

Condiciones sinóptica favorables para la aparición de tormentas locales severas en Cuba. Período lluvioso

Mario Carnesoltas Calvo, mario.carnesoltas@insmet.cu
Gisell G. Aguilar Oro, gisell.aguilar@insmet.cu,
Instituto de Meteorología, Cuba.
Lino Naranjo Díaz, lino.naranjo@meteogalicia.es,
MeteoGalicia, España.

Resumen

Este trabajo es una continuación de las condiciones sinópticas para la ocurrencia de tormentas locales severas en Cuba (TLS) pero en el período lluvioso. Para ello se extrajeron los casos de TLS en Cuba reportados en el período lluvioso desde 1980 hasta el 2002 y se analizaron los datos diarios de campos atmosféricos a diferentes niveles y variables para ese período, con el objetivo de obtener un grupo de patrones o configuraciones sinópticas favorables para la ocurrencia de TLS. Partiendo de una base de datos de siete niveles atmosféricos y cinco variables básicas se confeccionó una metodología de procesamiento estadístico basada en la reducción inicial de la dimensión del espacio mediante un análisis de componentes principales, seguido de un análisis de conglomerados paso a paso dirigido a la obtención de grupos generales de patrones que permitan establecer relaciones entre ellos. Como resultado se determinaron un total de diez patrones o configuraciones pertenecientes al período lluvioso en Cuba, con la característica de que cada configuración representa una estructura tridimensional, que considera varios parámetros atmosféricos y de los cuales se realiza una discusión general por separado que demuestran sus diferencias.

Palabras claves: tormentas locales severas.

Introducción

Es ampliamente conocido que las tormentas locales severas (TLS) en Cuba ocurren en cualquier época del año, aunque pueden identificarse los meses de marzo a septiembre como los de mayor frecuencia y por lo general se forman en horas de la tarde, una o dos horas después de registrarse la máxima temperatura del día (Alfonso, 1994). Dado su carácter local, los efectos de estos fenómenos cobran importancia cuando se les analiza de conjunto, como suma de sucesos individuales, pues las consecuencias de una sola tormenta, por intensa que esta sea, se reducen casi siempre a unas decenas de km² y resultan insignificantes si se les compara con los daños producidos por un huracán u otro sistema sinóptico.

Todo parece indicar que la actividad severa en las tormentas locales sobre Cuba, fundamentalmente en este período está determinada por los sistemas que provocan la convección profunda a escala local, entre los que se encuentra la circulación de la brisa de mar. La forma alargada de la mayor isla del archipiélago cubano permite el de-

desarrollo de dos sistemas de brisa bien definidos, uno de costa sur y otro de costa norte, que actúa como elemento disparador de la convección profunda en un entorno condicionalmente inestable la mayoría de los días del año y en presencia de cizalladura vertical, puede originar actividad severa (Carnesoltas *et al.*, 2002).

Por otra parte, Carnesoltas *et al.*, (1982; 2003), Carnesoltas (1986), Amaro, (1984; 1992) y Roque y Amaro (1998), que han estudiado el comportamiento del viento en la CFP sobre Cuba, no han encontrado evidencias hasta el momento que relacionen los máximos de la velocidad del viento con la severidad en las tormentas locales. Incluso el caso singular que se presentó sobre Cienfuegos el día 9 de septiembre de 1979, con 7 m/s en superficie y 34 m/s a 580 m de altura (Carnesoltas, 1982), estaba relacionado con la cercanía a la región occidental del país de una depresión tropical que el mismo día se convirtió en la tormenta tropical «Frederic», no apareció ningún reporte de TLS durante ese día.

También se puede encontrar en el trabajo de estos autores que, el máximo de velocidad del vien-

to ocurre con mayor frecuencia entre las 0600 y las 1200 UTC, mientras que las TLS suceden preferiblemente entre las 2100 y las 2200 UTC (Alfonso, 1994); y en cuanto a la distribución mensual puede verse que el chorro de los bajos niveles (LLJ por sus siglas en inglés) predomina en los meses de enero, septiembre y noviembre, mientras que las TLS lo hacen entre mayo y junio. La frecuencia de ocurrencia mayor en el período poco lluvioso, sugiere que el LLJ hasta el momento registrado sobre Cuba, esté relacionado con las condiciones de mayor estabilidad por la influencia anticiclónica en este período del año, y en mucho menor medida en interacción con chorros de la tropósfera media y alta que afectan la región con muy baja frecuencia.

Por lo anterior, los autores consideraron que, para el caso de Cuba, la presencia de máximos de la velocidad del viento en las capas bajas tiene menor incidencia en el desarrollo de las TLS, con respecto a las condiciones de latitudes medias y continentales.

Los resultados de las investigaciones hasta el momento han llegado a identificar una relación de condiciones que favorecen el desarrollo de las TLS:

1. Calentamiento de la capa fronteriza planetaria
2. Contenido de humedad
3. Inestabilidad
4. Chorro de los bajos niveles
5. Corriente en chorro superior
6. Cizalladura en la dirección del viento en 700 hPa
7. Cizalladura en la velocidad del viento
8. Vorticidad en 500 hPa.

Durante las horas de sol ocurre principalmente el calentamiento de la capa fronteriza planetaria (CFP), pero también contribuye el transporte de calor por advección. Con el aumento de la temperatura decrece la densidad y la estabilidad hidrostática y dinámica en la vertical, por lo tanto las partículas de aire adquieren mayor flotabilidad.

El aire es más inestable en las zonas de máxima humedad y a mayor contenido de humedad, más calor latente se podrá liberar una vez que se forma la nube de la tormenta. La inestabilidad se define por la estratificación de temperatura de la atmósfera, aumenta por el calentamiento de la CFP y/o por enfriamiento de los niveles medios y altos (de 700 a 300 hPa). Se producirá inestabilidad convectiva combinando aire caliente y húmedo en la CFP con aire seco en los niveles medios. Su evaluación es más fácil por los parámetros termodi-

námicos, entre los que se incluyen la energía potencial convectiva acumulada (CAPE), el índice de ascenso (LI), el índice de showalter (SI), la depresión del punto de rocío entre los niveles de 700 y 500 hPa. En general, la inestabilidad resulta en gran medida de la combinación de la estratificación térmica y del contenido de vapor de agua.

En cuanto al chorro de los bajos niveles, es necesario aclarar que es el inducido por baja extratropical (o tropical). Esta capa de alta velocidad en la CFP es capaz de introducir rápidamente aire caliente y húmedo dentro de una región, por el contrario, si los vientos son débiles no es tan probable la ocurrencia de severidad en las tormentas. Aunque todavía es muy discutido el nivel que juega el papel fundamental en el flujo de entrada de masa desde el entorno hacia el interior de la nube de tormenta, se conoce que vientos fuertes en la CFP resulta un mecanismo muy eficiente en el transporte de calor y humedad en los casos de severidad. La corriente en chorro superior interviene en la divergencia horizontal que contribuye a la salida de la masa de aire que asciende bruscamente dentro de la nube de la tormenta. Pero no puede dejarse de tener en cuenta la interacción entre el chorro superior con el de los bajos niveles, pues en dependencia de la ubicación de la región de interés con respecto al eje de los chorros, así será la divergencia (positiva o negativa).

La cizalladura en la dirección del viento causa vorticidad horizontal, la que puede conducir al desarrollo de tornados. Las mejores condiciones serían tener sobre la región de interés, un viento del sudeste en la superficie que transporte aire caliente y húmedo, un viento del suroeste o del oeste en el nivel de 700 hPa que transporte aire seco, y un viento del noroeste en los niveles superiores de la atmósfera. La fuerte cizalladura de la velocidad con la altura puede causar que las corrientes ascendentes principal de la nube se incline en la vertical. Valores bajos y altos son desfavorables, deben estar entre «ciertos» límites medios. La cizalladura de la velocidad también causa rollos horizontales de vorticidad, que pueden introducirse en la tormenta.

Finalmente, la vorticidad es una función de la curvatura de la vaguada, de la vorticidad de la Tierra (absoluta) y del gradiente de la velocidad. Mientras más alto sea el valor, más alto será el potencial de la divergencia del nivel superior.

Los análisis e investigaciones anteriores sobre la temática de TLS ayudaron a determinar los patrones que favorecen su ocurrencia en Cuba, con una definición clara de la mayoría de los mecanis-

mos a escala sinóptica y local que intervienen en su desarrollo. En este trabajo se presentan todas aquellas condiciones sinópticas que favorecen su desarrollo en el período lluvioso.

Materiales y métodos

Para la generación de las configuraciones sinópticas se definió un espacio limitado en el plano horizontal por las coordenadas 10 °N-50 °N y 60 °W-110 °W, como se muestra en la figura 1, suficientemente amplio para considerar los diferentes sistemas que intervienen en el tiempo sobre Cuba, como ondas polares, grandes anticiclones, por ejemplo.



Fig. 1. Espacio sinóptico utilizado.

En la vertical se consideraron siete niveles de la tropósfera (1000, 850, 700, 500, 400, 300 y 200 hPa) que constituyen los niveles básicos de trabajo diario y con los que se quiere además, mantener la utilidad práctica inmediata de los resultados a obtener. Igualmente, para la obtención de las diferentes configuraciones sinópticas se han definido como variables de trabajo en todos los niveles: la altura geopotencial, la temperatura, el campo de viento dividido en las componentes zonal (u) y meridional (v), y la humedad relativa.

La base de datos fue obtenida del *National Center of Environmental Prediction* (NCEP), para una malla de 2,5 grados de resolución en el horario de las 0000 UTC de cada día del período 1980 a

2002 (8 395 días), de esta forma se construyó una base de datos diarios de alrededor de 8 400 mapas por cada uno de los siete niveles, constituidos por 357 puntos de rejilla cada mapa.

Esta base de datos originalmente almacenada en código GRIB, fue convertida a formato ASCII y luego a través del desarrollo de varios programas en Matlab 7,0 fueron organizados en formato tabular susceptible de ser procesados por métodos convencionales.

El volumen de información disponible permitió aplicar algunos métodos estadísticos básicos de los campos de las variables escogidas, divididas

inicialmente en dos períodos, el poco lluvioso (noviembre-abril) y el lluvioso (mayo-octubre).

El método empleado para obtener las configuraciones se basó en la técnica de «cluster» o conglomerados. Para esto se sometió la base de datos a un proceso de reducción de variables mediante la utilización de un análisis de componentes principales. Este paso preliminar no sólo permitió reducir los 357 valores de las variables originales de cada mapa a un número menor, sino que busca garantizar que las variables resultantes no estén correlacionadas entre sí, lo que permite un uso más adecuado de la distancia euclídeana, como medida de distancia para lograr las agrupaciones. En el cálculo de las componentes principales fue utiliza-

do el ClimLab2000 (Toure, 2000), un software interactivo recomendado y suministrado por el *International Research Institute (IRI)*.

Una vez definidas las componentes principales a utilizar, la construcción de sus campos se realiza aprovechando las facilidades de notación matricial del Matlab (*The Language of Technical Computing*, Versión 7.0). De esta forma, por ejemplo, en el caso del geopotencial de 700 hPa, la base de datos original con 357 valores de variables por mapa se redujo a una base de datos equivalentes a sólo 19 valores de variables por mapa.

En la aplicación del método de cluster se probaron diferentes técnicas de agregación, resultando la más adecuada la basada en el promedio de las distancias euclidianas. La definición del número de configuraciones sinópticas a obtener resultó el aspecto más complejo a determinar. En una primera aproximación se determinó un número probable de configuraciones sinópticas mediante la inspección ocular de los dendrogramas, se establecieron 12 configuraciones para el período lluvioso, que al analizar las distancias, dos de ellas fueron consideradas no significativas (Anexo 1),

resultó más adecuado mantener solo 10 configuraciones para el período lluvioso.

Este último procesamiento fue comprobado utilizando otra forma de llegar a un número igual o similar de configuraciones a las anteriormente encontradas, se comenzó a través del dendrograma y la técnica de conglomerados paso a paso, y luego por la definición de grupos más generales. Así se encontraron dos agrupaciones bien definidas en ese período.

La figura 2 muestra los dos grupos encontrados para el período lluvioso (mayo-octubre), que incluyen 10 patrones o configuraciones. Los patrones del denominado grupo 1 incluyen todas aquellas situaciones que, por lo general, están relacionadas con la vaguada medio-oceánica en niveles altos o vaguada tropical troposférica superior (con sus siglas en inglés TUTT). Este grupo comprende los patrones 17, 18, 21, 22, y 25, aunque algunos patrones pueden reflejar vaguadas débiles en niveles medios. Por su parte, los patrones del grupo 2 pertenecen las situaciones relacionadas con la hondonada de niveles medios, e incluye los patrones restantes, o sea, 19, 20, 23, 24 y 26. En este último grupo el elemento distintivo

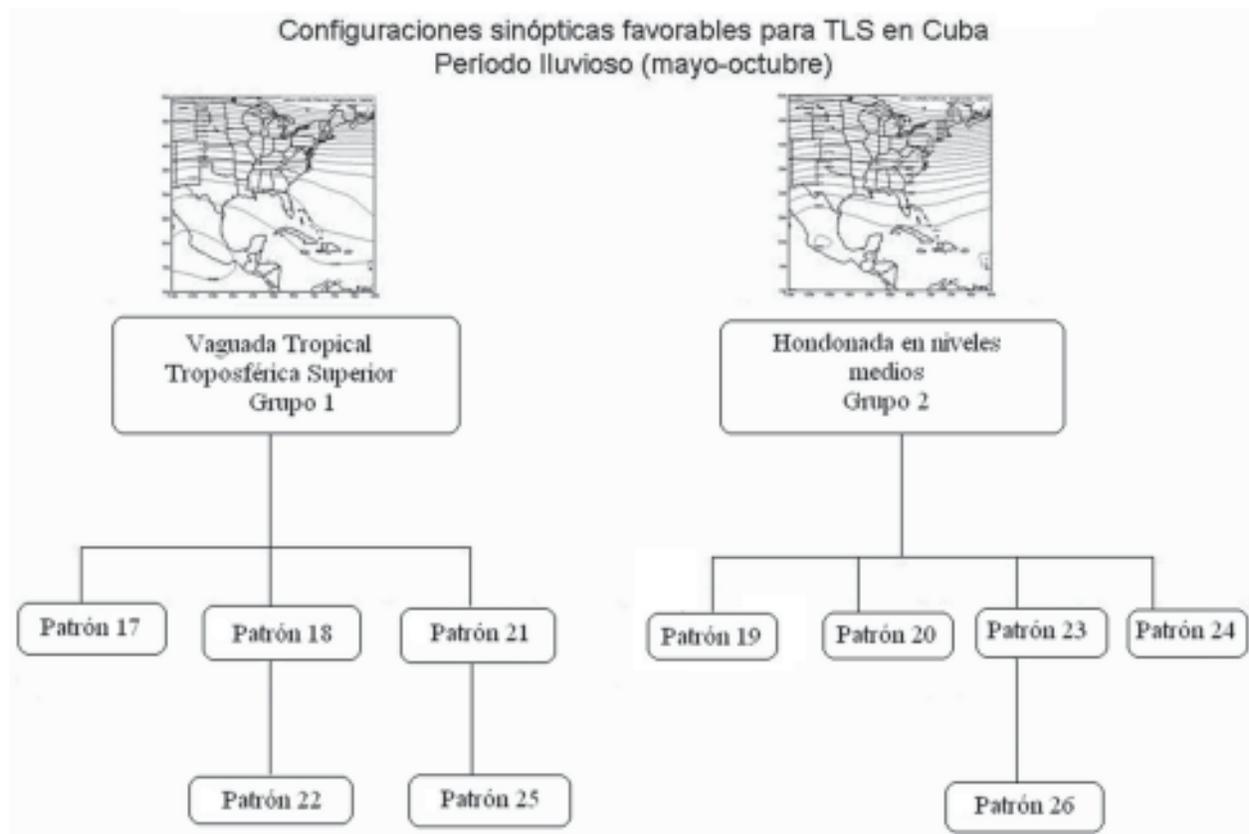


Fig. 2. Patrones sinópticos en el período lluvioso.

radica en que no es posible observar la vaguada medio-oceánica en los niveles altos.

El método antes explicado se aplicó de la siguiente manera: se tomó la serie de todos los casos de TLS del período lluvioso de 1980 a 2002 y se establecieron las configuraciones sinópticas asociadas en los campos de geopotencial de 700 y 500 hPa. Se definieron 16 que representan 96 % de la muestra. De cada configuración se procesaron los datos vinculados con las TLS de los restantes niveles de la tropósfera y los campos de temperatura y viento; se obtuvo un conjunto de configuraciones sinópticas tridimensionales y multiparamétricas.

Discusión de los resultados

Los grupos del período lluvioso describen muy bien los dos factores fundamentales generadores de TLS en este período: la vaguada medio-oceánica, que como se conoce resulta el principal factor en la inestabilidad de la atmósfera ya que se vincula a la generación de sistemas de bajas frías de niveles altos, responsables de ocurrencia de tiempo severo en el área del Mar Caribe. Y en segundo lugar, el grupo 2 describe uno de los procesos más importantes de generación de tormentas, vinculados básicamente a los meses de transición. La presencia de una vaguada de niveles medios sobre la costa este de los Estados Unidos ha sido descrita como un elemento importante en la inestabilidad atmosférica al final del período poco lluvioso y el comienzo del lluvioso (Alfonso, 1994). De esta forma los patrones obtenidos resultan consistentes y coherentes desde el punto de vista conceptual.

A continuación se describen las configuraciones sinópticas obtenidas en esta investigación y que constituyen patrones de carácter sinópticos que favorecen el desarrollo de TLS en el período lluvioso en Cuba.

Descripción de los patrones del período lluvioso

Dentro de este período se definieron dos grupos: el primero relacionado con la vaguada medio-oceánica y el segundo vinculado con la hondonada de niveles medios.

Patrones relacionados con la vaguada tropical troposférica superior (Grupo 1)

En este grupo el rasgo distintivo lo constituye la presencia de la TUTT, típica del período lluvioso en esta área y considerado como un elemento importante en la generación de convección profun-

da en los trópicos. En niveles bajos y medios el predominio casi absoluto lo posee la dorsal anticiclónica, por lo que de alguna forma las diferencias entre cada patrón estarán marcadas por cambios en la intensidad y orientación de esta dorsal. Ciertos cambios en las variables meteorológicas básicas, al interactuar con los procesos de mesoescala, aparecen como responsables de favorecer la ocurrencia de TLS. Debido a que las configuraciones de circulación en el campo de geopotencial durante el período lluvioso son muy similares para los análisis, se decidió sustituir el corte transversal de anomalías de geopotencial por el corte transversal de la humedad.

Patrón 17. Representa la influencia de la dorsal anticiclónica en los niveles bajos y medios, y de la vaguada medio-oceánica en los altos. La estructura define un entorno condicionalmente inestable, quizás estimulado por alguna advección fría existente en niveles medios y con la vaguada medio oceánica como elemento de forzamiento dinámico de la convección profunda. En la muestra tomada este patrón ocurrió en 18 ocasiones, con preferencia de ocurrencia en la caída de granizos (50,0 %) con igual frecuencia de tornados y aeroavalanchas (23,5 % cada uno) y otros eventos son menos frecuentes (2,9 %). Ver anexo 2.

Patrón 18. Este patrón, a diferencia del patrón 17, es la vaguada medio-oceánica en los niveles altos y la buena estructura vertical de la dorsal anticiclónica, que penetra hasta el sur de los Estados Unidos. Los factores favorables para la severidad a escala sinóptica no parecen muy claros aunque la existencia de un forzamiento generado por la convergencia en niveles bajos, causada por el máximo de velocidad sobre el Caribe bajo presencia de sudestes y la divergencia de los noroestes de niveles altos, que a su vez, resultan una consecuencia de la presencia de la vaguada medio-oceánica, parecen actuar como elementos favorecedores. En la muestra tomada este patrón se presentó en 383 ocasiones, por lo que es el patrón con mayor frecuencia de ocurrencia (39 %) durante el período lluvioso. Los eventos severos con mayor predominio fueron la caída de granizos (37,1 %) y de aeroavalanchas (35,6 %), mientras que los tornados (13,6 %) y otras manifestaciones de severidad (13,7 %). Ver anexo 3.

Patrón 21. Aunque en este patrón la dorsal anticiclónica se encuentra bien estructurada y desplazada al norte, lo fundamental es la vaguada desde superficie hasta los 500 hPa ubicada a lo largo de la costa oriental de los Estados Unidos, que marca la línea divisoria entre el anticiclón subtropical

marítimo y el anticiclón sobre México en niveles medios y altos; así como la vaguada medio-oceánica en los niveles altos. Los factores favorables para la severidad es la presencia de inestabilidad en la vertical por el calentamiento en las capas bajas y enfriamiento de los niveles medios y el forzamiento dinámico generado por la existencia de una vaguada medio oceánica bien estructurada. La presencia de una onda sobre el Mar Caribe puede aportar condiciones adicionales favorables a la convección. En la muestra tomada, este patrón se presentó en 23 ocasiones, preferentemente con la caída de granizos (57,8 %), luego las aeroavalanchas (31,1 %) y finalmente los tornados (11,1 %). Ver anexo 4.

Patrón 22. Es una variante del patrón 21, con la diferencia que la vaguada medio-oceánica se encuentra más profunda y mejor definida. Los factores favorables para la severidad son un ambiente potencialmente inestable dado por el calentamiento en las capas bajas y enfriamiento de los niveles medios y la presencia de forzamiento sinóptico dado por convergencia en niveles bajos dentro de la capa de estés. Como en todos los miembros de este grupo un factor importante en la ocurrencia de convección lo constituye la presencia de la vaguada medio oceánica. En la muestra tomada este patrón se presentó en 204 ocasiones, por lo que es un patrón con relativamente alta frecuencia de ocurrencia (20,6 %) durante el período lluvioso. La manifestación de severidad más frecuente fue la caída de granizos (43,1 %), luego las aeroavalanchas (38,1 %), los tornados (11,9 %) y otras (6,9 %). Ver anexo 5.

Patrón 25. Se diferencia de los anteriores dentro de su grupo en que la vaguada medio-oceánica se presenta muy debilitada o amortiguada. En este caso los forzamientos sinópticos son débiles y el más importante parece ser las condiciones favorables a la existencia de convergencia en niveles bajos dentro de las corrientes del este. En la muestra tomada este patrón ocurrió en 11 ocasiones, con preferencia en la caída de granizos (36,8 %), luego los tornados (26,3 %), las aeroavalanchas (21,1 %) y en menor frecuencia otros eventos severos (15,8 %). Ver anexo 6.

Patrones vinculados con la hondonada de niveles medios sobre o próxima a Cuba (Grupo 2)

Este grupo engloba aquellos patrones donde la vaguada medio-oceánica no es claramente identificable y donde en niveles medios es posible defi-

nir la presencia de una vaguada sobre el este de los Estados Unidos, que resulta típica en los meses de transición entre el período poco lluvioso al período lluvioso, de esta forma muchos de estos patrones pueden ser considerados patrones de transición más propios de los meses de abril y mayo.

Patrón 19. Este patrón parece reflejar las condiciones típicas de los días del período lluvioso en Cuba, en los cuales aparentemente no existen condiciones favorables a escala sinóptica para la ocurrencia de severidad. Sin embargo, un factor distintivo lo constituye la presencia de la hondonada de niveles medios con una configuración que favorece la entrada de aire relativamente más húmedo en niveles medios y la existencia además de convergencia en niveles bajos, todo lo cual genera un entorno sinóptico que bajo determinados forzamientos a mesoescala, puede favorecer la ocurrencia de convección profunda. En la muestra tomada este patrón se presentó en 109 ocasiones, con preferencia en la ocurrencia de las aeroavalanchas (43,2 %), luego la caída de granizos (35,1 %), los tornados (15,3 %) y otras manifestaciones de severidad (6,3 %). Ver anexo 7.

Patrón 20. El elemento que distingue este patrón a escala sinóptica es la vaguada a lo largo de la costa oriental de los Estados Unidos asociado a la hondonada (o al sistema frontal) con la interacción de la dorsal anticiclónica. Los factores favorables para la ocurrencia de la severidad en las tormentas en este patrón es la inestabilidad en la vertical provocada por el calentamiento de los niveles bajos y enfriamiento en los medios, y la salida horizontal de masa por el flujo del oeste-noroeste en los niveles altos. Este patrón puede considerarse como una versión veraniega del patrón 15, con la diferencia esencial de que en este caso, la mayor profundidad de los estés determina que los transportes sean más débiles y por consiguiente la advección fría de niveles medios sea más moderada o atenuada. En la muestra tomada este patrón se presentó en 211 ocasiones, lo que representa 21,3 % de los casos del período lluvioso. Las manifestaciones de severidad fueron la caída de granizos (41,8 %), luego los tornados (27,9 %), las aeroavalanchas (25,5%) y otros eventos severos (4,7 %). Ver anexo 8.

Patrón 23. Pudiera ser considerado una configuración sinóptica del período poco lluvioso, con cierta similitud al patrón 9, por presentar un anticiclón migratorio sobre los Estados Unidos asociado a una onda polar profunda hasta el Golfo de México con un frente frío en superficie; sin embargo es más factible considerarlo como un patrón típico

del período de transición del período poco lluvioso al período lluvioso, cuando el flujo del oeste se encuentra aún por debajo de los 25 ° norte en respuesta a la presencia de la hondonada en los niveles medios y altos, frecuente en estos meses. Los factores favorables para la ocurrencia de severidad son la inestabilidad vertical por el enfriamiento en las capas medias y altas, y la divergencia desde los niveles medios debido a que aún se mantiene el flujo del oeste sobre Cuba, garantizando la salida horizontal. En la muestra tomada este patrón se presentó en diez ocasiones, con preferencia en la caída de granizo (50,0 %), luego los tornados (28,6 %) y las aeroavalanchas (21,4 %), sin que se tengan reportes de otras manifestaciones de severidad. Ver anexo 9.

Patrón 24. Este patrón puede considerarse similar al patrón 23, pero ahora el anticiclón continental migratorio se encuentra en el centro de Estados Unidos y no sobre Canadá. Los factores favorables para la ocurrencia de severidad son también los del patrón 23, o sea, inestabilidad de la vertical por calentamiento de los niveles bajos y enfriamiento de los medios, y salida horizontal de las corrientes ascendentes motivadas por la presencia del flujo del oeste aún sobre Cuba en un nivel muy bajo para el período lluvioso. En la muestra tomada este patrón se presentó 17 ocasiones, con preferencia en la caída de granizos (48,8 %), siguiéndole en orden las aeroavalanchas (27,9 %), luego los tornados (20,9 %) y otras manifestaciones de severidad en menor grado (2,3 %). Ver anexo 10.

Patrón 26. Este patrón pudiera asociarse a los patrones del grupo 3 del período poco lluvioso, sin embargo las estructuras de los campos de las variables en su conjunto, induce a pensar que la baja del Golfo de México es de origen subtropical o tropical, conectada con el flujo del oeste al interactuar con la vaguada. Como respuesta, las anomalías térmicas y de humedad presentan un cuadro bien diferente a los observados en los patrones del grupo 3, ya que prevalecen las anomalías positivas en los niveles bajos y medios con aire más húmedo en los niveles medios sobre la región oriental vinculado al flujo del sur. Los factores favorables en este caso, es el ascenso forzado de la masa de aire provocado por el fuerte gradiente horizontal de presión en los niveles bajos, en el sector suroriental del centro de bajas presiones, con una salida en los niveles altos. En la muestra tomada este patrón se presentó en cuatro ocasiones, con la mayor frecuencia en la caída de granizos (36,8%), seguida por los tornados (26,3 %), las aeroavalanchas (21,1 %) y las otras manifestaciones de severidad (15,8 %). Ver anexo 11.

Conclusiones

El estudio realizado sobre una muestra de 23 años (1980-2002) de los campos meteorológicos de altura del geopotencial, temperatura, humedad y componentes meridional y zonal del viento, permitió la definición de 10 patrones o configuraciones sinópticas favorables para la ocurrencia de TLS en Cuba correspondieron al período lluvioso.

Las condiciones de circulación descrita en los patrones obtenidos son consistentes con el conocimiento general de las causas que, a escala sinóptica, favorecen la formación y desarrollo de las TLS.

Todo parece indicar que los patrones del período lluvioso se encuentran asociados a la presencia de aire relativamente seco en niveles bajos, lo cual en apariencia contradice lo que con mayor frecuencia se plantea en la literatura referida a otras partes del mundo, sobre la necesidad de altas concentraciones de humedad para garantizar la formación de las tormentas. No obstante, Johns and Doswell III (1992), se refieren a trabajos anteriores de otros autores, que plantean la existencia de dos tipos de perfiles termodinámicos con cizalladura débil: el perfil de «V» invertida y el perfil de tapón débil.

El primero se caracteriza por una capa profunda adiabáticamente seca desde superficie en los niveles bajos y una capa húmeda en los niveles medios, y se asocia a las aeroavalanchas «secas». El segundo se caracteriza por gran humedad en los niveles bajos, seguido de una capa seca en los niveles medios. Este perfil se asocia a las denominadas aeroavalanchas «húmedas».

Sin embargo, al aplicarse estas clasificaciones al caso cubano debe tenerse mucho cuidado. De hecho lo que parece demostrar el comportamiento de los patrones en cuanto a la humedad relativa, es que muchas TLS en Cuba durante el período lluvioso se forman dentro de ambientes poco favorables para la ocurrencia de eventos lluviosos extensos y que por lo tanto, describen una diferencia genética fundamental con el invierno. O sea, las TLS de verano tienden a ocurrir en episodios locales aislados, inmersos dentro de sistemas de mesoescala, a diferencia de las invernales que tienen una mayor tendencia a ocurrir asociadas a sistemas vinculados a procesos de mal tiempo de escala sinóptica. Además, hay que tener en cuenta que sobre los trópicos, aún en condiciones de anomalías negativas del contenido de vapor de agua, en la tropósfera en general

los valores son más altos en términos absolutos que para latitudes más altas.

Bibliografía

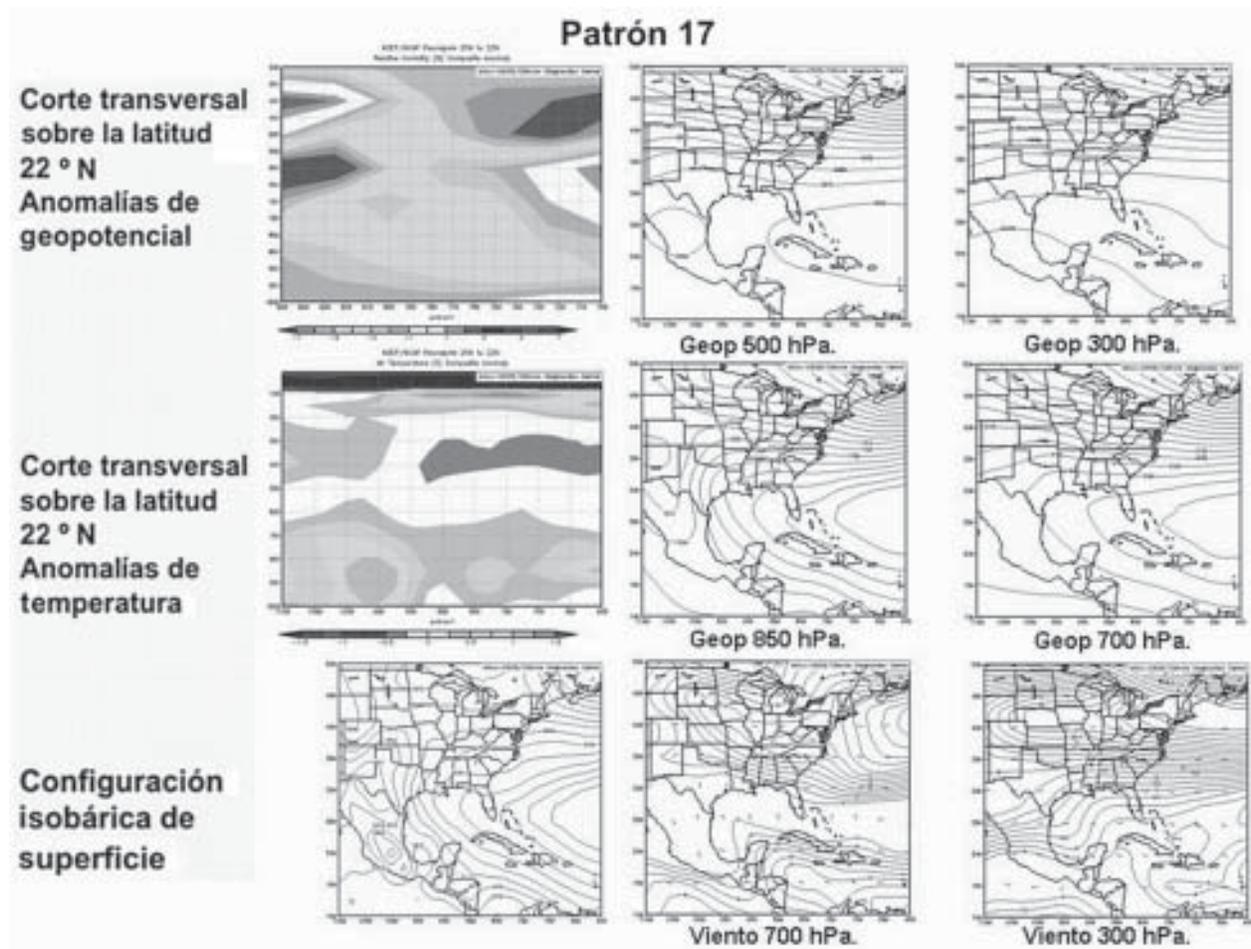
- Alfonso A. P. (1994): *Climatología de las tormentas locales severas de Cuba. Cronología*. Editorial Academia, La Habana, 168 p.
- Amaro, L. (1984): «Investigaciones Aerológicas en la Capa Límite Planetaria en la isla de Cuba». Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias. Depositado en la biblioteca del INSMET.
- _____ (1992): «Distribución vertical del viento en la atmósfera de Moa», *Rev. Cubana de Meteorología*, 5 (2): 74-81.
- Carnesoltas, M. (1986): «La Circulación Local de Brisa en Cuba». Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias. Depositado en la biblioteca del INSMET.
- Carnesoltas, M., R. Hernández, G. Rodríguez y G. González (1982): «Características del Chorro de los Bajos Niveles sobre Cuba. Depositado en la biblioteca del INSMET.
- _____ (2002): «Características del Chorro de los Bajos Niveles sobre Cienfuegos, Cuba». *Boletín electrónico de la Sociedad Meteorológica de Cuba*.
- _____ (2003): «Características del Chorro de los Bajos Niveles sobre Cienfuegos, Cuba». *Boletín electrónico de la Sociedad Meteorológica de Cuba*.
- Roque, A. y L. Amaro (1998): «Particularidades de los máximos de rapidez del viento en la capa fronteriza atmosférica en la región de la Quebrada». *Rev. Brasileira de Meteorología*, 12 (2): 51-63.
- Toure, Yves M. (Editor) (2000): CLIMLAB2000, version 1.1.0. International Research Institute for climate prediction. IRI- TR-00/1 63 p.

Anexo 1

**Matriz de distancias euclidianas para 12 patrones del período lluvioso
(señalado en rojo las distancias consideradas no significativas)**

0	653,64	628,66	420,47	1 254,3	885,86	1 148,1	1 171,7	979,1	690,33	1 234,5	949
653,65	0	377,37	805,98	750,4	624,37	1 449,8	1 469,8	1 104,1	1 009,1	347,79	690,03
628,66	377,37	0	597,59	1 103,8	714,7	1 146,7	1 144,2	745,87	719,57	817,95	552,27
420,47	805,98	597,59	0	1 504,7	1 113,4	797,22	794,46	711,5	309,53	1 364	840,87
1 254,3	750,4	1 103,8	1 504,7	0	417,32	2 154,4	2 180,1	1 816,5	1 741,4	627,81	1 287,7
885,86	624,37	714,7	1 113,4	417,32	0	1 777,1	1 795,3	1 428,9	1 338,6	551,67	956,5
1 148,1	1 449,8	1 146,7	797,22	2 154,4	1 777,1	0	419,54	844,22	612,64	1 866,2	1 169,9
1 171,7	1 469,8	1 144,2	794,46	2 180,1	1 795,3	419,54	0	675,36	559,5	1 907,8	1 242,5
979,1	1 104,1	745,87	711,5	1 816,5	1 428,9	844,22	675,36	0	532,32	1 483,8	993,64
690,33	1 009,1	719,57	309,53	1 741,4	1 338,6	612,64	559,5	532,32	0	1 523,6	878,55
1 234,5	347,79	817,95	1 364	627,81	551,67	1 866,2	1 907,8	1 483,8	1 523,6	0	941,92
949	690,03	552,27	840,87	1 287,7	956,5	1 169,9	1 242,5	993,64	878,55	941,92	0

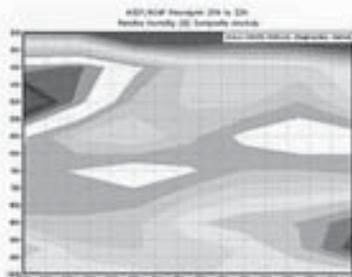
Anexo 2



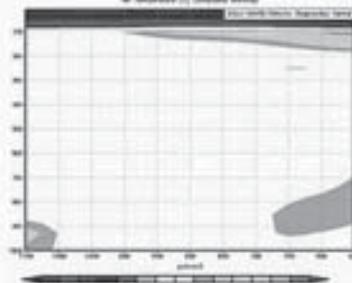
Anexo 3

Patrón 18

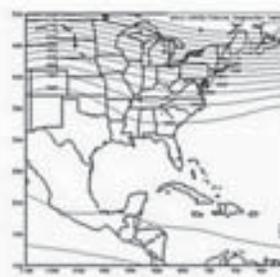
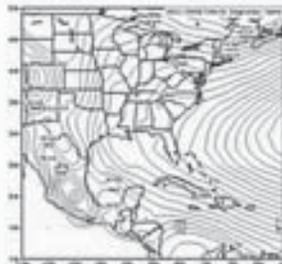
Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de geopotencial



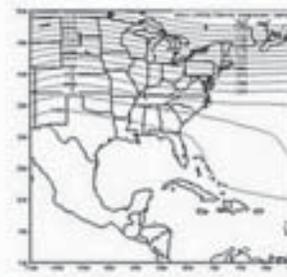
Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de temperatura



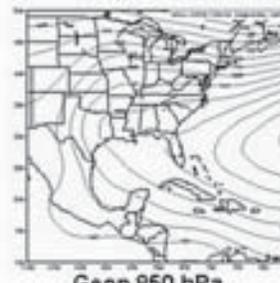
Configuración isobárica de superficie



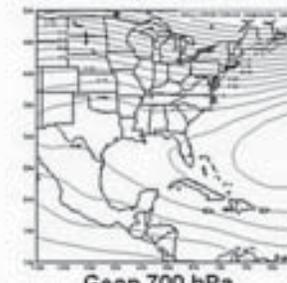
Geop 500 hPa.



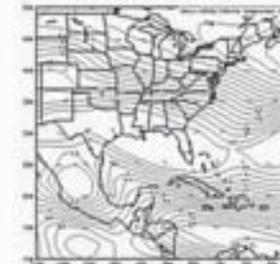
Geop 300 hPa.



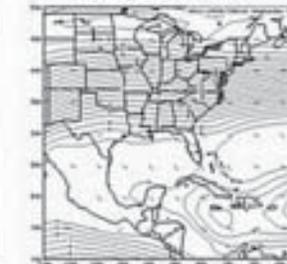
Geop 850 hPa.



Geop 700 hPa.

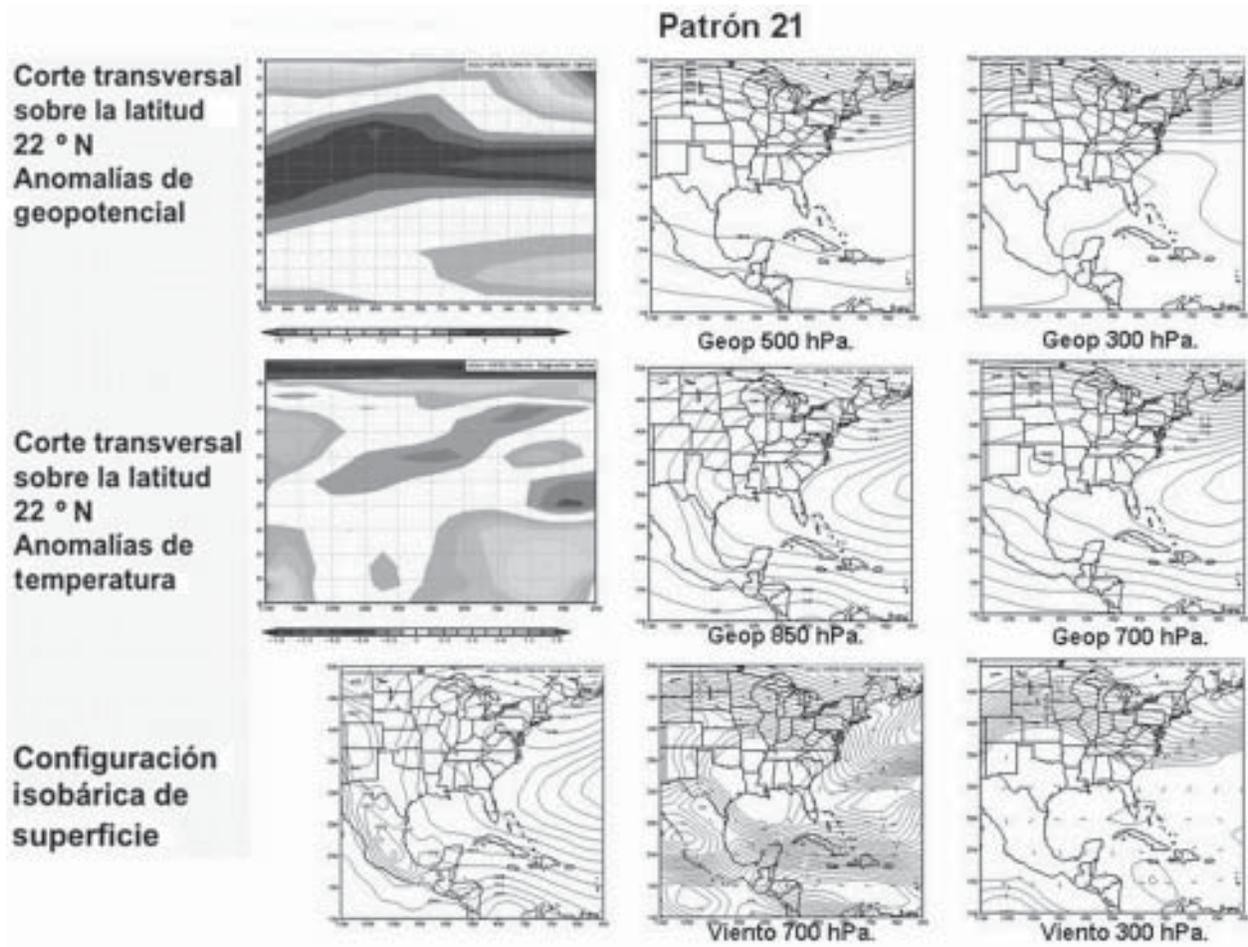


Viento 700 hPa.

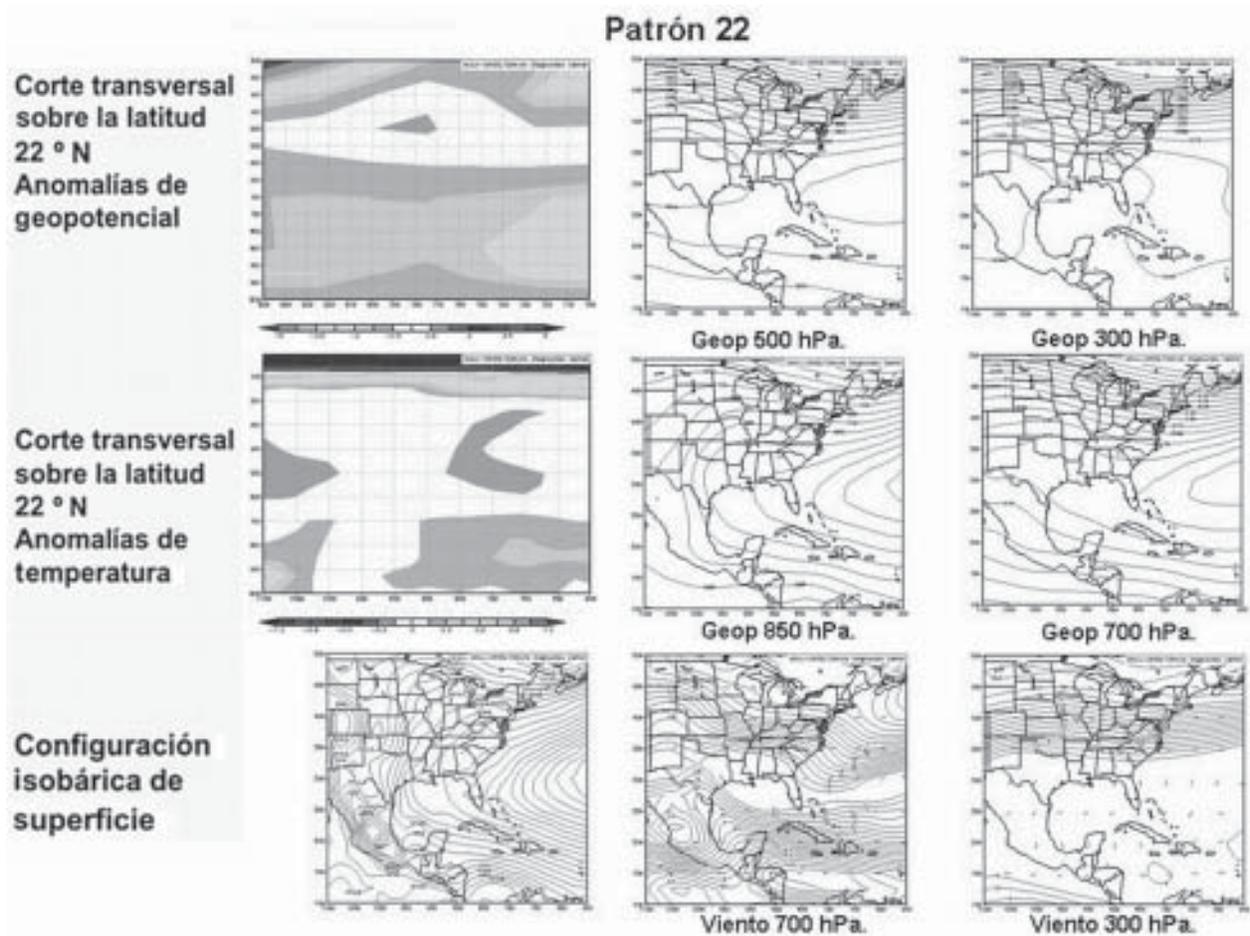


Viento 300 hPa.

Anexo 4



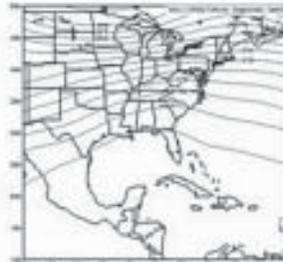
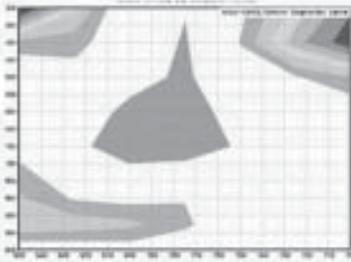
Anexo 5



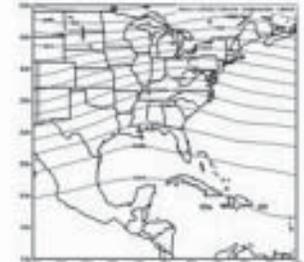
Anexo 6

Patrón 25

Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de geopotencial

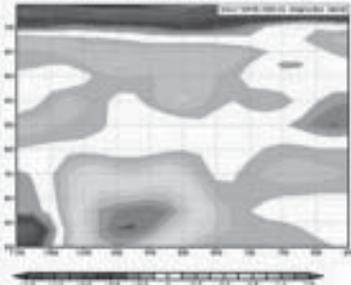


Geop 500 hPa.



Geop 300 hPa.

Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de temperatura

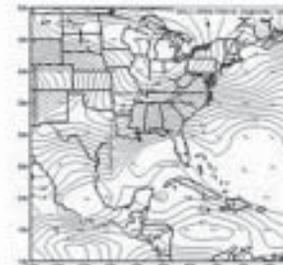
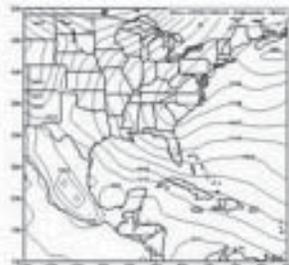


Geop 850 hPa.

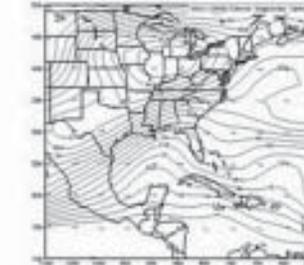


Geop 700 hPa.

Configuración isobárica de superficie

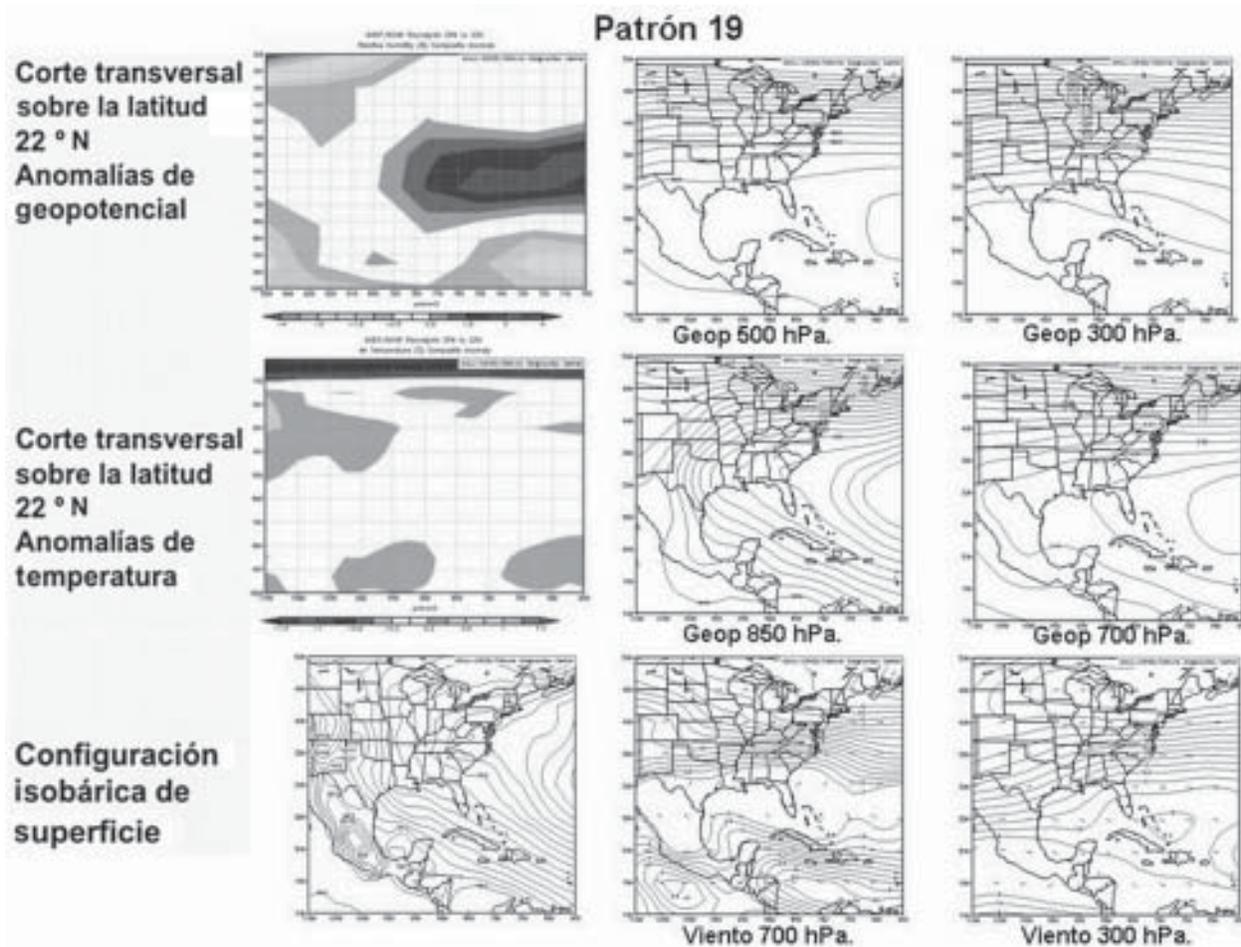


Viento 700 hPa.



Viento 300 hPa.

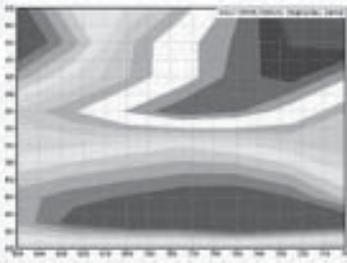
Anexo 7



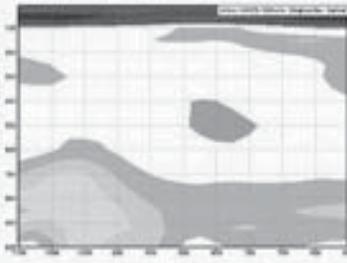
Anexo 8

Patrón 20

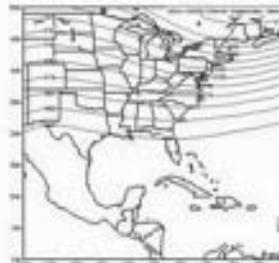
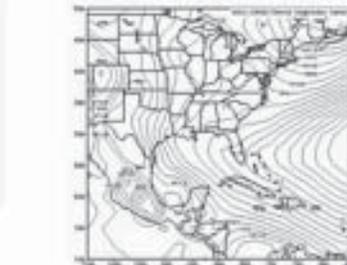
Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de geopotencial



Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de temperatura



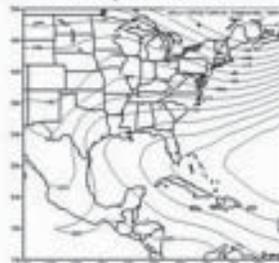
Configuración isobárica de superficie



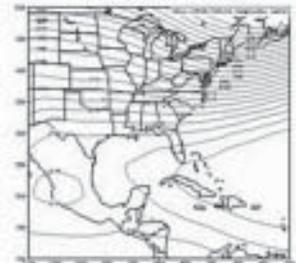
Geop 500 hPa.



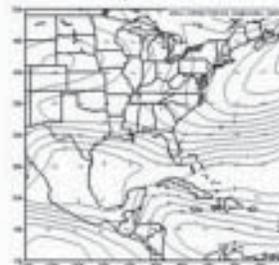
Geop 300 hPa.



Geop 850 hPa.



Geop 700 hPa.



Viento 700 hPa.

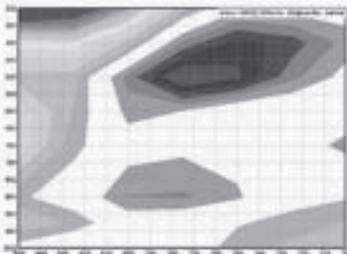


Viento 300 hPa.

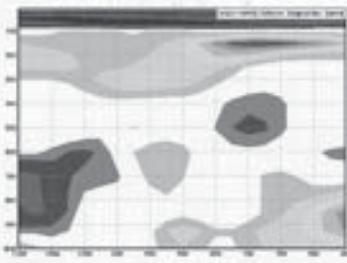
Anexo 9

Patrón 23

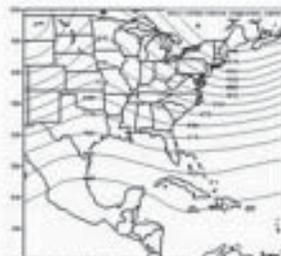
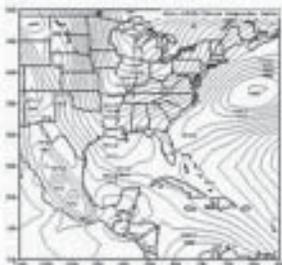
Corte transversal
sobre la latitud
22 ° N
Anomalías de
geopotencial



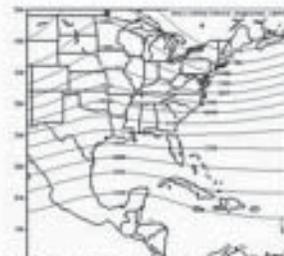
Corte transversal
sobre la latitud
22 ° N
Anomalías de
temperatura



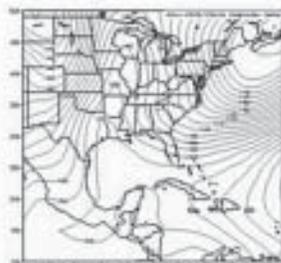
Configuración
isobárica de
superficie



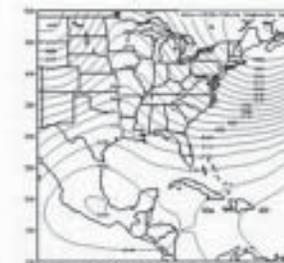
Geop 500 hPa.



Geop 300 hPa.



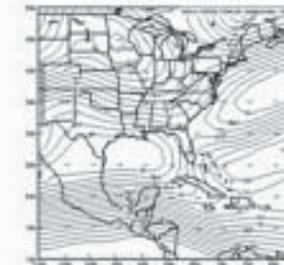
Geop 850 hPa.



Geop 700 hPa.



Viento 700 hPa.

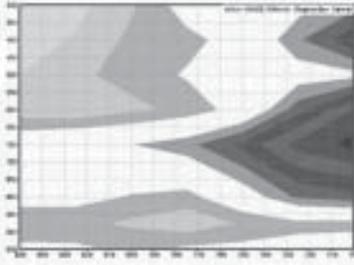


Viento 300 hPa.

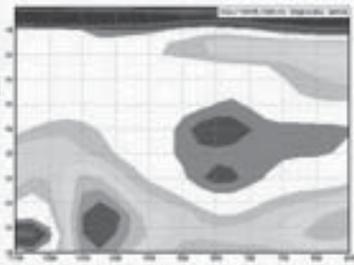
Anexo 10

Patrón 24

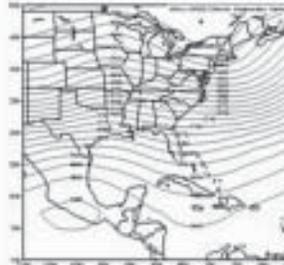
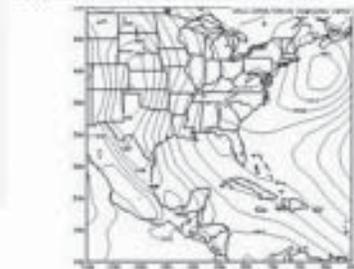
Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de geopotencial



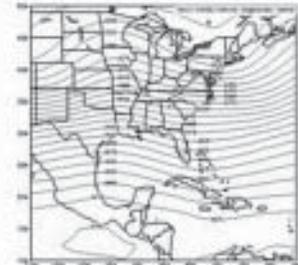
Corte transversal sobre la latitud 22 ° N
Anomalías de temperatura



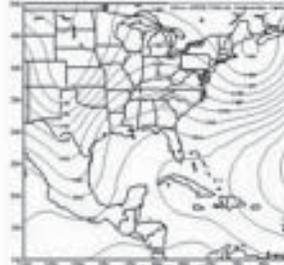
Configuración isobárica de superficie



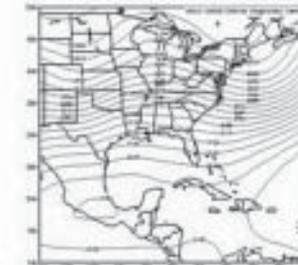
Geop 500 hPa.



Geop 300 hPa.



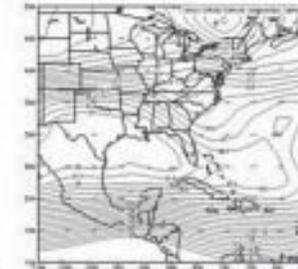
Geop 850 hPa.



Geop 700 hPa.

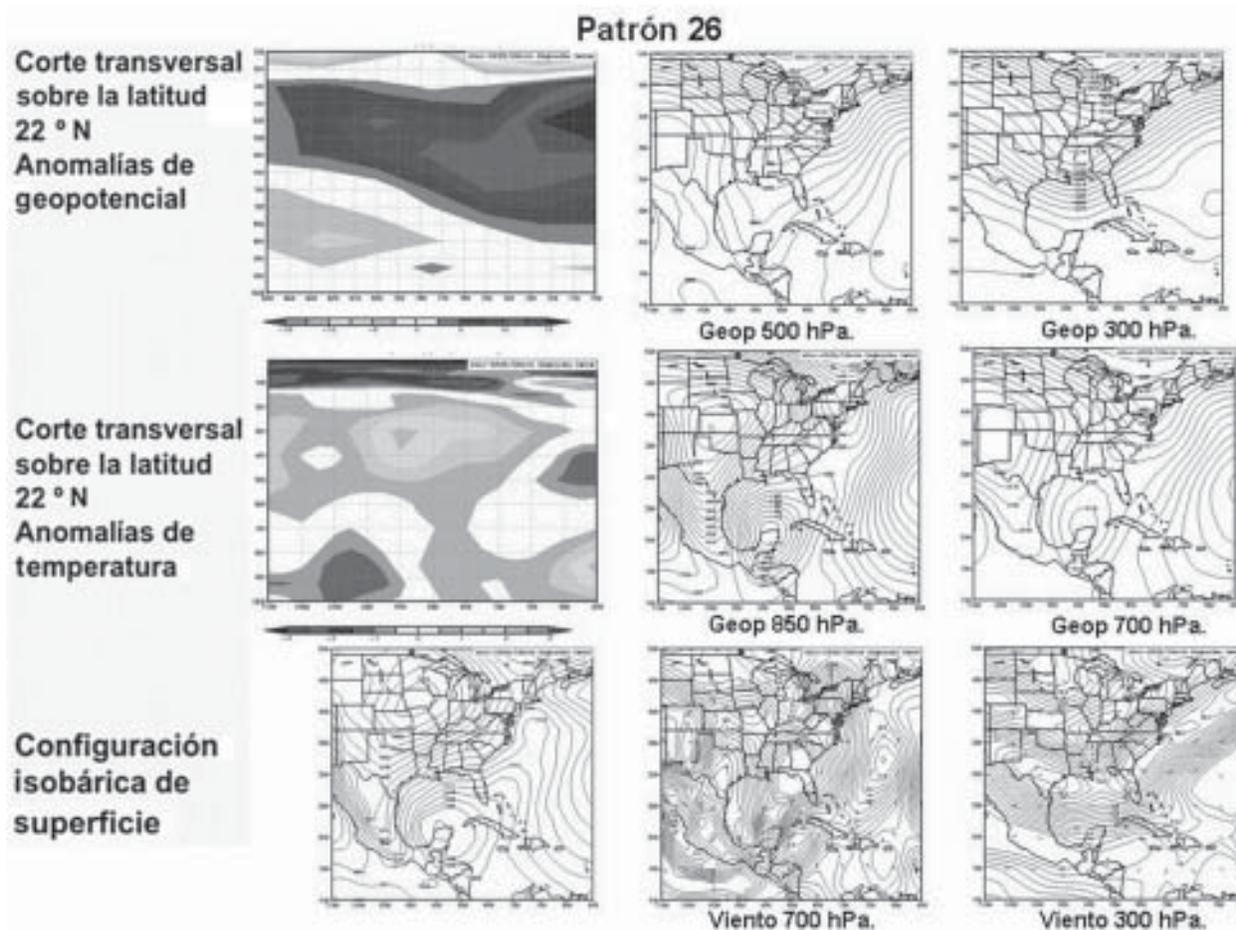


Viento 700 hPa.



Viento 300 hPa.

Anexo 11



Abstract

Local Storms (SLS) occurrence in the wet season in Cuba, from 1980 to 2002 were gathered and related with daily data of various synoptic fields from different levels. A set of synoptic patterns favourable for the SLS formation over the Cuban Territory was obtained.

Over the basis of seven atmospheric levels and five variables, a statistical processing methodology was developed. This methodology, attempt to a dimensional reduction for the phase space, using a Principal Component approach, followed by a step by step cluster analysis. An initial set of 10 synoptic patterns was obtained. Each pattern represents a set of three-dimensional structures of synoptic fields. A general discussion on the characteristics of each pattern was developed

Key word: Severe Local Storms (SLS)