

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

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

Resumen

Para este trabajo se extrajeron los casos de tormentas locales severas (TLS) en Cuba reportados en el período poco 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 16 patrones o configuraciones pertenecientes al período poco 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

En Cuba resulta común la ocurrencia de caída de granizos, de vientos lineales muy fuertes, tornados y otros eventos peligrosos que a una escala local se asocian a la actividad diaria de las tormentas eléctricas, de gran frecuencia en esta parte del planeta, y que causan notables impactos dentro de las infraestructuras sociales y la seguridad humana. Estos fenómenos severos mencionados entran dentro de la clasificación de tormentas locales severas (TLS), que fue definida en Cuba por Alfonso (1986) como aquellas tormentas que presentan al menos uno de los siguientes fenómenos: trombas marinas, tornados, granizos y vientos lineales superiores a los 96 km/h.

Las TLS en Cuba ocurren en cualquier época del año, aunque pueden identificarse los meses de marzo a septiembre como los de mayor frecuencia. Casi todas estas tormentas se forman en horas de la tarde, una o dos horas después de registrarse la máxima temperatura del día (Alfonso, 1994). El mayor número de estos reportes se corresponden con zonas alejadas de las costas, aunque estas últimas no quedan libres de las probabilidades de ocurrencia. Se producen por nubes

cumulonimbus, caracterizadas por descargas eléctricas y precipitaciones en forma de chubascos que con mucha frecuencia son de carácter intenso.

A excepción de los ciclones tropicales, la actividad severa en las tormentas locales sobre Cuba 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 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 a actividad severa (Carnesoltas, 2002).

Durante las últimas décadas se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre las tormentas convectivas individuales. Las primeras realizadas en la década de los años 1940 (Byers, *et al.* 1949), indicaron que tenían un ciclo de vida del orden de los 20 minutos; sin embargo, notaron que las tormentas que emergen unas de las otras en forma de sistemas de multiceldas tienen mayor duración, ya que los sistemas se van regenerando unos con otros. Por ejemplo, 83 % de las tormen-

tas individuales viven menos de 30 minutos, pero si presentan características multicelulares, 47 % tienen vidas mayores a 1 hora. En este caso Alfonso (1994) particularizó que la frecuencia de ocurrencia en Cuba de TLS es tan elevada como la que se reporta en los Estados Unidos, y se diferencian en cuanto a su intensidad y no tanto en los procesos que favorecen su desarrollo. De esta forma se puede asumir que muchas de las configuraciones de mesoescala válidas para la región central de los Estados Unidos, resultan también válidas para Cuba.

El análisis y la comprensión de la atmósfera durante la ocurrencia de las TLS han llevado a los meteorólogos a desarrollar dos enfoques: el primero dirigido a determinar un grupo de parámetros e índices que permitan conocer con antelación las condiciones favorables o no para la ocurrencia de la severidad en las tormentas, y el segundo sienta más sus bases en la búsqueda de configuraciones o patrones a escala sinóptica que favorecen el desarrollo de este tipo de tormentas.

Los parámetros describen por un lado, la inestabilidad existente en la atmósfera, mientras que por otro indican la probabilidad de que la convección sea suficiente para el desarrollo de TLS. Los patrones no son más que configuraciones sinópticas de presión a nivel del mar en superficie, así como de geopotencial desde los niveles bajos hasta los niveles altos de la tropósfera, las cuales pueden tener una baja, moderada o alta frecuencia de aparición en el escenario meteorológico para un área determinada.

En la bibliografía sobre la temática se plantea que existen tres mecanismos físicos que controlan el crecimiento y evolución de las tormentas convectivas (Moller *et al.*, 1994): la estructura termodinámica de la masa de aire, la estratificación de la humedad en la vertical y la cizalladura vertical del viento. A la vez se organizan en respuesta a algunas condiciones a escala sinóptica que pueden estar presentes, como son: advección de aire húmedo y cálido en los niveles bajos; intrusión de aire seco y frío en los niveles altos; divergencia por encima del nivel de 500 hPa, comúnmente en la capa 300-200 hPa disturbios a escala sinóptica (vaguada de onda corta o baja de desprendimiento en el flujo del oeste).

Este trabajo tiene como objetivo la búsqueda de condiciones de la circulación atmosférica a escala sinóptica en los alrededores de Cuba, favorables para el surgimiento y desarrollo de TLS en el período poco 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. Asimismo, 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 (8395 días), de esta forma se construyó una base de datos diarios de alrededor de 8400 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).

Para obtener las configuraciones, el método empleado 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 utilizado 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, 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.

Se determinó inicialmente un número probable de configuraciones sinópticas mediante la inspección de los dendrogramas. Un ejemplo de ellos se muestra en la figura 2.

Estos resultados fueron comprobados mediante el desarrollo de una técnica de agrupamiento «paso a paso» que consistió en realizar los cálculos iniciales con un número mínimo de grupos $G=2$ e ir incrementándolos hasta que el valor de las distancia intergrupos dejó de ser significativo con un nivel de significación de 0,05 %. Esto permitió ade-

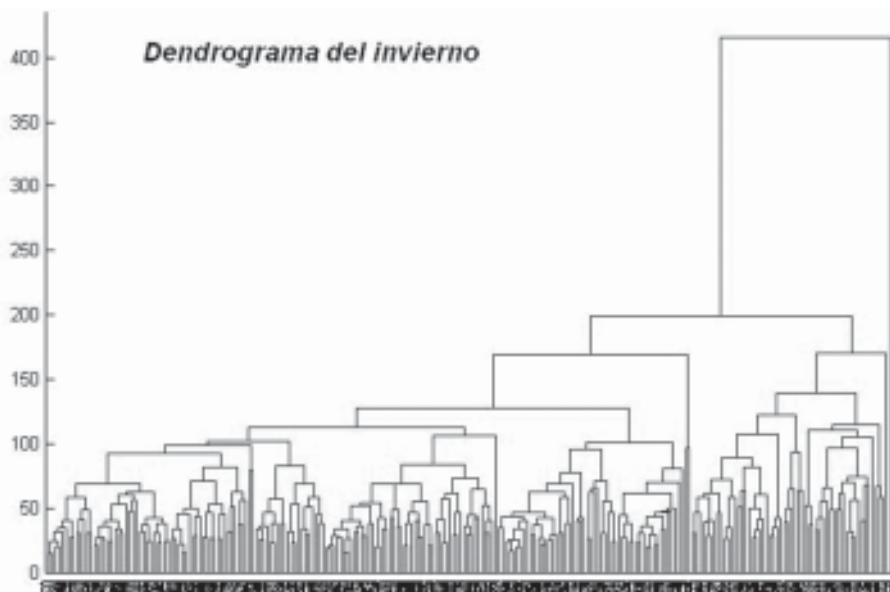


Fig. 2. Ejemplo del dendrograma obtenido para el período poco lluvioso.

más, agrupar los patrones resultantes en grupos físicamente consistentes.

Este método se aplicó de la siguiente manera: se tomó la serie de 1817 casos de TLS de los períodos poco lluvioso y lluvioso entre 1980 y 2002 y se crearon las configuraciones sinópticas asociadas en los campos de geopotencial de 700 y 500 hPa. Se definieron 16 configuraciones para el período poco lluvioso que se mantuvieron analizando el dendrograma, los valores de las distancias euclídeas.

En la figura 3 se muestran los tres grandes grupos encontrados para el período lluvioso, que incluyen 16 patrones o configuraciones. Los patrones 1, 4, 5, 10, 14 y 15 del grupo 1 presentan como característica general, la presencia significativa de la dorsal anticiclónica subtropical sobre Cuba y áreas marítimas aledañas. Los patrones 2, 7, 9, 12, 13 y 16 del grupo 2, se asocian a la presencia de flujos del oeste profundos y situaciones frontales próximas a Cuba.

Aunque en alguno de estos patrones puede aparecer la cuña anticiclónica subtropical, a dife-

rencia del grupo 1, esta no resulta un elemento significativo en la estructura de la circulación. Finalmente el grupo 3 resulta un grupo muy peculiar que incluye los patrones 3, 6, 8 y 11 que se asocian a la presencia de bajas profundas en el Golfo de México (tipo golfianas). En este caso los patrones del grupo 3 se pueden distinguir de algunos de los obtenidos en el grupo 2, que en este caso el factor predominante lo constituye la baja extratropical y los frentes asociados no tienen un protagonismo asociado, dentro de las estructuras de circulación.

El método antes explicado se aplicó de la siguiente manera: se tomó la serie de todos los casos de TLS del período poco lluvioso de 1980 a 2002 (Aguilar *et al.*, 2004) 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, y se obtuvo un conjunto de configuraciones sinópticas tridimensionales y multiparamétricas.

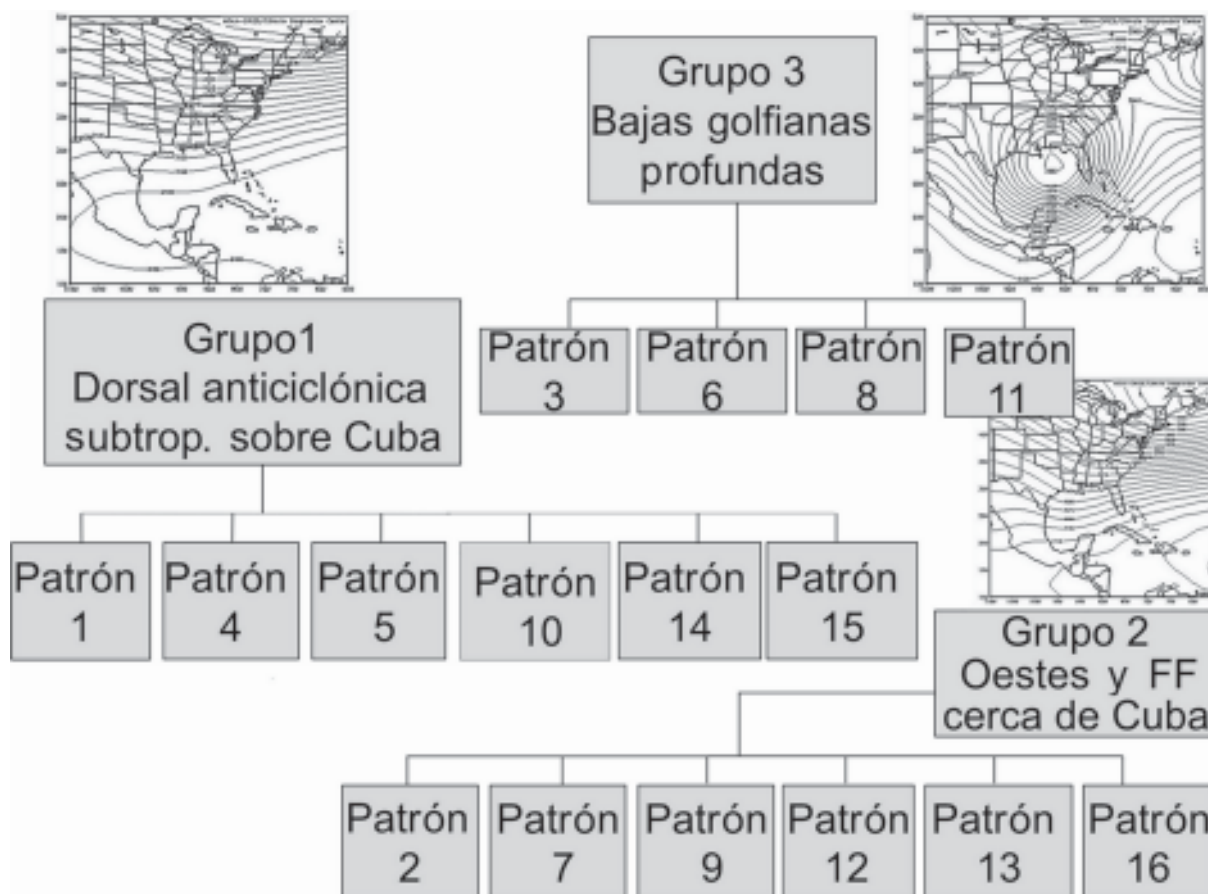


Fig. 3. Grupos generales encontrados para el período lluvioso, que incluyen los 16 patrones o configuraciones.

Discusión de los resultados

Hasta ahora todo parece indicar que la ocurrencia de TLS en Cuba está vinculada, por un lado, a sistemas meteorológicos de escala sinóptica, por ejemplo las ondas tropicales y los huracanes, así como al paso de los sistemas convectivos de mesoescala (una muestra de ello son las líneas de tormentas de prefrontales). También las TLS se generan en las agrupaciones de tormentas (clusters), dentro de los complejos convectivos de mesoescala (CCM) y en algunas ocasiones han estado asociadas a superceldas que se han desarrollado, o bien dentro de la zona de confluencia del flujo a la mesoescala, o dentro de un sistema convectivo migratorio de mesoescala.

Y por otro lado, hay situaciones sinópticas o combinaciones de patrones desde la superficie hasta los niveles medios y altos, que producen tiempo severo, entre los que se encuentran las vaguadas de ondas cortas y las bajas frías superiores generadas a partir de la vaguada medio-oceánica en el período poco lluvioso del año.

En la tabla 1 se muestra la frecuencia relativa de TLS por cada grupo, y respecto al número total del tipo de severidad observado dentro de cada patrón, así como total de casos de eventos observados en cada configuración.

Los tres grupos de patrones del período poco lluvioso del año en Cuba están fuertemente relacionados con los grandes procesos que pueden llevar

Tabla 1. Número de casos de cada patrón. Frecuencia relativa de severidad en las TLS respecto al número total del tipo observado dentro de cada patrón (numerador) y respecto al número total de casos de eventos observados en cada patrón (denominador)

Grupo	Patrón	Cantidad	Tornado	Aeroav.	Granizo	Otros
Período poco lluvioso (noviembre- abril)						
1	1	3		60,0	40,0	
				1,0	0,7	
	4	2			50,0	50,0
					0,5	0,5
	5	9	18,8	18,8	50,0	12,5
			0,3	0,3	0,9	0,2
	10	4	25,0	50,0	25,0	
			0,5	1,0	0,5	
	14	17	12,8	31,9	51,1	4,3
			0,4	0,9	1,4	0,1
	15	85	17,6	27,3	48,8	6,3
			0,4	0,7	1,2	0,1
2	2	21	15,2	43,9	33,3	7,6
			0,5	1,4	1,0	0,2
	7	14	27,6	27,6	39,7	5,2
			1,1	1,1	1,6	0,2
	9	4	12,5	12,5	62,5	12,5
			0,3	0,3	1,3	0,3
	12	22	18,0	26,0	52,0	3,3
			0,4	0,6	1,2	0,1
	13	3		33,3	66,7	
				0,3	0,7	
	16	35	17,9	43,3	34,3	4,5
			0,3	0,8	0,7	0,1
3	3	1	100,0			
			1,0			
	6	2	33,3		66,7	
			0,2		0,3	
	8	8	21,4	28,6	35,7	14,3
			0,4	0,5	0,6	0,1
	11	8	17,6	52,9	23,5	5,9
			0,4	1,1	0,5	0,1

a la ocurrencia de las TLS en ese período. En el grupo 1 los mecanismos de interacción en niveles bajos y medios, dentro de un ambiente débilmente anticiclónico en niveles bajos, aportan condiciones que suelen ser favorables a la ocurrencia de tormentas aisladas. Los grupos 2 y 3, son representativos de la influencia que los sistemas extratropicales ejercen en Cuba en la formación de tormentas, muchas veces asociadas a líneas de inestabilidad, frentes, por ejemplo.

La severidad por cada grupo de patrones difiere no solo en la cantidad de casos, sino también en el tipo de severidad y de forma general se relaciona con la frecuencia que cada configuración sinóptica influye sobre Cuba. En este período la presencia de dorsales anticiclónicas y oestes profundos sobre o cerca de Cuba se presentan con más reiteración que las bajas en el Golfo de México o en el sur de los Estados Unidos. Por otro lado como muestra la tabla 1, existen patrones donde ocurre preferentemente un determinado tipo de severidad.

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

Patrones relacionados con la dorsal anticiclónica subtropical sobre Cuba (Grupo 1)

Los patrones de este grupo se caracterizan por una significativa presencia de la dorsal anticiclónica hasta el nivel de 700 hPa sobre Cuba, y a partir de ahí cada patrón presenta singularidades propias. Generalmente los patrones de este grupo están asociados a la existencia de advección cálida en los niveles bajos y fría en los medios, con flujo del oeste sobre Cuba en los niveles altos.

Patrón 1. La dorsal anticiclónica en los niveles bajos, con débil gradiente y la onda profunda en la altura, característico de este patrón, generan factores de forzamiento sinópticos favorables para la ocurrencia de TLS tales como: el calentamiento de los niveles bajos, el enfriamiento en los medios y la divergencia en el tope de la capa hasta los 700 hPa con fuerte cizalladura vertical. En la muestra tomada, este patrón se presentó en tres ocasiones con predominio de las aeroavalanchas (60,0 %) y caída de granizos (40,0 %). Ver anexo 1.

Patrón 4. Presenta un buen acoplamiento en todos los niveles donde predomina la dorsal anticiclónica. Los factores de forzamiento sinóptico que predominan en este patrón, favorables para

la ocurrencia de severidad son las condiciones de estratificación térmica general, la convergencia del flujo en los niveles bajos y fuertes cizalladura en dirección, debido a la presencia de ejes de máxima velocidad cercanos al territorio cubano. En la muestra tomada, este patrón se presentó en dos ocasiones, con predominio de caída de granizos (50,0 %), sin aeroavalanchas ni tornados, y otras (50,0 %). Ver anexo 2.

Patrón 5. Representa un típico caso de reforzamiento de la dorsal anticiclónica del océano Atlántico, debido a la transformación del anticiclón migratorio moviéndose por el centro de los Estados Unidos. Tampoco se descarta la posibilidad de que este patrón se asocie a alguna línea frontal débil o una vaguada sobre las inmediaciones del occidente de Cuba. Los factores de forzamiento más significativo parece ser la inestabilidad potencial generada por la advección cálida en niveles medios. La presencia de aire frío parece condicionar el predominio de la caída de granizos sobre el resto de las manifestaciones de severidad en este patrón. En la muestra tomada, este patrón se presentó en nueve ocasiones, con predominio de la caída de granizos (50,0 %), igual frecuencia de aeroavalanchas y tornados (18,8 % cada uno) y 12,5 % de otras manifestaciones de severidad. Ver anexo 3.

Patrón 10. Es un caso típico de vientos de componente sur sobre el occidente de Cuba, con calentamiento desde niveles bajos y forzamiento dinámico creado por la estructura del flujo. En la muestra tomada, este patrón se presentó en cuatro ocasiones, con predominio de las aeroavalanchas (50,0 %), luego los tornados y la caída de granizos (25,0 % cada uno). No se reportaron otras manifestaciones de severidad. Ver anexo 4.

Patrón 14. Parece estar relacionado con procesos iniciales de ciclogénesis en el Golfo de México. Los factores predominantes son la inestabilidad vertical por el fuerte calentamiento de los niveles bajos y el enfriamiento de los medios y altos, ayudado por una salida horizontal moderada en los niveles altos de la tropósfera. En la muestra tomada, este patrón se presentó en 17 casos, con predominio de caída de granizos (51,1 %), aeroavalanchas (31,9 %), tornados (12,8 %) y otros (4,3 %). Ver anexo 5.

Patrón 15. La dorsal anticiclónica en los niveles bajos y el flujo del oeste a partir de los niveles medios, provocan una estratificación general de temperatura que define un entorno sinóptico potencialmente inestable que parece ser el principal factor para la ocurrencia de la severidad (en especial la caída de granizos) en las tormentas locales bajo esta

configuración. En la muestra tomada, este patrón se presentó en 85 ocasiones, con predominio de caída de granizos (48,8 %), luego aeroavalanchas (27,3 %), tornados (17,6 %) y otros eventos severos (6,3 %). Ver anexo 6.

Patrones relacionados con ondas polares profundas sobre el Sudeste del Golfo de México y Cuba (Grupo 2)

Este grupo engloba condiciones típicamente del período poco lluvioso donde el factor predominante lo constituyen disturbios en el flujo del oeste debido a ondas polares que, generalmente, se reflejan en sistemas frontales en superficie sobre o en las inmediaciones de Cuba. En consecuencia, los patrones se asocian a la ocurrencia de máximos de velocidad tanto en niveles bajos como en niveles altos, que aunque no afecten a Cuba directamente, casi siempre están presentes sobre el Golfo de México y el sur de los Estados Unidos, y la advección cálida en los niveles bajos y muy marcada advección fría en los niveles medios.

Patrón 2. En resumen, puede considerarse representativo de una situación típica de frente frío clásico activo, cuando la onda polar bien definida hasta el Golfo de México se asocia a un sistema de bajas extratropicales sobre el sudeste de los Estados Unidos. Los factores predominantes para la ocurrencia de severidad en las tormentas son la inestabilidad vertical generada por la estratificación térmica; y el forzamiento dinámico de la masa de aire tropical con la superficie de discontinuidad; y la salida horizontal de las corrientes ascendentes por el flujo del oeste. En la muestra tomada, este patrón se presentó en 21 ocasiones, con predominio de las aeroavalanchas (43,9 %), luego los granizos (33,3 %), los tornados (15,2 %) y otros (7,6 %). Ver anexo 7.

Patrón 7. Los factores de forzamiento predominantes en este patrón parecen ser los de carácter dinámico generados por la estructura del flujo, estimulados por una estratificación térmica potencialmente inestable. En la muestra tomada, este patrón se presentó en 14 ocasiones, con predominio de la caída de granizos (39,7 %), con igual frecuencia de tornados y aeroavalanchas (27,6 % cada uno) y otras manifestaciones de severidad (5,2 %). Ver anexo 8.

Patrón 9. Este es un patrón del paso de un frente frío sobre Cuba, con la ocurrencia de TLS a su paso en la línea prefrontal. Los factores predominantes son la existencia de un entorno potencialmente

inestable por el calentamiento de los niveles bajos y enfriamiento de los medios en la región oriental, la cizalladura moderada en la dirección y divergencia por el aumento de la velocidad con la altura, que contribuye a la salida horizontal de las corrientes que asciendan, y la cercanía de una superficie de discontinuidad. En la muestra tomada este patrón ocurrió en cuatro ocasiones, con predominio en la caída de granizos (62,5 %), y con igual frecuencia en las demás manifestaciones de severidad (12,5 % cada una). Ver anexo 9.

Patrón 12. Pudiera tener similitud con el 9, pero en este caso la invasión de aire frío se restringe por el debilitamiento del anticiclón migratorio. Los factores predominantes son una estratificación térmica inestable provocada por el calentamiento de los niveles bajos, enfriamiento de los medios y altos, un ambiente cizallado y divergente en niveles altos sobre Cuba. En la muestra tomada, este patrón se encontró en 22 ocasiones, con predominio de la caída de granizos (52,0 %), luego las aeroavalanchas (26,0 %), los tornados (18,0 %) y otras manifestaciones de severidad. Ver anexo 10.

Patrón 13. Uno de los elementos más relevantes en este con respecto a los demás, es la penetración profunda del flujo de oeste en baja latitud. Como en el patrón 9 la dorsal anticiclónica se encuentra muy retirada al este, pero en este caso el anticiclón migratorio en el Golfo de México es muy débil y con poca representación en la vertical. Los factores favorables para la ocurrencia de la severidad son la inestabilidad aportada por el calentamiento de las capas bajas y el enfriamiento en los niveles medios, y el efecto de salida horizontal de masa a partir de los niveles medios con mayor peso que los valores de la cizalladura. En la muestra tomada, este patrón se presentó en tres ocasiones, con predominio de la caída de granizos (66,7 %) y en segundo lugar aeroavalanchas (33,3 %), no hubo reportes de tornados u otras manifestaciones de severidad. Ver anexo 11.

Patrón 16. El elemento más significativo de este patrón se encuentra en condiciones de estratificación térmica favorable para la convección profunda, dentro de un forzamiento dinámico determinado por la presencia de un frente asociado a una onda polar bien estructurada. En la muestra tomada, este patrón se presentó en 35 ocasiones, con preferencias para la ocurrencia de aeroavalanchas (43,3 %), algo menor la caída de granizos (34,3 %), poco de tornados (17,9 %) y otras manifestaciones de severidad (4,5 %). Ver anexo 12.

Patrones relacionados con centros de bajas presiones que se forman en el Golfo de México (Grupo 3)

Este grupo resulta un conjunto de patrones vinculados a procesos de ciclogénesis extratropical en diferentes etapas de desarrollo sobre el Golfo de México, con la presencia de bajas de corte o disturbios muy profundos en el flujo del oeste en baja latitud. Marcada advección cálida en niveles bajos y enfriamiento en los medios en la mayoría de los casos con fuerte cizalladura en la dirección y la velocidad.

Patrón 3. Describe la presencia de una baja intensa en el Golfo de México de especial severidad con un chorro de los bajos niveles inducido por el desarrollo explosivo de la baja extratropical. Los factores predominantes para la severidad son en primer lugar, la interacción entre el chorro de los bajos niveles con la corriente en chorro superior, que provoca fuerte ascenso de la masa de aire sobre Cuba y en segundo lugar la inestabilidad vertical, en especial sobre la región occidental, provocada por el calentamiento de las capas bajas y el enfriamiento por advección de los niveles medios. Debe destacarse que es un patrón generador de tornados por excelencia. En la muestra tomada, este patrón se presentó en un sólo caso, y su singularidad determinó que en las pruebas realizadas no fuera posible mezclarlo con el resto de los patrones de este grupo. Este caso sólo presentó tornados (100 %) y ninguna otra de las manifestaciones de severidad. Ver anexo 13.

Patrón 6. Representa un caso típico en la formación de ciclogénesis en el noroeste del Golfo de México, asociado a la presencia de una baja de corte sobre el sur de los Estados Unidos. Los factores favorables que se encuentran presentes en este patrón para la ocurrencia de severidad, es la inestabilidad provocada en la vertical por el chorro superior, el giro antihorario de la dirección y el enfriamiento de los niveles medios y altos por el flujo del oeste inducido por la baja de corte. Este patrón resulta especialmente interesante, por cuanto es consistente con condiciones sinópticas de años ENOS, caracterizados por un chorro subtropical de invierno situado sobre baja latitud que provoca tiempo severo en Cuba. En la muestra tomada este patrón se presentó en dos ocasiones, con predominio de caída de granizos (66,7 %) y menos casos de tornados (33,3 %). Ver anexo 14.

Patrón 8. Pudiera considerarse como un estado más temprano de las situaciones en los patrones 3 y 6. En este patrón la baja de corte aparece como

una onda muy profunda en los niveles bajo y medio, sin llegar aún a estructurarse una circulación y en respuesta a ello la ciclogénesis en superficie es aún débil. Los factores favorables para la severidad es la inestabilidad vertical por el calentamiento de los niveles bajos y enfriamiento de los medios y la cizalladura. En la muestra tomada, este patrón se presentó en ocho ocasiones, con predominio de caída de granizos (35,7 %), luego las arovalanchas (28,6 %), los tornados (21,4 %) y otros eventos severos con menor frecuencia (14,3 %). Ver anexo 15.

Patrón 11. Representa un proceso de formación de una baja de corte que se puede apreciar en el nivel de 850 hPa, el disturbio así provocado es capaz de generar ciclogénesis en superficie que, independientemente de su intensidad, será un sistema de poco movimiento debido al bloqueo del anticiclón continental. Los factores predominantes para la severidad son la inestabilidad por calentamiento en las capas bajas y enfriamiento en los niveles medios y condiciones divergentes en los niveles altos. Los mecanismos dinámicos de forzamiento de la convección están fuertemente vinculados al proceso de ciclogénesis. En la muestra tomada, este patrón se presentó en ocho ocasiones, con predominio de arovalanchas (52,9 %), luego la caída de granizos (23,5 %), los tornados (17,6 %) y otras manifestaciones en menor medida (5,9 %). Ver anexo 16.

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 16 patrones o configuraciones sinópticas favorables para la ocurrencia de TLS en Cuba para el período poco lluvioso.

La severidad por cada grupo de patrones difiere no solo en la cantidad de casos, sino también en el tipo de severidad y de forma general se relaciona con la frecuencia que cada configuración sinóptica influye sobre Cuba en ese período.

La concepción tridimensional de cada patrón encontrado en la presente investigación resulta un aspecto novedoso, que aporta un gran valor de uso en la práctica operativa y brinda muchas opciones de análisis.

El análisis estadístico demostró ser coherente y riguroso, y sus resultados son consistentes. El uso del análisis de conglomerados combinados

con la transformación previa de la muestra a través del análisis de componentes principales, ha probado ser una opción útil de amplia aplicación futura en otros campos dentro de la ciencia meteorológica.

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, ya que en cada uno de ellos es posible identificar uno o más de estos factores.

Bibliografía

Aguilar O. G.; M. Carnesoltas; C. Balseiro y L. Naranjo (2004): «Climatología de las Tormentas Locales Severas en Cuba, en el período 1987-2002». Resultados de la modelación de un caso de estudio.

Alfonso A. P. (1986): «El brote de tiempo severo en Cuba del 8 de febrero de 1978. Descripción del brote y situación sinóptica». *Ciencia de la Tierra y el Espacio*, 10, 101-114.

_____ (1994): *Climatología de las tormentas locales severas de Cuba. Cronología*. Editorial Academia, La Habana, 168 p.

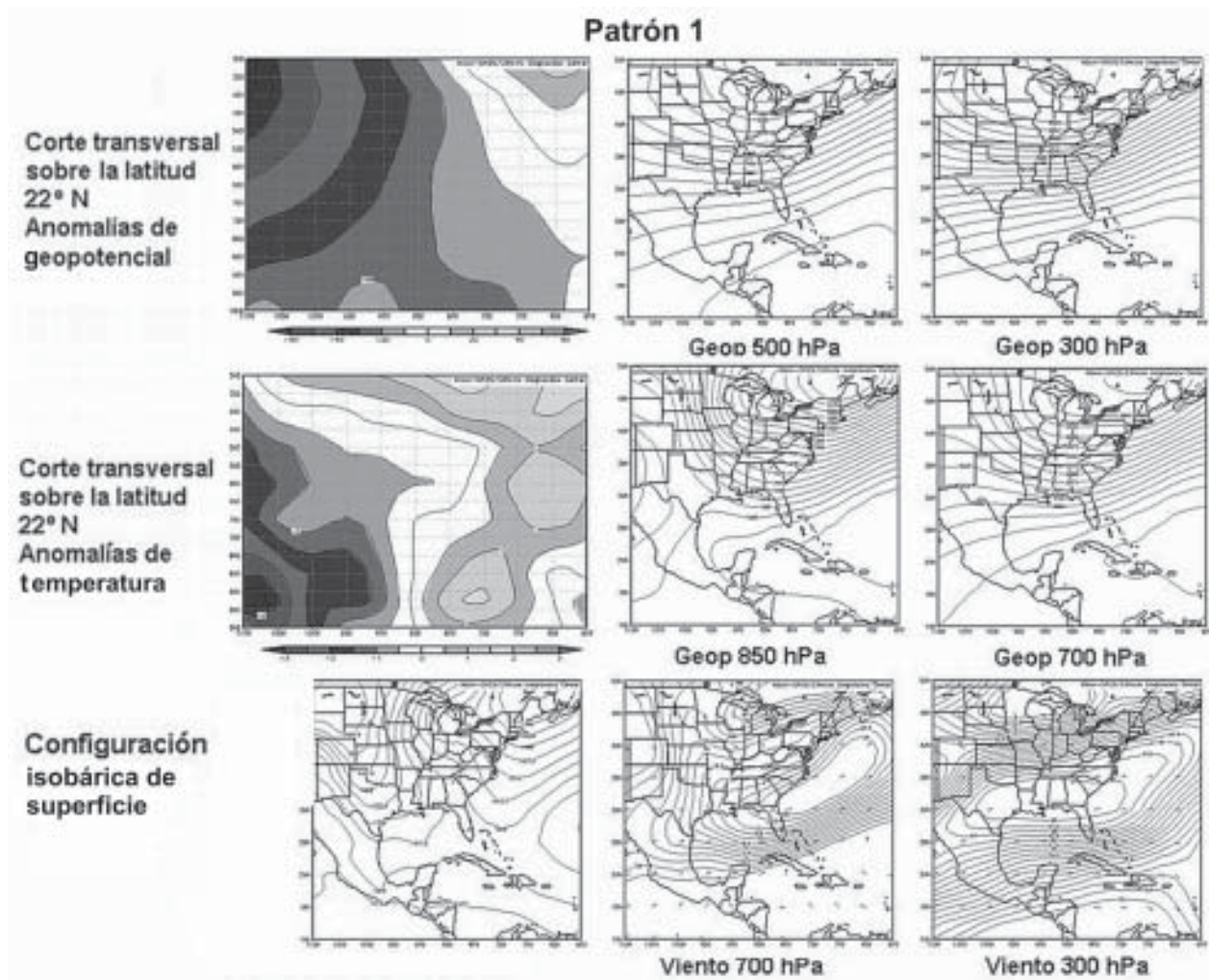
Byers, H.R. and R. R. Braham, Jr. (1949): *The thunderstorm*, U. S. Government Printing Office, Washington, 282 p.

Carnesoltas, M., R. Hernández, G. Rodríguez y G. González (2002): «Características del Chorro de los Bajos Niveles sobre Cienfuegos, Cuba». *Boletín electrónico de la Sociedad Meteorológica de Cuba*.

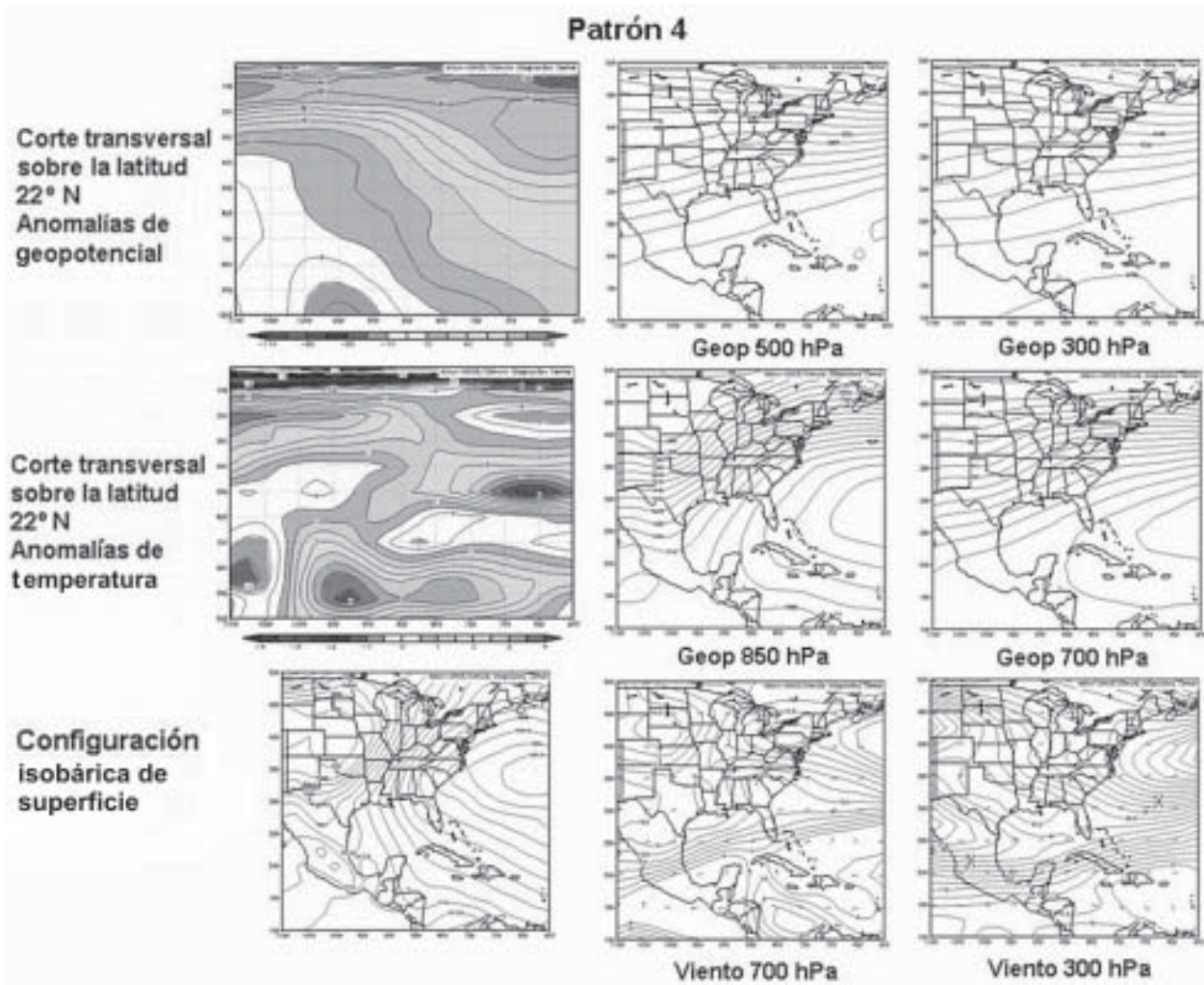
Moller, A.R.; C.A. Doswell III; M.P. Foster and G.R. Woodall (1994): «The operational recognition of supercell thunderstorm environments and storm structures». *Wea. Forecasting*, 9, 327-347.

Toure, Yves M. (Editor) (2000): «CLIMLAB2000, version 1.1.0». International Research Institute for climate prediction. IRI- TR-00/1, 63 p.

Anexo 1

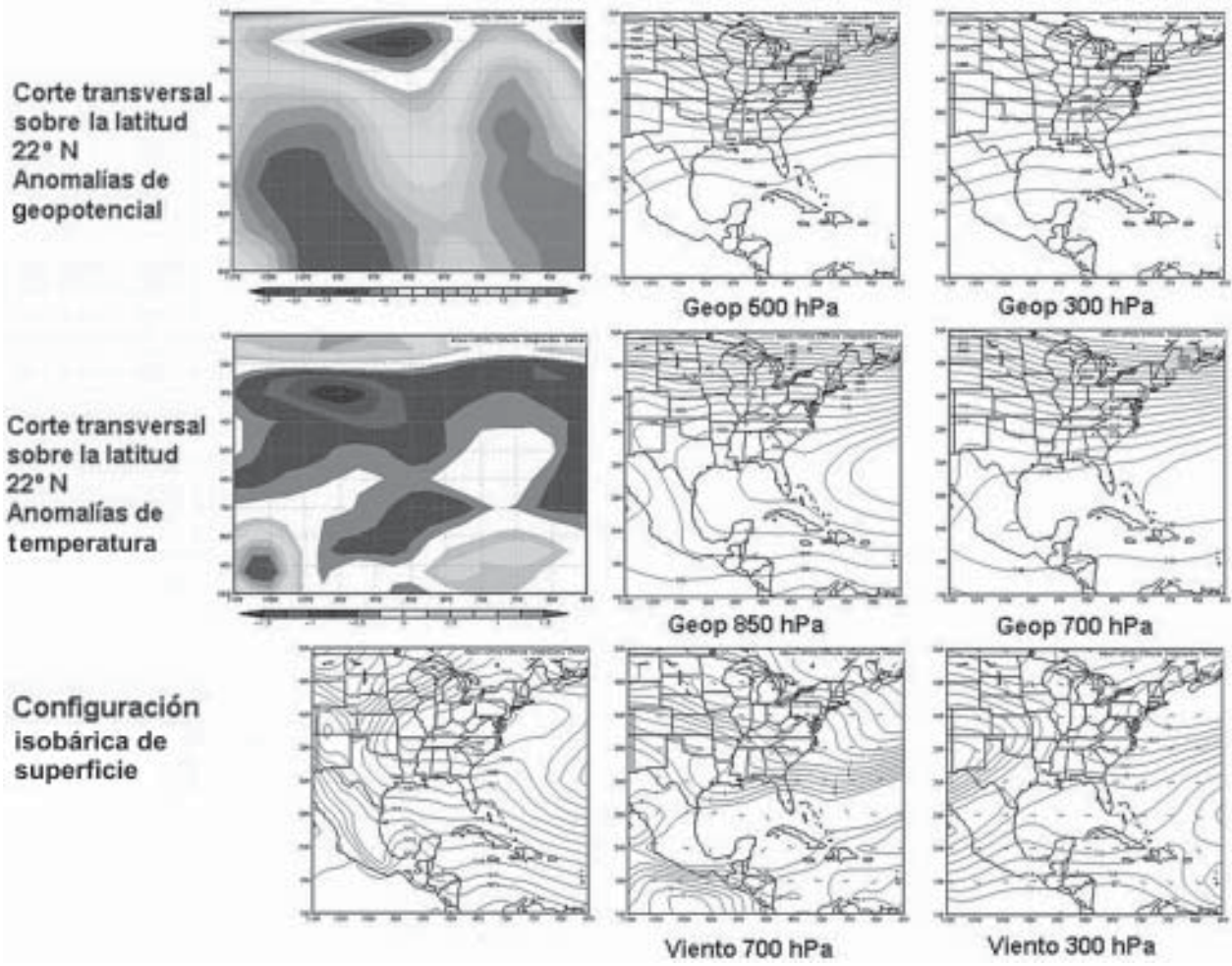


Anexo 2

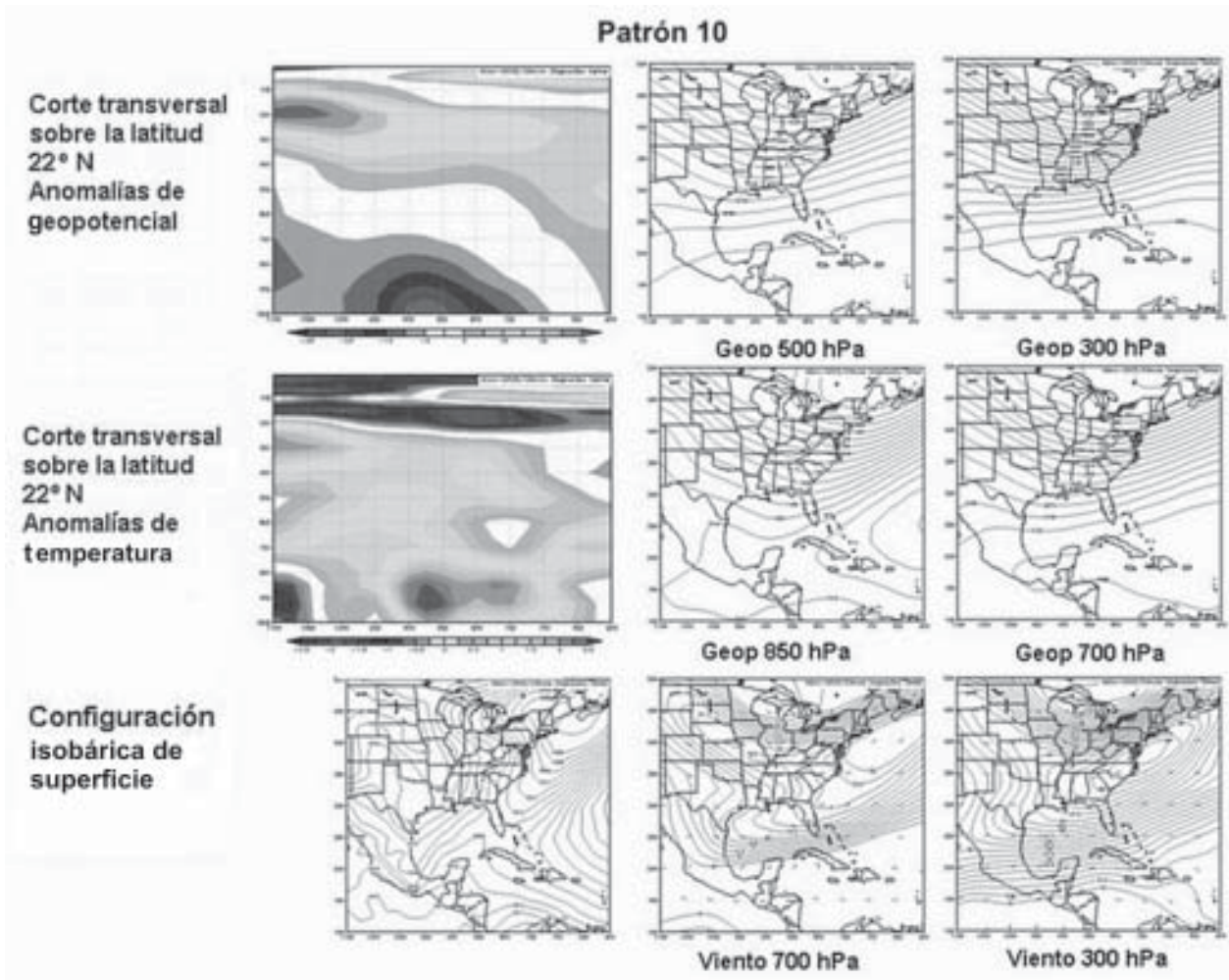


Anexo 3

Patrón 5



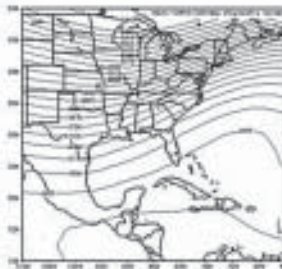
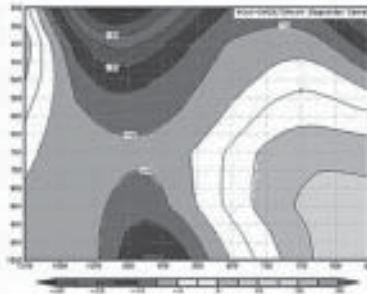
Anexo 4



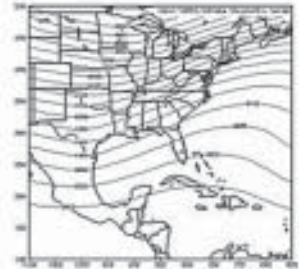
Anexo 5

Patrón 14

Corte transversal
sobre la latitud
22° N
Anomalías de
geopotencial

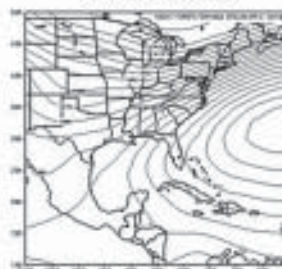
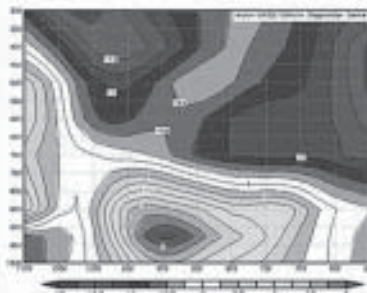


Geop 500 hPa

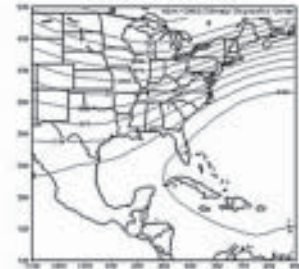


Geop 300 hPa

Corte transversal
sobre la latitud
22° N
Anomalías de
temperatura

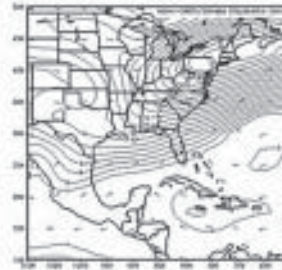
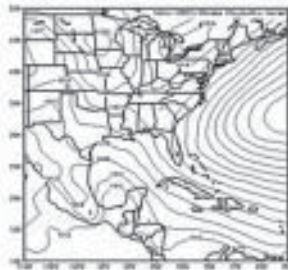


Geop 850 hPa

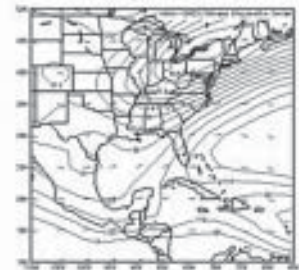


Geop 700 hPa

Configuración
isobárica de
superficie

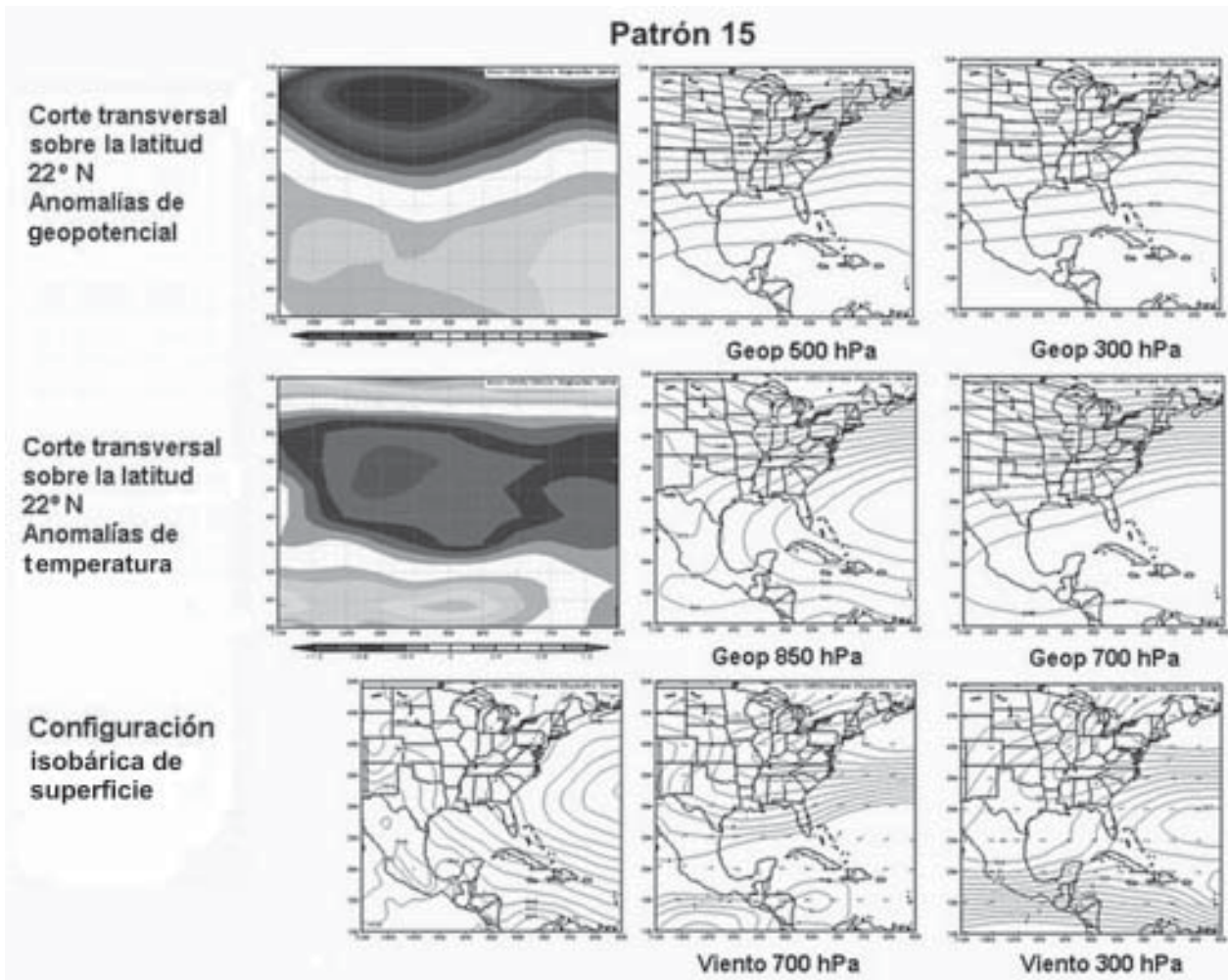


Viento 700 hPa



Viento 300 hPa

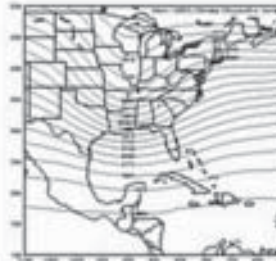
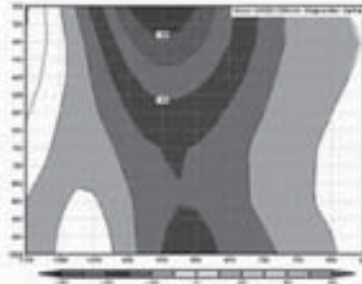
Anexo 6



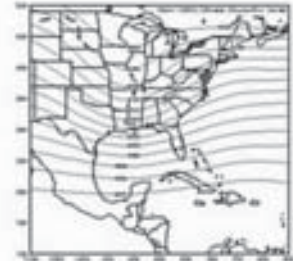
Anexo 7

Patrón 2

Corte transversal
sobre la latitud
22° N
Anomalías de
geopotencial

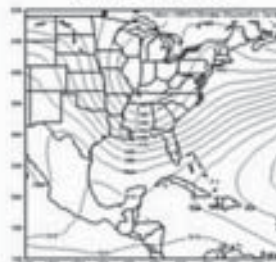
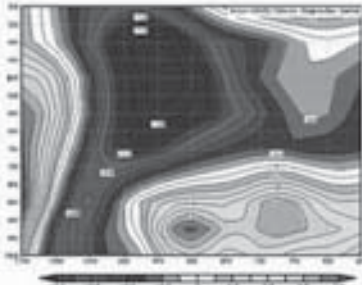


Geop 500 hPa

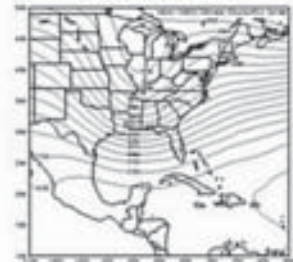


Geop 300 hPa

Corte transversal
sobre la latitud
22° N
Anomalías de
temperatura

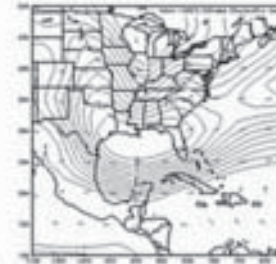
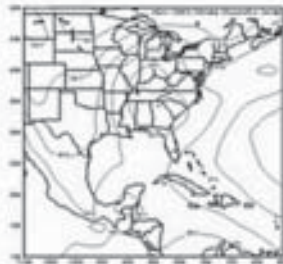


Geop 850 hPa

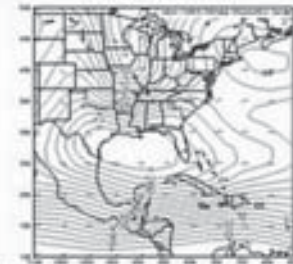


Geop 700 hPa

Configuración
isobárica de
superficie

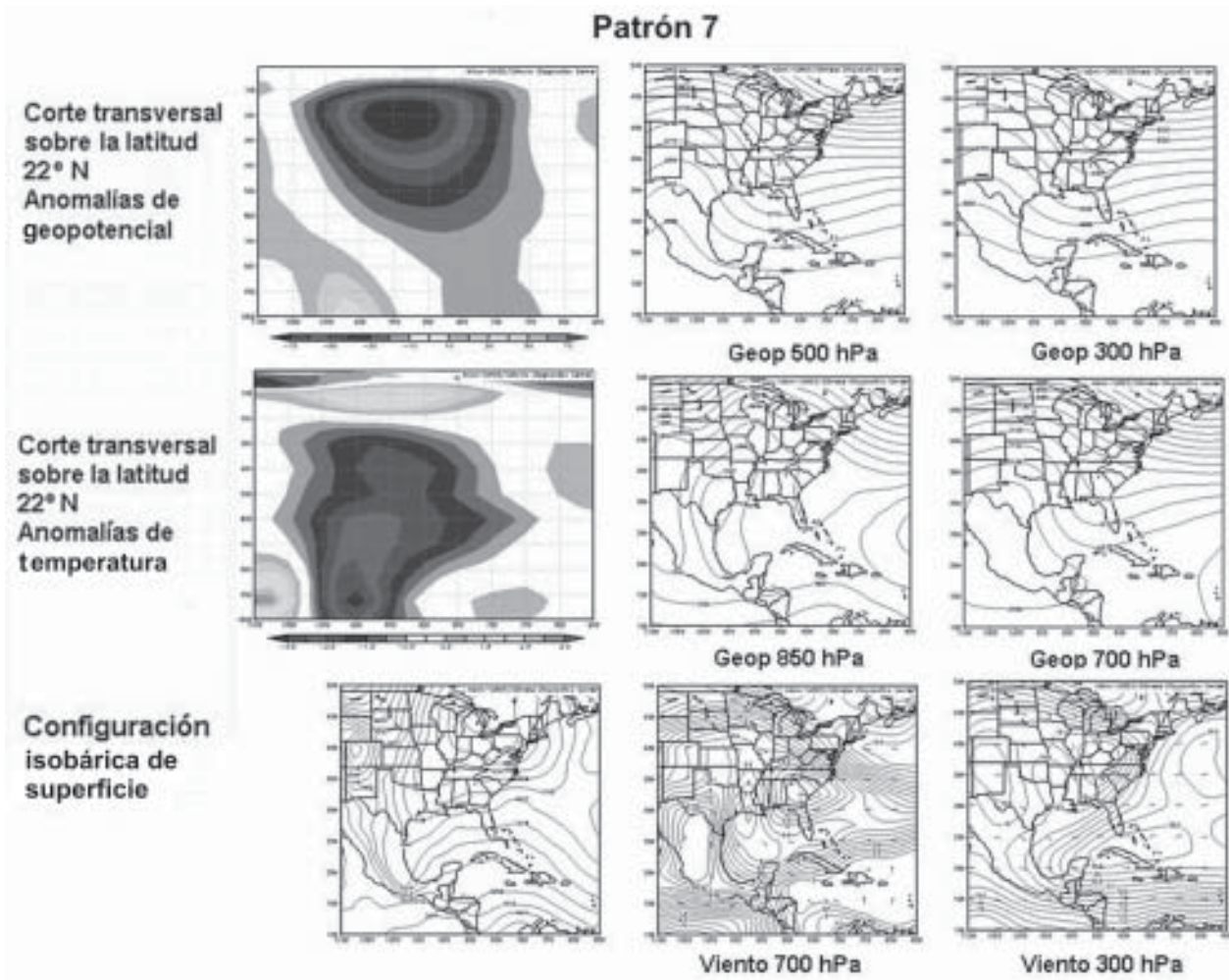


Viento 700 hPa

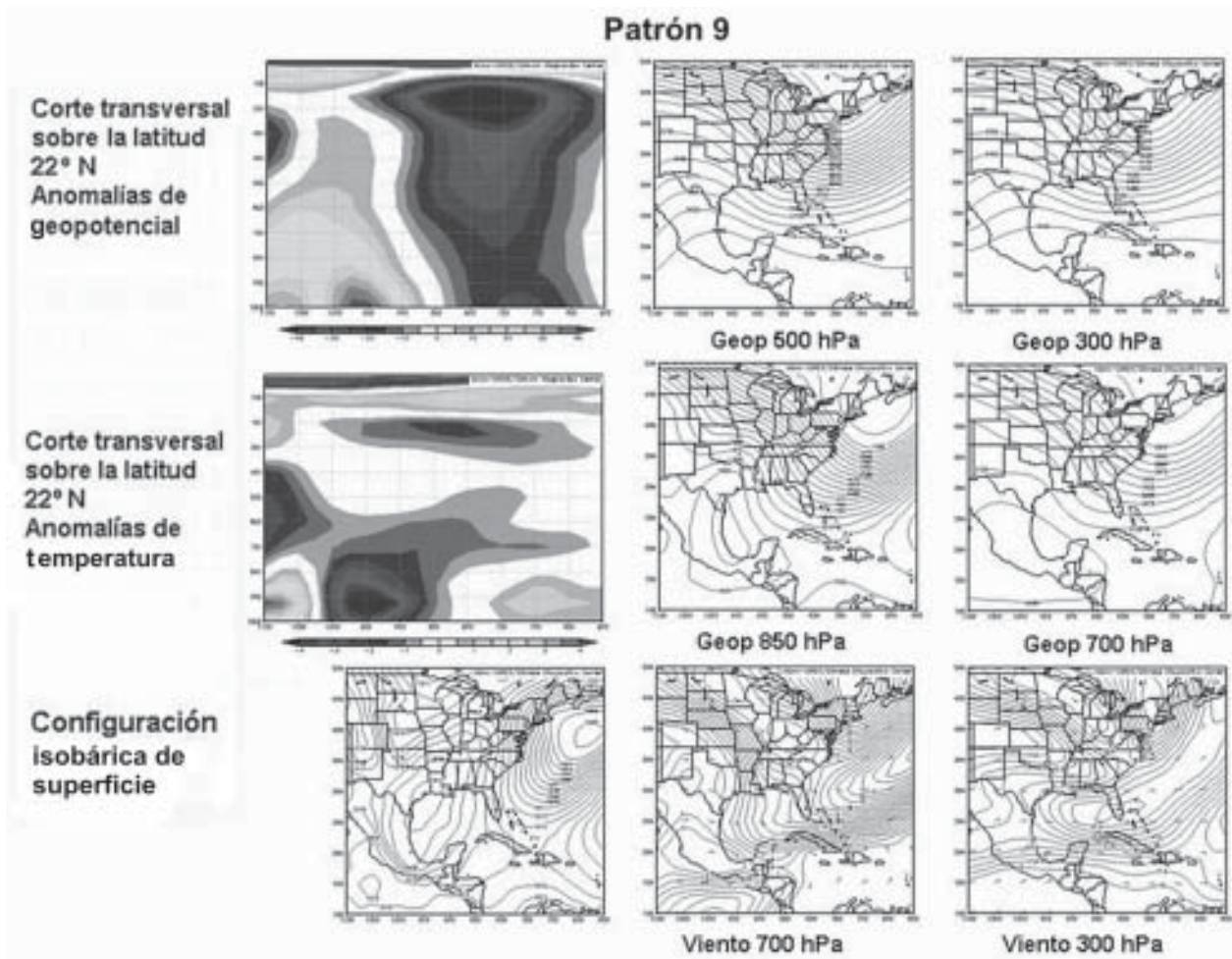


Viento 300 hPa

Anexo 8

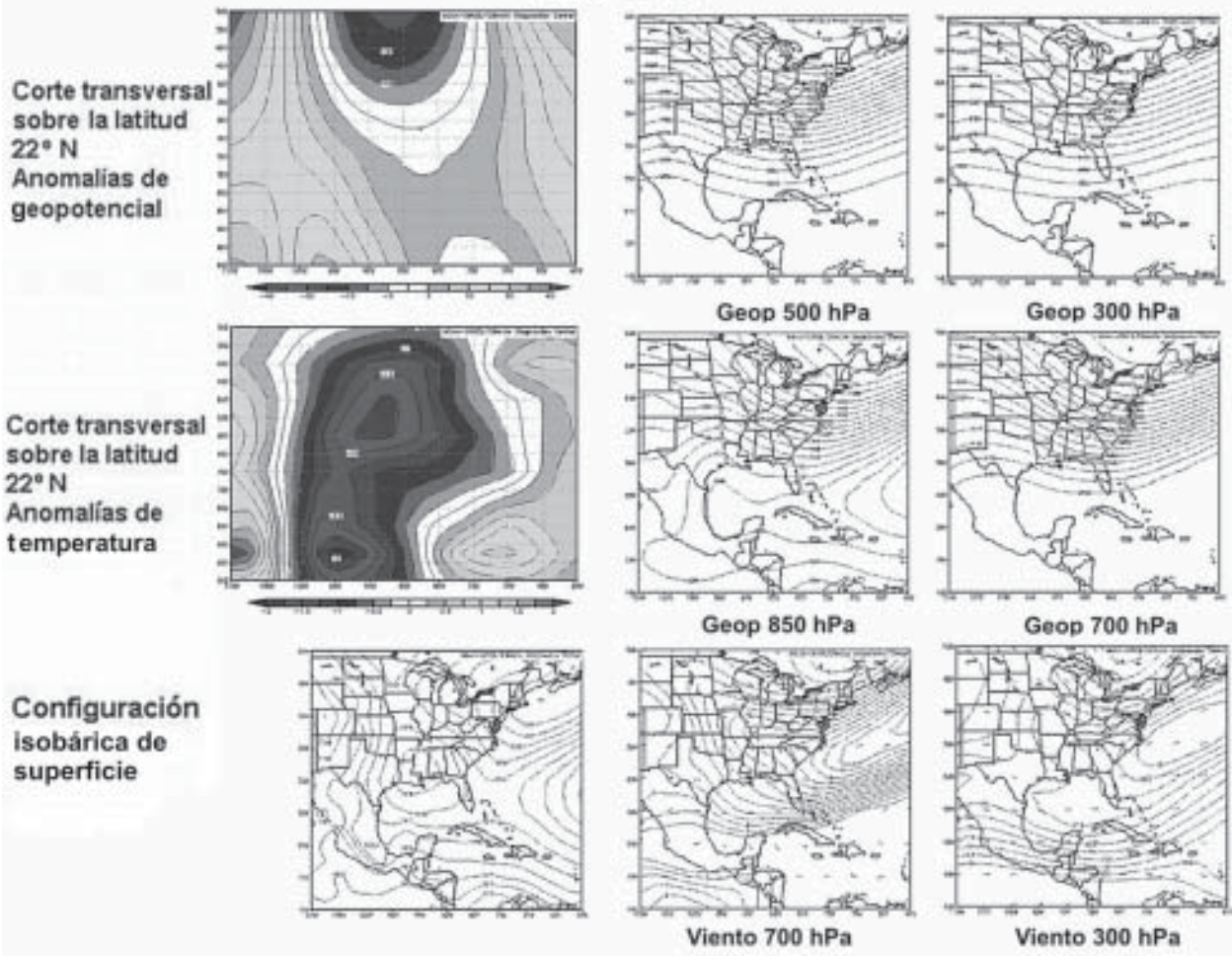


Anexo 9

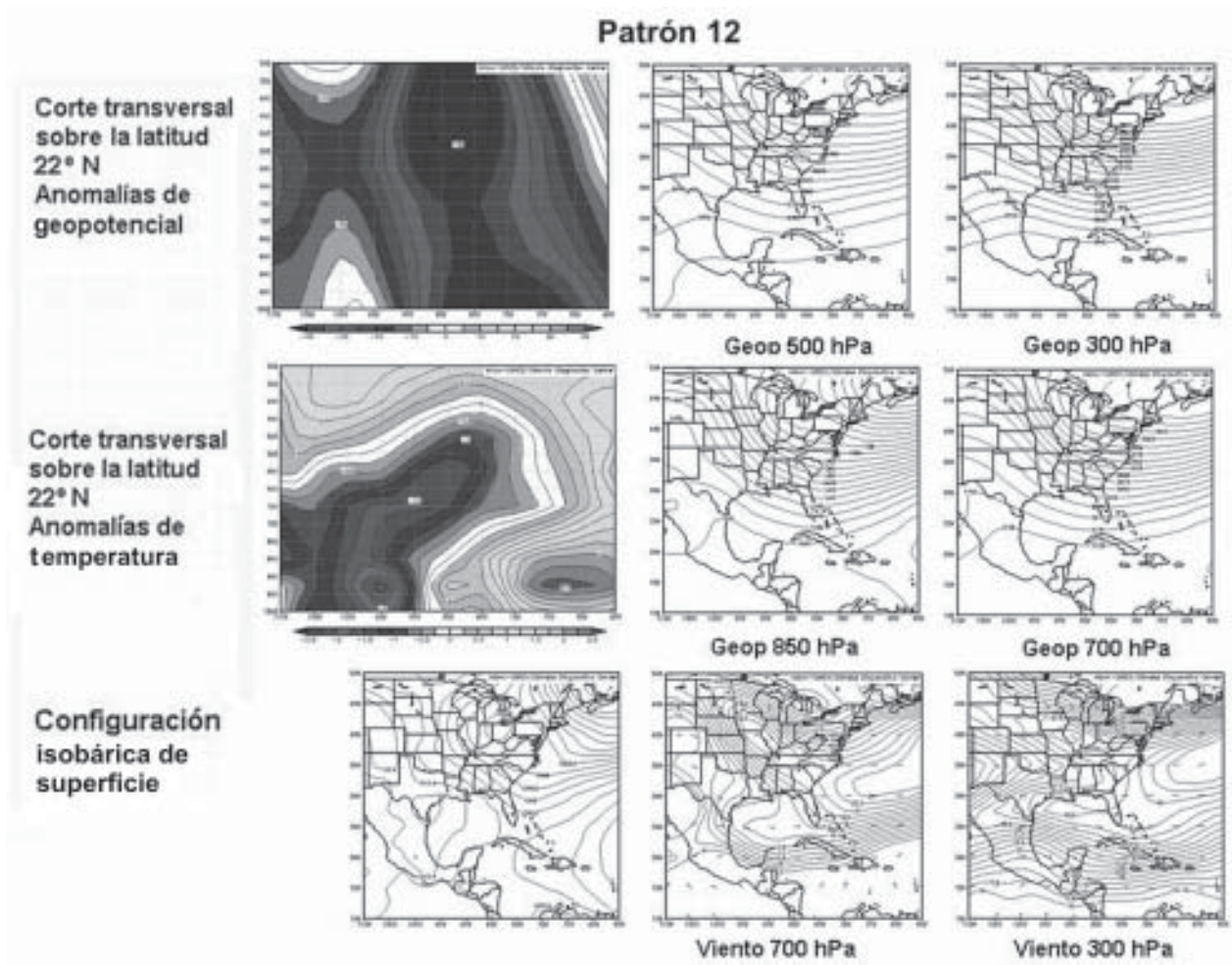


Anexo 10

Patrón 12



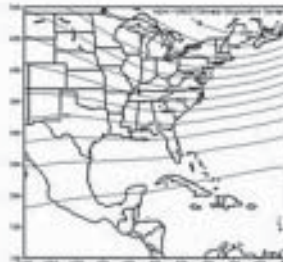
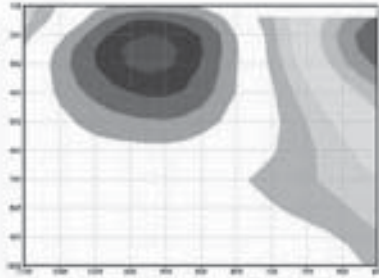
Anexo 11



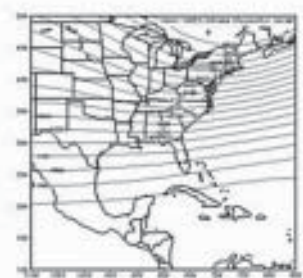
Anexo 12

Patrón 16

Corte transversal sobre la latitud 22° N
Anomalías de geopotencial

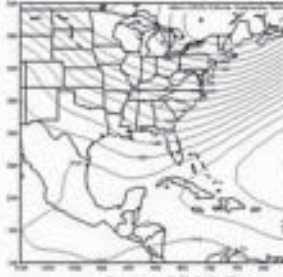
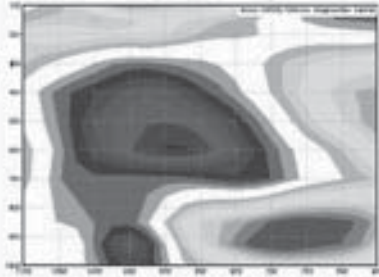


Geop 500 hPa

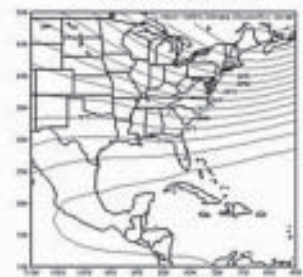


Geop 300 hPa

Corte transversal sobre la latitud 22° N
Anomalías de temperatura

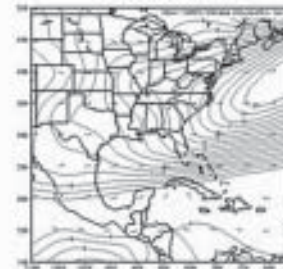
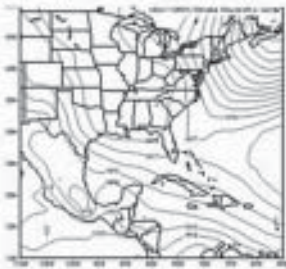


Geop 850 hPa

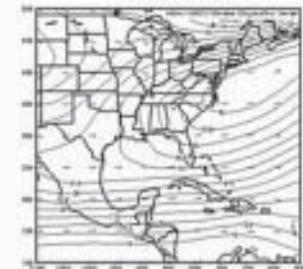


Geop 700 hPa

Configuración isobárica de superficie

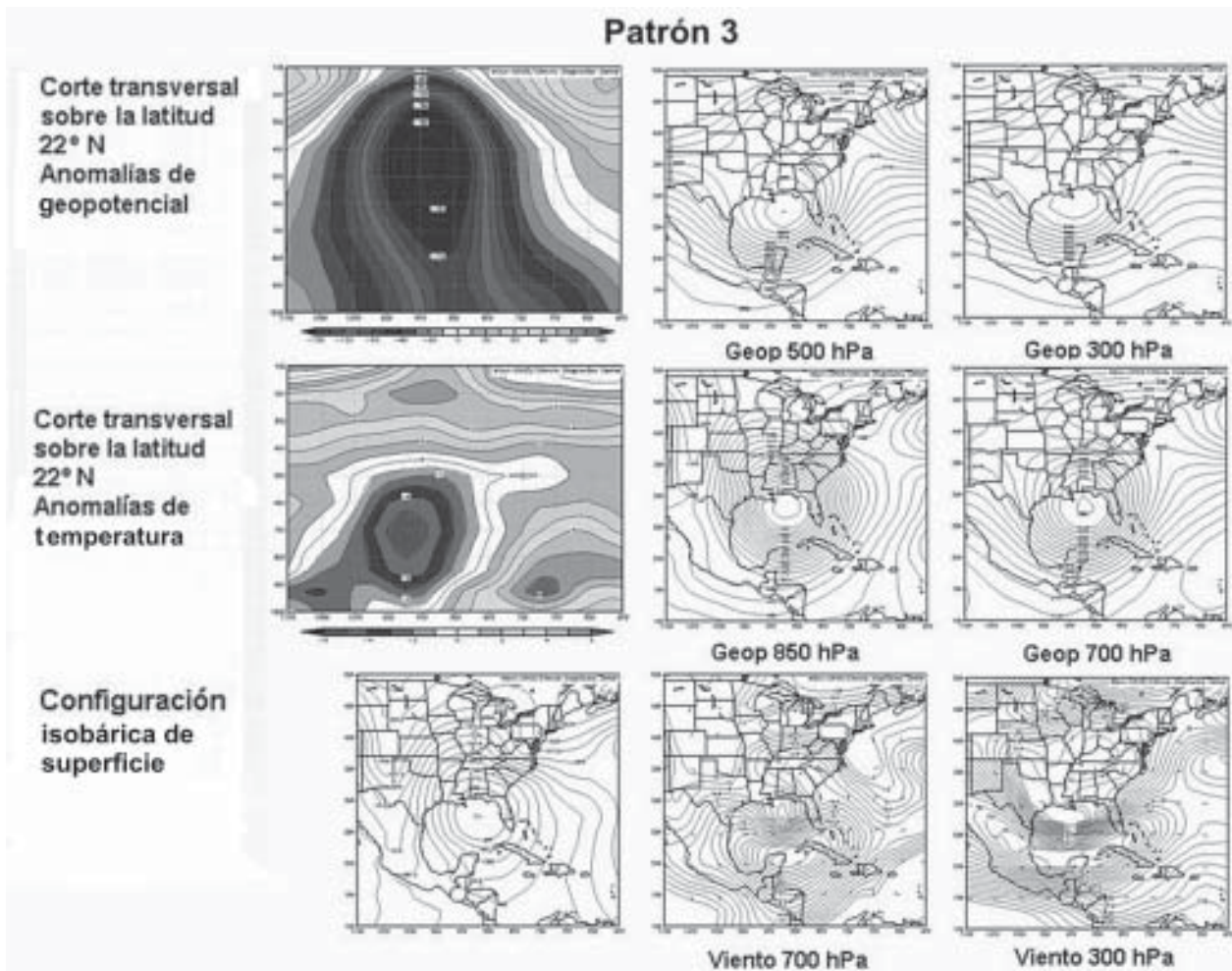


Viento 700 hPa



Viento 300 hPa

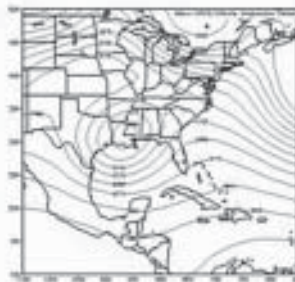
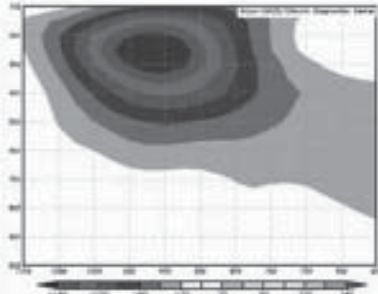
Anexo 13



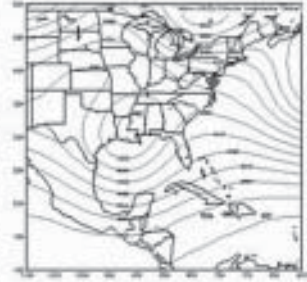
Anexo 14

Patrón 6

Corte transversal
sobre la latitud
22° N
Anomalías de
geopotencial

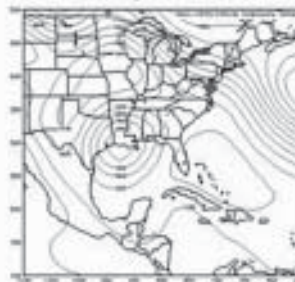
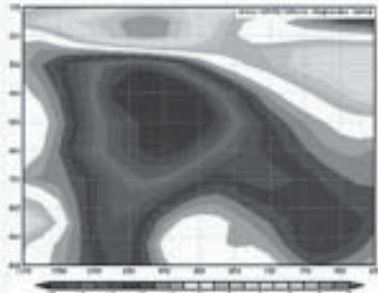


Geop 500 hPa

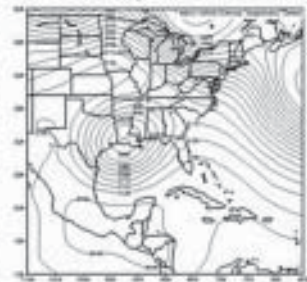


Geop 300 hPa

Corte transversal
sobre la latitud
22° N
Anomalías de
temperatura

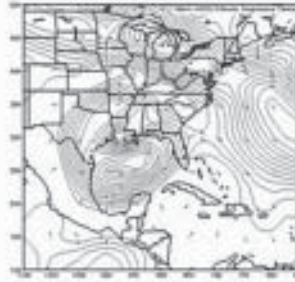
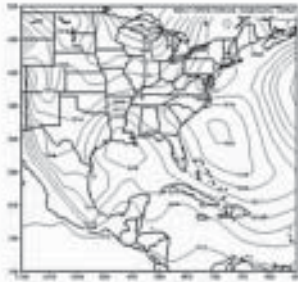


Geop 850 hPa

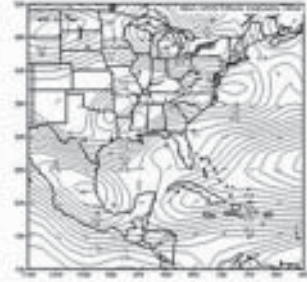


Geop 700 hPa

Configuración
isobárica de
superficie



Viento 700 hPa

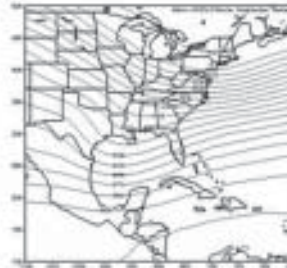
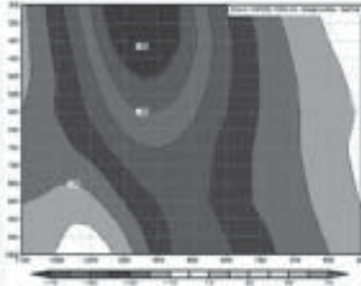


Viento 300 hPa

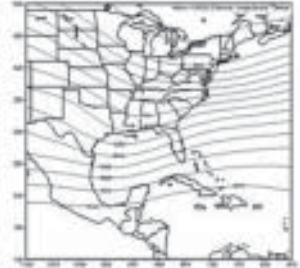
Anexo 15

Patrón 8

Corte transversal sobre la latitud 22° N
Anomalías de geopotencial

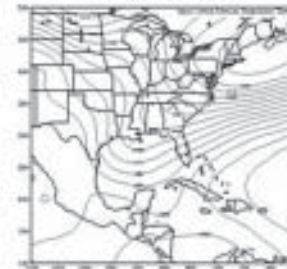
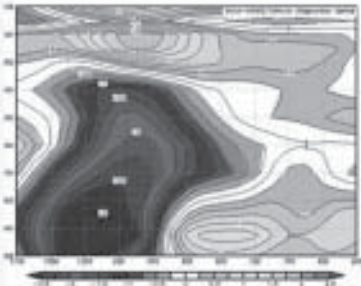


Geop 500 hPa

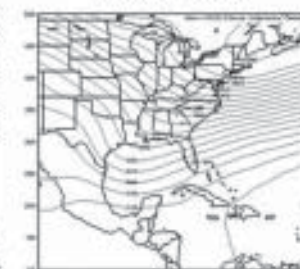


Geop 300 hPa

Corte transversal sobre la latitud 22° N
Anomalías de temperatura

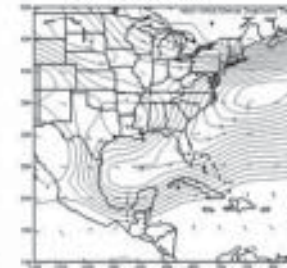
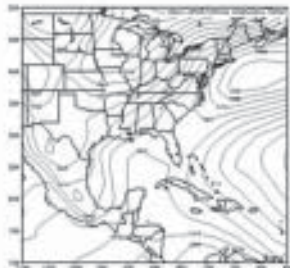


Geop 850 hPa

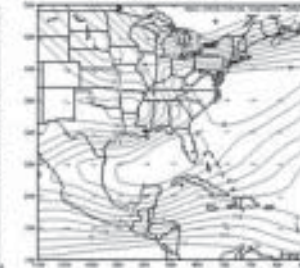


Geop 700 hPa

Configuración isobárica de superficie

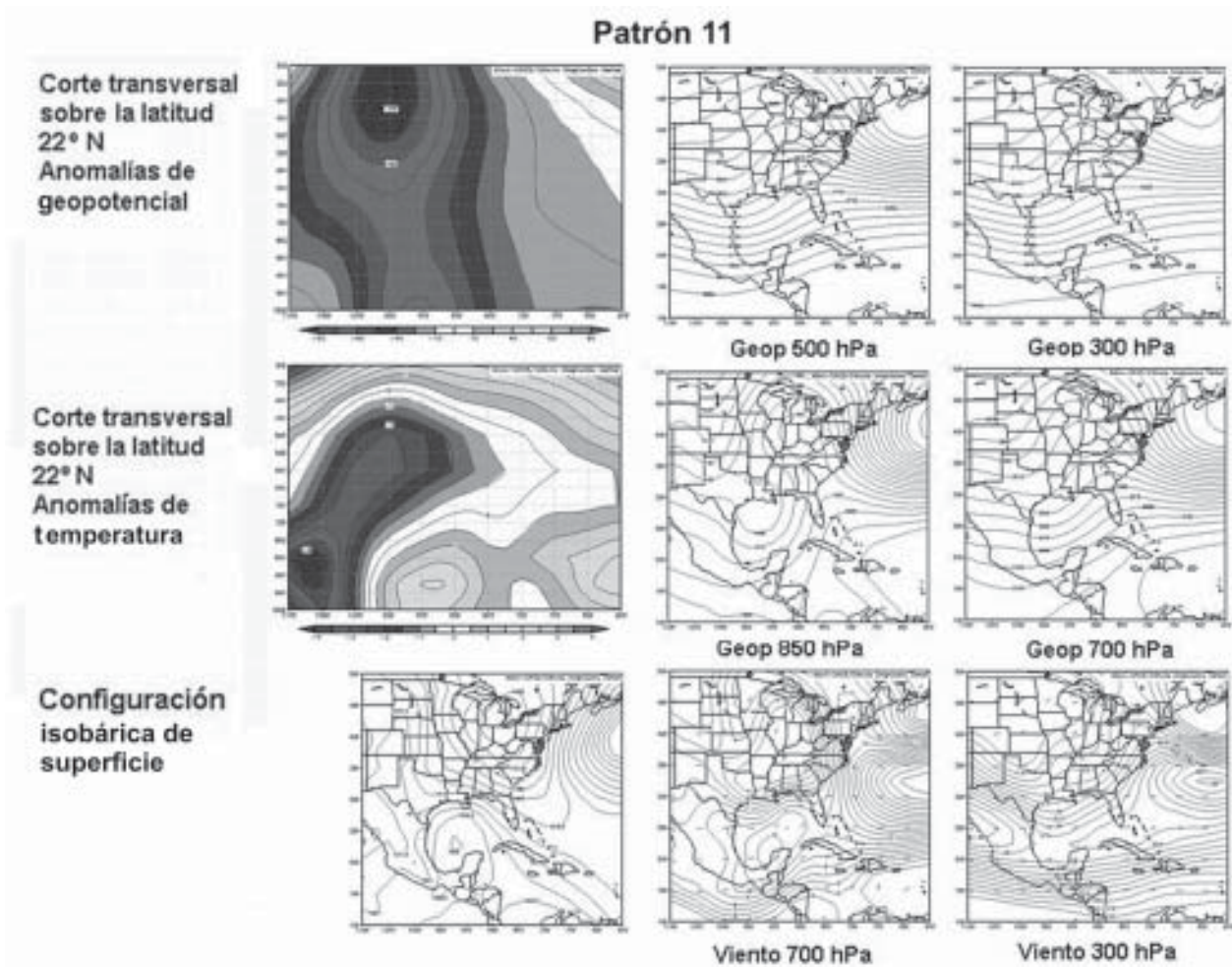


Viento 700 hPa



Viento 300 hPa

Anexo 16



Abstract

Severe Local Storms (SLS) occurrence in the dry 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 16 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 Words: Severe Local Storms.