se observa un aumento muy considerable en el campo de agua precipitable en relación a los otros sitios; este aumento está correlacionado positivamente con el gran aumento en temperatura superficial del agua, que consecuentemente da lugar a una mayor transferencia de calor latente que es

transportado a niveles superiores gracias a la baja estabilidad del aire.

En la región sur del golfo, MAZ y SOC muestran características similares en los campos de temperatura y de vapor de agua, aunque existe una mayor variabilidad interanual para SOC. En el campo de agua precipitable, especialmente en los niveles inferiores y medio, esta variabilidad en SOC es quizás debida a la cercanía de la ZIC durante verano y a la influencia directa de las perturbaciones tropicales (la inversión del campo de los alisios, tormentas, etc.).

Uno de los parámetros mas interesantes para discutir es sin duda el campo de agua local (lluvia observada y agua precipitable) y su relación con el paso de perturbaciones de origen tropical y de latitudes medias. Es claro, de las Figs. 5, 6 y 7 (contor-

TABLA I. Agua precipitable promedio y desviación estandar para el periodo 1974-1980 en las tres capas atmosféricas: a) capa límite (superficie a 1 km); b) tropósfera media (1 a 4 km); c) tropósfera superior (4 a 10 km) y para el total en la columna vertical desde la superficie hasta los 10 km de altura.

ESTACION	AGUA PRECIPITABLE (mm)				DESVIACION ESTANDAR (mm)			
	0-1	1-4	4-10	TOTAL	0-1	1-4	4-10	TOTAL
SAN	6.2	6.3	3.8	16.4	1.5	1.8	1.4	4.4
TUC	3.8	9.1	2.7	15.5	1.7	4.3	1.5	7.4
GUD	6.4	7.2	3.9	17.5	1.8	2.3	1.5	4.4
EMP	6.7	12.1	5.5	24.4	3.4	6.9	2.8	12.2
SOC	9.2	16.1	6.9	32.2	2.5	5.6	2.2	8.6
MAZ	10.1	15.8	7.6	33.5	3.8	7.3	3.2	12.7

nos de temperatura del aire, de razón de mezcla y del agua precipitable), que los máximos se observan durante verano para todos los sitios considerados, mientras que las máximas precipitaciones ocurren durante verano (para EMP, MAZ y SOC) y durante invierno (para GUD, SAN y TUC). Esta aparente contradicción puede ser entendida si consideramos que en SAN y GUD los frentes (principales generadores de la precipitación en esa región) tienen su origen durante invierno, por lo que la relativa poca concentración de vapor de agua, al disminuir la temperatura, es fácilmente condensada y con mayores probabilidades de precipitarse. En lo que respecta a MAZ, la atmósfera es muy húmeda y por consiguiente, el nivel de condensación se forma a bajas alturas generando grandes precipitaciones. SOC por otro lado, está generalmente al norte de la ZIC y solo recibe fuertes precipitaciones durante el paso de perturbaciones tropicales. TUC y EMP también tienen formación de nubes del tipo convectivo durante verano; sin embargo la atmósfera es relativamente seca, el nivel de condensación es relativamente alto y por consiguiente poca precipitación es observada en la superficie.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los técnicos Javier García y Enrique García su ayuda en la recopilación de datos y preparación de las figuras; a Edgar Pavia por su ayuda en el procesamiento de los datos. Este estudio forma parte del programa de investigación de Meteorología del Golfo de California (MEGOCA) auspiciado por el Gobierno Federal de México a través del presupuesto regular del CICESE.

## LITERATURA CITADA

- ATKINSON, G.D. and J.C. Sadler, 1970. Mean cloudiness and gradient level wind charts over the tropics. Technical Report No. 215, Vol. II, Publ. Air Weather Service, USAF. 22 pp.
- FAVRE A. and K. Hasselmann, 1978. Turbulent fluxes through the sea surface, wave dynamics and prediction. NATO Conference on turbulent fluxes through the sea surface. Plenum Press, New York N.Y., 10011. 667 pp.
- REYES, S. E. Pavia, J. Candela y R. Troncoso, 1984. Estudio preliminar de las condiciones meteorológicas y climatológicas alrededor del Golfo de California. 1a. Parte: Análisis del Viento. Revista de Ciencias Marinas, este número.

ESTUDIO PRELIMINAR. . . 2a. PARTE

SAUCIER, J. W. 1972: Principles of meteorological analysis The University of Chicago press. Chicago. 60637. 438 pp.

VAN ANDEL, T. 1966: The Gulf of California. The Encyclopedia of Oceanography. Vol. I. Reinhold Publ. Co. N.Y. 1021 pp.

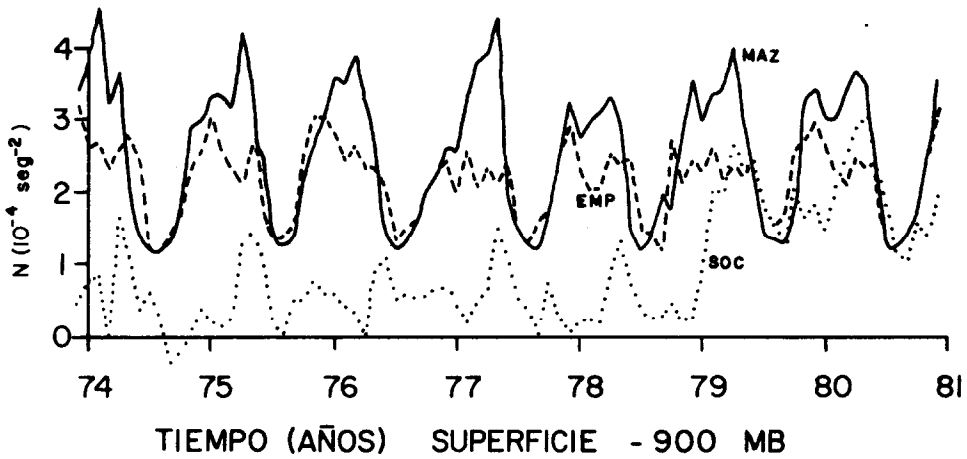
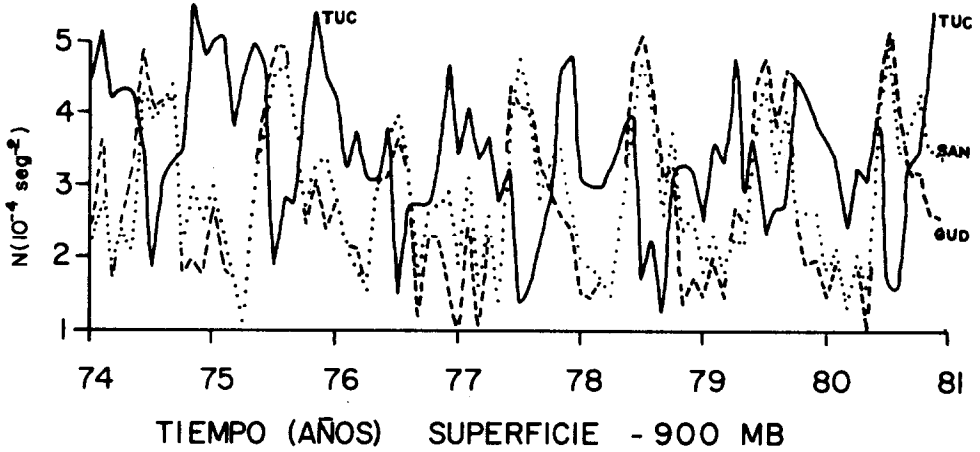


FIGURA 11. Series de tiempo del promedio mensual de la estabilidad estática. Región de la capa límite (superficie a 900 mb).



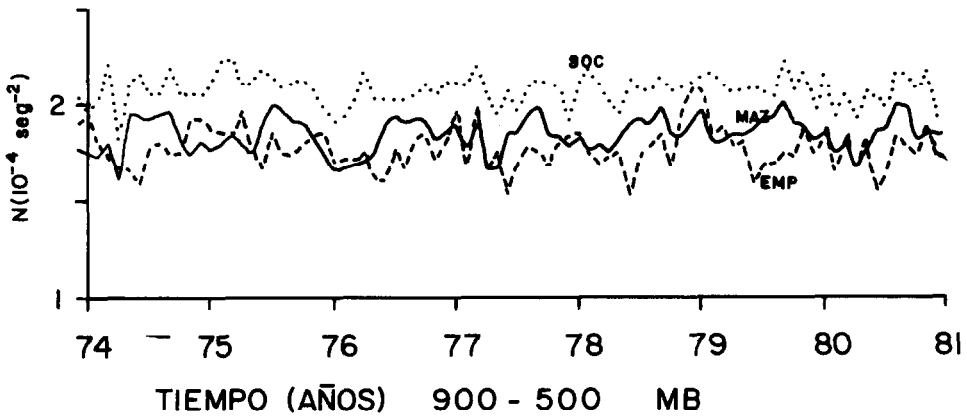
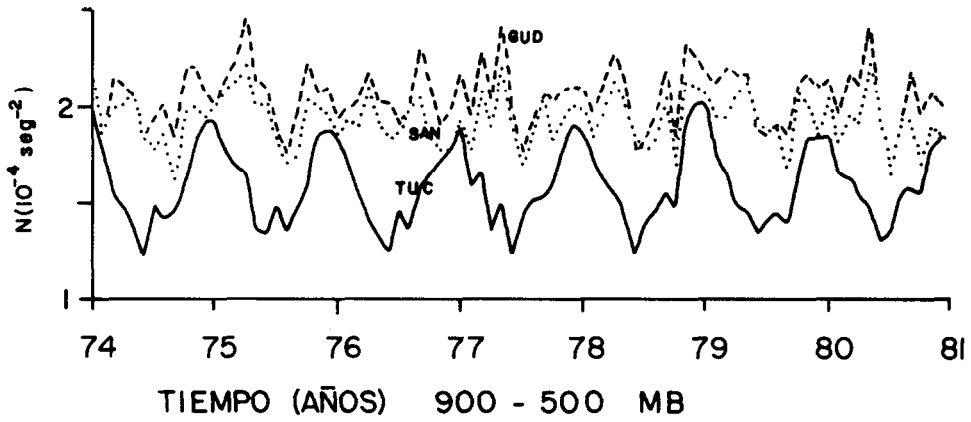


FIGURA 12. Series de tiempo del promedio mensual de la estabilidad estática. Región de la tropósfera media (900 a 500 mb).

ESTUDIO PRELIMINAR... 2a. PARTE

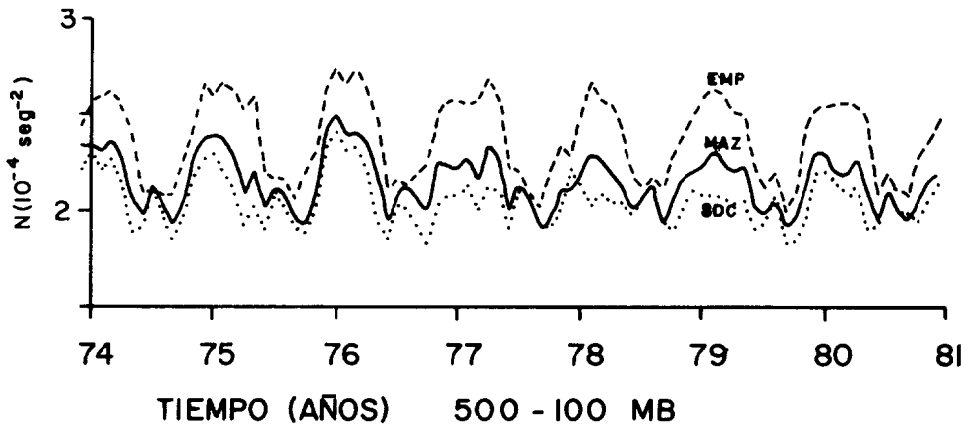
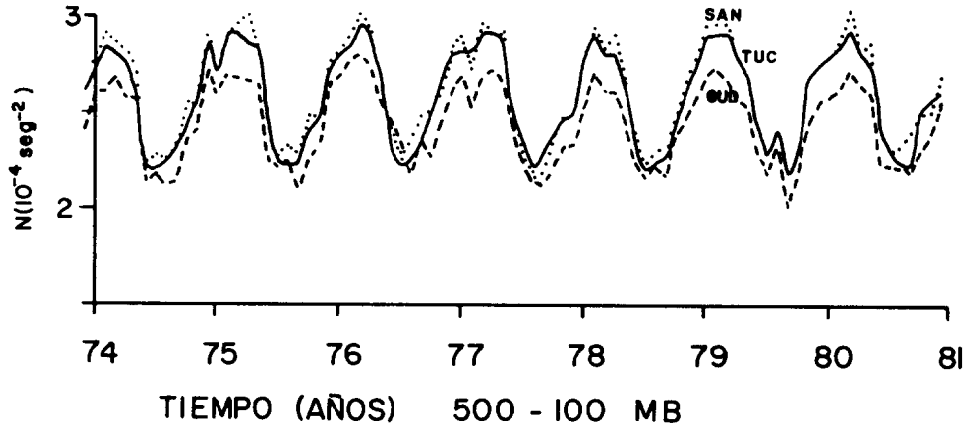


FIGURA 13. Series de tiempo del promedio mensual de la estabilidad estática. Región de la tropósfera superior (500 a 100 mb).

TABLA II. Sistemas tropicales en el Océano Pacífico oriental en el periodo 1974 a 1980.

SISTEMAS TROPICALES EN EL OCEANO PACIFICO DEL ESTE								
AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	TOT
1974	1	3	3	6	2	2	1	18
1975	—	2	4	5	3	1	1	16
1976	—	2	4	3	3	—	—	12
1977	1	1	1	1	4	1	—	9
1978	1	4	5	6	3	2	—	21
1979	—	1	2	2	1	2	1	9
1980	—	4	5	3	2	2	—	16
PROMEDIO ANUAL = 15								

ESTUDIO PRELIMINAR... 2a. PARTE

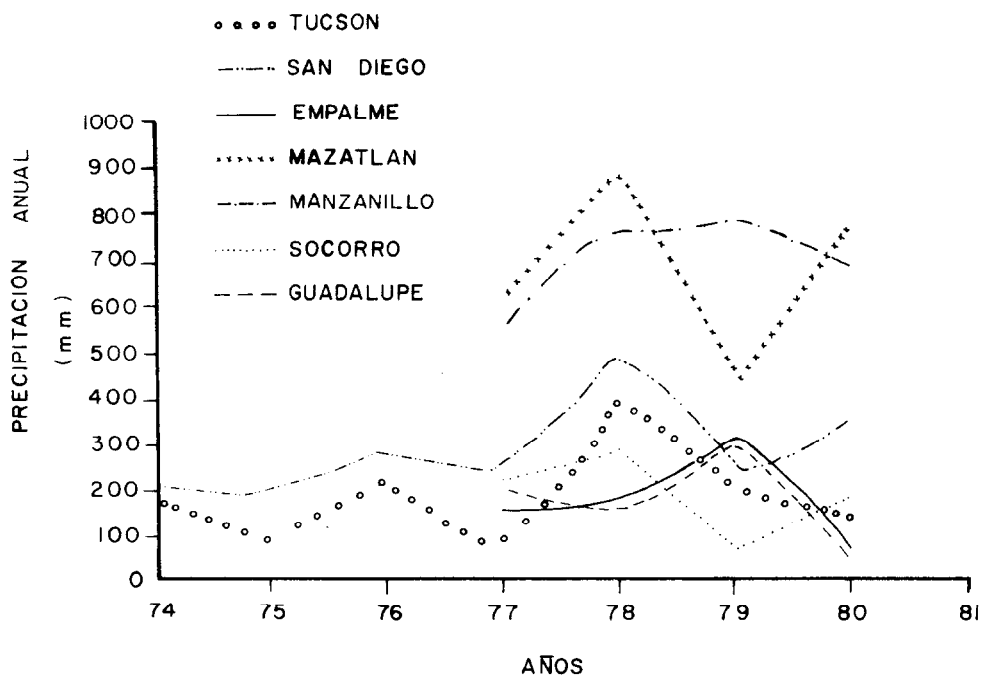


FIGURA 14. Precipitación anual promedio observada en el periodo 1974-1980 para los sitios de radiosondeo considerados. (Los datos de SOC no son muy confiables).

# A PRELIMINARY STUDY OF THE METEOROLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL CONDITIONS AROUND THE GULF OF CALIFORNIA. 2ND. PART: ANALYSIS OF THE THERMODYNAMIC PARAMETERS.

By

Sergio Reyes Coca  
Gerard Vogel  
Centro de Investigación Científica y  
de Educación Superior de Ensenada  
Ensenada, B. C. México. 28230.

REYES-COCA, S. and G. Vogel. 1984. Preliminary study of the meteorological and climatological conditions around the Gulf of California. Part II: Analysis of the thermodynamic parameters. *Ciencias Marinas*, 10 (2): 65-83

## INTRODUCTION

The geographic characteristics of the Gulf of California are of fundamental importance when one wishes to study local and synoptic-scale atmospheric phenomena. The large meridional extension of the gulf results in the region being affected by both middle and low latitude phenomena during the course of a year. The mountain ranges of the Baja California Peninsula and the Sierra Madre Occidental generate a dynamic forcing in the lower levels of the atmosphere's circulation in such a way that the characteristics of thermodynamic parameters are greatly affected and, as a consequence, climatic and meteorological conditions are very different inside and out of the gulf.

In the first part of this study (Reyes *et al.*, 1984), the behavior and general characteristics of the wind were discussed as well as the time scales for meteorological and climatological phenomena that affect the atmospheric region around the Gulf of California. It was found that the northern part of the gulf is principally dominated by middle latitude perturbations proceeding from the Pacific Ocean and controlled by the jet stream. On the contrary, the southern part is greatly influenced by tropical air masses during the summer, which are controlled by the easterly trade winds and the intertropical convergence zone (ITCZ). The middle part (above Empalme) has mid latitude (winter) as well as tropical (summer) influences.

In this second part, an analysis of thermodynamic parameters is presented and observed characteristics of the atmosphere's moisture field above northwestern México and their relation to tropical storms over the eastern Pacific Ocean are discussed.

## ANALYSIS METHODS

**General considerations.** The analysis of the data has been oriented to describe and understand some atmospheric characteristics of the Gulf of California region (Fig. 1). For this purpose, routine radiosonde observations taken at 00:00 and 12:00 hours GMT during seven years at NW Mexican sites-Empalme (EMP), Guadalupe (GUD), Mazatlán (MAZ) and Socorro (SOC)- and two SW U.S. stations-San Diego (SAN) and Tucson (TUC)-are utilized. Precipitation at each site and hurricane and tropical storm statistics for the eastern Pacific are also considered. In order to facilitate the analysis of such a large amount of data, only 14 pressure levels are considered, from the surface to 50 mb. Monthly averages of the basic parameters (temperature, relative humidity and mixing ratio) are obtained at each site; these averages are then used to construct time series of static stability and precipitable water which aid in the estimation of meteorological and climatological conditions of the region.

### Parameter calculations.

a) The mixing ratio ( $r$ ) is defined as the quotient between a mass of water vapor and a mass of dry air:

$$r = \frac{622e}{(P-e)} \quad \dots (1)$$

where  $e$  (mb) is the water vapor pressure,  $P$  (mb) is the atmospheric pressure and  $r$  (gm/kg).

b) The precipitable water ( $W$ ) is the equivalent amount of water vapor in a vertical column of air of unit area:

$$W = \int_{P_1}^{P_2} dW = (g^{-1}) \int_{P_1}^{P_2} r(-dP) \quad \dots (2)$$

where  $P_1$  (mb) and  $P_2$  (mb) are the lower and upper pressure limits for the air column,  $g$  ( $\text{cm}/\text{seg}^2$ ) is the gravitational acceleration,  $r$  ( $\text{gm}/\text{kg}$ ) is the mixing ratio and  $W$  ( $\text{gm}/\text{cm}^2$ ). An alternative expression for  $W$  in cm is given by:

$$W (\text{cm}) = [ W(\text{gm}/\text{cm}^2) ] / \rho \quad \dots (3)$$

where  $\rho$  ( $\text{gm}/\text{cm}^3$ ) is the air density.

c) The static stability ( $N$ ) describes a state of the atmosphere and represents the probable effect of the movement of an air parcel subject to an external force, and is defined as:

$$N = gd (\text{Ln } \theta) / dz \quad \dots (4)$$

where  $g$  ( $\text{cm}/\text{seg}^2$ ) is gravitational acceleration,  $\theta$  (K) is the potential temperature,  $z$  (cm) is the vertical displacement and  $N$  ( $1/\text{seg}^2$ ). For a more complete discussion of the derivation of equations 1-4, see Saucier (1972).

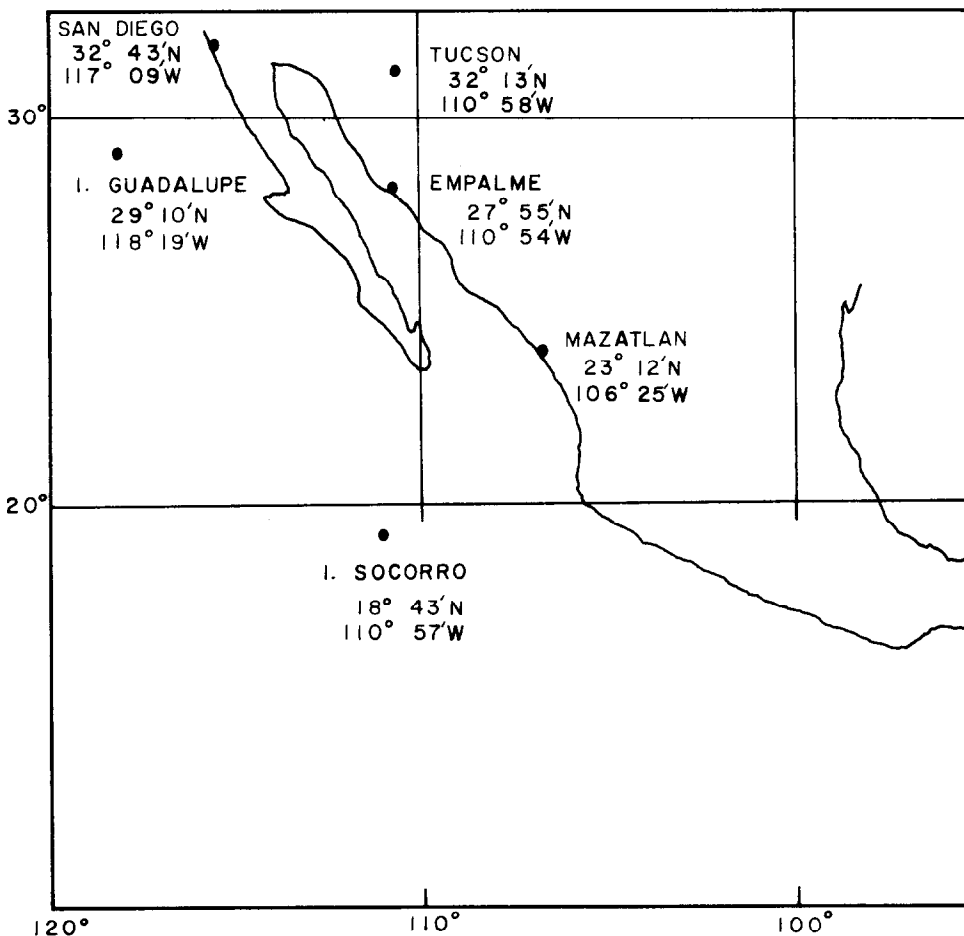


FIGURE 1. The Gulf of California and network of radiosonde stations in NW Mexico and SW U.S.A.

## RESULTS

In this chapter the results obtained by each analysis method and for each considered parameter are presented. In the following chapter, these results are combined with those for the precipitation field in order to explain the observed anomalies. We now proceed to analyze the results by means of various graphical methods.

**Vertical profiles.** The average profiles of temperature, humidity and mixing ratio for winter, spring summer and fall at each considered site are shown in Figs. 2, 3, and 4. Altitude is represented along the vertical axis and the variable of interest along the horizontal axis. In addition, for each station, standard deviation values are tabulated for various selected height levels.

From the temperature profiles (Fig. 2), for the surface level, one observes that TUC and EMP exhibit the greatest seasonal variation, the former of more extreme values due to stronger continental conditions. On the other hand, SOC and GUD show the least variation, the first being of maritime tropical characteristics and the latter of temperate characteristics. Considering now the interval between the surface and 1 km, one observes that the temperature diminishes very slowly for almost all sites except for SAN and GUD during summer when inversions are observed, which can originate due to the influence of the cold California Current not permitting a large transfer of sensible heat to the atmosphere. TUC shows a quite shallow inversion during winter, a result of nocturnal radiative cooling. MAZ also exhibits a temperature inversion during winter, which can be due to a small decrease in surface temperature of the adjacent gulf. Starting from 2 km, all the temperature profiles begin to diminish rapidly. Around 15 km, winter values are greater than those of summer for northern sites; this is a consequence of greater sensible heat transfer at high levels during the period of greatest temperature gradient between the equator and the poles. The average altitude of the tropopause is observed to be between 16 and 18 km, diminishing from the south to the north and from

summer to winter. Standard deviation values (of the order of 1°C or less) permit us to accept as significant the obtained seasonal profiles.

For the relative humidity profiles (Fig. 3), at the surface level, TUC and EMP show the smallest values and the greatest seasonal variation. On the other hand, SAN and GUD show very little seasonal variation with values near 80% during the entire year. MAZ and SOC also show values near 80% but only in summer and fall. In the region between the surface and 10 km, the relative humidity is highly variable between seasons for most of the sites with the exception of SAN and GUD, which show a uniform and very marked decrease between the surface and 2 km and small variations between 2 and 10 km for all four seasons. Note also a large increase in relative humidity for TUC at middle levels during the summer. Above a height of 13 km, the atmosphere is completely dry. Standard deviation values are statistically significant up to 9 or 10 km; above this altitude, the presence of water vapor diminishes rapidly to zero and thus, the profiles ought to be analyzed with caution.

From the mixing ratio profiles (Fig. 4), considering the surface level, one observes that the mixing ratio is maximum during summer at all the sites. EMP and MAZ show the largest variations between summer and winter; of these, EMP has the most extreme change, showing a difference of almost 12 gm/kg between both seasons. This could be evidence of the relatively high evaporation caused by high summer temperatures in the Gulf of California (see Fig. 2). On the other hand, GUD shows only a variation of the order of 3 gm/kg between both periods, being evident its maritime condition. Also, if we consider upper levels, MAZ, SOC, EMP and TUC all show significant differences between winter and summer. One can observe that mixing ratio values  $> 0$  (and thus the water vapor concentration) are found principally below 10 km; the southern sites (except EMP during winter) show a large influence from the highly evaporative surface gulf while the northern sites exhibit conditions of low

PRELIMINARY STUDY . . . PART II

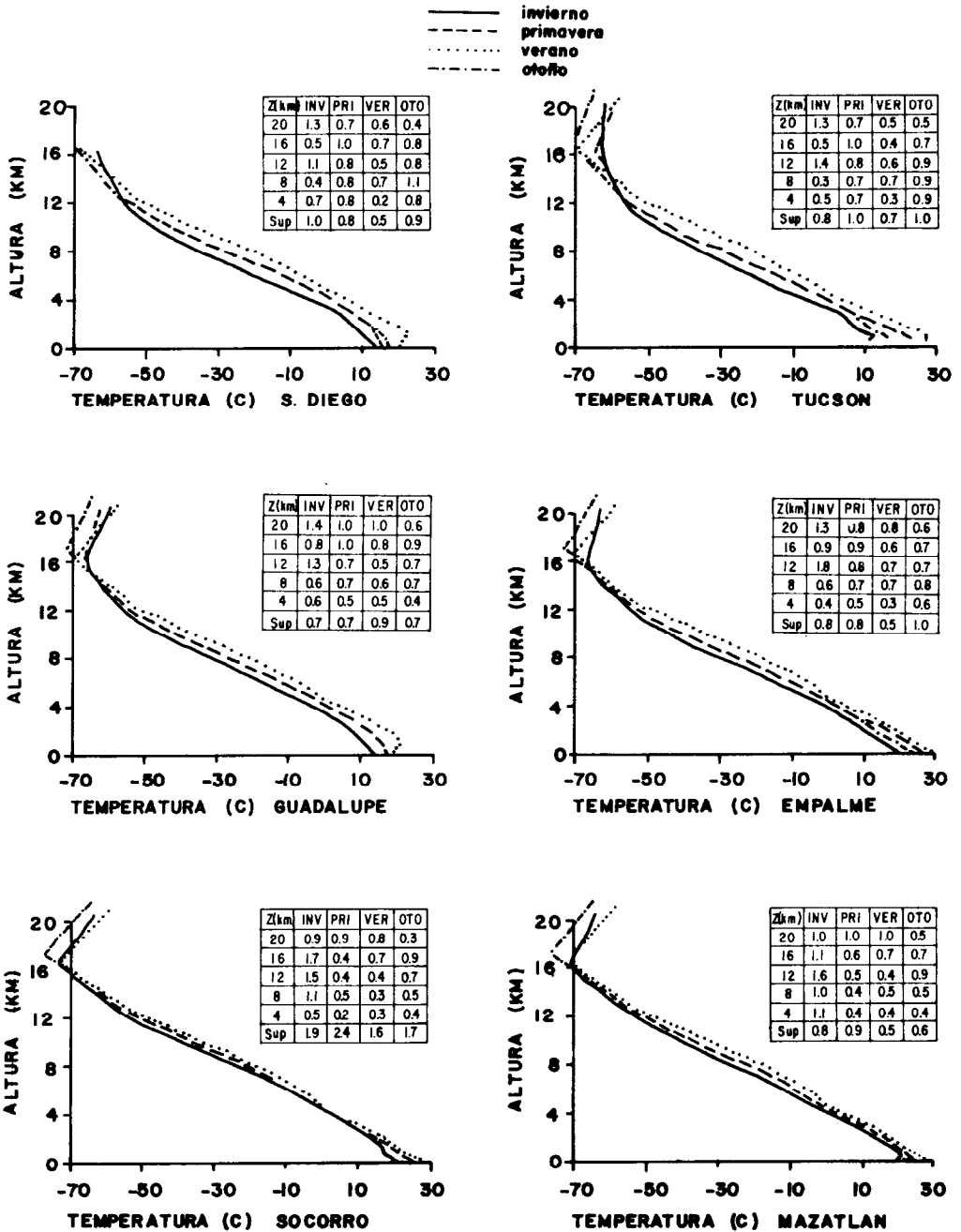


FIGURE 2. Average air temperature profiles for winter, spring, summer and fall. The tables depict standard values at selected levels for each site and season.



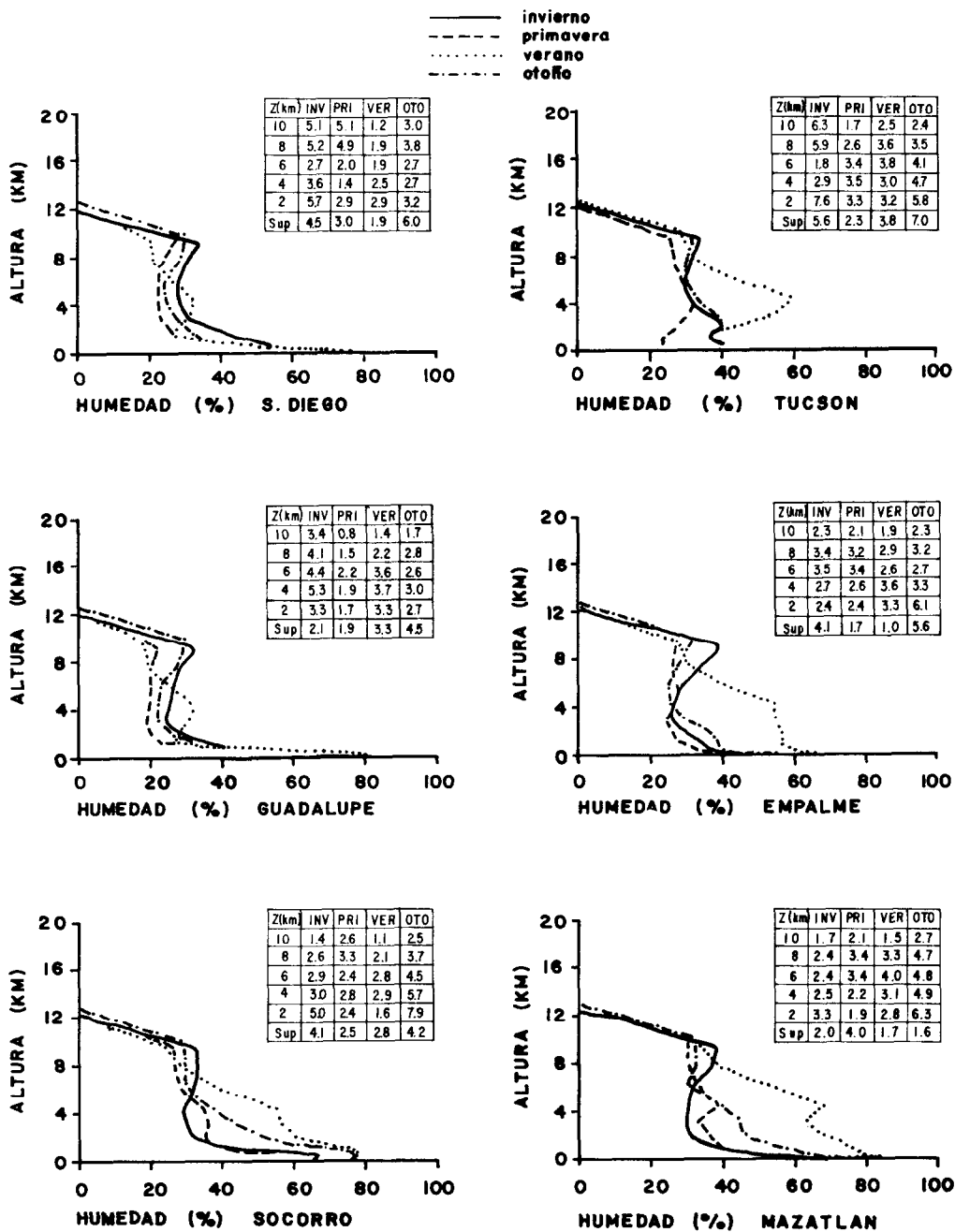


FIGURE 3. Average relative humidity profiles for winter, spring, summer and fall. The tables depict standard deviation values at selected levels for each site and season.

PRELIMINARY STUDY . . . PART II

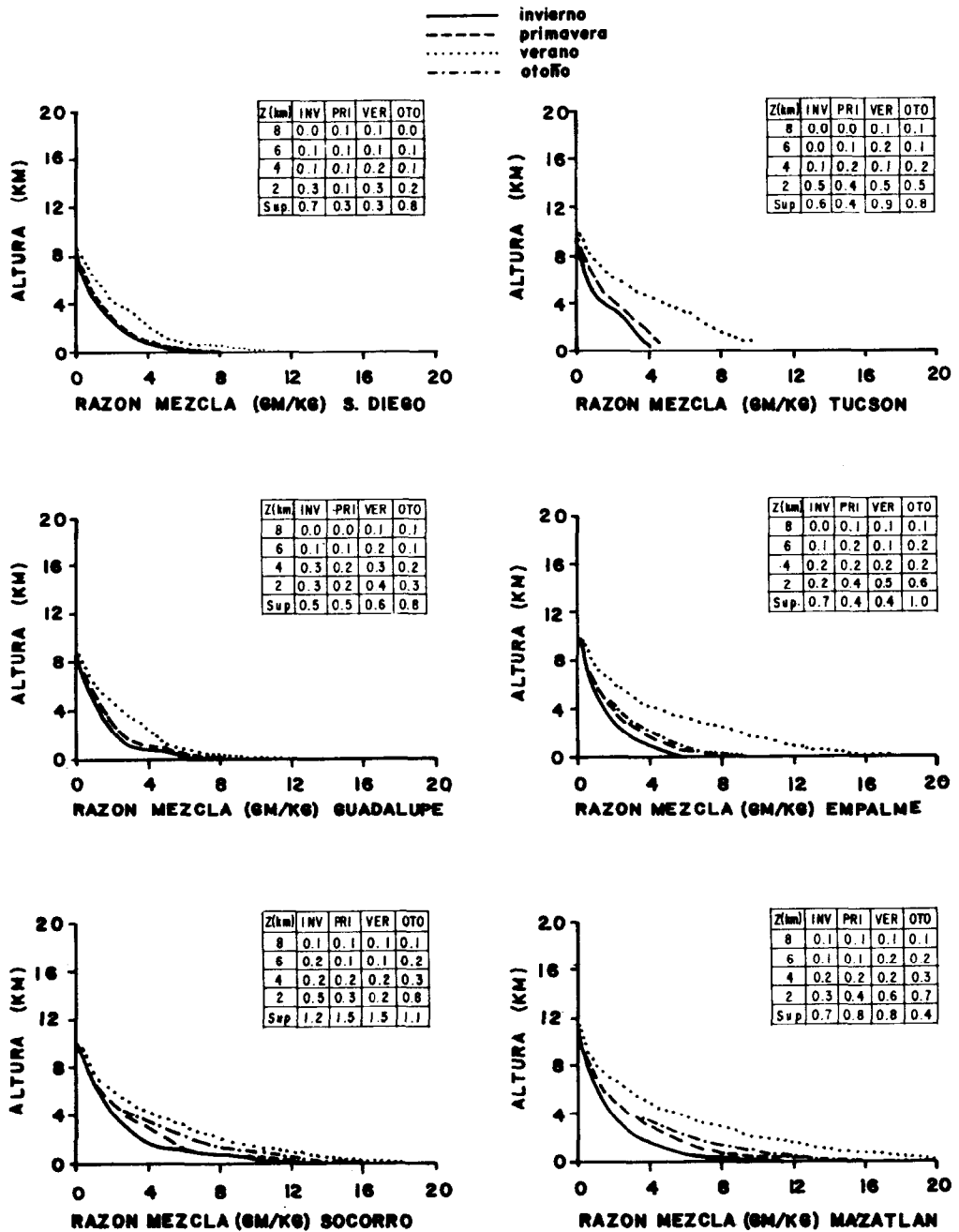


FIGURE 4. Average mixing ratio profiles for winter, spring, summer and fall. The tables depict standard deviation values at selected levels for each site and season.

latent and sensible heat transfer typical of the California Current. With respect to the standard deviation, the obtained values are always less than 1 gm/kg, indicating the seasonal profiles (up to 8 km) are statistically significant.

**Time cross sections.** In Figs. 5 and 6 contours of the parameters of interest are shown for each site and period analyzed. The vertical axes represent the height and horizontal axes represent the time in annual intervals. In this section, results are discussed for each observed parameter; moreover, the results already discussed previously are considered implicit in the following sections.

From the temperature contours (Fig. 5), considering the surface levels (to 1.5 km), one observes that EMP and MAZ sometimes present two temperature maximums during the hot part of the year (which can be related to the presence of summer rains) but, during winter, only one temperature maximum is evident. SAN and GUD show the greatest interannual variability, while the other sites show a quite persistent pattern. SAN and GUD show similar inversion characteristics during the majority of the summer and decrease of temperature with height during winter. As mentioned in the vertical profiles section, the California Current favors a large transfer of sensible heat from the lower atmosphere to the sea surface causing the inversions typical of summer along the North Pacific coast. During the winter, the lower atmosphere is relatively colder than the surface water which favors the transport of sensible heat from the ocean to the atmosphere. With respect to MAZ and SOC, one observes little seasonal variation, especially for SOC, which is found completely under maritime influence. Above the surface levels to the tropopause, interannual and intraannual variations tend to diminish for all sites.

For the mixing ratio contours (Fig. 6), for surface levels (up to 0.5 km), only SOC and MAZ show values greater than 7 gm/kg during the entire year. EMP exhibits the greatest range of intraannual variability (from 3 to 12 gm/kg). The relatively high water vapor content during summer ought to

be related to the increase in surface temperature in the planetary boundary layer of the middle and upper Gulf of California and with the consequent increase in evaporation; during winter, the surface temperature within the ocean-atmosphere boundary layer decreases considerably (Van An del, 1966) and the evaporation is minimal. With respect to GUD and SAN, the annual and seasonal variations do not have as well defined patterns as the other regions. The influence of mid latitude fronts above the region of NW Baja California has a greater effect in water vapor characteristics and precipitation than the local influence of the California Current. This mid latitude planetary influence is well presented at SAN and GUD, where one observes an increase in the interannual variability above 1.5 km.

**Precipitable water.** In order to obtain an idea of the amount of water (liquid and vapor) in the atmosphere, and its time variation, characteristic of each selected site, the precipitable water contained in a column of unit area was integrated in the vertical for three representative atmospheric layers: a) the boundary layer (surface to 1 km), b) the middle troposphere (1 to 4 km) and c) the upper troposphere (4 to 10 km). For the total amount from the surface to 10 km, the three aforementioned layers are summed. The results are shown in Figs. 7-10 and in Table I. The most obvious result is the large amount of precipitable water for the southern points during the summer and the large intraannual variability of the desert sites. In general, all stations show a well defined annual cycle for total precipitable water; nonetheless, greater interannual variability exists when we observe distinct atmospheric layers. For example, GUD, SAN and SOC are highly variable in the surface and middle layers. These results will be discussed later in relation to the influence of mid latitude fronts (during winter) and latent heat transfer in the air-sea interface and the presence of tropical storms (during summer).

**Static stability.** The static stability (N) was calculated for three representative atmospheric regions: a) the boundary layer (surface to 900 mb), b) the middle tropo-

PRELIMINARY STUDY. . . PART II

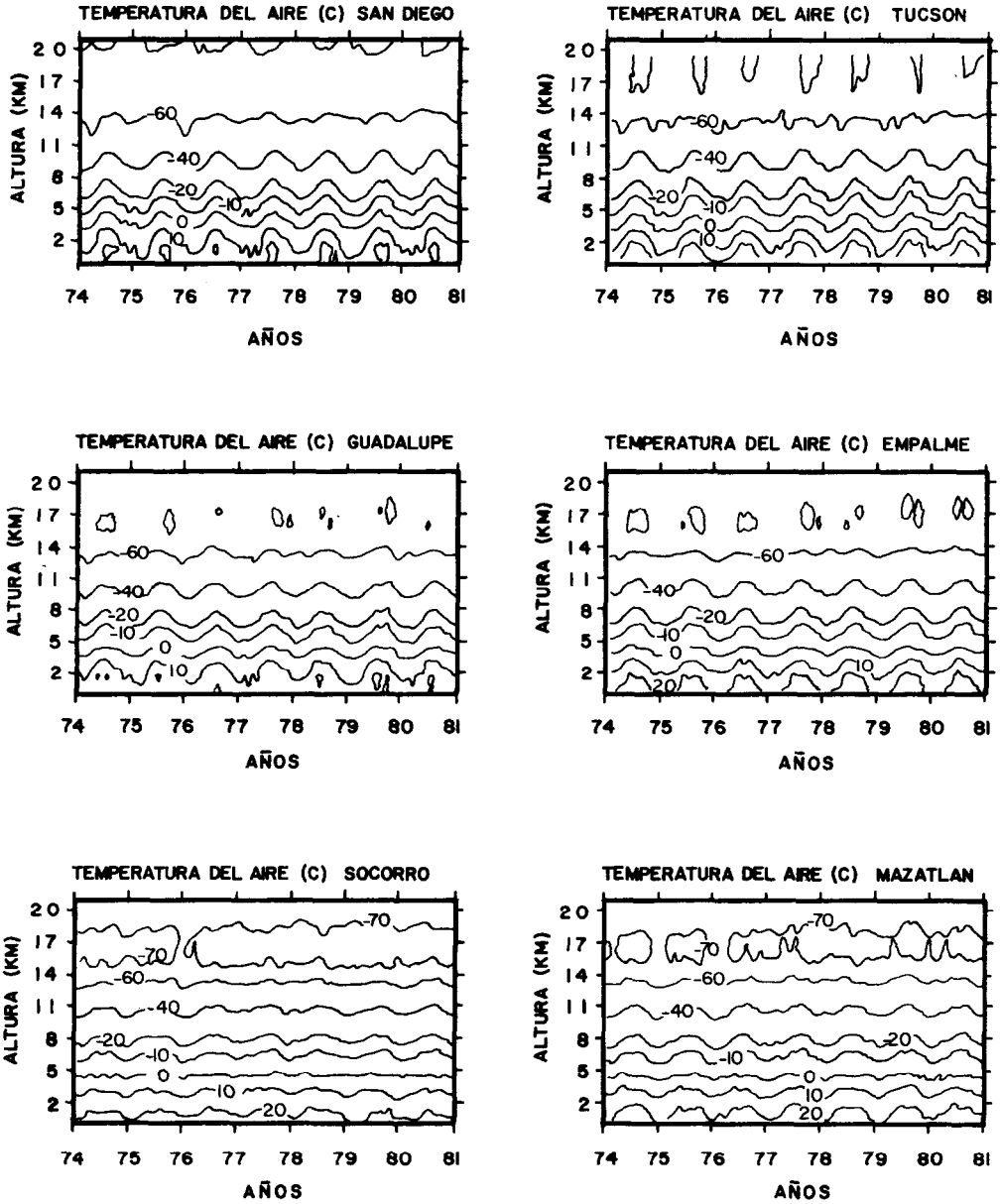


FIGURE 5. Air temperature contours for the selected sites.

sphere (900 to 500 mb) and c) the upper troposphere (500 to 100 mb). Stability is said to exist in an atmospheric region when  $N > 0$  and instability when  $N < 0$ . Results are shown in Figs. 11, 12 and 13, respectively.

a) For the boundary layer (Fig. 11), GUD and SAN show a large stability during summer. With respect to TUC, which is found at a height of 0.7 km (with a surface pressure of the order of 950 mb), a strong

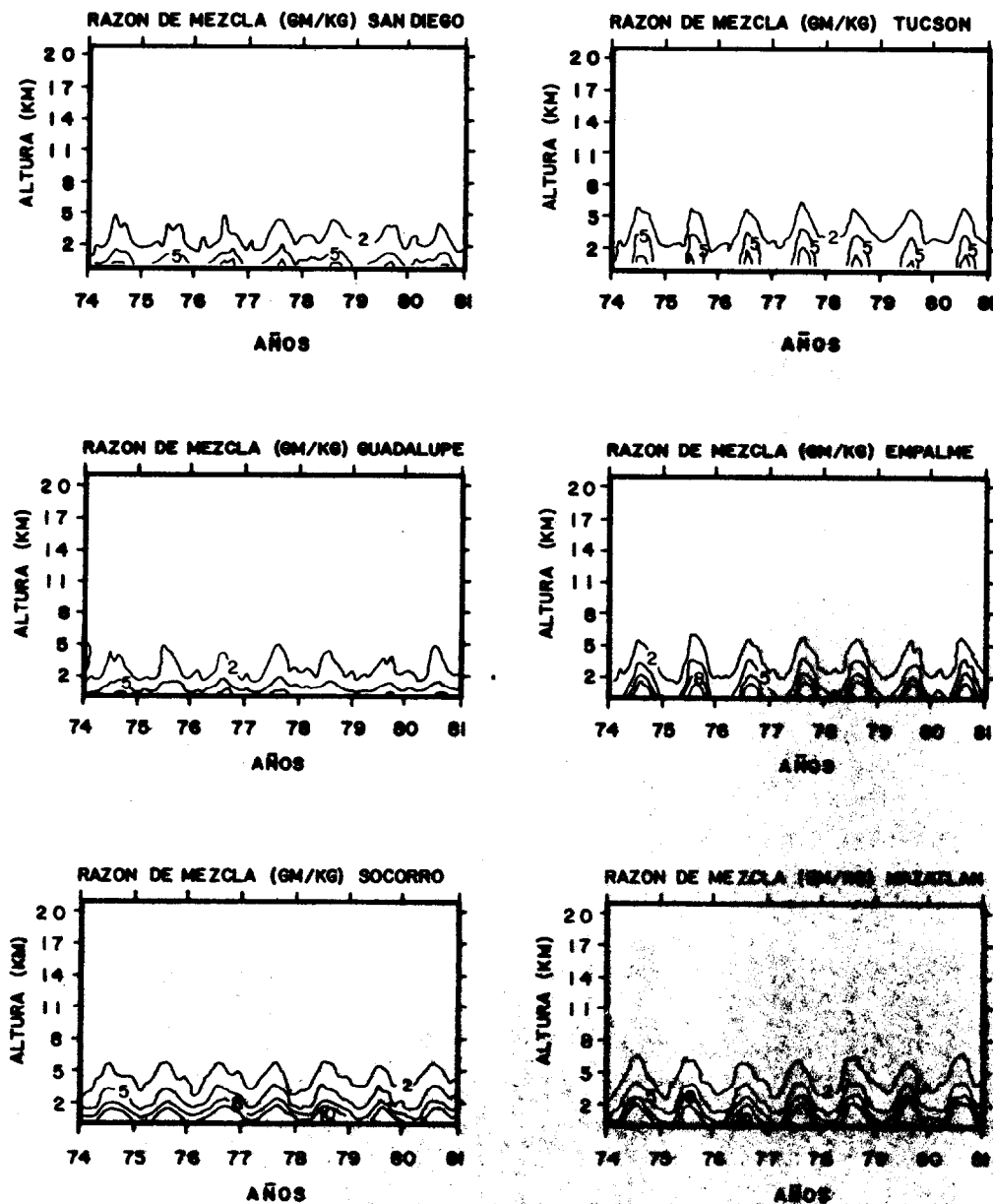


FIGURE 6. Mixing ratio contours for each site considered

temperature inversion occurs in winter in the first 0.2 km such that in the surface region (surface to 900 mb) the atmosphere is generally stable. MAZ exhibits a clear annual cycle and a high stability during

winter with a minimum in summer. SOC shows a weak stability during the spring and unstable conditions during summer and fall. EMP exhibits a weak stability throughout the year with a minimum during summer

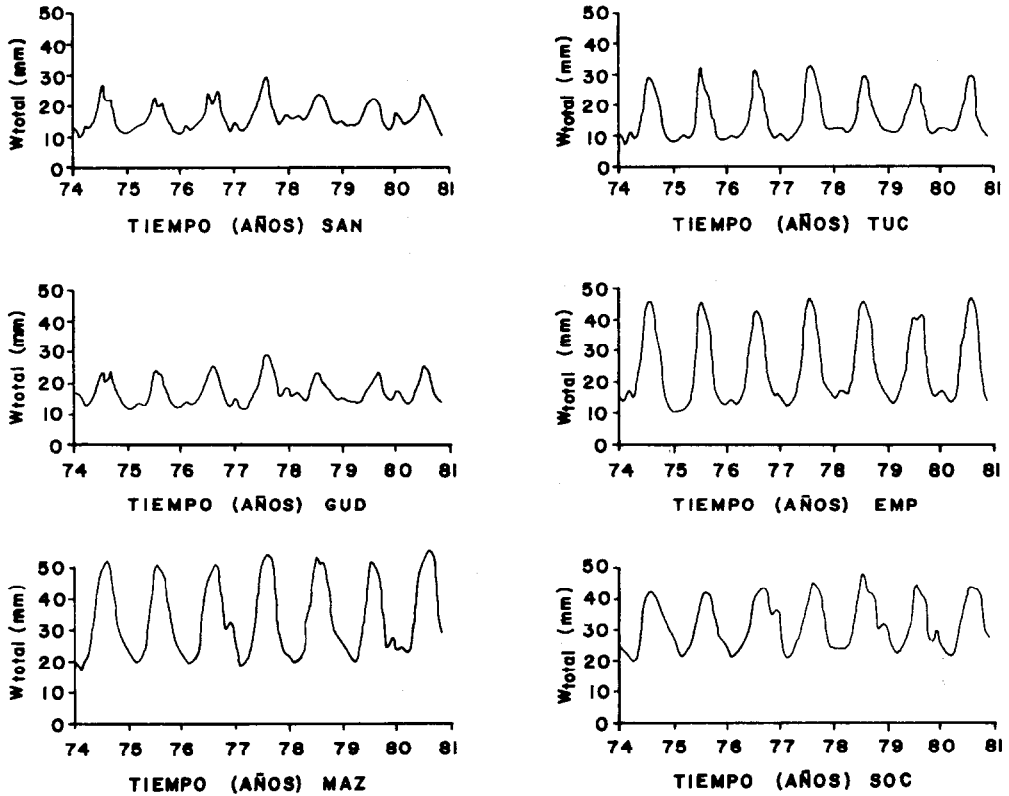


FIGURE 7. Time series of the average monthly precipitable water in an air column from the surface to 10 km.

and no well defined annual cycle. In general, for this atmospheric region, the range of intraannual variation is minimal at SOC and EMP, being significantly larger at the other sites.

b) For the intermediate tropospheric region (from 900 to 500 mb), one observes a large decrease in the range of seasonal variation with respect to the surface region and a large variability for almost all the sites with the exception of TUC which shows a well defined annual cycle. One is reminded that TUC has surface pressure values of the order of 950 mb and thus, the lower part of the atmospheric region from 900 to 500 mb includes part of the planetary boundary layer.

c) Finally, for the upper tropospheric

region (from 500 to 100 mb), one observes a well defined annual cycle for all the series with maxima in winter and minima in summer, with spring and fall being transition seasons. SOC and MAZ show a small range of seasonal variation, indicating their nearness to regions of homogeneous temperature. On the other hand, TUC, SAN, GUD, and EMP show a large effect from the middle latitudes where thermal gradients are more intense.

**Tropical systems in the eastern Pacific Ocean and precipitation along the NW Mexican coast.**

Statistics of observed tropical systems in the eastern Pacific Ocean during the period 1974-1980 are tabulated in Table II.

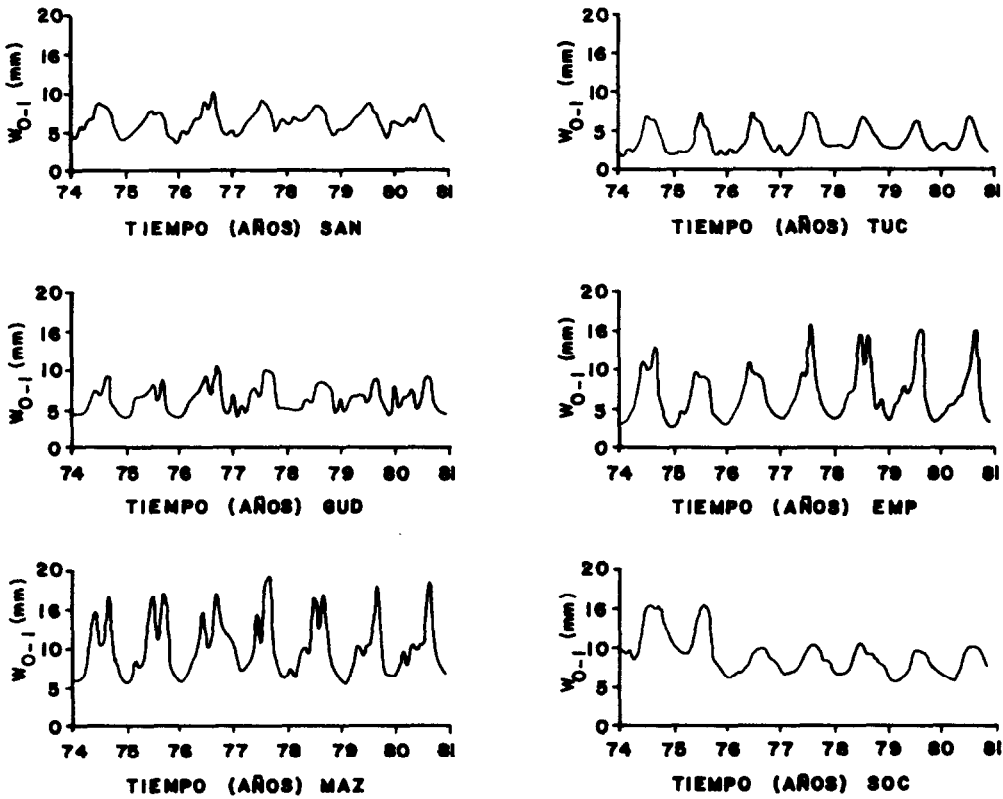


FIGURE 8. Time series of the average monthly precipitable water in the boundary layer (surface to 1 km).

It is well known that, during summer and fall, southern hemisphere trade winds penetrate to latitudes of the order of  $10^{\circ}$  to  $15^{\circ}\text{N}$  in the eastern Pacific resulting in a greater intrusion of tropical air masses and an increase in the generation of tropical disturbances which can be transported northward to affect the NW Mexican coastal region. Therefore, the precipitation (and in general the moisture field) ought to show a certain dependence of the presence or absence of tropical systems. In Fig. 14, the annual average precipitation observed at the radiosonde sites for the period 1977-80 is depicted. The fact that the observed precipitation does not always show a significant positive correlation with the occurrence of tropical systems suggest that other factors are important in the generation of summer precipitation along the extent of the NW

Mexican coast.

## DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Up to the moment we have presented and discussed separately the results obtained by utilizing distinct analysis methods. In this chapter the results will be discussed globally making use of climatological precipitation and tropical storm and hurricane frequency data. This information was obtained from publications of the Servicio Meteorológico Nacional (México) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA-USA).

Air mass movements, discussed in the first part of this study (Reyes *et al.*, 1984), are reflected in the presented thermodynamic characteristics. Westerly flow in the northern

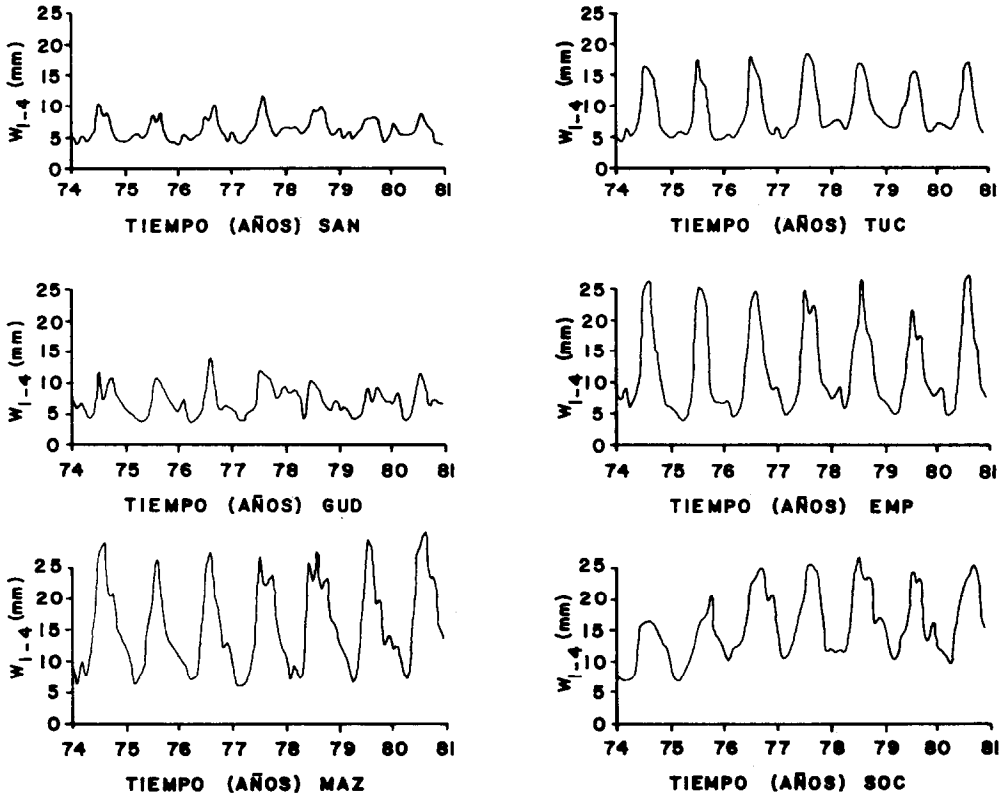


FIGURE 9. Time series of the average monthly precipitable water in the middle troposphere (1 to 4 km).

region during winter permits the penetration of mid latitude fronts associated with an increase in precipitable water. Note that, during winter, values at SAN and GUD are not very different from those at MAZ and SOC while, during summer, the differences are notable (Figs. 8-10). Movement of cold air masses over the California Current (relatively less cold) generates a sensible heat transfer in the air-sea interface causing instability in the boundary layer and upward air motion which reinforces the typical winter precipitations of the region. It is interesting to note that the large variability observed, in precipitable water as well as in precipitation, has its origin outside of the study region such that the influence of the California Current is minimal in the atmospheric moisture field in relation to its effect on the temperature field.

During the summer, the strengthening and northward displacement of the semi-permanent anticyclone centered west of California (Atkinson and Sadler, 1970) blocks the penetration of mid latitude fronts and the characteristics of the water vapor concentration (associated with subsidence generated by the Hadley cell of mid latitudes) show a decrease that only is altered by the occasional intrusion of tropical air masses from the eastern tropical Pacific.

With respect to the northern gulf region, the mountain ranges of both the peninsula and the continent greatly weaken the interchange of thermodynamic properties inside and out of the gulf. This is evident in the TUC observations where thermal and water vapor gradients within the planetary boundary layer are relatively large during



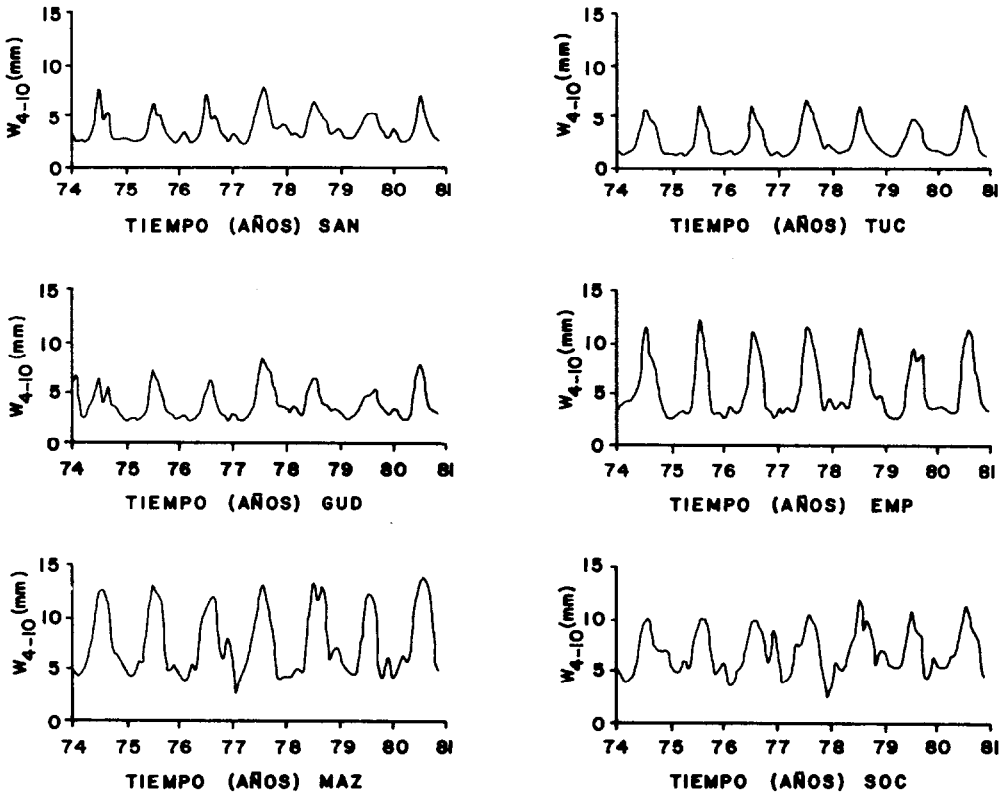


FIGURE 10. Time series of the average monthly precipitable water in the upper troposphere (4 to 10 km).

the entire year, characterizing TUC as a continental region of weak stability during the day in summer and large stability during the night in winter.

In the central gulf region (EMP), there exists a large range of variation between winter and summer for all observed parameters. For the boundary layer during summer, one observes a very considerable increase in the precipitable water field in relation to the other sites. This increase is positively correlated with the large increase in sea surface temperature which subsequently permits a greater latent heat transfer to upper levels due to the low stability of the air.

In the southern gulf region, MAZ and SOC exhibit similar characteristics for temperature and water vapor fields although

there exists a larger interannual variability for SOC. For the precipitable water field, especially at middle and upper levels, this variability at SOC is perhaps due to the nearness of the ITCZ during summer and the direct influence of tropical features (trade wind inversion, storms, etc.).

Without doubt, one of the most interesting parameters to discuss is the local moisture field (observed rain and precipitable water) and its relation with the passage of disturbances of both tropical and mid latitude origins. It is clear from Figs. 5, 6 and 7 (air temperature, mixing ratio and precipitable water contours, respectively) that maxima are observed during summer for all selected sites while maxima in precipitation occur during summer at EMP, MAZ and SOC and during winter at GUD, SAN and

PRELIMINARY STUDY. . . PART II

TABLE I. Average precipitable water and standard deviation for the period 1974-80 for the three atmospheric layers: a) boundary (surface to 1km), b) mid troposphere (1 to 4 km) and c) upper troposphere (4 to 10 km) and for the total in the vertical column from the surface to 10 km.

ESTACION	AGUA PRECIPITABLE (mm)				DESVIACION ESTANDAR (mm)			
	0-1	1-4	4-10	TOTAL	0-1	1-4	4-10	TOTAL
SAN	6.2	6.3	3.8	16.4	1.5	1.8	1.4	4.4
TUC	3.8	9.1	2.7	15.5	1.7	4.3	1.5	7.4
GUD	6.4	7.2	3.9	17.5	1.8	2.3	1.5	4.4
EMP	6.7	12.1	5.5	24.4	3.4	6.9	2.8	12.2
SOC	9.2	16.1	6.9	32.2	2.5	5.6	2.2	8.6
MAZ	10.1	15.8	7.6	33.5	3.8	7.3	3.2	12.7

TUC. This apparent contradiction can be understood if we consider that at SAN and GUD winter fronts (principal generators of precipitation in this region), by diminishing the temperature, are easily able to condense the relatively small concentration of water vapor to cause greater probabilities of rainfall. With respect to MAZ, the atmosphere is very humid and therefore the level of condensation occurs at low altitudes resulting in heavy precipitation. On the other hand, SOC is generally north of the ITCZ and only receives heavy precipitation during the passage of tropical disturbances. Convective clouds also form during summer at TUC and

EMP; nonetheless, the atmosphere is relatively dry, the level of condensation is relatively high and little precipitation is observed at the surface.

**ACKNOWLEDGEMENTS**

We wish to thank the technicians Javier Garcia and Enrique Garcia for their help in data compilation and figure preparation and Edgar Pavia for his help in data processing. This study forms part of the research program on meteorology of the Gulf of California (MEGOCA) supported by the Mexican Federal Government through the regular funding of CICESE.

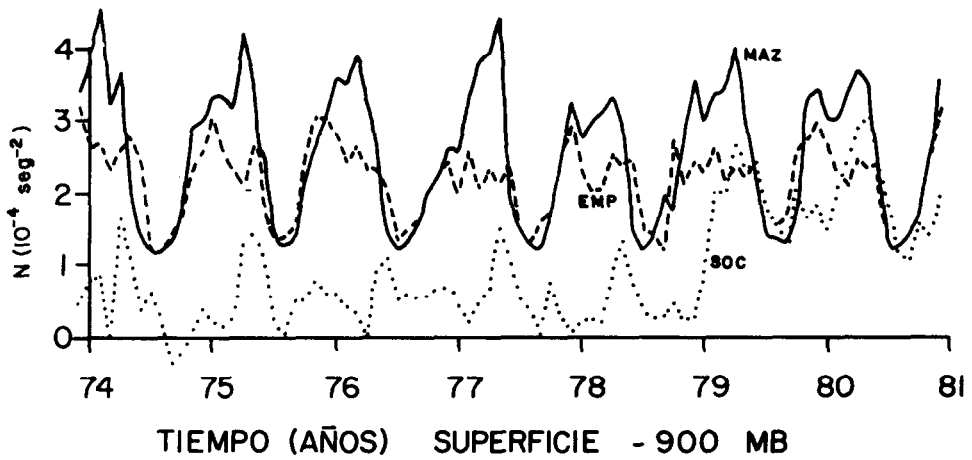
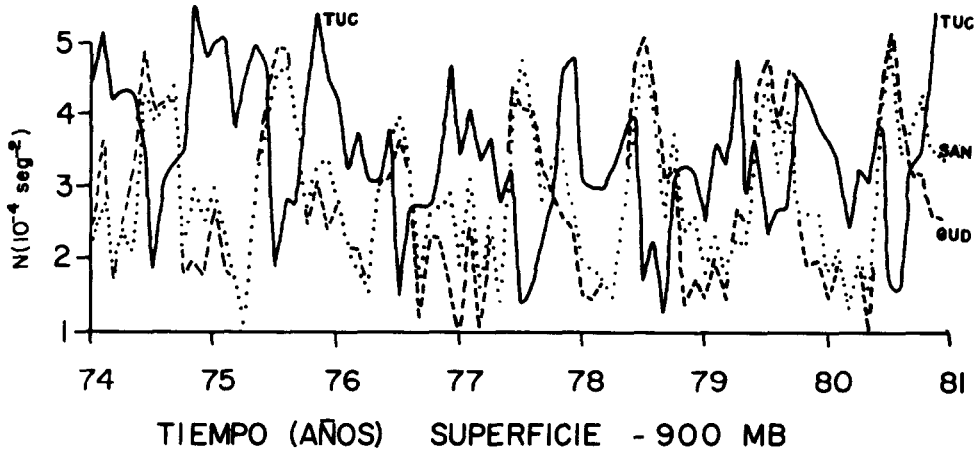


FIGURE 11. Time series of the average monthly static stability of the boundary layer region (surface to 900 mb).

PRELIMINARY STUDY... PART II

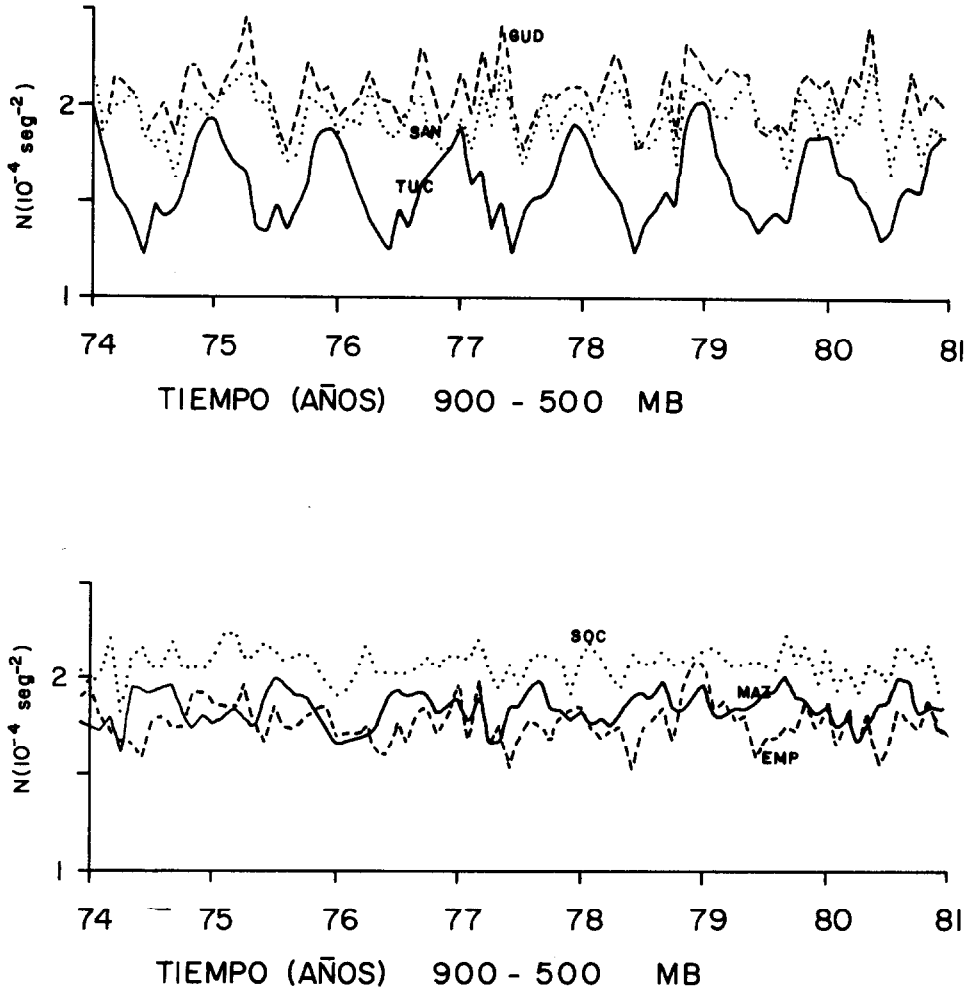


FIGURE 12. Time series of the average monthly static stability for the mid troposphere region (900 to 500 mb).

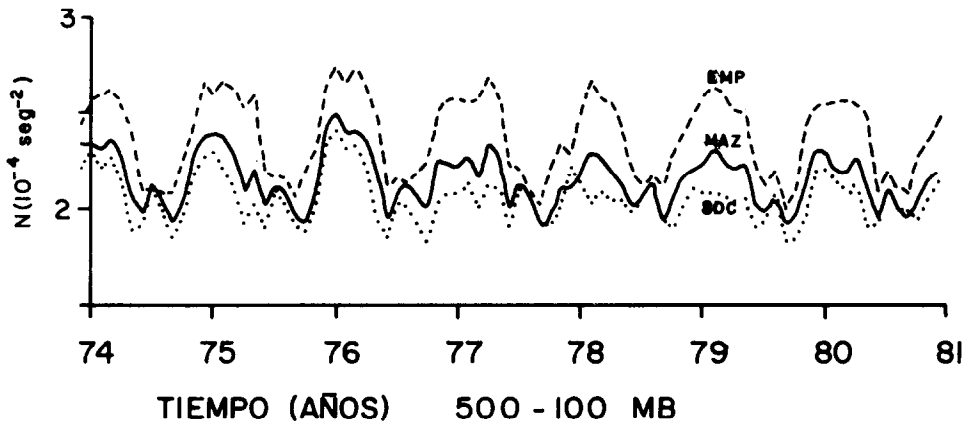
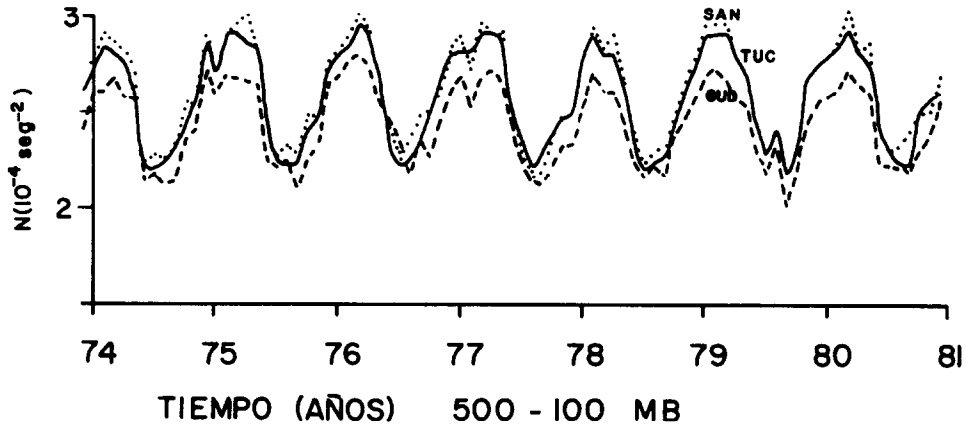


FIGURE 13. Time series of the average monthly static stability for the upper troposphere region (500 to 100 mb).

PRELIMINARY STUDY. . . PART II

TABLE II. Eastern Pacific Ocean tropical systems for the period 1974 to 1980.

SISTEMAS TROPICALES EN EL OCEANO PACIFICO DEL ESTE								
AÑO	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	TOT
1974	1	3	3	6	2	2	1	18
1975	—	2	4	5	3	1	1	16
1976	—	2	4	3	3	—	—	12
1977	1	1	1	1	4	1	—	9
1978	1	4	5	6	3	2	—	21
1979	—	1	2	2	1	2	1	9
1980	—	4	5	3	2	2	—	16
PROMEDIO ANUAL = 15								

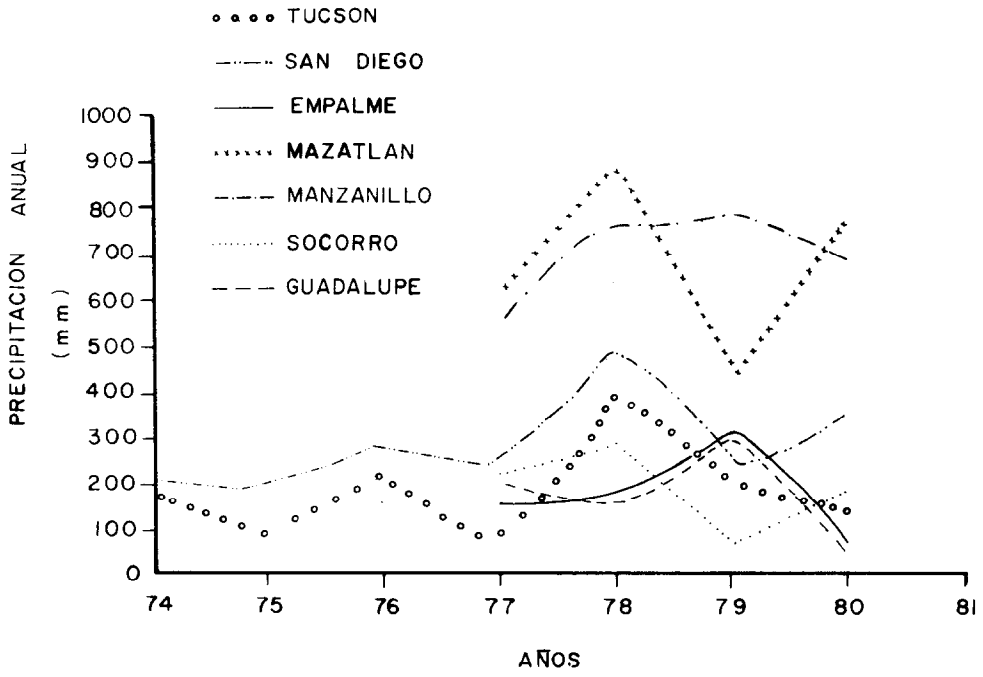


FIGURE 14. Average precipitation observed during the period 1974-80 for the considered radioonde sites. (The data for SOC is not very reliable).