

VARIACIONES DE LARGO PERIODO DE LOS TIPOS DE TIEMPO DE SUPERFICIE EN MÉXICO

RESUMEN

Se examinan las diversas clasificaciones de tipos de tiempo que se han hecho para México, basadas en la distribución de la presión al nivel del mar. Al consultar los tipos de tiempo para los periodos 1919-38, 1951-55 y 1961-66 se encontró que los tipos de invasión de aire polar acusan una variación entre 1919-66 muy semejante a la que se observa en la precipitación de algunos lugares de México. Al mismo tiempo estas oscilaciones coinciden con las observadas en el índice zonal de la corriente de los vientos del oeste en el Atlántico Norte.

Los resultados anteriores confirman las conclusiones de Bradbury quien encontró que con una situación de índice alto se eleva en Norteamérica la incidencia de anticlones en bajas latitudes durante el invierno.

LONG PERIOD VARIATIONS OF SURFACE PRESSURE WEATHER TYPES IN MEXICO

SUMMARY

Surface pressure weather types for Mexico are examined. Variations for ten weather types for the period 1919-38 are presented. The cold polar outbreak over the Gulf of Mexico weather type shows a variation coincident with ten year running precipitation means for several places in Mexico for the period 1919-66. These oscillations are also similar to the ones observed in the North Atlantic for the zonal index by Lamb for the same period.

VARIACIONES DE LARGO PERIODO DE LOS TIPOS DE TIEMPO DE SUPERFICIE EN MÉXICO

Por *Ernesto Jáuregui O.*

I. INTRODUCCIÓN

Los primeros intentos de clasificación de los tipos de tiempo en México datan de la década de los años veinte. La distribución de la presión atmosférica al nivel del mar fue desde luego el factor que más llamó la atención de los meteorólogos cuando intentaron caracterizar un determinado tipo de tiempo. Así Elpidio López (1926) propuso nueve tipos de tiempo característicos de México, ligados a un cierto patrón de distribución barométrica, los cuales aparecen resumidos en la tabla 1.

En la década de los años treinta, el climatólogo Pedro Sánchez (1934) propuso cuatro tipos fundamentales de tiempo en México: seco y caluroso, seco y frío, tiempo de lluvias estivales y tiempo de lluvias invernales; para caracterizar mejor cada tipo según la presión, este autor divide el área de Estados Unidos y México en cuatro sectores formados por la intersección del meridiano 97° Oeste con el paralelo 24° Norte. Según se encuentren los centros de alta y baja presión en los diversos sectores se obtendrán los diferentes tipos de tiempo en el país.

El autor mencionado además de describir con más detalle cada tipo de tiempo, señala con mayor precisión en qué lugar del país se manifiestan las condiciones meteorológicas características del tipo, pues hace ver que un tiempo seco para el altiplano puede coincidir

con un tiempo lluvioso en el Golfo de México y Península de Yucatán.

Al principiar la década de los años cuarenta Domínguez (1941), propuso una clasificación de tipos de tiempo para México basada en la distribución barométrica de superficie, con vistas a que el conocimiento de los tipos sirviera para pronosticar las condiciones atmosféricas basándose en datos exclusivamente de superficie ya que en aquella época las observaciones en los niveles superiores eran muy escasas en nuestro país.

Los tipos de tiempo de la tabla 2 fueron propuestos inicialmente por Domínguez (1941) desde el año 1924. Cinco de ellos corresponden a la estación seca y los tres restantes se presentan en la época de lluvias, Domínguez hace una descripción bastante detallada de cada uno de los tipos de tiempo y la tabla ha sido hecha tomando sólo lo más sobresaliente de la descripción. Los cinco tipos de la estación seca corresponden a situaciones de invasión de aire polar en diversos grados de intensidad en relación a la temperatura, humedad y viento.

Los tipos de verano se refieren el primero al que posteriormente se llamó sequía intraestival (ver Mosiño y García, 1968), el segundo al de una onda del Este (que los meteorólogos de entonces denominaban como un aciclamiento) y finalmente el tipo propio de la estación lluviosa.

El interés de los primeros meteorólogos mexicanos por caracterizar ciertas situaciones

típicas del tiempo en relación con la distribución de la presión, provino como se ha mencionado del deseo de utilizar este conocimiento como una técnica para el pronóstico del tiempo. Así, si un tipo de tiempo quedaba perfectamente identificado se podrían predecir las condiciones atmosféricas que usualmente lo acompañan en las diversas zonas del país.

Durante la década de los años cuarenta se amplió considerablemente el conocimiento de las condiciones atmosféricas en los trópicos. Si bien en la estación de secas gran parte de nuestro país se encuentra bajo la influencia de los sistemas de tiempo de las latitudes medias (de 30° a 60° de latitud) cuyo compor-

tamiento se conocía bastante bien, en la estación de lluvias el territorio nacional queda sometido al influjo de la corriente de aire tropical.

Con anterioridad a la mencionada década de los años cuarenta, se tenía la idea de que las condiciones del tiempo y los sistemas atmosféricos eran más simples que los correspondientes a las latitudes medias. Esto se debía por una parte a la escasez de los registros meteorológicos sobre todo en las vastas extensiones de los mares tropicales.

Al intentar aplicar las técnicas de las latitudes templadas los meteorólogos se encontraban con que había poco contraste en las masas

Tabla 1
TIPOS DE TIEMPO EN MEXICO SEGÚN LÓPEZ (1926)

<i>Tipo de tiempo</i>	<i>Distribución de la presión</i>	<i>Fenómenos atmosféricos característicos</i>
Seco y caluroso	Baja presión en la cuenca del río Bravo, gradiente débil	
Tiempo de lluvias de convección	Alta presión en el norte del Golfo de México, gradiente moderado	Lluvias en el centro y sur del país
Lluvias de relieve	Alta sobre el norte de Texas, gradiente fuerte	Lluvias en Oaxaca, Veracruz, Puebla y Tabasco
Tempestades ciclónicas	Baja en el oeste de Texas, gradiente débil	Tormentas sobre el centro del Altiplano
Tiempo de heladas	Baja al oriente de Yucatán	Heladas en la Altiplanicie
Heladas en pleno invierno	Anticiclón intenso en el poniente del Golfo de México	Heladas fuertes en la Altiplanicie
Tiempo anunciando norte	Anticiclón fuerte al norte de Texas, baja presión en el sur del Golfo de México	Onda fría avanzando por el norte
Tiempo anunciando norte	Igual al anterior pero el gradiente barométrico intensificándose	Onda fría ocupando la región norte del país
Tiempo de norte y onda fría	Anticiclón ocupando todo el Golfo de México, gradiente fuerte	Onda fría intensa, tiempo nublado y lluvioso con vientos fuertes

Tabla 2
TIPOS DE TIEMPO EN MÉXICO SEGÚN DOMÍNGUEZ (1941)

<i>Tipo de tiempo</i>	<i>Región donde</i>	<i>Temporada en que se presenta</i>	<i>Distribución de la presión</i>	<i>Fenómenos característicos</i>
Caluroso Seco Calmoso	SW del Golfo de México	Mayo, junio y agosto	Moderada depresión sobre México y S de E.U.	Cielo despejado, calor sofocante, visibilidad mala, viento en calma
Frío Seco Calmoso	Mesa Central	Otoño e Invierno	Relieve Isobárico de escasa pendiente	Quietud atmosférica, tardes de gran visibilidad, masa de aire continental
Caluroso Seco Ventoso	SW del Golfo de México	Invierno	Depresión en la cuenca del río Bravo	Vientos del sur o suradas, tiempo bochornoso que produce nerviosismo
Frío Seco Ventoso	Vertiente oriental y Altiplanicie	Invierno	Alta presión en N de México y sur de E.U.	Aire polar continental, descenso de humedad
Caluroso Húmedo Calmoso	Todo el país	Temporada de lluvias	Relieve isobárico pequeño	Gran bochorno debido a la humedad y temperatura, aire tropical, lluvia
Frío Húmedo Calmoso	Golfo de México	Invierno y Primavera	Gradiente ligero	Masa polar en transición, viento menos intenso, tiempo gris con llovizna
Caluroso Húmedo Ventoso	Mitad sur del país	Estación de lluvias	Gradiente débil, aciclamiento	Tiempo bochornoso, lluvias abundantes, aire subtropical ligera controlación del viento
Frío Húmedo Ventoso	Mitad Oriente	Otoño e Invierno	Fuerte gradiente, depresión en el Golfo de México	Onda fría, nublado cielo gris lluvioso

de aire tanto en la temperatura como en el contenido de la humedad y en la estabilidad. Por esta razón se creía que la actividad frontal (si la había) era débil y los sistemas de tiempo menos evidentes que en los climas templados. Además, los débiles gradientes de presión que prevalecen en el aire tropical (fuera de los ciclones tropicales) aunado a lo pequeño de la fuerza de Coriolis impide que el viento alcance el equilibrio geostrofico, por lo

que tuvieron que abandonarse las técnicas que utilizaban (y continúan aplicándose) con éxito para analizar los mapas meteorológicos de las latitudes medias.

A partir de la segunda guerra mundial un mayor número de observaciones, sobre todo las del aire superior realizadas por medio de radiosondeos reveló que, a diferencia de lo que se creía, el tiempo en los trópicos no es tan uniforme y se observan cambios frecuentes y

complejos en las condiciones atmosféricas asociados a sistemas de tiempo bien caracterizados en las diversas áreas tropicales de la tierra. También se descubrió desde entonces que los mecanismos que son necesarios para que se desarrolle una perturbación en la corriente tropical son más pequeños que los que están asociados a las depresiones de las latitudes templadas. Los sistemas de tiempo característicos del aire tropical de nuestro país que han recibido una mayor atención de los meteorólogos en las últimas décadas son:

- a) Los sistemas lineales
- b) Las perturbaciones ondulatorias en los alisios
- c) Los vórtices ciclónicos tropicales

Estos tipos de tiempo de la estación húmeda han sido estudiados por diversos autores (ver Riehl, 1954, 1965; Palmén, 1949; Malkus, 1958; Dunn, 1960; Hosler, 1956).

a) Los sistemas lineales se refieren a las líneas de confluencia que ocurren cuando las líneas de flujo del campo del viento convergen. Es el caso de la llamada Zona Intertropical de Convergencia (ZIC) que se debe a la confluencia de los vientos alisios de ambos hemisferios. Durante la estación lluviosa esta faja de convergencia se desplaza de su posición al oeste de Panamá hacia el norte hasta ubicarse al oeste de Guatemala según una orientación Este-Oeste o ESE-WNW afectando las condiciones atmosféricas en los Estados del sur del país.

Ocasionalmente en esta línea de confluencia se originan vórtices ciclónicos que luego siguen una trayectoria paralela a la costa del Pacífico. El área que recorre estacionalmente la zona intertropical de convergencia ha carecido de observaciones meteorológicas suficientes para poder definir mejor la estructura y comportamiento de estas perturbaciones. Sólo en los últimos años gracias a las fotografías del satélite meteorológico se ha podido seguir su evolución a través del año.

En un estudio reciente sobre las perturbaciones del Atlántico Tropical, Simpson, "et al" (1969) señala que en 1968 (que fue un año excepcional por el elevado número de ondas del Este y otras perturbaciones) muchas de las perturbaciones del Atlántico Oriental lle-

garon al Caribe sin desarrollarse y al cruzar la América Central encontraron en el Océano Pacífico su ambiente más favorable para su desarrollo, principalmente un menor cizallamiento vertical del viento. Estos autores encontraron que de 19 tormentas tropicales que se desarrollaron en el Océano Pacífico Oriental, cuatro habían tenido su origen en África o en el Atlántico.

b) Las ondas del Este. Estas perturbaciones que se originan en el Atlántico Tropical entran al país por la Península de Yucatán; al cruzar por la porción montañosa del sur de México se distorsiona considerablemente el campo del viento y sólo son detectables en los niveles superiores donde incluso pueden desarrollar un área cerrada de baja presión. Estos sistemas son bastante diferentes de las depresiones de las latitudes templadas. La onda del Este del área del Caribe es una vaguada de presión bastante débil que se inclina hacia el Este con la altura; las nubes convectivas de gran desarrollo y los chubascos ocurren detrás del eje de la vaguada, donde hay convergencia del aire mientras que delante de ésta hay divergencia. Esto se deduce de la ecuación de la conservación de la vorticidad potencial (ver, por ejemplo, Barry y Chorley 1968), o Riehl (1954) en la que se supone que el aire que fluye a un nivel determinado por la onda no cambia su temperatura potencial (es decir, en movimiento adiabático) la ecuación se expresa así:

$$\frac{F + \zeta}{\Delta P} = K$$

Donde

F es el parámetro de Coriolis

ζ vorticidad relativa (si es ciclónica es positiva)

ΔP es la profundidad de la columna de aire troposférico

El parámetro de Coriolis depende de la latitud:

$$F = 2 V \Omega \text{ sen. } \phi$$

V velocidad del viento

Ω velocidad de rotación de la tierra

ϕ latitud

De modo que el aire que llega al eje de la vaguada se mueve hacia el polo (por lo que F aumenta) y hacia una zona curvatura ciclónica (por lo que ζ también aumenta) de modo que si el primer miembro de la ecuación ha de mantenerse constante ΔP debe aumentar.

Esta expansión de la columna de aire requiere de un movimiento de convergencia. Por otra parte, hay divergencia del aire que se mueve hacia el sur por delante del eje de la vaguada y al mismo tiempo la curvatura es anticiclónica. La zona de divergencia se caracteriza por aire descendente y seco con una capa húmeda poco profunda en los niveles bajos mientras que en el eje y detrás de éste la capa húmeda se expande hasta 4 500 m o más.

Cuando estas ondas van cruzando el sur de México su localización sólo es posible en los mapas de altura; ya que en el mapa superficie sólo se advierte un área irregular de nubosidad y precipitación.

En un estudio sobre las ondas del Este en el Golfo de México, Hosler (1956) encontró que agosto y septiembre fueron los meses de mayor incidencia de las ondas (para el periodo de 1946-1954) seguidos de junio y julio. Resultados semejantes obtuvo posteriormente Mosiño (1958) al analizar la frecuencia de configuraciones del flujo aéreo en la altura sobre México para el periodo 1951-54 (para los niveles de 700 [3 00 m] y 500 [6 00 m] milibarios).

c) Ciclones Tropicales. El típico ciclón de nuestras costas tiene diámetros que fluctúan de 300 a 500 kilómetros, siendo los sistemas del Golfo algo mayores en general que los que transitan frente a la costa del Pacífico. La presión en el centro baja a veces a más de 950 milibares. Ya que el área de baja presión abarca un área comparativamente pequeña sería difícil caracterizar un tipo de distribución de la presión al nivel del mar con un vórtice ciclónico pues el resultado sería una diversidad de tipos según la posición de la perturbación en los diferentes lugares del Golfo o del Pacífico.

En algunos casos la presión del vórtice origina un tipo de condiciones atmosféricas muy conocidas por los meteorólogos. Es el caso de un huracán que se aproxima a la Península de Yucatán; ya Domínguez (1941) (y sin duda antes que él otros) advertía que en estas condiciones se observa un "inusitado despeje en la altiplanicie; este cielo despejado se extiende hasta la región SW del Golfo de México, siendo días de gran diafanidad los que preceden a la llegada del ciclón al Golfo de Honduras o al Canal de Yucatán".

2. VARIACIÓN DE LOS TIPOS DE CONFIGURACIÓN ISOBÁRICA DE SUPERFICIE. a) En el estudio sobre los tipos de configuración del flujo aéreo en la altura, Mosiño (1958) incluyó además de los 15 tipos de altura una clasificación de tipos de tiempo de superficie de los cuales cinco corresponden a situaciones ciclónicas y otros cinco describen condiciones anticiclónicas (tabla 3). Algunos de estos tipos se asemejan bastante a los propuestos por otros meteorólogos en el pasado, sobre todo a los de López (1926).

En el presente trabajo usaremos los 10 tipos mencionados y estudiaremos las variaciones de dichos tipos para un periodo de 20 años. En el trabajo de referencia se hace hincapié en que las cartas meteorológicas de superficie para México no son del todo adecuadas para el estudio del flujo aéreo real "debido a que cerca del 60% del país queda arriba de la cota 1 000 metros sobre el nivel del mar y las isobaras 'al nivel del mar' resultantes para la altiplanicie no son representativas del flujo aéreo a ningún nivel".

Sin embargo, los sistemas de tiempo se pueden localizar con suficiente precisión por medio del análisis isobárico de superficie en todo el resto del país; es decir, en las planicies costeras del Golfo de México y del Océano Pacífico así como en las Penínsulas de Yucatán y de Baja California. En todo caso Mosiño prefirió escoger configuraciones isobáricas cuyas características principales se encuentran más bien fuera de la región de la altiplanicie.

b) Para el presente trabajo se consultaron los mapas diarios (12.00 hora de Greenwich) de superficie publicados por la Oficina Meteorológica de los Estados Unidos. Esta colección de mapas se encuentra en el Servicio Meteorológico Nacional en donde fue consultada por el autor.

El periodo examinado comprende 20 años (de 1919 a 1938) y se pensó que este lapso es suficientemente largo para estudiar las variaciones seculares de los tipos de superficie, habría que tomar en cuenta, sin embargo, que los resultados del presente trabajo estarán influenciados en cierta medida por las diferencias en los métodos de análisis usados en la Oficina Meteorológica Estadounidense y por la Oficina Meteorológica de Radio Aeronáutica (RAMSA), cuyos mapas utilizó Mosiño.

c) Frecuencia de los tipos. En la tabla 4 aparece el número de casos que se presentaron para cada tipo durante los 20 años analizados y para cada mes del año. Además se ha calculado en la columna adyacente la frecuencia relativa de cada tipo (esta frecuencia se calculó dividiendo el número de veces que se presentó cada tipo durante el periodo entre el número total de casos de todos los tipos expresado este cociente en por ciento). La tercera columna corresponde a la frecuencia relativa

de los tipos obtenidos por Mosiño en la misma forma, para el periodo 1951-54. Comparando estas dos últimas columnas se advierte que las frecuencias relativas (columnas 2 y 3) difieren menos para los tipos de mayor ocurrencia (el 5 y el 9 de octubre a abril y el 6 y 7 de junio a agosto; a medida que disminuye la frecuencia relativa, las diferencias entre las columnas 2 y 3 se hacen mayores debido a la mayor variabilidad de los tipos poco frecuentes como se verá en seguida.

Tabla 3
TIPOS DE CONFIGURACIÓN ISOBARICA DE SUPERFICIE DE MOSIÑO (1958)

<i>Tipo</i>	<i>Distribución de las isobaras</i>	<i>Descripción</i>
1	Depresión superficial sobre la altiplanicie	Eje mayor orientado NE-SW
2	Depresión cerrada sobre el NE de México	Puede alojar la depresión una onda frontal incipiente
3	Depresión sobre el Golfo de México	Puede contener una onda frontal en invierno o un ciclón tropical en verano. Anticiclón en el centro de E.U.
4	Depresión en la altiplanicie occidental de E.U.	Baja fría (Southwestern low) en California-Arizona y un anticiclón sobre el Golfo de México
5	Vaguada de sotavento de las montañas al este de la Sierra Madre Oriental	La vaguada se alarga hasta el sur del Golfo de México
6	Celda anticiclónica sobre el norte del Golfo de México	Vaguada orientada norte-sur al este de Florida
7	Anticiclón sobre el este de E.U. que es el extremo poniente del anticiclón Bermuda-Azores	El anticiclón puede extenderse hacia el SW sobre México
8	"Norte" el frente se encuentra entre Monterrey y Tampico	Gradiente fuerte de presión con un anticiclón intenso al norte de Texas. Depresión en el sur del Golfo de México
9	"Norte" igual al anterior pero el frente ya pasó por Veracruz	Fuerte gradiente de presión con el anticiclón ocupando todo el Golfo de México
10	"Norte" igual al anterior pero el frente ya se desplazó al sur de Yucatán	Gradiente disminuyendo en intensidad. El área de alta presión tiene su centro en el medio oeste de E.U.

Tabla 4

COMPARATIVA DE FRECUENCIA MENSUAL Y FRECUENCIA RELATIVA MENSUAL DE LOS TIPOS (periodo 1919-1938). (La 3a. columna es frecuencia relativa para el periodo 1951-1954, calculada por Mosiño.)

<i>Tipo</i>	<i>Enero</i>			<i>Febrero</i>			<i>Marzo</i>			<i>Abril</i>		
1	25	4.4	0.8	24	4.5	0	27	4.4	0.8	15	2.6	0.8
2	10	1.7	0.8	6	1.1	1.7	15	2.5	4.9	15	2.6	0.8
3	33	5.7	1.2	21	3.9	3.8	21	3.4	3.8	11	1.9	0
4	60	10.4	13.7	66	12.4	13.6	91	15.0	19.9	66	11.4	15.5
5	209	36.5	39.5	206	39.0	40.3	239	39.5	46.4	289	50.2	60.2
6	1	0.2	0	2	0.3	0	6	1.0	0	33	5.7	0.4
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.3	0.4
8	110	19.1	12.1	93	17.5	16.9	94	15.5	11.2	66	11.4	10.2
9	124	21.6	16.9	111	20.9	20.3	113	18.6	12.5	76	13.2	11.5
10	4	0.7	14.9	1	0.2	3.4	2	0.3	0.4	1	0.2	0

<i>Tipo</i>	<i>Mayo</i>			<i>Junio</i>			<i>Julio</i>			<i>Agosto</i>		
1	38	6.0	0.8	24	3.8	0	22	3.6	0	15	2.5	0
2	24	3.8	3.3	7	1.1	0	4	0.7	2.1	4	0.7	0.8
3	15	2.4	2.1	9	1.4	1.5	6	1.0	3.3	11	1.9	4.1
4	60	9.4	32.9	20	3.2	11.5	7	1.1	0.8	6	1.0	0.8
5	287	45.2	44.2	142	22.5	35.4	55	9.0	14.4	21	12.0	26.2
6	72	11.4	1.2	267	42.5	33.1	354	57.9	48.8	342	57.6	43.3
7	14	2.2	0	121	19.3	13.4	150	24.5	30.6	127	21.4	24.9
8	74	11.7	7.9	29	4.6	2.0	10	1.6	0	16	2.7	0
9	50	7.9	7.5	10	1.6	0	2	3.3	0	1	0.2	0
10	1	0.2	0	0	0	3.4	0	0	0	0	0	0

<i>Tipo</i>	<i>Septiembre</i>			<i>Octubre</i>			<i>Noviembre</i>			<i>Diciembre</i>		
1	18	3.2	0.4	23	4.0	0	12	2.3	0	15	2.7	0.4
2	3	0.5	0	5	0.9	0.8	6	1.1	0.4	20	3.6	1.7
3	25	4.5	8.4	26	4.6	5.1	15	2.8	6.3	19	3.4	2.9
4	13	2.3	0	53	9.3	5.5	60	11.3	5.5	62	11.2	5.5
5	178	31.7	17.7	235	41.3	43.9	194	36.7	46.4	203	36.5	44.6
6	179	31.9	37.2	35	6.2	6.3	8	1.5	1.3	5	0.9	0
7	63	11.2	29.2	3	0.5	5.5	7	0.2	0	0	0	0
8	64	11.4	3.1	60	10.6	7.2	81	15.1	14.4	87	15.6	17.0
9	19	3.4	3.1	127	21.3	19.5	148	28.0	18.6	137	24.7	24.4
10	0	0	0.8	8	1.4	5.9	4	0.8	6.3	7	1.3	3.7

En la tabla 5 se muestra la frecuencia anual y el promedio de los tipos para el periodo considerado; también se ha calculado el coeficiente de variación (C. V.) de cada tipo. El tipo 5 (vaguada de sotavento de las montañas al oriente de la Sierra Madre Oriental) es con

mucho el más frecuente y el menos variable (C. V. igual a 15%).

Sigue en importancia por su frecuencia el tipo 6 (celda anticiclónica al norte del Golfo de México separada del anticiclón de las Azores por una vaguada extendida de norte a sur)

Tabla 5
FRECUCENCIA ANUAL DE LOS TIPOS ISOBÁRICOS DE SUPERFICIE
(1919-1938)

Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1919	9	6	7	41	115	86	23	41	24	0
20	11	7	10	21	133	47	30	56	41	0
21	10	1	2	34	136	68	27	26	49	4
22	8	10	13	40	103	54	31	54	34	0
23	8	8	7	31	125	54	17	42	45	0
24	8	9	17	33	120	42	7	45	66	2
25	10	5	13	21	121	73	25	26	49	3
26	15	3	8	32	160	40	11	40	33	1
27	17	2	8	24	133	72	24	25	33	4
28	36	6	17	16	80	66	34	32	50	4
29	21	7	17	39	112	53	7	37	53	3
30	16	4	11	15	89	75	31	46	61	0
31	15	7	10	14	108	79	32	27	61	1
32	21	4	17	33	102	49	15	47	42	0
33	22	10	4	25	115	61	35	30	50	0
34	6	7	19	26	104	80	25	40	39	2
35	7	6	12	24	126	56	30	35	40	2
36	6	0	10	17	113	67	39	37	68	1
37	6	5	8	27	95	95	33	55	35	0
38	4	11	4	39	114	84	21	30	41	1
Suma	256	118	214	552	2 304	1 301	497	771	914	28
Promedio	12.8	5.9	10.7	27.6	115.2	65.0	24.8	24.2	35.5	1.4
Variación	57.4		22.8	71.9	309.7	234.8	84.7	96.0	133.5	
Desvío tipo	7.6		4.8	8.6	17.6	15.4	9.3	9.8	11.6	
C. V.	59		45	31	15	24	37	25	25	

con una variabilidad relativamente pequeña (24%). En seguida vienen los tipos de Norte 8 y 9 con casi la misma variabilidad que el tipo 6.

La variabilidad del resto de los tipos aumenta considerablemente a medida que disminuye su frecuencia. En la figura 1 aparecen gráficamente las variaciones de la frecuencia anual de algunos de los tipos de superficie.

d) Frecuencia de los Nortes del Golfo de México. El tipo 9 corresponde al de un Norte anticiclónico que ha pasado ya el puerto de Veracruz. De la tabla 4 podemos deducir la frecuencia media mensual de los Nortes para el periodo de 20 años considerado, como se ve en la tabla 6.

En los meses de octubre a marzo el número de situaciones de "norte" que ya pasó por Ve-

Tabla 6
FRECUCENCIA MENSUAL DE LOS NORTES ANTICICLONICOS DEL GOLFO DE MÉXICO

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Annual
Tipo 9	6.2	5.5	5.6	3.8	2.5	0.5	0.1	0.0	0.9	6.3	7.4	6.8	45.6
Tipo 8	5.5	4.6	4.7	3.3	3.7	1.4	0.5	0.8	3.2	3.0	4.1	4.3	39.1

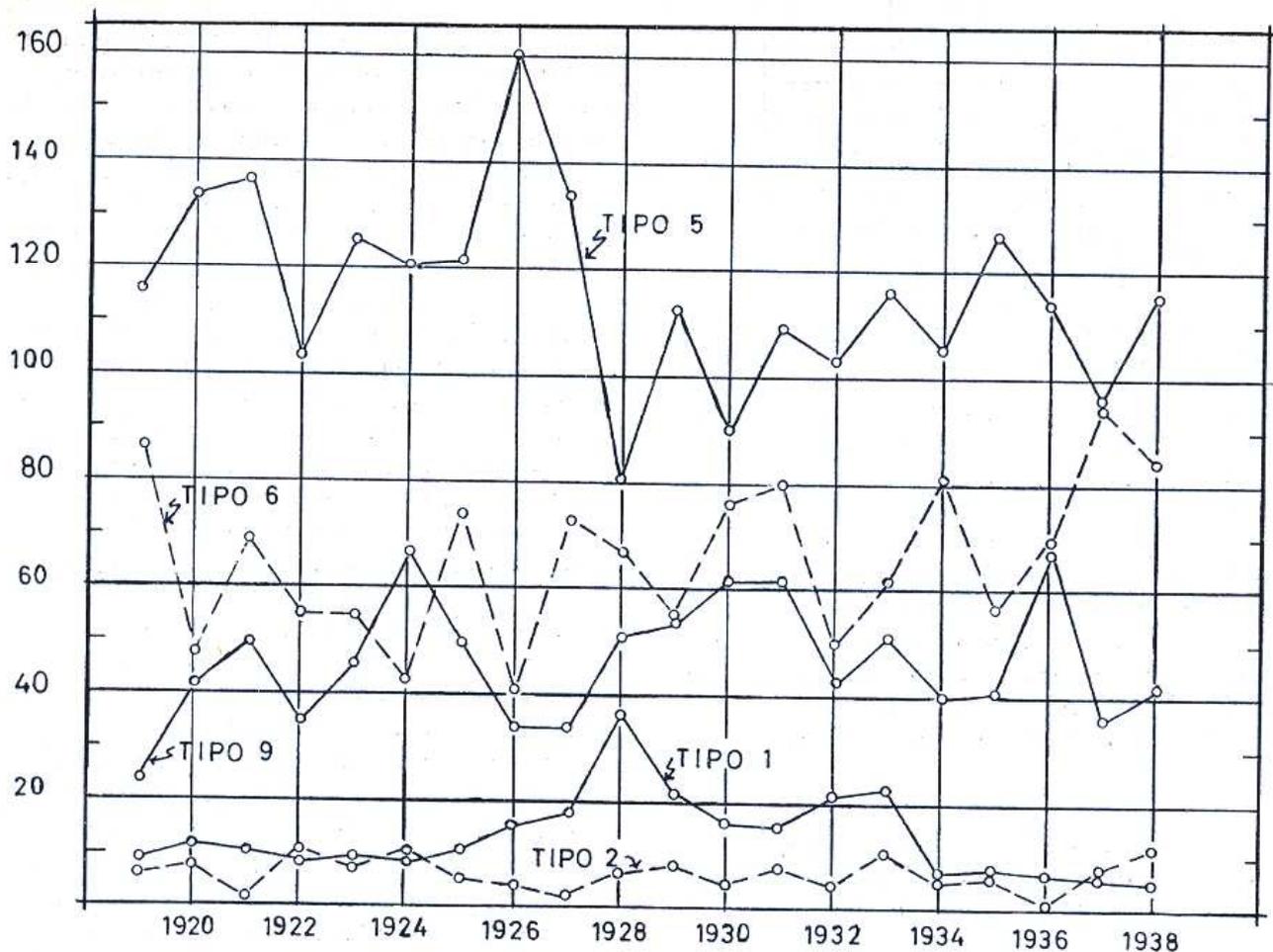


FIG. 1. VARIACION DE LA FRECUENCIA ANUAL DE LOS TIPOS ISOBARICOS DE SUPERFICIE.

racruz varía de 5 a 7 veces al mes, esto no significa que en promedio soplen de 5 a 7 nortes por mes en la época de secas sino que en los meses mencionados los días con norte fluctúan entre 5 a 7 días.

Estos resultados son semejantes a los obtenidos por el meteorólogo R. Lucio (1936) en un estudio sobre los nortes de Veracruz.

Si se toma la frecuencia del tipo 8 que es un norte que se encuentra entre Monterrey y Tampico la frecuencia es algo menor que la del tipo 9 lo cual quizá se deba a que este último tipo se estaciona un poco más de tiempo una vez que las masas de aire polar han llenado toda la cuenca del Golfo y el aire frío se represa contra las vertientes de la Sierra Madre.

e) Variación decadal de los tipos. En la figura 1 no se advierte particularmente ninguna

tendencia en las variaciones de los tipos durante los 20 años considerados.

Sin embargo, si comparamos las frecuencias relativas de los tipos 8 y 9 de nortes anticiclónicos correspondientes al periodo 1919-1938 con los encontrados por Mosiño (1958) para el periodo 1951-1954 advertimos que la frecuencia de estos tipos de norte disminuyó apreciablemente para los meses de noviembre, enero y marzo (fig. 2).

Esto significa que las situaciones de invasiones de aire polar en nuestro país fueron en 1919-1938 más frecuentes que los otros tipos de tiempo que en un periodo posterior (1951-1954). Si se calcula el promedio anual de estos dos tipos para los dos periodos considerados se encuentra que en el primer periodo la frecuencia anual es de 39 y 46 para los tipos 8 y 9 respectivamente, mientras que para

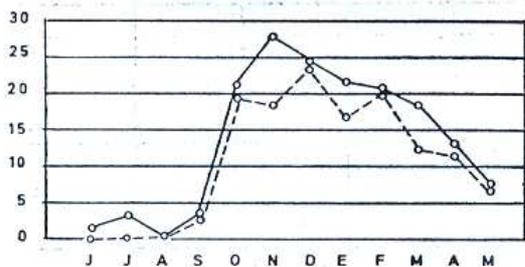


FIG. 2. FRECUENCIA DEL TIPO 9 DE NORTE PARA DOS PERIODOS (1919-38 — 1951-54 - - -).

el periodo estudiado por Mosiño la frecuencia anual decreció a 24 y 36 respectivamente (un decrecimiento del 39 y 22% respectivamente).

Si se calcula la frecuencia media de los tipos 8 y 9 para los periodos 1919-1928 y 1929-1938 encontramos (tabla 7) que el tipo 8 se mantiene constante en las dos décadas mientras que el tipo 9 aumenta en un 15% su frecuencia en la década 1929-1938 para luego decrecer considerablemente (un 26%) al principiar la década de los años cincuenta.

Tabla 7

VARIACIONES DE LA FRECUENCIA DE LOS TIPOS DE NORTE ANTICICLÓNICO PARA TRES PERIODOS

Periodo	1919-28	1928-38	1951-54	1961-66
Tipo 8	38.7	38.4	24.4	76.7
Tipo 9	42.4	49.0	35.5	67.7

Con objeto de ver si este decrecimiento de la frecuencia de los tipos anticiclónicos de invierno se había mantenido hasta la década de los años sesenta se analizaron los mapas de superficie para el periodo de 1961-66; el resultado aparece en la misma tabla 7 para los tipos 8 y 9, donde se advierte que la frecuencia de los nortes aumentó nuevamente para este periodo en forma considerable sobrepasando la frecuencia de los periodos anteriores.

De lo anterior puede concluirse que las invasiones de aire polar durante la época de secas no tienen una ocurrencia constante sino que acusan una variación para el periodo de cuarenta y cinco años considerado. ¿Qué relación guardan estas variaciones con las fluctuaciones de la precipitación y de la circulación general de la atmósfera?

En la figura 3 aparecen los promedios consecutivos de 10 años de la precipitación anual para varias estaciones que cuentan con largo registro. Se observa en general que la precipitación fue abundante durante el periodo 1920-39 coincidiendo con una alta incidencia de los nortes. En la década de los años cuarenta y principios de los cincuenta se acusa también en general un decrecimiento de la precipitación anual, coincidiendo también con una menor ocurrencia de los nortes anticiclónicos. Finalmente, al principiar la década de los años sesenta, la precipitación muestra una tendencia ascendente en la misma forma que aumen-

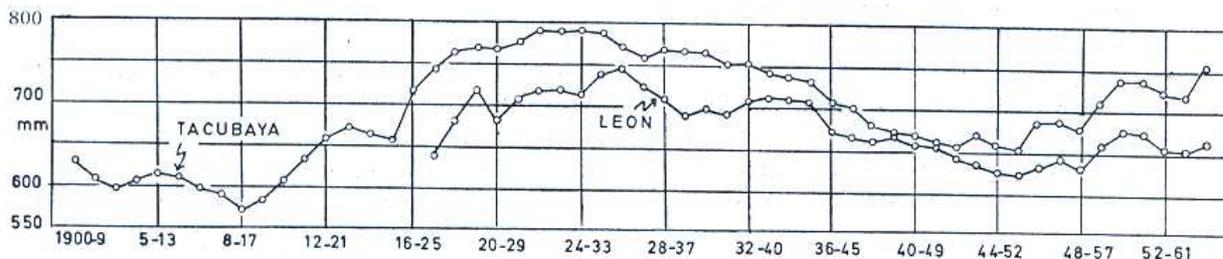
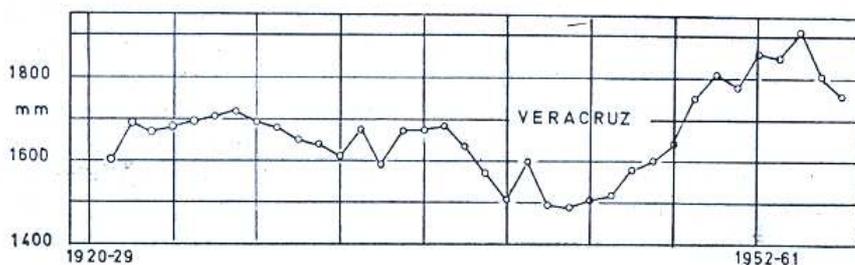


FIG. 3. PROMEDIOS CONSECUTIVOS DE DIEZ AÑOS DE LA LLUVIA ANUAL

ta también la incidencia de los tipos de tiempo anticiclónicos. Es decir, cuando los nortes fueron escasos en el Golfo de México gran parte del país registró precipitaciones menos abundantes en tanto que los periodos de años lluviosos se caracterizaron también por una mayor frecuencia de invasiones de aire polar en la estación seca. Lo anterior no significa desde luego que las precipitaciones excedentes en años lluviosos se deban al aporte de las precipitaciones que acarrearán los 'nortes', ya que en general las lluvias invernales constituyen un porcentaje reducido del total del año.

Lo que sí es posible asegurar es que estas variaciones de la frecuencia de los 'nortes' están relacionadas con las fluctuaciones de la circulación general en el Hemisferio Norte. Las variaciones seculares de los tipos de tiempo se observan en diversos lugares del planeta. En un estudio sobre la frecuencia de los tipos de tiempo en la Gran Bretaña, Lamb (1965) encontró que el tipo de tiempo más frecuente en Inglaterra (que denomina del oeste) alcanzó un máximo en el periodo 1898-1937 para después decrecer en forma sostenida hasta la década de los años sesenta habiendo sido la variación de un 15%.

En los Estados Unidos, Elliott (1951) y otros han propuesto de 20 a 30 tipos de tiempo para cuatro regiones sinópticas de Norteamérica que comprenden 45° de longitud cada una entre 135°E hasta 45°W. Este investigador advirtió que para cada región los tipos se podían agrupar en: tipos meridionales y tipos zonales. Los tipos meridionales se caracterizan por crestas y vaguadas de gran amplitud en la tropósfera media que tienden a guiar a los sistemas migratorios de superficie según trayectorias orientadas Norte-Sur (es decir, paralelas a los meridianos). Estos flujos meridionales son importantes por estar asociados a anomalías fuertes de temperatura como es el caso de los 'nortes' del Golfo de México.

Los tipos de flujo zonal se caracterizan por un reforzamiento de la corriente a lo largo de los paralelos. Al estudiar un periodo de 24 años (1919-1943), Elliott encontró que tanto los tipos zonales como los meridionales acusaron variaciones casi periódicas con un periodo de 5 ó 6 años que, según este autor, sugieren una correspondencia con el semiciclo de la frecuencia de las manchas solares.

El concepto de índice zonal fue introducido por Rossby (1939) quien encontró que esta cantidad, que expresa numéricamente (en superficie y en la altura) la intensidad de los vientos del oeste a escala hemisférica (usualmente entre las latitudes de 35° y 55°) está estrechamente ligada a la forma de la circulación general de la atmósfera. Willett (1944) señala que cuando la corriente de los vientos del oeste es intensa, como resultado de una diferencia de presión entre los 35° y 55°N mayor de unos 8 milibarios, la circulación general es del tipo de *índice alto*. En cambio el índice es bajo cuando la diferencia es de 3 milibarios o menos.

Algunas de las características de una circulación de índice alto o bajo según Willett y otros autores como Namias (1950) son:

a) *Índice alto*

1. Los centros de baja presión de las Aleutianas y de Islandia se desarrollan intensamente según una orientación Este-Oeste que se prolonga hacia el continente.
2. Las altas presiones del Atlántico y del Pacífico se intensifican y se desplazan algo al norte de su posición normal de invierno. El eje principal de estas celdas es también Este-Oeste de modo que el cinturón subtropical de alta presión y el circumpolar de baja presión se intensifican y tienden a ser zonalmente continuos.
3. Los anticiclones polares continentales de altas latitudes sobre Asia y Norteamérica desaparecen.

b) *Índice bajo*

1. Los centros de baja presión de Islandia y de las Aleutianas se dividen en dos celdas débiles.
2. Los anticiclones semipermanentes del Atlántico y del Pacífico se debilitan desplazándose hacia latitudes menores y subdividiéndose en dos celdas débiles. El eje mayor de estos centros se extiende frecuentemente según una dirección Norte-Sur.
3. Los anticiclones polares continentales se desarrollan intensamente sobre Asia y Norteamérica en las altas latitudes, sepa-

rados completamente del cinturón subtropical de alta presión.

Ahora bien, ¿qué variaciones han ocurrido en la circulación general de la atmósfera a través de un periodo largo de tiempo? Los cálculos hechos por diversos autores señalan que dichas variaciones de la circulación son considerables y así Lamb (1965) y otros han encontrado que entre 1900 y 1950 hubo una culminación en la intensidad de la circulación centrada en 1925 más o menos 20 años.

El mencionado autor tomó un índice simple para estimar la intensidad de la circulación general sobre el Atlántico del Norte: calculó la diferencia de la presión media mensual entre las regiones de más alta y más baja presión del Noratlántico, generalmente entre las islas Azores (donde se localiza el centro del anticiclón semipermanente del Atlántico del Norte) e Islandia (que es usualmente el área de presión más baja).

Después calculó los promedios consecutivos de 10 años para el periodo 1873-1959.

El resultado (fig. 4) son valores elevados desde principios del siglo hasta la década de los años treinta; a partir de este punto la intensidad de la circulación de los vientos del oeste (medida por este índice) decrece durante los años cuarenta y cincuenta comenzando a recuperarse al comienzo de la década de los años sesenta. Esta curva que mide en cierta forma el vigor de la circulación de la corriente de los vientos del oeste acusa variaciones muy semejantes a las de los tipos anticiclónicos en México para el mismo periodo.

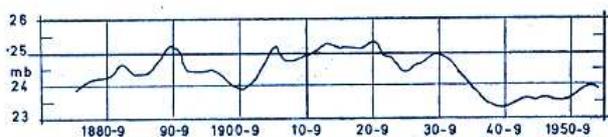


FIG. 4. PROMEDIOS CONSECUTIVOS DE DIEZ AÑOS DE LA AMPLITUD MEDIA DE LA PRESION EN EL NORATLANTICO. (LAMB 1965).

Ahora bien, el alto valor del índice de la circulación calculado por Lamb (1965) para el periodo 1905-39 se debe sin duda en parte a un aumento de las presiones en el anticiclón Bermuda-Azores. Pero, en qué forma se relaciona esta intensificación del anticiclón del

Atlántico Norte con un incremento correspondiente de la precipitación de las áreas subtropicales (y en consecuencia en México).

Un desarrollo vigoroso de la celda anticiclónica del Atlántico subtropical propicia, según Kraus (1960), una intensificación de la circulación meridional directa del tipo de la celda Hadley con una producción más activa de energía cinética. En las capas del aire superior este fenómeno origina una aceleración de la corriente de los vientos occidentales; mientras que la tropósfera baja produce un gradiente de presión más acentuado hacia la Vaguada Ecuatorial, y, en consecuencia, vientos del Este más fuertes que fomentan una mayor evaporación. Esta situación propicia la formación de un mayor número (o intensificación) de ondas del Este, según Riehl (1954) y un aumento en el transporte de humedad tanto hacia la Vaguada Ecuatorial o Zona Intertropical de Convergencia (ZIC), como a la región del Caribe, Golfo de México y costa oriental de los Estados Unidos, donde la lluvia es más abundante en estas condiciones. Para sustanciar la suposición anterior, Kraus cita a Ballenweig (1956) quien encontró que durante años de gran actividad ciclónica en la costa noreste de los Estados Unidos, la altura media de la superficie de 700 milibarios sobre la celda de alta presión del Atlántico Norte tiende a elevarse bastante más arriba de su posición media.

Por otra parte, Riehl (1954) señala que los centros anticiclónicos persistentes con eje vertical localizado al norte de la latitud 35°N caracteriza un flujo meridional (de sur a norte) en el verano. Entre las celdas anticiclónicas se localizan amplias vaguadas que pueden extenderse del Polo al Ecuador. Estas condiciones son favorables para el movimiento de líneas de cizallamiento de la Zona Ecuatorial hacia las latitudes mayores y también para la formación de tormentas tropicales según este autor; asimismo las ondas del Este se intensifican cuando intersectan las vaguadas de la corriente del oeste.

En un estudio sobre la frecuencia de ciclones y anticiclones y su relación con el índice zonal (para el periodo 1900-39) Bradbury (1958) encontró que con la situación de índice zonal alto se elevó en Norteamérica el número de anticiclones a bajas latitudes (y por lo tanto, los 'nortes' en el Golfo de México) durante

el invierno. Esta misma distribución fue observada por la mencionada investigadora en el Atlántico Nororiental y occidente de Europa, lo cual vendría a explicar la correspondencia de las variaciones del índice zonal para el Atlántico calculado por Lamb (1965) y las variaciones de la frecuencia de los tipos de norte en México para el mismo periodo. Lo anterior nos conduciría a la conclusión de que las variaciones de frecuencia de los nortes anticiclónicos en México son simultáneos con las invasiones de aire polar en las latitudes de Europa Occidental. Es decir que en general, si los inviernos son crudos en Europa es probable que también lo sean en México, aunque más pronunciados ya que los mapas de Bradbury señalan una distribución de anticiclones a más bajas latitudes, más acentuada en Europa que en Norteamérica con una situación de índice alto en invierno.

En resumen, las décadas lluviosas en México de los años veintes y treintas se caracterizan tanto por un desarrollo vigoroso persistente del anticiclón semipermanente Bermuda-Azores como por una mayor actividad de perturbaciones tropicales que acarrearón más humedad en dicho periodo.

En la tabla 8, construida con datos de Cry y Haggard (1962) se advierte un máximo de perturbaciones ciclónicas para la década 1930-39 en la región del Caribe, mientras que la década de los años cincuenta registró el menor número. Según el estudio de estos autores, la mayoría de los ciclones se originan en dicha región.

Tabla 8

VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA
DE CICLONES TROPICALES
PARA EL PERIODO 1920-1959
(Cry y Haggard, 1962) EN EL CARIBE

<i>Década</i>	1920-29	1940-49	1930-39	1950-59
Núm. de ciclones	19	27	20	16
Días con ciclón	135	184	139	115

Mencionan también que de 1939-43 no hubo actividad ciclónica en el Atlántico Sud Oriental; esta ausencia de ciclones tropicales

se reflejó en un decrecimiento de las lluvias en nuestro país (fig. 3). Pero un año con poca actividad ciclónica en el Atlántico no se traduce necesariamente en un año seco para México. Como ejemplo citamos el año 1968, cuando sólo se registraron en el Atlántico 7 perturbaciones (4 huracanes y 3 tormentas tropicales) que produjeron 13 días-huracán (el promedio para el periodo 1954-68 fue de 54 días-huracán) es decir, menos de la cuarta parte del promedio.

En dicho año la corriente de los vientos del oeste penetró bastante hacia las latitudes tropicales del Atlántico (Sugg y Herbert, 1969) lo que originó que las alturas geopotenciales en la tropósfera baja (a 700 milibares) se encontraran bastante abajo de lo normal sobre el océano; esta situación produjo, según estos autores, la escasa actividad ciclónica en el Atlántico. Sin embargo, las lluvias fueron abundantes ese año en nuestro país; de hecho en Tacubaya se registró la precipitación más alta de lo que va del siglo: 1097 mm (más del 50% sobre la normal). Las lluvias extraordinarias que abarcaron también ese año los Estados de Durango, Sinaloa, Nayarit y Jalisco se debieron a una elevada actividad ciclónica en el Pacífico Nororiental (24 ciclones tropicales de los cuales seis alcanzaron intensidad huracanada, Denney (1959).

De modo que en 1968 las abundantes lluvias en gran parte del país se debieron a la elevada actividad ciclónica en el Pacífico que fue originada por una intensificación del anticiclón semipermanente del Pacífico Oriental (la superficie de 700 milibares de presión subió de 20 a 36 metros arriba del valor medio en los meses de agosto y septiembre. Posey, 1968).

3. CONCLUSIONES. Se ha utilizado en el presente trabajo una clasificación de tipos de tiempo de superficie para México propuesto por Mosiño (1958) con objeto de determinar las fluctuaciones de estos tipos en un periodo largo (1919-1965). Se encontró que los tipos de invasión de aire polar (nortes) decrecieron (después de un máximo de 1920-39) durante la década de los años cuarenta, coincidiendo en general con un decrecimiento de las lluvias en México; la frecuencia de estos nortes ha ido en aumento en la década de los años sesenta hasta alcanzar la incidencia que tenían en las décadas de los años veinte

y treinta; este aumento de la frecuencia de los tipos de norte coincide con un incremento de las lluvias en nuestro país. Por otra parte, las fluctuaciones de estos tipos de tiempo se asemejan bastante a las variaciones de largo periodo observadas en la circulación general de

la atmósfera para el mismo lapso. Lo anterior confirma las conclusiones de Bradbury (1958) quien encontró que con una situación de índice zonal alto se eleva en Norteamérica la incidencia de anticiclones en bajas latitudes durante el invierno.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ballenzweig, E. M. Frequency of North Atlantic Tropical cyclones, Proceeding tropical cyclones Symposium, Brisbane, 1956.
- Braybury, Dorothy. On the Behavior patterns of cyclones and anticyclones as related to zonal index, Bulletin American Meteorological Society, vol. 39 (3) marzo, 1958.
- Barry, R. G., Chorley, R. J. Atmosphere, Weather and Climate, Methuen Ltd., Londres, 1968.
- Cry, G., Haggard, W. North Atlantic Cyclone Activity. 1901-1960, Monthly Weather Review, vol. 90 (8), agosto, 1962.
- Denney, W. The Eastern Hurricane Season of 1968, Monthly Weather Review, vol. 97 (3), marzo, 1969.
- Domínguez, E. Elementos de Previsión del tiempo en México, Centro de Previsión del Golfo, Veracruz, 1941.
- Dunn, G. E., Miller, B. Atlantic Hurricanes, Louisiana State Univ. Press, 1960.
- Elliott, R. Extended range Forecasting by Weather Types, Compendium of Meteorology, American Meteor. Society, Boston, 1951.
- Hosler, Ch. A study of Easterly Waves in the Gulf of Mexico, Bull American Meteor. Society, vol. 37 (3), marzo, 1956.
- Kraus, E. B. Synoptic and Dynamic Aspects of Climate Change, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 86 (367), enero, 1960.
- Lamb, H. H. Frequency of Weather Types, Weather, vol. 20 (1), enero, 1965.
- López, E. Climatología de la República, Capítulo V de la Geografía Física de Jesús Galindo y Villa, Librería Franco-Americana, antigua de Bouret, México, 1926.
- Lucio, Rafael. Los vientos boreales en la República Mexicana, Folleto núm. 7, Climatología, Dir. de Geografía y Meteorología, SAG, 1936.
- Malkus, J. S. Tropical Weather Disturbances, Weather, vol. 13, p. 75, 1958.
- Mosiño, P. Una clasificación de las configuraciones de flujo aéreo sobre la República Mexicana, Ing. Hidráulica en México, vol. 12 (1), enero-marzo, 1958.
- Mosiño, P., Miranda, E. Evaluación de la sequía intraestival en México, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Colegio Postgraduados, serie 6, 1968.
- Palmén, E. On the Formation and Structure of Tropical Hurricanes Geophysica, núm. 3, 1948.
- Posey, J. The Weather and Circulation of September 1968, Monthly Weather Review, vol. 96 (12), diciembre, 1968.
- Namias, J. The index cycle and its role in the general circulation, Journal of Meteorology, vol. 7 (2), abril, 1950.
- Riehl, H. Tropical meteorology, Mc. Graw-Hill, 1954.
- Riehl, H. Introduction to the atmosphere, Mc. Graw-Hill, New York, 1965.
- Rosby, G. Relation between variations in the intensity of the zonal circulation and the displacement of the semipermanent centers of action, Journal of Marine Research, vol. 2, p. 38, 1939.
- Sánchez, P. Geografía Física, Publicación 7, Dir. de Geografía y Meteorología, SAG. 1934.
- Simpson, R. H., Frank, N., Shiedeler, D., Johnson, H. Atlantic Tropical Disturbances of 1968, Monthly Weather Review, vol. 97 (3), marzo, 1969.
- Sugg, A., Herbert, P. The Atlantic Hurricane Season of 1968, Monthly Weather Review, vol. 97 (3), marzo, 1969.
- Willett, H. Descriptive Meteorology, Academic Press, New York, 1944.