

# COMPORTAMIENTO DEL CAMPO DE LA HUMEDAD EN LA TROPOSFERA BAJA Y MEDIA, EN EL HURACÁN KEITH

**Autores:** CECILIA GONZÁLEZ PEDROSO, MARITZA BALLESTER PÉREZ

Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología

---

## **Resumen**

*En este trabajo se analiza el ambiente sinóptico del huracán Keith, así como las características que presenta el campo de la humedad y su distribución espacio - temporal, durante el desarrollo de este ciclón tropical.*

*El análisis del comportamiento del campo de la humedad (Q) en la capa 850 - 700 hPa, tanto para la región (Qr) como para el área de influencia de Keith (Qct), arrojó resultados de interés, como que los patrones de este campo, son compatibles con los resultados obtenidos en otros estudios que abordan esta temática. Los patrones aquí determinados muestran que los valores mínimos de Qr y Qct, se presentan 24 horas antes de que Keith alcanzara su máxima intensidad (categoría 4), en la escala Saffir-Simpson.*

## **Introducción**

El mayor reto o desafío que tiene ante sí un pronosticador o investigador de ciclones tropicales ( $C_T$ ) es optimizar el uso de la disímil fuente de información. El pronosticador en muy espaciadas ocasiones tiene suficientes datos de observaciones para definir con exactitud la posición y estructura de un  $C_T$  y sus características sinópticas, lo que incide directamente en que la predicción futura de su posición y cambios de estructura, presenten un grado mayor o menor de error.

El trabajo operativo con datos de radiosondas permite realizar un análisis cuantitativo del centro de la tormenta, no obstante la limitación con relación a la distribución de los datos de aire superior (sobre todo en áreas oceánicas tropicales). Este tipo de análisis continua siendo muy aplicado por los investigadores para describir las características comunes de los ciclones tropicales. Gray (1979, 1983) y Franklin et al. (1993), aplicaron este análisis, al combinar las observaciones de una muestra de casos mediante una rejilla diseñada a priori y asumieron los valores medios como campos representativos para el estudio de la estructura de los ciclones tropicales.

La interacción entre el medio circundante y el ciclón tropical, es posible estudiarla, al considerar uno u otro campo meteorológico. Entre estos campos se encuentra el campo de la humedad, que es precisamente el campo meteorológico que se analizará en este trabajo. Para ello se aplicará una técnica similar a la descrita en el párrafo anterior, con el objetivo de

caracterizar la distribución espacio - temporal del contenido integral de la humedad en los niveles bajos y medios de la troposfera, asociado al estado evolutivo del huracán Keith. Principalmente antes de alcanzar su máxima intensificación, y cuyos resultados permitirán ampliar los conocimientos en el complejo tópico sobre los cambios estructurales de los ciclones tropicales. También se reflejarán en este artículo algunas características del huracán Keith, como la distribución del campo de la presión, los vientos máximos alcanzados por éste y su trayectoria.

Entre los trabajos que abordan el tópico del contenido integral de la humedad asociado a las distintas etapas del ciclón tropical ( $C_T$ ), se denotan los realizados por Sorochinsky et al. (1987, 1989, 1991) sobre los  $C_T$ : Frederic, Allen, Katrina y Gilbert. Estos autores encontraron que el campo de la humedad presenta una disminución en su valor antes de la máxima intensificación del  $C_T$ .

## **Materiales y Métodos**

El contenido integral de la humedad (Q) en la capa troposférica (850-700 hPa) asociado al huracán Keith será analizado objetivamente, en el período desde el día 29 de septiembre hasta el día 3 de octubre de 2000, en los horarios de las 0000 y las 1200 UTC, para conocer su representación mediante los patrones que describan su distribución espacio - temporal, considerando la posición del  $C_T$  en cada horario seleccionado y la trayectoria descrita por éste, para hacer referencia a la distribución de los valores máximos y mínimos de la misma.

La rejilla diseñada para este estudio es de 11 X 17 puntos, y comprende el área limitada entre los 9,9 y 33,2 grados de latitud Norte y los 60 y 100 grados de longitud Oeste, con un paso de 2,5 grados de longitud. En el desarrollo del análisis se hará referencia a esta área como la región de estudio y el área de influencia del CT, se tomará en un radio aproximadamente de 200-250 Km del centro del mismo. Estos criterios se emplearán en la descripción del análisis de los resultados indistintamente, para hacer referencia al contenido integral de humedad medio en la capa para la región de estudio ( $Q_R$ ) y para el área de influencia del ciclón tropical Keith ( $Q_{CT}$ ), respectivamente.

El ciclón tropical de este estudio presenta como característica principal, su rápida intensificación, considerando a un CT como de rápida intensificación a aquel que manifiesta una caída de la presión de al menos 42 hPa en 24 horas, en concordancia a Holliday (1977, 1979). La selección de este CT se debe principalmente a que el pronóstico de cambio de intensidad, es uno de los más complejos a realizar.

El programa de cálculo se aplicó en la capa de 850 - 700 hPa, por ser esta la capa de mayor aporte en la columna troposférica, de acuerdo a los resultados obtenidos por Escalona (1992). El período desde el día 29 de septiembre de 2000 a las 0000 UTC hasta el 30 de septiembre de 2000 a las 1200 UTC, se corresponde con los días antes de que Keith alcanzara la máxima intensidad, mientras que los últimos (01 de octubre de 2000 a las 0000 UTC hasta 03 de octubre de 2000 a las 1200 UTC), son posteriores al mismo. Los datos fueron seleccionados del archivo de mapas del Instituto de Meteorología, así como del Centro de Diagnóstico del Clima, Boulder, Colorado. Para la representación objetiva del campo de la humedad en el período de tiempo considerado, se aplicó el sistema GrADS. El análisis del campo de la humedad se hace referido a un momento cero que se corresponde con el de máxima intensidad del ciclón tropical en concordancia con los valores de la presión mínima central.

**Características del huracán Keith (28/09/00- 04/10/00)**

En este epígrafe se reflejan las principales características del huracán Keith, como: la distribución del campo de las presiones mínimas (hPa) y el viento máximo (Km/h), que presentó este huracán por períodos de doce horas, y también la trayectoria descrita por este organismo tropical.

Keith se desarrolló aproximadamente a unos 100 kilómetros al nordeste de Cabo Gracias a Dios (Honduras), en el noroeste del Mar Caribe Occidental, el día 28 de septiembre de 2000. Se movió lentamente

al noroeste, alcanzando la categoría de tormenta tropical el día 29 de septiembre. Se intensificó rápidamente durante el día y el 30 adquiere la categoría 4 como huracán (en la escala Saffir-Simpson), próximo a las costas de la Península de Yucatán. Sus vientos alcanzaron 225 Km/h. Dos aspectos interesantes se denotan en Keith, y fueron: uno, su rápida profundización (45 hPa/24 horas) y el otro, sus cambios en intensidad y estructura; algunos de los cuales se debieron a la interacción con el medio circundante, mientras que otros se debieron a procesos internos de este organismo.

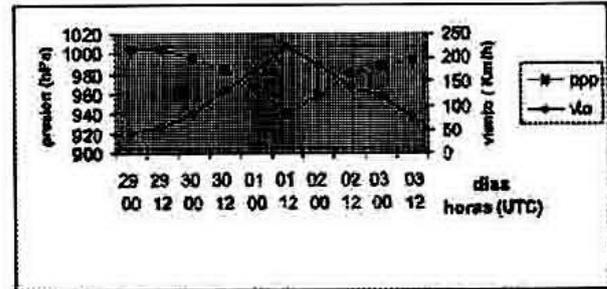


Fig. 1. Distribución de la presión y el viento en el huracán Keith.

El comportamiento cada doce horas de la presión central (hPa) y la velocidad del viento se muestra en la Fig. 1. En ésta se aprecia el momento, en el cual alcanza su máximo desarrollo, el día primero de octubre en horas de la madrugada, con una presión mínima de 939 hPa y velocidades del viento de 225 Km/h; la trayectoria de Keith se muestra en la Fig. 2.

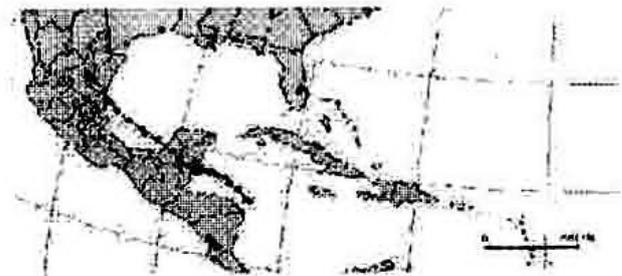


Fig. 2. Trayectoria descrita por el huracán Keith.

## Análisis de los resultados

El estudio del contenido de la humedad asociado al huracán Keith, muestra diferentes patrones representativos de la distribución espacio-temporal de los valores de este campo y sus variaciones evolutivas que inciden en la configuración de los mismos para el área en el período considerado; en el cual está comprendido el momento de máximo desarrollo de este ciclón tropical.

El análisis realizado se basa en los resultados objetivos que están plasmados en los mapas del campo de la humedad (Figs. 3 - 12), los que muestran las configuraciones asociadas a las diferentes etapas evolutivas de Keith, desde depresión tropical hasta la categoría de huracán, como grado máximo alcanzado en su desarrollo.

El resultado de este análisis arroja características interesantes en la distribución del contenido integral de la humedad en la capa considerada, en cada uno de los horarios seleccionados. Las mismas, tanto en la región ( $Q_R$ ) como en el radio de influencia de Keith ( $Q_{CT}$ ) y sus variaciones en los cambios de estructura, se describen a continuación.

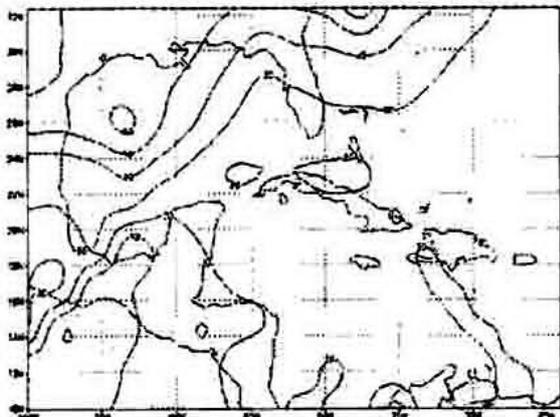


Fig 3. Distribución de  $Q$  el día 29 de septiembre de 2000, a las 0000 UTC

#### Día 29/09/00 0000 UTC (Fig. 3)

La distribución del campo medio de la humedad en la región de estudio para la capa 850-700 hPa, se manifiesta débil en casi todo el área. Apreciándose el dipolo de valores máximo ( $66 \text{ Kg/m}^2$ ) - mínimo ( $1 \text{ Kg/m}^2$ ), en el norte y suroeste, respectivamente. El valor medio de  $Q_{CT}$  es de  $20 \text{ Kg/m}^2$ ; débiles valores del contenido integral de la humedad se localizan en el sector sur del área de estudio.

#### Día 29/09/00 1200 UTC (Fig. 4)

Se denota un desplazamiento del no de máxima del contenido integral de la humedad ( $Q$ ), por igual latitud, manteniéndose el dipolo máximo ( $129 \text{ Kg/m}^2$ ) - mínimo ( $20 \text{ Kg/m}^2$ ) en la dirección norte - suroeste, respectivamente. Continúan los valores inferiores a  $20 \text{ Kg/m}^2$  en su sector sur. El valor medio de  $Q_{CT}$  es de  $19.75 \text{ Kg/m}^2$

Disminuyó el valor del campo de la humedad en las inmediaciones del ciclón tropical, que ahora es del orden de los  $19 \text{ Kg/m}^2$  la situación descrita corresponde a 36 horas antes de que Keith alcanzara su máxima intensidad.

#### Día 30/09/00 0000 UTC (Fig. 5)

La situación que a continuación se describe corresponde a 24 horas antes de que Keith se clasificara como un huracán de Categoría 4, en la escala Saffir-Simpson. Aquí el máximo absoluto de  $70 \text{ Kg/m}^2$  se encuentra al noroeste y lejos de la posición central de esta tormenta tropical ( $17.8^\circ \text{ N}$  y  $85^\circ.2$ ). En las proximidades de su centro disminuyen los valores hasta  $15 \text{ Kg/m}^2$ . En el área de influencia de Keith, el valor medio de  $Q_{CT}$  es de  $15.25 \text{ Kg/m}^2$

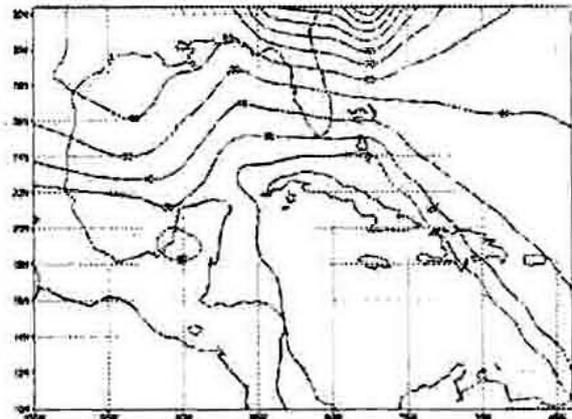


Fig. 4. Distribución de la humedad el día 29 de septiembre de 2000 a las 1200 UTC

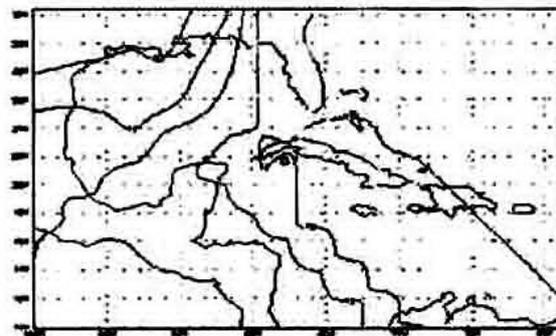


Fig. 5. Distribución de la humedad el día 30 de septiembre de 2000, a las 0000 UTC.

#### Día 30/09/00 1200 UTC (Fig. 6)

A 12 horas antes de que Keith alcanzara la intensidad máxima, el campo de la humedad en la capa media de la troposfera, presenta la siguiente distribución. Un incremento de hasta  $28 \text{ Kg/m}^2$  en el área central de la tormenta ( $18.1^\circ \text{ N}$   $86.5^\circ \text{ W}$ ) y en sus alrededores, hasta 200 Km. También es notorio el aumento de  $Q$ , con un valor medio para la región de  $35.2 \text{ Kg/m}^2$ .

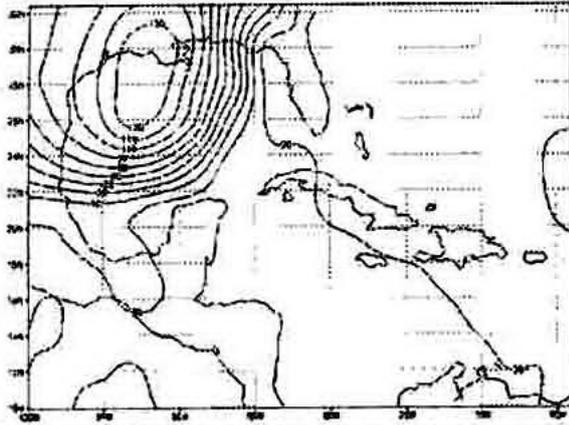


Fig. 6. Distribución de Q para el día 30 de septiembre de 2000, a las 1200 UTC

**Día 01/10/00 0000 UTC (Fig 7)**

En la Fig. 7 se muestra el campo de la humedad en la capa 850-700 hPa, asociado al período en que Keith se convirtiera en Huracán Categoría 4. Esta figura muestra una distribución interesante de la variable analizada, y es la siguiente: en las inmediaciones del centro de Keith, el valor promedio de  $Q_{ct}$  es de 49.2  $Kg/m^2$  siendo éste, el máximo valor que alcanzó en su desarrollo de vida.

El dipolo máximo ( 117  $Kg/m^2$  )- mínimo (22  $Kg/m^2$ ), se denota en la dirección noroeste - sudeste, respectivamente; manteniéndose el primero al noroeste del centro de este CT ( 18.0° N - 87.0° W)

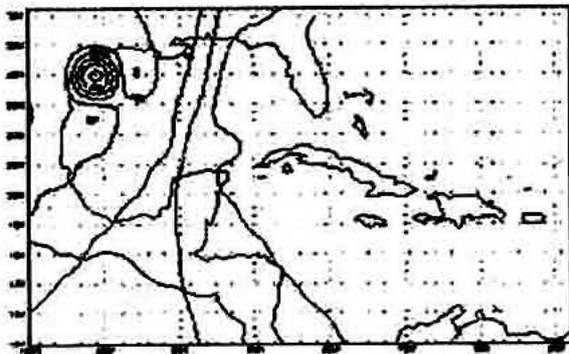


Fig. 7. Distribución de la humedad para el día 1 de octubre de 2000, a las 0000 UTC

**Día 01/10/00 1200 UTC (Fig. 8)**

Este día la orientación norte - sur, la ocupa el dipolo máximo - mínimo, en el extremo occidental de la región de estudio. Ligeramente debilitado el valor absoluto máximo de 114  $Kg/m^2$  se halla al noroeste del centro de Keith, mientras que el mínimo de 8  $Kg/m^2$  se halla al suroeste de este centro ciclónico. El valor de  $Q_{ct}$ , en el área de influencia de Keith es de

19,75  $Kg/m^2$  . Se aprecia un cambio notable en el suroeste de la región, donde los valores de este campo han disminuido notablemente, siendo inferiores a 10  $Kg/m^2$  en una distancia aproximada de 500 Km.

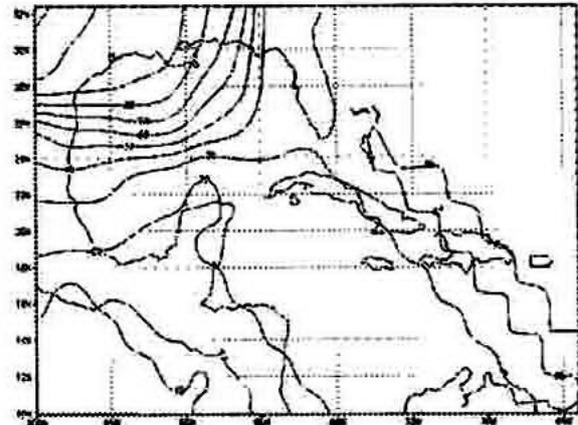


Fig. 8 Distribución de la humedad para el día 1 de octubre de 2000, a las 1200 UTC

**Día 02/10/00 0000 UTC (Fig. 9)**

El dipolo de valores máximo - mínimo, se orienta norte- sudeste, desplazado hacia el este, casi 10 grados de longitud. Este horario se corresponde con las 24 horas después del máximo desarrollo de Keith, donde se presenta el valor medio de  $Q_R$  que es de 63.7  $Kg/m^2$ ; mientras que  $Q_{CT}$  alcanza los 27,5  $Kg/m^2$

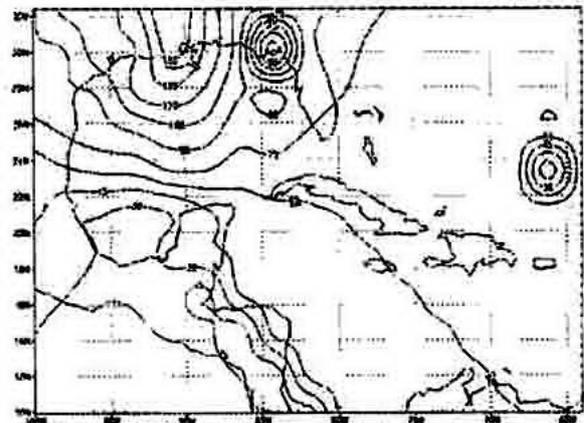


Fig. 9. Distribución de la humedad para el día 2 de octubre a las 0000 UTC.

**Día 02/10/00 1200 UTC (Fig. 10)**

Los núcleos absolutos de máximo y mínimo se localizan en el extremo oeste de la región de estudio, con valores de 141 y 5  $Kg/m^2$  , respectivamente. En el área de influencia de Keith el valor medio de  $Q_{ct}$  es de 13  $kg/m^2$ .

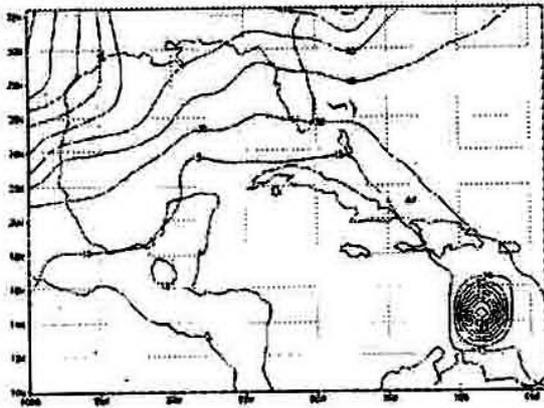


Fig. 10. Distribución de la humedad para el día 2 de octubre de 2000, a las 1200 UTC

**Día 03/10/00 0000 UTC (Fig. 11)**

Se aprecia un debilitamiento en el contenido integral de la humedad en la región, pero no así en el área de influencia, que aumentó hasta 17,75 Kg/m<sup>2</sup>. En la evolución de Keith, sólo en este horario se denota el dipolo máximo- mínimo de Q orientado zonalmente en el extremo norte del área de estudio, con valores de 75 y 8 Kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. Con un valor medio de Q<sub>R</sub> del orden de los 22,3 Kg/m<sup>2</sup>.

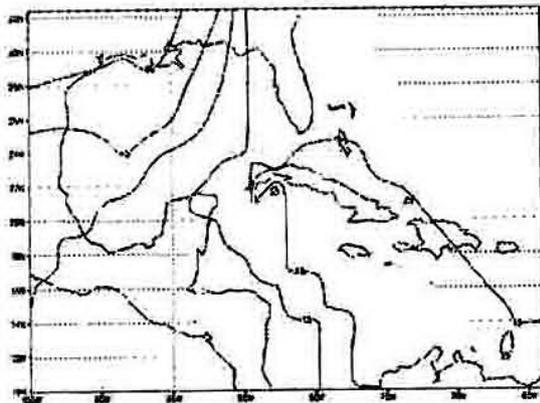


Fig. 11 Distribución de la humedad para el día 3 de octubre de 2000, a las 0000

**Día 03/10/00 1200 UTC (Fig. 12)**

El último horario analizado en el desarrollo evolutivo de Keith, muestra dos núcleos de altos valores en la porción norte de la región de estudio. Mientras que el valor medio para el área de influencia es de 16,7 Kg/m<sup>2</sup>, manifestándose aún más como disminuye el contenido de humedad al perder intensidad este ciclón tropical. El valor medio de Q<sub>R</sub> es de 32.25 Kg/m<sup>2</sup>.

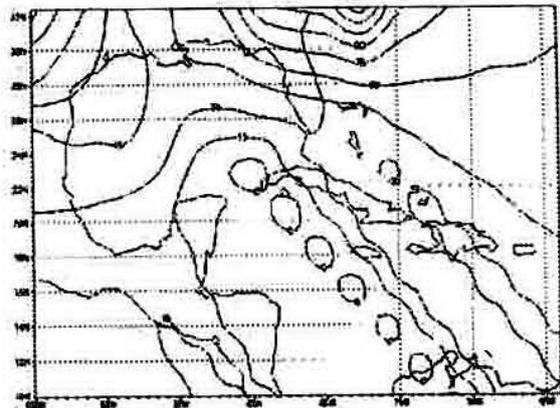


Fig. 12. Distribución de la humedad el día 3 de octubre de 2000, a las 1200 UTC

En la Fig. 13, está representada la variación temporal del contenido integral de la humedad en el proceso evolutivo de Keith. En la misma se aprecia la correspondencia existente entre el campo de la humedad para la región y el área de influencia de este huracán, reflejada en esta figura por las curvas Q<sub>R</sub> y (Q<sub>CT</sub>), respectivamente. Y se muestra aquí, el momento de su máximo desarrollo (momento 0), en el cual alcanzó Categoría 4, en la escala Saffir Simpson, que fue la máxima intensidad alcanzada por este huracán; en este momento se presentan los valores más altos del contenido integral de la humedad en la capa 850-700 hPa, para ambas (Q<sub>R</sub> y Q<sub>CT</sub>), que fueron 63,7 y 49,2 Kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. Se corrobora así, lo expuesto por Sorochinski et al (1989) en el huracán Allen y González y Ballester (1990), al estudiar el huracán Frederic a su paso por la región del Caribe.

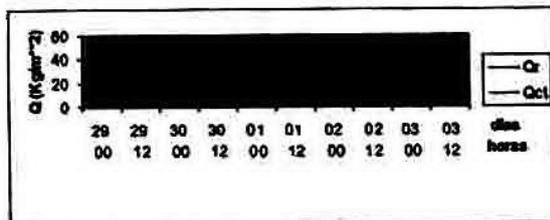


Fig. 13. Variación temporal del contenido integral medio de la humedad en la capa para el área de influencia del ciclón tropical (Q<sub>CT</sub>) y para la región (Q<sub>R</sub>).

Otros valores de interés que se denotan en la Fig. 13, son los mínimos de 22.3 y 15.2 Kg/m<sup>2</sup> alcanzados por Q<sub>R</sub> y Q<sub>CT</sub>, respectivamente. Los cuales se manifestaron 24 horas antes del momento cero. Este período de tiempo es compatible con los resultados obtenidos por Petrova (1982) en el análisis de los huracanes Agnes (1972) y Fifi (1974) y Sorochinski et al. (1991).

La presencia de valores mínimos de Q antes de la máxima intensificación de Keith, pone de manifiesto una de las características asociadas al contenido integral de la humedad en otros C<sub>T</sub> estudiados. Esta compatibilidad con los rangos hallados por otros autores, en la escala temporal, permite valorar a esta variable, como un posible índice de pronóstico para los cambios de intensidad de los C<sub>T</sub> en las áreas del Mar Caribe y el Golfo de México.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos al analizar el contenido integral de la humedad en la capa troposférica 850-700 hPa, asociado al huracán Keith, con relación a la distribución espacio temporal, arrojó que:

Las distribuciones medias de Q<sub>R</sub> y Q<sub>CT</sub>, presentan correspondencia, principalmente sus valores máximos, asociados al momento cúspide del desarrollo de Keith (Categoría 4, en la escala Saffir Simpson), que fue la máxima intensidad alcanzada por este huracán.

El contenido integral de humedad (Q) manifiesta una disminución en sus valores medios, tanto en la región (Q<sub>R</sub>) como en el área de influencia de Keith (Q<sub>CT</sub>). Esta disminución en la escala temporal se presenta en el plazo de 24 horas antes del momento de la máxima intensificación, período que se encuentra dentro del rango obtenido por otros autores.

La caracterización espacio temporal del contenido integral de la humedad en la capa troposférica (850 - 700 hPa) del huracán Keith, tanto para la región (Q<sub>R</sub>) como para el área de influencia del ciclón tropical (Q<sub>CT</sub>), como técnica de análisis, puede ser valorada para obtener una mejor comprensión del comportamiento sobre el tóxico del cambio de estructura en los ciclones tropicales, principalmente en el área del Mar Caribe, y para aquellos ciclones tropicales de rápida intensificación.

## Se recomienda:

Continuar aplicando esta técnica de análisis a los ciclones tropicales en las áreas del Golfo de México y el Mar Caribe, que cumplan con la condición de

rápida intensificación en ellas, para corroborar, precisar y ampliar los resultados aquí obtenidos. Los cuales permitirán establecer criterios de posible aplicación en la práctica sinóptica, para el pronóstico de máxima intensidad en el desarrollo de un ciclón tropical, basado fundamentalmente en el contenido integral medio de la humedad en la capa troposférica de 850 - 700 hPa.

## Bibliografía

**Escalona, G. R. (1992):** Características de los campos de la temperatura y humedad sobre la región del Caribe al paso de los ciclones tropicales. Tesis de Grado. Universidad de la Habana.

**Franklin, J.L., S.J. Lord, S.E. Feuer and F.D. Marks, Jr. (1993):** The kinematic structure of Hurricane Gloria (1985) determined from nested analyses of dropwindsonde and Doppler radar data. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2433-2451.

**González, P.C. y M. Ballester (1990):** Estado térmico y del contenido de humedad en la región del Caribe, durante el paso del huracán Frederic (1979). Pp. 90-100. Informe Final: Dinámica y Estructura de los ciclones tropicales y su interacción con el medio circundante. Inst. de Meteorología. CITMA

**Gray, W.M. (1979):** Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation. *Meteorology over the Tropical Oceans*, D.B. Shaw, Ed. Roy. Meteor. Soc, London. 155-218

**Gray, W.M. (1983):** Recent advances in tropical cyclone research from rawinsonde composite analysis. Report prepared for WMO Committee of Atmospheric Science, World Meteorological Organization, Geneva, 407 pp.

**Holliday, C. R. And A.H. Thompson (1977):** Double intensification of Typhoon Gloria, 1974. *Mon. Wea. Rev.* 105, 523 - 528.

----- (1979): Characteristics of rapidly intensifying typhoons, *Mon. Wea. Rev.* 107, 1022 - 1034.

**Petrova, L.I. (1982):** Algunas particularidades de la estructura y energética de la troposfera en la periferia de los ciclones tropicales. (en ruso). Pp 35-49.

**Sorochinski, M.; M. Stepanov, V.; Ballester, M. (1987):** Estado térmico y contenido integral de humedad en la atmósfera sobre la región del Caribe al paso del huracán "Katrina" (1981). (en ruso). *Tropicheskaya Meteorologia. Trudi Trietevo Mezhdunarodnovo Simpoziuma, Len. Guidromet.* Pp 185-192.

----- (1989): Contenido Integral de la humedad en la atmósfera sobre la región del Caribe durante el período de vida de los CT. (en ruso) pp. 467

**Sorochinski, M.; Ballester, M.; González, C. (1991):** Variaciones espacio-temporal de los campos de temperatura y humedad en los diferentes estados de desarrollo del huracán. (en ruso). %to. Simposium Internacional sobre Meteorología Tropical. Obninsk, Rusia. May-Jun 1991. 7 pp.

**Abstract**

*In this paper the hurricane Keith's synoptic environment, was analyzed and their characteristics of the distribution in the space - time scale of the humidity field, was analyzed, too. The levels 850 and 700 hPa were considered for evaluating the Keith's humidity field. Preliminary assessments of the results about behavior in the Keith's humidity field were very interesting and appear to be compatible with the previous's patterns. Among them: the minimum values of  $Q_r$  and  $Q_{ct}$  were detected 24 hours before Keith was category 4 in the Saffir - Simpson Scale.*