Ciencias de la Tierra y el Espacio, julio-diciembre, 2012, Vol. 13, No. 1, pp.60-70, ISSN 1729-3790

Temperatura mínima, patrones sinópticos y condiciones troposféricas en la Isla de la Juventud. Cuba

Rogert Sorí-Gómez*[(1)], Janny González-Socorro[(2)] y Maritza Ballester-Pérez [(2)]

[(1)] Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Cuba,
E-mail:rogert.sori@cav.insmet.cu; rogert.sori@mail.com, maritza.ballester@insmet.cu
[(2)] Centro de Pronóstico. Instituto de Meteorología. Loma de Casa Blanca. La Habana. CP: 11 700
E-mail: janny.gonzalez@insmet.cu,

Recibido: junio 20, 2011	Aceptado: diciembre 1, 2011

RESUMEN
Durante el período poco lluvioso, (mayo – octubre), en el occidente de Cuba ocurre la influencia de masas de aire frío, que producen descensos de la temperatura mínima a pesar del carácter tropical – insular del país. Se estudió el comportamiento de esta variable durante el período poco lluvioso y se analizó la frecuencia de la hora de ocurrencia de la temperatura mínima absoluta diaria en las tres estaciones meteorológicas de la Isla de la Juventud. Se obtuvo un agrupamiento de las estaciones meteorológicas teniendo en cuenta los registros de esta variable en cada una; donde influyen la combinación de factores físico - geográficos y condiciones locales además se agruparon los días en cuatro grupos de acuerdo a los valores de temperaturas mínimas reportadas con comportamiento diferenciado, de esta forma se construyeron los patrones sinópticos medios y los cortes verticales de diferentes variables meteorológicas.

Palabras clave: Temperatura mínima, cortes verticales, patrones sinópticos

Minimum Temperature, synoptic patterns and tropospheric conditions in Isle of Youth, Cuba

ABSTRACT
During dry season (may-october), in western Cuba occurs the influence of cold air masses that produce the minimum temperature decreases in spite of the tropical - country's island. The behavior of this variable was studied during the dry season and analyzed the frequency of occurrence of daily minimum temperature in the three weather stations of the Isla de la Juventud. We obtained a group of weather stations taking into account the behavior of this variable in each one, where the combined influence of physical-geographical factors and synoptic patterns is implicitly, also the days were grouped into four groups according to the values of reported minimum temperatures, so it, we could build media maps and vertical cross sections of different meteorological variables.

Key words: Minimum temperature, vertical cross section, synoptics patterns

1. Introducción

La temperatura es uno de los elementos más estudiados por los meteorólogos, ya que diariamente resulta de interés para el conocimiento de la población. En especial, los valores de temperatura mínima son determinantes sobre el confort humano, la agricultura y la ganadería, renglones fundamentales para la economía de nuestro país. El comportamiento de la temperatura mínima, medida por las tres estaciones meteorológicas presentes en la Isla de la Juventud tiene particularidades, lo que en gran medida puede deberse a la variedad de escalas espaciales y temporales de los movimientos y fenómenos atmosféricos, además de la ubicación geográfica, la altura sobre el nivel del mar, la cobertura nubosa y particularmente las condiciones locales. González y Ballester en el 2007 estudiaron el comportamiento espacial de las temperaturas mínimas en Ciudad de La Habana, La Habana y Matanzas en el bimestre enero-febrero y su relación con los patrones sinópticos; quienes proponen una regionalización teniendo en cuenta la distribución espacial de las temperaturas mínimas de las estaciones meteorológicas en esas provincias. En el trabajo sobre los pronósticos de temperaturas máximas y mínimas después del paso de los frentes fríos, Mojena *et al.,* (2002), contemplan el análisis por provincia y por regiones occidental y central para el pronóstico, sin embargo, el trabajo está dedicado completamente al pronóstico y no establece una regionalización según el comportamiento de las temperaturas mínimas por cada estación.

Lecha *et al.,* (1994), realizaron una distribución espacial de las estaciones meteorológicas, conformada por los estados locales del tiempo y Fernández y Díaz, (2005) elaboraron un catálogo sobre los procesos sinópticos del archipiélago cubano para el período 1979-1993, donde proponen una regionalización para Cuba teniendo en cuenta la ya establecida y utilizada en el Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología (2000), y las conformadas anteriormente; dicha regionalización se obtuvo al analizar las temperaturas extremas, nubosidad, viento y nubosidad promedio del día de cada estación. El objetivo fundamental de este trabajo consiste en agrupar las estaciones de la Isla de la Juventud según el comportamiento de la temperatura mínima, además de obtener y caracterizar grupos de días desde los más fríos hasta los menos fríos con los patrones sinópticos y los cortes verticales medios de la atmósfera.

2. Materiales y métodos

Se estudiaron las temperaturas mínimas registradas en las tres estaciones meteorológicas (ver Tabla I) de la Isla de la Juventud, que está situada al sur del Golfo de Batabanó y al norte del Mar Caribe en la región occidental de Cuba, con un área de 2 419 km2. Su territorio es principalmente llano, con dos sectores limitados por la Ciénaga de Lanier, que se extiende de Este a Oeste y constituye un gran humedal. La muestra seleccionada la conforman los meses del período poco lluvioso (noviembre - abril) entre 1990 - 2005, para un total de 8157 días (casos), pero se trabajaron 6920, por falta de información. Los valores de temperatura mínima se obtuvieron de las Tablas de las Observaciones Meteorológicas y los valores Latitud y Longitud fueron ofrecidos por el Departamento de Atención a la Red de Estaciones (DARE) a la Oficina de Pronósticos del Instituto de Meteorología.

Se analizó el comportamiento de la temperatura mínima (Tn) para cada estación a partir de la Tn media y la desviación estándar, así como las frecuencias de las horas de ocurrencia en las tres estaciones de la Isla de la Juventud en el período poco lluvioso, esta última desde el año 2000 hasta el 2005, omitiendo las temporadas anteriores debido a la falta en los registros de las horas de ocurrencia.

Tabla I. Denominación y ubicación de las Estaciones Meteorológicas

No. Estación	Nombre	Latitud (° N)	Longitud (° W)	Altura nmm (m)
78 309	Cuba - Francia	21.9	82.8	50
78 321	La Fe	21.4	82.4	32
78 324	Punta del Este	21.3	82.3	10

Para la confección de los grupos de temperatura mínima con comportamiento diferenciado se utilizó la técnica estadística multivariada Análisis de Cluster, este método genera conglomerados entre los datos más parecidos con respecto a algún criterio de selección predeterminado. Se implementa esta técnica para diferenciar el comportamiento regional de las temperaturas mínimas medidas en las estaciones meteorológicas de la Isla de la Juventud; para ello se implementa el método jerárquico sobre la base de la distancia euclidiana y para agrupar los días en intervalos de

temperaturas el método de las K – medias, considerando la distancia media entre los datos, (Hair *et al.,* 1999), describen detalladamente cada una de estas técnicas de análisis multivariado.

Para cada agrupamiento de días se obtuvieron los patrones sinópticos medios de presión al nivel medio del mar entre los 15° - 50° Latitud Norte y los 60° - 110° Longitud Oeste y cortes verticales de diferentes variables meteorológicas a partir del sitio: http://www.esrl.noaa.gov, referidos desde el nivel de 1000 hPa hasta los 300 hPa en el área comprendida entre las coordenadas 21º - 23º Latitud Norte y 80º - 85º Longitud Oeste, donde se enmarca el territorio de la Isla de la Juventud, tomando como referencia en la discusión las anomalías troposféricas referentes a las coordenadas 21.4° LN y 82.6 LW posición en que se ubica aproximadamente el centro de la Isla de la Juventud, ambos en el horario 12: 00 UTC.

3. Resultados y discusión

Durante el período de estudio la estación 324 posee el valor medio más elevado y la mayor variabilidad en el comportamiento de la Tn, lo que se puede apreciar en los valores de Tn media y de desviación estándar (Desv. St), mostrados en la Tabla II.

Tabla II. Análisis para la muestra general (noviembre – abril)

No. Estación	Casos nov-abr	Tn media (ºC)	Desv. St (ºC)
78 309	1926	20,1	2,7
78 321	2712	19,6	2,6
78 324	2682	20,8	3,0

En la figura 1, se puede observar que el bimestre enero – febrero para las tres estaciones meteorológicas posee las Tn media más baja de todo el período y la mayor variabilidad, esto pudiera deberse a la mayor afectación de Sistemas Frontales durante este bimestre; García (2009), determinó la frecuencia absoluta mensual de afectación de un sistema frontal en las provincias habaneras atendiendo a la clasificación por intensidad de los vientos, el autor realizó el estudio desde septiembre hasta junio en el período 1917 – 2008. Sus resultados confirmaron que el bimestre enero – febrero presenta la máxima afectación de frentes fríos fuertes y moderados, aunque en el mes de diciembre es mayor la afectación de frentes fríos débiles. Paralelamente, la estación 324 se diferencia de las restantes dos estaciones por mayores valores de Tn media y desviación estándar para todo el periodo. La ubicación geográfica de esta estación a solo metros de la línea costera, puede ser un factor determinante en este sentido.

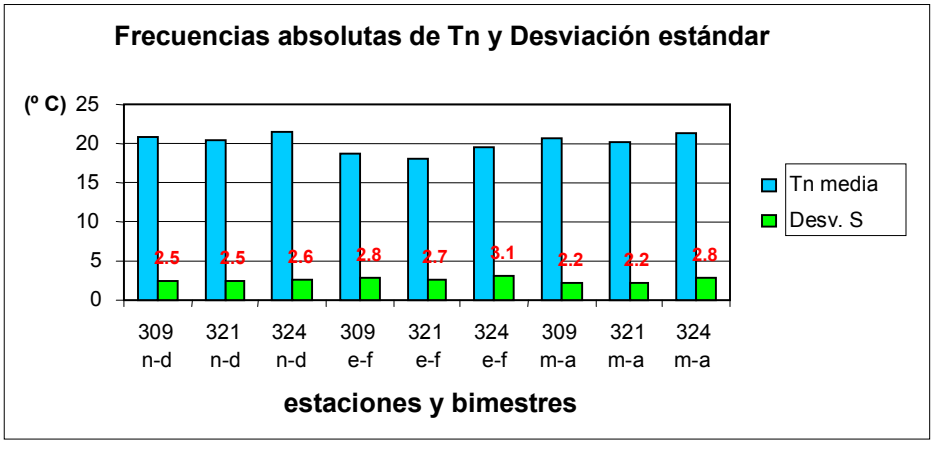


Fig. 1. Comportamiento de Tn media y la Desviación Estándar

El siguiente gráfico en forma de árbol **(Fig. 2),** muestra la agrupación por estaciones después del análisis jerárquico, las estaciones 309 y 321 constituyen un grupo, mientras la estación 324 se encuentra completamente alejada formando un grupo individual, lo que demuestra el carácter diferenciado del comportamiento de la Tn en esta estación según este criterio.

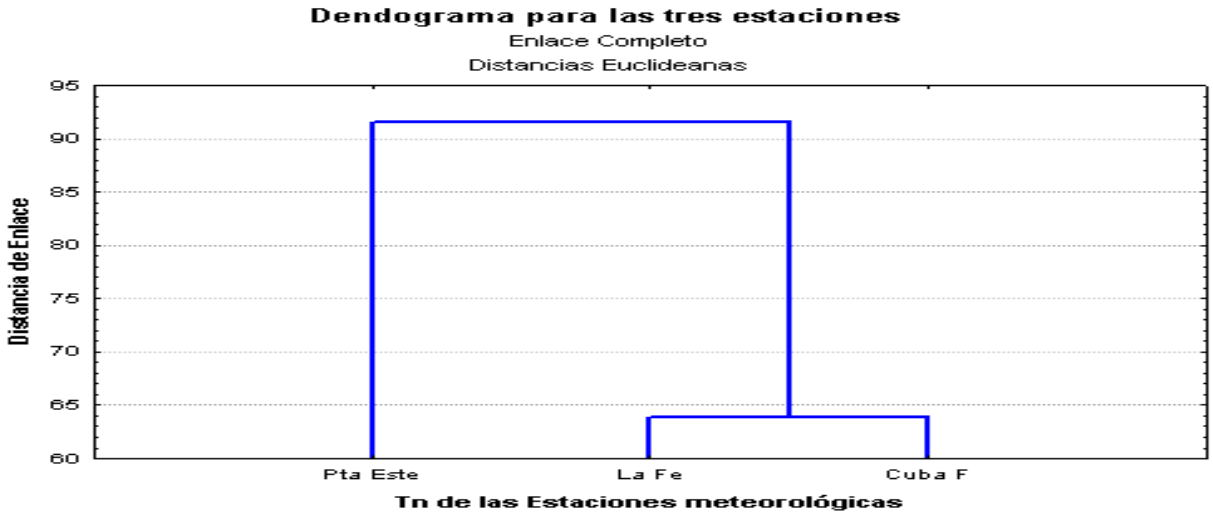


Fig. 2. Gráfico de árbol

Se obtuvieron cuatro grupos de días con comportamiento diferenciado de acuerdo a las temperaturas mínimas medias obtenidas para el período estudiado y se analizaron 4388 casos. En la figura 3 se representa el comportamiento de cada cluster obtenido. El cluster 1 se destaca por agrupar los días más fríos, que representan el 7.4% de la muestra total y contiene los valores desde 13.8 °C hasta 14.3 °C. En el cluster 2 se agrupa el 20.3% con rangos entre 17.2 °C y 18.4 °C y el cluster 3 contiene la mayor cantidad de casos que representan el 39.5% del total con temperaturas entre 19.7 °C y 20.7 °C; mientras en el cluster 4 se encuentran los valores más elevados de la variable, que representan el 32.8% con temperaturas entre 21.4 °C y 23.4 °C.

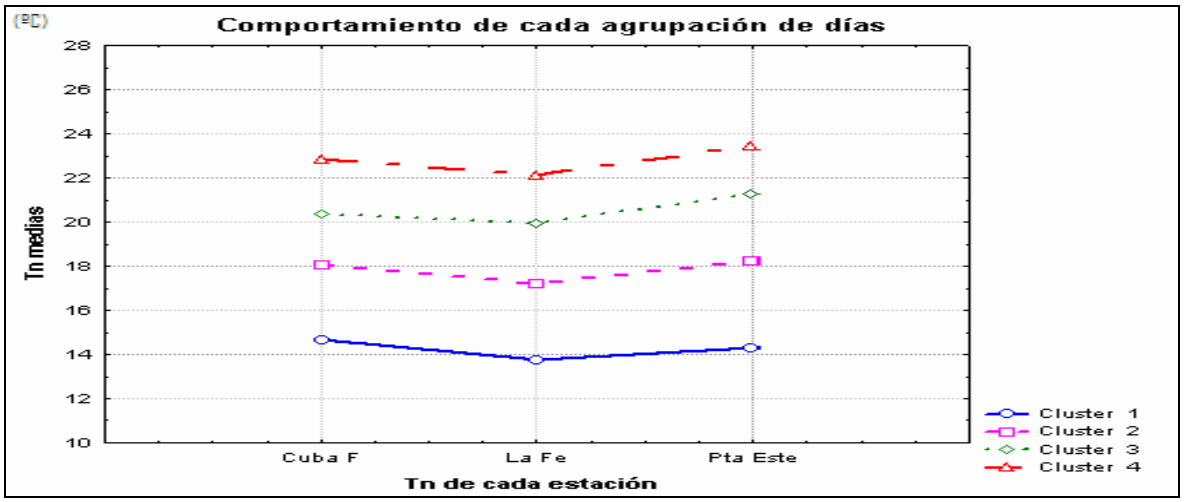


Fig. 3. Tn media para cada cluster de días

3.1 Análisis de la frecuencia de la hora de ocurrencia de la temperatura mínima en las estaciones estudiadas

Generalmente, la temperatura mínima absoluta diaria ocurre cerca del amanecer, momento en el cual existe un máximo de irradiación de la superficie terrestre. No obstante; esto no siempre ocurre, pues después de la entrada de un sistema frontal, la advección de aire frío es un factor modificador de este régimen, unido a cambios en la cobertura nubosa y condiciones locales. Por ello que se decidió hacer un estudio de la frecuencia de las horas en que se registran las temperaturas mínimas en cada estación para todo el período observando al mismo tiempo la marcha diaria en cada estación, (**Fig.4**).

La mayor frecuencia absoluta de ocurrencia de la temperatura mínima absoluta diaria para las estaciones meteorológicas en estudio ocurre entre las 5:00 y las 8:00 de la mañana. Sin embargo, hacia finales de la noche y primeras horas de la madrugada se observa un nuevo incremento en la frecuencia absoluta, hecho que resulta más significativo en la estación 324.

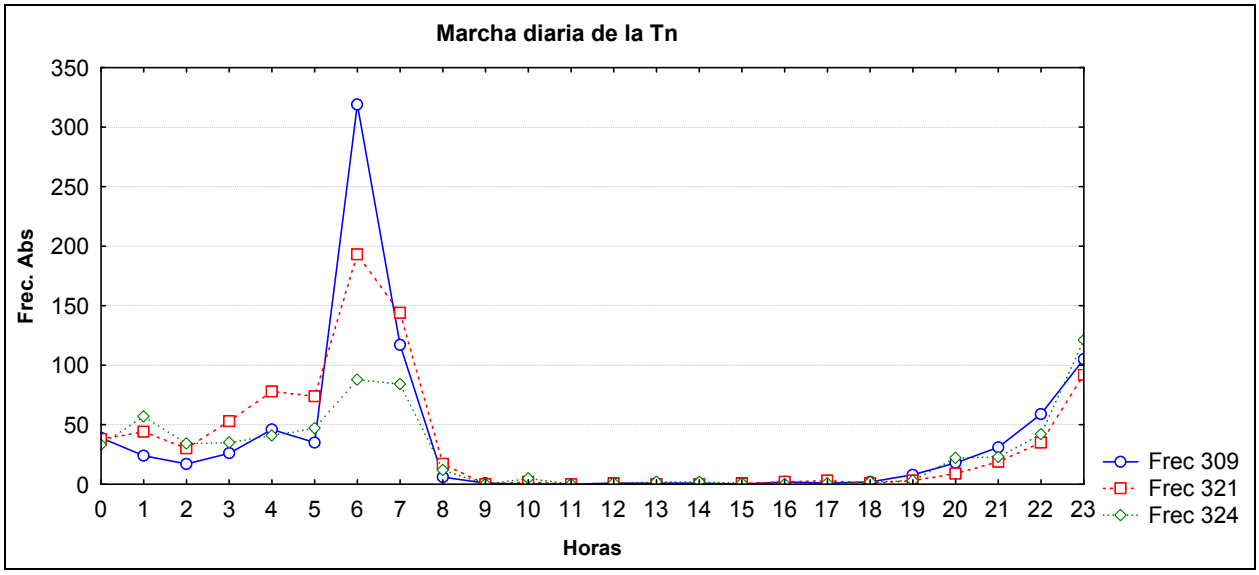
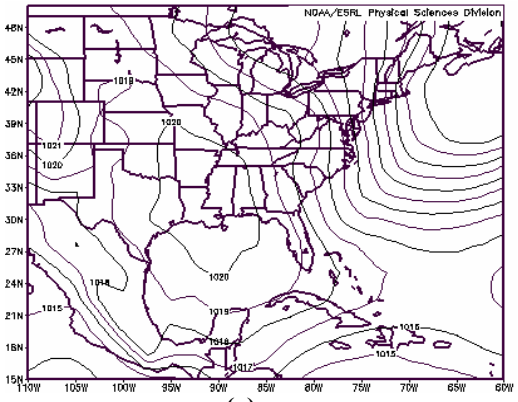


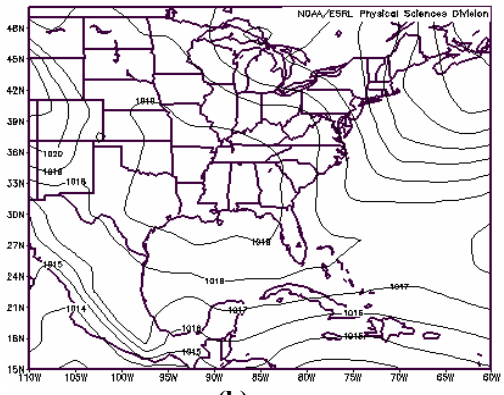
Fig. 4. Frecuencias absolutas del horario de ocurrencia de la Tn

3.2 Patrones sinópticos en superficie

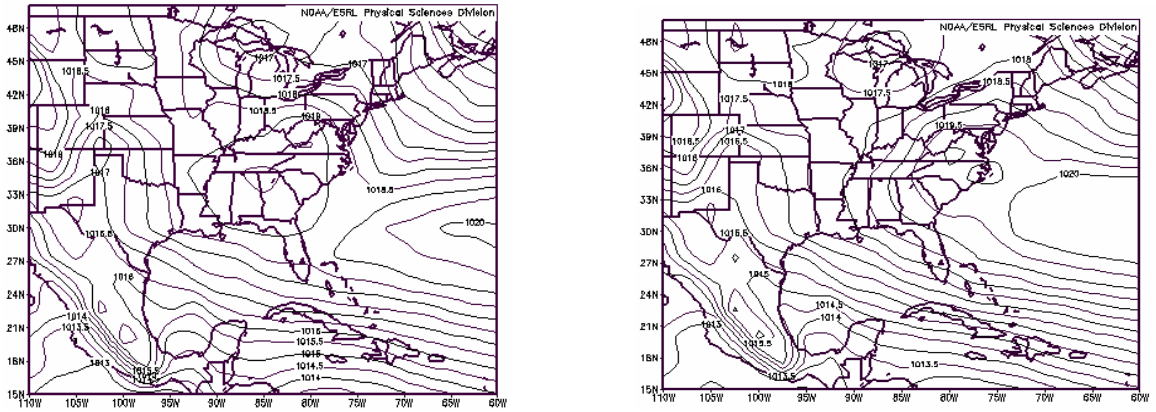
Con el propósito de analizar los sistemas sinópticos asociados al comportamiento de cada agrupación de días, se obtuvieron los mapas medios de presión atmosférica a las 12:00 UTC (7:00am) que como promedio resultó ser el horario de mayor frecuencia de ocurrencia de la temperatura mínima absoluta diaria para la Isla de la Juventud.



(a)



(b)



(c) **(d)**

Fig. 5. Mapas medios de la presión atmosférica al nivel del mar (hPa) a las 12:00 UTC para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b), Cluster 3 (c), Cluster 4 (d).

El cluster 1 está relacionado con la influencia de un sistema anticiclónico con centro de 1020 hPa que cubre el sudeste de los Estados Unidos y la mitad central del Golfo de México, mientras que en el cluster 2, el centro anticiclónico se haya más desplazado hacia el norte con menor intensidad. En el mapa asociado al cluster 3 se observa un centro anticiclónico secundario en el este de los Estados Unidos, mientras el centro principal se localiza sobre aguas del Océano Atlántico. En el cluster 4, el centro secundario se halla más desplazado hacia el este integrándose al centro principal, que se encuentra más debilitado en el Atlántico.

3.3 Análisis de los cortes verticales obtenidos

Para cada patrón sinóptico se obtuvieron los cortes verticales de las anomalías de temperatura y humedad relativa desde los 1000 hPa hasta 300 hPa a las 12:00 UTC (7:00 am) hora en la que se registró como promedio el mayor número de casos de ocurrencia de temperatura mínima absoluta diaria. Los cortes fueron obtenidos para todo el período.

3.3.1 Cortes verticales de la temperatura del aire (T)

En el corte vertical de la anomalía de la temperatura del aire (Fig. 6), del cluster 1, se observa una capa fría, que se extiende desde 900 hPa hasta aproximadamente 970 hPa con anomalías del orden de -3° C. En el cluster 2 las mayores anomalías se localizaron entre 850 hPa y la superficie con valores alrededor de -1° C. En el caso del cluster 3 se observa un calentamiento en la troposfera baja con anomalías positivas de la temperatura en toda la vertical y por último el cluster 4 agrupa los valores más elevados y en consecuencia en el corte vertical existen anomalías positivas en toda la estructura vertical donde es significativa una capa con valores anómalos positivos del orden de 1° C. Estos resultados están en correspondencia con el comportamiento térmico de cada agrupación de días obtenidos.

3.3.2 Cortes verticales de la humedad relativa (Hr)

La humedad relativa (Hr) para el cluster 1 presenta anomalías negativas por encima de los 900 hPa; por debajo de este nivel, hasta los 950 hPa se observa una capa de anomalías positivas del orden del 9 % cambiando nuevamente en superficie, donde ocurren anomalías negativas cercanas a - 5 %. En el cluster 2 se observan entre 900 hPa y 950 hPa, al igual que en el cluster 1, anomalías positivas de la (Hr) pero con valores cercanos al 2%, mientras que en superficie se destacan anomalías negativas con una disminución cercana a un 2%. En el cluster 3 existe un proceso de transición y finalmente el cluster 4 se comporta completamente diferente a los cortes realizados para los cluster 1 y 2, pues invierte las situaciones anteriores; es decir, entre 900 hPa y 950 hPa se localiza una capa (espesor 150 hPa) con anomalías negativas de la humedad relativa cercanas a - 3%. Por encima de 900 hPa las anomalías son positivas y en superficie vuelven a serlo pero con valores muy pequeños de alrededor de 1%.

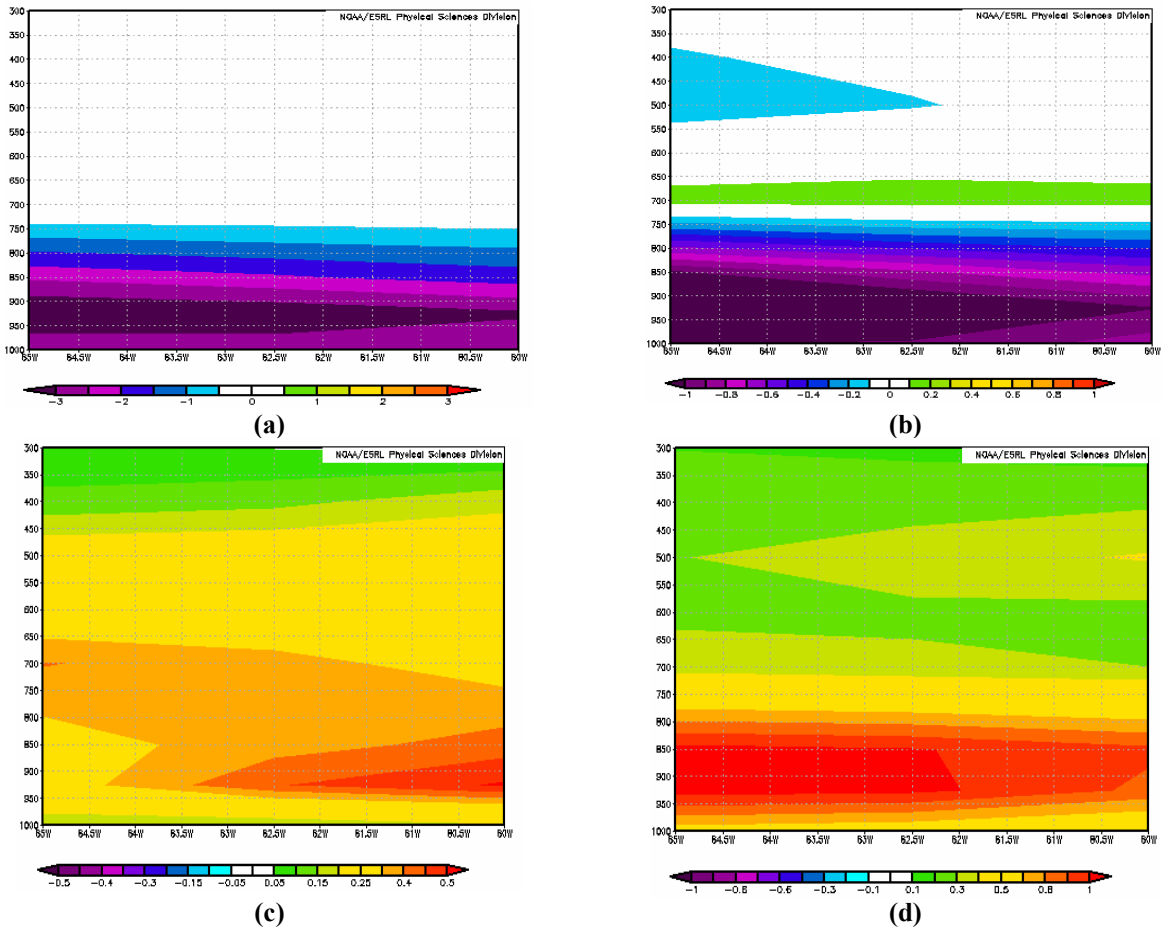


Fig. 6. Corte vertical de la anomalía de la temperatura (º C) para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b), Cluster 3 (c), Cluster 4 (d)

De acuerdo a lo analizado por (González y Ballester, 2007), se obtuvo una relación inversa correspondiente entre el comportamiento de la humedad relativa en 925 hPa y la temperatura mínima en superficie. El descenso de la temperatura mínima ocurre cuando una cuña de aire frío penetra por el nivel de 925 hPa y existen altos valores de humedad relativa (anomalías positivas de Hr), mientras en superficie se manifiesta una capa seca (anomalías negativas de Hr). Para los días donde se registran valores elevados en la (Tn) la situación se invierte. En 925 hPa, como nivel promedio, se encuentra una capa con anomalías positivas de la temperatura y a su vez anomalías negativas de la Hr mientras en superficie aumentan los valores de esta, (ver Fig.7).

3.3.3 Cortes verticales del viento zonal (U)

En el cluster 1 se observan anomalías positivas de (U) en toda la columna troposférica; es decir vientos del oeste por encima de la norma están presentes en la agrupación de días más fríos, los que presentan valores anómalos alrededor de 3 m/s. El cluster 2 presenta anomalías positivas en todos los niveles pero los niveles anómalos descienden hasta valores de 0.8 m/s en el meridiano 82.6º LW, que cruza sobre la Isla de la Juventud lo que representa la influencia de oestes débiles. Las diferencias en el viento zonal comienzan en el cluster 3, donde se manifiestan anomalías negativas hasta los 83º LW destacándose sobre la Isla de la Juventud valores de - 0.4 m/s desde los 850 hPa hasta 300 hPa. Estos valores de las anomalías resultan más significativos que en los clusters anteriores. El cluster 4 presenta anomalías negativas en toda la columna troposférica con valores anómalos cercanos a - 2 m/s sobre el territorio en estudio, lo que significa la influencia de vientos de región este asociados a la influencia anticiclónica que arrastran calor, (ver Fig. 8).

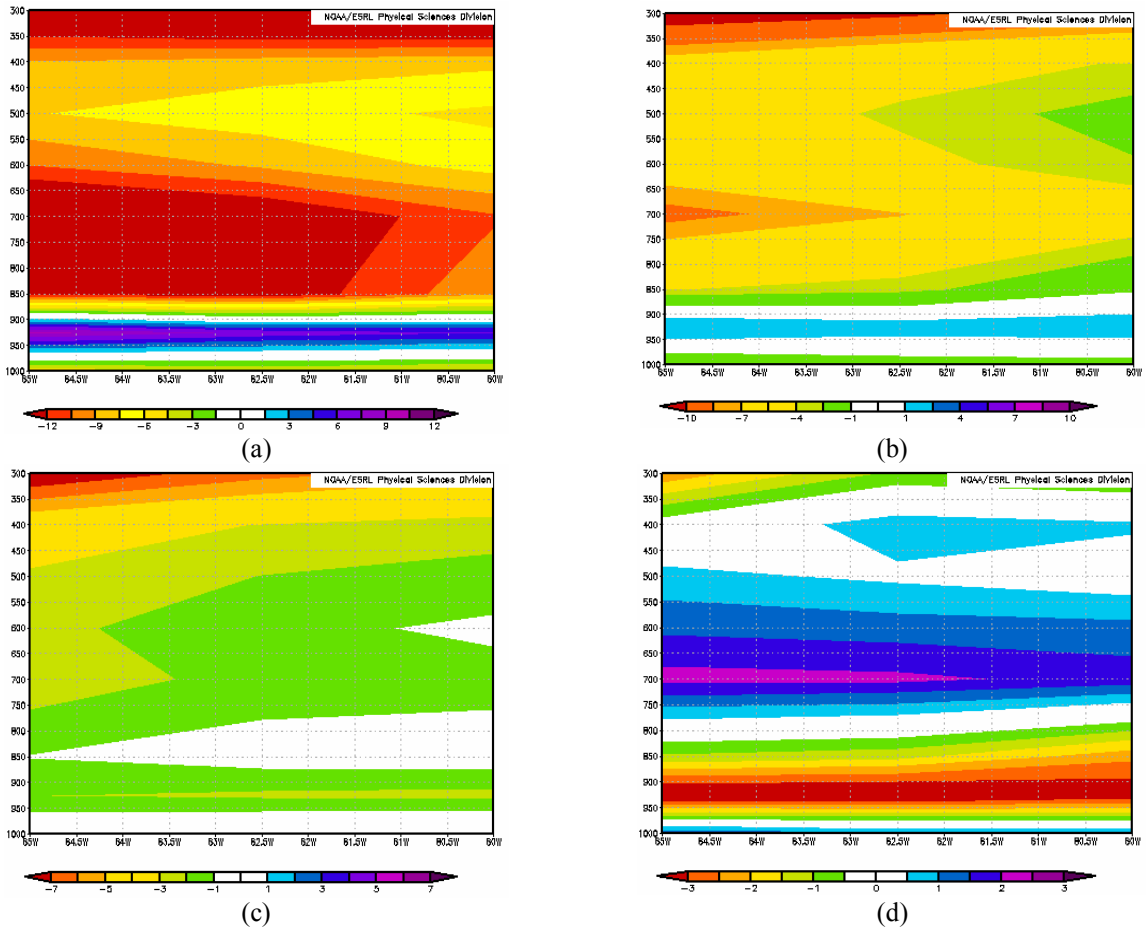


Fig. 7. Corte vertical de la anomalía de la humedad relativa (%) para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b), Cluster 3 (c), Cluster 4 (d)

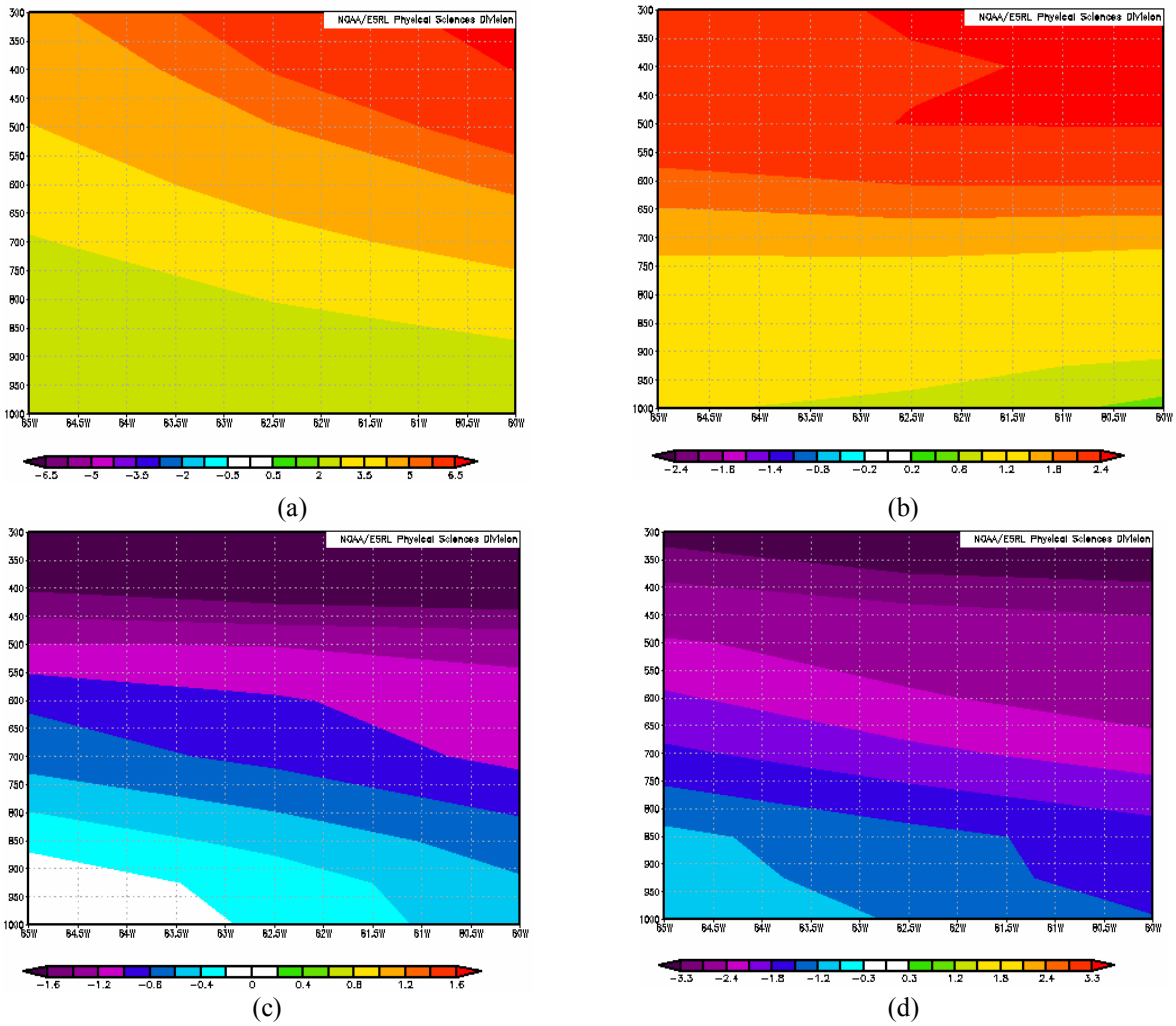


Fig. 8. Corte vertical de la anomalía de la componente zonal del viento (m/s) para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b), Cluster 3 (c), Cluster 4 (d)

3.3.4 Cortes verticales del viento meridional (V)

El cluster 1 muestra anomalías negativas de (V) desde la 1000 hPa hasta 300 hPa, con valores anómalos de (- 3.5) m/s, los que son uniformes desde 900 hPa hasta la superficie, lo que explica el predominio de vientos de región norte. En el cluster 2, las anomalías son negativas al igual que en el cluster 1; pero con valores inferiores en superficie cercanos a (- 2) m/s. Esto equivale a la influencia de nortes más débiles, que en el cluster 3 resultan mucho más débiles; este último muestra pequeñas anomalías negativas en superficie y cambios positivos y negativos en toda la columna troposférica. Contrariamente, el cluster 4 se comporta con anomalías positivas más significativas entre los niveles 900 hPa y 950 hPa del orden de 0.9 m/s por lo cual la presencia de vientos de región sur están presentes aportando calor, (ver Fig. 9).

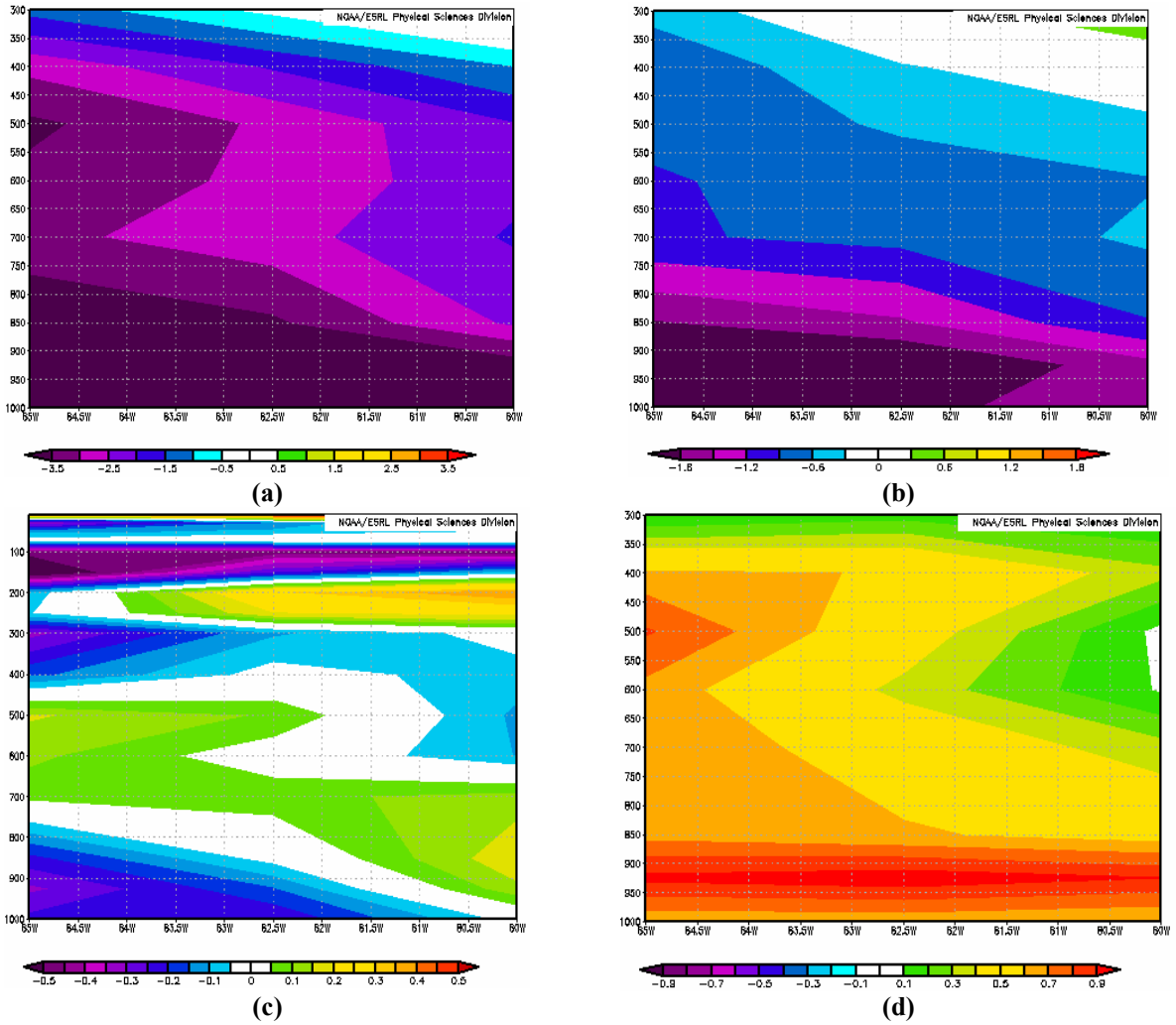


Fig. 9. Corte vertical de anomalía de la componente meridional del viento (m/s) para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b), Cluster 3 (c), Cluster 4 (d)

Conclusiones

- Las estaciones meteorológicas de la Isla de la Juventud conforman dos grupos, uno integrado por las estaciones de La Fé y Cuba Francia y otro alejado formado por la estación Punta del Este de acuerdo al carácter diferenciado en el comportamiento de la temperatura mínima media.
- En el bimestre enero – febrero se registran los valores más bajos de temperatura mínima media, lo que coincide con resultados previos obtenidos para otras zonas del país.
- Se obtuvieron cuatro agrupaciones de días con diferencias térmicas y para cada caso el patrón de presión en superficie varía, destacándose en el cluster uno la presencia de un centro anticiclónico en el sudeste de los Estados Unidos y parte del Golfo de México con influencia predominante de aire frío de región norte, todo lo contrario caracteriza al cluster cuatro que agrupa los día más cálidos y donde el centro del sistema de altas presiones se encuentra alejado en el Atlántico y la componente zonal del viento predominante es

del este.

- Como promedio el nivel de 925 hPa, es la superficie isobárica de mayor contraste en los campos de temperatura, humedad relativa , viento zonal y meridional en la capa 1000 – 300 hPa, con comportamiento inverso de la temperatura y la humedad relativa.
- La mayor frecuencia absoluta de la hora de ocurrencia de la temperatura mínima se registra cerca del amanecer, (6:00 – 8:00 de la mañana), en correspondencia con lo señalado en la literatura especializada a nivel internacional.

Recomendaciones

Debe profundizarse en la influencia de los factores físico - geográficos en el comportamiento de la temperatura mínima y los factores que influyen en su hora de ocurrencia.

Agradecimientos

Al Centro del Clima del Instituto de Meteorología de Cuba y al Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud por el aporte de los datos utilizados.

Referencias

García, V. A. E., (2009): Comportamiento del las temporadas invernales y los Frentes Fríos Débiles, Moderados y Fuertes que han afectado a las provincias habaneras desde la temporada 1916 – 1917 hasta la temporada 2007 – 2008. V Congreso Cubano de Meteorología, 2009. Memorias [CD-ROM], La Habana, 30 de noviembre – 4 de diciembre, pp. ISBN 978-959-7167-20-4.

González, S. J y M. B. Pérez. (2007): Comportamiento espacial de las temperaturas mínimas en Ciudad de la Habana, La Habana y Matanzas en el bimestre enero – febrero y su relación con los patrones sinópticos. IV Congreso Cubano de Meteorología, 2007. Memorias [CD-ROM], La Habana, 4 -8 diciembre, pp. ISBN 2.978-959-7167-12-9.

Fernández, A. J y Y. A. Díaz (2005): Catálogo de procesos Sinópticos del Archipiélago Cubano en el período 1979-1993. INSMET, Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, 167 pp.

Hair, F, J., R. E. Anderson., R. L. Thatam and W. C. Black: Análisis Multivariante 5ta Edic. 1999, Edit. Prentice Hall, Madrid, 143 – 204 y 491 - 531.

Imágenes de los reanálisis obtenidas del NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado, del sitio web: http://www.esrl.noaa.gov

Instituto de Meteorología (2000): Manual de Procedimientos. Sistema Nacional de Pronósticos. Centro de Pronósticos. Ciudad de La Habana. 61 pp.

Lecha, L., L. R, Paz y B. P. Lapinel (1987): El Clima de Cuba. Edic 1994, Edit. Academia., La Habana, 186 pp.

Mojena, E., L. Yánez, C., Góngora, H., Torrez, A. Ortega y V.H Bastida (2002): Pronósticos de temperaturas máximas y mínimas después del paso de los frentes fríos (SATEM). *Revista Cubana de Meteorología*, 9 (2): 54-