

Variabilidad en la frecuencia de los huracanes del Caribe en octubre durante el período 1951-2005

Lic. José Ramón Palacios Morales, jose.palacios@mail.insmet.cu
Dra. Maritza Ballester Pérez, maritza.ballester@insmet.cu,
Centro de Pronóstico, Instituto de Meteorología, Cuba.

Resumen

En esta investigación se retoma el tema de los huracanes, pero esta vez sólo para el Mar Caribe y en el mes de octubre; es decir se intenta explicar las variaciones que ocurren de forma interdecadal en la frecuencia de formación e intensificación de los huracanes en ese mar y las posibles causas que las provocan. Se analiza una serie cronológica de 55 años (1951-2005) para detectar los períodos de mayor y menor actividad ciclónica en el Caribe en octubre, así como un grupo de variables que podrían tener algún vínculo con esa variabilidad. Los períodos de alta y baja actividad de formación y desarrollo de huracanes en el Mar Caribe han estado determinados por una serie de variaciones en las condiciones oceánicas y atmosféricas. El período inactivo de los años de 1970 a 1994 estuvo dado por: bajos valores de la temperatura superficial del Mar Caribe, una troposfera superior menos fría que en los períodos activos, un predominio del viento del tercer cuadrante en general para los niveles de 200 hPa y 300 hPa, así como una cizalladura vertical del oeste, que inhibió la formación de huracanes.

Palabras claves: Intensidad de huracanes, huracanes en el Mar Caribe, huracanes de octubre.

Introducción

Cuba nunca ha estado ajena a los ciclones tropicales, ha sido víctima en muchas ocasiones y en otras ha sido beneficiada con sus lluvias. El Mar Caribe es la zona que más ha preocupado a los cubanos y en especial el mes de octubre, que es cuando se presenta la mayor probabilidad de que se forme en su seno un organismo ciclónico tropical.

Durante el período 1886-2002 en el mes de octubre en la cuenca atlántica se formaron 209 tormentas tropicales, mes que es superado por agosto con 251 y septiembre con 344. Sin embargo, una gran parte de las tormentas formadas en octubre se originó o alcanzó la categoría de huracán en el Mar Caribe. En octubre se forma aquí un ciclón tropical cada 1,6 años, seguido por septiembre con uno por cada 2,8 años. Estos dos meses acumulan 60 % de los ciclones tropicales formados en esta zona, y constituyen el período más activo de esta durante la temporada ciclónica, según estudios realizados por Ballester *et al.* (2004).

Esos autores también encontraron que 28,2 % de los huracanes originados en el Caribe llegaron a ser intensos dentro del área y tres de ellos alcanzaron la categoría 5, estos fueron: el no. 7 de 1924

(conocido en Cuba como huracán sin precedentes), Hattie de 1961 y Mitch de 1998, todos en octubre.

El presente artículo está dirigido al tema de los huracanes, pero esta vez sólo para el Mar Caribe y durante el mes de octubre; es decir, se intenta explicar la variabilidad que ocurre de forma interdecadal en la frecuencia de formación e intensificación de un huracán en ese mar desde 1951 hasta 2005, las cuales pueden estar determinadas por una serie de variaciones en las condiciones oceánicas y atmosféricas.

Materiales y métodos

Todas las series consideradas abarcan el período 1951-2005, para un total de 55 temporadas ciclónicas. Como ya se explicó, se analizaron sólo los organismos ciclónicos formados e intensificados en el Mar Caribe.

En la tabla 1 se refleja el número de huracanes formados allí en octubre, para el período de estudio.

La mayoría de los casos que conforman la muestra de estudio se formaron en el Mar Caribe occidental, lo que se corresponde con el comportamiento medio de la génesis de los huracanes en esa región.

Tabla 1. Huracanes que se originaron e intensificaron en el Mar Caribe según la escala Saffir-Simpson en el mes de octubre desde 1951 hasta 2005

Año	Fecha	Nombre	V. Máx. (Nudos)	P. Mín (hPa)	Categoría Según la escala Saffir-Simpson
1952	22-25 / 10	Fox	130	934	4
1955	16-17 / 10	Katie	100	984	3
1961	28-31 / 10	Hattie	140	920	5
1964	13-14 / 10	Isbell	95	979	2
1968	16-16 / 10	Gladys	65	996	1
1995	10-10 / 10	Roxanne	100	958	3
1996	17-18 / 10	Lili	85	975	2
1998	24-30 / 10	Mitch	155	905	5
2000	30 / 9-2 / 10	Keith	120	939	4
2005	18/10-22/10	Wilma	160	882	5
2005	29/10-30/10	Beta	100	960	3

En la muestra de trabajo se incluyen tres huracanes categoría 5, dos categoría 4, tres categoría 3, lo que representa 73 % del total, todos fueron intensos. Nueve de los once organismos alcanzaron la categoría de huracán en la segunda quincena del mes.

Es conocido que la región de formación del evento ENOS se divide en cuatro subregiones, de las cuales se tendrán en cuenta para el cálculo de la anomalía de la temperatura superficial del mar en el presente trabajo sólo: Niño 1+2, Niño 3 y Niño 3,4; pues son las que se vinculan con las condiciones atmosféricas del área geográfica del Atlántico Norte. Estos datos se obtuvieron de la página: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/wksst.for>

La anomalía normalizada de la temperatura superficial del mar (°C) en octubre (TSMNOR) se trabajó en el área comprendida entre los 10 ° y 22 ° de latitud norte y los 60 ° y 87 ° de longitud oeste, correspondiente al Mar Caribe tomando el período 1961-1990 para el cálculo de la media y la desviación estándar. Esta variable se calculó a partir de los datos de la temperatura del mar extraídos de la página Web: http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep_data/. Esa misma área se utilizó también para el resto de las variables estudiadas con la diferencia de que las anomalías son referidas a las medias del período 1979 a 1995 proporcionadas por esa página.

Las otras variables consideradas fueron:

Anomalías de la temperatura del aire (°C) en la troposfera superior en el nivel 100 hPa (TT 100).

Anomalías de la temperatura del aire (°C) en la troposfera superior en el nivel 150 hPa (TT 150).

Anomalías de la temperatura del aire (°C) en la troposfera superior en el nivel 200 hPa (TT 200).

Anomalías de la temperatura del aire (°C) en la troposfera baja en el nivel 850 hPa (TT 850).

Anomalía de la componente zonal (u) del viento (m/s) en el nivel de 200 hPa (AU200).

Anomalía de la componente meridional (v) del viento (m/s) en el nivel de 200 hPa (AV200).

Anomalía de la componente zonal (u) del viento (m/s) en el nivel de 300 hPa (AU300).

Anomalía de la componente meridional (v) del viento (m/s) en el nivel de 300 hPa (AV300).

El cálculo de la anomalía de la cizalladura vertical de la componente zonal del viento entre 200-850 hPa (ANSHEAR) se hizo considerando los valores medios del período 1979-1995.

Se aplicaron las dójimas de Mann, Wald-Wolfowitz y Pettitt (Sneyers, 1990) para el análisis de las series. La dójima de Mann se utilizó para el cálculo de las tendencias y la de Wald-Wolfowitz para el análisis de correlación serial. La prueba de Pettitt (Sneyers, 1992) se aplicó para estimar la posición cronológica de los puntos de cambios. Para la comprobación de las hipótesis se consideró como nivel de significación $\alpha_0 = 5\%$.

La significación de las diferencias entre los valores medios de las variables en los diferentes períodos se determinó mediante el cálculo del estadígrafo Z (Paegle y Kierulff, 1974).

Análisis de los resultados

Un primer resultado se hace evidente en la tabla 1 donde se pueden observar dos períodos con formación de huracanes (1951-1969 y 1995-2005) y uno de inactividad total (1970-1994).

Para realizar el estudio se determinaron las correlaciones entre las variables seleccionadas y se observó sólo como relevante: la correlación

entre las anomalías de las temperaturas en la troposfera superior y el valor de la anomalía de temperatura superficial del Mar Caribe, que dio como resultado, valores significativos entre la superficie isobárica de 100 hPa y la anomalía de la temperatura superficial del Mar Caribe, con un valor de $-0,33$; y la variable anomalía normalizada de la cizalladura vertical del viento que lógicamente se correlaciona con las anomalías de las componentes zonales del viento a los 200 hPa y 300 hPa, con valores respectivos de 0,95 y 0,82. Llama la atención el hecho de que a pesar que al nivel de significación de 5 % no dé resultados significativos con ninguna de las tres regiones Niño, la región Niño 1+2, es la más vinculada.

Respecto a las correlaciones entre las tres regiones Niño y las anomalías de la temperatura del aire en los niveles de estudio se obtuvo que eran significativas las relaciones entre la anomalía de la temperatura en los 150 hPa, 200 hPa, 850 hPa y las anomalías de la temperatura superficial del mar en las tres regiones Niño seleccionadas (Tabla 2).

Tabla 2. Correlaciones entre las anomalías de la temperatura superficial del mar en las regiones Niño y las anomalías de las temperatura del aire en los niveles de 150 hPa, 200 hPa y 850 hPa

	TT150	TT200	TT850
Ni 1+2	0,40	0,37	0,34
Ni 3	0,43	0,40	0,34
Ni 3,4	0,30	0,30	0,28

En la figura 1 se presentan las anomalías de la temperatura superficial del mar en las tres regio-

nes Niño estudiadas. En el período de 1951-1969 hay un predominio negativo en los valores de las anomalías de la temperatura superficial del mar en las regiones de los Niños 1+2, 3 y positivo en Niño 3,4; el valor en Niño 1+2 fue el caso más anómalo (Tabla 3). Para el período de 1970 a 1994 las anomalías, aunque en menor grado, son negativas en Ni1+2, y se presentan positivas en las otras dos regiones, con un incremento marcado en Ni 3 y un ligero enfriamiento en Ni 3,4. Durante este período existe una mayor variabilidad.

En el último período las variaciones son aún mayores en las tres regiones. Hubo un enfriamiento en gran parte de las aguas del Pacífico Ecuatorial oriental con respecto al período 1970-1994, con anomalías frías en la región Niño 1+2. En el año 2002 se manifiesta un calentamiento al presentarse valores altos en las anomalías de las subregiones Niño 3 y 3,4, en Niño1+2 se incrementan los valores pero nunca se igualan a los otros dos (Fig. 1). En el año 2005 se aprecia un enfriamiento en esa última región, lo cual fue uno de los factores que influyeron en la gran actividad presentada ese año según, Ballester *et al.* (2006).

La figura 2 representa las variables anomalía de la temperatura de la troposfera en la superficie isobárica de los 850 hPa y anomalía estandarizada de la temperatura superficial del Mar Caribe en octubre. Los valores de la temperatura en los 850 hPa, a medida que transcurre el tiempo tienden a incrementarse, mientras que TT850 presenta dos períodos cálidos y uno frío; es evidente que el último período cálido (1996-2005) tiene valores más altos que el anterior (1951-1974), lo cual podría indicar una posible tendencia al incremento de la temperatura superficial del Mar Caribe en los últimos 35 años.

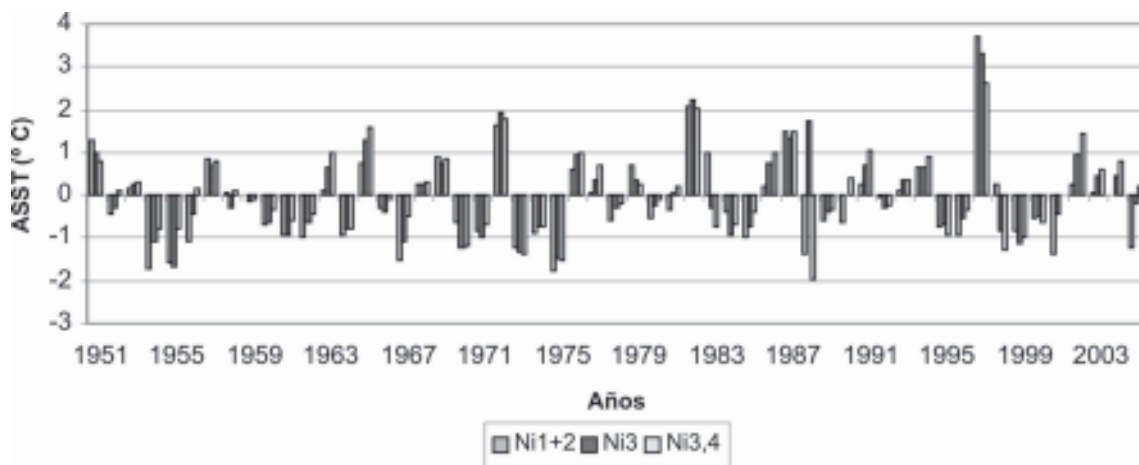


Fig. 1. Anomalías de la temperatura superficial del mar en las tres regiones Niño estudiadas, durante el período 1951-2005.

Tabla 3. Valores de las medias y desviaciones estándar (DS) para cada una de las variables y en cada uno de los períodos de estudio

Variables	Media 1ro.	DS 1ro.	Media 2do.	DS 2do.	Media 3ro.	DS 3ro.
Ni1+2	-0,30 474	0,892 558	-0,083 600	0,965 975	-0,12 273	1,392 775
Ni3	-0,18 158	0,801 604	0,096 800	1,012 743	0,07 364	1,234 223
Ni3,4	0,06 368	0,680 263	0,038 000	1,041 293	0,14 091	1,175 053
TSMNOR	0,92 669	0,269 897	-0,576 062	0,922 066	1,11 638	1,352 142
TT100	-1,50 989	0,598 524	-0,830 406	1,528 386	-2,08 179	0,944 291
TT150	-1,27 039	0,477 381	-0,451 312	0,688 978	-0,45 209	0,458 471
TT200	-0,54 292	0,516 707	-0,276 893	0,611 037	-0,24 527	0,372 340
TT850	-0,34 741	0,418 765	-0,086 224	0,269 139	0,35 046	0,347 157
AU200	-1,40 155	2,466 396	0,544 909	2,253 423	-1,17 213	3,392 895
AV200	0,18 660	1,466 392	0,193 371	0,742 127	-0,05 398	1,097 593
AU300	-0,69 511	1,695 552	0,501 259	1,614 108	-1,01 565	2,113 600
AV300	0,43 709	1,014 883	0,090 829	0,534 468	0,32 952	0,767 480
ANSHEAR	-0,55 937	0,843 775	0,143 391	0,900 269	-0,44 920	1,470 980

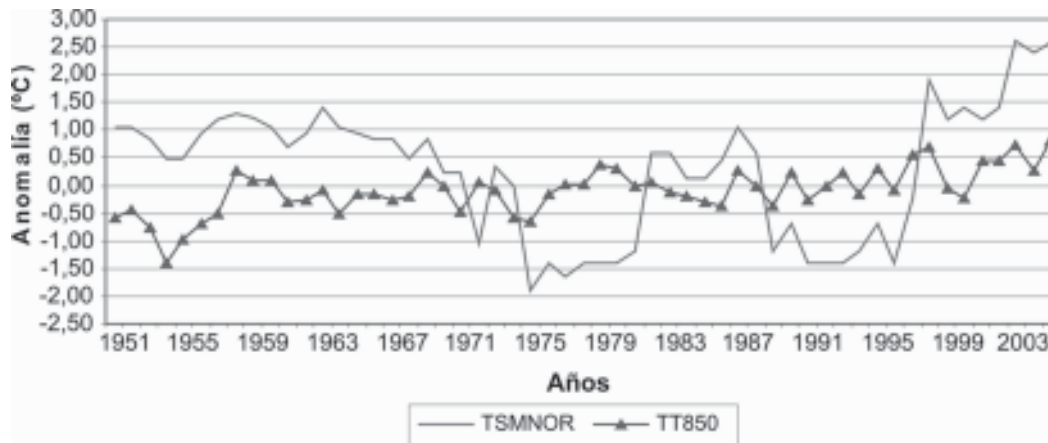


Fig. 2. Anomalia de la temperatura del aire en el nivel de 850 hPa y de la anomalia normalizada de la temperatura superficial del Mar Caribe, durante el período 1951-2005.

Se procedió entonces, para comprobar las posibles tendencias, a la aplicación de la prueba de Mann. Se obtuvo que existe tendencia significativa al incremento de la temperatura en el nivel de 850 hPa, ya que el estadígrafo dio 4,58 con una probabilidad de 0,00 %, inferior al nivel de significación considerado de 5 %. El estadígrafo de la prueba de Wald-Wolfowitz tiene el valor del 3,28 y la probabilidad de 0,005 %. También se realizó la prueba de Pettitt que mostró la existencia de un punto de cambio significativo en 1976 con la probabilidad de 0,005 % y un valor extremo de -466,0. Estos resultados reflejan que hasta el 2005 ha ocurrido un calentamiento continuo en la troposfera baja del Caribe, lo que puede estar relacionado con el calentamiento global.

El análisis realizado para las TSMNOR del Mar Caribe no demostró tendencia significativa para

todo el período de estudio, con un valor del estadígrafo de Kendall-Mann de -0,34. Sin embargo, al considerar el período de 1970 al 2005 esta resultó ser significativa con el valor de 3,14. El estadígrafo de la prueba de Wald-Wolfowitz tiene el valor de 4,16 y la probabilidad de 0,00 %. La prueba de Pettitt arrojó como resultado la existencia de un punto de cambio significativo en 1996 con la probabilidad de 0,19 % y el valor extremo de -224,0. Esto último indica que desde 1970 hasta el 2005 hubo una tendencia al calentamiento en general del Mar Caribe, y que ocurrió un punto de cambio en 1996.

En la figura 3, que representa las variaciones de las anomalías de la temperatura en la troposfera superior, se observa en general, un enfriamiento en la alta troposfera en los períodos 1951-1969 y 1995-2005. Este comportamiento es más evidente en los 100 hPa.

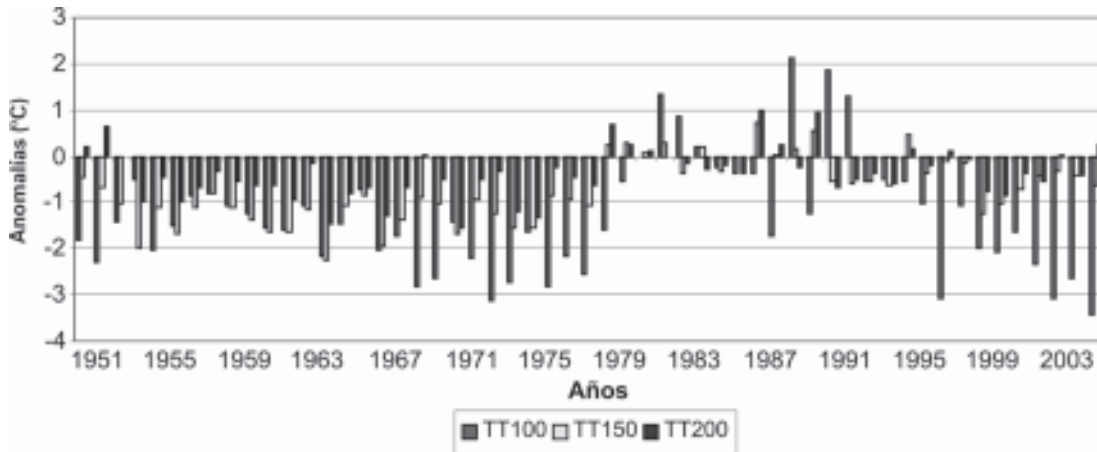


Fig. 3. Anomalías de la temperatura del aire (°C) en la troposfera superior durante el período 1951-2005.

Ya desde 1970 hasta 1994 los valores de la temperatura en los tres niveles (100 hPa, 150 hPa, 200 hPa) de la alta troposfera se mantienen como promedio con valores por debajo de la norma, pero más altos que los del primer período. Se destacan los del nivel de 100 hPa, que son los más alejados de la media.

La figura 4 refleja las anomalías de las componentes del viento en la superficie isobárica de 300 hPa. De 1951 a 1969 se observa una mayor frecuencia de la componente sur y la componente este, predominando vientos del segundo cuadrante (ver tabla 3), de 1970 a 1994 la componente meridional tuvo un comportamiento cercano a la norma; en este período la anomalía más notable fue

la componente oeste. Desde 1994 hasta 2005 hay un reforzamiento de las anomalías de las componentes del este y del norte, que dan un viento del primer cuadrante, pero con una componente más marcada del este.

En la figura 5 se representaron las anomalías de las componentes del viento en el nivel de 200 hPa. Desde 1951 hasta 1969 se observa un predominio de los vientos del segundo cuadrante con una componente del este más notable y una gran variabilidad (ver tabla 3). Entre 1970 y 1994 se aprecia una anomalía del oeste y valores cercanos a lo neutro de la componente meridional del viento, con tendencia hacia el sur. Esto indica un viento medio del tercer cuadrante.

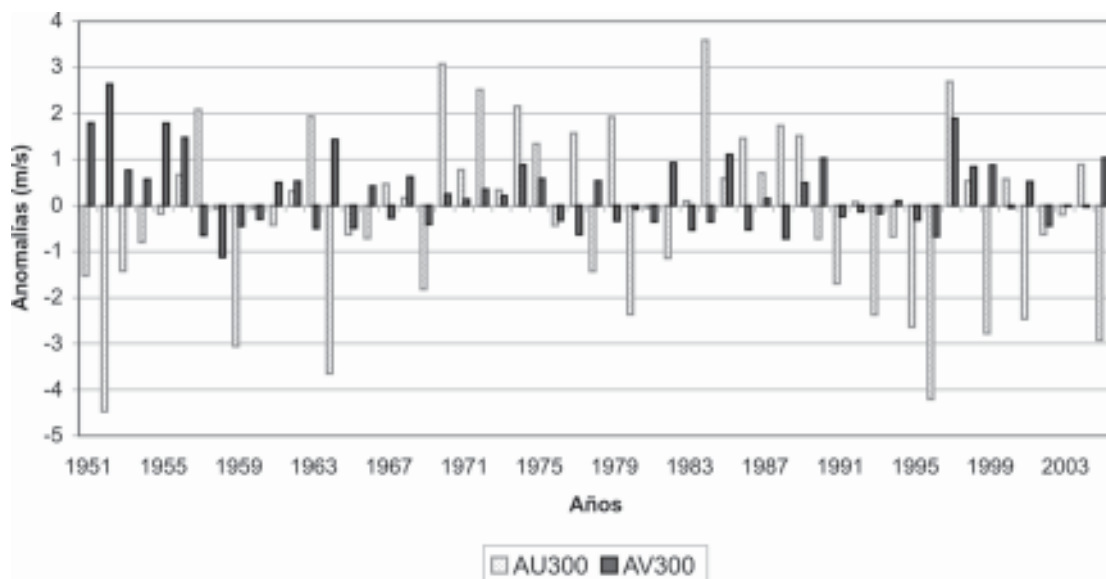


Fig. 4. Anomalía de las componentes zonal (u) y meridional (v) del viento (m/s) en el nivel de 300 hPa, durante el período 1951-2005.

Durante el tercer período nuevamente se denota una mayor frecuencia del viento del primer cuadrante, pero esta vez con los valores de la anomalía de la componente meridional más cercanos a la media, lo que indica entonces, un viento predominante del este-estenordeste. Es interesante ver además, cómo en este período se presenta la mayor variabilidad de la componente zonal.

Por último la figura 6, presenta la anomalía normalizada de la cizalladura vertical de la componente zonal del viento entre 200 hPa y 850 hPa, condición muy importante para la formación, desarrollo y posterior intensificación de un ciclón tropical.

En el primer período los valores manifiestan un predominio de la cizalladura vertical del este, excepto en los años 1957, 1958 y 1967. De 1970 a 1994 ya se hace más evidente una cizalladura vertical del oeste, que inhibe la formación de huracanes en el área, situación que cambia a modo general de 1994 al 2005, cuando la cizalladura del oeste

sólo se presenta en algunos años como 1997, 1998, 2000 y 2002; en general lo que predomina en este período son las corrientes del este en la troposfera superior (Tabla 3), que favorecen el ambiente divergente. A modo general, es curioso ver la gran anomalía de la cizalladura del este en los años 1964 y 2005, con anomalías inferiores a -2 m/s; estos años coinciden con la formación de huracanes en el Mar Caribe en octubre, se destaca 1964 con Isbell y el 2005, que por primera vez se originaron e intensificaron en el Mar Caribe dos huracanes intensos, Wilma y Beta (Ballester y Rubiera, 2006).

Es interesante comparar entre sí el comportamiento de las variables (Tabla 3) para cada uno de los períodos. Se observa que en años de actividad ciclónica en octubre las temperaturas en las diferentes regiones Niño (Fig. 1) tienden al enfriamiento y en especial la región Niño1+2 con los valores negativos más bajos, mientras que los valores de la temperatura en la troposfera superior son negativos, se acentúan en los 100 hPa.

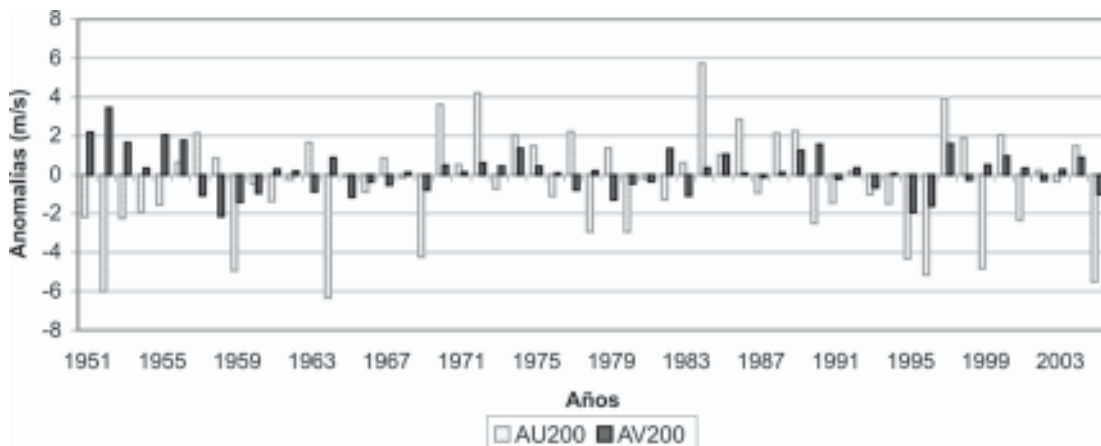


Fig. 5. Anomalía de las componentes zonal (u) y meridional (v) del viento (m/s) en el nivel de 200 hPa durante el período 1951-2005.

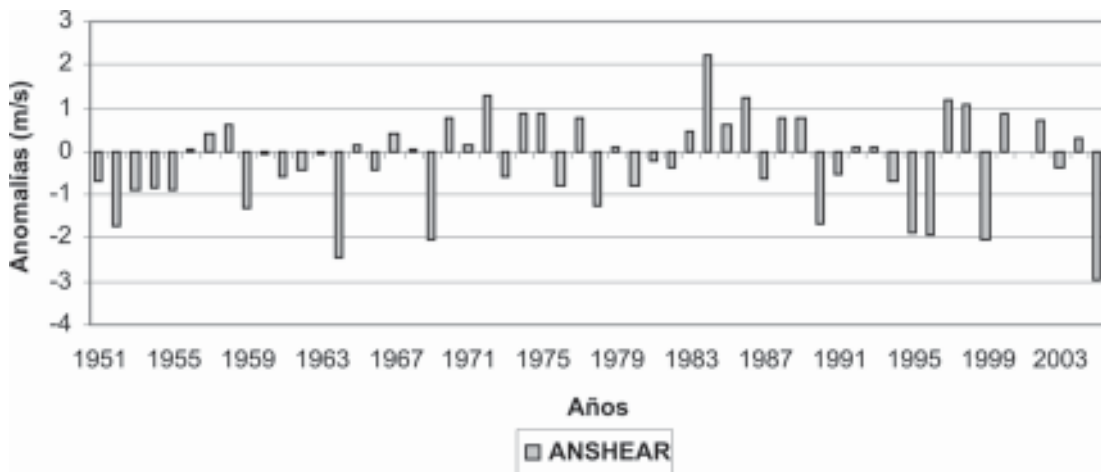


Fig. 6. Anomalía normalizada de la cizalladura vertical de la componente zonal del viento (m/s) entre los niveles 200-850 hPa, durante el período 1951-2005.

Tabla 3. Valores de las medias y desviaciones estándar (DS) para cada una de las variables y en cada uno de los períodos de estudio

Variables	Media 1ro.	DS 1ro.	Media 2do.	DS 2do.	Media 3ro.	DS 3ro.
Ni1+2	-0,30 474	0,892 558	-0,083 600	0,965 975	-0,12 273	1,392 775
Ni3	-0,18 158	0,801 604	0,096 800	1,012 743	0,07 364	1,234 223
Ni3,4	0,06 368	0,680 263	0,038 000	1,041 293	0,14 091	1,175 053
TSMNOR	0,92 669	0,269 897	-0,576 062	0,922 066	1,11 638	1,352 142
TT100	-1,50 989	0,598 524	-0,830 406	1,528 386	-2,08 179	0,944 291
TT150	-1,27 039	0,477 381	-0,451 312	0,688 978	-0,45 209	0,458 471
TT200	-0,54 292	0,516 707	-0,276 893	0,611 037	-0,24 527	0,372 340
TT850	-0,34 741	0,418 765	-0,086 224	0,269 139	0,35 046	0,347 157
AU200	-1,40 155	2,466 396	0,544 909	2,253 423	-1,17 213	3,392 895
AV200	0,18 660	1,466 392	0,193 371	0,742 127	-0,05 398	1,097 593
AU300	-0,69 511	1,695 552	0,501 259	1,614 108	-1,01 565	2,113 600
AV300	0,43 709	1,014 883	0,090 829	0,534 468	0,32 952	0,767 480
ANSHEAR	-0,55 937	0,843 775	0,143 391	0,900 269	-0,44 920	1,470 980

Cabe destacar el año 2005, donde se reportan los valores más bajos de todo el estudio para las temperaturas de la troposfera alta y a la vez se registran anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial por debajo de lo normal. Además, durante este año se encuentra el mayor valor de la anomalía de la cizalladura vertical del este en los 55 años de estudio (Fig. 6), condiciones que propiciaron que en ese año se formaran en el Mar Caribe de forma atípica dos huracanes intensos (Ballester y Rubiera, 2006).

En los años en que se encuentra en evolución un evento ENOS fuerte, como 1997, una de las causas principales que inhibió la formación de huracanes fue la componente suroeste del viento en los 200 hPa con una fuerte cizalladura vertical del oeste, a pesar del enfriamiento de la troposfera alta. Este comportamiento del viento creó un ambiente convergente a esa altura y desfavoreció enormemente el desarrollo de organismos ciclónicos en el área de estudio.

La tabla 4 refleja los valores del estadígrafo Z. Se aprecia que las diferencias entre las medias para las regiones Niño 1+2, Niño 3 y Niño 3,4 de los tres períodos de estudio, no son significativas; así como tampoco son significativas para las anomalías de la componente meridional del viento para los 200 hPa y 300 hPa. Esto indica que no han habido variaciones trascendentales de un período a otro en cada una de estas variables.

Sin embargo, si se observa el caso de la anomalía de la temperatura en los 100 hPa (Fig. 3), se evidencian resultados significativos entre las medias de los períodos uno y dos, y entre el segundo y tercero. Entre el primer período y el segundo, el

valor fue de -2,028; entre el segundo y tercer período el valor fue de 2,996, lo que indica un enfriamiento de la alta troposfera desde 1995. Todo esto apoya lo expresado con anterioridad sobre la existencia de una relación entre la temperatura en los altos niveles de la troposfera, en este caso 100 hPa y la formación de huracanes en el Mar Caribe en octubre, ya que coinciden los períodos más fríos con los períodos activos de formación y desarrollo de huracanes en ese mar.

Tabla 4. Valores del estadígrafo Z obtenidos al comparar las medias de las variables en los tres períodos analizados

Variables	Períodos 1-2	Períodos 1-3	Períodos 2-3
Ni1+2	-0,786	-0,390	0,085
Ni3	-1,018	-0,615	0,055
Ni3,4	0,099	-0,199	-0,250
TSMNOR	7,725	-0,405	-3,782
TT100	-2,028	1,809	2,996
TT150	-4,653	-4,640	0,004
TT200	-1,563	-1,823	-0,191
TT850	-2,372	-4,912	-3,710
AU200	-2,691	-0,196	1,536
AV200	-0,018	0,510	0,682
AU300	-2,367	0,429	2,123
AV300	1,352	0,328	-0,936
ANSHEAR	-2,658	-0,228	1,238

Es interesante ver además, que entre el primer y tercer período se obtiene el valor de 1,809; en el primer período la temperatura estuvo ligeramente más alta que en el tercero, pero con una pequeña diferencia de valores, lo cual hace que la diferencia entre las medias no sea significativa. Se aplicó entonces, a la variable la prueba de Mann para determinar si existía una tendencia global al enfriamiento y se comprobó que la serie es homogénea al obtenerse un valor del estadígrafo de -0,0217, con una probabilidad de 0,9826 superior al nivel prefijado.

Si se comparan los valores de las diferencias entre las medias de la temperatura del aire entre los tres períodos en los 100 hPa, 150 hPa y 200 hPa se hace evidente por los resultados plasmados en la tabla, que el mejor nivel para el estudio es el de los 100 hPa, incluso mejor que el de los 150 hPa, pues en este último los resultados indican incremento en la temperatura en el segundo período al igual que en los 100 hPa, pero con la diferencia de que entre el segundo y tercer período los valores son casi iguales, lo cual no se corresponde con la relación entre temperatura de la troposfera superior y la formación de huracanes en el Mar Caribe.

Se deriva de este análisis que la temperatura en la superficie isobárica de 100 hPa pudiera ser incluida en los pronósticos probabilísticos de la ocurrencia de huracanes en el Caribe y de la afectación a Cuba. Para ello se procedió a correlacionar los valores de esta variable en octubre y los valores de esta, pero para los meses de marzo y junio. La correlación entre octubre y marzo (0,27) no resultó ser significativa a 5 %, mientras que entre los meses de junio y octubre presenta un valor de 0,48, significativo al nivel prefijado. Esto indica que la temperatura del aire en la superficie isobárica de 100 hPa en junio puede ser utilizada como un predictor potencial para el pronóstico de huracanes del mes de octubre en el Mar Caribe.

Otro resultado interesante del análisis de la tabla 4 es el estudio de la temperatura del aire en el nivel de 850 hPa. La comparación entre el primer y segundo período mostró un valor de -2,372, entre el período segundo y tercero -3,710, y entre el primero y el tercero -4,912, es decir que la diferencia entre las medias da la tendencia al incremento de la temperatura en este nivel durante todos los períodos.

En el caso de la anomalía de la temperatura superficial del Mar Caribe, las diferencias entre las medias fueron significativas entre los períodos primero-segundo y segundo-tercero. Entre el primer y segundo período la diferencia de las medias fue

de 7,725, lo cual indica el fuerte enfriamiento que ocurrió durante el segundo período, mientras que entre el segundo y tercero el resultado es significativo, con un valor del estadígrafo Z de -3,782. A pesar de que las medias están más distantes, resulta menos significativa que la comparación del primero con el segundo por la gran variabilidad que hubo en esos dos períodos. Aunque el valor del estadígrafo Z no dio significativo para el primero y tercer período, el tercero posee valores más altos de temperatura del Mar Caribe que el primero, acorde con la tabla 3.

Respecto a la anomalía de la componente zonal del viento en 200 hPa y 300 hPa, para ambas se observa que en el segundo período hubo un cambio en la dirección del viento. En este caso fue con componente oeste, pero lo obtenido demuestra que el nivel ideal es el de los 300 hPa, que es donde se encuentran los resultados significativos en la comparación de las medias entre los períodos primero-segundo con el valor de -2,367 y entre segundo-tercero con el valor significativo de 2,123. En el caso de los 200 hPa sólo existen resultados significativos para la comparación de las medias del primero y segundo período, pero es interesante destacar que el valor entre el segundo y tercero es de 1,536; el cual no es significativo, pero indica cierta diferencia entre las medias de ambos.

Para la anomalía normalizada de la cizalladura vertical del viento el único resultado que se obtuvo fue que la diferencia es significativa entre las medias del primero y segundo período (-2,658), que indica un incremento en la cizalladura vertical del oeste. Después de 1995 la anomalía promedio de la cizalladura vuelve a ser del este, pero en este caso tiene una mayor variabilidad, que en los años 50 y 60, lo que hace que la diferencia con el segundo período no resulte significativa. La inactividad de los huracanes del Caribe en octubre durante el período 1970-1994 es en parte explicada por el incremento de la cizalladura del oeste en el área.

Conclusiones

En el período de estudio 1951-2005 se detectó la existencia de dos etapas con formación de huracanes en el Mar Caribe en octubre correspondiente a los años de 1951 a 1969 y de 1995 al 2005, así como la existencia de un período inactivo de 1970 a 1994. Esos períodos han estado determinados por una serie de variaciones en las condiciones oceánicas y atmosféricas. El período inactivo de los años de 1970 a 1994 estuvo dado por: bajos valores de la temperatura superficial del Mar Cari-

be, una troposfera superior menos fría que en los períodos activos, un predominio del viento del tercer cuadrante en general para los niveles de 200 hPa y 300 hPa y una cizalladura vertical del oeste, que inhibió la formación de huracanes.

Se observa una analogía entre los períodos 1951-1969 y 1995-2005 en cuanto a las condiciones existentes para el desarrollo ciclónico (condiciones favorables) y además, estos períodos coinciden con los períodos activos de formación de huracanes en el Caribe.

Del análisis realizado a la temperatura en la alta troposfera, el nivel de los 100 hPa resultó ser el más representativo en cuanto a sus variaciones de un período a otro, se corroboró incluso, la presencia del dipolo necesario para la formación de huracanes: temperaturas inferiores a la media en la troposfera a los 100 hPa y cálidas temperaturas superficiales del mar.

Una vez más se demuestra que los eventos ENOS y AENOS influyen sobre la región atlántica a través de los niveles altos de la troposfera, reforzando o debilitando los oestes, así repercute en el desarrollo y la intensificación de los ciclones tropicales en toda la región y en particular en el Caribe.

En los tres períodos analizados las mejores relaciones entre la temperatura superficial del mar en el Pacífico Ecuatorial oriental y el viento en la troposfera superior en el área del Caribe se obtuvieron entre la región Niño 1+2 y el nivel de 200 hPa.

La temperatura del aire en el nivel isobárico de 850 hPa, desde 1951 al 2005 tuvo una tendencia al

calentamiento en general en correspondencia con el calentamiento global, con un punto de cambio en 1996. También se comprueba la existencia de un incremento en la temperatura del Mar Caribe desde 1970 hasta el año 2005 con un punto de cambio en 1996.

Las relaciones de la temperatura del aire en la superficie isobárica de 100 hPa entre octubre y junio indican que esta variable puede ser utilizada como un predictor potencial para el pronóstico de huracanes del mes de octubre en el Mar Caribe.

Referencias

- Ballester M. y J. Rubiera (2006): «Temporada Ciclónica de 2005 en el Atlántico Norte». (www.insmet.cu). (Consultada en mayo de 2006).
- Ballester M., C. González, R. Pérez y M. Sarmiento (2004): «Actividad ciclónica en las áreas del Océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba durante el período 1886-2002», Resultado no. 1, INSMET, 31 p.
- Ballester M., C. González, R. Pérez y M. Sarmiento (2006): «Verificación del pronóstico de la actividad ciclónica en el Atlántico Norte para el 2005». *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 13, no. 1.
- Sneyers, R. (1990): «Technical Note No.143 on the Statistical Analysis of Series of Observations». WMO, no. 415, 189 p.
- (1992): «On the use of statistical analysis for the objective determination of climate change». *Meteorol. Zeitschrift*, N.F. 1, 247-256.
- Paegle, J.N. y L.P. Kierulff (1974): «Synoptic Climatology of 500 mb Winter flow Types». *J. Appl. Meteor.*, vol. 13, no. 2, 205-220.

Abstract

In this investigation the subject of hurricanes is retaken; but this time only for the Caribbean Sea and in the month of October. To give an explanation to the variations that happen of interdecadal form in the frequency formation and intensification of hurricanes in this sea and the possible causes that cause them. A was analyzed a chronological series of 55 years (1951-2005) To detect the relationships of greater and smaller cyclonal activity in the Caribbean in October, as well as a group of variables that could have some relationships with that variability. The periods of high and low activity of formation and hurricane development in the Caribbean Sea have been determined by a series of variations in the oceanic and atmospheric conditions. The inactive period of the years from 1970 to 1994 was given by: low values of the Sea Surface temperature of the Caribbean Sea, a upper troposphere less cold than in the active periods, a predominance of the wind of the third quadrant in general for 200 hPa and 300 hPa levels, and westerly shear, that inhibited the hurricane formation.

Key words: Huricanes en el Mar Caribe, Octobers Hurricanes, Hurricanes Intensity.