



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**ANALISIS DE PARAMETROS METEOROLOGICOS EN EL PACIFICO  
NORORIENTAL TROPICAL, EN RELACION CON LA GENESIS  
DE CICLONES PARA EL VERANO DE 1979.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
O C E A N O L O G O  
PRESENTA:  
MAURICIO DE SAN JOSE ALCANTARA GONZALEZ.**

**Ensenada, B. C., México; Diciembre de 1991.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**

**ANALISIS DE PARAMETROS METEOROLOGICOS EN EL PACIFICO  
NORORIENTAL TROPICAL, EN RELACION CON LA GENESIS  
DE CICLONES PARA EL VERANO DE 1979.**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
O C E A N O L O G O  
PRESENTA:  
MAURICIO DE SAN JOSE ALCANTARA GONZALEZ.**

**Ensenada, B. C., México; Diciembre de 1991.**

## RESUMEN.-

Se realiza un análisis de los parámetros meteorológicos asociados a la generación de depresiones, tormentas tropicales y huracanes. Se aplica el método de Potencial de Génesis Estacional, implementado por Gray en 1978 con algunas modificaciones. Los datos que se usan son de: viento (u,v), temperatura del aire, temperatura superficial del mar y humedad relativa, correspondientes al nivel III-b del PRIMER EXPERIMENTO MUNDIAL DEL TIEMPO (PEMT). Las mediciones son cada 12 hrs. desde Mayo a Septiembre de 1979, para los niveles estandar desde 1000 hasta 300 mb. El área de estudio comprende de los 84° W a los 130° W, y de los 4° N a los 30° N, que engloba parte de América Central, México, Golfo de México, parte del Caribe y el Pacífico Nororiental tropical.

Se calculan: la vorticidad relativa, el parámetro de Coriolis, el inverso del esfuerzo vertical del viento entre la baja y la alta tropósfera, la energía termal oceánica, el gradiente vertical de la temperatura potencial equivalente y la humedad relativa de la tróposfera media; con los anteriores y la temperatura superficial del mar mayor a 24°C se calculan el Potencial Dinámico y el Potencial Térmico que se combinan para obtener el Potencial de Génesis de Ciclones.

Se presentan los promedios estacionales y mensuales, así como de 4 días previos a perturbaciones, representativos de los cálculos del potencial de génesis y demás parámetros meteorológicos, los cuales se muestran principalmente por medio de gráficas. Se evalúan y discuten los resultados obtenidos y finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

El máximo del potencial de génesis aparece en forma de una lengüeta al sur de Oaxaca y Guerrero; siendo mucho más intenso en el Pacífico que en el Golfo de México y Caribe durante toda la estación. Agosto es el mes con los valores más altos. La zona con valores positivos altos se desplaza del Sureste al Noroeste de Mayo a Agosto, luego de Oeste a Este en Septiembre. El comportamiento del potencial de génesis parece estar controlado primordialmente por la circulación monzónica del Suroeste de Norteamérica y la orografía de la zona continental de Centroamérica y México.

El método aplicado aquí se ajusta  $\approx 80\%$  a las perturbaciones en ubicación, pero en intensidad resulta muy variable. Puede resultar de gran utilidad en la determinación de las zonas de generación de ciclones tropicales durante estudios observacionales, aunque es recomendable usarlo sólo como ayuda y con reservas. Los parámetros que pudieran usarse como índices son la vorticidad relativa y el gradiente de la temperatura potencial equivalente.

**ANALISIS DE PARAMETROS METEOROLOGICOS EN EL PACIFICO  
NORORIENTAL TROPICAL, EN RELACION CON LA GENESIS  
DE CICLONES PARA EL VERANO DE 1979.**

**TESIS  
QUE PRESENTA  
MAURICIO DE SAN JOSE ALCANTARA GONZALEZ**

Aprobada por:



\_\_\_\_\_  
Presidente del Jurado  
Dr. Sergio Reyes Coca.



\_\_\_\_\_  
Sinodal Propietario  
Oc. Ruben Castro Valdéz



\_\_\_\_\_  
Sinodal Propietario  
M.C. René Pinet Plasencia

## DEDICATORIAS.

*En el concierto de las dedicatorias*

*¿Quién soy yo para desafinar?*

*De modo que...*

A mis padres y hermanos por todo lo que han hecho por mi y todo lo que hemos compartido.

A mis amigos, los que están y los que no.

A todas aquellas personas que en algún momento interactuaron conmigo, para bien o para mal, pero que siempre dejaron algo.

Y a falta de perico...Al "Godo", mi gato.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Si pusiera aquí a todas las personas a quienes quisiera dar mi agradecimiento la lista sería interminable; de modo que las gentes que se lo merecen y que no haya mencionado explícitamente por favor recuerden que igual están presentes.

Al Dr. Sergio Reyes Coca por el apoyo brindado durante la realización de esta tesis, por las oportunidades que me ha dado y por las puertas que me ha mostrado en el camino.

Al grupo de Meteorología que me soportó por tanto tiempo, y en general a todo el CICESE; en donde he encontrado excelentes amigos y compañeros de trabajo;.

A mis sinodales, que tuvieron la paciencia de revisar mi trabajo y fueron excelentes maestros.

A todos los que de alguna forma tuvieron relación con mi trabajo.

## INDICE.

	<u>Página.</u>
CAPITULO I    Introducción.....	1
-Introducción .....	2
-Antecedentes .....	5
-Objetivos .....	10
CAPITULO II    Materiales y Métodos.....	11
-Descripción del área de estudio .....	12
-Datos .....	15
-Conceptos teóricos .....	17
CAPITULO III    Resultados.....	27
- Resultados .....	28
Parte A    PROMEDIOS ESTACIONALES.....	29
Parte B    PROMEDIOS MENSUALES.....	34
Parte C    CASOS PARTICULARES.....	47
CAPITULO IV    Discusión.....	57
Parte A    ANALISIS ESTACIONAL.....	58
Parte B    ANALISIS MENSUAL.....	61
Parte C    CASOS PARTICULARES.....	67
CAPITULO V    Conclusiones y recomendaciones.	71
Conclusiones .....	72
Recomendaciones .....	74
Bibliografía. ....	75

## LISTA DE FIGURAS.-

### Página.

Fig. 1. Area de estudio y trayectoria de los ciclones que se presentaron durante el verano de 1979.....	13
Fig 2a. Promedio del potencial de ciclogénesis para el verano de 1979. Las unidades son de $^{\circ}\text{K}^2(\text{ms})^{-1}$ .....	30
Fig 2b. Promedio del potencial dinámico para el mismo intervalo de tiempo con unidades de $(\text{ms})^{-1}$ .....	30
Fig. 3a. Mismo que en la figura 2 pero para la vorticidad relativa en el nivel de 850 mb. Las unidades son de $\text{s}^{-1}$ .....	31
Fig. 3b. Mismo que en la figura 2 pero para el inverso del esfuerzo vertical del viento horizontal entre 300 y 850 mb. Las unidades son $\text{sm}^{-1}$ .....	31
Fig. 4a. Mismo que la figura 2 pero para el potencial térmico, las unidades son $^{\circ}\text{K}^2$ .....	32
Fig. 4b. Mismo que la figura 2 pero para la temperatura superficial del mar. Las unidades son en $^{\circ}\text{C}$ .....	32
Fig. 5a. Mismo que la figura 2 pero para el gradiente de la temperatura potencial equivalente, entre los 500 y los 1000 mb. Las unidades son en $^{\circ}\text{C}$ .....	33
Fig. 5b. Promedio estacional de la humedad relativa definido por la ecuación $(\text{HR}-40)/30$ . El resultado es adimensional.....	33
Fig. 6a. Potencial de génesis mensual para el mes de Mayo.....	37
Fig. 6b. Potencial dinámico mensual para Mayo.....	37

Fig. 7. Potencial térmico mensual para Mayo.....	38
Fig. 8 a y b. Mismo que las figuras 6 a y b pero para Junio.....	39
Fig. 9 Mismo que la figura 7 pero para Junio.....	40
Fig. 10 a y b. Mismo que las figuras 6 a y b pero para Julio.....	41
Fig. 11 Mismo que en la figura 7 pero para Julio.....	42
Fig. 12 a y b. Mismo que la figura 6 a y b pero para Agosto.....	43
Fig. 13. Mismo que la figura 7 pero para Agosto.....	44
Fig. 14 a y b. Mismo que las figuras 6 a y b pero para Septiembre.....	45
Fig. 15. Mismo que la figura 7 pero para Septiembre.....	46
Fig. 16a. Potencial de génesis durante 4 días previos a la depresión tropical UNO y al huracán ANDRES.....	48
Fig. 16b. Mismo que el anterior pero con la depresión tropical CINCO y el huracán DOLORES.....	48
Fig. 17a. Promedio del potencial de génesis durante 4 días de un período inactivo.....	49
Fig. 17b. Mismo que la anterior pero para el potencial dinámico.....	49
Fig. 18a. Mismo que la figura 17a pero para la vorticidad relativa....	50
Fig. 18b. Mismo que la figura 17a pero para el gradiente del esfuerzo vertical del viento horizontal.....	50
Fig. 19a. Mismo que la figura 17a pero para el potencial térmico.....	51

Fig. 19b. Mismo que la figura 17a pero para la temperatura superficial del mar.....	51
Fig. 20a. Mismo que la figura 17a pero para la humedad relativa.....	52
Fig. 20b. Mismo que la figura 17a pero para el gradiente de la temperatura potencial equivalente.....	52
Fig. 21a. Potencial de génesis durante 4 días previos al huracán FEFA. El polígono sombreado indica la posición de la perturbación.....	53
Fig. 21b. Mismo que en la figura 21a para el potencial dinámico.....	53
Fig. 22a. Mismo que la figura 21a para la vorticidad relativa.....	54
Fig. 22b. Mismo que la figura 21a para el inverso del esfuerzo vertical del viento.....	54
Fig. 23a. Mismo que la figura 21a para el potencial térmico.....	55
Fig. 23b. Mismo que la figura 21a para la temperatura superficial del mar.....	55
Fig. 24a. Mismo que la figura 21a para la humedad relativa.....	56
Fig. 24b. Mismo que la figura 21a para el gradiente de la temperatura potencial equivalente.....	56
Fig. 25a. Resultados de PGE obtenidos por Gray, promediando los veranos de 20 años y con una maya de resolución de 5° x 5° (Reproducido de Gray, 1978).....	62
Fig. 25b. Gráfica del PGE. Reproducción de la Fig. 2a.....	62

## LISTA DE ACRONIMOS Y CARACTERES.

C	.....	Calor específico del agua de mar.
$L_c$	.....	Calor latente de condensación.
$C_p$	.....	Capacidad calorífica a presión constante.
$u, v$	.....	Componentes del vector de viento $\mathbf{x}$ .
R	.....	Constante universal de los gases.
$\rho$	.....	Densidad del agua de mar.
E	.....	Energía termal oceánica.
$S_z$ o S	.....	Esfuerzo vertical del viento horizontal.
$^{\circ}C$	.....	Grados Centígrados.
$^{\circ}K$	.....	Grados Kelvin.
HR	.....	Humedad relativa.
$\phi$	.....	Latitud.
M	.....	Masa molecular del aire.
ONU	.....	Organización de las Naciones Unidas.
f	.....	Parámetro de Coriolis.
PD	.....	Potencial dinámico.
PEG	.....	Potencial estacional de génesis.
PGC	.....	Potencial de génesis de ciclones.
PT	.....	Potencial térmico.
P	.....	Presión atmosférica.
PEMT	.....	Primer Experimento Mundial del Tiempo.
$q_s$	.....	Razón de mezcla de saturación del vapor de agua.
$\theta$	.....	Temperatura potencial.
$\theta_e$	.....	Temperatura potencial equivalente.
T	.....	Temperatura.
TSM o SST	.....	Temperatura superficial del mar.
$\mathbf{x}$	.....	Vector de viento.
$\Omega$	.....	Velocidad angular de la tierra.
$\xi$	.....	Vorticidad relativa.
ZITC	.....	Zona Inter Tropical de Convergencia.

**CAPITULO - I -**

**INTRODUCCION.**

## INTRODUCCION.-

En el sentido más general, el término **ciclón** se refiere a un área de baja presión alrededor de la cual, el viento está circulando en contra de las manecillas del reloj (Battan, 1961).

Por ciclón podemos entender a todas las perturbaciones tropicales, las cuales incluyen depresiones tropicales, tormentas tropicales, y huracanes. Las primeras con vientos máximos de 35 nudos ( $18 \text{ ms}^{-1}$ ); las segundas con vientos entre 35 y 65 nudos ( $18 \text{ a } 33 \text{ ms}^{-1}$ ), y los últimos con vientos superiores a 65 nudos ( $> 33 \text{ ms}^{-1}$ ) (Kurihara y Tuleya, 1981).

La vida media de un ciclón varía de entre 1 día para depresiones tropicales hasta una semana para huracanes. Las etapas de formación puede decirse que son básicamente tres: primero un crecimiento en fuerza, después un crecimiento en tamaño y finalmente un decaimiento, que puede producirse al tocar tierra o al pasar a aguas más frías (Nieuwolt, 1977).

Se forman aproximadamente 80 ciclones tropicales al año en el mundo con vientos máximos sostenidos de  $20\text{-}25 \text{ ms}^{-1}$ ; entre la mitad y las dos terceras partes de ellos alcanzan fuerza de huracán con vientos máximos sostenidos mayores de  $33 \text{ ms}^{-1}$ . Las temporadas de formación de ciclones van de Mayo a Noviembre en el hemisferio Norte, y de Octubre a Mayo en el hemisferio Sur (Gray, 1978).

Se ha observado que las dos terceras partes de éstos fenómenos se dan en el hemisferio Norte, así como dos terceras partes se dan en el hemisferio oriental (Gray, 1978).

En la zona del Ecuador hay una banda de  $-5^{\circ}$  a  $+5^{\circ}$  de latitud en donde no se ha registrado formación, mientras que en las bandas de los  $5^{\circ}$  a los  $15^{\circ}$  de latitud existen las condiciones más favorables.

En el hemisferio Sur los ciclones llegan a formarse hasta los  $22^{\circ}$  de latitud, y en el Norte hasta los  $35^{\circ}$ - $36^{\circ}$ . Existen algunos ciclones que llegan a formarse en regiones extratropicales, aunque éstos constituyen el 3-5 % (Gray, 1978).

La región del Océano Pacífico Nororiental Tropical, contiene una importante zona generadora de ciclones tropicales caracterizada por su alta densidad de formación, esta zona se encuentra al Suroeste de México (Reyes et al, 1985a).

El Pacífico Este constituye una región ideal para el estudio de algunas de las propiedades termodinámicas de los ciclones, pues dado que se trasladan con dirección WNW se asegura que su debilitamiento no se deba por efecto de alcanzar la costa, sino únicamente debido a cambios ambientales (Sadler, 1964).

Los ciclones son los responsables de los máximos de precipitación durante el verano tardío u otoño en muchas partes de los trópicos. Estas perturbaciones generan lluvias torrenciales en un radio de 100 km desde su centro, con un promedio de 863 mm por día. En Filipinas se han

llegado a registrar hasta 2 000 mm/día durante el paso de un ciclón (Nieuwolt, 1977).

El presente trabajo es un intento por conocer más a fondo las condiciones en que se generan las perturbaciones tropicales del Pacífico Mexicano. Los resultados se presentan en el capítulo III como mapas de isolíneas, divididos en tres partes: la primera es un análisis estacional, la segunda un análisis mes por mes y la tercera, el análisis particular de algunas perturbaciones representativas. En el capítulo IV se discuten los resultados y finalmente en el capítulo V se presentan las conclusiones y recomendaciones a futuros trabajos.

## **ANTECEDENTES.-**

Los ciclones tropicales han sido objeto de numerosos estudios, tanto de su génesis y patrones de formación, como de los mecanismos que rigen sus trayectorias, pues son de los fenómenos más impresionantes de la naturaleza y están asociados con efectos destructivos (además de intensas lluvias que en muchos casos resultan beneficiosas).

Desde el advenimiento de los satélites meteorológicos en 1965, el Océano Pacífico Nororiental Tropical, correspondiente a las costas de México, ha sido reconocido como una región prolífica en generación de ciclones tropicales (Zender y Gall, 1991).

Esta zona ha sido observada por poco tiempo relativo a otras zonas en el mundo. Se mencionan 43 años de observación para el Pacífico Este, 86 para el Atlántico y Caribe, 93 años para las regiones Este de la India y Este de la costa de Africa, 63 para el NW de Australia y 43 para el NE de Australia así como para el Pacífico Noroccidental (Gray, 1968).

Las observaciones en el Pacífico Noreste dependieron básicamente de los barcos que pasaban, las cuales resultan incompletas pues están restringidas a las rutas comerciales. Muchas de las perturbaciones ni siquiera fueron detectadas antes de la aparición de satélites meteorológicos. Se calcula que de cada 5 perturbaciones sólo una es registrada por los barcos (Sadler, 1964).

La información de las capas superiores de la atmósfera sobre los océanos tropicales fue muy pobre hasta mediados de los años cincuentas, a partir de esta fecha se implementaron nuevas estaciones para niveles superiores del aire así como la introducción de satélites. Esto dió lugar a un significativo mejoramiento en la adquisición de datos, de forma que actualmente es posible obtener una visión más completa de las perturbaciones tropicales y de la generación de tormentas (Gray, 1968).

Aún así, existe poca concordancia sobre las condiciones ambientales y los mecanismos físicos que dan lugar a perturbaciones tropicales. Científicos de todo el mundo discuten sus puntos de vista sin llegar a conceptos unificados. Esta falta de homogenidad en los criterios se explica principalmente por la evidencia de observaciones deficientes, de las cuales fueron establecidas las conclusiones empíricas básicas (Gray, 1968).

De entre los trabajos realizados a la fecha se pueden citar los de Emanuel y Rotunno (1987), Tuleya (1988), y Kurihara y Tuleya (1981) entre otros, en el campo de modelos de ciclogénesis; Newman (1979), presenta una guía completa de modelos de predicción de trayectorias. Y en lo que respecta a estudios observacionales podemos mencionar los trabajos de Charney y Eliassen (1963), Sadler (1964), Gray (1968 y 1978), Zender y Gall (1991), por mencionar los más importantes.

El tema principal de este trabajo se refiere a las condiciones en que es factible la formación de una perturbación tropical, más explícitamente, a los parámetros que intervienen en su desenvolvimiento.

A este respecto, los estudios realizados sufren del mismo problema que señala Gray dos párrafos atrás, aunque sí se concuerda en algunos aspectos básicos. Por dar ejemplos mencionemos el trabajo de Nieuwolt (1977), en el que establece 5 condiciones como sigue:

- a) El viento que se eleva en el núcleo de la perturbación debe ser más caliente que el circundante hasta alturas de 10-12 km, además debe ser húmedo pues el calor latente de condensación es la fuerza generadora.
- b) Fuerza de Coriolis.
- c) La corriente básica de viento donde el ciclón está inmerso debe tener un esfuerzo vertical débil.
- d) Debe haber un pequeño centro de baja presión que active el sistema. Esta condición puede provenir de pequeños vórtices cercanos a la Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZITC) o de ondas del Este.
- e) Combinado con la baja presión en superficie debe haber alta presión entre los 9000 y los 15000 metros de altura, para asegurar el flujo vertical del viento en el centro.

Otro de los estudios es el de Palmén y Newton (1969) en donde dice que son 3 las condiciones necesarias, aunque no suficientes, para la formación de un ciclón:

- a) Areas grandes del océano con temperaturas suficientemente altas como para que el aire que se eleve de las capas inferiores (con temperatura casi igual a la del agua), y expandiéndose pseudoadiabáticamente, permanezca considerablemente más caliente que la atmósfera que lo rodea hasta una altura de al menos 12 km.
- b) Parámetro de Coriolis mayor que un cierto mínimo, lo cual excluye un cinturón de  $\pm 5^{\circ}$ - $8^{\circ}$  a ambos lados del Ecuador.
- c) Débil esfuerzo vertical del viento.

Gray (1978) sugiere que son 6 los parámetros más importantes que intervienen en la formación de los fenómenos, éstos son: vorticidad relativa de bajo nivel, efecto de Coriolis, esfuerzo vertical del viento horizontal, la energía termal oceánica, el gradiente de la temperatura potencial equivalente y la humedad relativa de la tropósfera media.

Es una hipótesis que la formación de los ciclones tropicales es más frecuente en regiones donde el producto de estos 6 parámetros tiene valores grandes (Gray, 1978). Otros autores usan parte de estos parámetros como índice de la génesis de ciclones, así, Nicholls (1985) usa la presión atmosférica como un buen índice en la zona de Australia; Palmén (1948, 1957) discute la importancia del gradiente de la temperatura potencial equivalente o flotabilidad termal en la formación de sistemas Cúmulus; y algunos otros mencionan la temperatura superficial del mar y la energía termal del océano (Gray, 1978).

Gray, partiendo de los 6 parámetros básicos ya mencionados, implementa un método muy simple en donde por medio del producto de ellos obtiene un valor que llama de "POTENCIAL DE GENESIS". En el presente trabajo se aplica el método después de hacerle ligeras modificaciones, debido a que no se cuenta con todos los parámetros y niveles de la atmósfera que usa Gray.

## OBJETIVOS.-

En este trabajo se analizan los parámetros más importantes que intervienen en la Génesis de Ciclones. Los objetivos se enumeran a continuación:

- i) Estudiar la génesis de ciclones tropicales en el Océano Pacífico Este durante el verano de 1979.
- ii) Aplicar el método modificado de Gray y estimar su utilidad.
- iii) Estimar la factibilidad de usar el método modificado de Gray para pronóstico espacial y/o temporal de ciclones tropicales.

**CAPITULO -II-**

**MATERIALES Y METODOS.**

## **MATERIALES Y METODOS.-**

### DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

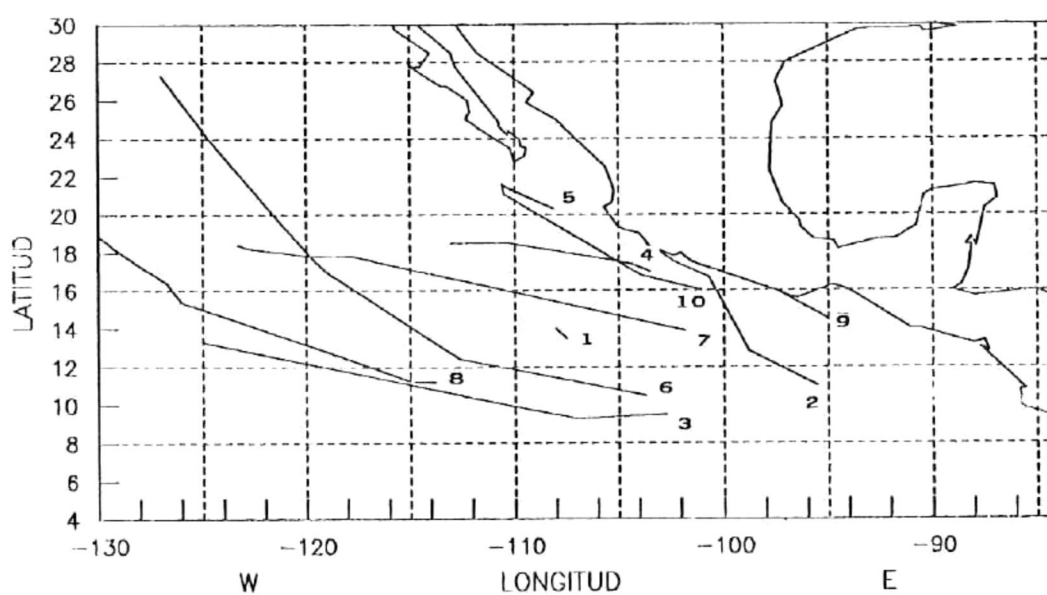
El área de estudio se encuentra en la región tropical de América y está formada por un sistema tridimensional de los 4° N hasta los 30° N de latitud y de los 84° W a los 134° W de longitud (Fig. 1). En la vertical comprende los niveles de 1000, 850, 700, 500, 400 y 300 mb. La región incluye casi la totalidad de México, parte de América Central, el Golfo de México y una considerable extensión del Océano Pacífico Oriental.

Aproximadamente a los 30° N se encuentra el cinturón subtropical de alta presión, el cual es semipermanente, con frecuentes cambios en tamaño, intensidad y localización (Nieuwolt, 1977). La mayoría de los grandes desiertos del mundo se localizan en esta región (Miller y Anthes, 1980), pues los vientos horizontales son generalmente débiles, los movimientos verticales son descendentes y la precipitación es considerablemente escasa (Nieuwolt, 1977).

Existen grandes diferencias en la circulación atmosférica que afecta al área de estudio; durante el invierno todo el Oeste y centro de Estados Unidos, así como el Norte de México, son afectados por fenómenos atmosféricos cuyo origen es el Pacífico del Norte (Reyes et al, 1985b).

Reyes y Cadet (1988) describen una circulación monzónica de bajo nivel que afecta principalmente al Oeste de México y que está asociada a la precipitación de la región. Este Monzón Americano es de menor

## AREA DE ESTUDIO Y TRAYECTORIA DE CICLONES.



LAS TRAYECTORIAS CORRESPONDEN A LOS CICLONES QUE SE GENERARON ENTRE MAYO Y SEPTIEMBRE DE 1979.

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| 1.- UNO (May. 31)    | 6.- DOLORES (Jul. 17)   |
| 2.- ANDRES (May. 31) | 7.- ENRIQUE (Ags. 17)   |
| 3.- BLANCA (Jun. 22) | 8.- FEFA (Ags. 21)      |
| 4.- CARLOS (Jul. 14) | 9.- NUEVE (Sep. 4)      |
| 5.- CINCO (Jul. 16)  | 10.- GUILLERMO (Sep. 8) |

**Fig. 1.** Area de estudio y trayectoria de los ciclones que se presentaron durante el verano de 1979. Se toman como negativos los valores al Oeste del meridiano de Greenwich. La posición de los números indica el lugar de inicio de las perturbaciones.

magnitud que el sistema monzónico de Asia. En el verano el fuerte calentamiento de la superficie que afecta al Oeste de México y Suroeste de Estados Unidos, genera una zona de baja presión en la cual los vientos del Pacífico y Atlántico convergen. Al mismo tiempo, la circulación en el Pacífico del Sur se intensifica, ocasionando que los vientos superficiales crucen el Ecuador, transportando calor latente de condensación (Reyes y Cadet, 1988).

Las condiciones meteorológicas de la zona de estudio se ven fuertemente influenciadas por el sistema de vientos Alisios del Noreste y Sureste, que dan como resultado la Zona Inter-Tropical de Convergencia (ZITC). Esta región de confluencia de vientos se encuentra localizada oscilando entre los 5° y los 10° Norte. En esta zona hay movimientos ascendentes de viento asociados a sistemas de baja presión, por otro lado, en los niveles superiores la circulación produce divergencias, dando así la circulación Hadley (Rivera, 1985).

La región tropical de estudio es lugar de origen de gran cantidad de fenómenos meteorológicos, tales como: depresiones, tormentas tropicales y huracanes y está considerada como la segunda en importancia en cuanto al número anual de perturbaciones, solo superada por la zona de las Filipinas en el Pacífico Noroeste (García y Reyes, 1985).

En el aspecto oceanográfico, tenemos que las corrientes más importantes del Océano Pacífico en esta región son: la Corriente de California, que viaja de Norte a Sur a lo largo de la costa de América

del Norte hasta los 20°-25°, y que dada su baja temperatura es de primordial importancia para limitar el paso de las perturbaciones tropicales por arriba de estas latitudes (Reyes et al, 1980a); la Corriente Norecuatorial que va de Este a Oeste y la Contracorriente Norecuatorial, que fluye hacia el Este entre las corrientes Sur y Norecuatorial (Rivera, 1985).

Las características orográficas más sobresalientes son: la Sierra Madre Occidental, con alturas que sobrepasan los 2 000 m. de altura y que se extiende hacia Centro América, con pequeñas discontinuidades en el Istmo de Tehuantepec y entre Nicaragua y Costa Rica; y la Sierra Madre Oriental, que alcanza alturas que varían entre 200 y 1000 m. (Nieuwolt, 1977).

#### DATOS.-

Durante el año de 1979 se realizó lo que se conoce como "EL PRIMER EXPERIMENTO MUNDIAL DEL TIEMPO" (PEMT), llevado a cabo por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través del Consejo Internacional de Uniones Científicas y de la Organización Meteorológica Mundial. Este experimento se realizó con el fin de obtener registros de datos con una cobertura casi total de la atmósfera y de la superficie oceánica.

Las observaciones se realizaron por medio de estaciones de superficie, barcos y aviones comerciales, satélites de órbita polar y geosincrónicos, satélites experimentales, globos de nivel constante,

boyas, radiosondéos, etc. (Reyes et al, 1980b). La precisión con que fueron tomados los datos varía de acuerdo con la sensibilidad de los instrumentos, por ejemplo para las componentes de viento la fluctuación varía entre  $\pm 1.0$  y  $3.0 \text{ ms}^{-1}$  (Bengtsson et al, 1982).

Los datos que se usan en este trabajo corresponden a los del Nivel III-b del PEMT, y consisten en el total de datos dentro de una malla igualmente distribuida en tiempo y en espacio. La resolución original de la malla es de  $1.875^\circ$  latitud/longitud, para niveles en la atmósfera desde los 1000 mb hasta 10 mb, aunque los datos que se van a usar ya están interpolados y tienen una resolución de  $2^\circ$ . Los períodos entre mediciones son de 12 hrs. con excepción de la temperatura superficial del mar, en que están para cada 10 días, y abarcan desde el 1º de Mayo hasta el 22 de Septiembre de 1979. Los parámetros que cubre son: altura geopotencial, componentes de viento, temperatura del aire, temperatura superficial del mar y humedad relativa (FGGE Data Catalogue, 1982).

Para este trabajo se seleccionan los datos que cubren de los  $4^\circ \text{N}$  a los  $30^\circ \text{N}$ , y de  $84^\circ \text{W}$  a  $130^\circ \text{W}$ . En la vertical, los niveles de 1000, 850, 700, 500, 400 y 300 mb. correspondientes a: viento (u,v), humedad relativa (HR) y temperatura del aire. Además los de temperatura superficial del mar (TSM).

Por otro lado, se usa el historial de los ciclones aparecidos en ese año y descritos por Gunther (1980), los cuales fueron trece en total. De ellos se utilizan únicamente los 10 primeros casos, que son los que caen dentro del rango temporal de los datos del PEMT.

## CONCEPTOS TEORICOS.-

Una parte importante de este trabajo es la aplicación del método implementado por Gray en 1978. Debido a que no se cuenta con los mismos niveles de presión y a la carencia de datos tales como la temperatura de la columna de agua en el océano, se hicieron algunas modificaciones. A continuación se presenta el método de Gray, mencionando al final las diferencias entre el seguido en esta tesis y el original.

Como ya se mencionó anteriormente, la frecuencia de ciclones puede ser directamente relacionada con la combinación de los 6 parámetros principales.

- 1) Vorticidad relativa de bajo nivel.....( $\xi$ ).
- 2) Parámetro de Coriolis.....( $f$ ).
- 3) Inverso del esfuerzo vertical del viento horizontal.....( $1/S_z$ ).
- 4) Energía termal oceánica.....( $E$ ).
- 5) Gradiente de la temperatura potencial equivalente.....( $\partial\theta_e/\partial P$ ).
- 6) Humedad relativa de la tropósfera media.....(HR).

Con estos parámetros podemos obtener el Potencial Dinámico así como el Potencial Térmico de la forma que sigue (Gray, 1978)

$$\begin{aligned} \text{Potencial Dinámico} &= (f)(\xi+5)(1/(S+3)) \\ \text{Potencial Térmico} &= (E)(\partial\theta_e/\partial P+5)(HR) \end{aligned}$$

Conviene notar que para el caso anterior, se usan valores estacionales, ésto es, son valores promediados durante la estación

El utilizar los parámetros estacionales ofrece una desventaja básica, y es que no son tan precisos como pudieran serlo los valores diarios. Para cubrir las posibles desviaciones diarias, Gray agrega unidades arbitrarias a la vorticidad relativa, el esfuerzo vertical del viento horizontal y el gradiente de la temperatura potencial equivalente, como puede observarse al final de la página anterior, y la humedad relativa se toma como:

$$HR = (HR-40)/30$$

Donde es 0.0 para  $HR \leq 40\%$  y 1.0 para  $HR \geq 70\%$ .

Una vez obtenidos los potenciales térmico y dinámico, podemos encontrar el Potencial Estacional de Génesis (PEG) (Gray, 1978).

$$PEG = (P. \text{Térmico}) \times (P. \text{Dinámico}) \quad (1)$$

El Potencial Dinámico tiene unidades de:

$$10^{-11} \text{ s}^{-2} ((\text{m s}^{-1}) / (750 \text{ mb}))^{-1}$$

Y el Térmico de:

$$10^5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}(500 \text{ mb})^{-1}$$

Si sustituimos en la ecuación (1), queda entonces que las unidades del PEG son:

$$1.5 \times 10^{-8} \text{ cal } ^\circ\text{K s}^{-1} \text{ cm}^{-3}$$

Al expresarlo en estas unidades, el PEG da el valor adecuado para especificar la frecuencia de génesis estacional de ciclones (Gray, 1978).

#### VORTICIDAD RELATIVA DE BAJO NIVEL.

La vorticidad como cantidad vectorial está definida como (Holton, 1979):

$$\xi = \nabla \times \mathbf{V}$$

Dado que en fluidos como la atmósfera o el océano, en latitudes medias la componente vertical de  $\xi$  es mucho mayor que la horizontal, entonces se puede considerar

$$\xi = (\nabla \times \mathbf{V}) = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \partial/\partial x & \partial/\partial y & \partial/\partial z \\ u & v & w \end{vmatrix} = \mathbf{k} \left( \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

La componente vertical de la vorticidad relativa,  $\xi$ , es así definida como:

$$\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

Las unidades que corresponden a la vorticidad relativa son del orden de:

$$10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Se ha observado que los ciclones sólo se forman en regiones con valores positivos (convergencia) de la vorticidad relativa de bajo nivel (Gray, 1978). El giro ascendente que se produce es proporcional al campo de vorticidad existente; entre mayor el valor de la vorticidad, mayor el potencial de génesis.

Resulta interesante calcular la vorticidad relativa también para las capas superiores, ya que si se tiene convergencia en la parte inferior y divergencia en la superior, entonces esperaríamos un aumento en la convección de cúmulus.\*

---

\* Reyes Coca, comunicación personal.  
Director del Grupo de Meteorología, CICESE.

## PARAMETRO DE CORIOLIS.

El parámetro de Coriolis está representado por (Holton, 1979):

$$f = 2 \Omega \text{ sen } \phi$$

Donde:

$\Omega$  = Velocidad angular de la tierra. =  $7.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

$\phi$  = Latitud.

No se ha registrado formación de ciclones en el cinturón de  $0^\circ$  a  $5^\circ$  de latitud, mientras que el número aumenta casi linealmente hasta los  $15^\circ$ , donde comienzan a decrecer (Gray, 1978).

## ESFUERZO VERTICAL DEL VIENTO.

Este parámetro está definido por (Holton, 1979):

$$S = \frac{\partial |V|}{\partial \ln P}$$

Es el cambio de magnitud de los vientos horizontales con respecto a la altura. Por estar trabajando con alturas expresadas en milibares, se tiene:

$$S = \frac{\partial |V|}{\partial \ln P} \quad \text{Donde:} \quad P_2/P_1 = 4.75 \quad *$$

---

\* (Gray usa la presión directamente en mb y entre 950 y 200 mb).

Las unidades del esfuerzo vertical del viento horizontal son en:

$$(\text{ms}^{-1})/(1.5581)$$

Los ciclones se forman en condiciones de mínimo esfuerzo vertical del viento entre la baja y la alta tropósfera, ésto es porque al no existir una buena "ventilación" del sistema, entonces la energía y humedad relativa aumentan, lo cual lleva a una disminución de la presión en superficie y finalmente a la formación del ciclón (Gray, 1978). Por el contrario, si aumenta el esfuerzo vertical, entonces habrá mayor turbulencia y por lo tanto una mayor disipación de los cúmulus así como de la energía disponible para alimentar el ciclón.

#### ENERGIA TERMAL OCEANICA.

La energía termal oceánica, E (Energía interna), se calcula de la integral (Gray, 1978):

$$E = \int \rho C (T - 26^\circ) dz$$

Donde:

$\rho$  = Densidad del agua de mar.

C = Calor específico del agua de mar.

T = Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ).

La fuente principal de energía para los ciclones es la energía que proviene del océano. Al tener una TSM  $> 26^{\circ}\text{C}$  se propicia el intercambio de calor entre el océano y la atmósfera. La influencia del océano, según han indicado Leipper y Perloth (1967, 1969), puede extenderse hasta los 60.0 m o hasta la profundidad donde  $T = 26^{\circ}\text{C}$  (Gray, 1978).

Las unidades que se manejan para la energía interna del mar son del orden de:  $10^5 \text{ cal cm}^{-2}$ .

#### GRADIENTE VERTICAL DE LA TEMPERATURA POTENCIAL EQUIVALENTE.

El gradiente de la temperatura potencial equivalente,  $\theta_e$ , está dado por:

$$\partial\theta_e/\partial z$$

Donde:  $z = \text{Altura.}$

La temperatura potencial equivalente está representada en la ecuación siguiente (Holton, 1979):

$$\theta_e = \theta \exp(L_c q_s / C_p T)$$

$\theta$  = Temperatura potencial.

$L_c$  = Calor latente de condensación.

$q_s$  = Razón de mezcla de saturación de vapor de agua.

$C_p$  = Capacidad calorífica a presión constante.

$T$  = Temperatura.

$\theta$  está definida a su vez por:

$$\theta = T(P_o/P)^k$$

Donde:

$P_o$  = Presión en superficie.

$P$  = Presión a un nivel dado.

$k = R^*/C_p$  ,  $R^* = R/M$  .°.  $k = R/MC_p$

$R$  = Constante universal de los gases.

$M$  = Masa molecular del aire.

Una vez obtenida  $\theta_e$  en niveles desde la superficie hasta los 500 mb, se procede como en el caso del esfuerzo vertical del viento.

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial \ln P} = \frac{\theta_{e2} - \theta_{e1}}{\ln(P_2/P_1)} \quad \text{Para } P_2/P_1 = 2.0$$

Se ha observado que los ciclones no llegan a formarse a menos que exista un gradiente de  $\theta_e$  de por lo menos  $10^\circ\text{K}$  (Gray, 1978). Este gradiente actúa como conexión entre la baja y la alta tropósfera, permitiendo el transporte continuo de calor desde la superficie a capas superiores (Reyes, 1985).

Las unidades del gradiente de temperatura potencial equivalente están dadas en:

$$^\circ\text{K}(\ln 2.0)^{-1}$$

O usando solo la presión:

$$^\circ\text{K}(500 \text{ mb})^{-1}$$

## HUMEDAD RELATIVA.

Los valores de la humedad relativa están reportados en los archivos de datos de PEMT del nivel III-b.

Cuando hay mucha humedad relativa en la tropósfera media ( $HR > 70\%$ ), se favorece la baja presión en superficie, lo cual produce a su vez movimientos ascendentes y convección (Reyes, 1985).

Para el cálculo del potencial de génesis en este trabajo se hicieron algunas adaptaciones simples, los cambios se sumarizan a continuación:

- 1) No se agregan constantes a ninguno de los parámetros que modifica Gray, con la única excepción del esfuerzo vertical del viento, al que se le agregan 0.5 unidades para evitar que los valores iguales a cero, al obtener el inverso, se disparen al infinito.
- 2) La vorticidad relativa se calcula para el nivel de 850 mb en lugar de hacerlo para 950 mb.
- 3) El esfuerzo vertical del viento se calcula entre 300 y 850 mb, dando una diferencia de 550 mb; Gray usa 750 mb de diferencia.
- 4) La energía termal del océano no se calcula por la simple razón de que no se cuenta con datos de la columna de agua. En su lugar se utiliza la temperatura superficial del mar, superior a  $24^{\circ}\text{C}$ ; las

temperaturas menores de ese valor se toman como cero. Para el cálculo de los potenciales se trabaja en °K.

- 5) La temperatura potencial equivalente y la humedad relativa se calculan de acuerdo a los lineamientos de Gray.
- 6) Las diferencias de altura en el cálculo del esfuerzo vertical del viento y en el gradiente de la temperatura potencial están expresadas en forma de logaritmo natural pero Gray las calcula directamente de la diferencia de presiones y usando mb.

Con base en las anteriores consideraciones, tenemos que el potencial dinámico tiene ahora unidades de:

$$10^{-11} \text{ s}^{-2} (\text{ms}^{-1} / \ln 2.8333)^{-1}$$

Y el térmico de:

$$10^4 \text{ } ^\circ\text{K}^2 (\ln 2.0)^{-1}$$

Dando así que el nuevo potencial de génesis tiene unidades de:

$$1.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}^2 (\text{ms})^{-1}$$

**CAPITULO - III -**

**RESULTADOS .**

## RESULTADOS.-

El año de 1979 fue un año particular en relación con la generación de ciclones en el Pacífico Mexicano, el número fué por debajo del promedio de 15 (Reyes y Mejía, 1991); por lo mismo no podemos generalizar los resultados sino hasta haber calculado para otros años y tener puntos de comparación que los confirmen o invaliden.

Las gráficas que se presentan son la parte medular de los resultados y comparten características comunes, las cuales se mencionan en esta parte para evitar recargarlas, éstas son:

- a) Los valores a la izquierda del meridiano de Greenwich (Oeste), se toman como negativos.
- b) Los valores de latitud y longitud están en grados.
- c) Las líneas perpendiculares que aparecen en algunas isolíneas indican los centros de menor valor, en muchos casos se trata de valores negativos. Las zonas punteadas indican valores máximos.
- d) Las unidades de cada parámetro se mencionan en el pie de figura de las 8 primeras gráficas (valores estacionales).
- e) En el caso de las gráficas de ciclones particulares aparece un polígono sombreado indicando el recorrido real de la perturbación durante los días promediados.

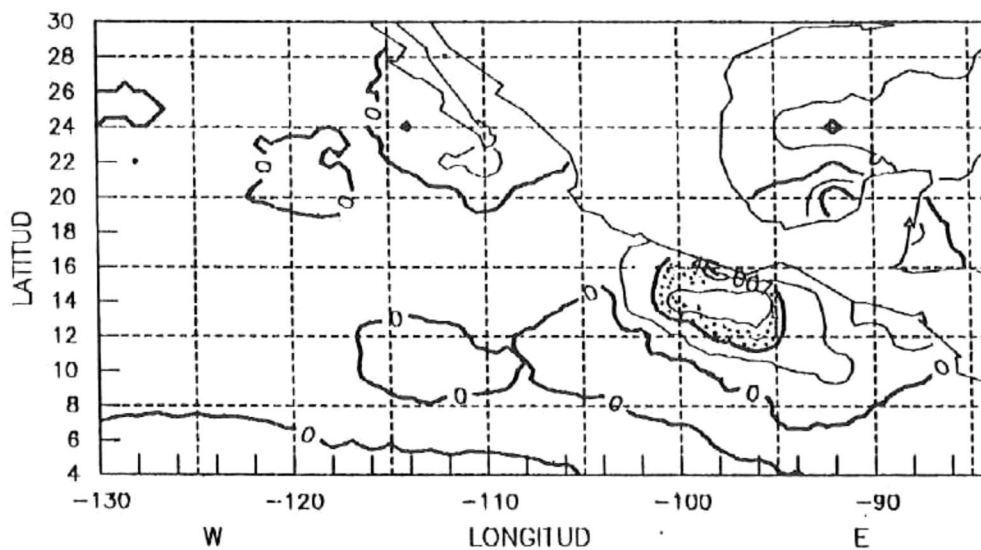
Por mayor claridad los resultados se presentan en tres partes: la parte "A" es de promedios estacionales, la parte "B" corresponde a promedios mensuales y la parte "C" a casos particulares de ciclones así como a un período de inactividad.

#### **Parte A. PROMEDIOS ESTACIONALES.**

Las siguientes 4 figuras son los resultados de los promedios estacionales de los parámetros, ésto es, promedios desde el 1º de Mayo hasta el 22 de Septiembre de 1979.

Se puede observar que la zona de potencial de génesis con los valores altos (mayores de  $4E-007$ ) está restringida a un área de aproximadamente  $4^\circ \times 6^\circ$  (450 x 650 km), localizada al Sur de los estados de Guerrero y Oaxaca (Fig. 2a). Se puede observar así mismo que la zona de génesis del Pacífico aparece como la más intensa dentro del área de estudio, y que la zona del Golfo de México y Caribe resulta comparativamente débil.

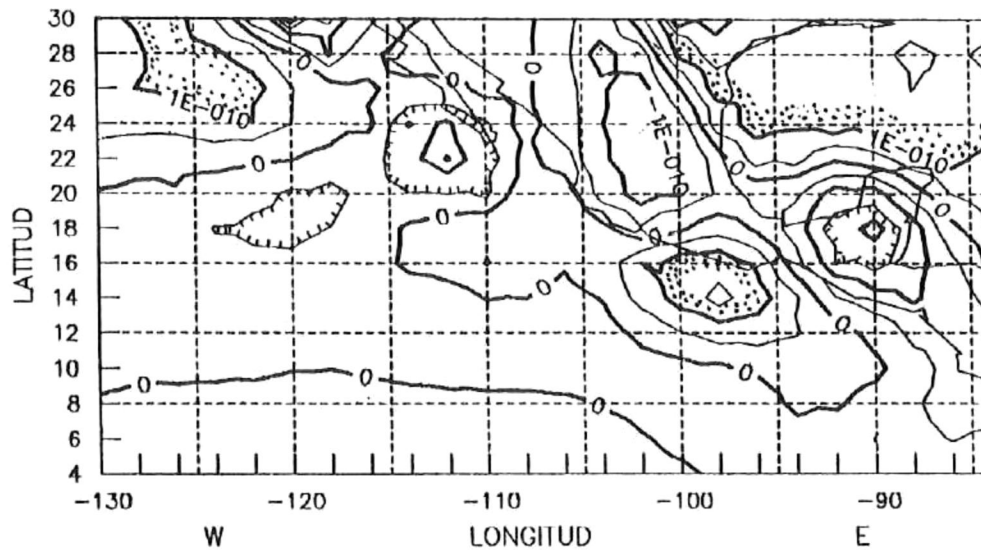
## PROMEDIO ESTACIONAL DE PGC.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.0E-007$ 

## PROMEDIO ESTACIONAL DE POTENCIAL DINAMICO.



b)

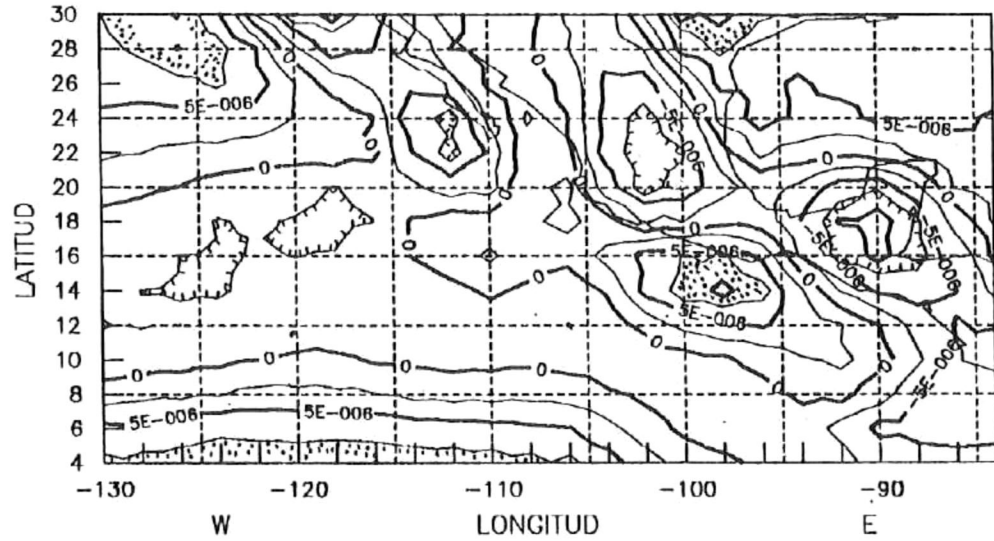
CONTORNOS A INTERVALOS DE  $0.5E-010$ 

Fig. 2

a). Promedio del potencial de génesis en el verano de 1979. Los contornos con líneas perpendiculares indican zonas de mínimos, Las zonas punteadas indican máximos. Las unidades son de  $^{\circ}K^2(ms)^{-1}$ .

b). Promedio del potencial dinámico para el mismo intervalo de tiempo con unidades de  $(ms)^{-1}$ .

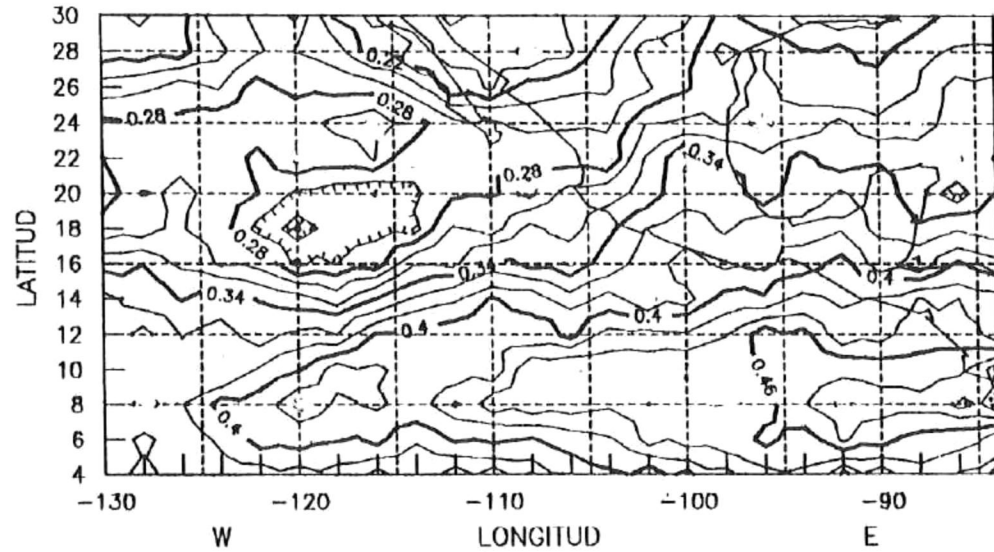
PROMEDIO ESTACIONAL DE VORTICIDAD A 850mb.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.5E-006$

PROMEDIO ESTACIONAL DE  $1/(S+0.5)$ .



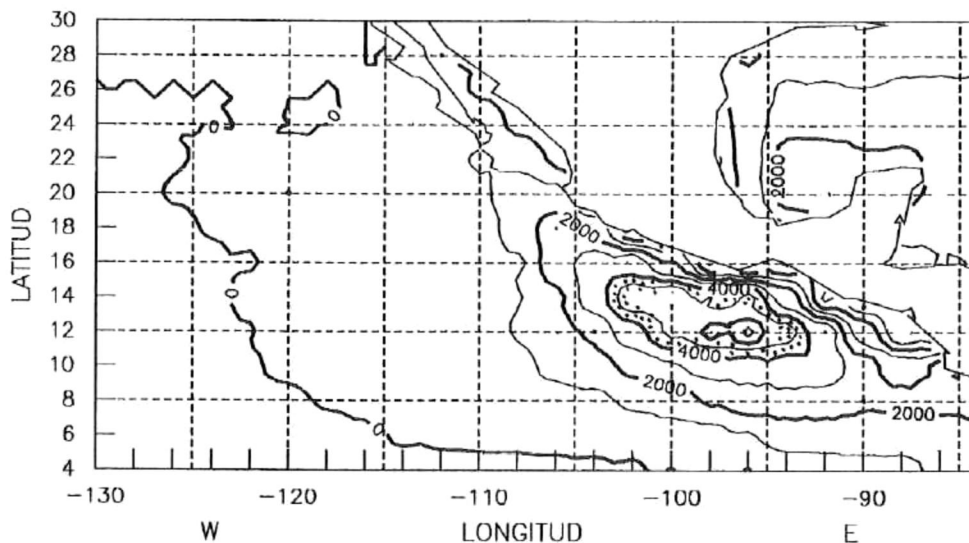
b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 0.02

Fig. 3

- a). Mismo que en la figura 2 pero para la vorticidad relativa en el nivel de 850 mb. Las unidades son de  $s^{-1}$ .
- b). Mismo que en la figura 2 pero para el inverso del esfuerzo vertical del viento horizontal entre 300 y 850 mb. Las unidades son  $sm^{-1}$ .

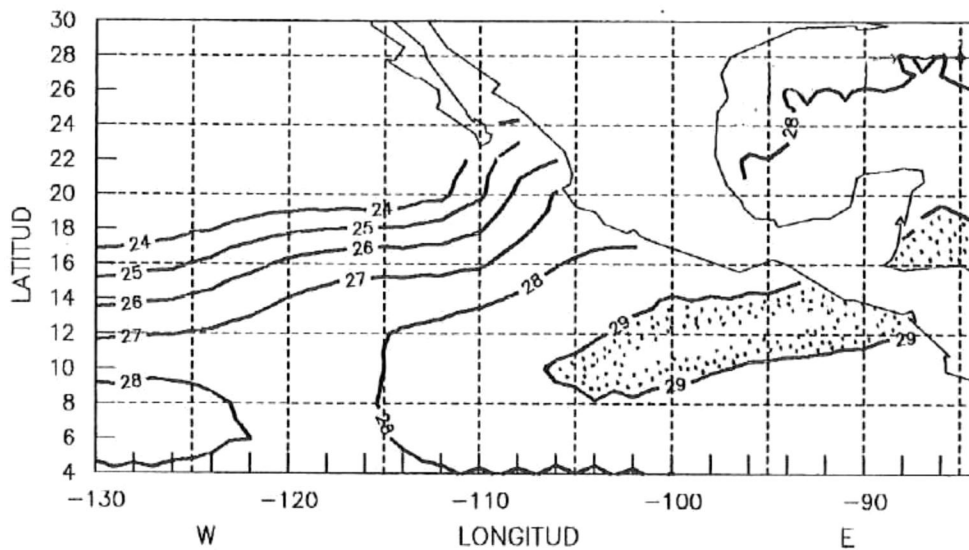
PROMEDIO ESTACIONAL DE POTENCIAL TERMICO.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 1000

PROMEDIO ESTACIONAL DE SST.



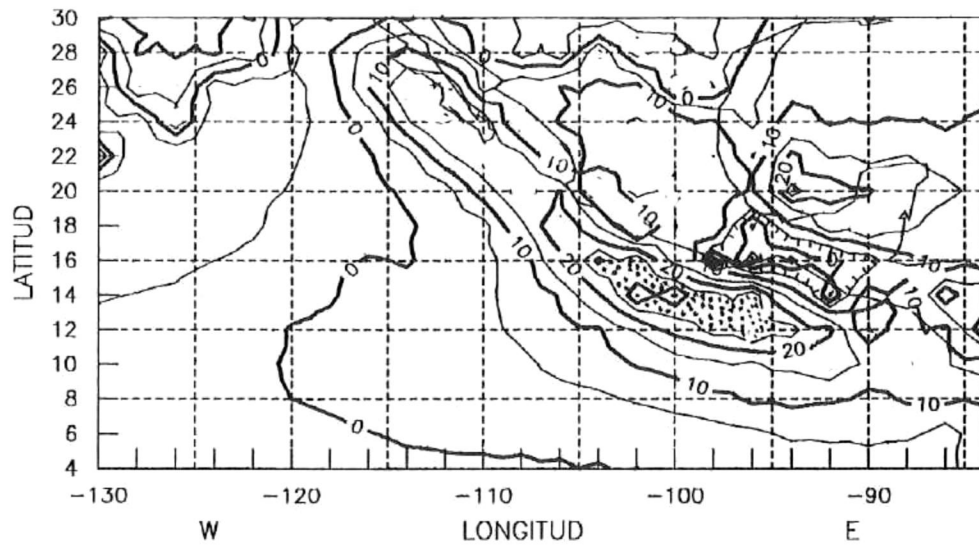
b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 1.0

Fig. 4

- a). Mismo que la figura 2 pero para el potencial térmico, las unidades son  $^{\circ}K^2$ .
- b). Mismo que la figura 2 pero para la temperatura superficial del mar. Las unidades son en  $^{\circ}C$ .

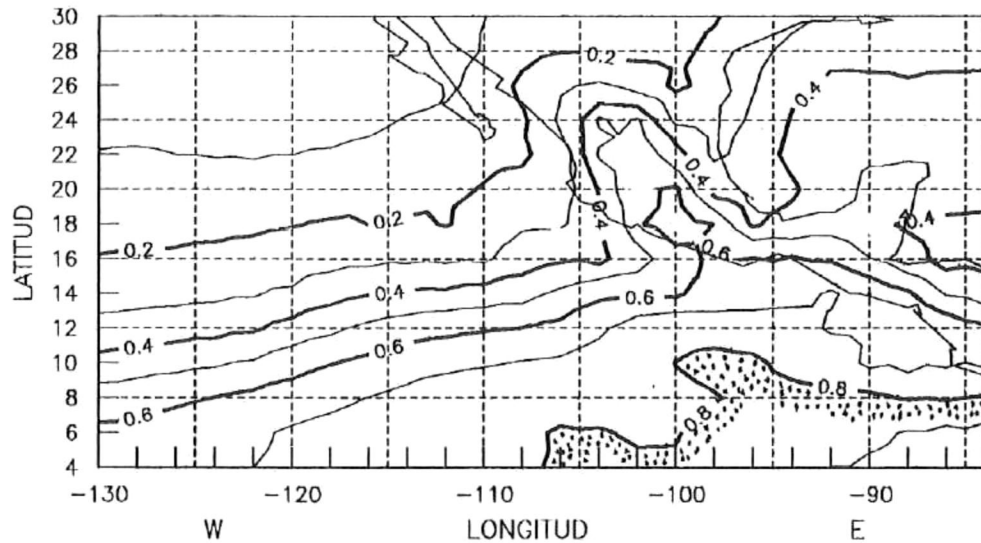
PROMEDIO ESTACIONAL DE TEM. POT. EQUIV.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 5.0

PROMEDIO ESTACIONAL DE HUMEDAD RELATIVA.



b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 0.1

**Fig. 5**

a). Mismo que la figura 2 pero para el gradiente de la temperatura potencial equivalente, entre los 500 y los 1000 mb. Las unidades son en °C.

b). Promedio estacional de la humedad relativa dado por  $(HR-40)/30$ . El resultado que genera es adimensional.

## Parte B. PROMEDIOS MENSUALES.

Los resultados del análisis mensual se presentan de la figura 6 a la 15. Los promedios se hicieron desde el día 1º del mes hasta el día último, salvo en el mes de Septiembre, en que los datos originales cubren sólo hasta el día 22.

Se presentan gráficas solamente de los potenciales de génesis, dinámico y térmico, ya que el interés primordial de esta parte es determinar el comportamiento del primero y la relación de los últimos para con éste, mes con mes.

Como información adicional se presentan los ciclones que se generaron en cada uno de los meses.

Las fechas que aparecen entre paréntesis corresponden al día en que la perturbación fué declarada como depresión tropical. Una descripción detallada de los ciclones se puede encontrar en el trabajo de Gunther (1980), referenciado en la bibliografía

Durante el mes de Mayo (Figs. 6 y 7) se presentaron la depresión tropical UNO y el huracán ANDRES, ambos hacia el último día del mes (Mayo 31).

En Junio (Figs. 8 y 9) se dió la tormenta tropical BLANCA (Junio 22).

Para Julio (Figs. 10 y 11) aparecen la tormenta tropical CARLOS (Julio 14), la depresión tropical CINCO (Julio 16) y el huracán DOLORES (Julio 17).

En Agosto (Figs. 12 y 13) se generaron dos de los 4 huracanes más intensos de la estación, ENRIQUE (Agosto 17) y FEFA (Agosto 21).

En Septiembre (Figs. 14 y 15) se generan la depresión tropical NUEVE (Septiembre 4) y el huracán GUILLERMO (Septiembre 8), éste último es notable por haber sido el huracán más débil del año.

**Mayo.**- El mes menos intenso en potencial de génesis, donde el máximo es sólo de  $6.87E-007$ . Aparentemente el peso de los potenciales dinámico y térmico se reparte por igual.

**Junio.**- Durante este mes se generó únicamente la tormenta tropical BLANCA, que cae dentro del contorno de  $2E-007$ . En este caso el potencial que resulta decisivo es el térmico, el cual presenta un pequeño pero intenso centro en la zona donde se generó la tormenta originalmente.

**Julio.**- En este mes se dieron tres ciclones, CARLOS, CINCO y DOLORES en ese orden. Aquí el potencial dinámico resulta ser más adecuado que el térmico para definir la o las zonas de generación. Este último, aunque engloba a las perturbaciones se encuentra desplazado hacia el Sur.

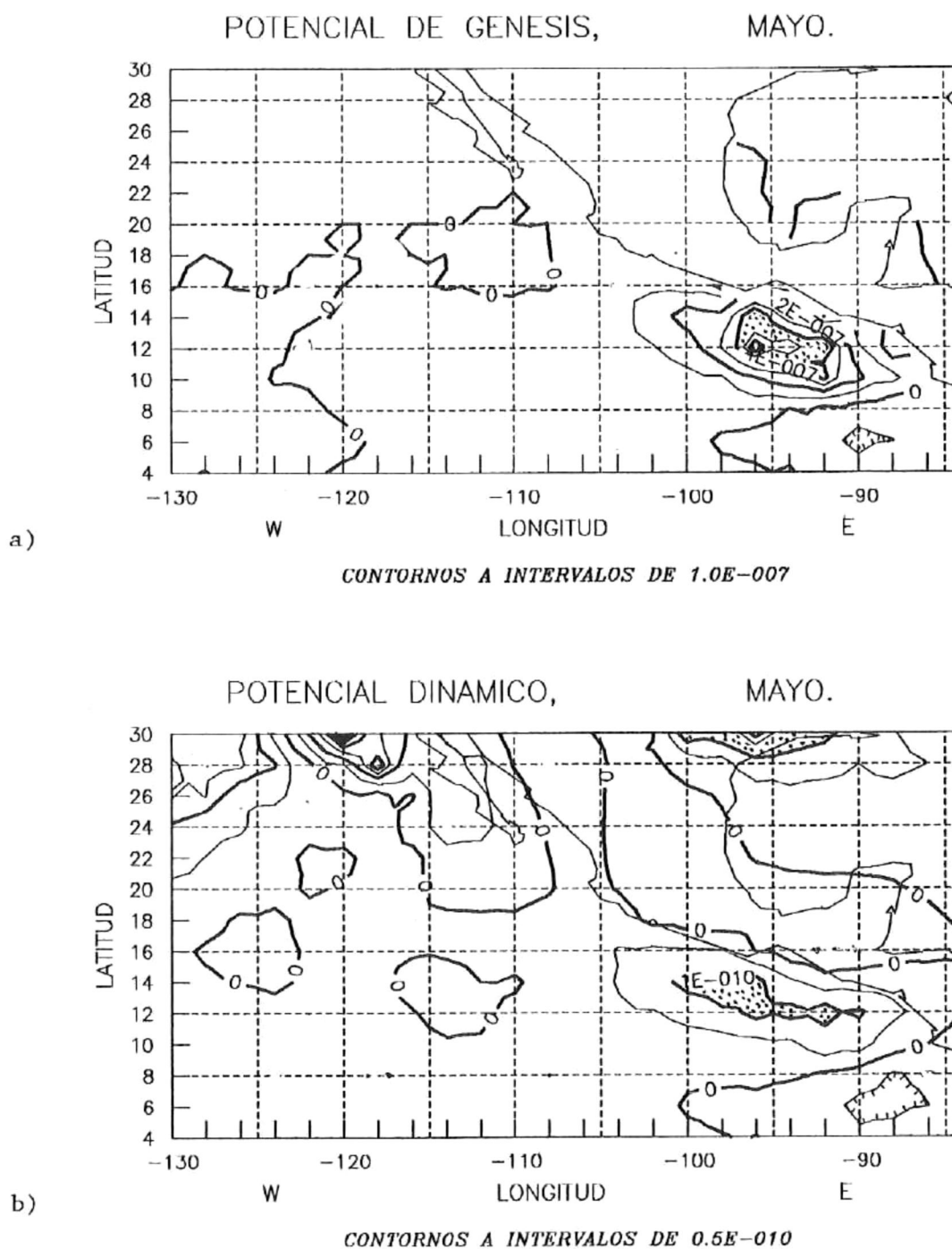
Este mes es el segundo en intensidad del potencial de génesis.

**Agosto.**- Durante este mes se dieron los valores máximos de potencial de génesis en toda la estación. Sus valores llegan a  $1.75E-006$ , También

es el mes con los resultados más dispares, pues de los dos ciclones que se presentaron, ENRIQUE y FEFA, el primero cae dentro de una zona negativa y el segundo dentro de una altamente positiva. El responsable de este resultado es el potencial dinámico, que marca una franja negativa entre los  $8^{\circ}$  y los  $14^{\circ}$  de latitud Norte. Los dos huracanes fueron los más fuertes de los 5 meses.

**Septiembre.**- Los valores del potencial de génesis disminuyen colocando a este mes en tercer lugar. Aquí la zona positiva (Fig. 14a) está restringida a una lengüeta angosta paralela a la costa, que se encuentra al Sur del Golfo de Tehuantepec.

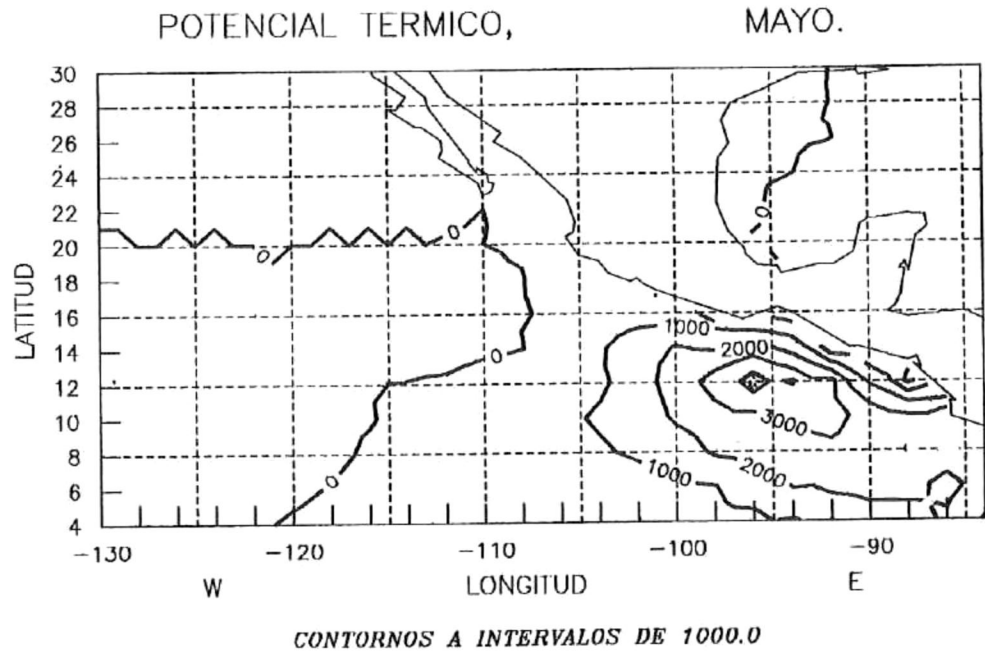
Durante los primeros días de este mes se generaron primero, la depresión tropical NUEVE y después el huracán GUILLERMO, ambos bien definidos por la zona de alto potencial de génesis. Cabe hacer la aclaración de que en este mes solo se promedian los primeros 22 días, no se cuenta con el resto en los datos originales.



**Fig. 6**

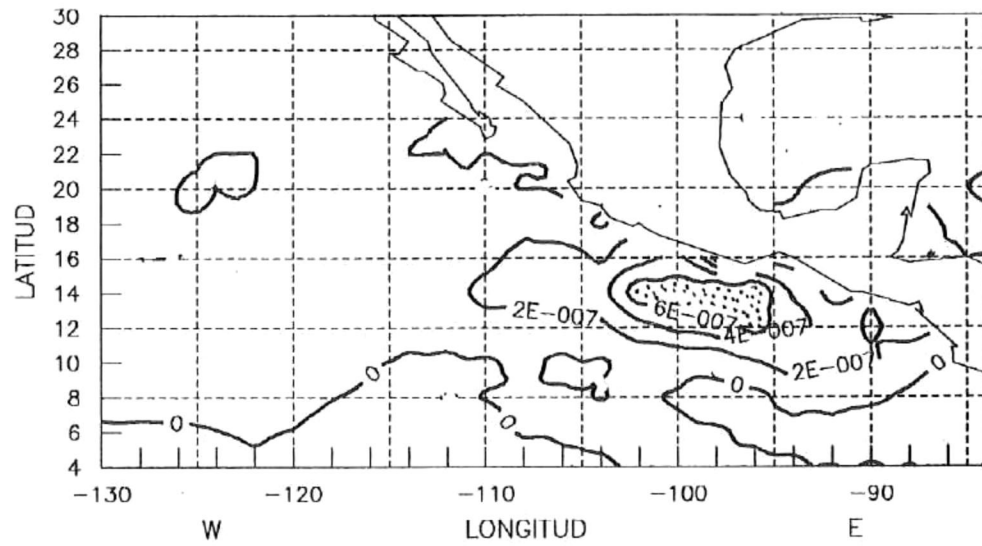
*Las zonas punteadas indican los valores máximos.*

- a). *Potencial de génesis mensual para el mes de Mayo.*  
 b). *Potencial dinámico mensual para Mayo.*



**Fig. 7**  
*Potencial térmico mensual para Mayo.*

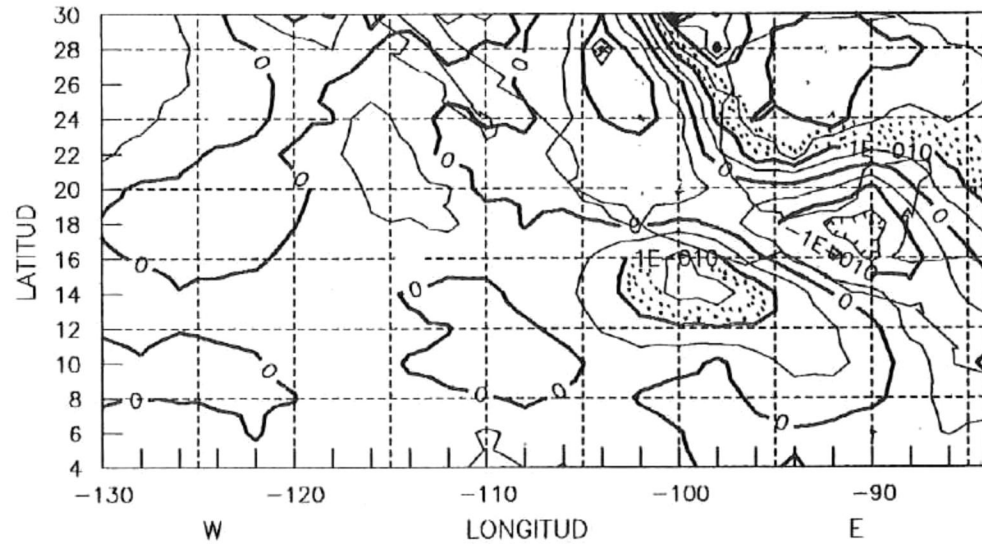
POTENCIAL DE GENESIS, JUNIO.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.0E-007$

POTENCIAL DINAMICO, JUNIO.

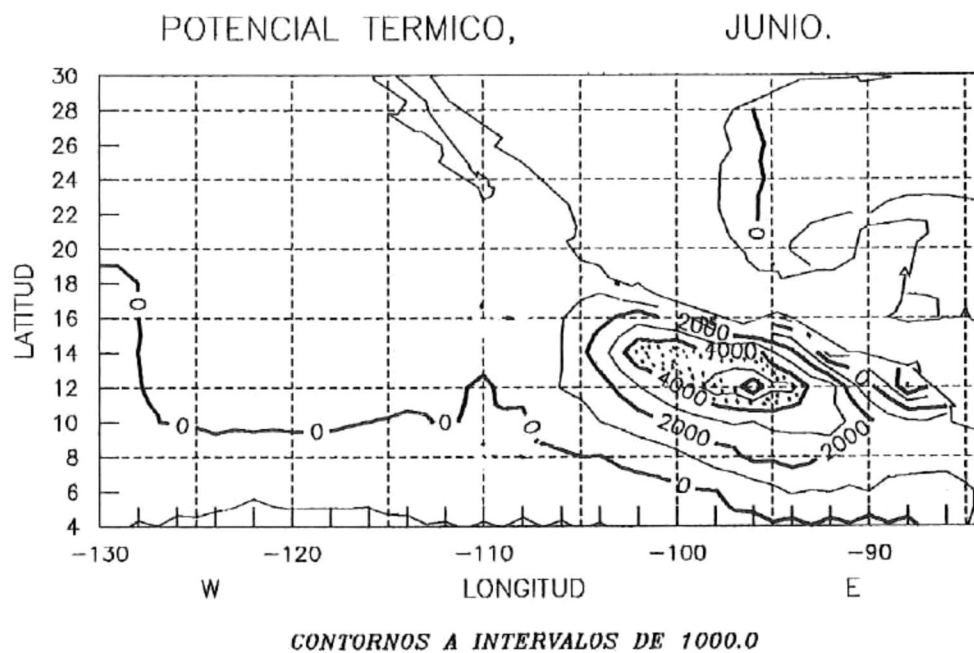


b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $0.5E-010$

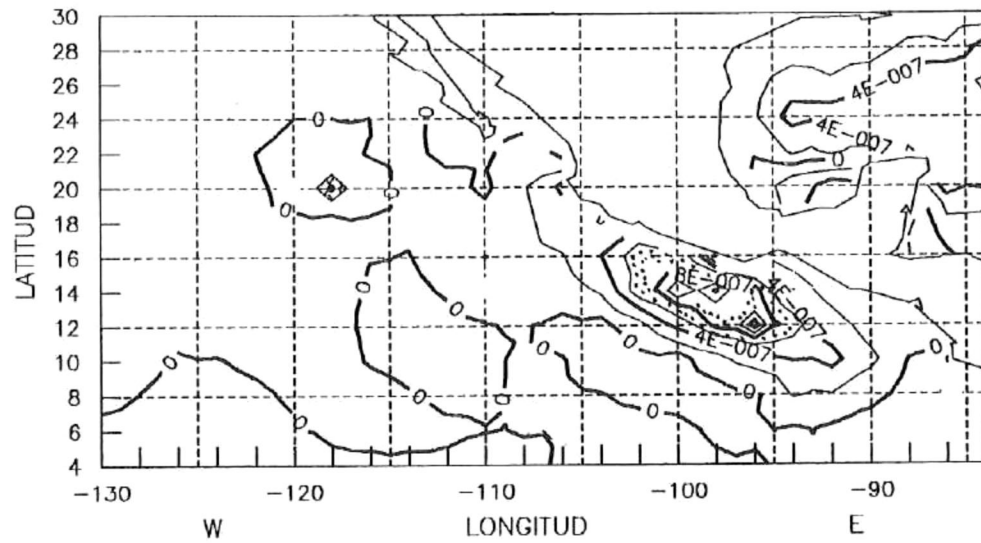
**Fig. 8**

a y b). Mismo que las figuras 6 a y b pero para Junio.



*Fig. 9*  
*Mismo que la figura 7 pero para Junio.*

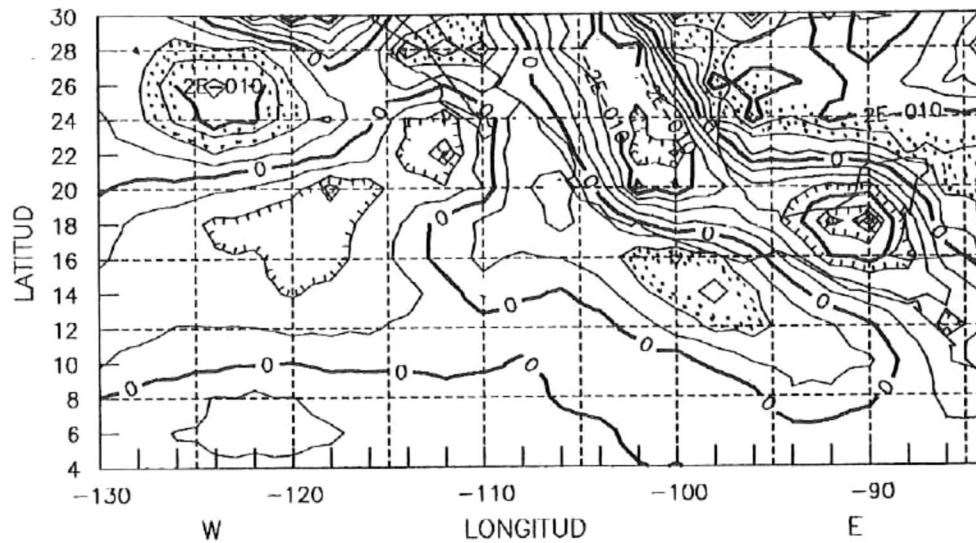
POTENCIAL DE GENESIS, JULIO.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.0E-007$

POTENCIAL DINAMICO, JULIO.

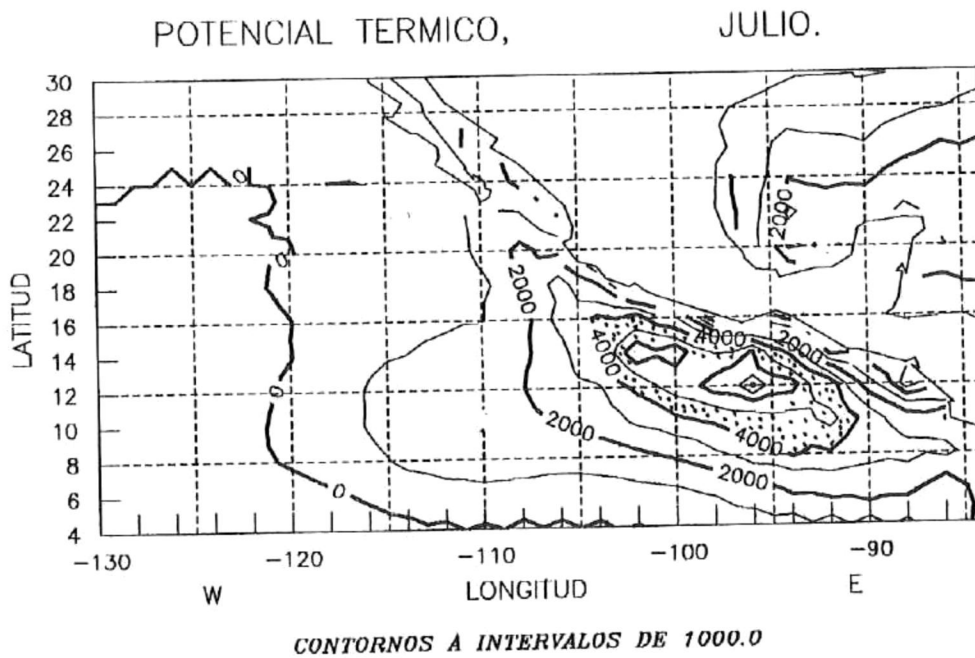


b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $0.5E-010$

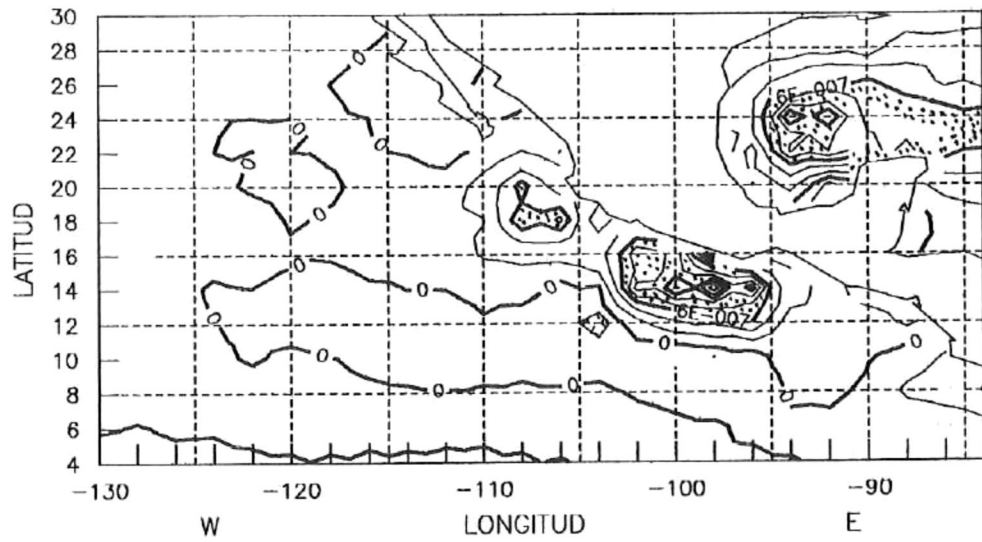
**Fig. 10**

a y b). Mismo que las figuras 6 a y b pero para Julio.



*Fig. 11*  
*Mismo que en la figura 7 pero para Julio*

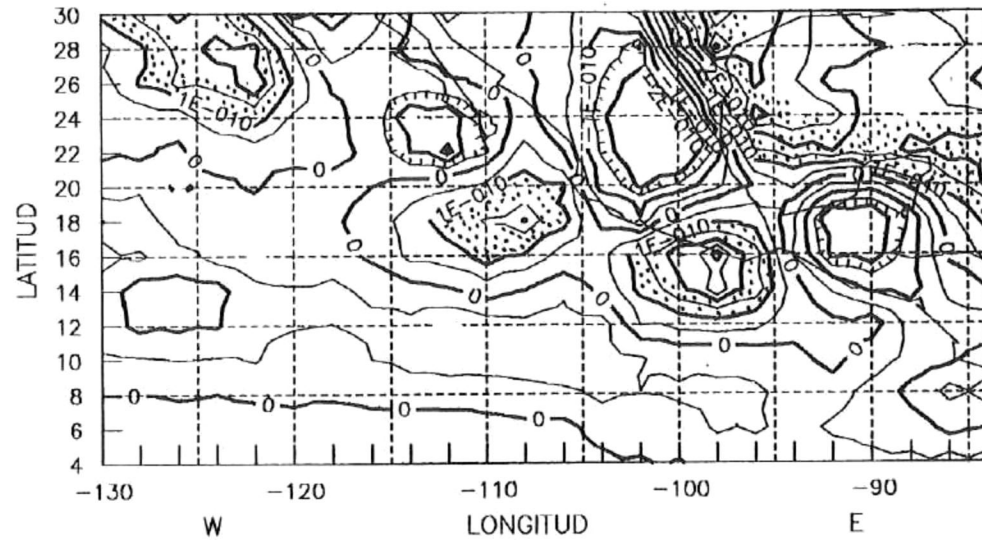
POTENCIAL DE GENESIS, AGOSTO.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.0E-007$

POTENCIAL DINAMICO, AGOSTO.

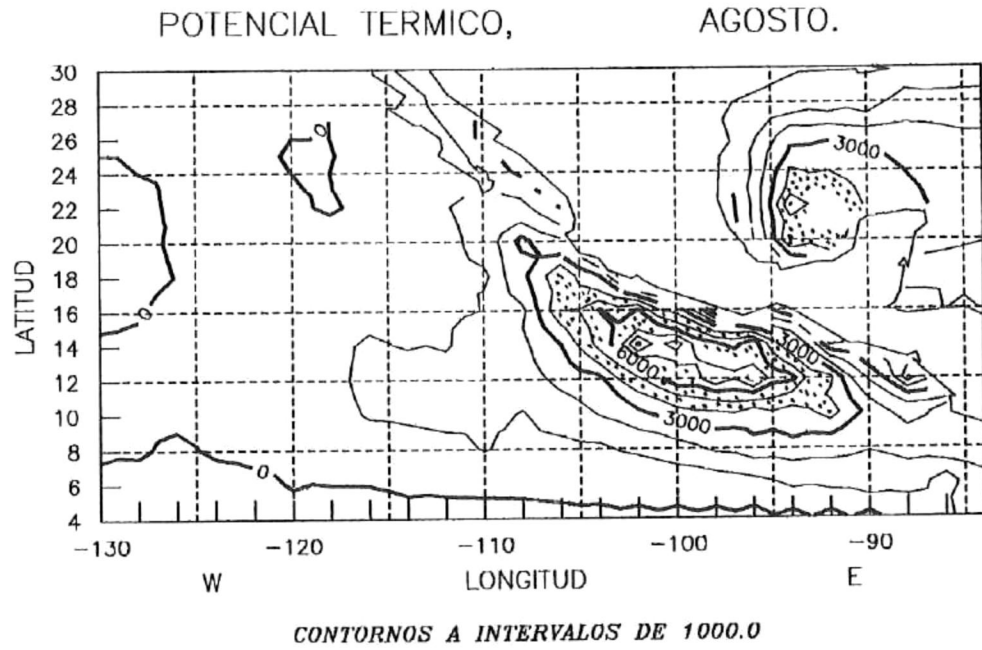


b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $0.5E-010$

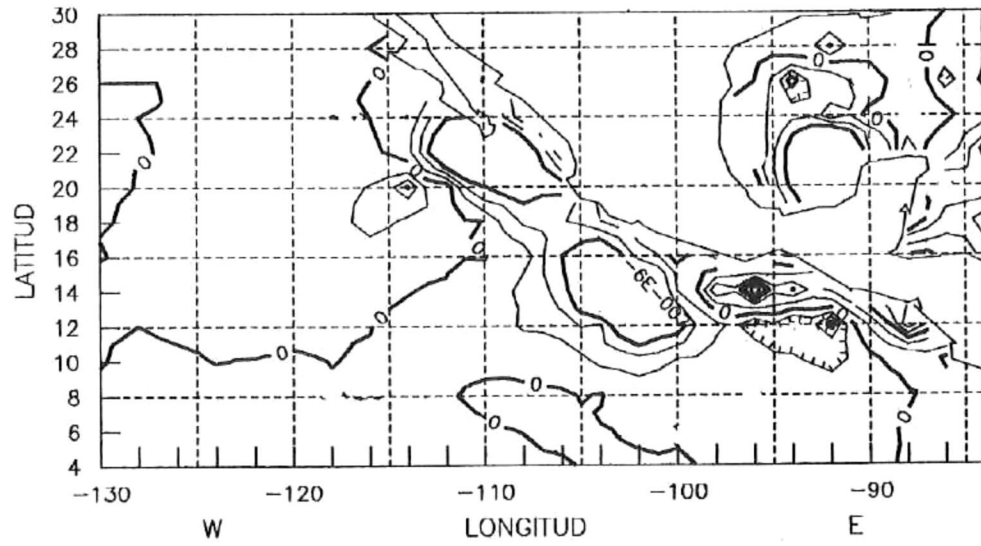
Fig. 12

a y b). Mismo que la figura 6 a y b pero para Agosto.



*Fig. 13*  
*Mismo que la figura 7 pero para Agosto.*

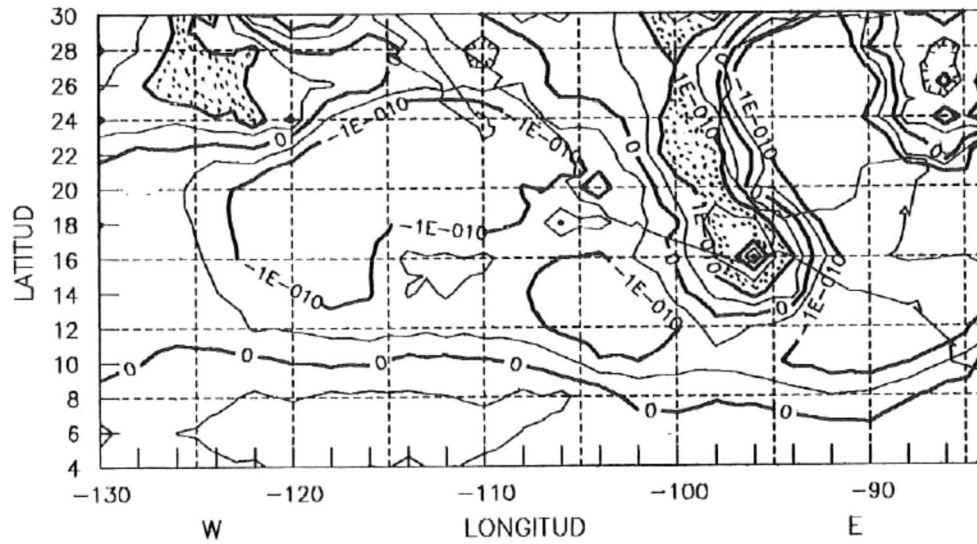
POTENCIAL DE GENESIS, SEPTIEMBRE.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.0E-07$

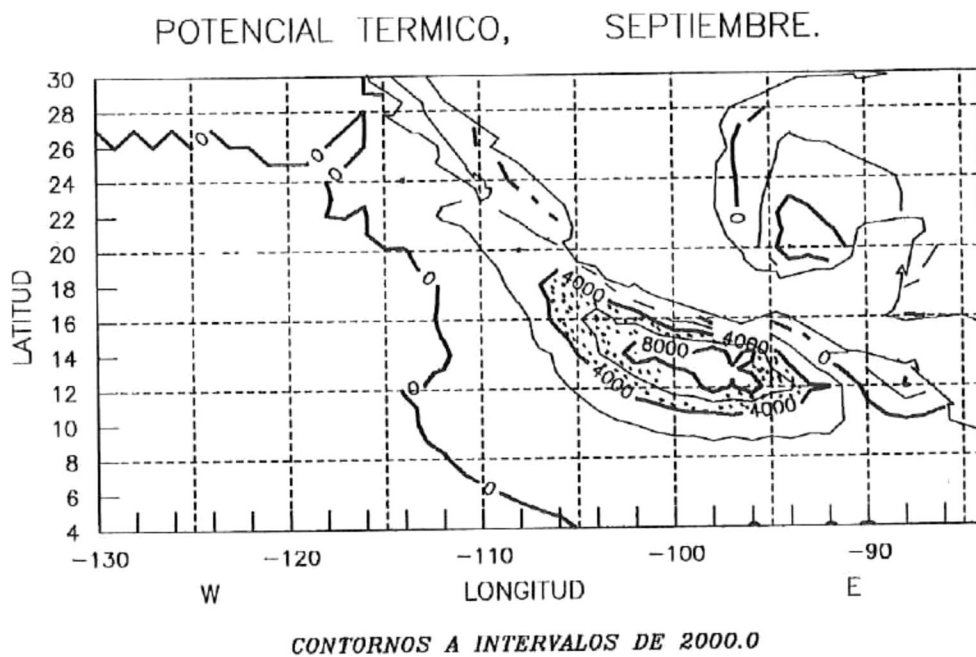
POTENCIAL DINAMICO, SEPTIEMBRE.



b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $0.5E-010$

**Fig. 14**  
a y b). Mismo que las figuras 6 a y b pero para Septiembre.



*Fig. 15*

Mismo que la figura 7 pero para Septiembre.

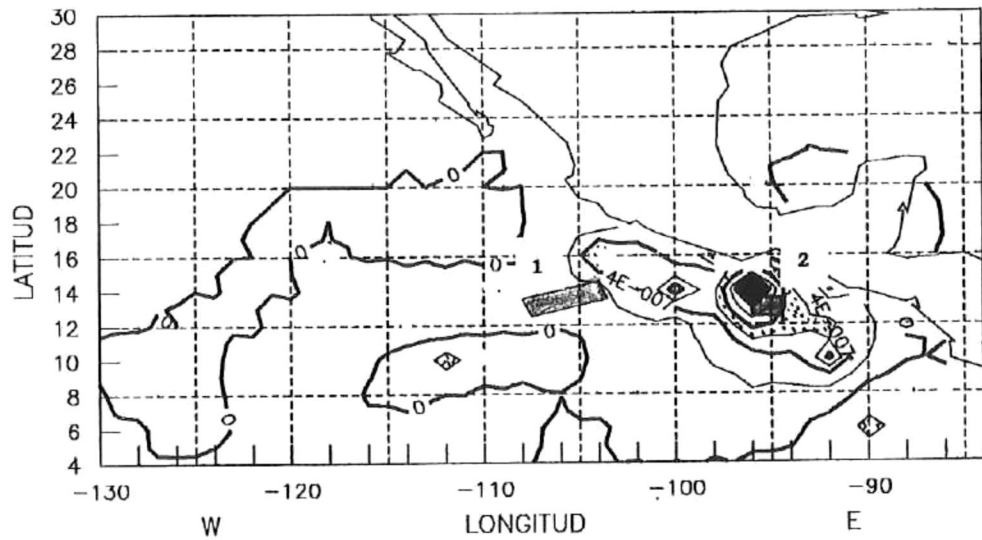
### **Parte C. CASOS PARTICULARES.**

En esta sección se presentan gráficas de 6 ciclones, la figura 16a muestra el potencial de génesis durante los 4 días previos a la depresión tropical UNO y al huracán ANDRES (de Mayo 27 a Mayo 30), los cuales fueron prácticamente simultáneos. La gráfica 16b corresponde a la depresión tropical CINCO y al huracán DOLORES (Junio 13 a Junio 16), que al igual que las anteriores se generaron al mismo tiempo. Las dos gráficas se presentan sólo como un ejemplo del comportamiento del potencial de génesis.

Las gráficas restantes corresponden al promedio de 4 días en un período de inactividad (Figs. 17 a 20) y del huracán FEFA (Figs. 21 a 24). Las de inactividad van del 2 al 5 de Mayo, para FEFA cubren del 17 al 20 de Agosto. Se seleccionó este huracán pues se considera representativo y los resultados se ajustan bastante bien.

El período de inactividad es para tener un buen punto de comparación entre días con y sin actividad de ciclones.

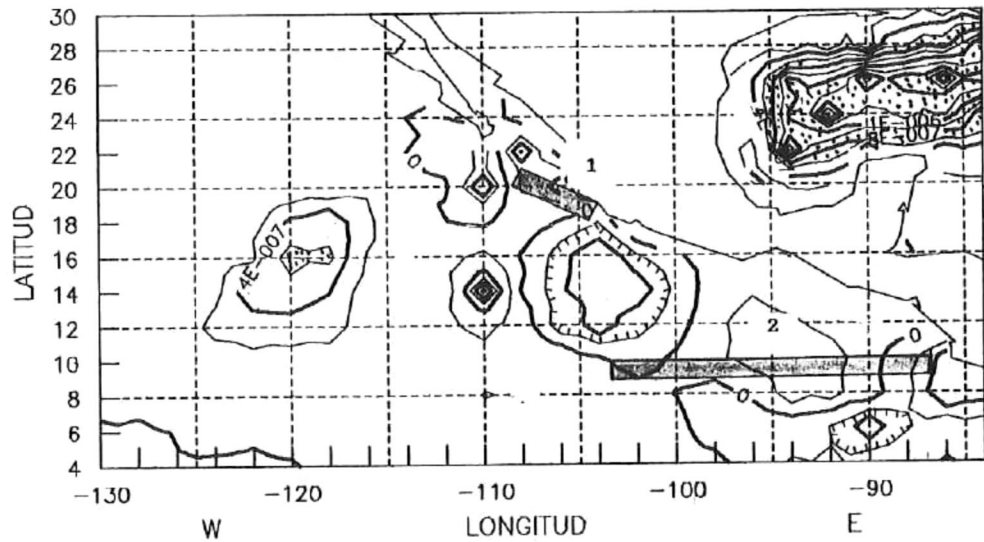
POTENCIAL DE GENESIS, ANDRES/UNO.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.0E-007$

POTENCIAL DE GENESIS, DOLORES/CINCO.



b)

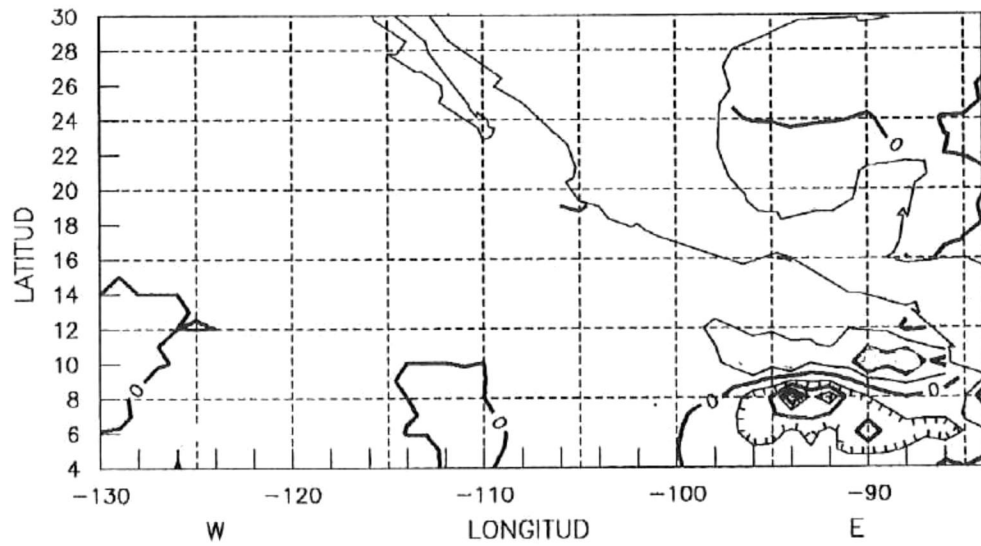
CONTORNOS A INTERVALOS DE  $2.0E-007$

**Fig. 16**

La zona punteada indica los valores máximos. El polígono sombreado indica la posición de la perturbación.

- a). Potencial de génesis durante 4 días previos a la depresión tropical UNO (1) y al huracán ANDRES (2).
- b). Mismo que el anterior pero con la depresión tropical CINCO (1) y el huracán DOLORES (2).

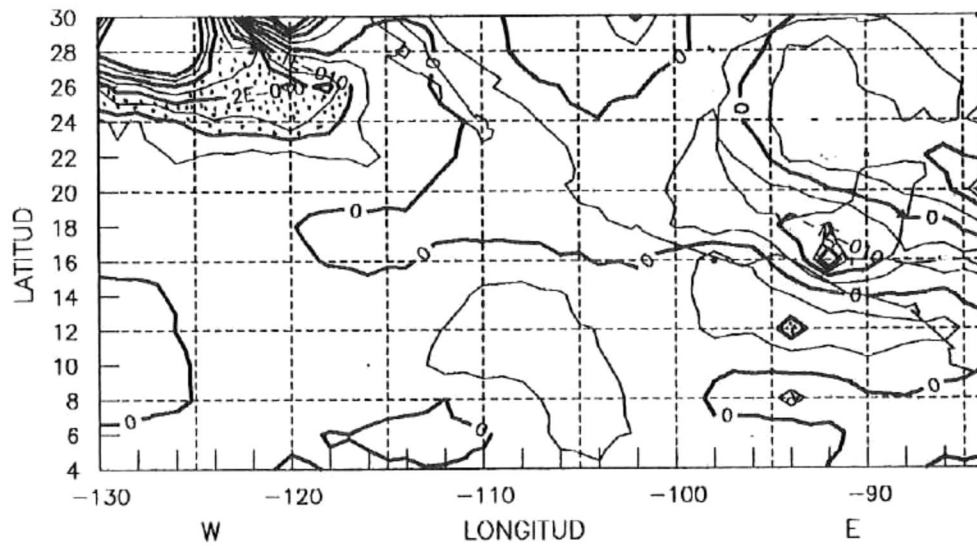
## POTENCIAL DE GENESIS, NO HURACAN.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $1.0E-007$ 

## POTENCIAL DINAMICO, NO HURACAN.



b)

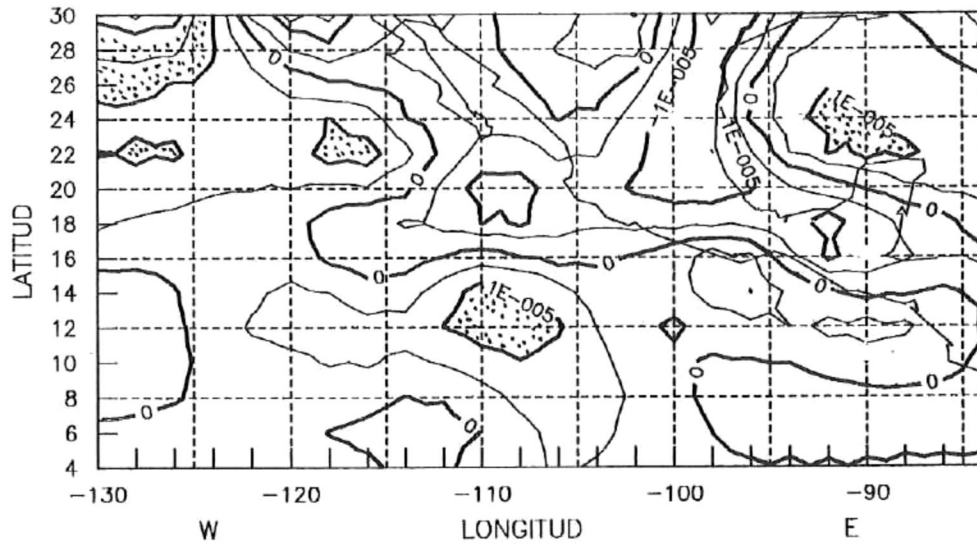
CONTORNOS A INTERVALOS DE  $0.5E-010$ 

Fig. 17

a). Potencial de génesis durante 4 días de un período inactivo. Notese lo reducido de los valores.

b). Mismo que la anterior pero para el potencial dinámico.

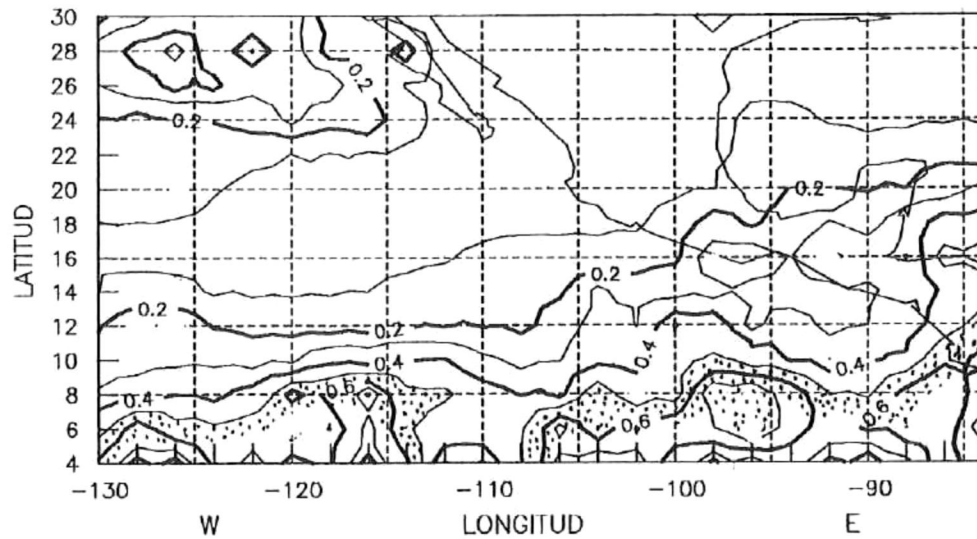
## VORTICIDAD RELATIVA, NO HURACAN.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE  $0.5E-005$  $1/(S+0.5),$ 

NO HURACAN.



b)

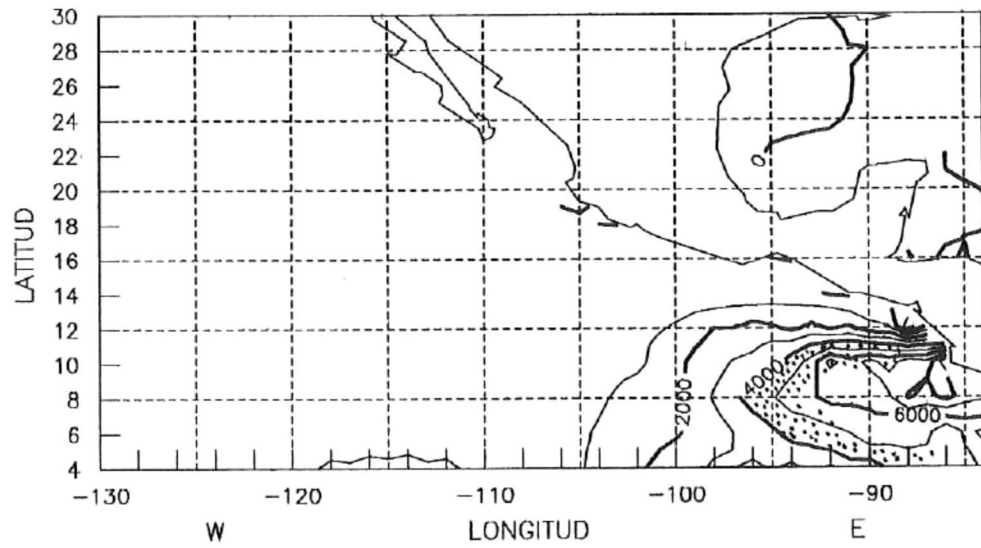
CONTORNOS A INTERVALOS DE 0.1

Fig. 18

a). Mismo que la figura 17a pero para la vorticidad relativa.

b). Mismo que la figura 17a pero para el gradiente del esfuerzo vertical del viento horizontal.

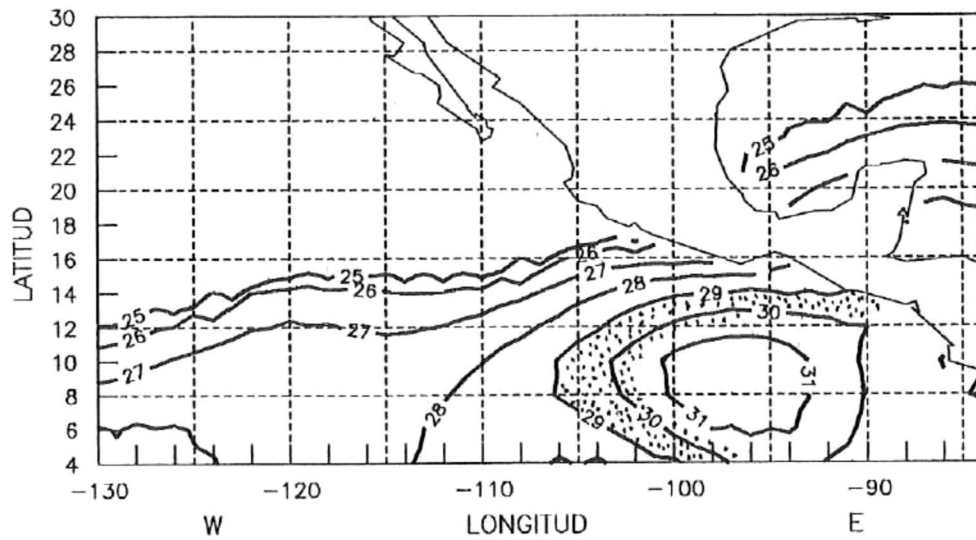
## POTENCIAL TERMICO, NO HURACAN.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 1000.0

## TEMPERATURA DEL MAR, NO HURACAN.



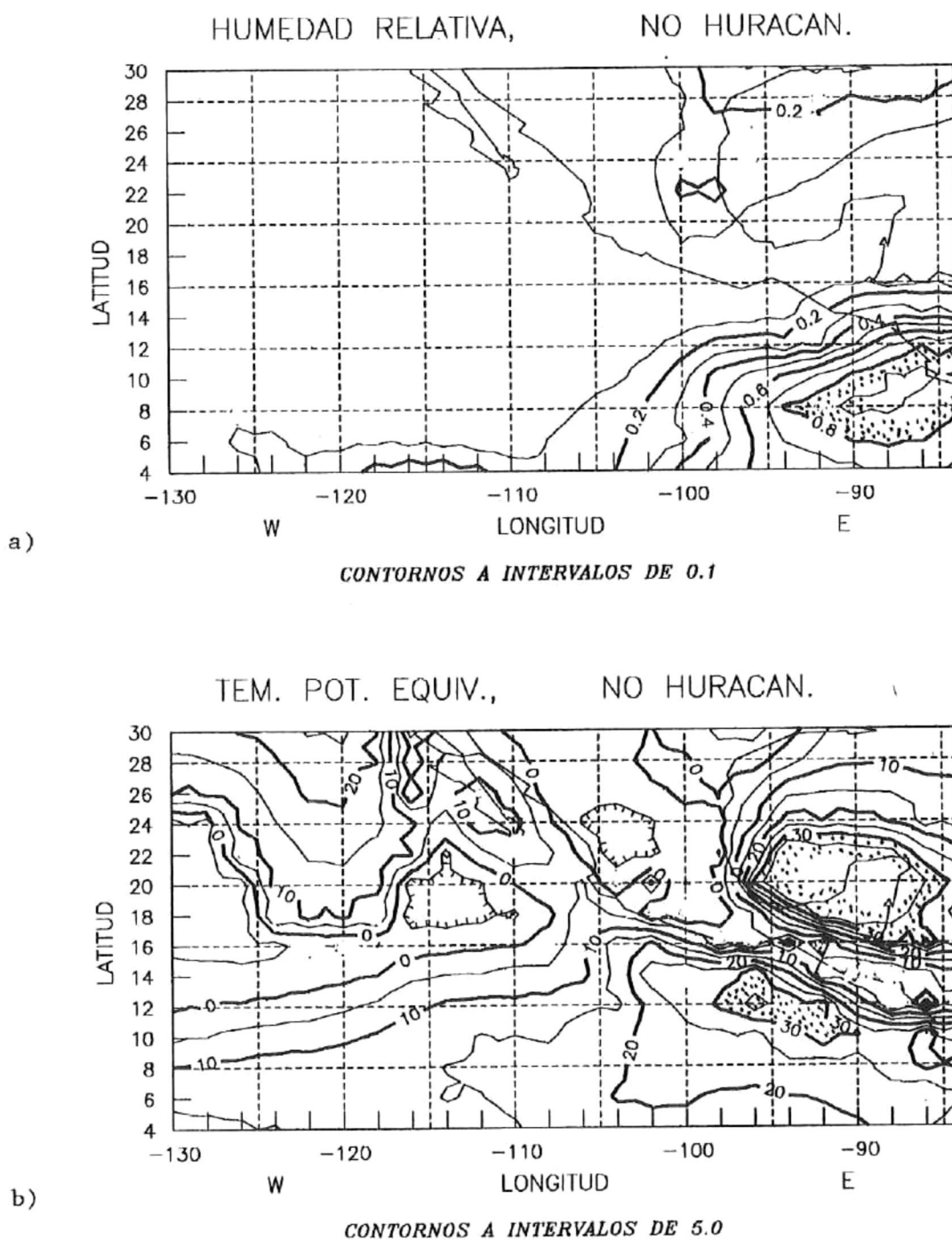
b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 1.0

Fig. 19

a). Mismo que la figura 17a pero para el potencial térmico.

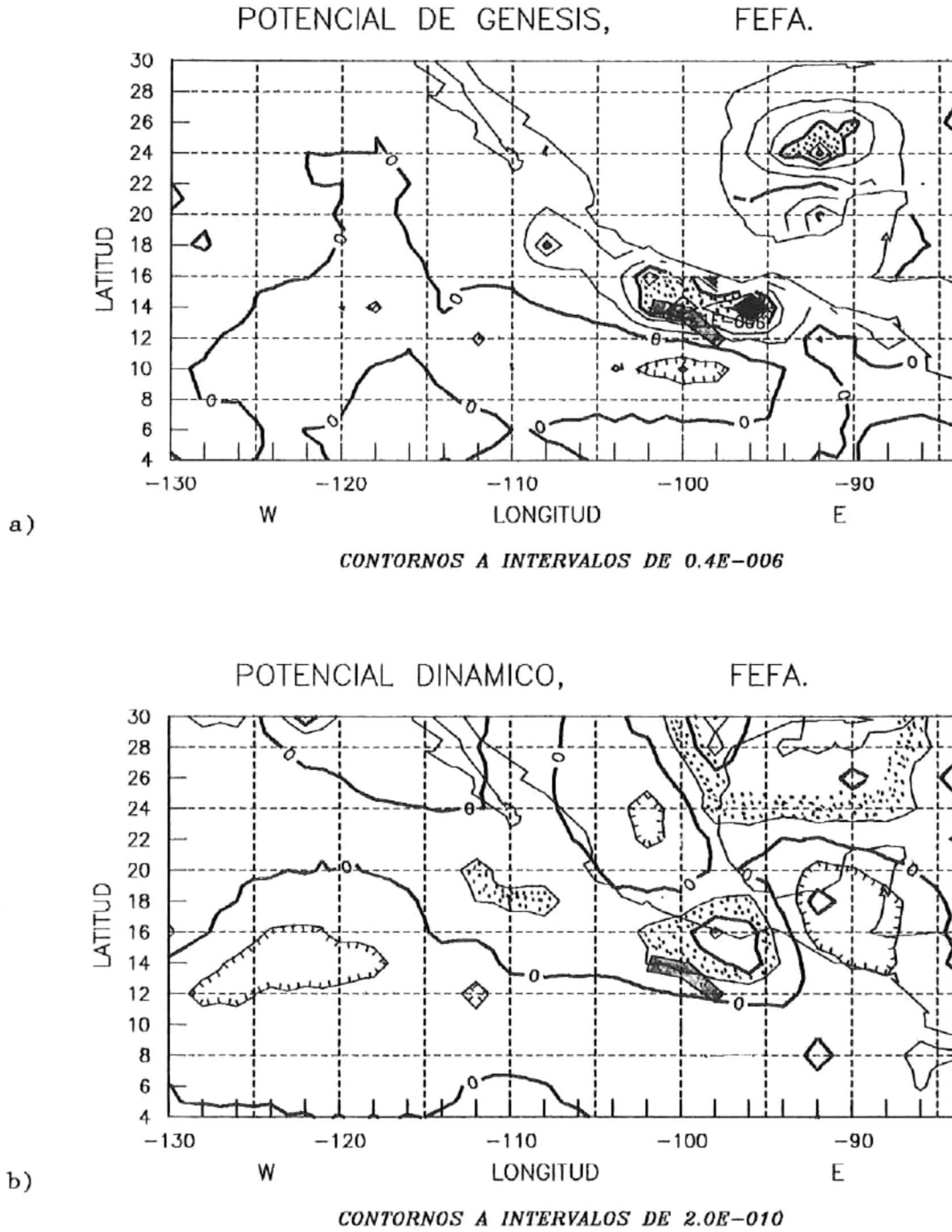
b). Mismo que la figura 17a pero para la temperatura superficial del mar.



**Fig. 20**

a). Mismo que la figura 17a pero para la humedad relativa.

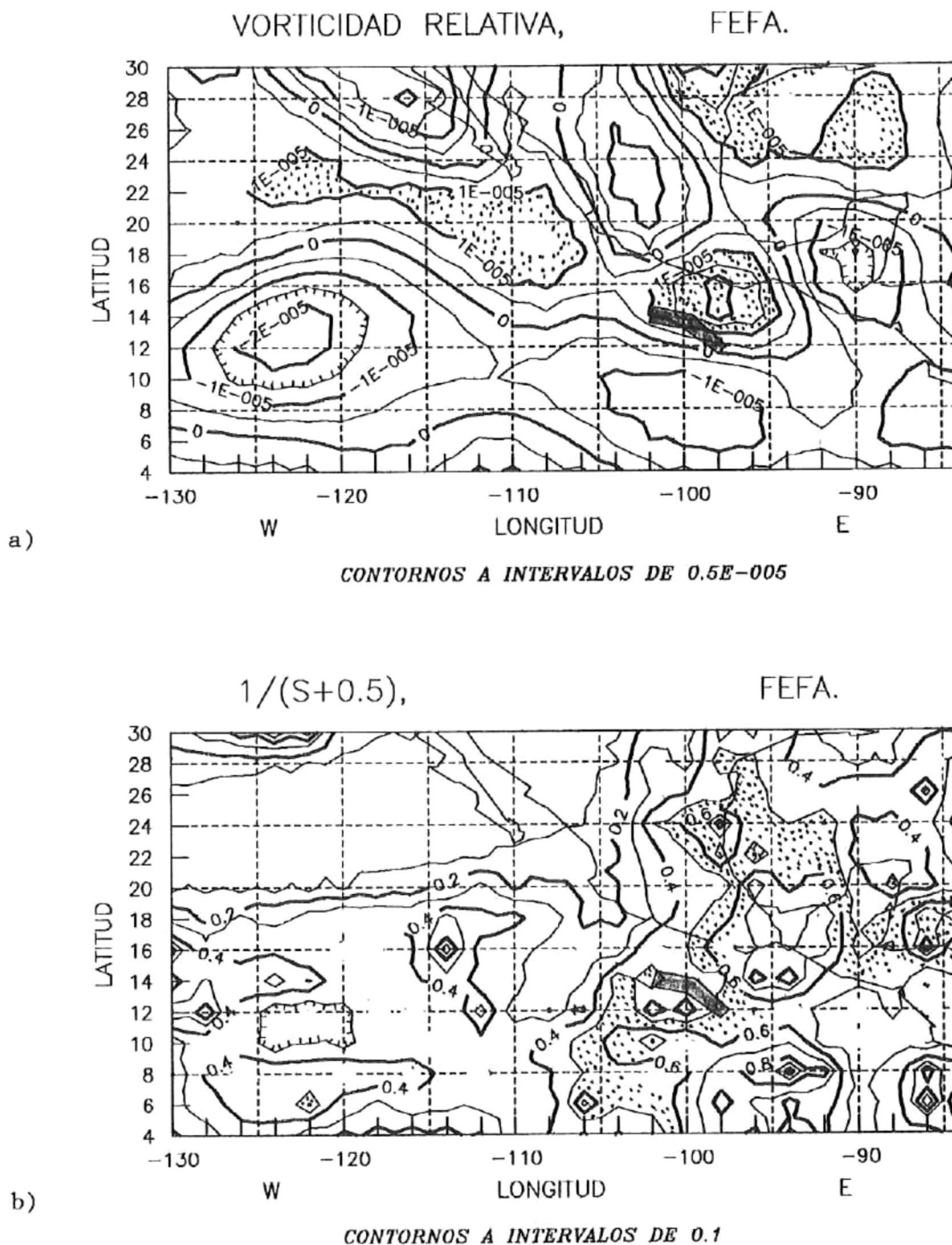
b). Mismo que la figura 17a pero para el gradiente de la temperatura potencial equivalente.



**Fig. 21**

a). Potencial de génesis durante 4 días previos al huracán FEFA.

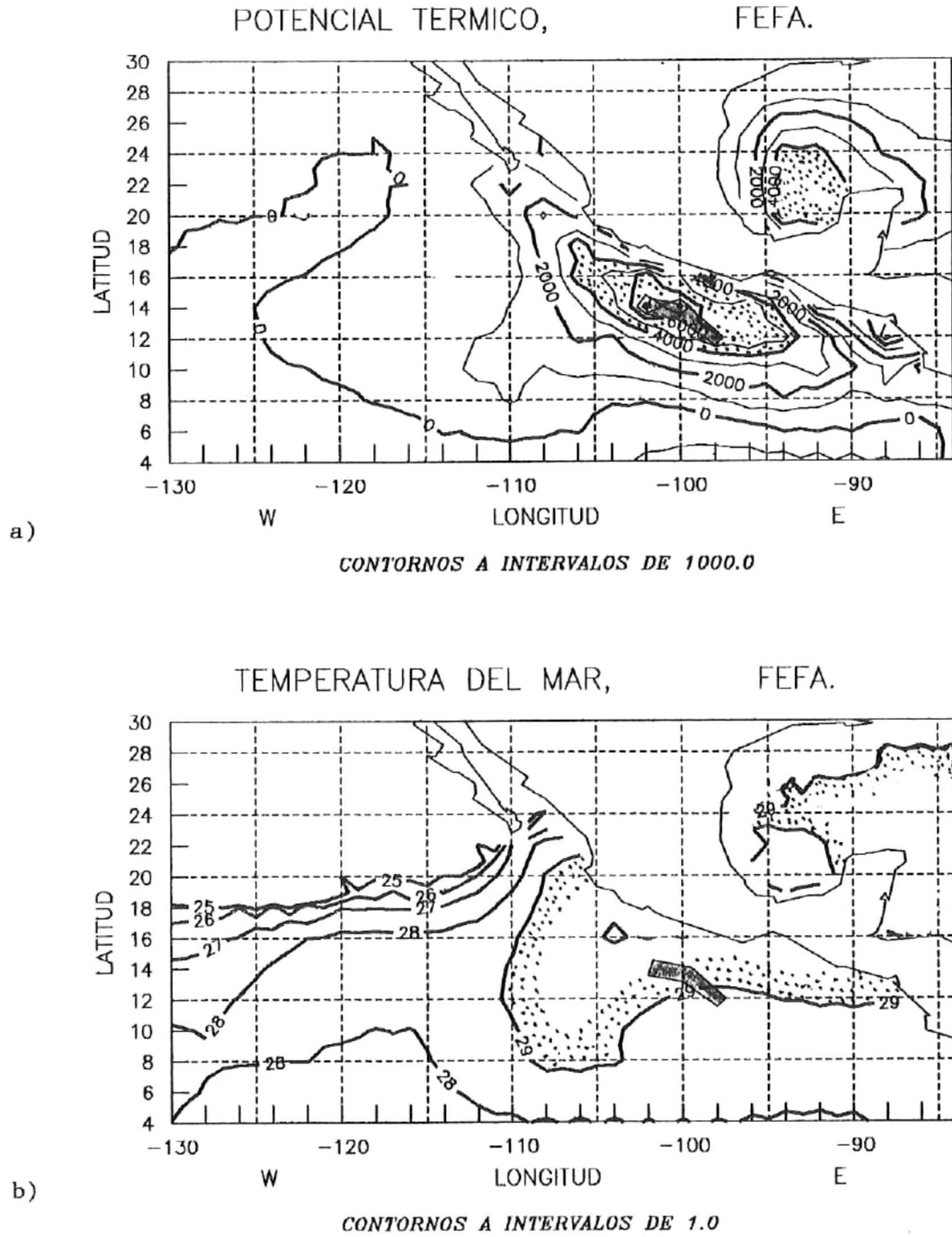
b). Mismo que en la figura 21a pero para el potencial dinámico.



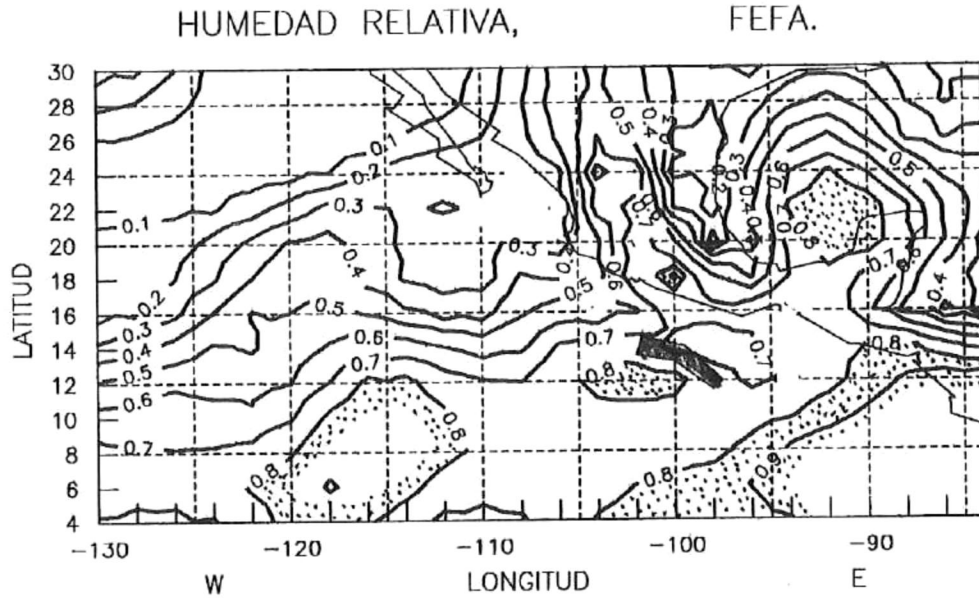
**Fig. 22**

a). Mismo que la figura 21a pero para la vorticidad relativa.

b). Mismo que la figura 21a pero para el inverso del esfuerzo vertical del viento.

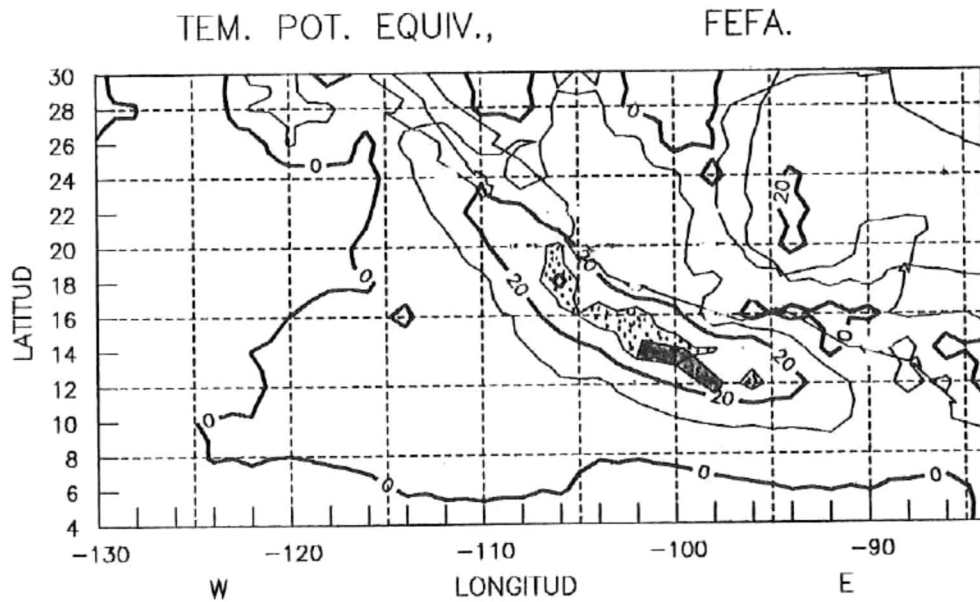


**Fig. 23**  
 a). Mismo que la figura 21a pero para el potencial térmico.  
 b). Mismo que la figura 21a pero para la temperatura superficial del mar.



a)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 0.1



b)

CONTORNOS A INTERVALOS DE 10.0

Fig. 24

a). Mismo que la figura 21a pero para la humedad relativa.

b). Mismo que la figura 21a pero para el gradiente de la temperatura potencial equivalente.

**CAPITULO -IV-**

**DISCUSION.**

## DISCUSION.-

### Parte A. ANALISIS ESTACIONAL.

El potencial de génesis como parámetro climatológico nos sirve para determinar la zona con las condiciones más adecuadas para la generación de ciclones tropicales, y por lo mismo de mayor probabilidad de ocurrencia. Como ya se mencionó en la parte "A" de los resultados, el año de 1979 fue un año particular en relación a la generación de ciclones en el Pacífico Mexicano, el número fue de 13 incluyendo depresiones, tormentas y huracanes, lo cual está por debajo del promedio de 15.2 reportado por Reyes y Mejía (1991). Por lo anterior podemos asegurar la validez de los resultados únicamente para este año en particular.

En la gráfica de PGC (Fig 2a) se observan valores positivos altos restringidos a una lengüeta de aproximadamente  $4^{\circ} \times 6^{\circ}$  al Sur de Oaxaca y Guerrero, entre  $11^{\circ}$  y  $17^{\circ}$  latitud Norte, y  $101^{\circ}$  y  $95^{\circ}$  longitud Oeste.

El área que ocupa el potencial de génesis está restringida por su parte dinámica, nótese el parecido con el potencial dinámico (Fig. 2b). Este a su vez se ve dominado por la vorticidad relativa (Fig. 3a).

El papel que juega el potencial térmico es el de desplazar el conjunto un poco hacia el Sur (Fig. 4a)

Este resultado parece estar relacionado directamente con la circulación atmosférica en la zona. Se puede observar comparando con los resultados reportados por Rivera (1985), que la zona de potencial de génesis coincide con los valores mínimos de viento tanto zonal como meridional (componentes u y v respectivamente) cercanos a la región de convergencia.

Como señalan Reyes y Cadet (1988), la presencia de un sistema monzonal de nivel bajo (1000-850 mb) explica el comportamiento de las corrientes atmosféricas. Por otro lado, el cruce de vientos desde el hemisferio Sur hacia el hemisferio Norte trayendo humedad, incrementa la posibilidad de generación de ciclones en la zona. Es probable que la circulación monzónica de bajo nivel controle la entrada de energía a la zona de máximo potencial de génesis.

Las cadenas montañosas del Sur de México delimitan la zona Norte del potencial de génesis actuando como una barrera. Nieuwolt (1977), menciona que las cadenas montañosas pueden actuar en forma similar a la ZITC por el hecho de que no permiten el paso de los vientos del Sur y del Norte. Y por otro lado, la presencia de la costa, que interrumpe la fuente principal de energía de sustentación de los ciclones, es decir el océano.

La combinación de los vientos en conjunción con las características orográficas de la costa Suroeste de México, dan como resultado un fenómeno conocido como ondas "Lee" (de Zotavento), esto es: cuando los vientos Alisios del norte pasan la Sierra Madre Sur hacia el Pacífico,

se genera una onda que oscila verticalmente, llevando humedad a zonas altas y produciendo convección. La zona en donde los vientos del Golfo de México cruzan hacia el Pacífico y que se ven afectados por las montañas, coincide con la zona de generación de ciclones. Zender y Gall (1991), sugieren la posibilidad de que las características orográficas de la zona afecten a los sistemas de vientos y sea éste el mecanismo disparador de algunos ciclones tropicales.

Las condiciones oceánicas no son determinantes en la ubicación del máximo del potencial de génesis, pues toda la zona tiene temperaturas que sobrepasan el mínimo requerido, salvo la región que riega la Corriente de California, la cual dadas sus bajas temperaturas, delimita la zona positiva hacia el Noroeste.

Las temperaturas altas en la región oceánica se deben a la Contracorriente Norecuatorial, la cual después de moverse hacia el Este, recurva hacia el Norte siguiendo de costa de Centro América y México, para después chocar con la Corriente de California, desviarse al Oeste y unirse a la Corriente Norecuatorial (Haurwitz y Austin, 1944). Aparentemente el efecto del parámetro de la temperatura superficial del mar, actúa desplazando la ubicación del potencial de génesis ligeramente hacia el Sur.

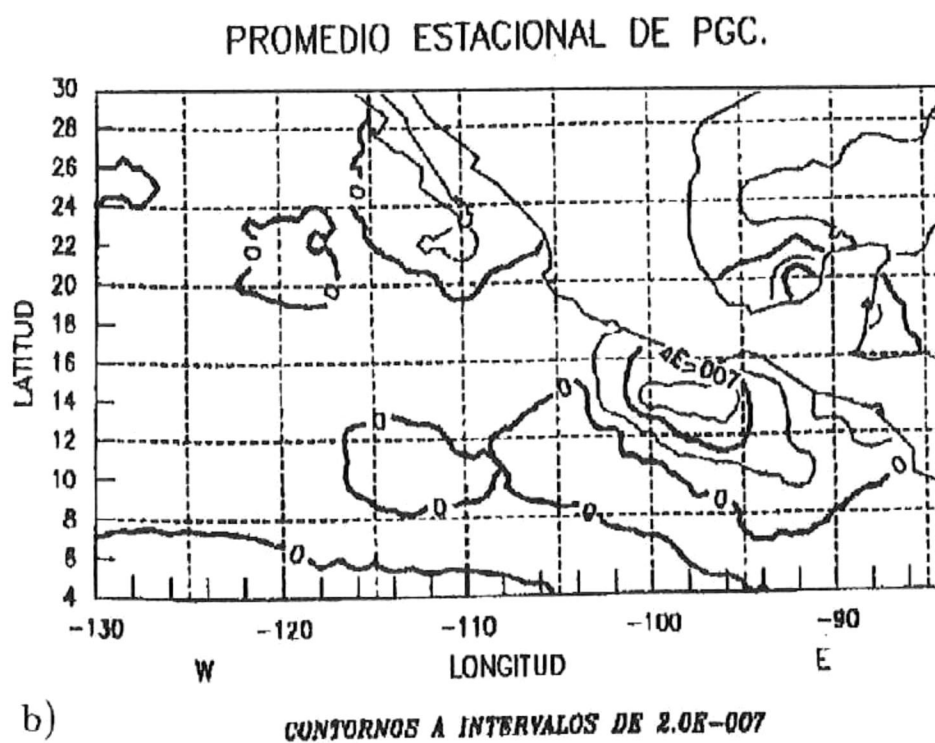
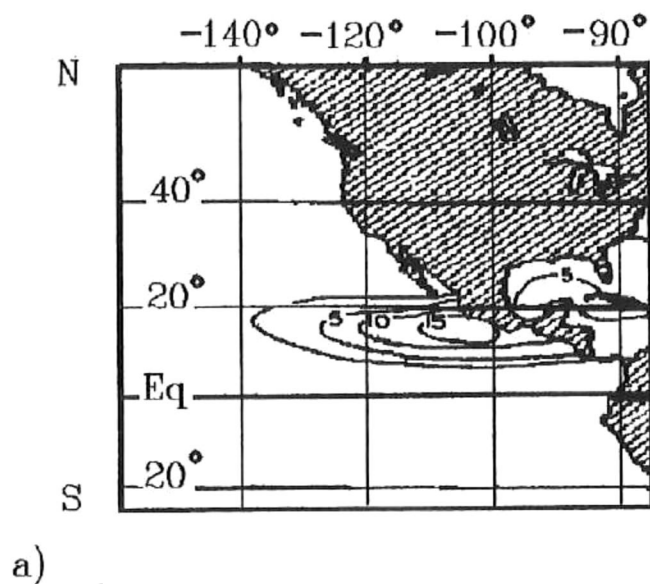
El resto de los parámetros aparentemente no tienen un papel significativo en los resultados finales.

Aunque el método de Gray difiere en varios aspectos con el utilizado en este trabajo, se obtienen resultados similares en cuanto a la zona de generación se refiere (Figs. 25a y b), ésto era de esperarse pues en ambos intervienen los parámetros básicos de la formación de ciclones tropicales promediados estacionalmente. Las diferencias que se presentan en las gráficas pueden deberse, además de a las mismas diferencias entre los métodos, a que Gray usa promedios de los veranos de varios años, mientras que en este trabajo se usa sólo uno; además de que la resolución de la malla es mayor que la que usa Gray.

La zona definida por el potencial de génesis en el Pacífico resulta marcadamente más intensa que la otra zona importante en generación de perturbaciones, el Caribe y Golfo de México. Este resultado puede atribuirse a que en este caso particular no se cubre la zona real de generación en el Atlántico, que está ubicada más al Este de la zona de estudio. Sería de sumo interés hacer el mismo estudio con un área más amplia para comparar las dos zonas.

### **Parte B. ANÁLISIS MENSUAL.**

Observando el desarrollo del potencial de génesis en el tiempo se pueden notar características bastante interesantes. En Mayo se tienen los valores más pequeños en relación con el resto de los meses; conforme transcurren éstos, los valores aumentan, al mismo tiempo que el área que ocupan las zonas positivas se va reduciendo. El punto máximo para los



**Fig. 25**

- a) Resultados de PGE obtenidos por Gray promediando los veranos de 20 años y con una malla de  $5^\circ \times 5^\circ$  (Reproducido de Gray, 1978).  
 b) Gráfica del PGE. Reproducción de la Fig. 2a.

valores se alcanza en Agosto, coincidiendo con la aparición de dos de los huracanes más intensos, de ahí comienza a declinar reduciéndose considerablemente para Septiembre. El área positiva por su parte, sigue disminuyendo hasta quedar como una franja angosta cercana a las costas de México y Guatemala.

Este efecto se puede explicar por medio del monzón que se desarrolla en el área de estudio; al inicio del verano la ZITC se encuentra bien definida en el Pacífico Mexicano aproximadamente a los  $5^{\circ}\text{N}$ , el área del Pacífico se encuentra influenciada por vientos superficiales predominantemente del Noroeste según lo reportado por Rivera (1985), aunque con valores muy débiles y los parámetros térmicos se encuentran ubicados al Sureste de la región de estudio con valores también muy bajos.

Conforme avanza el verano, la radiación que recibe la tierra produce el calentamiento que dá lugar a la circulación monzónica mencionada por Reyes y Cadet (1988); la circulación atmosférica del Pacífico Sur se intensifica ocasionando el desplazamiento de la ZITC hacia el Norte, y la penetración de vientos superficiales del Sur hacia el Pacífico Este y el Oeste de México, llevando calor latente a la zona. Simultáneamente los parámetros térmicos se intensifican y se desplazan al Norte, hacia las costas de México.

En conjunto se produce un incremento en los valores de los parámetros que intervienen en la génesis de los ciclones tropicales.

La disminución en el área del potencial de génesis es debida básicamente a la circulación atmosférica que se desarrolla. Como ya se mencionó en la parte "A" de este capítulo, los máximos del potencial de génesis coinciden con los valores mínimos de vientos zonal y meridional, i.e. un débil esfuerzo vertical del viento, favoreciéndose una débil ventilación y fuerte concentración de energía y calor; si se observa el desarrollo de estos vientos durante el verano, se puede notar que la evolución de las zonas de valores mínimos son muy coincidentes con el desarrollo del potencial de génesis.

Los argumentos expuestos previamente explican también el desplazamiento que sufre el potencial de génesis durante el verano.

La ubicación de la zona de altos positivos no es constante en el tiempo. En Mayo se encuentra de  $10^{\circ}\text{N}$  a  $14^{\circ}\text{N}$  de latitud y de  $92^{\circ}\text{W}$  a  $97^{\circ}\text{W}$  de longitud. Conforme avanzan los meses sufre un desplazamiento del Sureste al Noroeste paralelo a la costa y se divide en dos centros, colocándose de  $12^{\circ}\text{N}$  a  $17^{\circ}\text{N}$  y  $95^{\circ}\text{W}$  a  $103^{\circ}\text{W}$  el primero, y de  $17^{\circ}\text{N}$  a  $21^{\circ}\text{N}$  y  $105^{\circ}\text{W}$  a  $109^{\circ}\text{W}$  el segundo; esto ocurre en Agosto con los valores más altos. Para Septiembre el área se reduce considerablemente y se desplaza de Oeste a Este para llegar a su posición final, que abarca de  $13^{\circ}\text{N}$  a  $15^{\circ}\text{N}$  y de  $93^{\circ}\text{W}$  a  $98^{\circ}\text{W}$ .

Es notable la relación que existe entre estos desplazamientos y el que sufre la ZITC, ésta se desplaza al Norte conforme avanza el verano siguiendo la zona de máxima radiación. Para Agosto incluso hay un

rompimiento y penetración de viento del Sur sobre México (Reyes y Cadet, 1988), aproximadamente entre los  $100^{\circ}\text{W}$  y  $105^{\circ}\text{W}$ , que se observa también en el potencial dinámico de esas fechas. Para Septiembre La ZITC se desplaza nuevamente hacia el Golfo de Tehuantepec.

Viendo el desarrollo del potencial de génesis en función de los potenciales dinámico y térmico tenemos lo siguiente:

El potencial dinámico en Mayo es en su gran mayoría positivo, aunque con valores máximos muy pequeños; su comportamiento es muy similar al descrito para el potencial de génesis, de forma que tenemos un aumento en intensidad aunado a una disminución en tamaño de las áreas positivas. Alcanza el máximo en Agosto y comienza a decaer en Septiembre.

En cuanto al potencial térmico, tenemos que sufre cambios de cierta forma opuestos. El área positiva aumenta alcanzando el máximo en Agosto y disminuye en Septiembre. Los valores tienen un aumento constante sin sufrir disminución, lo cual coincide con el desarrollo de los vientos superficiales del Sur que vienen cargados de humedad y con el aumento de radiación que se da en la estación.

Si dividimos el valor del potencial térmico entre el potencial dinámico multiplicado por  $3E013$ , obtenemos un número que nos sirve para comparar entre sí los potenciales mencionados con mayor claridad:

Tabla I.       $PT/(PD \times 3 \times 10^{13})$

Mayo.....	1.2289
Junio.....	1.1912
Julio.....	1.4517
Agosto.....	0.9439
Septiembre.....	1.0850

De acuerdo a la tabla I se puede deducir facilmente que el mes donde el potencial térmico presenta más actividad o influencia, comparado con los otros meses, es Julio (valor más grande), mientras que en Agosto parece ser determinante el potencial dinámico en el desarrollo de ciclones. Este comportamiento podría estar relacionado con la circulación monzónica, pues la mayor influencia de la parte dinámica coincide con la máxima actividad del monzón, es decir, en Agosto. Por otro lado, la parte térmica puede estar fuertemente influenciada por el comportamiento de la temperatura superficial del mar, ya que los máximos de ésta, cercanos a la costa y por lo mismo dentro del área de actividad del potencial de génesis, se encuentran durante Julio y los primeros días de Agosto, que corresponden al mes en que el potencial térmico presenta mayor influencia.

Por otra parte, en cuanto a las zonas del Pacífico y del Caribe y Golfo de México se refiere, no hay evidencias de que se turnen en importancia durante alguna etapa de la temporada de ciclones. En ambas

zonas se nota un incremento gradual hasta el mes de Agosto y un decaimiento en Septiembre, siendo siempre mayor en el Pacífico el valor del potencial de génesis

La zona que se ve afectada en mayor medida por el sistema monzónico es la del Pacífico, así mismo, el área del Atlántico carece del efecto que produce la orografía sobre los sistemas de vientos en el Pacífico, lo cual explica el punto anterior en cierta medida. Es difícil poder comparar las dos zonas, principalmente porque se encuentran en diferentes latitudes y por el hecho de que los vientos actúan en forma muy diferente en ambas.

### **Parte C. CASOS PARTICULARES.**

Las dos primeras gráficas presentadas previamente en la parte "C" de los resultados son ejemplos del comportamiento del potencial de génesis para mostrar que el método no es tan confiable en cuanto a predicción se refiere. En el primer caso tenemos que se muestra bastante bien el lugar de generación del huracán ANDRES, pero no así el de la depresión tropical UNO. En la figura 16b tenemos el caso contrario, la depresión se encuentra bien definida, pero el huracán, aunque se muestra su ubicación, resulta demasiado impreciso a la vez que muy débil. Por otro lado, observamos un centro positivo intenso a los  $110^{\circ}\text{W}$  y  $14^{\circ}\text{N}$  en donde no hubo ninguna clase de actividad.

Desde el inicio del estudio de los ciclones tropicales se ha tratado de explicar el por qué de su generación sin llegar a algo concreto. En esta parte, en los casos en que no se ajustan los resultados, puede haber influencia de otros parámetros que difícilmente pueden ser detectados en el paquete de datos del PEMT, como: inestabilidades en ondas del Este, acción de oscilaciones de diferentes frecuencias, fenómenos a escala más grande, etc. De igual forma, se pueden observar las condiciones ideales para la formación de un ciclón y sin embargo no se genera, lo cual señala la importancia de estudiar también los factores inhibidores o amortiguadores además de los de generación.

Durante el período de inactividad se observan valores en general muy bajos o muy desplazados al Sur (Figs. 17 a 20) en concordancia con la discusión de la parte "B", es interesante notar que las isolíneas de la temperatura potencial equivalente (Fig. 20b), aunque con valores que pueden corresponder a períodos con ciclones, se encuentran muy espaciadas entre sí. Si lo vemos como un gradiente horizontal encontramos que el cambio es muy suave en comparación con períodos con actividad, en donde el cambio es muy abrupto en poca distancia.

Los valores del potencial de génesis son  $\approx 6$  veces más pequeños que en períodos con ciclones.

Las figuras desde la 21 a la 24 cubren los parámetros para el huracán FEFA. En la fig. 21a, correspondiente al potencial de génesis, podemos observar que el centro con valores más altos se encuentra desplazado a la derecha de la zona donde se generó realmente el huracán

(polígono sombreado). Los valores son especialmente altos y en este caso coinciden con uno de los 3 huracanes más fuertes del período de estudio (Gunther, 1980). El potencial responsable de la intensidad es el dinámico, lo cual concuerda con el análisis mensual de Agosto.

Dentro del potencial dinámico vemos que el inverso del esfuerzo vertical del viento no presenta valores especialmente grandes, mientras que la vorticidad relativa sí; de aquí que podamos atribuir buena parte de la intensidad a este último parámetro.

En cuanto a la ubicación del fenómeno tenemos que la parte dinámica no se ajusta tan bien como el potencial térmico. Este último no tiene valores extraordinarios (basandose en el promedio mensual), pero muestra con mucha precisión la zona de generación real del huracán. En particular el gradiente de la temperatura potencial equivalente que presenta un punto con valores muy altos en el área (Fig. 24b), por lo que podemos decir que este parámetro es determinante en la ubicación. El cambio abrupto que sufren los valores en la horizontal resulta común para todas las perturbaciones.

En la parte "B" de este capítulo se describe brevemente la penetración de vientos superficiales desde el Sur hacia el continente durante Agosto, generando un "canal" a cuyos lados los valores de viento son cero o muy cercanos a cero; en el caso del potencial dinámico durante el huracán FEFA, podemos observar que el máximo coincide con la parte derecha de dicho canal. Así mismo, es notable que los parámetros térmicos coincidan con el flujo mismo de viento. Considerando que este

flujo está arrastrando gran cantidad de calor latente y sensible entonces es de esperar el resultado que se obtiene de la parte térmica.

**CAPITULO -V-**

**CONCLUSIONES.**

**RECOMENDACIONES.**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

### CONCLUSIONES.

- 1.- El potencial de génesis estacional marca la zona de mayor ocurrencia como se esperaba. El resultado coincide con lo obtenido por Gray en 1978 aunque con pequeñas diferencias, debidas primordialmente a que se usan datos de 5 meses (un solo verano), a las modificaciones en el método de Gray y al suavizado en las gráficas. La zona que se encuentra en este trabajo aparece más restringida.
- 2.- El área de potencial de génesis estacional está restringida por el potencial dinámico, que a su vez está definido por la vorticidad relativa. El Potencial térmico actúa desplazando el resultado hacia el Sur. En general el potencial de génesis resulta concordante con la circulación monzónica de la región.
- 3.- El potencial de génesis en el Océano Pacífico Mexicano es mucho más intenso que en el Golfo de México y el área que se cubre del Caribe.
- 4.- En el análisis mensual aparece Agosto como el mes con valores más altos, ésto concuerda con las estadísticas de generación de ciclones tropicales de la zona y con lo mencionado en las referencias bibliográficas.

- 5.- La ubicación de la zona de alto potencial de génesis se desplaza con dirección WNW durante los primeros 4 meses, partiendo del punto de inicio en Mayo, hasta Agosto; después se translada al Este en Septiembre hasta llegar a su posición final al Sur del Golfo de Tehuantepec.
- 6.- El mes donde se ve mayor influencia del potencial dinámico es en Agosto, y del potencial térmico en Julio.
- 7.- El método usado aquí no tiene resultados 100% satisfactorios. Se ajusta relativamente bien en 8 de los 10 casos en cuanto a la determinación de la ubicación de fenómenos, lo que hace un 80%. En relación con la intensidad de los mismos es muy variable. Se puede usar con reservas y con ayuda de otros métodos.
- 8.- Los casos de ciclones en donde el método de Gray modificado no se ajusta evidencian la existencia de parámetros que no se están tomando en cuenta, los cuales podrían estar relacionados con las características orográficas de la región o con condiciones de mayor escala, entre otros.
- 9.- Los parámetros que pudieran en un momento dado usarse como índices son la vorticidad relativa en los 850 mb y el gradiente de la temperatura potencial equivalente entre 500 mb y 1000 mb. Los problemas básicos que presentan es la dificultad de calcularlos en tiempo real por las limitantes implicadas en la obtención de datos y que dan como resultado áreas muy extensas.

### RECOMENDACIONES.

- 1.- Realizar el estudio para un área más amplia que cubra parte del Océano Atlántico, el Golfo de México y el Caribe para poder hacer comparaciones con la zona del Pacífico.
- 2.- Realizar el estudio usando datos de otros años para determinar si el método de este trabajo es válido y corroborar su utilidad.
- 3.- Analizar diferentes períodos de tiempo antes, durante y después de cada perturbación para ubicar diferencias.
- 4.- Comparar los resultados del potencial de génesis con fenómenos tales como: ondas del Este, desplazamiento de la zona intertropical de convergencia, oscilaciones de diferentes frecuencias, etc., para buscar posibles correlaciones.
- 5.- Generar proyectos de investigación que profundicen en las condiciones necesarias para la generación de ciclones tropicales de ésta zona en particular, así como de las condiciones inhibitoras o amortiguadoras, para llegar a un mejor entendimiento de los fenómenos.

**BIBLIOGRAFIA.**

**BIBLIOGRAFIA.-**

- Battan, L. J. (1961). **"The Nature Of Violent Storms"**. Physics and the weather.- Science study series. Anchor Books Doubleday & Company, Inc. Garden City, New York. U. S. A. p. 158.
- Bengtsson, L., M. Kanamitsu, P. Kalberg & S. Upalla. (1982). **"FGGE 4-dimensional data asimilation at ECMWF"**. Bull. Amer. Meteor. Soc. Vol 63. pp 29-43.
- Charney, J. G. & A. Eliassen. (1963). **"On the growth of the hurricane depression"**. Jour. Atmos. Sci. Vol. 21. pp. 68-75.
- Emanuel, K. E. & R. Rotunno. (1987). **"An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part II: evolutionary study using a nonhydrostatic axisymmetric numerical model"**. Jour. Atmos. Sci. Vol. 44, N° 3. pp. 524-561.
- FGGE Data Catalogue. (1982). **"First GARP Global Experiment (FGGE) Data Catalogue"**. Environmental Data and Information Service. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) U. S. Department of Comerce. U. S. A. p. 90.
- García, L. J. J. & Reyes S. (1985). **"Promedios mensuales del lugar y tiempo de origen de las perturbaciones tropicales en el Océano Pacífico Oriental"**. Reporte Técnico. CICESE, México. p. 23.

- Gray, W. M. (1968). "Global view of the origin of tropical disturbances and storms". Mon. Wea. Rev. Vol. 96, N° 10. pp. 669-700.
- Gray, W. M. (1978). "Hurricanes: Their Formation, Structure And Likely Role In The Tropical Circulation". Tomado de: Meteorology Over the Tropical Oceans. The Royal Meteorology Society. U.K. 278 p. pp 155-218.
- Gunther, E. B. (1980). "Eastern North Pacific tropical cyclones of 1979". Mon. Wea. Rev. Vol 108, May 1980. pp 631-641.
- Haurwitz, B. & J. M. Austin. (1944). "Climatology". 1<sup>st</sup> edition, 3<sup>th</sup> - impression. 1944. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, U. S. A. p. 409.
- Holton, J. R. (1979). "An Introduction To Dynamic Meteorology". 2<sup>nd</sup> Edition. International Geophysics Series. Vol 23. Academic Press, Inc. NY, USA. p. 391
- Kurihara, Y. & R. E. Tuleya. (1981). "A numerical simulation study on the genesis of a tropical storm". Mon. Wea. Rev. Vol. 109, N° 8. pp. 1629-1653.
- Miller, A. & R. Anthes. (1980). "Meteorology". 4<sup>a</sup> Edición. Charles E. Merrill Pub. Co. p. 170.

- Newman, Ch. J. (1979). "A guide to Atlantic and Eastern Pacific models for the prediction of tropical cyclone motion". National Hurricane Center. (NOAA/National Weather Service). Department of Commerce. Miami, Florida. U. S. A. p. 26.
- Nicholls, N. (1985). "Predictability of interannual variations of Australian seasonal tropical cyclon activity". Mon. Wea. Rev. Vol 113. Jul 1985. pp. 1144-1149.
- Nieuwolt, S. (1977). "Tropical Climatology. An Introduction to the Climates of Low Latitudes". John Wiley & Sons. London, 1977. p. 207
- Palmén, E. & C. W. Newton. (1969) "Atmospheric Circulation Systems: Their Structure And Physical Interpretation". International Geophysics Series. Vol 13. Academic Press. New York, U. S. A., p. 603.
- Reyes, S., Grupo de Meteorología. (1980b). "Plan operativo del CICESE durante El Primer Experimento Mundial Del Tiempo, FGGE-GARP.1979". Reporte técnico, CICESE. México. p. 94.
- Reyes, S., T. N. Krishnamurti, O. E. Ramírez S. (1980a). "Meteorology of Central America and México". MECEMEX 1981-1987. Reporte técnico, CICESE. México. p. 27.

- Reyes, S. (1985). "Apuntes del curso de Meteorología. Interacción Océano-Atmósfera". Revisión Otoño de 1985. CICESE, México. p. 82.
- Reyes, S., D. Villalobos, R. Hasimoto & J. García. (1985b). "Analysis of the III-b FGGE data set over the Tropical Americas". Technical Report. CICESE, México. p.29
- Reyes, S. & D. L. Cadet. (1988). "The Southwest branch of the Northamerican Monsoon during the Summer 1979". Mon. Wea. Rev. Vol 116. pp. 1175-1187.
- Reyes, S., J. García, E. García & A. Sanchez. (1985a). "Características meteorológicas de las tormentas y marejadas observadas en el Puerto de Ensenada, B. C. de 1978 a 1983". Reporte Técnico. CICESE, México. p. 29.
- Reyes, S. & A. Mejía T. (1991). "Tropical perturbations in the Eastern Pacific and the precipitation field over North-Western Mexico in relation to the ENSO phenomenon". International Jour. of Climatology., July-August 1991. Vol. 11, pp. 515-528.
- Rivera, V. (1985). "Evolución De Los Campos De Viento, Divergencia Y Vorticidad Sobre La Región Tropical De América Durante El Período De Mayo A Septiembre De 1979". Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC.

- Sadler, J. C. (1964). "Tropical cyclones of the Eastern North Pacific as revealed by TIROS observations". Jour. App. Met. Vol. 3, N° 4. pp.347-366.
- Tuleya, R. E. (1988). "A numerical study of the genesis of tropical storms observed during the FGGE year". Mon. Wea. Rev. Vol. 116. pp. 1188-1206.
- Zender, J. A. & R. L. Gall. (1991). "On a mechanism for orographic triggering of tropical cyclones in the Eastern North Pacific". Tellus (1991), 43A. pp. 25-36.