

LOS SISTEMAS DE TIEMPO EN EL GOLFO DE MÉXICO Y SU VECINDAD

Por *Ernesto Jáuregui Ostos* *

RESUMEN

Las invasiones de aire polar en el Golfo de México han aumentado su frecuencia e intensidad debido a cambios en la circulación general ocurridos a partir de la década de los años sesenta. El resultado ha sido un decrecimiento de la temperatura y un incremento de las lluvias invernales. La principal estación de lluvias, centrada en el semestre de verano, está relacionada con la llegada, al área, de la corriente tropical de los alisios húmedos con su constelación de perturbaciones.

SUMMARY

A description is made of the principal weather systems that affect the region of the Gulf of Mexico and its adjacent Mexican coastal areas. During the semester centered in winter cold polar outbreaks visit the area producing a secondary rainy season in this period. As a result of change in the general circulation during the 60's the frequency and intensity of 'Northers' has appreciably increased; as a result winter rainfall has augmented and corresponding temperatures have fallen in the area during the last decade. The main rainy season is centered in the summer when hurricanes and other tropical disturbances are the main rain-producing systems.

I. INTRODUCCIÓN

La primera expedición de europeos que penetró en el Golfo de México fue la realizada por el español Francisco Hernández de Córdoba quien, zarpando de La Habana en 1517, arribó primero a Isla Mujeres, de ahí siguió al cabo Catoche en el extremo noreste de Yucatán, después desembarcó en Campeche (Kin Pech) y, finalmente, tomó rumbo al norte hacia la península de Florida, para regresar nuevamente a La Habana. Los viajes posteriores

al Golfo, que después se llamaría de México, consistieron en exploraciones costeras que se iniciaron por el arco sur; así, Juan de Grijalba llega desde Yucatán hasta el cabo Rojo, en el norte del Estado de Veracruz, en octubre de 1518. Un año después, Alfonso Álvarez de Pinedo, costeando hacia el oeste desde la Florida, llega a la costa norte de Veracruz. Así quedó concluida en 1519 la exploración de casi todo el perímetro del Golfo. Fue precisamente Álvarez de Pinedo quien trazó las primeras cartas marítimas del Golfo de México.

El Golfo tiene forma ovalada, y es una pro-

* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

longación del Océano Atlántico; por el norte lo limitan las costas de los estados americanos de Texas, Luisiana, Misisipí y Alabama; el límite oriental lo forman la península de Florida y el extremo poniente de la isla de Cuba; mientras el canal de Yucatán (de unos 200 km de ancho) une las aguas del Golfo con el mar Caribe, el estrecho de Florida, de anchura semejante, lo hace con las del Atlántico. Por el sur el Golfo queda limitado por las costas de Yucatán, Campeche y Tabasco, y por el poniente lo está por las costas de Veracruz y Tamaulipas.

En su dimensión mayor, de este-noreste a oeste-suroeste, el Golfo tiene una extensión de unos 1 700 km (entre Tuxpan y Tampa) en tanto que de norte a sur su dimensión mayor es de unos 1 200 km (de Coatzacoalcos a Galveston). El área total cubierta por las aguas del Golfo es de 1.6 millones de km² aproximadamente. Para ser un mar casi rodeado de tierra, el Golfo es bastante profundo. La mayor profundidad (de más de 4 000 m) se encuentra a unos 300 km frente a Soto La Marina, y casi toda la zona central tiene más de 3 000 m de profundidad; frente a Yucatán y Florida los plataformas continentales tienen extensiones de más de 200 km.

Las aguas tibias del Golfo provienen de una corriente que entra del mar Caribe por el canal de Yucatán y se desplaza lentamente en un vórtice que gira en el sentido de las manecillas del reloj. Al acercarse al estrecho de Florida la corriente se acelera (a unas 4 millas por hora), para formar la llamada corriente del Golfo que se dirige al Atlántico del Norte.

Toda la costa estadounidense del Golfo es de planicies muy extensas que rematan en el mar, generalmente en pantanos y lagunas litorales. Esta planicie comienza a angostarse en Tamaulipas y alcanza su mayor estrechamiento al norte del puerto de Veracruz. De este punto y hasta Yucatán la planicie costera aumenta continuamente en anchura.

La vegetación varía de selva tropical húmeda, en el sur (en Tabasco), a sabana subtropical hacia el norte. La fauna destaca por la abundancia de insectos, reptiles y aves.

Algunos de los grandes ríos que drenan en el Golfo son el Misisipí, el Brazos y el Nueces en los Estados Unidos; el Bravo, el Pánuco, el Papaloapan y el Grijalva, en México. De-

bido a la naturaleza pantanosa o de playas tendidas y abiertas de la costa, no existen en el Golfo bahías naturales y los puertos se encuentran, generalmente, tierra adentro, sobre la margen de los ríos (como en Tampico, Nueva Orleans y Tuxpan) o en islas costeras (como Galveston y C. del Carmen).

Con frecuencia prevalecen condiciones atmosféricas de buen tiempo, con mar tranquilo, que permiten la navegación y la pesca en el Golfo. Por otra parte, pueden ocurrir en cualquier época del año tormentas, ciclones y, en general, condiciones de mal tiempo que ocasionan daños considerables en las costas y a las embarcaciones.

En este trabajo se hace una descripción de los sistemas de tiempo que regulan el clima de la región del Golfo y su vecindad.

II. EL CLIMA Y LAS CORRIENTES ATMOSFÉRICAS PLANETARIAS

Por estar localizada en gran parte en los trópicos, el clima del área del Golfo de México y su vertiente mexicana es, principalmente, cálido húmedo (tipo A de Köppen). En la vertiente mexicana y hacia el norte del trópico de Cáncer el clima se vuelve templado subhúmedo (tipo C) y semiárido (BS).

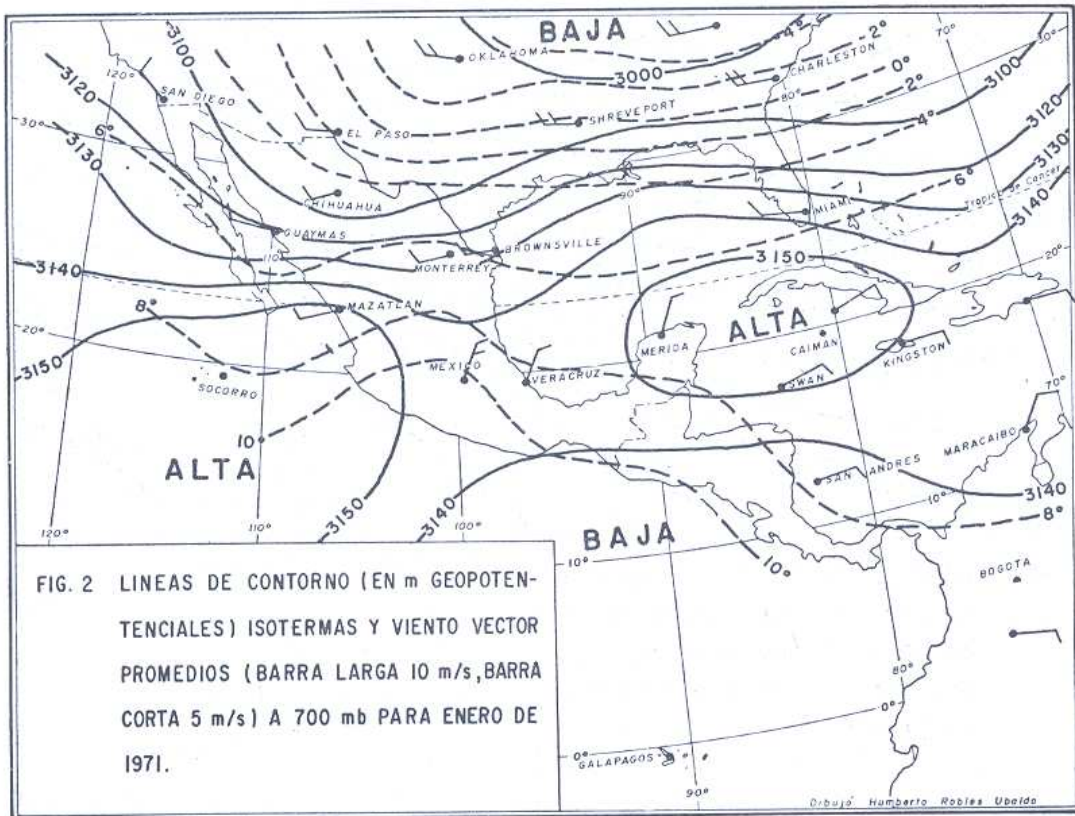
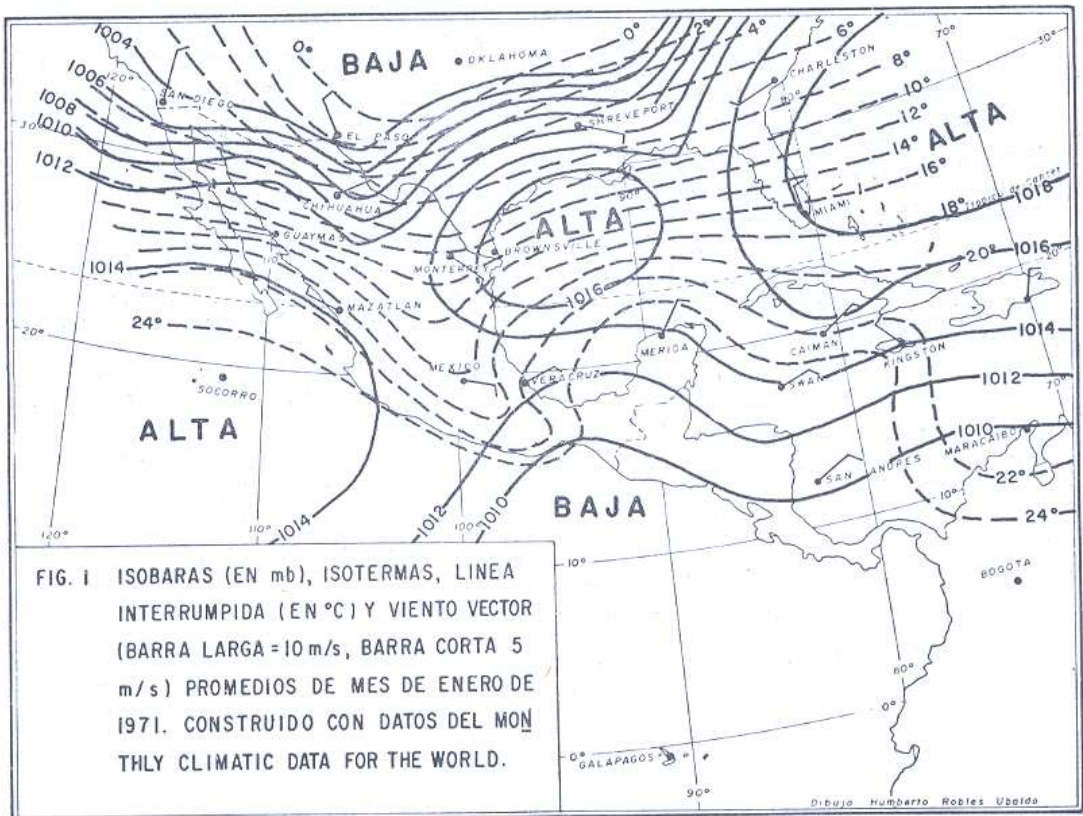
Las corrientes planetarias que determinan el clima en la vertiente del Golfo de México son:

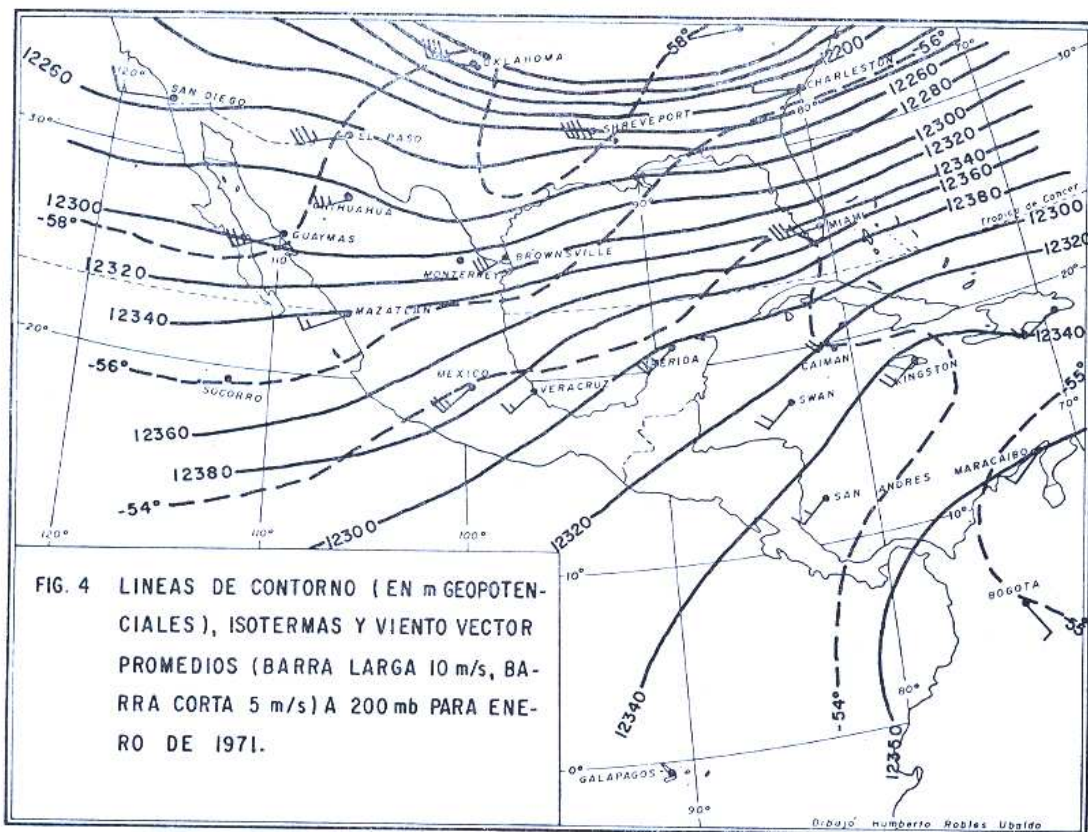
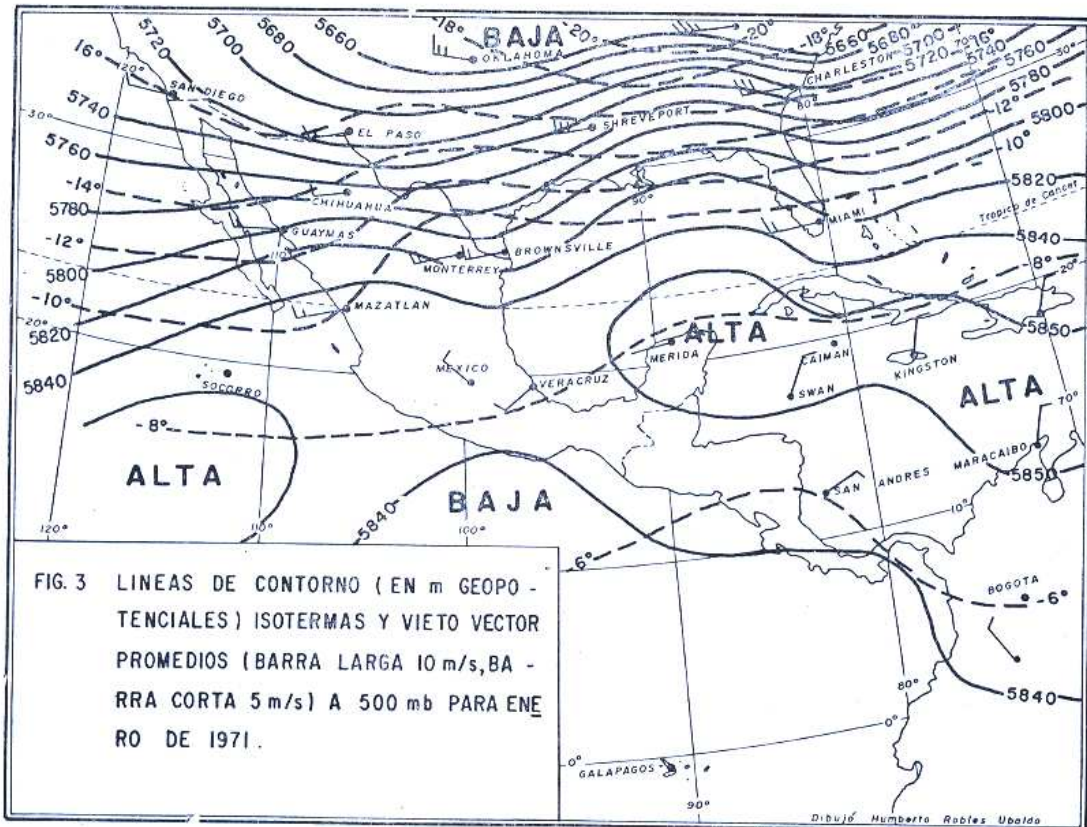
a) La corriente de vientos del Oeste, que en los meses de invierno y primavera se manifiesta en forma de desprendimientos de aire polar modificado que barren toda el área en estudio, produciendo lluvias de origen frontal cuando en la planicie costera el aire frío desplaza a la masa de aire tropical, y orográfico cuando el aire polar húmedo asciende por las costas orientales de la Sierra Madre.

b) Los vientos alisios húmedos que dan origen a la estación principal de lluvias (de mayo a octubre), cuya intensidad está determinada por la posición y grado de desarrollo del anticiclón semipermanente del Atlántico Norte.

1. *Las invasiones de aire polar*

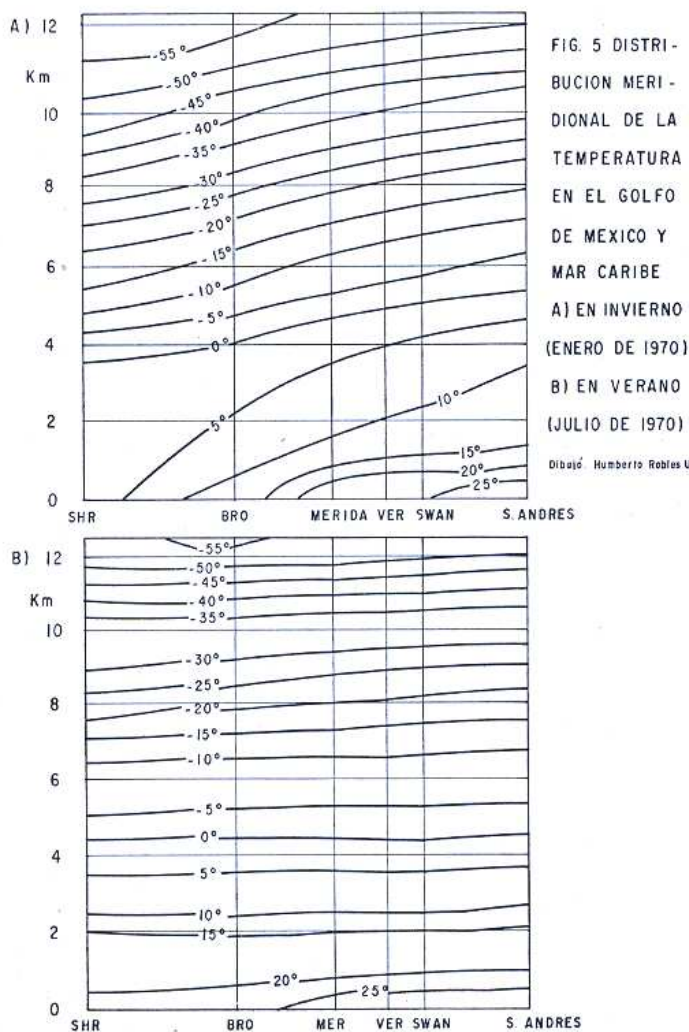
Durante el invierno la región del Golfo de México se encuentra bajo la influencia de los





vientos del Oeste. La porción media de la corriente de vientos de máxima (*jet stream*) se encuentra, entonces, en el norte del Golfo, según una línea este-noreste-oeste-suroeste que pasa entre Matamoros y Charleston, E.U. Con excepción de la porción situada al sur del trópico de Cáncer y en los niveles abajo de 700 mb (unos 3 000 m) en donde dominan vientos del Este, el flujo de vientos del Oeste-suroeste, o suroeste, predomina en toda el área en estudio, y en todos los niveles hasta la parte alta de la troposfera (Figs. 1, 2, 3 y 4). En un mes frío como enero, la presión de superficie es mayor en el centro del Golfo, y decrece tanto hacia América del Norte como hacia Centroamérica; esto significa que en los niveles bajos y hasta los 5 km de altura (500 mb) el eje Este-Oeste del anticiclón del Atlántico Norte se localiza en una línea que va de Tam-

pico a Miami (Fig. 2). La curvatura anticiclónica del flujo por abajo de los 5 km determina, así, movimientos descendentes sobre toda el área del Golfo. En los niveles de la troposfera alta prevalece el flujo del Oeste-suroeste, o suroeste, que tiene su origen en la región ecuatorial del Pacífico oriental y que restituye el flujo descendente de los niveles medios y bajos en el Golfo, según puede apreciarse en la Fig. 4. Al mismo tiempo que prevalecen estas condiciones de flujo anticiclónico, en todos los niveles de la troposfera se advierte sobre el área un gradiente meridional, muy marcado, de la temperatura (Figs. 1 a 4). La diferencia de temperaturas entre N. Orleáns y Mérida es, en enero, de 18° en la superficie y de 4° en la alta troposfera, lo que indica que los contrastes térmicos meridionales en el Golfo son más acentuados en los niveles inferiores,



sobre todo por abajo de los 1 500 a los 2 500 m, que es la profundidad más frecuente de las masas de aire fresco que invaden el área en estudio. En la Fig. 5 se aprecia, en corte, el gradiente meridional de temperatura en enero y julio.

Estas invasiones de aire frío en el Golfo se originan en ciclones extratropicales que se intensifican al este de las montañas Rocallosas cuando una vaguada en la altura concurre con aire polar del Pacífico. En una situación típica el ciclón del este de las Rocallosas se intensifica teniendo detrás, y en dirección noroeste, una amplia zona de alta presión que se extiende hasta el Canadá. A medida que el ciclón se desplaza hacia el noreste el aire frío del anticiclón de Canadá empuja hacia el sur, iniciando su recorrido por Texas, hasta llegar a los límites boreales del Golfo de México. En estas condiciones la vaguada en la altura se vuelve más accentuada, aumentando la amplitud de la onda al mismo tiempo que la presencia de la corriente de chorro refuerza las posibilidades de intensificación (Riehl, 1965). Así, el aire tropical marítimo, que llega al Golfo por la circulación del anticiclón del Atlántico, se encuentra con la masa de aire polar continental formando un frente que va, en un amplio arco, de la costa de Texas hacia la costa atlántica de los Estados Unidos. Mientras más contrastantes sean las corrientes concurrentes de aire tropical y polar, mayor intensificación acusará el frente que iniciará, así, su recorrido hacia el sur barriendo todo el Golfo de México. Klaus (1974) señala que los ciclones de Alberta (en el oeste del Canadá) no llegan a las latitudes tropicales tan frecuentemente como los que tienen su origen en la región del Colorado; tanto este autor como Riehl (op cit. pág. 157) presentan casos típicos de intensificación de ciclones del este de las Rocallosas, que se extendieron hasta los trópicos invadiendo el Golfo de México.

1. Los nortes. Antecedentes

En el pasado, el fenómeno de los nortes ha sido estudiado por diversos autores. A principios de siglo el meteorólogo José Guzmán (1904) estableció algunas características de una situación de norte, tales como el descenso de presión y el aumento de temperatura en las costas del Golfo, al mismo tiempo que se desarrolla un ciclón al este de las Rocallosas.

Posteriormente, E. López (1917a, 1917b, 1921, 1922) estudió los diversos tipos de norte señalando que, mientras más al oeste entra el anticiclón a México, más intenso es el norte sobre el Golfo y más abundantes son las nevadas y las heladas sobre la Altiplanicie.

Otros meteorólogos, como R. Lucio (1929) y Domínguez (1940), han intentado caracterizar diversos tipos de nortes en el Golfo, según la posición e intensidad de los centros de alta y de baja presión en la vecindad del área en estudio. Desde luego, estos intentos estuvieron limitados por la ausencia de datos acerca de las capas superiores de la atmósfera, ya que se realizaron cuando en la región todavía no se hacían observaciones por medio de radiosondeos.

Posteriormente, el alemán W. Portig (1958) examinó la evolución de una situación de "norte" que, cruzando el Golfo de México, llegó hasta Centroamérica en donde originó cambios en la humedad y temperatura. Valiéndose de las observaciones de viento en la altura, el autor mencionado determinó la profundidad de la masa de aire polar en El Salvador (unos 2 000 a 2 500 m), observándose ahí velocidades del norte de hasta 90 nudos (167 km/h) a 1 800 m.

Basándose en la posición de los frentes fríos superficiales que cruzan el Golfo de México, el autor de este estudio (Jáuregui, 1958, 1971) encontró que la frecuencia mensual de las situaciones de norte, para el periodo 1919-1938

Tabla 1

FRECUENCIA MEDIA DE LOS NORTES EN EL GOLFO DE MÉXICO (AL SUR DE VERACRUZ) PARA EL PERIODO 1919-1938 (Jáuregui, 1958, 1971)

<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>
6.2	5.5	5.6	3.8	2.5	0.5	0.1	0.1	1.0	6.3	7.4	6.8

fue mayor de 5 en los meses de octubre a marzo, siendo máxima a la mitad de la estación fría (tabla I). Algunos de los frentes pierden velocidad una vez que se han desplazado más allá de la mitad de su recorrido sobre el Golfo, volviéndose en ocasiones estacionarios, para después disolverse, sobre todo al finalizar la estación fría, lo que tendería a dar frecuencias más altas que las reales en dicha época.

Utilizando un periodo mayor (de 1899-60) Klaus (1974) obtiene frecuencias de norte algo mayores, al incluir, también, frentes que cruzaron el Golfo, pero que no tocaron la costa.

En un trabajo sobre el tiempo invernal en México, Hill (1969) encontró que, en el periodo examinado, de 5 años, estas masas de aire frío que barren la cuenca del Golfo son, generalmente, lo bastante profundas para que se desborden sobre la Altiplanicie, y sólo en un 20% de los casos el aire frío se desplaza por el Golfo ocupando solamente los niveles por abajo de los 1 500 a 2 000 m.

2. Variaciones en la frecuencia de los nortes

Otra peculiaridad de los "nortes" es la variación de su frecuencia, observada a partir de los años veinte. Durante dicha década los nortes fueron más frecuentes, para luego disminuir al principiar la década de los años cincuenta. En los años sesenta las invasiones de aire polar han aumentado nuevamente su frecuencia (Jáuregui 1971). Estas variaciones de la frecuencia están relacionadas con el grado de intensidad de la corriente zonal del oeste en las latitudes medias (Bradbury, 1958), que se examinarán más adelante.

3. Intensidad de los vientos del norte

Al mismo tiempo que ha aumentado la frecuencia de las invasiones de aire polar en el Golfo, a partir de los años sesenta se ha observado una intensificación creciente de los vientos máximos asociados a los "nortes", particu-

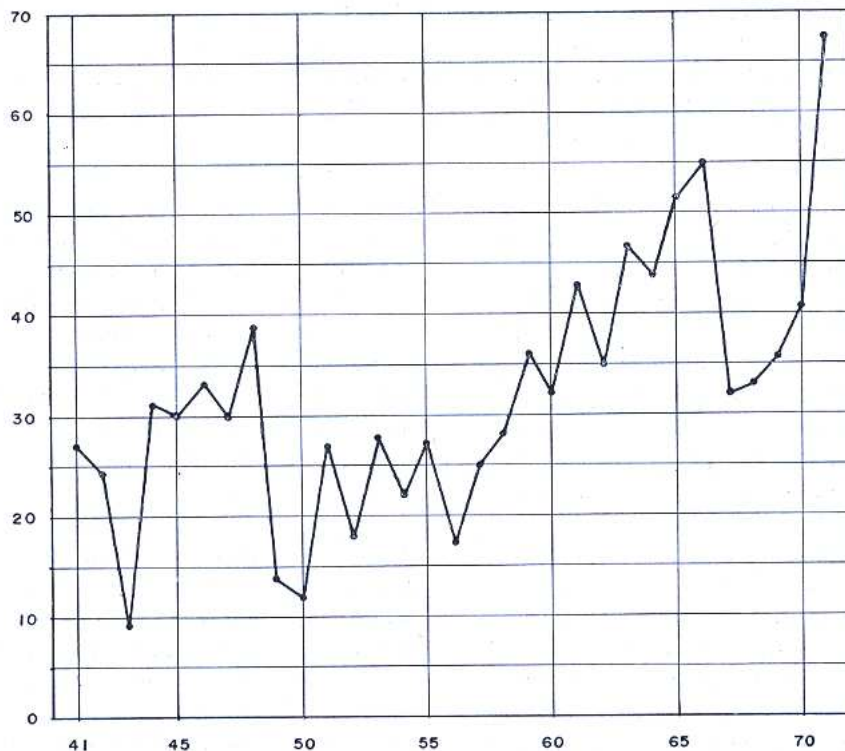
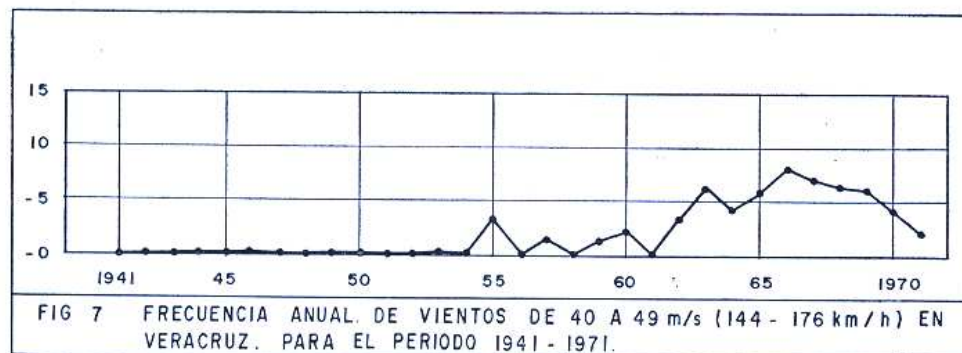
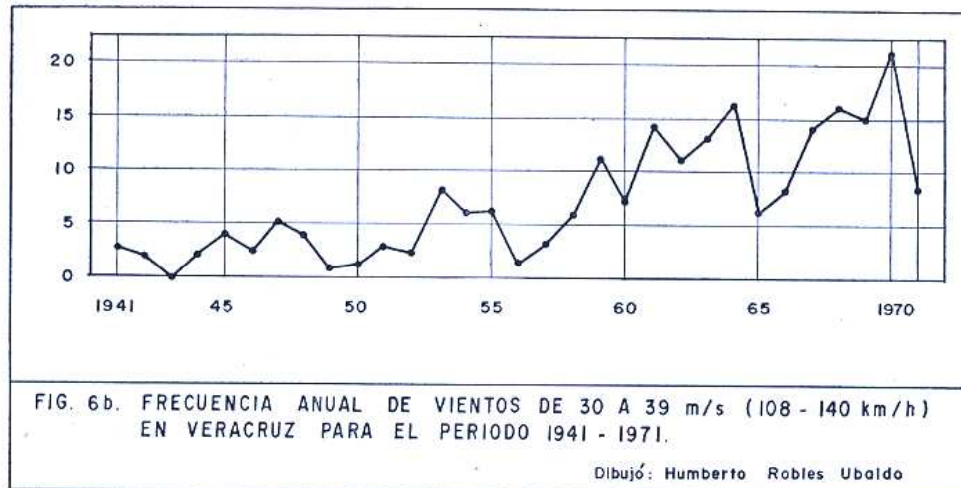


FIG. 6a. FRECUENCIA ANUAL DE LOS VIENTOS DE 20 A 29 m/s (72 á 105 km/h) EN VERACRUZ PARA EL PERIODO 1941 - 1971.

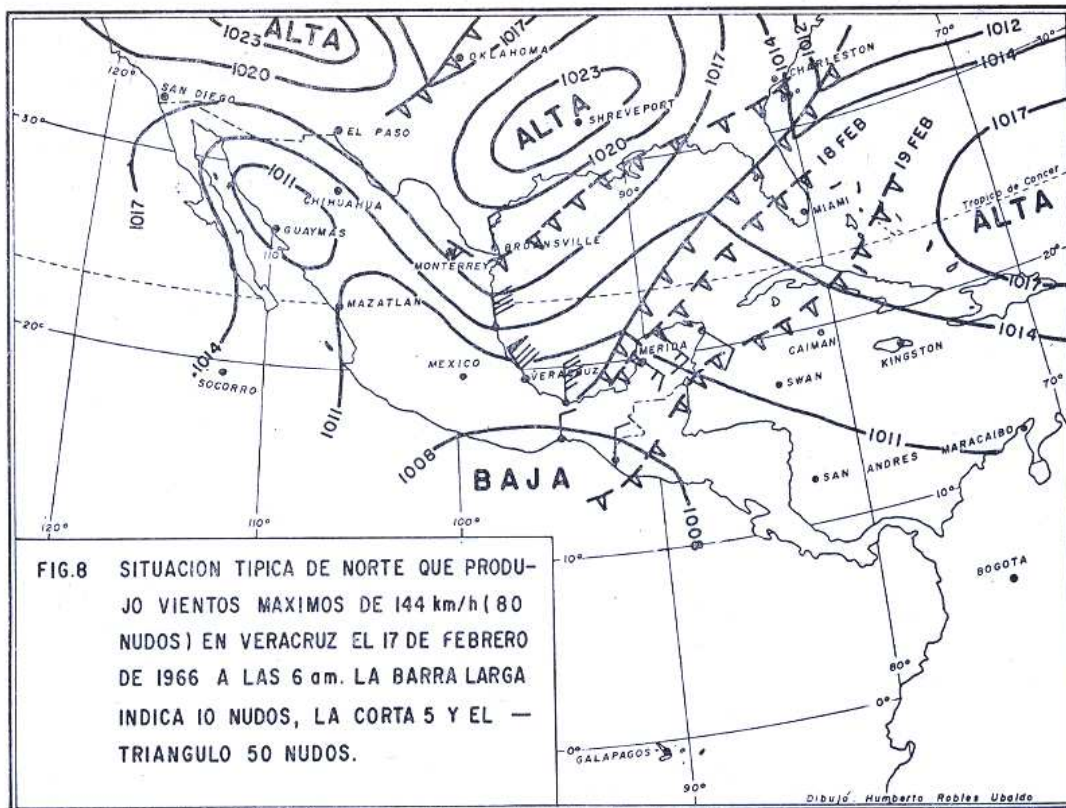
Dibujó: Humberto Robles Ubaldo



larmente en la porción sur del Golfo, como puede apreciarse en las Figs. 6 (a y b) que muestran la frecuencia de los vientos fuertes con dos categorías de intensidad (de 20 a 29 m/s y de 30 a 39 m/s), para Veracruz, durante los últimos 30 años. En estas gráficas se evidencia que, de la década de los sesenta y hasta la fecha, los vientos violentos han aumentado su frecuencia en casi un 100% con respecto a la que tenían en los años cuarenta y cincuenta. Esta misma tendencia se observa en vientos huracanados mayores de 144 km/h, como se advierte en la Fig. 7 en la que aparecen las frecuencias de vientos hasta de 176 km/h. Según los registros del anemómetro de Veracruz, estos vientos no se observaron en el periodo anterior a 1954. Conviene hacer la aclaración de que el mencionado instrumento está diseñado para registrar velocidades de hasta 50 m/s (176 km/h), por lo que los vientos mayores de este valor, que sin duda han ocur-

rido en Veracruz, sólo han podido estimarse extrapolando linealmente, hacia arriba de la gráfica, el trazo de la aguja registradora. Si bien el método no permite mucha precisión, sí da una idea de la intensidad de las rachas según el grado de alejamiento del trazo de la aguja inscriptora, por arriba de la velocidad límite, de 50 m/s, del aparato.

Ante esta singularidad, ocurre preguntarse si la intensificación creciente de los vientos del Norte, observada en los últimos años en Veracruz, es un fenómeno característico solamente de este rincón del Golfo o, lo que es más probable, si la tendencia se observa en un área más extensa que abarca toda la zona de influencia de las invasiones de aire frío en el Golfo de México. En todo caso, si últimamente se ha observado un incremento en la frecuencia de las masas de aire polar en el Golfo, es lógico esperar que el aumento se refleje en una intensificación creciente de los vientos asocia-



dos al aire frío. Inversamente, los años con baja frecuencia de aire polar se caracterizarían por menor violencia de los vientos del Norte. En un trabajo próximo se examinará con detalle este problema.

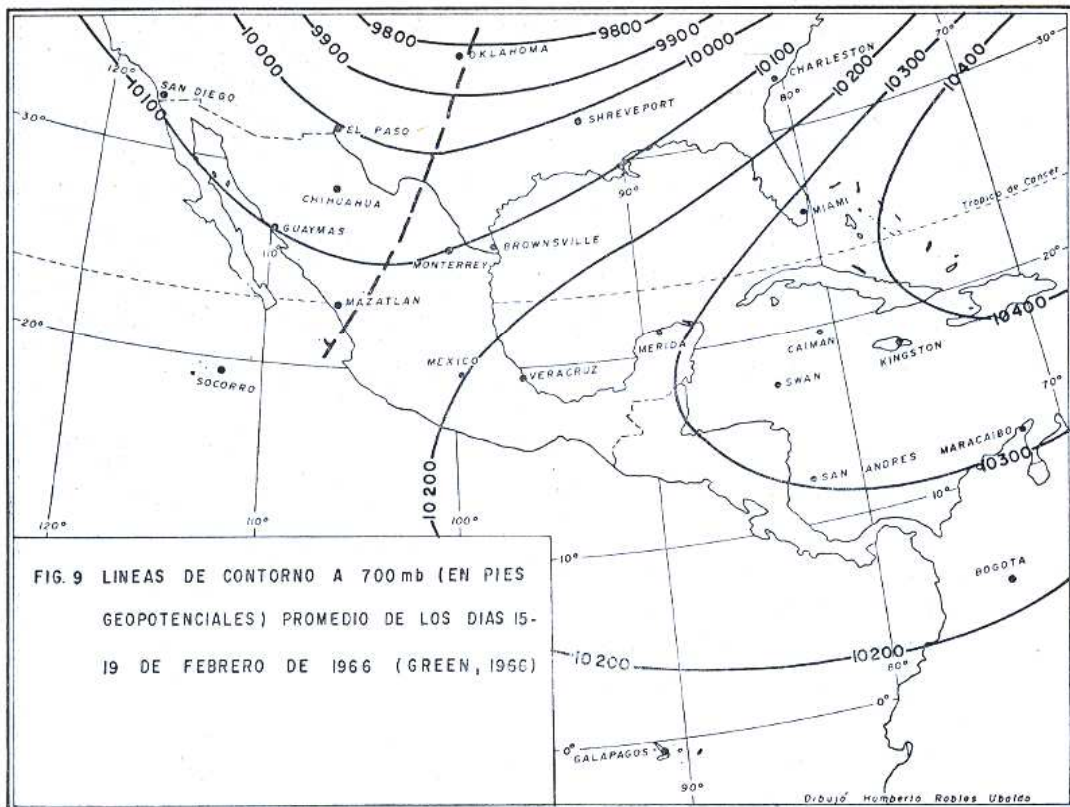
4. Desplazamiento del frente polar en el Golfo

En la Fig. 8 se muestra una situación típica de una invasión de aire polar sobre el Golfo. El frente había llegado a Coatzacoalcos el 17 de febrero de 1966, a las 6 a. m., aunque todavía no tocaba costas de Yucatán. Veinticuatro horas antes (el 16 de febrero) el frente de la masa de aire frío se encontraba en Matamoros, lo que significa que la velocidad de desplazamiento fue de unos 900 km/24 h, o 37 km/h. En este caso la velocidad de desplazamiento es menor que la intensidad de los vientos. Es el tipo de norte que Klaus (1974) denomina catafrente, que se caracteriza por tener poca profundidad. En estos tipos de frentes, aun cuando en la altura los vientos soplan a través de las isotermas de aire más frío a las de más

tibio, en los niveles bajos el enfriamiento no es marcado debido a que, simultáneamente, este aire polar sufre un descenso o subsidencia (Bjerkness, 1950); esta situación es característica de un frente que ha bajado a latitudes tropicales y que está en proceso de disolución.

Una vez que llegó a Coatzacoalcos, en las siguientes 24 horas el frente se desplazó a una velocidad mucho menor, cuando el anticiclón migratorio se corrió rápidamente hacia la costa este de los Estados Unidos, al mismo tiempo que se profundizaba el ciclón de Colorado al este de las Rocallosas. Al tercer día de su recorrido inicial a través del Golfo, el frente se encontraba ya en Centroamérica, según una línea que iba de Guatemala a la isla de Cuba.

En la misma Fig. 8 se puede advertir que en una situación típica de norte los vientos más intensos se observan en la costa suroeste del Golfo, entre Nautla y Coatzacoalcos, siendo máximos en Veracruz en donde el aire parece represarse con más fuerza, al recargarse contra los flancos orientales de la Sierra de Teziutlán cuyas estribaciones llegan, prácticamente, a la



costa, al norte de Veracruz. Entre esta Sierra y la de San Martín Tuxtla, al sureste del puerto, también sobre la costa se forma un corredor por donde, al pasar por dicho estrechamiento, el viento del Norte es más violento. Este mismo fenómeno se observa aun con mayor intensidad más hacia el sur, una vez que el norte ha llegado al Istmo de Tehuantepec y la masa de aire frío se desborda hacia el Océano Pacífico, principalmente a través de las partes bajas del Istmo.

5. La circulación en la altura

En la Fig. 9 se muestra la distribución media de las isohipsas de la superficie de 700 mb (unos 3 000 m de altura), para los días (del 15 al 19) en que ocurrió la invasión de aire polar descrita en la Fig. 8. La circulación a este nivel, sobre el Golfo, se caracteriza por un flujo de Oeste y suroeste, como resultado de una vaguada en el noroeste de México. En estas condiciones, el aire frío que se desplaza

en los niveles bajos, sobre el Golfo, tiene poca profundidad, ya que a 3 000 m los vientos han cambiado de dirección, para soplar con una componente del Sur. El flujo divergente en el Golfo se extiende, en este caso, a casi todos los niveles bajos y medios de la troposfera.

6. Profundidad de la advección de aire frío en el Golfo

En la Fig. 10 aparecen los sondeos de Veracruz, correspondientes a los días 17 y 18 de febrero. El día 17 aparece una inversión de temperatura en los niveles bajos (a unos 300 m). Como el sondeo se hizo por la tarde (a las 18 h) el calentamiento del sol elevó la base de la inversión, que por la mañana debió encontrarse al nivel del suelo. Al comparar el sondeo del día 17 con el de un día después se advierte que:

a) La base de la inversión descendió un centenar de metros, señalando la modificación gradual por advección del aire polar; esto sig-

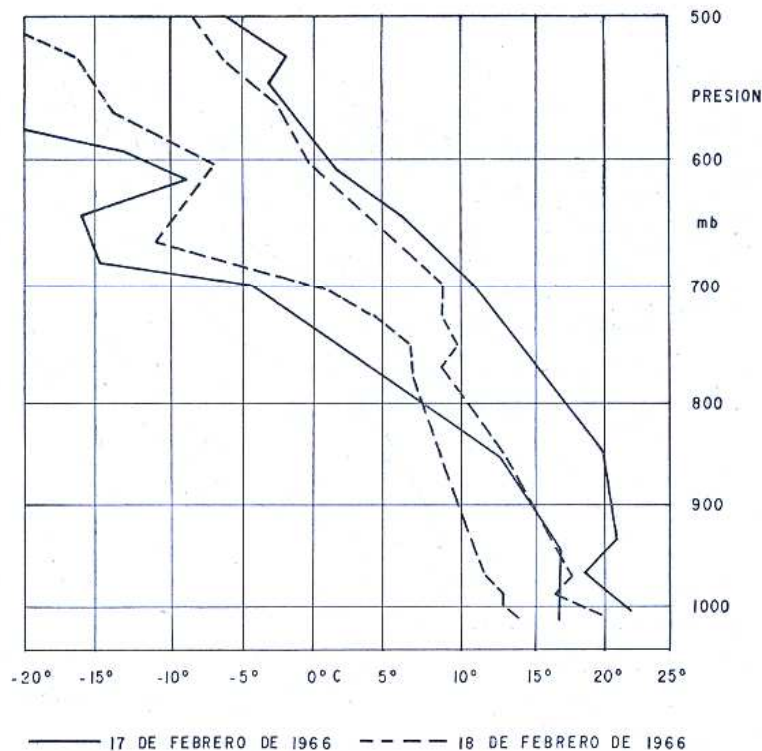


FIG. 10 RADIOSONDEOS DE VERACRUZ DE LOS DIAS 17 Y 18 DE FEBRERO DE 1966 A LAS 6 PM, MOSTRANDO EL ENFRIAMIENTO OCASIONAL POR LA INVASION DE AIRE POLAR HASTA LOS 700 mb (UNOS 3100 m) EN EL GOLFO DE MEXICO.

Dibujó Humberto Robles U

nifica que un día después el calentamiento de la capa de aire superficial afectó a una capa menos profunda del aire polar.

b) El enfriamiento en los niveles abajo de 400 m sólo fue de 2° a 3° en 24 h (debido al efecto de subsidencia ya mencionado).

c) En los niveles por arriba de la inversión superficial, hasta los 2.5 km, la advección de aire frío fue más marcada (unos 6°).

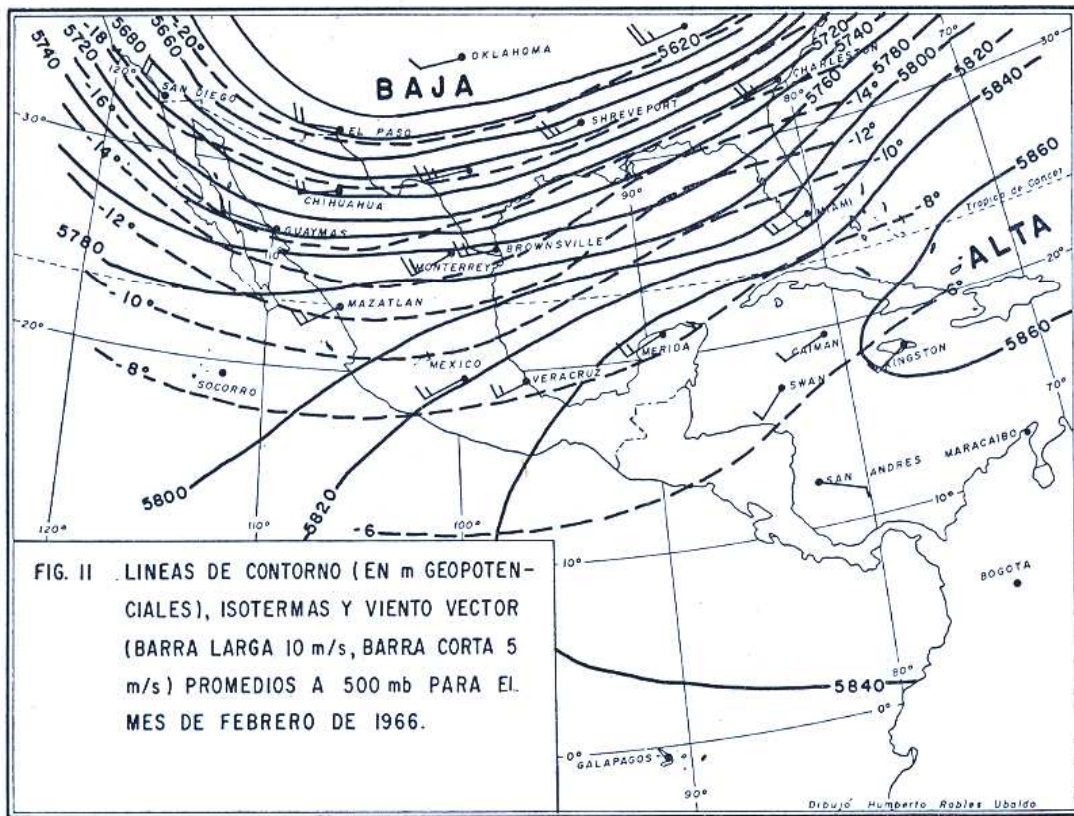
d) En la cima de esta capa, y hasta los 3 km, la subsidencia producida por el flujo anticiclónico se refleja en una capa casi isotérmica cuya base tiene bastante humedad (cerca de 90%), pero que se seca rápidamente hacia los niveles superiores. Esta humedad proveniente del flujo suroeste, abajo de 700 mb se resolvió en precipitaciones escasas en los flancos de la Sierra (Fig. 8), al encontrarse con el domo de aire frío en los niveles bajos.

e) Arriba de los 700 mb (unos 3 km) el enfriamiento es mínimo, ya que el flujo del

aire en estos niveles es del suroeste, es decir, del Pacífico sudoriental.

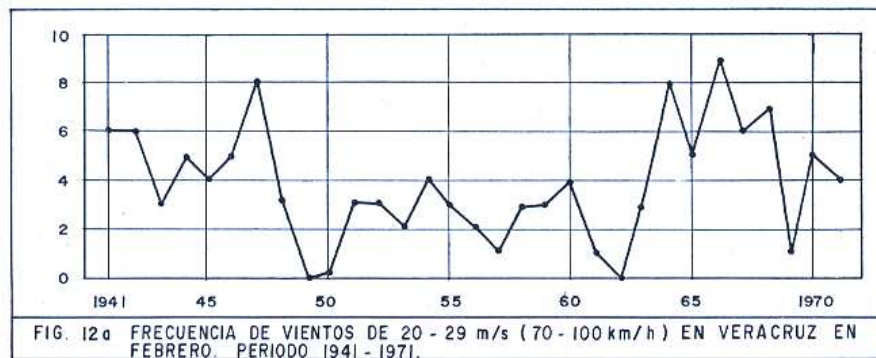
7. La circulación media en febrero de 1966, en el Golfo de México

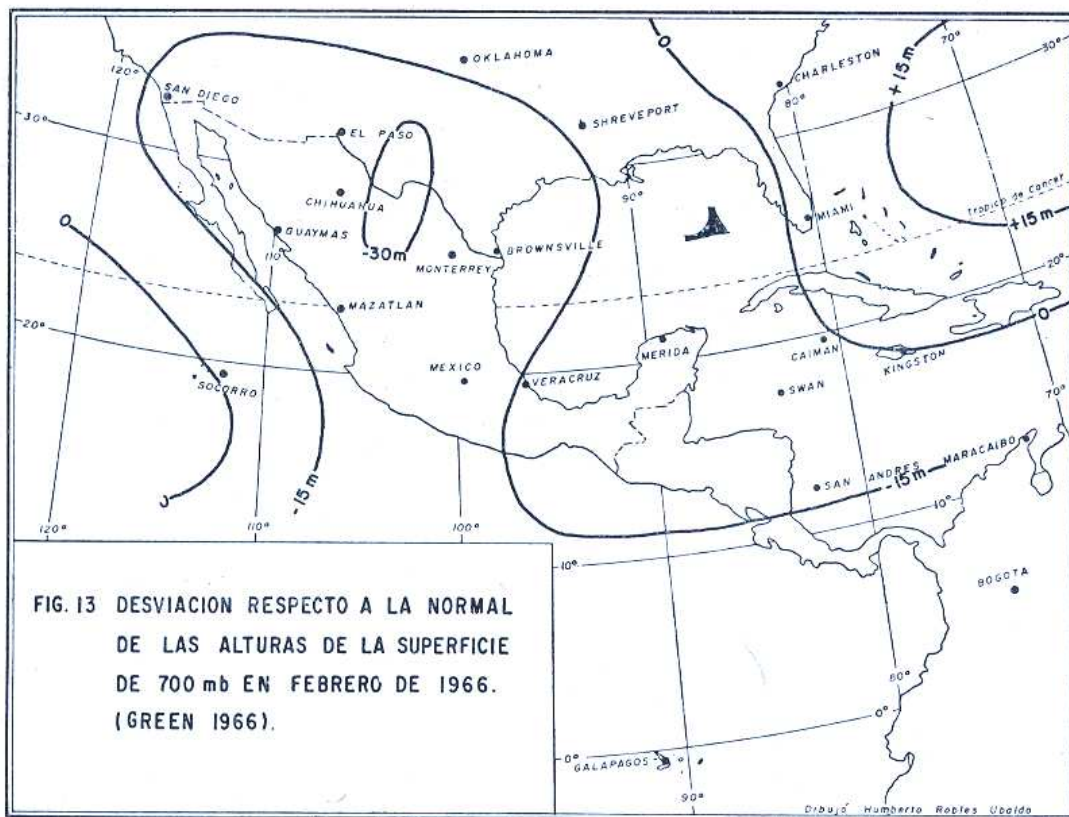
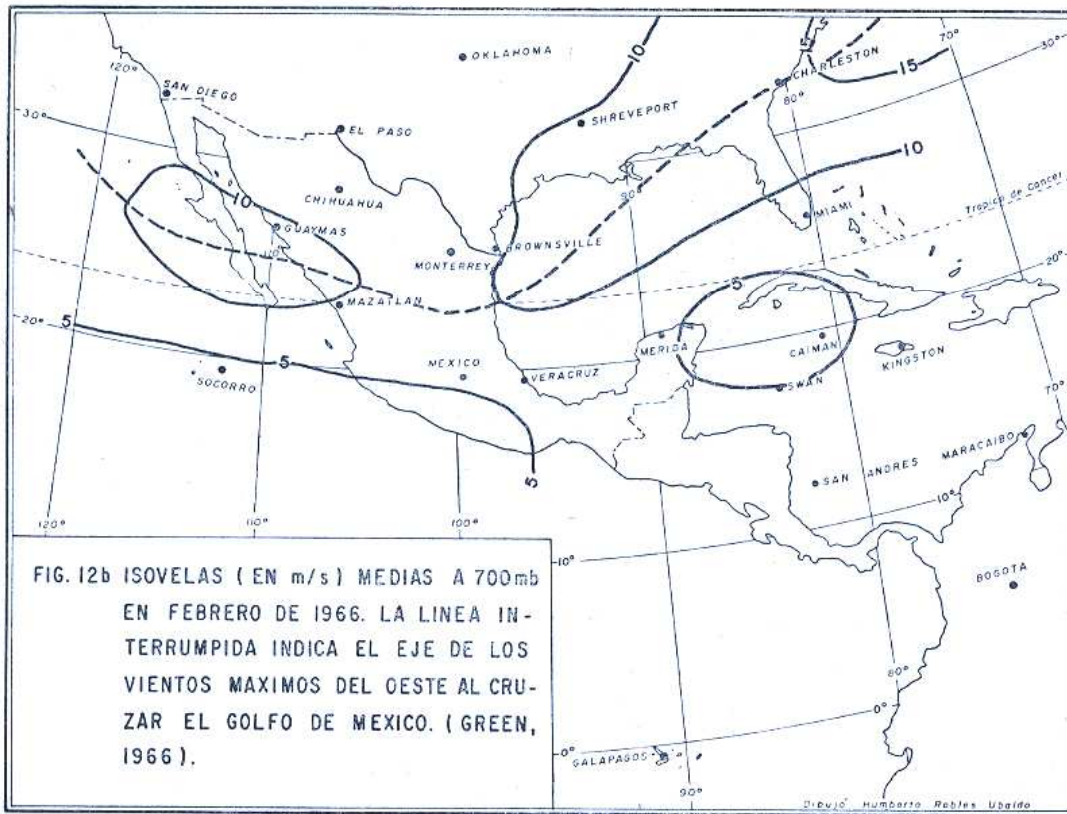
La circulación general en febrero de 1966 (Fig. 11), se caracterizó por un desplazamiento de los vientos del Oeste, hacia el Norte, en gran parte del sector occidental del hemisferio norte. El índice zonal de las latitudes templadas (35° - 55° N) se elevó considerablemente arriba de la normal a mediados del mes, mientras que el índice zonal subtropical (20° - 35° N) descendió hasta cerca de la normal en este mismo periodo (Green, 1966). El aflojamiento de la intensidad del flujo zonal subtropical propició una mayor frecuencia de desprendimiento meridional de aire de origen polar hacia el Golfo. En este mes de febrero de 1966 se registró la mayor frecuencia de vientos vio-

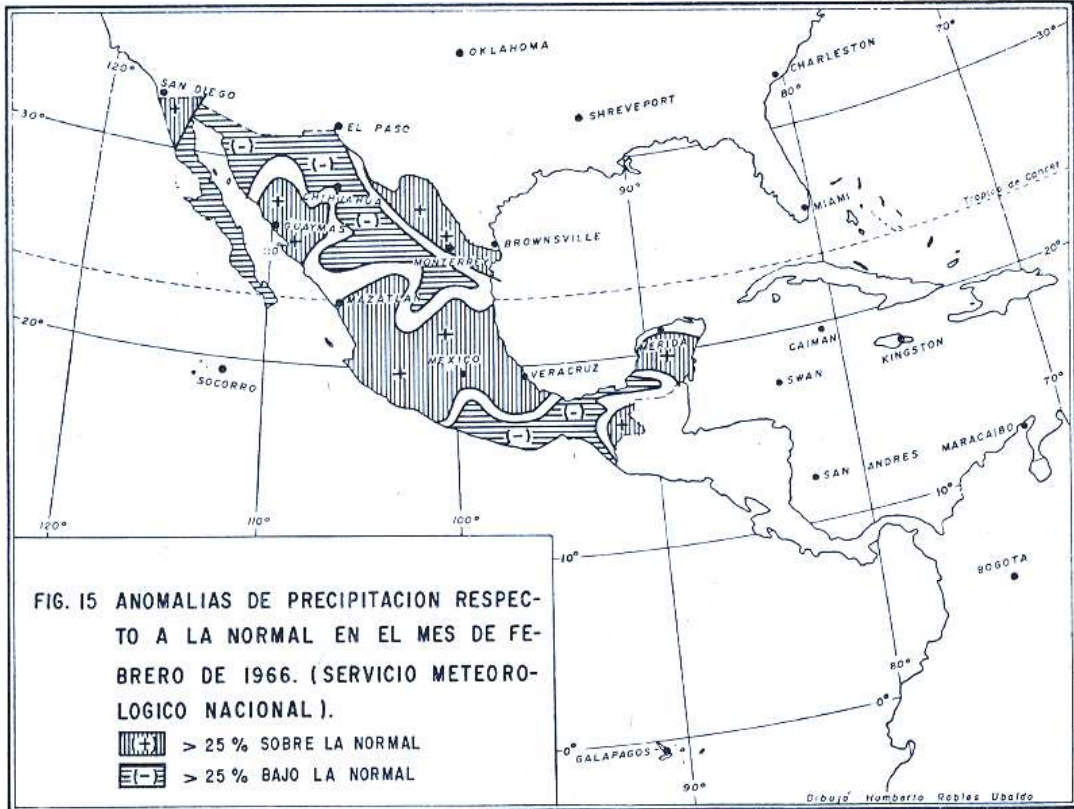
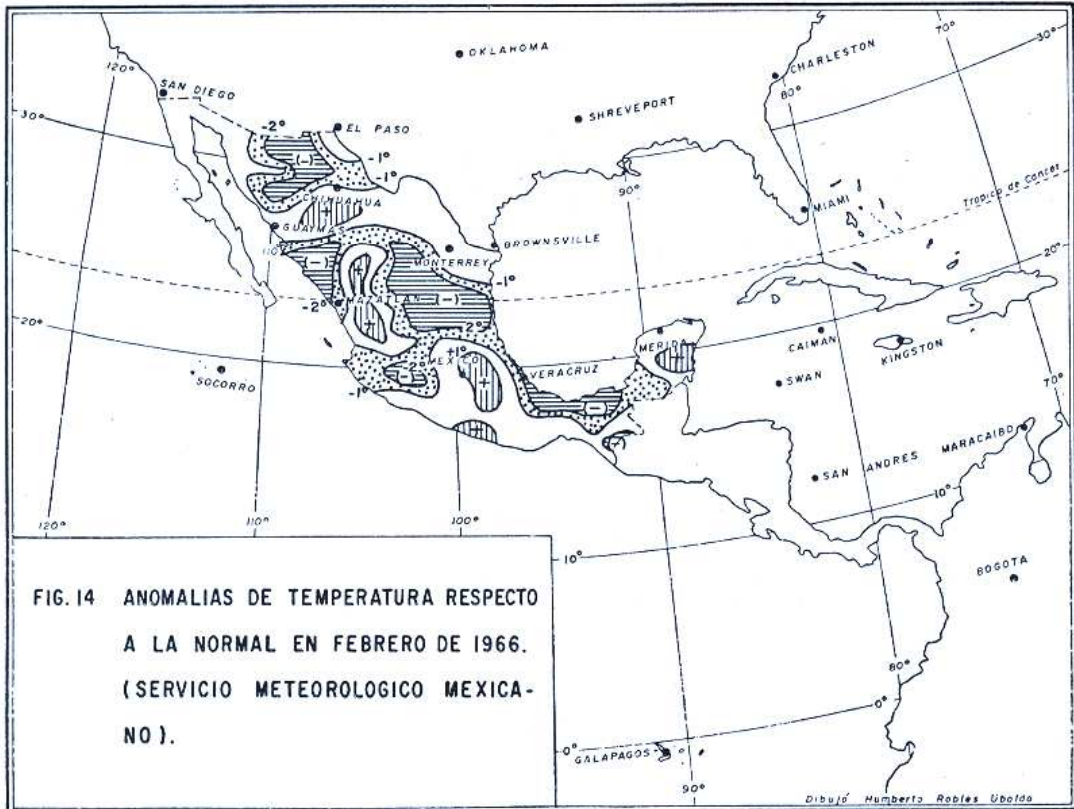


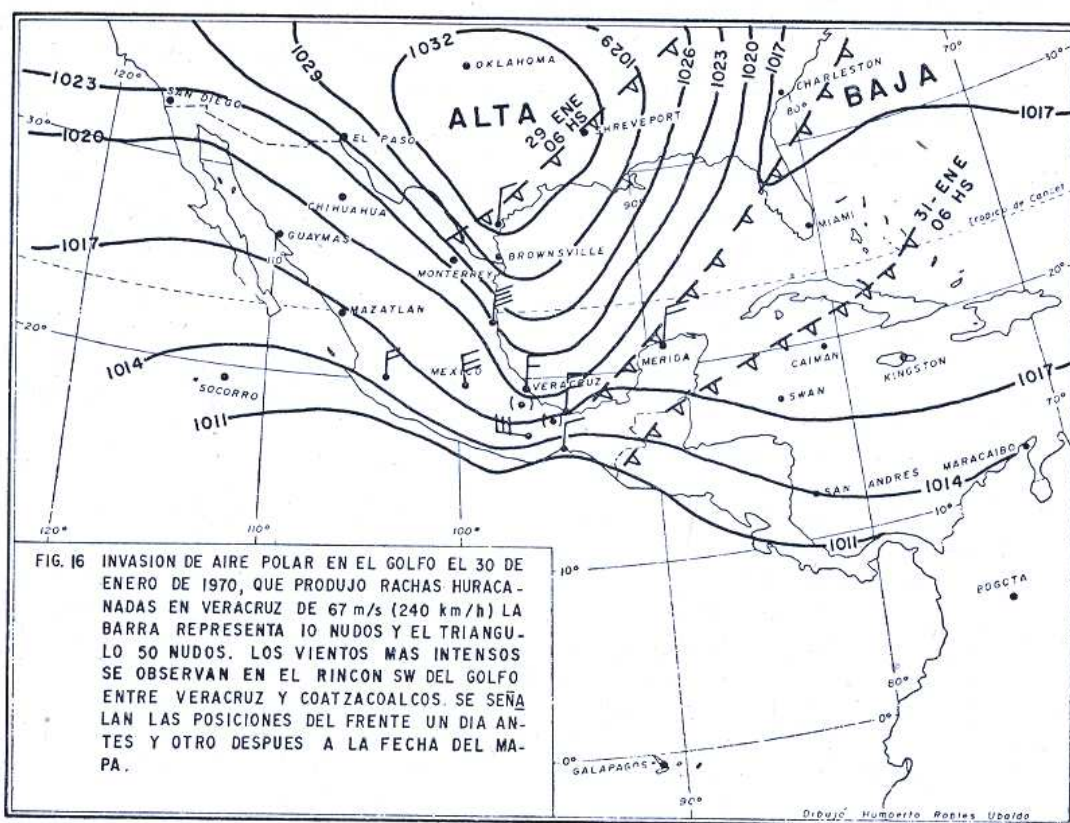
lentos del Norte, en Veracruz, en el periodo comprendido de 1941 a 1971 (Fig. 12a). Esta alta incidencia de aire polar en el Golfo estuvo favorecida por: *a*) una posición mucho más al sur, de lo normal, de los vientos de máxima a 700 mb (Fig. 12b), cuyo eje en este mes se encontraba en una línea que va de Tampico al norte de la Florida; *b*) por la persistencia de una vaguada en la altura, sobre Texas y el norte de México, que se prolongaba hasta el oeste de Cabo Corrientes (Fig. 9).

En estas condiciones, el flujo del aire tibio del suroeste ascendió sobre las masas de aire polar que llegaron al Golfo. El desplazamiento hacia el Este, que se observa en esta vaguada cuya posición normal está en la vecindad de Baja California, se reflejó en un descenso (de 20 a 30 m) de la superficie de 700 mb, en este mes, sobre México y la región poniente del Golfo (Fig. 13). La persistencia del aire polar sobre México produjo en febrero temperaturas bajo la normal en el centro y noroeste de México, así como en gran parte









de la vertiente del Golfo, con excepción de la península de Yucatán y el norte de Tamaulipas en donde las temperaturas se mantuvieron normales (Fig. 14).

La actividad frontal durante el mes mencionado produjo precipitaciones sobre la normal en el centro de la Altiplanicie y en una parte de la vertiente del Golfo (Fig. 15), particularmente entre Tampico y Veracruz en donde las lluvias fueron hasta un 100% más altas que la normal.

Si la masa de aire frío tiene su origen en el Pacífico norte puede producir, después de cruzar las Rocallosas del norte y llegar al Golfo, vientos tan violentos o más que cuando se trata de una masa de aire polar continental. Tal es el caso descrito en la Fig. 16 correspondiente al 30 de enero de 1970. Aquí el frente se desplazó con la misma velocidad que en el caso ilustrado anteriormente, cruzando en un día de norte a sur, toda la extensión del Golfo; pero la vaguada en la altura orientada casi Norte-Sur sobre el oriente de México originó vientos con componente del Norte en toda la

troposfera media, lo que se reflejó, detrás del frente, en una intensificación del anticiclón. El mayor gradiente barométrico en los niveles bajos, en este último caso, dio origen a vientos del Norte, proporcionalmente más violentos, que produjeron rachas hasta de 67 m/s (240 km/h) en Veracruz. Vientos de esta intensidad (arriba de 60m/s) no se han registrado en Veracruz sino en 11 ocasiones en el periodo de 30 años, de 1941-1971. Estos vientos huracanados (de 200 km/h) asociados a una invasión de aire polar (cuya intensidad es comparable a la de los vientos en un huracán) han comenzado a observarse en Veracruz a partir del año 1967, con situaciones de tiempo semejantes a las descritas en las Figs. 8 y 16 (Tabla II).

El aumento en la intensidad y frecuencia de las invasiones de aire polar sobre el Golfo de México, en la última década, parece ser una manifestación del cambio de circulación general que se ha observado últimamente en el hemisferio norte. La circulación predominantemente zonal que prevaleció desde fines del

Tabla II

VIENTOS DE MÁXIMA INTENSIDAD
(RACHAS MAYORES DE 60 m/s) PARA
EL PERIODO 1941-1971

Mes	Año	Fre- cuencia	Intensidad (m/s)
Dic.	1967	1	66
Enc-Dic.	1968	4	64, 61, 62, 62
Nov.	1969	1	65
Enc-Feb-Abr.	1970	4	67, 65, 60, 66
Mar.	1971	1	70

siglo pasado hasta la década de los años treinta, se ha ido debilitando dando lugar a una circulación predominantemente meridional, particularmente a partir de los años sesenta. (Lamb, 1966 y Winstanley, 1973). Como resultado del aflojamiento en la intensidad de la corriente de vientos del Oeste, la amplitud de las ondas que viajan en su seno se ha incrementado reflejándose en una invasión pro-

gresiva de vientos fríos de origen polar en las regiones subtropicales y tropicales. Este fenómeno cuyo estudio desarrollaremos en un trabajo próximo, se ha reflejado, por una parte, en un enfriamiento (hasta de 1.5°C) en lugares de la vertiente del Golfo y partes del altiplano, y en un incremento de las precipitaciones invernales en la década de los años sesenta.

I. LAS PERTURBACIONES EN LA
CORRIENTE DE LOS ALISIOS

1. Generalidades

La corriente de los alisios comienza a manifestarse en el área en estudio desde el mes de abril, cuando el anticiclón semipermanente del Atlántico inicia su desplazamiento hacia el norte. En su corrimiento hacia latitudes mayores el flujo anticiclónico sobre México y el área del Golfo, característico del invierno, va cediendo terreno a los vientos del Este, primero en los niveles inferiores. Esto es el

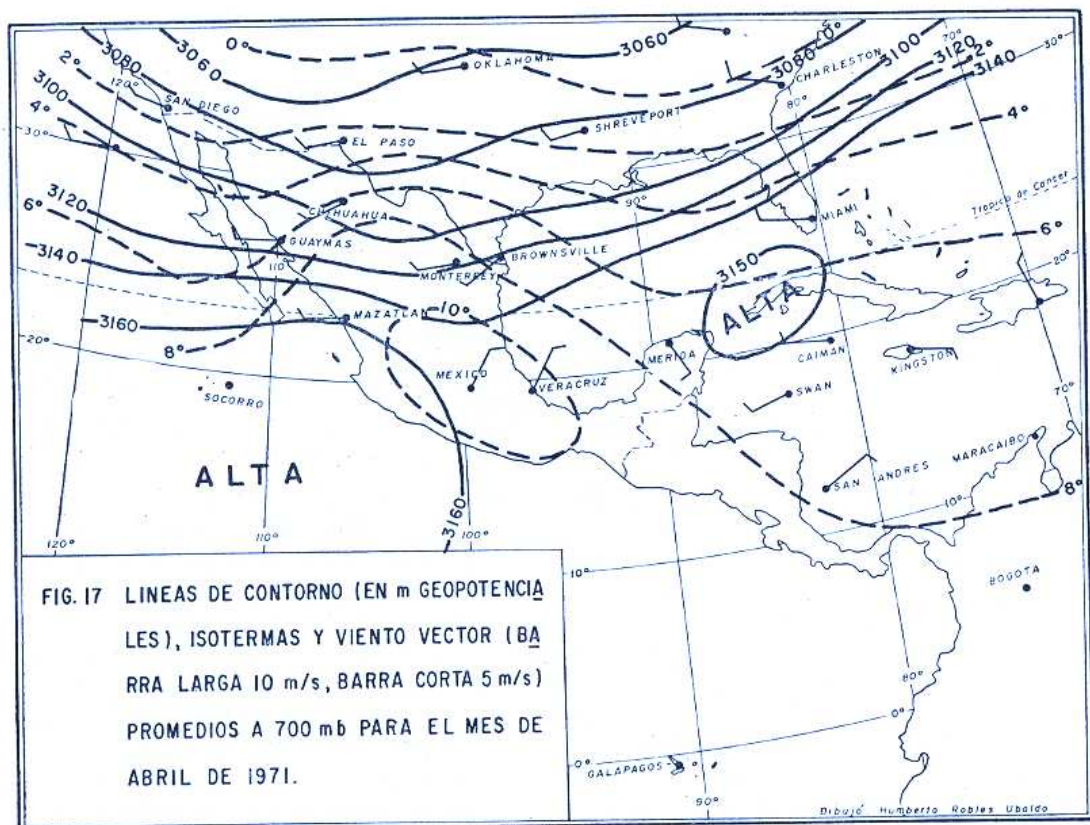


FIG. 17 LINEAS DE CONTORNO (EN m GEOPOTENCIALES), ISOTERMAS Y VIENTO VECTOR (BARRA LARGA 10 m/s, BARRA CORTA 5 m/s) PROMEDIOS A 700 mb PARA EL MES DE ABRIL DE 1971.

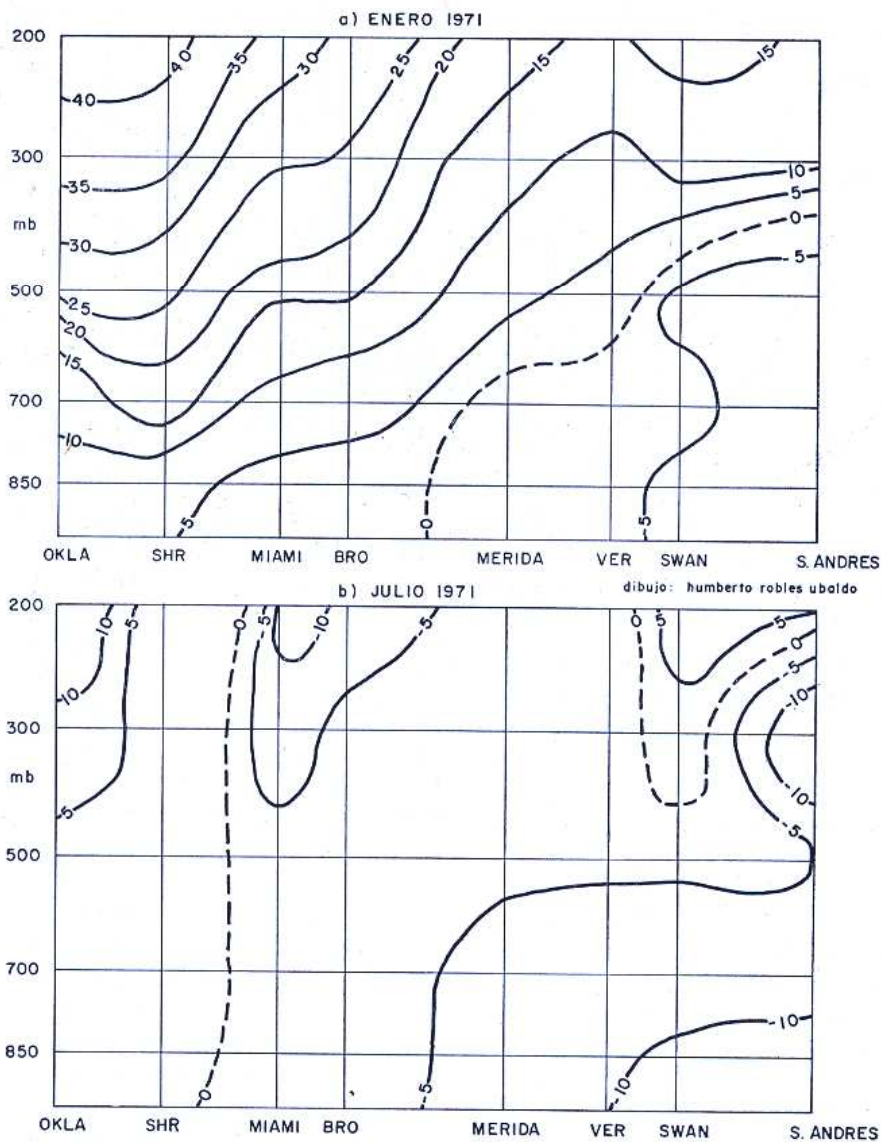
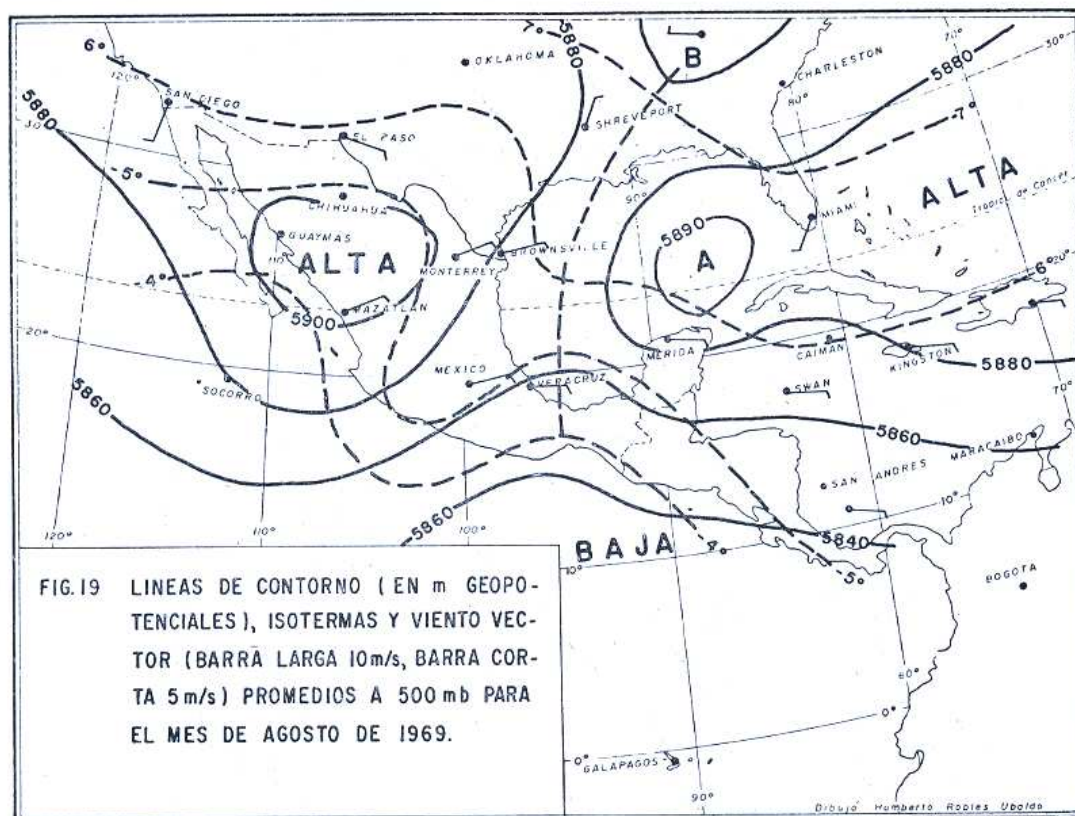


FIG. 18 CORTE MERIDIONAL SOBRE EL GOLFO DE MEXICO a) EN ENERO Y b) EN JULIO DE 1971 MOSTRANDO LA DISTRIBUCION DE LAS CORRIENTES DEL OESTE (+) Y DE LOS ALISIOS (-) (EN m/s).

resultado del calentamiento gradual de la masa continental de Norteamérica que, a su vez, origina un debilitamiento del gradiente meridional de la presión en los niveles bajos y medios de la troposfera. Esto puede apreciarse al comparar la Fig. 2, de 700 mb, en enero, con la Fig. 17 correspondiente al nivel de 700 mb, en abril. Las temperaturas se han elevado unos 2° en el sur de Estados Unidos, mientras que en el Golfo y Caribe se han mantenido sensiblemente iguales que en enero. Como conse-

cuencia de estos cambios las invasiones de aire polar de la corriente del Oeste pierden su intensidad cediendo gradualmente su lugar a la corriente de los vientos húmedos del Este, que se profundiza en la región hasta llegar a la troposfera alta (Hastenrath, 1966). En plena época de lluvias prevalecen en el área en estudio, según el mencionado autor, los movimientos ascendentes y convergentes hasta los 300 mb (unos 12 km) compensados por flujo divergente en los niveles altos en la troposfera.



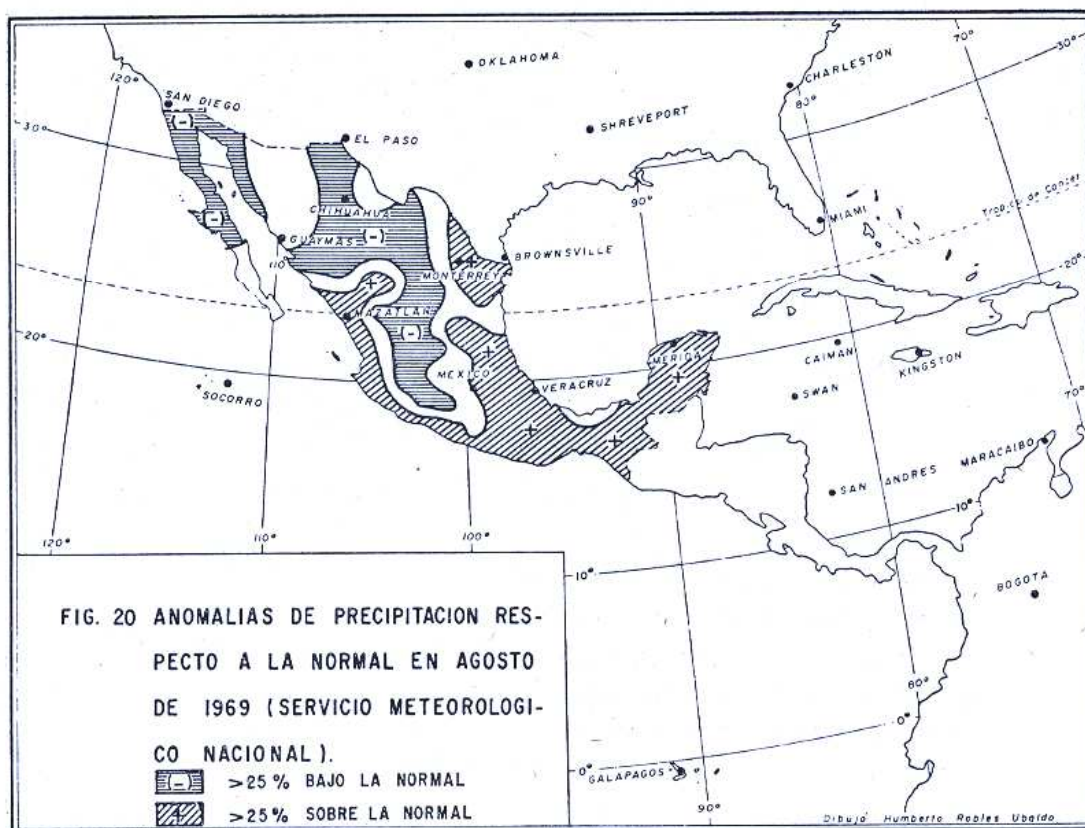
En la Fig. 18 se muestra en corte meridional la distribución de las dos corrientes sobre el Golfo en enero y julio de 1971.

A la mitad de la estación de lluvias, en la región se observa una tendencia del aire a subsidir, asociada con el desarrollo de un área de alta presión ubicada al noroeste del Golfo de México, la cual queda separada del anticiclón Bermuda-Azores por una vaguada, arriba de los 700 mb, que penetra profundamente en los trópicos. El resultado de esta distribución de presión en la troposfera media y en la alta es el establecimiento de vientos con una componente del Norte, en el noroeste del Golfo y en la región del noreste de México, que, en ocasiones, puede extenderse a casi toda el área en estudio al correrse la vaguada hacia el extremo oriental del Golfo.

En la Fig. 19 (construida con datos del Monthly Climatic Data for the World, 1969) se muestra una situación típica con un anticiclón sobre el norte de México, a los 700 mb, separado del anticiclón de Bermudas por una vaguada que cruza el Golfo y que origina vientos

con componente del Norte en el oeste del Golfo. Esta distribución del flujo aéreo redujo las posibilidades de lluvia en el centro y norte de la Altiplanicie, durante dicho mes, y la precipitación ahí fue deficitaria hasta en un 75% (en Zacatecas, Chihuahua y Coahuila) con respecto a la normal (Fig. 20). La reducción de las lluvias se explicaría por los movimientos descendentes, inducidos por el anticiclón, sobre el norte de México y, al mismo tiempo, por el efecto de bloqueo de la corriente húmeda del este que presentan los vientos con componente del norte, en el borde oriental del anticiclón. La vaguada que se instala sobre el Golfo reduce, así, las posibilidades de llegada de aire húmedo al noroeste y al norte de México.

Conviene hacer notar que esta situación que propicia lluvias deficitarias sobre el norte de México y del Golfo asegura, en cambio, movimientos ascendentes y abastecimiento de humedad suficientes para producir precipitaciones abundantes en la mitad sur del Golfo y de México siempre que la vaguada se prolongue



hasta el sur del Golfo. Esto se puede apreciar en la misma Fig. 20, que muestra lluvias hasta de un 50% sobre lo normal, en el sur y sureste de México.

Los periodos de sequía que se observan principalmente en julio y agosto en el área en estudio, y que se extienden por todo el mar Caribe hasta la costa norte de Colombia y Venezuela están asociados, según un estudio de Lahey (1958), con el mencionado flujo del Norte en la troposfera alta.

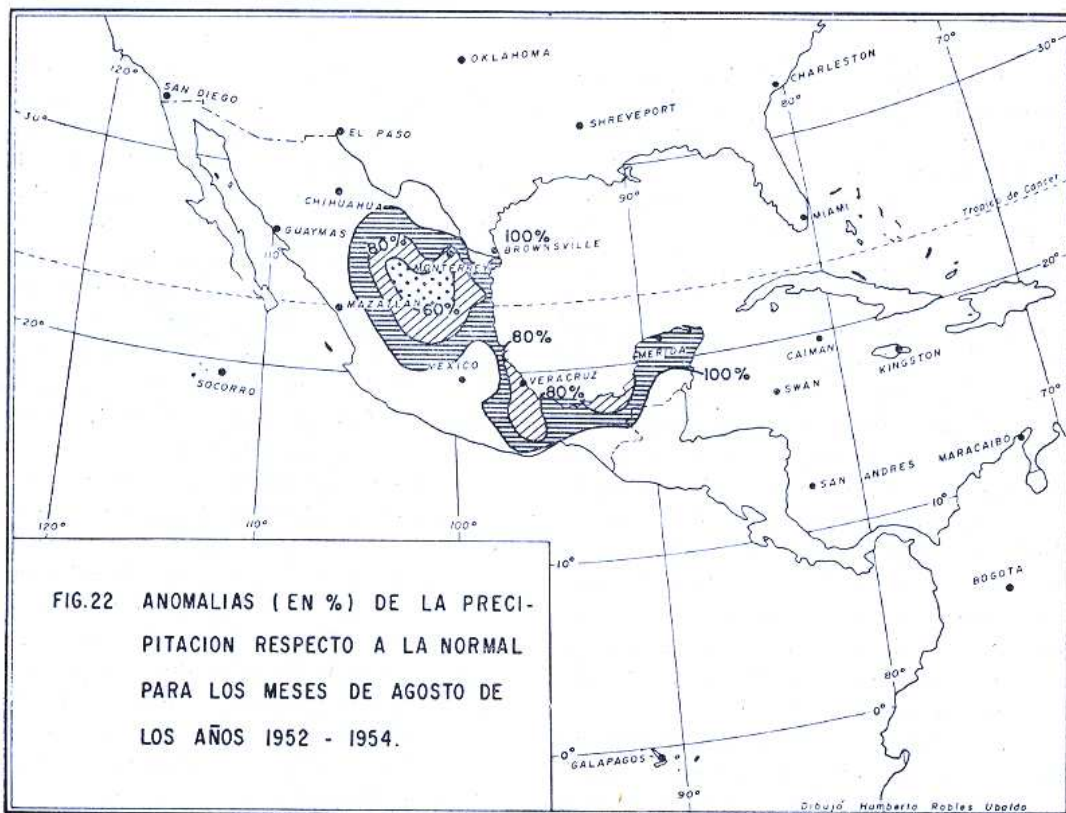
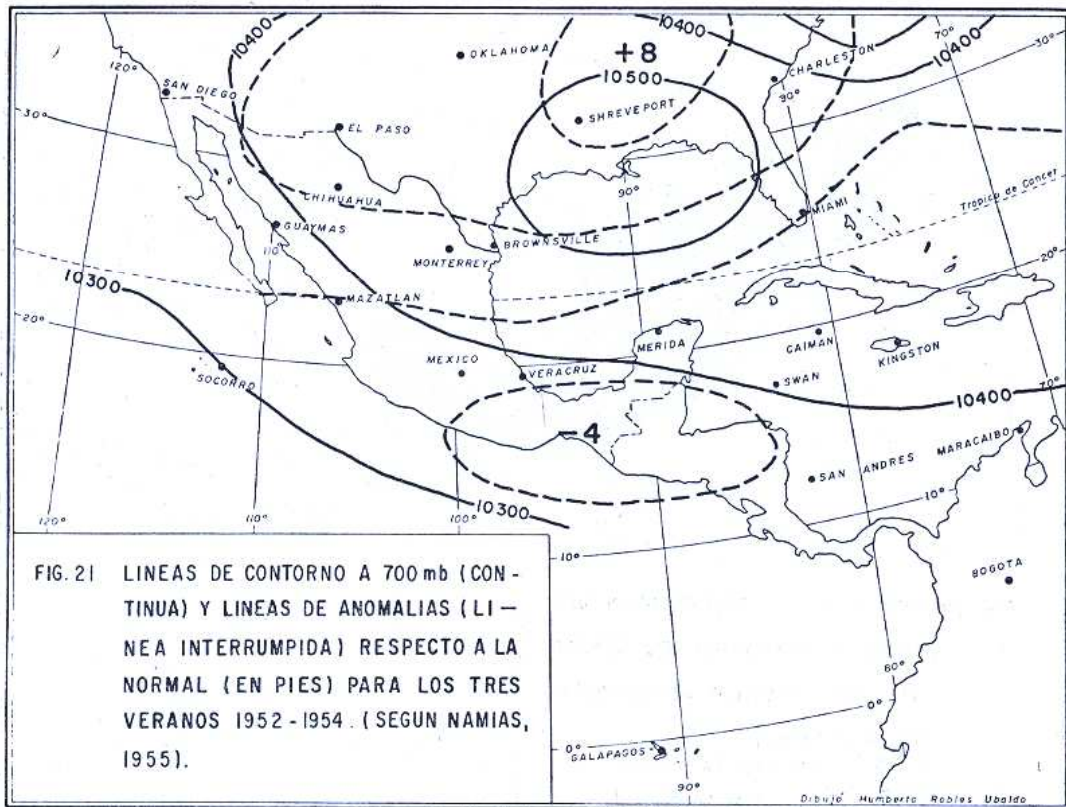
Por otra parte, Namias (1955) explica la sequía en los meses de verano, en el sur y este de los Estados Unidos, en los años secos de 1952 a 1954, por la posición de las costas estadounidenses bastante alejadas de las vaguadas del Atlántico y del Pacífico. Esta distribución de presión en la troposfera media proporciona, según dicho autor, un mecanismo eficaz para inhibir el flujo de masas de aire procedentes del Golfo de México.

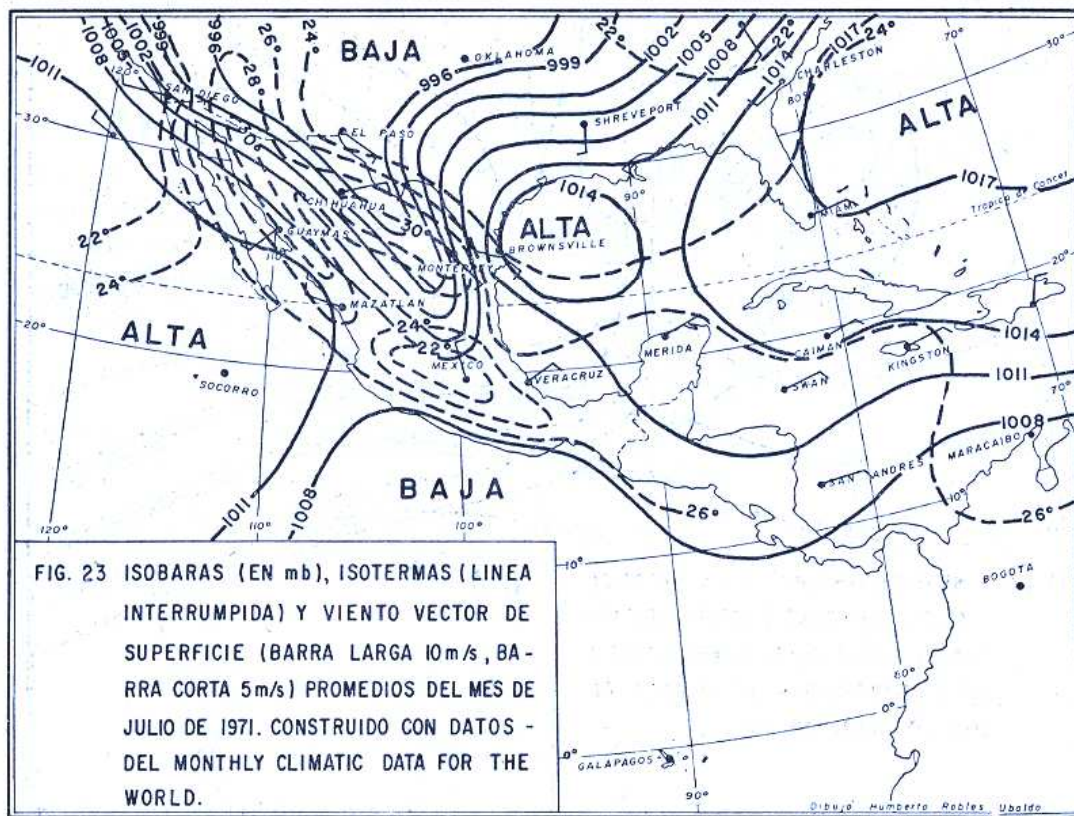
El mapa medio de 700 mb, del trabajo de Namias, correspondiente a los meses de junio-julio y agosto de los años 1952-54, que se

caracterizaron por ser anormalmente secos en Estados Unidos, muestra anomalías positivas de la altura de la superficie de 700 mb en el norte y noroeste del Golfo de México (Fig. 21), lo que implica una prevalencia de flujo anómalo del noreste y Este en el mismo Golfo.

En la Fig. 22 aparecen las anomalías de la precipitación registradas en estaciones de la vertiente del Golfo de México y su vecindad, para el mes de agosto y durante los mismos años de 1952-54. En la mayoría de las estaciones se observó un déficit de lluvia en agosto, bastante acentuado durante el periodo mencionado, lo que indica que el efecto que produjo la sequía en Estados Unidos (al este de las Rocallosas) abarcó también gran parte del Golfo de México y su región ribereña mexicana.

La influencia del flujo anticiclónico en el Golfo de México, sobre la precipitación de agosto, se extiende a la altiplanicie que también acusa lluvias deficitarias debido a la desviación de la corriente húmeda principal de los alisios hacia fuera de la costa atlántica de los Estados Unidos. Nuevamente, como en el ejemplo an-





terior, conviene hacer notar que, al establecerse el tipo de distribución de flujo, ya descrito, se reduce en mayor o menor grado la posibilidad de formación de tormentas en la región del Golfo de México y su vecindad, pero esta situación no significa, desde luego, que desaparezca el abastecimiento de humedad, sobre todo en la mitad sur del Golfo de México en donde el flujo predominante sería del Este o sureste, como se puede apreciar en la Fig. 19.

2. Circulación típica de verano

En el mes de julio y al principiar agosto el anticiclón de las Bermudas ha alcanzado su mayor desplazamiento hacia el Norte extendiéndose, como ya se dijo, al mismo tiempo, hacia el Oeste. Las Figs. 23, 24, 25 y 26, construidas con datos del Monthly Climatic Data for the World, ilustran los patrones de circulación prevalcientes en el mes de julio de 1971, desde la superficie hasta el nivel de 200 mb, para el área en estudio y su vecindad. Destaca en el mapa de superficie (Fig. 23) el anticiclón

de las Bermudas, con una extensión sobre el norte del Golfo de México. El calentamiento del norte y noroeste de México origina ahí baja presión, mientras que el gradiente térmico meridional sobre el Golfo, a lo largo del meridiano 90°, se ha debilitado respecto a la situación en invierno (Figs. 1 y 23). En los niveles superiores, de los 700 a los 200 mb, el anticiclón del Golfo se desplaza hacia el Oeste ubicándose sobre el norte y noroeste de México, precisamente sobre la baja térmica de superficie, ya que el aire es también más caliente sobre esa región de México, en los niveles superiores hasta los 200 mb (Fig. 24 a 26). El decrecimiento de la presión es, en el aire tibio, más pequeño que cuando se trata de aire frío. En consecuencia, la circulación ciclónica de superficie se invierte a partir del nivel de 700 mb (unos 3 km), apareciendo la circulación anticiclónica que se extiende, así, hasta la troposfera alta.

Los vientos convergentes de la baja térmica no conducen, sin embargo, a la formación apreciable de nubes o de precipitación, ya que el

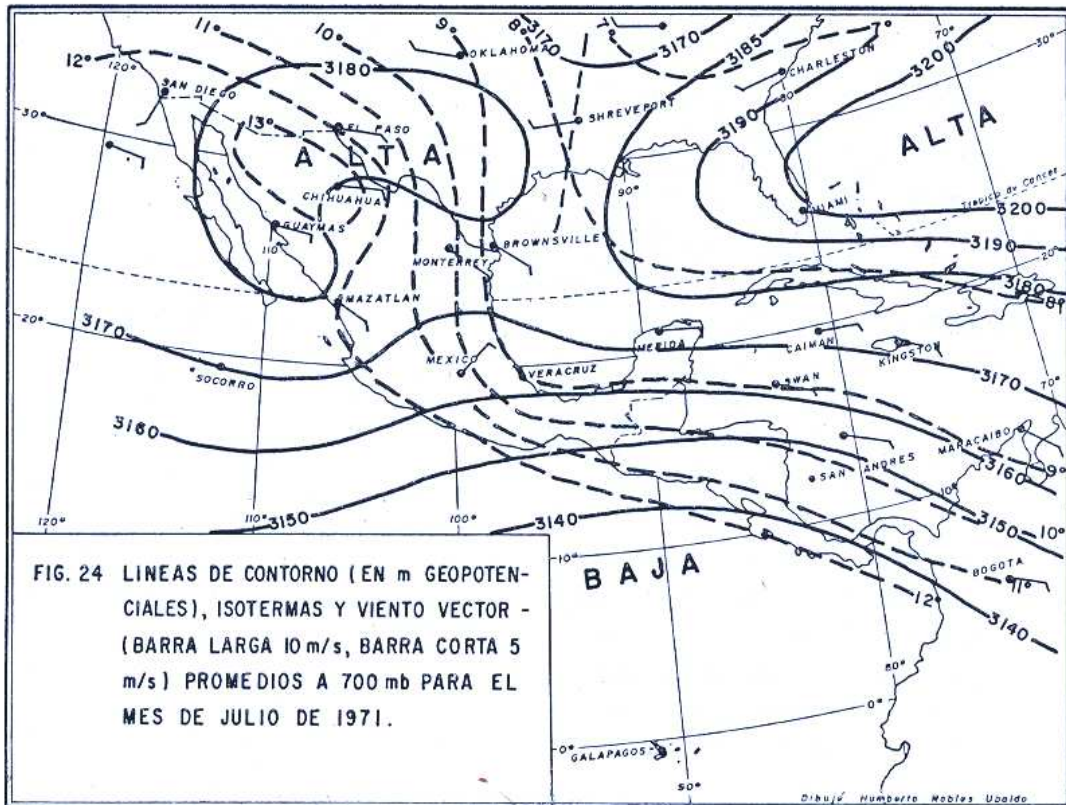


FIG. 24 LINEAS DE CONTORNO (EN m GEOPOTENCIALES), ISOTERMAS Y VIENTO VECTOR - (BARRA LARGA 10 m/s, BARRA CORTA 5 m/s) PROMEDIOS A 700 mb PARA EL MES DE JULIO DE 1971.

aire de esta región del noroeste de México contiene usualmente poca humedad y la condensación no se alcanza sino a niveles bastante elevados. Localmente el calentamiento del aire es particularmente acentuado en las regiones más elevadas de la Sierra Madre Occidental y, consecuentemente, el eje del anticiclón se centra en verano sobre este sistema de montañas (Figs. 25 y 26). En estas condiciones, cuando hay confluencia de aire húmedo del Golfo o del Pacífico (o de ambos) en los niveles intermedios, la energía adicional, que representa la fuente elevada de calor, favorece la formación de nubes de tormenta y precipitaciones que se extienden a todo lo largo de la Sierra y, en general, en las áreas montañosas del norte del país (para ejemplo, ver Jetton y Woods, 1967).

3. Perturbaciones tropicales

Los meteorólogos que estudian la atmósfera tropical están de acuerdo en que el desarrollo de los modelos de perturbaciones tropicales ha estado hasta ahora inhibido por la escasez de estaciones de observación, por una parte, y,

por otra, porque los modelos que se han propuesto para algunas áreas donde hay suficientes observaciones no son fácilmente aplicables a otras regiones en donde los sistemas de circulación son diferentes.

Entre los sistemas que generalmente se usan en el análisis tropical están: la zona intertropical de convergencia (o de confluencia), las surgencias en los alisios, las líneas de cizallamiento, las bajas frías o ciclones subtropicales, y las ondas del Este.

a) La zona intertropical de confluencia

La zona intertropical de confluencia permanece normalmente al sur del área en estudio. Sin embargo, cuando ocupa su posición más boreal, frente a las costas de Oaxaca y Chiapas, pueden originarse áreas de flujo perturbado en la porción sur del Golfo.

b) Las surgencias en los alisios

Lo mismo puede decirse de las surgencias en los alisios (surges in the Trades) que son

áreas de actividad convectiva que no están asociadas a una depresión barométrica. Simpson y colaboradores (1968) mencionan el caso de una surgencia de viento máximo, observada en 1967, que después de cruzar el Caribe llegó a Centroamérica para entrar al Pacífico oriental en donde se transformó en la tormenta tropical *Francene* que pasó frente a las costas de Oaxaca.

c) Las bajas frías o ciclones subtropicales

En la región norte y noroeste del Golfo de México se generan ciclones extratropicales en invierno (Saucier, 1949, Stark y Richter, 1954), pero nosotros ignoramos si algunas de estas depresiones tienen el carácter de las llamadas bajas frías. En todo caso, en el verano esta área de ciclogénesis se desplaza hacia el norte, fuera del área en estudio, reduciéndose las posibilidades de que las depresiones superiores de núcleo frío ocurran en el Golfo de México durante la estación lluviosa.

d) Las líneas de cizallamiento

Las líneas de cizallamiento son restos de antiguas franjas frontales que han penetrado en los trópicos, en los que predomina un ambiente barotrópico. El cizallamiento puede ser por cambio en la dirección del viento o por variaciones en la velocidad de la corriente. En el área en estudio estas situaciones se observan al final de la estación seca, cuando es muy débil el contraste térmico entre las masas de aire de origen polar y tropical.

e) Las ondas del Este

Estas perturbaciones, originalmente descritas por Dunn (1940) como centros isobáricos que viajan en el seno de los alisios profundos, fueron después estudiados dinámicamente por Riehl (1945). El modelo de estas ondas del Este fue desarrollado por Riehl en el mar Caribe; fuera de esta área la existencia de las ondas mencionadas ha sido objeto de debate. Thompson, B. (1965) sostiene que estas ondas no se observan en el África tropical, y Sadler (1966) duda que ocurran dichos sistemas en el Pacífico. Por otra parte, Frank (1969) señala que el modelo ha perdido partidarios debido a que en la realidad

las nubes y el mal tiempo se distribuyen en forma distinta a la que prescribe el modelo.

En todo caso, lo que aquí nos interesa saber es si estas perturbaciones ondulatorias o V invertidas afectan el área motivo de nuestro estudio.

El mismo Frank presenta ejemplos de ondas del Este que se originaron en África occidental y que cruzaron el Atlántico hasta llegar a las Antillas. Al cruzar el Atlántico las ondas se debilitan y, como resultado, la estructura nubosa se vuelve irreconocible cuando las ondas alcanzan las Antillas. En algunos casos la nubosidad puede aumentar momentáneamente en la onda cuando ésta se aproxima a la vaguada que en verano se encuentra cerca de Santo Domingo, orientada Este-noreste-Oeste-suroeste. Este aumento de nubosidad no dura más de un día, según el mencionado autor. De modo que, si las ondas continúan su viaje hacia el Oeste, entran al Golfo de México en una etapa de disolución. Sin embargo, según un estudio de Hosler (1956), una vez en el Golfo la onda puede intensificarse nuevamente si:

a) Se encuentra con la extensión de una vaguada de las latitudes templadas. Esta intensificación puede dar lugar a la formación de un ciclón en el Golfo.

b) Ocurre advección de aire frío en los niveles altos.

c) Hay desaceleración o estancamiento de la onda, en aguas bajas y tibias de la costa Texas-Tamaulipas o frente a Yucatán.

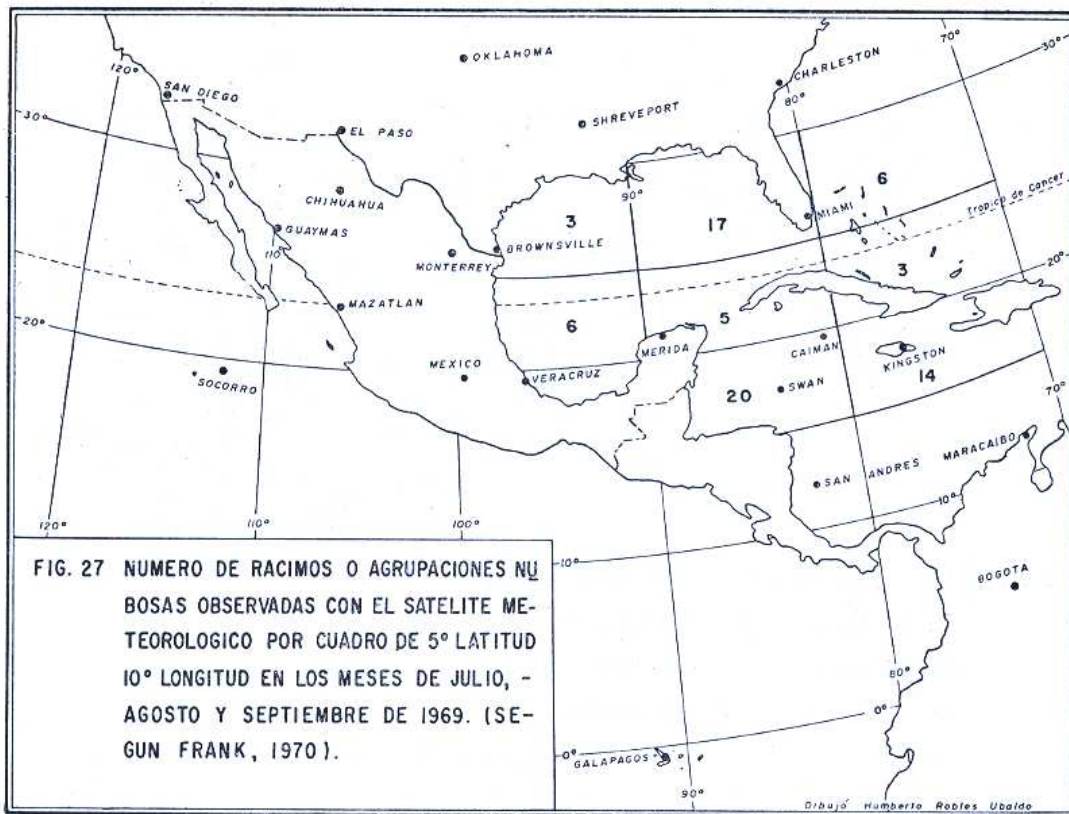
La disolución de una onda del Este en el Golfo, según el autor mencionado, ocurre:

a) Con advección de aire seco desde el Oeste, al aproximarse en la altura una vaguada del oeste de Estados Unidos.

b) Al introducirse aire seco del Sur o suroeste, por un ahondamiento de la baja térmica del noroeste de México.

c) Al aumentar la presión en el norte de México y en Texas, lo que origina un flujo de aire seco del noroeste.

En términos generales, la actividad de ondas del Este en el Golfo es baja en los veranos cuando predomina ahí flujo del Oeste en los niveles medios y altos, y elevada cuando el flujo del Este se mantiene por la presencia de un anticiclón en la altura, al sur de Estados Unidos, lo cual acentúa la corriente del Este



en el área del Golfo. Conviene hacer notar que un flujo del Este, sostenido e intenso, no necesariamente genera una onda, pero, aparentemente, ayuda a mantenerla. A este respecto, Simpson y colab. (1969) hacen ver que la ocurrencia de perturbaciones tropicales no está correlacionada positivamente con la profundidad de los alisios ni con la intensidad de éstos; pero es indudable que una base relativamente baja de la corriente de vientos del Oeste (lo que implica un cizallamiento considerable en la troposfera media y alta) reduce las posibilidades de generación de perturbaciones en el Golfo.

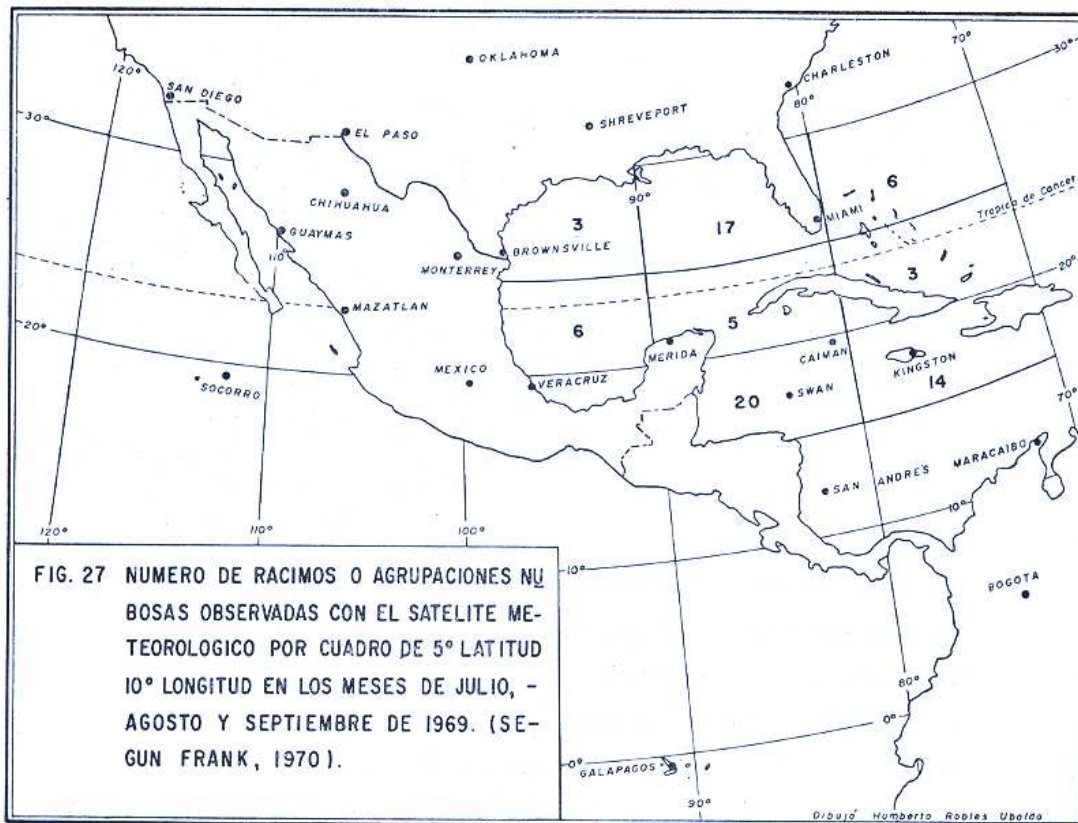
Por otra parte, una gran mayoría de las ondas del Este que llegan del Caribe, al cruzar el Golfo se desaceleran al debilitarse la componente del Este a medida que la onda rodea el borde suroeste del anticiclón del Atlántico. En estas condiciones el eje de la onda adquiere una orientación casi Este-Oeste al llegar al límite occidental del Golfo. El resultado es un decrecimiento de la humedad en la onda por la entrada de aire más seco, por el Sur, pro-

cedente del centro de México. Es en estos casos cuando la porción este de la onda se disuelve, y sólo en ocasiones el extremo oeste de la misma continúa mostrando actividad al viajar frente a las costas del Pacífico entre Oaxaca y Jalisco.

f) Los racimos nubosos

Las fotografías de los satélites meteorológicos han revelado en los mares tropicales la existencia de agrupamientos de nubes convectivas que se extienden varios centenares de kilómetros, con muy escasa continuidad de un día al siguiente y que guardan todavía no clara relación con el campo del viento o de la presión.

En el Golfo de México estos racimos nubosos fueron en el verano de 1969 más numerosos en el cuadrante noreste y escasos en el área noroeste del Golfo, según puede apreciarse en la figura 27 tomada del trabajo de Frank (1970). La persistencia de las agrupaciones nubosas fue, según este autor, de uno a dos días, confirmando la falta de continuidad de estos sistemas observada por otros autores. El mis-



en el área del Golfo. Conviene hacer notar que un flujo del Este, sostenido e intenso, no necesariamente genera una onda, pero, aparentemente, ayuda a mantenerla. A este respecto, Simpson y colab. (1969) hacen ver que la ocurrencia de perturbaciones tropicales no está correlacionada positivamente con la profundidad de los alisios ni con la intensidad de éstos; pero es indudable que una base relativamente baja de la corriente de vientos del Oeste (lo que implica un cizallamiento considerable en la troposfera media y alta) reduce las posibilidades de generación de perturbaciones en el Golfo.

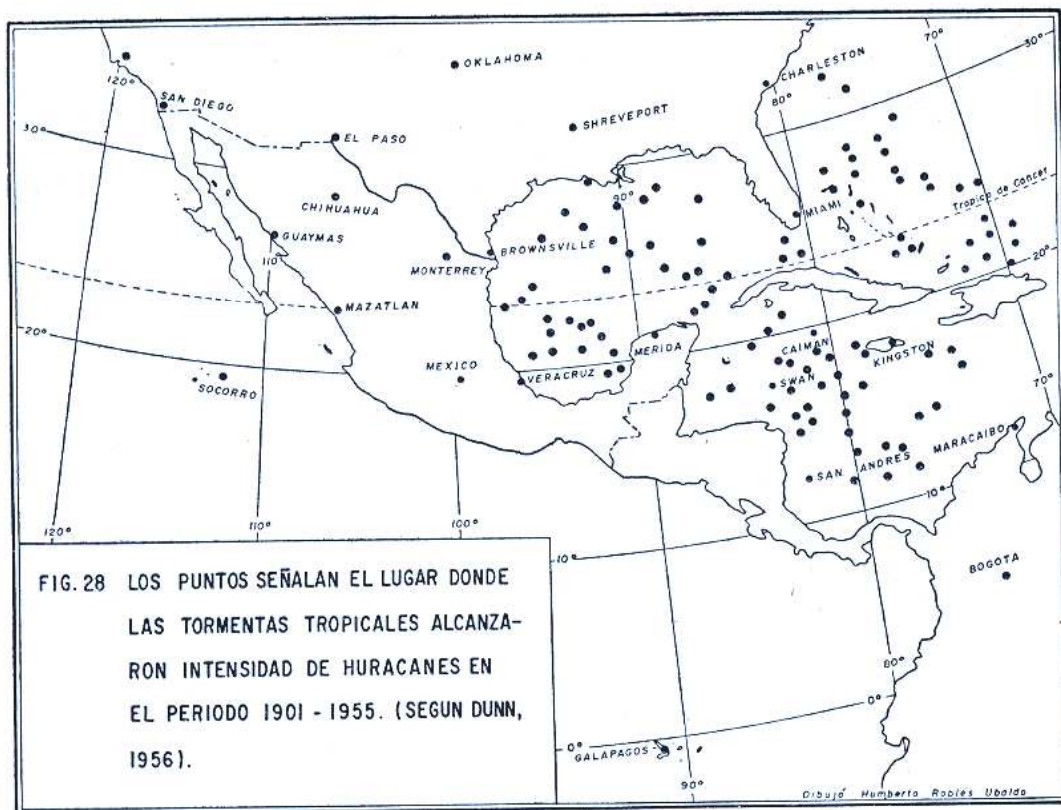
Por otra parte, una gran mayoría de las ondas del Este que llegan del Caribe, al cruzar el Golfo se desaceleran al debilitarse la componente del Este a medida que la onda rodea el borde suroeste del anticiclón del Atlántico. En estas condiciones el eje de la onda adquiere una orientación casi Este-Oeste al llegar al límite occidental del Golfo. El resultado es un decrecimiento de la humedad en la onda por la entrada de aire más seco, por el Sur, pro-

cedente del centro de México. Es en estos casos cuando la porción este de la onda se disuelve, y sólo en ocasiones el extremo oeste de la misma continúa mostrando actividad al viajar frente a las costas del Pacífico entre Oaxaca y Jalisco.

f) Los racimos nubosos

Las fotografías de los satélites meteorológicos han revelado en los mares tropicales la existencia de agrupamientos de nubes convectivas que se extienden varios centenares de kilómetros, con muy escasa continuidad de un día al siguiente y que guardan todavía no clara relación con el campo del viento o de la presión.

En el Golfo de México estos racimos nubosos fueron en el verano de 1969 más numerosos en el cuadrante noreste y escasos en el área noroeste del Golfo, según puede apreciarse en la figura 27 tomada del trabajo de Frank (1970). La persistencia de las agrupaciones nubosas fue, según este autor, de uno a dos días, confirmando la falta de continuidad de estos sistemas observada por otros autores. El mis-



mo Frank encontró que un 90% de los racimos nubosos observados en 1969 en el Atlántico tropical (incluyendo el Golfo de México) estuvieron asociados a sistemas sinópticos.

4. Los ciclones tropicales

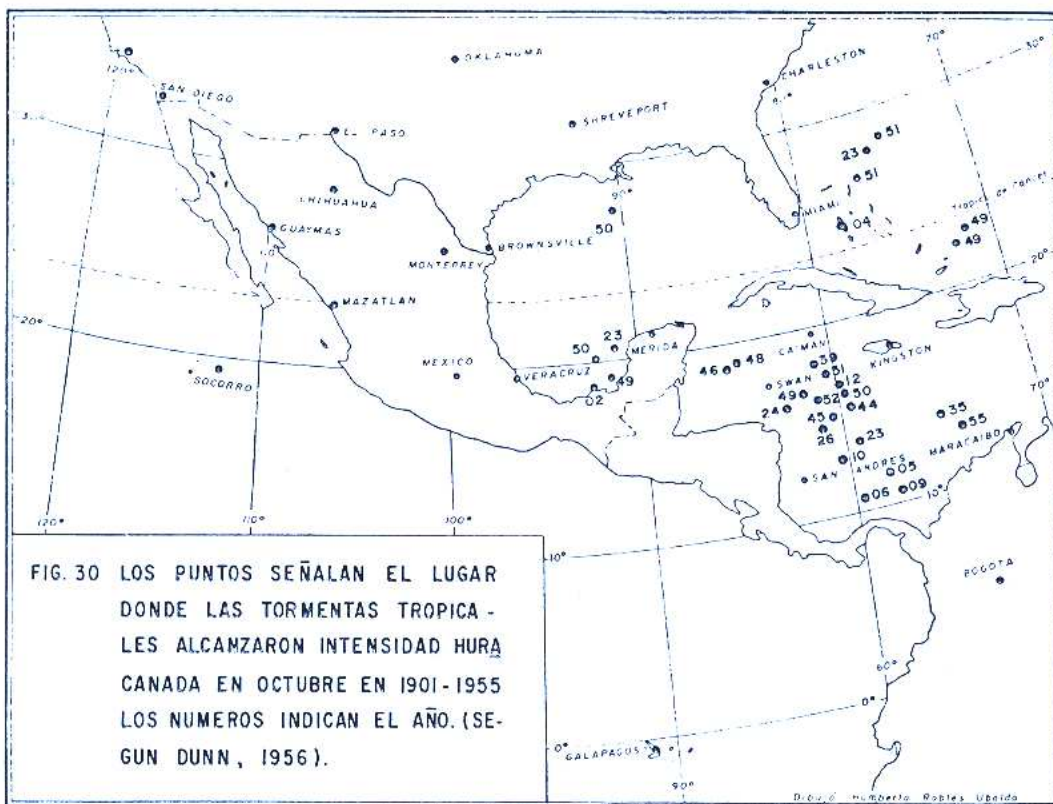
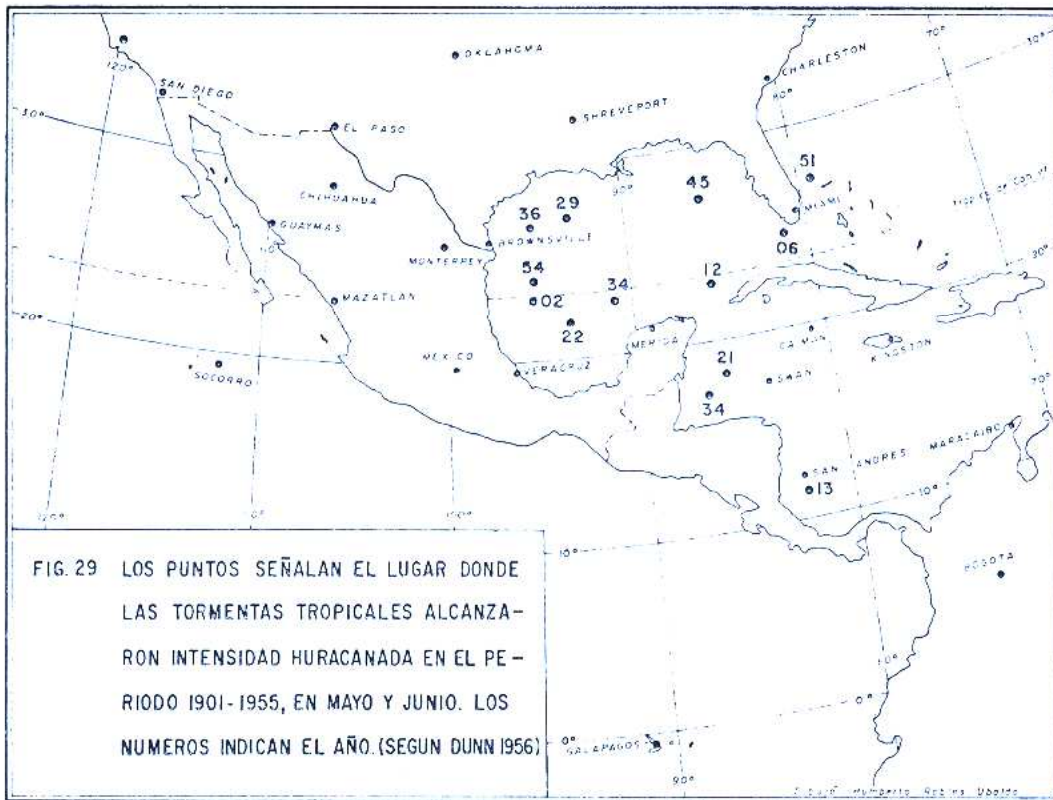
En la sección anterior se han descrito brevemente las diversas perturbaciones tropicales. Generalmente es en estas perturbaciones donde se originan los ciclones tropicales. Independientemente del origen (baroclínico o barotrópico) de las perturbaciones, su intensificación en tormentas o huracanes está siempre acompañada del predominio del calor latente como fuente de energía, y la formación de un núcleo cálido.

El desarrollo de un ciclón a partir de una perturbación híbrida o baroclínica (como una baja fría en la altura) es, según Frank (1970), poco frecuente en el Golfo de México, debido al gran obstáculo que representa la evolución de un ciclón tropical a partir de un sistema de núcleo frío.

La mayoría de los ciclones tropicales se des-

arrollan en perturbaciones preexistentes en un ambiente barotrópico; es decir, en el seno de una masa de aire tropical homogéneo.

Una parte considerable de los ciclones y tormentas tropicales que cruzan por el Golfo de México tienen su origen en perturbaciones que se forman fuera de esta región, desde el Atlántico tropical, al oeste de la costa africana, hasta el mar Caribe; pero, sobre todo, en la porción occidental de este último. En la figura 28, tomada de un trabajo de Dunn (1956), aparecen señalados con un punto los lugares del área en estudio, y su vecindad, donde las tormentas tropicales se intensifican transformándose en huracanes en el periodo 1901-55. Estos lugares aparecen repartidos casi uniformemente en toda el área del Golfo, aunque la sonda de Campeche muestra mayor densidad. Si se separa por meses esta distribución de ciclones, el Caribe occidental y el Golfo de México son conocidas áreas de formación de huracanes al principiar y finalizar la temporada, como se ve en las figuras 29 y 30. Sin embargo, septiembre es el mes de mayor actividad ciclónica en el



Golfo de México, incluyendo los ciclones que entran al área procedentes del Caribe.

Entre las condiciones que deben llenarse para la formación de ciclones, Gray (1968) menciona:

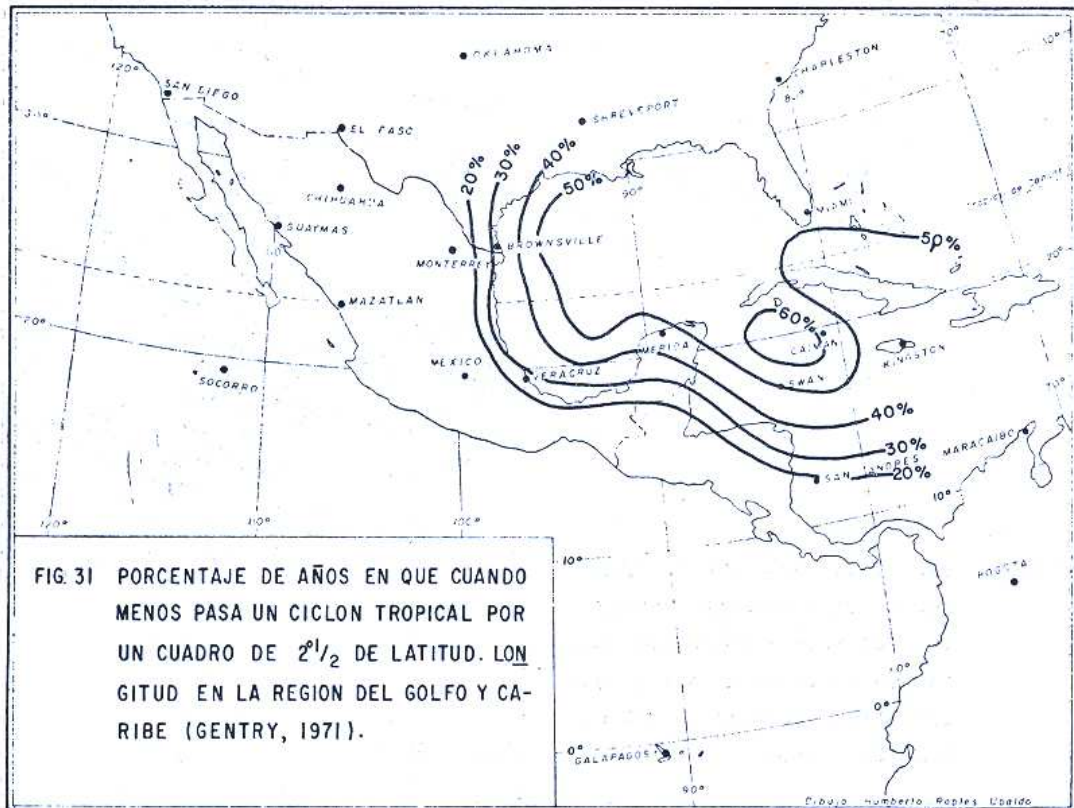
- a) Un valor en exceso de un mínimo de la fuerza de Coriolis.
- b) Área oceánica suficientemente grande, con temperaturas del agua superiores a 26°.
- c) Un cizallamiento vertical, pequeño, de la corriente (menos de 10 nudos).
- d) Divergencia de los niveles altos de la troposfera.
- e) Perturbaciones preexistentes.

Todas estas condiciones pueden cumplirse en el área del Golfo de México. La ausencia de alguna de las condiciones mencionadas explica la disminución de actividad ciclónica en algunos años. Así, por ejemplo, varios autores (Sugg y Herbert, 1969; Balenzweig, 1957) señalan que el desarrollo de ciclones tropicales no es favorable cuando se presentan altas presiones que bloquean la circulación en las latitudes

nórdicas, ya que el resultado es un desbordamiento, hacia el sur, de la corriente de vientos del Oeste, junto con el descenso anormal de las alturas isobáricas en los subtropicos. Esta regla es equivalente a la de Gray relativa al cizallamiento vertical.

5. Frecuencia de los ciclones tropicales

Comparada con otras áreas del Atlántico tropical, el Golfo de México tiene un bajo porcentaje de huracanes. Además, debido al carácter encerrado del área la duración de los ciclones es más corta (un promedio de 4.4 días). Según un estudio de Cry (1962) sólo el 36% de los ciclones generados en el Golfo alcanzan fuerza de huracán. Además, como ya se mencionó, por el área del Golfo atraviesan ciclones originados al este de la región, los que al sumarse a los ciclones nativos dan una cifra considerable. Con todo, las costas mexicanas del Golfo se ven afectadas en menor medida que las correspondientes costas estadounidenses, como se puede apreciar en la tabla III



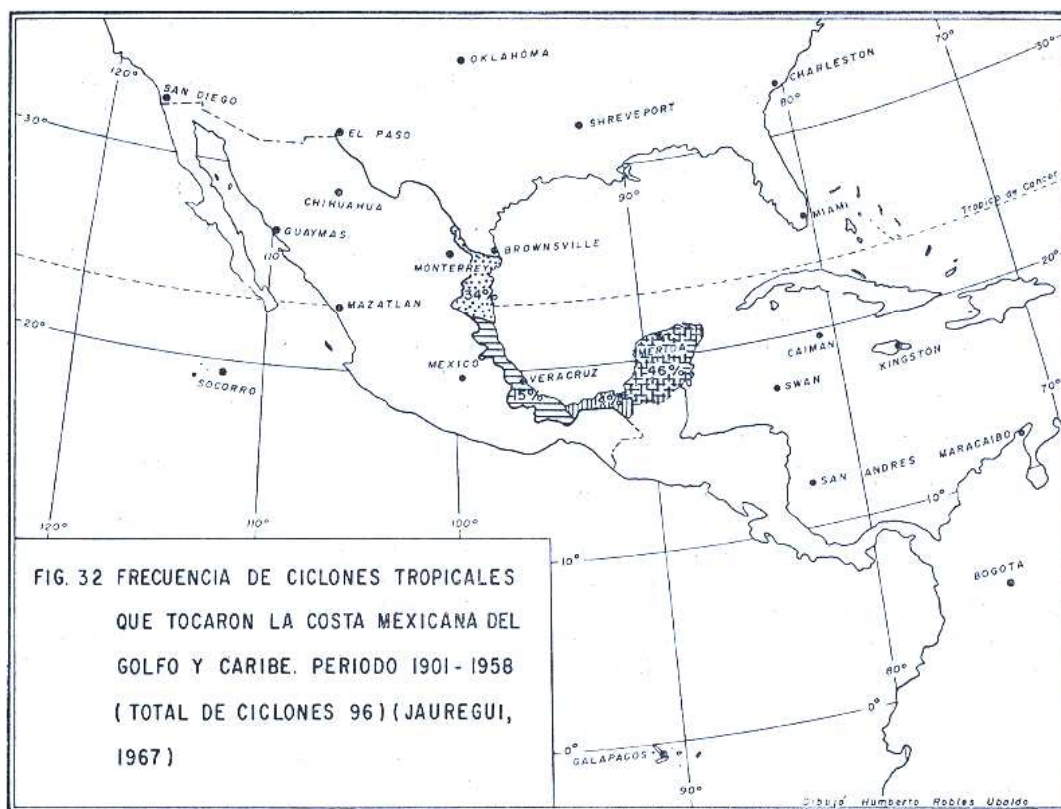


Tabla III
 FRECUENCIA DE TORMENTAS TROPICALES Y DE HURACANES (entre paréntesis) QUE AFECTARON LAS COSTAS DEL GOLFO DE MEXICO (U. S. Weather Bureau, 1959) EN SEPTIEMBRE. PERIODO 1901-55.

Tamaulipas a Tabasco	Texas a Louisiana	Península de Florida
21 (14)	31 (23)	35 (25)

construida con datos del U. S. Weather Bureau (1959).

En la Fig. 31 (tomada de Gentry, 1971), la

6. Bibliografía

Amaya Topete, J. (1958) Atlas mexicano de la Conquista. Fondo de Cultura Económica. México.
 Ballenzweig, E. (1957) "Seasonal variation in frequency of Atlantic tropical cyclones". *Nat Hurricane Research*. Rept. No. 9 U. S. W. B.
 Bjerkness, J. (1950) "Extratropical cyclones". *Com-*

frecuencia de ciclones en el Golfo aparece expresada en porcentaje de años en los que, cuando menos, pasó un huracán por un cuadro de $2\frac{1}{2}^{\circ}$ de latitud-longitud. En esta figura se aprecia que la frecuencia de ciclones aumenta hacia la región central y sur del Golfo. Finalmente, en la Fig. 32, tomada de un trabajo anterior del autor (Jáuregui, 1967), aparece la frecuencia con que los ciclones tropicales tocaron las regiones costeras mexicanas del Golfo y del Caribe en el periodo 1901-58. La península de Yucatán acusa la incidencia mayor de ciclones, seguida de las costas de Tamaulipas a las que algunas de las perturbaciones que tocan Yucatán van a recalar después de cruzar el Golfo de México.

pendium of Meteorology. Amer. Meteor. Soc. Boston. p. 590.
 Bradbury, D. (1958) "On the behaviour patterns of cyclones as related to zonal index" *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 39(3).
 Cry, G. W. Haggard, W. (1962) "North Atlantic

- tropical cyclones activity. 1901-60" *Monthly Weather Review*. Vol. 8, p. 348.
- Domínguez, E. (1940) Elementos de Previsión del Tiempo a corto Plazo en la República Mexicana. Esc. Náutica. Veracruz.
- Dunn, G. (1940) "Cyclogenesis in the tropical Atlantic". *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 21; 225-229.
- Dunn, G. (1956) "Areas of hurricane development". *Monthly Weather Review*. Vol. 84 (2); 47-50.
- Frank, N. (1970) "Atlantic tropical systems of 1969". *Monthly Weather Review*. Vol. 98 (2); 47-50.
- Frank, N. 1970 "Atlantic tropical systems of 1969". *Monthly Weather Review*. Vol. 98 (4); 307-314.
- Frank, N. (1969) "The inverted V cloud pattern-an Easterly wave?" *Monthly Weather Review*. Vol. 97 (2); 130-139.
- Gentry, C. (1971) Symposium on investigations and Resources of the Caribbean Sea and Adjacent Regions. UNESCO. París. p. 80.
- Green, R. (1966) "The weather and Circulation of February 1966". *Monthly Weather Review*. Vol. 94 (5) p. 345.
- Gray, W. M. (1958) "Global view of the origin of tropical disturbances". *Monthly Weather Review*. Vol. 96; 669-700.
- Guzmán, J. (1904) Climatología de la República Mexicana. Ed. Imprenta Gf. País, México. 57 pp.
- Hastenrath, S. (1966) "On the general circulation and energy budget in the area of Central American seas". *Journ. Atm. Sci.* Nov. 694-711.
- Hill, J. (1969) Temperature variability and synoptic cold fronts in the winter climate of Mexico. McGill University. Montreal. Climat. Series No. 4.
- Hosler, Ch. (1956) "Easterly waves in the Gulf of Mexico". *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 37 (3); 101.
- Jáuregui, E. (1958) Variación secular de los tipos de configuración isobárica de superficie para la República Mexicana. Instituto de Ciencia Aplicada, UNAM-UNESCO, (mimeógrafo).
- Jáuregui, E. (1967) "Las ondas del Este y los ciclones tropicales en México". *Ing. Hidr. en México*. Vol. 21 (3); 197-208.
- Jáuregui, E. (1971) "Variaciones de largo periodo de los tipos de tiempo de superficie en México". *Boletín Instituto de Geogr. UNAM*. Vol. 4; 9-22.
- Jetton, E. Woods, C. (1967) "Heavy rains in SE N. Mex. and SW Texas". *Monthly Weather Review*. Vol. 95 (4); 221-224.
- Klaus, D. (1974) "Las invasiones de aire frío en Los trópicos, a sotavento de las montañas Rocalocas". *Geofis. Int.* Vol. 13 (2) p. 103.
- Lahey, J. (1958) On the origin of the Dry Climate in Northern South America. Ph. D. Dissertation, Univ. of Wisconsin, Madison.
- Lamb, H. H. (1966) "Climate in the 60's World Wind Circulation reflected in prevailing temperatures and rainfall patterns". *Geogr. Journ.* Vol. 132 Part. 2; 183-212.
- López, E. (1917a) "Los Nortes". *Bol. Soc. Mex. Geogr. y Estad.* Tomo 8 (2).
- López, E. (1917b) "Estudio sobre los Nortes". *Bol. No. 6 del Observatorio Meteor. y Sismol. Central*. Junio.
- López, E. (1921) Nueva nota sobre los Nortes del Golfo. Soc. Cient. A. Alzate. Talleres Gráficos de la Nación. Tomo 41.
- Lucio, R. (1929) "Los vientos boreales en la República Mexicana". Secr. Agric. y Fomento. Publ. No. 7. 10 pp.
- Monthly Climatic data for the World*. Sponsored by world Meteor. Organization U. S. Dept. of Commerce NOAA. Environmental, Data Service. Asheville N. C.
- Namias, J. (1955) "Some meteorological aspects of Drought". *Monthly Weather Review*. Vol. 83; 155-205.
- Portig, W. (1958) "Frontdurchgang in Mittelamerika" *Meteorologische Rundschau* Vol. 11. Heft 4; 112-116.
- Riehl, H. (1945) "Waves in the Easterlies and the polar front in the tropics". Univ. of Chicago, *Misc. Papers. Report* No. 17.
- Riehl, H. (1965) Introduction to the atmosphere, McGraw-Hill. p. 158.
- Saucier, W. (1949) "Texas West Gulf Cyclones". *Monthly Weather Review*. Vol. 77 (8); 219-231.
- Sadler, N. (1966) The Easterly wave — biggest hoax in Tropical Meteorology. Seminar Nat. Center Atm. Research. Boulder. Colo.
- Sugg, A. Herbert, P. (1969) "The Atlantic hurricane Season of 1968". *Monthly Weather Review*. Vol. 97 (3); 225-239.
- Simpson, R. H., Neil, F. Shiedeler, D., Johnson, H. (1968) "Atlantic tropical disturbances 1967". *Monthly Weather Review*. Vol. 96 (4); 251-259.
- Simpson, R. Frank, N. Shideler D., Johnson H. (1969) "Atlantic tropical disturbances 1968". *Monthly Weather Review*. Vol. 97 (3); 241-254.
- Stark, L., Richter, D. (1954) "Cyclogenesis in the Gulf States". *Monthly Weather Review*. Vol. 82 (1); 35-39.
- Thompson, B. (1965) The climate of Africa. Oxford Univ. Press, N. York, 132 p.
- U. S. Weather Bureau (1959), Hurricane Forecasting Guide No. 3. U. S. Dept. of Commerce.
- Winstanley, D. (1973) "Rainfall patterns and general atmospheric circulation" *Nature*. Vol. 245; 190-194.