

III CONFERENCIA TÉCNICA SOBRE HURACANES Y METEOROLOGÍA TROPICAL TECHNICAL CONFERENCE ON HURRICANES AND TROPICAL METEOROLOGY

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

6a. SESIÓN

6th SESSION

DESARROLLO DE HURACANES (II)
HURRICANE DEVELOPMENT (II)

CONDICIONES ATMOSFERICAS INMEDIATAMENTE ANTES DE FORMARSE UNA TORMENTA TROPICAL REVOLVENTE

WILFRIED H. PORTIG *

En un trabajo presentado a la Sociedad Meteorológica Americana, E. Palmén (1948) dijo que la convección de cumulonimbus no bastaba para producir un huracán y que el aire debía elevarse sobre una área relativamente ancha. Workman (1962) habló recientemente de la necesidad de almacenamiento de energía antes de formarse un huracán. Kuo (1960), Syono (1950), Lilly (1960) y otros teóricos han investigado las condiciones termodinámicas de estabilidad de la atmósfera antes del desarrollo de un huracán, tratando de predecir sus consecuencias, es decir, el desarrollo de convección de cumulus o la formación de huracanes por las distribuciones vertical y horizontal de la estabilidad o mejor dicho, la inestabilidad condicional de un huracán. Yanai (1961) hizo un análisis muy cuidadoso de datos de radio sondeo y otros tomados durante un tifón que se formó en el Océano Pacífico y Erickson (1963) estudió la formación de un huracán cerca de Dakar con resultados semejantes a Yanai.

Este trabajo encara el problema de la formación de una tormenta tropical revolviente de otra manera. Quince huracanes del Caribe tuvieron suficientes datos de radiosondeo alrededor de sus lugares de formación para permitir razonables análisis completos usando una cuadrícula rectangular de 20 grados de longitud de anchura y 10 grados de latitud de altura, cuyo origen estaba en el sitio en que poco antes se había formado un huracán. Por falta de certidumbre del tiempo de formación y debido al intervalo de doce horas entre horas de observación internacionales ese "corto tiempo" variaba entre 6 y 18 horas. Después de la transformación de las coordenadas, los análisis fueron promediados.

Trabajos anteriores demostraron que no cabe esperar que sólo por análisis de tiempo superficial se puedan aportar muchas explicaciones, resultando que cuatro niveles tienen que analizarse para obtener una estimación razonable res-

* Universidad de Texas.

ATMOSPHERIC CONDITIONS IMMEDIATELY PRIOR TO THE FORMATION OF A TROPICAL REVOLVING STORM

WILFRIED H. PORTIG *

In a paper presented before the American Meteorological Society, E. Palmén (1948) stated that cumulonimbus convection is not sufficient for the production of a hurricane. Instead, he said that the air must be lifted over a relatively wide area. Workman (1962) recently noted the necessity for the storage of energy before a hurricane can form. Kuo (1960), Syono (1950), Lilly (1960) and other theorists have investigated the thermodynamical stability conditions of the atmosphere prior to the development of a hurricane. They tried to predict from the horizontal and vertical distributions of stability — or better, conditional instability of a hurricane — the consequences, i.e. either the development of cumulus convection or hurricane formation. Yanai (1961) made a very thorough analysis of radiosonde and other data taken during a typhoon which formed in the Pacific Ocean, and Erickson (1963) studied the formation of a hurricane near Dakar with results similar to Yanai's.

This paper approaches in another way the problem of the formation of a tropical revolving storm. Fifteen Caribbean hurricanes were found with sufficient radiosonde data around the places of their formation as to allow reasonably complete analyses, making use of a rectangular grid 20 deg longitude wide and 10 deg latitude high whose origin is the place where the hurricane formed a short time later. Because of uncertainties in formation time and due to the twelve-hour interval between international observing hours, this "short time" varied between 6 and 18 hours. After transformation of the coordinates, the analyses were averaged.

Previous work has shown that there is not much hope that analyses of surface weather alone will bring much enlightenment. It turned out that four levels have to be analyzed in order to obtain a reasonable estimate where a

* The University of Texas.

pecto al sitio de formación de una tormenta tropical dentro de las siguientes veinticuatro horas. Tales niveles son:

- (1) 1,000 mb que representan el flujo cerca de tierra;
- (2) 500 mb como límite superior de la capa inferior; podrían utilizarse también 600 mb, pero 500 mb son un nivel de análisis principal en latitudes medias y para propósitos prácticos es razonable usarlos ahora;
- (3) 250 mb como límite superior de la tropósfera media, pudiendo usarse también 300 mb;
- (4) 150 mb para representar el límite superior de la tropósfera; ocasionalmente puede haber un nivel más alto sobre la tropopausa y disponerse de menos datos.

El lado izquierdo de la Figura 1 muestra curvas medias para los quince huracanes entre 6 y 18 horas antes de su tiempo de aparición en el mapa de superficie por primera vez.

El nivel de 150 mb muestra el esperado anticiclón cerca de la posición donde se formará poco después un huracán. Los mapas individuales que sirvieron para promediar la figura indican considerables diferencias y la ubicación de la ALTA no es estadísticamente significativa.

En el nivel de 250 mb vemos una configuración circular con un anticiclón a cada lado, un ciclón al norte y otro al sur.

El nivel de 500 mb muestra un ciclón cerca del sitio donde se encontrará una tormenta revolvante al siguiente día.

El nivel de 1,000 mb muestra una especie de onda del este hacia el suroeste del futuro huracán. En este caso, la dispersión de los casos individuales es mucho más pequeña que a nivel de 150 mb.

Las diferencias de mapas consecutivos de curvas son los espesores o mapas isotérmicos que se muestran en la columna derecha de la Fig. 1.

La tropósfera superior (150/250 mb) muestra una lengua de aire cálido apuntando aproximadamente al sitio en que notamos la onda del este en el mapa de 1,000 mb.

En la carta de espesores 250/500 mb o de temperatura media de la mesotropósfera muestra una notable configuración que se repite esencialmente en cada caso individual: temperaturas altas con isotermas circulares cerca del sitio en que se formará después la tormenta revolvante. Eso significaba que el *núcleo cálido precede al huracán y no es su consecuencia*, resultado que se ajusta a la predicción de Palmén y a los análisis de Yanai y Erickson de tormentas individuales.

La carta de espesores de los niveles más bajos indica —algo inesperado— que hay temperaturas relativamente altas cerca de la onda del este como se observó en el nivel de 1,000 mb.

En la carta de 250/500 mb encontramos líneas interrumpidas para indicar el contenido en humedad de los niveles más altos que pudieron medirse regularmente, es decir, desde

tropical storm may form within the next 24 hours. These levels are:

- (1) 1,000 mb representing the flow near the ground;
- (2) 500 mb as the upper boundary of the lower layer. One could just as well use 600 mb, but 500 mb is a main analysis level at middle latitudes and for practical purposes it is reasonable to use it here as well;
- (3) 250 mb as the upper limit of the middle troposphere; one can just as well use 300 mb;
- (4) 150 mb as representative of the upper limit of the troposphere. A higher level would occasionally lie above the tropopause and less data would be available.

The left hand side of Figure 1 shows mean contour lines for the fifteen hurricanes at 6 to 18 hours prior to the time when they appeared in the surface map for the first time.

The 150 mb level shows the expected anticyclone close to the position where a hurricane forms in the near future. The individual maps from which the figure was averaged show considerable differences and the location of the HIGH is statistically not significant.

At the 250 mb level we see a col-like pattern with an anticyclone on either side and one cyclone north, another south of it.

The 500 mb level shows a cyclone near the location where a revolving storm will be found the next day.

The 1,000 mb level shows a kind of easterly wave at the southwest of the future hurricane. In this case, the dispersion of the individual cases is much smaller than at the 150 mb level.

Differences of consecutive contour maps are thickness or isothermal maps which are shown in the right hand column of Fig. 1.

The upper troposphere (150/250 mb) shows a tongue of warm air pointing approximately to the location where we noticed the easterly wave in the 1,000 mb map.

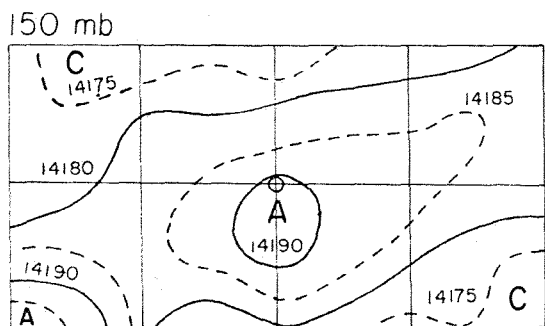
The 250/500 mb thickness chart or the mean temperature of the middle troposphere, shows a remarkable pattern which is essentially repeated in each of the individual cases: high temperatures with circular isotherms near the place where the revolving storm later forms. That means that *the warm core precedes the hurricane and is not its consequence*. This result fits Palmén's prediction and Yanai's and Erickson's analyses of individual storms.

The thickness chart of the lowest layer shows — somewhat unexpectedly — relatively high temperatures near the easterly wave as observed in the 1,000 mb level.

In the 250/500 mb chart we find as dashed lines the moisture content of the highest level from which we regularly have measurements, i.e., from the 300 mb level. We see

el nivel de 300 mb. Vemos que la mayor humedad ocurrió en casi el mismo sitio en que encontramos las más altas temperaturas en la tropósfera media. Ambos resultados indican que el aire se levantó sobre una área relativamente grande —4 a 5° lat. en diámetro— antes de formarse un huracán en

that the greatest moisture occurs at almost the same location where we found the highest temperatures of the middle troposphere. Both results together indicate that the air rises over a fairly large area — 4 to 5° lat. in diameter — before a hurricane forms at that very place. This rising is, as

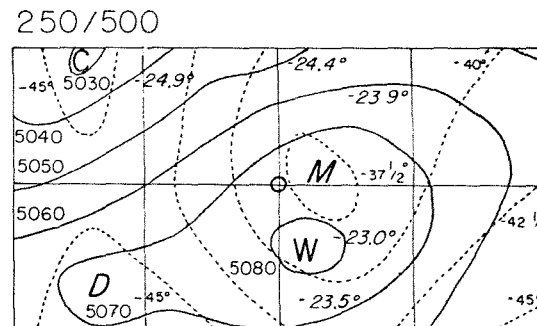
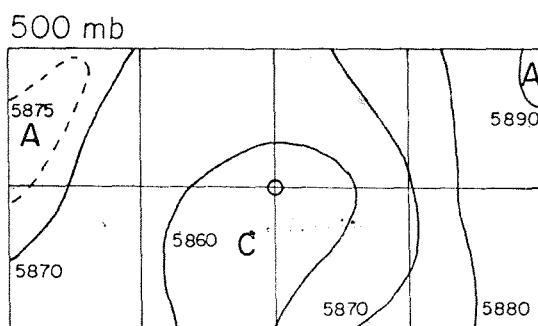
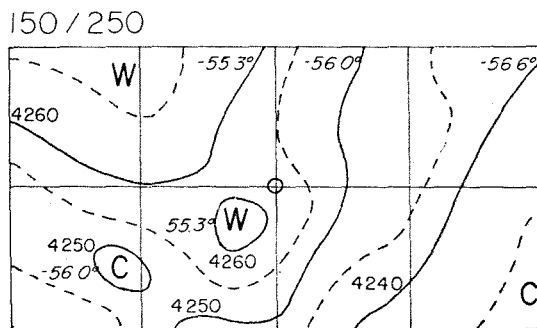
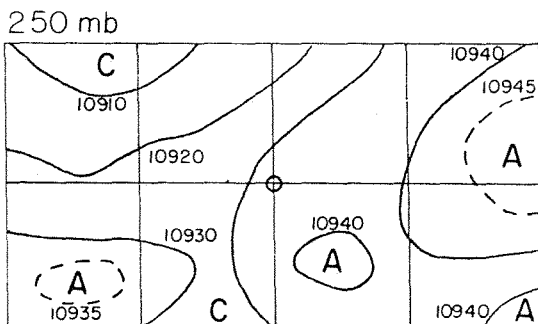


COLUMNA IZQUIERDA - ALTURA DE CURVAS (en metros)

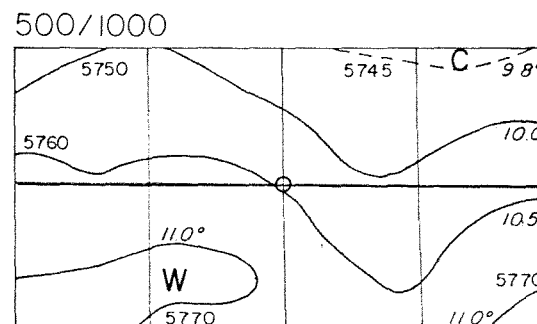
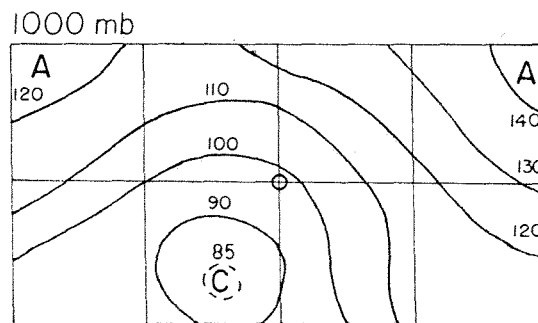
LEFT COLUMN - CONTOUR HEIGHTS (in meters)

COLUMNA DERECHA - ESPESOR DE CAPAS

RIGHT COLUMN - LAYER THICKNESSES



Curvas punteadas: Punto de rocío a 300 mb
Dotted curves: Dew point at 300 mb



CARTAS COMPUESTAS POCO TIEMPO ANTES DE APARECER UNA TORMENTA REVOLVENTE EN EL MAPA DE SUPERFICIE EN (15 CASOS)

COMPOSITE CHARTS, A SHORT TIME BEFORE A REVOLVING STORM APPEARED IN THE SURFACE MAP AT (15 CASES)

FIG. 1

ese mismo sitio. Como lo predijo Palmén, dicho ascenso no es un proceso convectivo sino la consecuencia de alguna convergencia a gran escala.

El resultado inmediato del aire en ascenso es un cambio característico en la distribución de la estabilidad termodinámica. En tanto que los mapas de curvas no permiten la evaluación numérica del índice del lapso, pueden hacerse buenas estimaciones de sus valores relativos. Los espesores son equivalentes a temperaturas medias de capas, por lo cual las diferencias de espesor corresponden a diferencias de temperatura. Sólo con suposiciones exactas de la distribución de temperatura vertical podríamos encontrar la altura en que esa temperatura iguala a la temperatura media de las capas, lo que permitiría calcular el índice del lapso medio. Sin embargo, puede indicarse que la variación a que se encuentra dicha altura es muy pequeña en comparación con la variación de las diferencias de temperatura de la capa, permitiendo considerar áreas con mayores diferencias como menos estables que áreas con menores diferencias.

La Fig. 2 indica la diferencia de temperaturas medias de la capa superior menos la media y de la media menos la inferior en la tropósfera, lo que significa que la convección a pequeña escala en la capa inferior es influida por un aumento de estabilidad mientras la tropósfera superior sufre disminución de estabilidad. El análisis de nubes del mismo huracán¹ indicó máximos de altostratus y altocumulus de capas múltiples, así como una sombra de Ac sobre el sitio del futuro huracán. La sombra de Ac se forma a niveles relativamente altos e indica su inestabilidad y alta humedad, como lo apoyan máximos en observaciones de cirrocumulus a pesar de la obstrucción de la visión por las mismas nubes Ac mencionadas. Dichas nubes se forman en la parte inferior de la tropósfera media e indican su relativamente gran estabilidad.

Los análisis se extendieron en tiempo hasta 24 hs antes de los mapas mostrados en las Figs. 1 y 2 y se verificaron al evaluar los vientos verdaderamente observados. Pueden resumirse los resultados como sigue:

- (1) La vaguada invertida de bajo nivel no viene del este, es decir, no es una onda del este y hubo pocos cambios en las líneas de corriente de las capas más bajas. Sin embargo, el análisis numérico de datos de viento reveló que algunos centros de convergencia y divergencia se desplazan contra la corriente principalmente al este, de tal manera que en 24 hs un centro de convergencia reemplazó a un centro de divergencia en el sitio en que se observó un huracán;
- (2) La convergencia en dicho punto puede encontrarse hasta el nivel de 400 mb, desvaneciéndose más arriba sin ser reemplazada por una divergencia significativa hasta 150 mb;
- (3) Los mayores cambios en el campo de líneas de corriente se dieron en el nivel de 400 mb (Fig. 3);

¹ Dichos análisis no se presentan ahora.

predicted by Palmén; not a convective process but must be the consequence of some large scale convergence.

The immediate result of the rising air is a characteristic change of the distribution of the thermodynamical stability. While the contour maps do not permit the numerical evaluation of the lapse rate, good estimates of their relative values can be obtained. Thicknesses are equivalent to mean layer temperatures; hence differences of thicknesses correspond to temperature differences. Only with exact assumption of the vertical temperature distribution can we find the altitude at which the actual temperature equals the mean layer temperature, thus permitting the calculation of a mean lapse rate. One can, however, show that the range in which this altitude can be found is very small in comparison with the variation of the layer temperature differences so that we are allowed to consider areas with larger differences as less stable than areas with small differences.

Fig. 2 shows the differences of the mean temperature of the upper minus the middle, and the middle minus the lower layer of the troposphere. It indicates that the small scale convection of the lower layers is hampered by an increase of stability while the upper troposphere displays a decrease of stability. Cloud analyses of the same hurricane¹ indicate maxima of altostratus and multilayered altocumulus as well as Ac cast near the place of the future hurricane. The Ac cast forms at relatively high layers and indicates their instability and high moisture. It is supported by a maximum of cirrocumulus observations in spite of the obstruction to vision by the above mentioned Ac clouds. The latter form in the lower part of the middle troposphere and indicate its relatively great stability.

The analyses were extended to the time 24 hrs prior to the maps shown in Figs. 1 and 2, and they were checked by the evaluation of the actually observed winds. The results can briefly be summarized as follows:

- (1) The low level inverted trough does not come in from the East, i.e., it is not a wave in the easterlies, and little change can be seen in the streamlines of the lowest layer. Numerical analysis of the wind data reveals, however, that several centers of convergence and divergence travel upstream, mainly to the East in such a way that in 24 hrs a center of divergence is replaced by a center of convergence at the very place where in the next surface map the hurricane is observed;
- (2) The convergence at that point can be found up to the 400 mb level above which it fades out without being replaced by significant divergence up to 150 mb;
- (3) The greatest changes in the streamline field occur at the 400 mb level (Fig. 3);

¹ The analyses themselves are not presented here.

(4) El bien pronunciado máximo de temperatura en la capa de 250/500 mb (Fig. 1) no existía 24 hs antes.

¿Cuáles son las consecuencias de esos hallazgos estadísticos? Los resultados nos permiten concluir que los huracanes se originan por procesos meteorológicos a gran escala que probablemente pueden pronosticarse uno o dos días antes. Aunque la presencia de una convergencia y el subsecuente ascenso de una gran masa de aire no sean pronosticados, un simple análisis de datos de aire superior permite predicciones por medio día del nacimiento de un ciclón tropical. Debe notarse que solamente una densa red aerológica permitiría análisis como los utilizados ahora en tanto que otra densa red de superficie, es decir, de estaciones automáticas (tipo NOMAD) apenas ayudan. Puede ser posible inducir gradientes de temperatura horizontal en las compactas masas de aire húmedo en ascenso, por siembra de hielo seco que causen liberación de la inestabilidad y prematuras transformaciones verticales antes que la naturaleza pueda organizar la descarga de energía en forma de huracán.

(4) The well pronounced temperature maximum of the 250/500 mb layer (Fig. 1) does not exist 24 hrs earlier.

What are the consequences of the statistical findings? The results allowed us to conclude that hurricane are the results of large scale meteorological processes which probably can be forecast with one to two days leeway. Even when the occurrence of the convergence and the subsequent rising of a large airmass have not been forecast, a simple analysis of the upper air data allows a half-day forecast of the birth of a tropical cyclone. It should be noted that only a dense aerological network allows such analyses as utilized here while a dense surface network, e. g. of automatic (NOMAD-type) stations is of little help. It may be possible to induce horizontal temperature gradients in the compact rising moist airmass, through dry ice seeding, thus inducing local release of the instability and causing vertical transformations prematurely before nature can organize the energy release in the form of a hurricane.

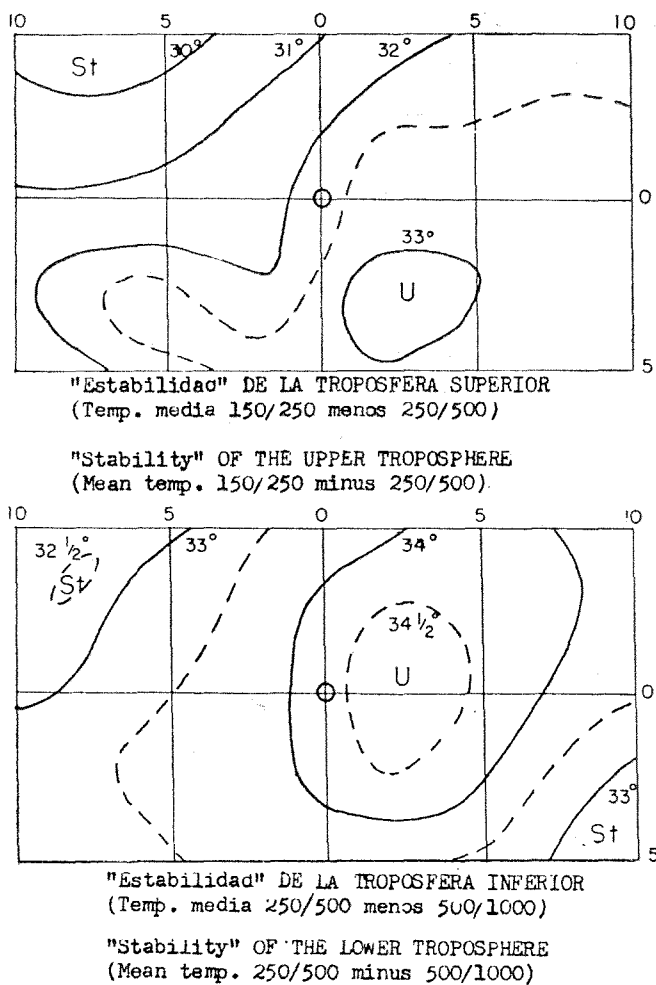


FIG. 2

I. Poco tiempo antes de aparecer una tormenta revolvente en el mapa de superficie en (W, M = Temp. y máximo punto de rocío en la capa 250/500)

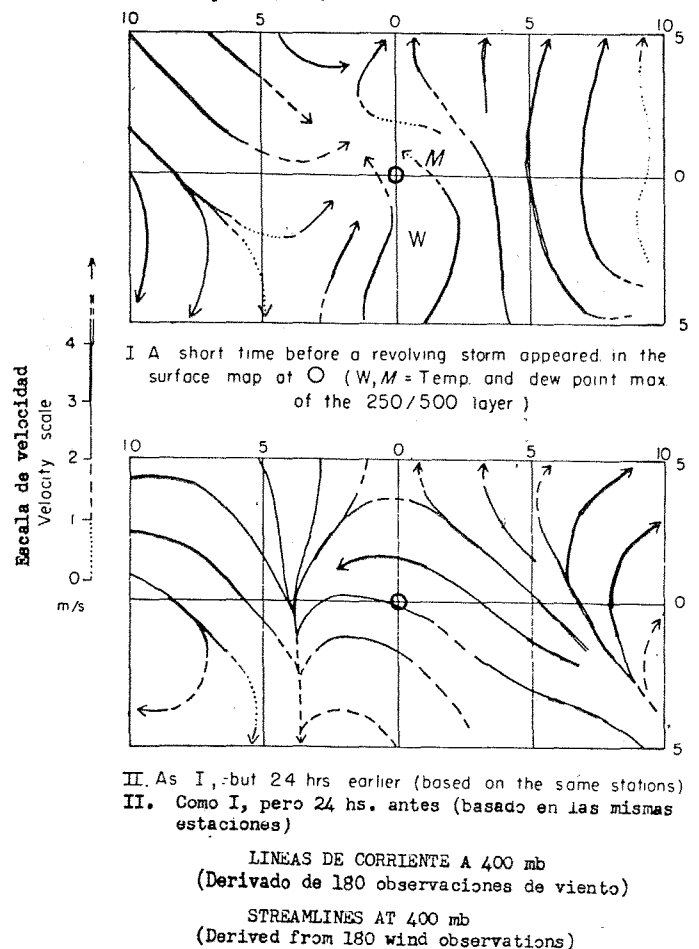


FIG. 3

El tiempo no permite discutir los casos cuyos mapas de análisis sean similares a los mapas medios ahora presentados, aunque no se hayan desarrollado después huracanes. Debe ser suficiente mencionar que la curvatura ciclónica del flujo cerca de la tropopausa es esencial para descargar la energía almacenada en la forma altamente organizada de tormenta revolvente.

Time does not permit discussion of the cases where map analyses are similar to the mean maps presented here, and yet where no hurricanes subsequently developed. It must be sufficient to mention that a cyclonic curvature of the flow near the tropopause is essential for the release of the stored energy in the highly organized form of a revolving storm.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAPHY

- ERICKSON, C. O. 1963. An Incipient Hurricane near the West African Coast, *Mo. Weather Rev.*, 91:61-68.
- KUO, H. L. 1960. On Initiation of Tropical Depressions and Convection in a Conditionally Unstable Atmosphere, NHRP, Report No. 40.
- LILLY, D. K. 1960. On the Theory of Disturbances in a Conditionally Unstable Atmosphere, *Mo. Weather Rev.*, 88:1-17.
- PALMÉN, E. 1948. Structure of a Tropical Cyclone, *Bull. American Meteor. Soc.*, 29:74.
- SYONO, S. 1950. On the Formation of Tropical Cyclones, *Tellus*, 5:179-185.
- WORKMAN, E. T. 1962. The Problem of Weather Modification, *Science*, 138:407-412.
- YANAI, M. 1961. A Detailed Analysis of Typhoon Formation, *Collected Meteorological Papers, Geophysical Institute of Tokyo University*, Vol. II, pp. 187-214.