

Agrupamiento de las estaciones meteorológicas del occidente de Cuba según el comportamiento de la temperatura mínima. Patrones sinópticos asociados

Janny González-Socorro^{*(1)}, Maritza Ballester-Pérez⁽¹⁾ y Rogert Sorí-Gómez⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Meteorología, Loma de Casa Blanca, Regla, La Habana, Cuba. E-mail: janny.gonzalez@insmet.cu, maritza.ballester@insmet.cu

⁽²⁾ Centro Meteorológico Provincial, Ciego de Ávila, Cuba. E-mail: rogert.sori@cav.insmet.cu

Recibido: abril 13, 2013	Aceptado: junio 30, 2013
--------------------------	--------------------------

Resumen

Se determinaron cuatro grupos de estaciones meteorológicas de la región occidental de Cuba según el comportamiento de la temperatura mínima durante los meses desde noviembre hasta abril del período 1990-2005. Se distinguen además tres grupos de días con comportamientos similares de esta variable. Para agrupar las estaciones se implementaron los métodos de clasificación: jerárquico y de repartición (K-medias) y para el estudio de los patrones sinópticos se aplicó solo el método de las K-medias. El análisis de la columna troposférica muestra que los mayores contrastes se encuentran justamente entre los grupos 1 (más frío) y 3 (más cálido), donde se destaca en general la superficie isobárica de 925 hPa. En este nivel ocurren los principales cambios en la estructura de los campos de temperatura y humedad relativa, por lo que es recomendable tenerlo en cuenta en los pronósticos de la temperatura mínima.

Palabras clave: temperatura mínima, patrones sinópticos

Grouping of meteorological stations of western Cuba as the minimum temperature behavior. Associated synoptic patterns

Abstract

Four groups of meteorological stations in the western region of Cuba were determined as the behavior of the minimum temperature during the months from November to April of period 1990-2005. It also distinguished three groups of days with similar behavior of this variable. To group the stations were implemented classification methods: hierarchical and distribution (K-means) and to study the synoptic patterns was applied only K-means method. The tropospheric column analysis shows that the greatest contrasts are just between groups 1 (colder) and 3 (warmer), which highlights general isobaric surface of 925 hPa. At this level the main changes occur in the structure of the temperature and relative humidity fields, so it is advisable to take this into account in forecasting the minimum temperature.

Key words: minimum temperature, synoptic patterns.

1. Introducción

La influencia de las masas de aire frío y las características físico-geográficas, son factores decisivos para que se registren temperaturas mínimas notables, principalmente en zonas del interior y sur de la región occidental del país. Sin embargo, son significativas las diferencias en el comportamiento de esta variable entre las estaciones meteorológicas de dicha región, donde se registró el récord absoluto de 0.6 °C en la estación de Bainoa, Mayabeque, el 18 de febrero de 1996.

También, hay factores dentro de la misma masa de aire que pueden diversificar los valores de temperaturas mínimas, introduciendo gran variabilidad en su registro. Algunos de esos factores son la velocidad y la dirección del viento, humedad relativa, nubosidad y las características del suelo subyacente.

Como antecedente de este trabajo González y Ballester (2007) analizaron el comportamiento espacial de las temperaturas mínimas en Ciudad de La Habana, La Habana (en la actualidad La Habana, Artemisa y Mayabeque) y Matanzas en el bimestre enero-febrero y su relación con los patrones sinópticos durante un período de 10 años. En este estudio se obtuvieron cuatro patrones bien diferenciados y se encontró que la mayor variabilidad de la temperatura del aire y de la humedad relativa se produce en la superficie isobárica de 925 hPa, con la correspondiente relación inversa entre ellas.

Sorí (2010) también analizó los patrones sinópticos asociados al comportamiento de las temperaturas mínimas en la Isla de la Juventud y encontró al igual cuatro patrones y los mismos resultados referidos al nivel de 925 hPa.

En el presente trabajo se extiende el estudio a toda la región occidental de Cuba, que comprende las provincias de Pinar del Río, Artemisa, Mayabeque, La Habana, Matanzas y el municipio especial Isla de la Juventud. En él se plantean dos objetivos, primero agrupar las estaciones meteorológicas que se encuentran en esta región de Cuba atendiendo al comportamiento de las temperaturas mínimas y después analizar los patrones sinópticos asociados al comportamiento de esta variable. Los resultados contribuirán a mejorar los pronósticos a corto plazo.

2. Materiales y métodos

Se estudiaron las temperaturas mínimas (T_n) registradas en las estaciones meteorológicas de la región occidental, que se presentan en la [Fig. 1](#).

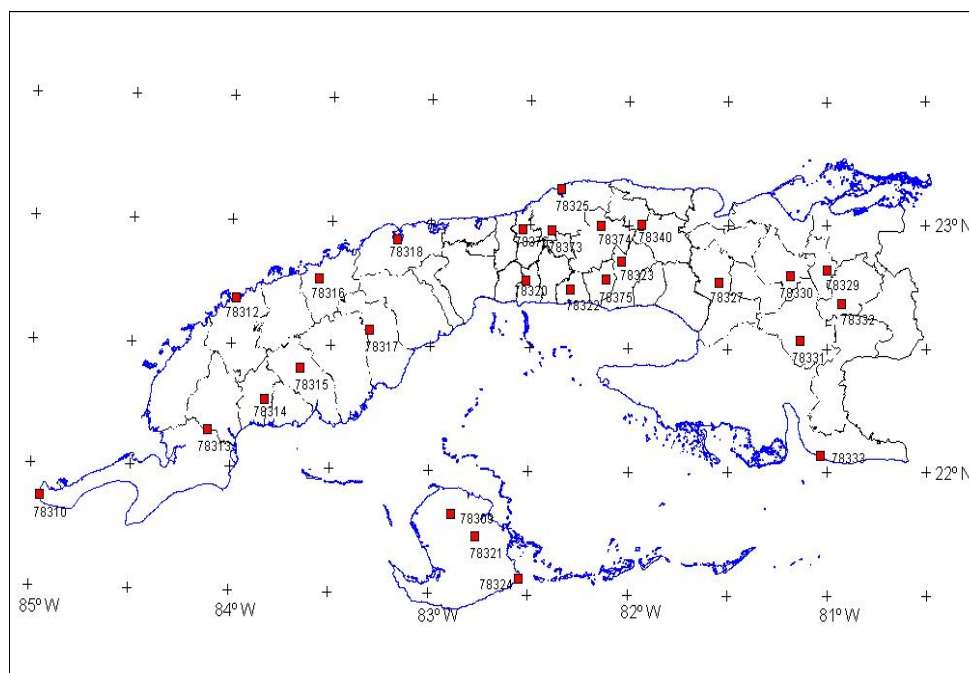


Fig. 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la región occidental de Cuba

La muestra seleccionada la conforman los meses del período poco lluvioso (noviembre - abril) entre 1990 - 2005 para un total de 2719 días, pero como se tomó la decisión de eliminar aquellos días en que faltara información en al menos una estación, quedaron finalmente para el estudio 999 días (casos).

Se debe señalar que la estación de Varadero no se incluyó en el presente trabajo por no contar con las mediciones desde 1990 hasta 1994.

Se aplicó, como técnica exploratoria multivariada, el análisis de “cluster”. Para agrupar las estaciones se

implementaron los métodos de clasificación: jerárquico y de repartición (K-medias) y para el estudio de los patrones sinópticos se aplicó solo el método de las K-medias acorde con la metodología utilizada por González y Ballester (2007) y Sorí (2010).

En el caso de los patrones, después de seleccionados los días que conforman los grupos, se construyeron para cada uno de ellos los campos medios de la presión atmosférica al nivel del mar a las 12:00 UTC. También, se confeccionaron los cortes transversales de la capa 1000 – 300 hPa, que reflejan las anomalías de temperatura, humedad relativa, componentes zonal y meridional del viento tomando la media del período 1968-1996. El corte se realizó entre las latitudes 21-23 °N y las longitudes 80-85 °W. Por último se hicieron los mapas de altura geopotencial en la superficie isobárica de 925 hPa, así como los campos de temperatura del aire, humedad relativa y viento en este nivel del área 15- 0 grados de latitud norte y 60-110 grados de longitud oeste. Toda esta información se extrajo del Proyecto Re - Análisis del NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) (<http://www.cdc.noaa.gov>) y http://nomad3.ncep.noaa.gov/ncep_data/.

3. Resultados y discusión

3.1 Agrupamiento de las estaciones meteorológicas

En la **Fig. 2** se puede observar que se encontraron cuatro grupos bien diferenciados según el método jerárquico. Estos grupos son los siguientes:

1. Indio Hatuey, Jovellanos, Jagüey Grande y Baintoa.
2. Unión de Reyes, Colón, Playa Girón, Tapaste, Güira de Melena, Güines, Batabanó, Melena del Sur y Bauta.
3. Punta del Este, Cuba-Francia, La Fe, Casa Blanca y Cabo de San Antonio.
4. Isabel Rubio, Santiago de las Vegas, San Juan y Martínez, Pinar del Río, Paso Real de San Diego, Santa Lucía, La Palma y Bahía Honda.

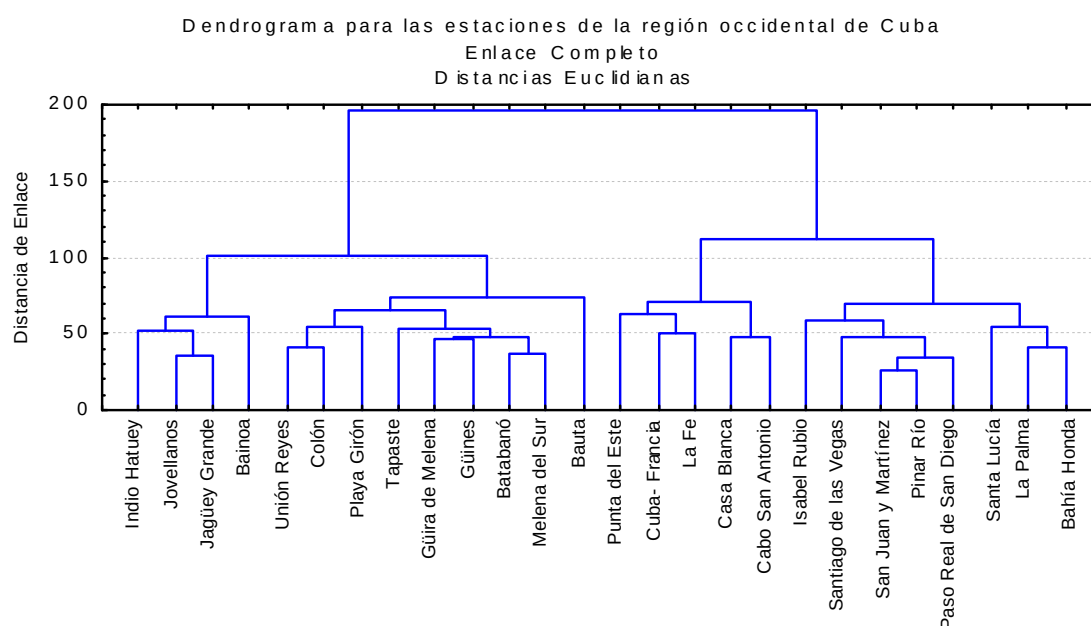


Fig. 2. Análisis jerárquico

En la **Tabla I** se aprecia, que las estaciones pertenecientes al Cluster 3 (Punta del Este, Cuba-Francia, La Fe, Casa Blanca y Cabo de San Antonio) son las de temperatura mínima media más elevada y de menor variabilidad, por lo que es el grupo de estaciones donde la persistencia juega un papel más importante, pues una desviación estándar de ± 2 °C se corresponde con el error medio permisible de un pronóstico de temperatura mínima en el Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología (INSMET). Esto es más aplicable a las estaciones de Casa Blanca y Cabo de San

Antonio con una desviación de 2.2 °C y 2.3 °C, respectivamente.

Tabla I. Temperatura mínima media y desviación estándar de las estaciones meteorológicas de la región occidental

Estaciones Meteorológicas	Tn Media (°C)	Desviación Estándar (°C)
Bahía honda	19.2	2.65
Paso Real de San Diego	18.5	2.74
La Palma	19.0	2.41
Pinar del Río	18.4	2.81
San Juan y Martínez	18.2	2.93
Isabel Rubio	17.8	3.11
Santa Lucía	18.7	2.61
Cabo de San Antonio	20.3	2.38
La Fe	19.6	2.50
Punta del Este	20.7	2.93
Cuba - Francia	20.6	2.44
Bauta	17.1	3.43
Melena del Sur	17.1	3.34
Tapaste	16.8	3.67
Bainoa	15.1	3.72
Güines	16.5	3.45
Batabanó	17.1	3.30
Güira de Melena	16.7	3.57
Santiago de las Vegas	18.0	2.98
Casa Blanca	19.9	2.23
Playa Girón	17.5	3.24
Colón	16.8	3.37
Jagüey Grande	15.8	3.54
Jovellanos	16.2	3.21
Indio Hatuey	15.3	3.65
Unión de Reyes	17.2	3.49

Al aplicar el método de las K-medias para cuatro clusters se obtuvo un resultado similar al anterior. Las distancias euclidianas entre cada cluster presentadas en la [Tabla II](#) están bien definidas y dejan claro la validez del método de asociación. La mayor distancia es entre los cluster 3 y 4, los cuales agrupan a las estaciones que registran las temperaturas mínimas más bajas y más altas, respectivamente.

Tabla II. Distancias euclidianas entre cada cluster

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Cluster 1	0.000000	3.547783	11.00265	4.21095
Cluster. 2	1.883556	0.000000	2.87739	12.91143
Cluster 3	3.317024	1.696286	0.00000	25.00247
Cluster 4	2.052060	3.593248	5.00025	0.00000

También se hizo el mismo análisis por bimestre, pero en general no se encontraron diferencias significativas, por lo que se decidió tomar al análisis general para proponer el nuevo agrupamiento.

Si se compara la nueva propuesta ([Tabla III](#)) con la agrupación vigente ([Tabla IV](#)) se tiene que las estaciones de Batabanó y Playa Girón se incorporan con el resto de las estaciones de la zona interior de Matanzas y de las provincias Artemisa y Mayabeque, quedando independiente un grupo conformado por las tres estaciones de la Isla de la Juventud, Casa Blanca y el Cabo de San Antonio. Estas dos últimas dejan de formar parte del grupo de la zona costera norte de Pinar del Río. Las estaciones de Bainoa, Jovellanos, Jagüey Grande e Indio Hatuey forman un grupo aparte.

Tabla III. Propuesta de agrupamiento para la región occidental

	No. Cluster	Estaciones
Región occidental	1	Bahía Honda, Paso Real de San Diego, La Palma, Pinar del Río, San Juan y Martínez, Isabel Rubio, Santa Lucía y Santiago de las Vegas
	2	Bauta, Melena del Sur, Tapaste, Güines, Batabanó, Güira de Melena, Playa Girón, Colón, Unión de Reyes
	3	Bainoa, Jovellanos, Jagüey Grande, Indio Hatuey
	4	Cabo de San Antonio, La Fe, Punta del Este, Cuba-Francia, Casa Blanca

Tabla IV. Agrupamiento actual (Instituto de Meteorología, 2000)

	No. Cluster	Estaciones
Región occidental	1	Cabo de San Antonio, Bahía Honda, Santa Lucía, Casa Blanca, Varadero
	2	La Palma, Paso Real de San Diego, Pinar del Río, San Juan y Martínez, Isabel Rubio
	3	Bauta, Melena del Sur, Tapaste, Güines, Güira de Melena, Colón, Unión de Reyes, Santiago de las Vegas, Bainoa, Jovellanos, Jagüey Grande, Indio Hatuey
	4	La Fe, Punta del Este, Cuba-Francia, Playa Girón, Batabanó

3.2 Patrones sinópticos

En cuanto a la búsqueda de los patrones sinópticos, se distinguieron tres grupos de días con comportamientos similares de las temperaturas mínimas. El Cluster 1 agrupa los días más fríos y así los valores de temperatura van ascendiendo hasta llegar al Cluster 3, que es el de temperaturas menos frías ([Fig. 3](#)).

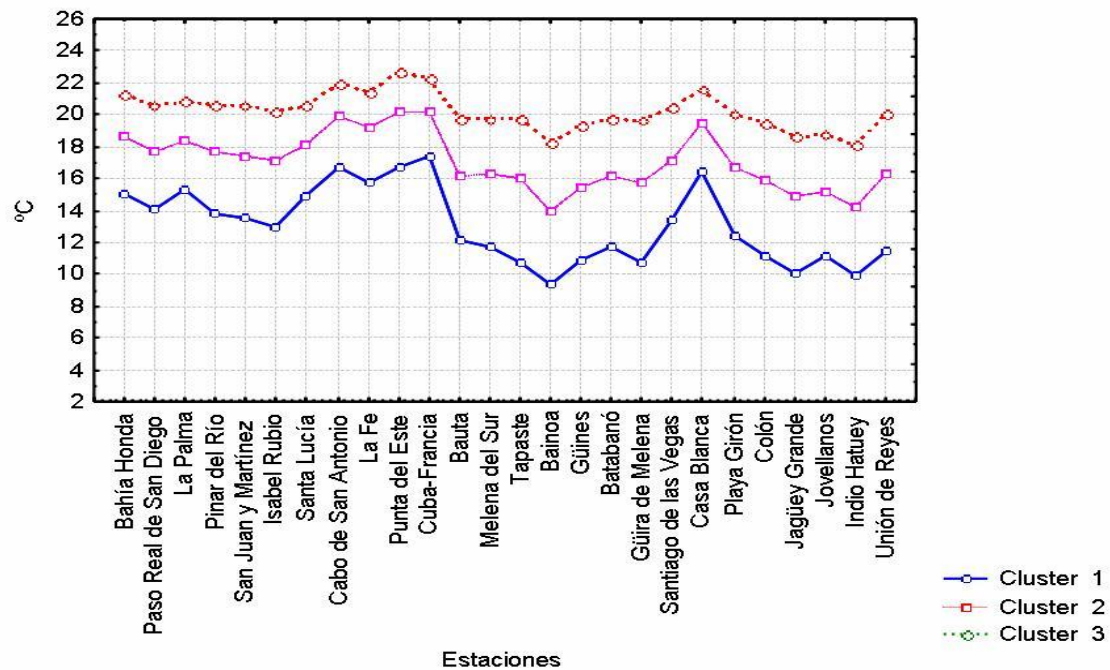


Fig. 3. Agrupación de días para todo el período considerando tres clusters

Las distancias euclidianas entre los resultados de tres agrupaciones se muestran en la [Tabla V](#). El Cluster 1 agrupa el 16.1 % de la muestra, el segundo el 38.2 % y el tercero el 45.6 % de los 999 casos.

Tabla V. Distancias euclidianas entre las agrupaciones para tres clusters

	No. 1	No. 2	No. 3
No. 1	0.000000	16.5187	53.0120
No. 2	4.064323	0.00000	10.3904
No. 3	7.28093	3.2234	0.00000

Partiendo del análisis anterior se obtuvieron los patrones sinópticos para cada uno de los 3 clusters. En la [Fig. 4](#) se presentan los campos resultantes de la presión atmosférica superficial. En el Cluster 1, un centro anticiclónico de 1020 hPa cubre el sudeste de los Estados Unidos, la mitad este del Golfo de México y la región occidental de Cuba ([Fig. 4a](#)), en el Cluster 2 el centro anticiclónico se presenta con igual intensidad pero más al norte, alcanzando su porción sur sólo el norte del Golfo de México ([Fig. 4b](#)). En el caso del Cluster 3, dicho centro se mantiene con igual intensidad pero más al nordeste, próximo a la costa de Carolina del Norte ([Fig. 4c](#)). En estos dos últimos grupos no hay influencia del anticiclón continental sobre Cuba.

Teniendo en cuenta estos patrones de superficie se decidió hacer un corte en la vertical desde la superficie isobárica de 1000 hPa hasta la de 300 hPa con el fin de analizar las diferencias entre los patrones en la columna troposférica, fundamentalmente en la capa fronteriza donde se producen los cambios más significativos de las variables relacionadas con el comportamiento de las temperaturas mínimas.

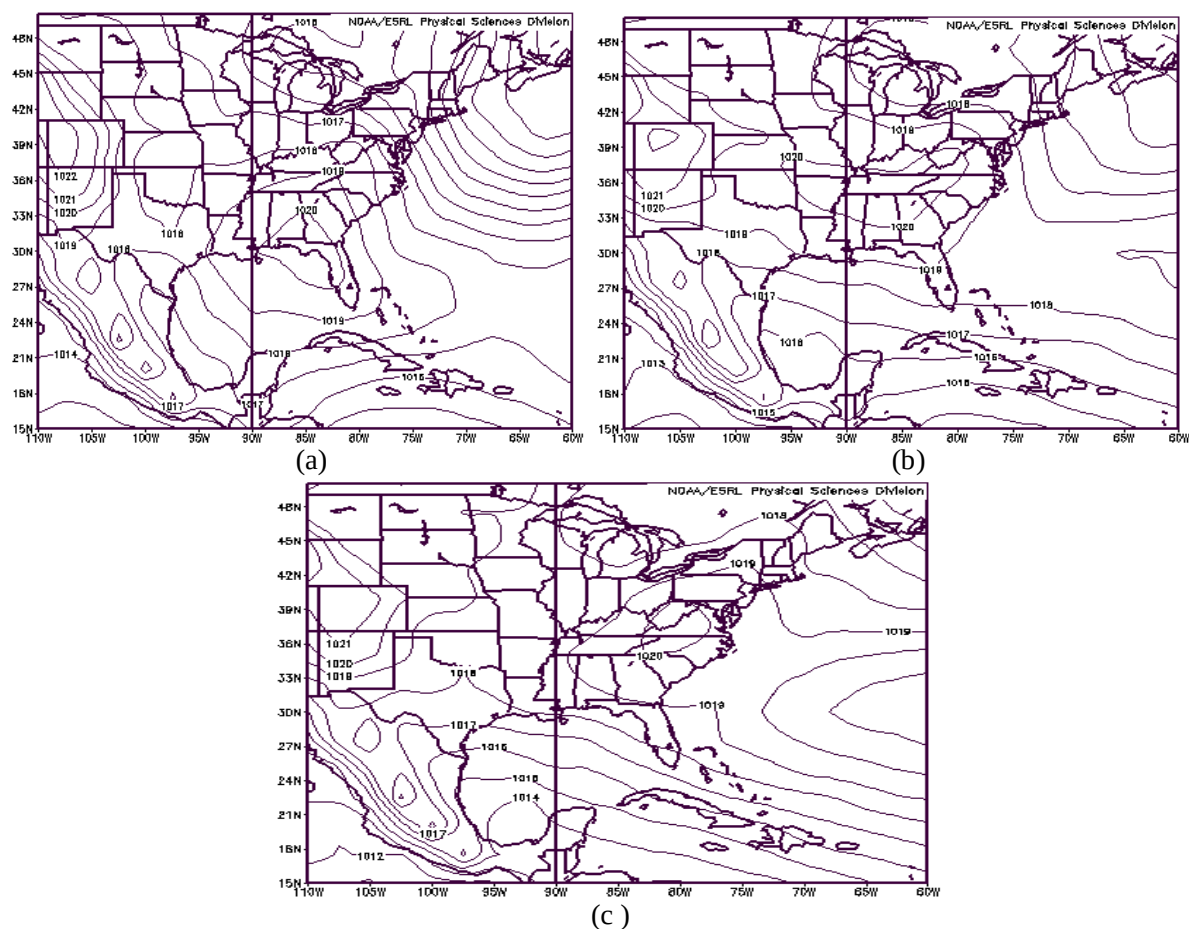


Fig. 4. Mapas medios de la presión atmosférica al nivel del mar (hPa) a las 12:00 UTC para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y Cluster 3 (c)

En los cortes verticales de las anomalías de la temperatura, humedad relativa y componentes del viento confeccionados para cada uno de los cluster, los mayores contrastes se encontraron entre los grupos 1 y 3, destacándose en general la superficie isobárica de 925 hPa.

En el caso de la anomalía de temperatura ([Fig. 5](#)), en el Cluster 1, los valores negativos se extienden aproximadamente desde el nivel de 1000 hPa hasta el de 800 hPa, presentando el núcleo más frío entre 950 - 900 hPa, lo que concuerda con los trabajos de González y Ballester (2007) y Sorí (2010). En el caso del Cluster 2, las anomalías negativas se extienden hasta 700 hPa, aunque en menor grado y el núcleo más frío se localiza en la capa 1000 – 850 hPa. Finalmente, en el grupo 3 las anomalías son positivas en toda la columna troposférica, lo cual se corresponde con el ascenso de las temperaturas mínimas en dicho grupo.

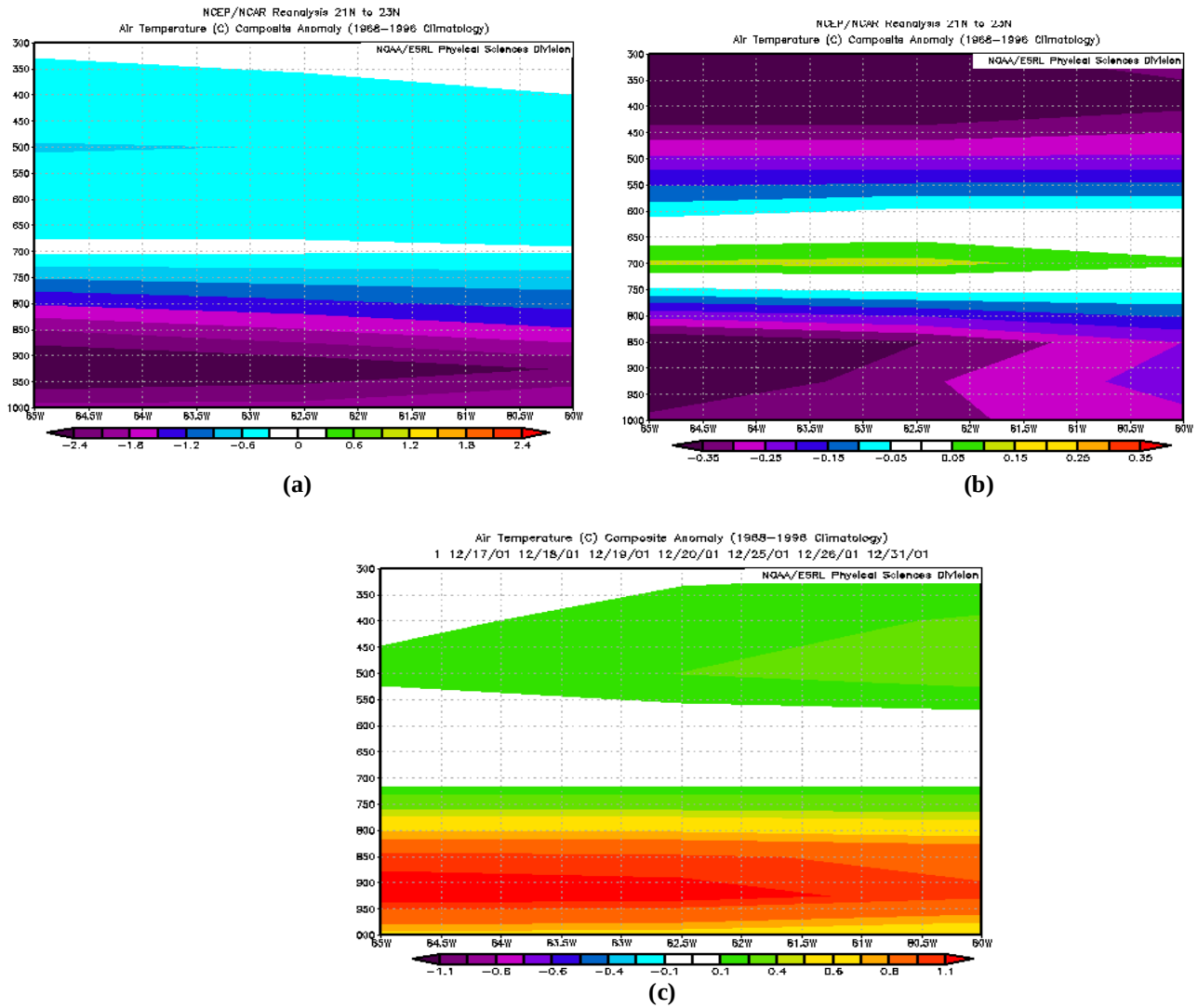


Fig. 5. Corte vertical de la anomalía de la temperatura ($^{\circ}$ C) desde el nivel de 1000 hPa hasta los 300 hPa en el área comprendida entre 21° - 23° de latitud norte y 80° - 85° de longitud oeste para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b), Cluster 3 (c)

En la [Fig. 6](#) se presentan las anomalías de la humedad relativa. La anomalía es positiva en el Cluster 1 en una estrecha capa de la troposfera baja. La capa de aire es más húmeda y se extiende desde el nivel de 950 hPa hasta 900 hPa, con la mayor anomalía en 925 hPa, lo que se relaciona con el enfriamiento manifestado en este nivel. En el Cluster 2, no se observa anomalía y en el grupo 3 la capa de aire es menos húmeda cerca del nivel de 925 hPa, en correspondencia con incremento de las temperaturas mínimas en superficie. Estos resultados también corroboran los obtenidos por González y Ballester (2007) y Sorí (2010).

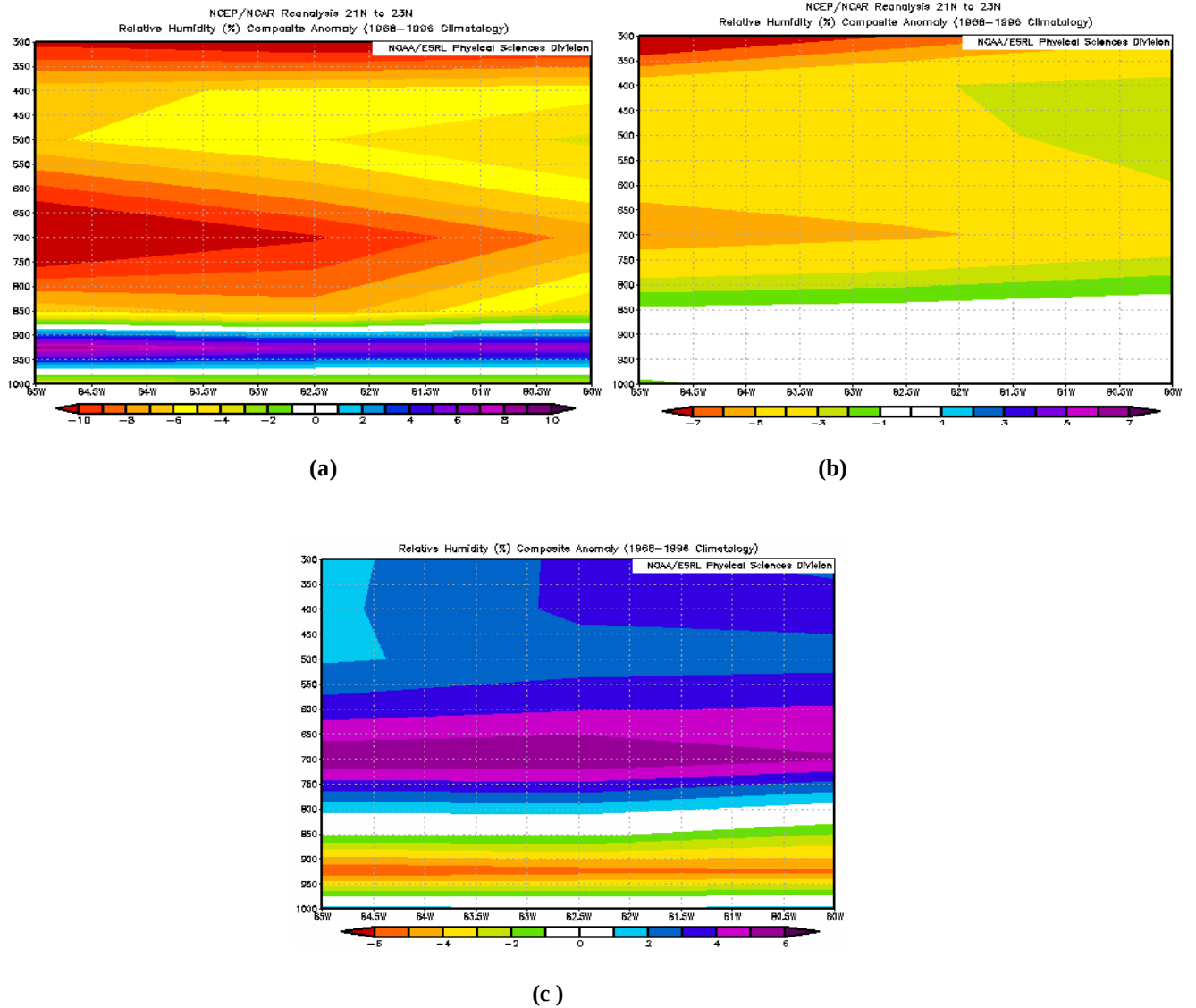


Fig. 6. Corte vertical de la anomalía de la humedad relativa (%) desde el nivel de 1000 hPa hasta el de 300 hPa en el área comprendida entre los 21° - 23° de latitud norte y los 80° - 85° de longitud oeste para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y Cluster 3 (c)

En cuanto a la componente meridional del viento ([Fig. 7](#)), los grupos 1 y 2 presentan anomalías del norte teniendo su máxima expresión en el Cluster 1 en la capa 1000 – 850 hPa. En el caso del grupo 3 la anomalía se torna del sur y se extiende en toda la columna troposférica.

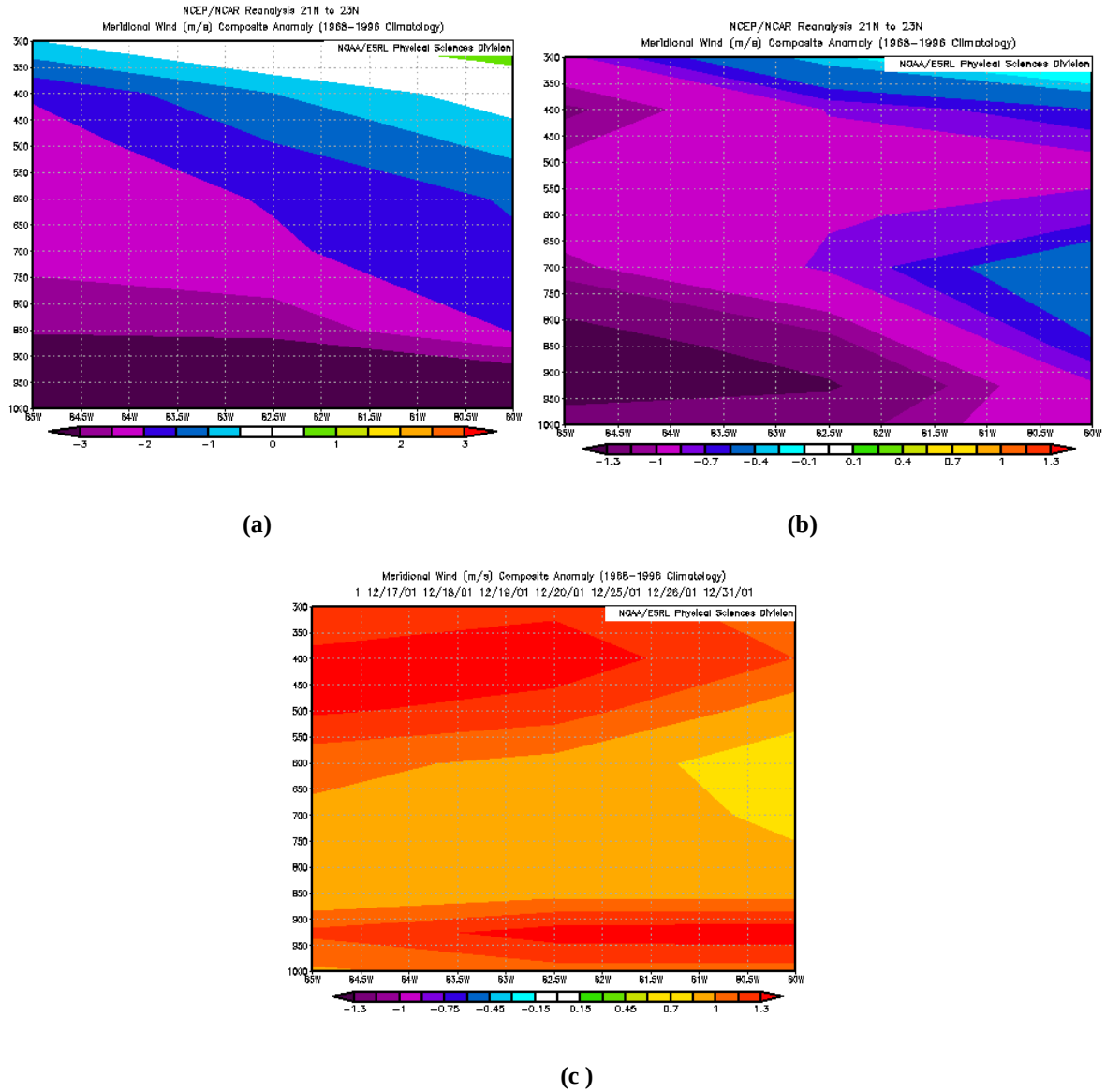


Fig. 7. Corte vertical de anomalía de la componente meridional del viento (m/s) desde el nivel de 1000 hPa hasta el de 300 hPa en el área comprendida entre los 21° - 23° de latitud norte y los 80° - 85° de longitud oeste para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y Cluster 3 (c)

En lo referente a la componente zonal del viento ([Fig. 8](#)), el Cluster 1 tiene un comportamiento normal en la capa 1000 - 800 hPa. En el caso del Cluster 2, la componente predominante es del oeste en toda la columna troposférica, mientras que en el grupo 3 la anomalía se extiende en toda la troposfera.

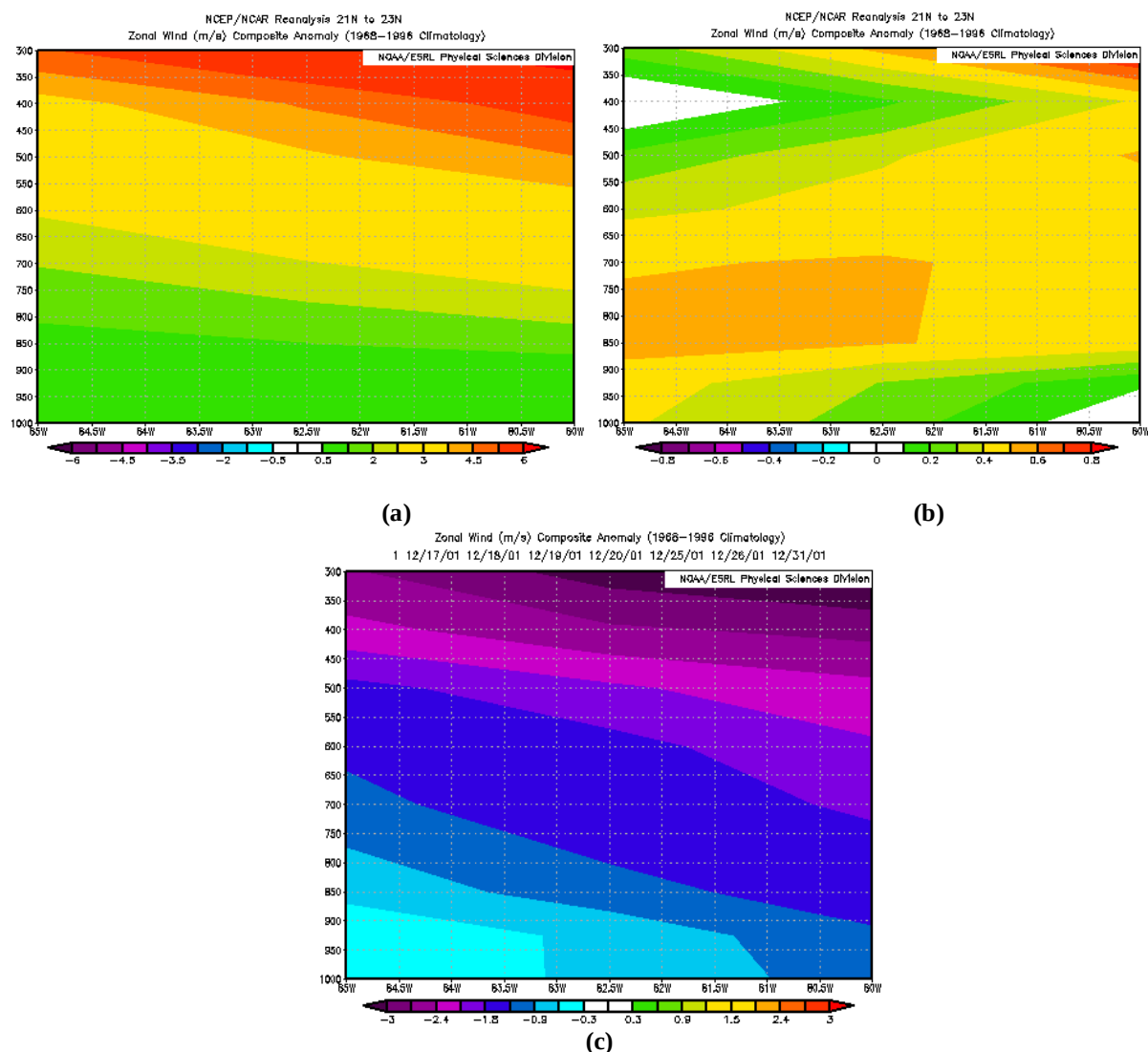


Fig. 8. Corte vertical de la anomalía de la componente zonal del viento (m/s) desde el nivel de 1000 hPa hasta el de 300 hPa en el área comprendida entre los 21 ° - 23 ° de latitud norte y los 80 ° - 85 ° de longitud oeste para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y Cluster 3 (c)

Después de analizar los cortes transversales se decidió analizar con mayor detalle el comportamiento de las variables estudiadas en la superficie isobárica de 925 hPa, por ser el nivel donde se encontraron las anomalías más relevantes, principalmente en el Cluster 1 correspondiente a los días más fríos.

A continuación se analizan los campos de la altura geopotencial, viento, temperatura y la humedad relativa en el nivel de 925 hPa. En el Cluster 1 ([Fig. 9a](#)), se localiza un centro de alto valor de geopotencial de 820 mgp extendido zonalmente desde la porción central del Golfo de México hacia el Atlántico, dejando dentro de su circulación a la Florida, las regiones occidental y central de Cuba y Las Bahamas. En el Cluster 2 ([Fig. 9b](#)) la isohipsa de 820 mgp se extiende sobre el norte de Cuba, por lo que hay menor influencia anticiclónica en comparación con el patrón anterior. En el Cluster 3 ([Fig. 9c](#)) el centro de alto valor de geopotencial se localiza en el Atlántico influyendo la dorsal hasta el Golfo de México; al norte de Cuba se mantiene la isohipsa de 810 mgp.

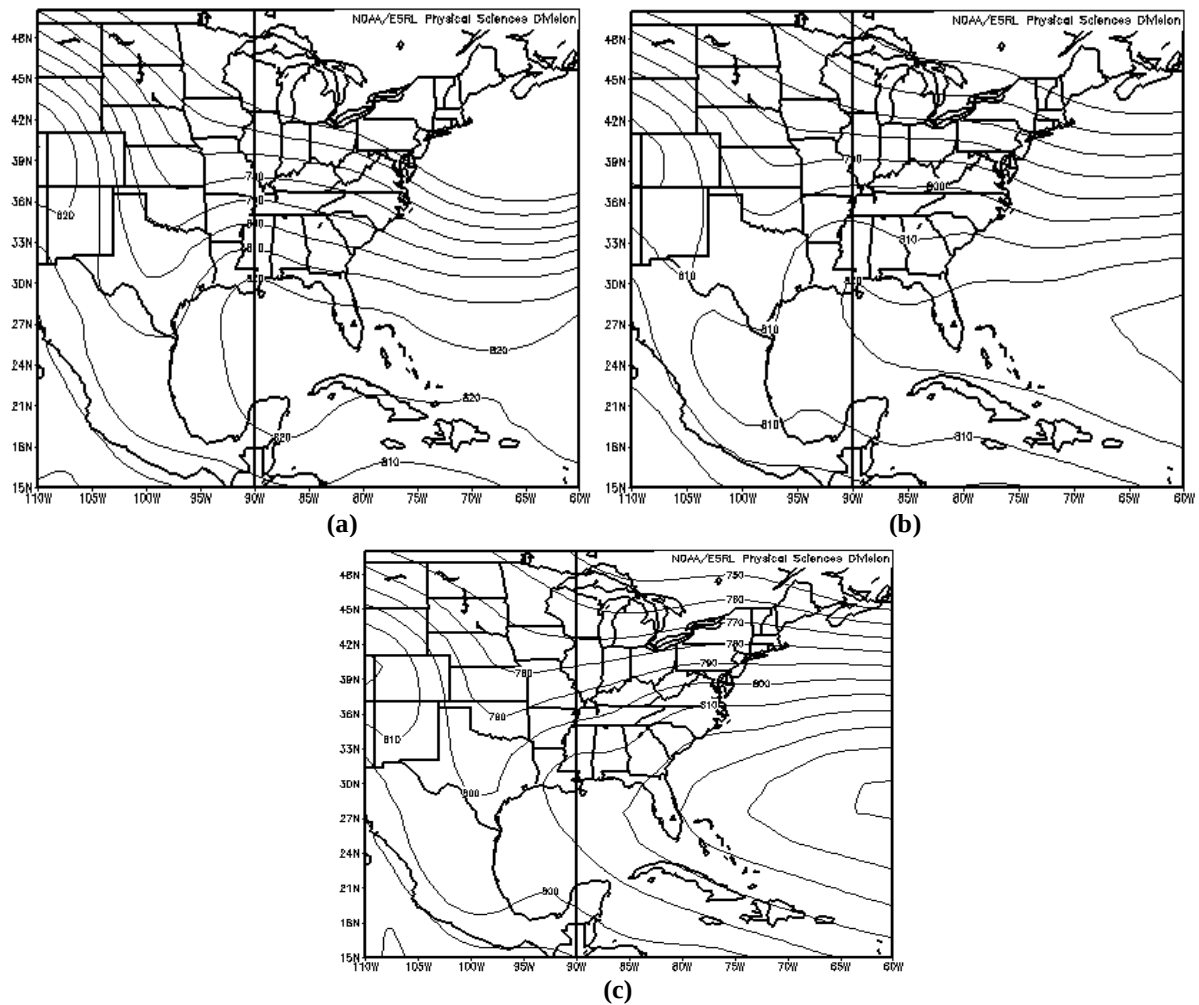


Fig. 9. Altura geopotencial (mgp) en el nivel de 925 hPa a las 12:00 UTC para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y Cluster 3 (c)

Dicho anticiclón en el Cluster 1 ([Fig. 10a](#)) mantiene vientos del nordeste al este sobre la región occidental, con velocidades medias entre 3-4 m/s. En el Cluster 2 ([Fig. 10b](#)), el viento toma una componente más del este y en el 3 ([Fig. 10c](#)) comienzan a tomar una componente del sudeste con tendencia a incrementarse ligeramente la velocidad (4.5-5 m/s).

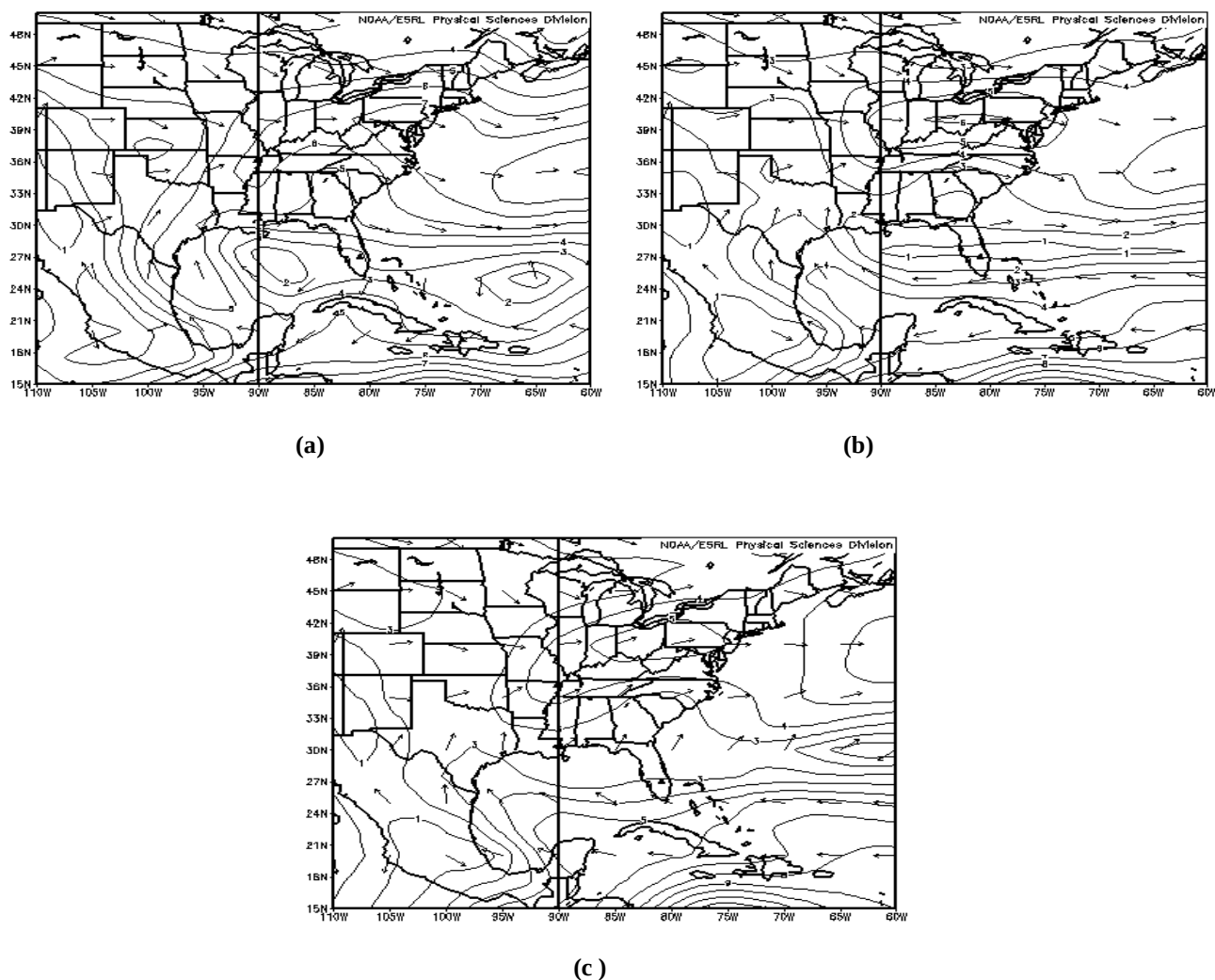


Fig. 10. Viento (m/s) en el nivel de 925 hPa a las 12:00 UTC para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y Cluster 3 (c)

Con respecto al análisis de la temperatura del aire en el nivel de 925 hPa, en el Cluster 1 ([Fig. 11a](#)) una vaguada térmica procedente del este de Canadá cruza sobre la región occidental de Cuba y penetra hasta Centroamérica. Sobre la región occidental de Cuba se localizan las isotermas de 13 y 14 °C. En los otros dos clusters ([Figs. 11b](#) y [11c](#)) la vaguada térmica tiende a amortiguarse, sin alcanzar Centroamérica, con valores sobre Cuba de 17 °C en el Cluster 2 y de 19 °C en el 3.

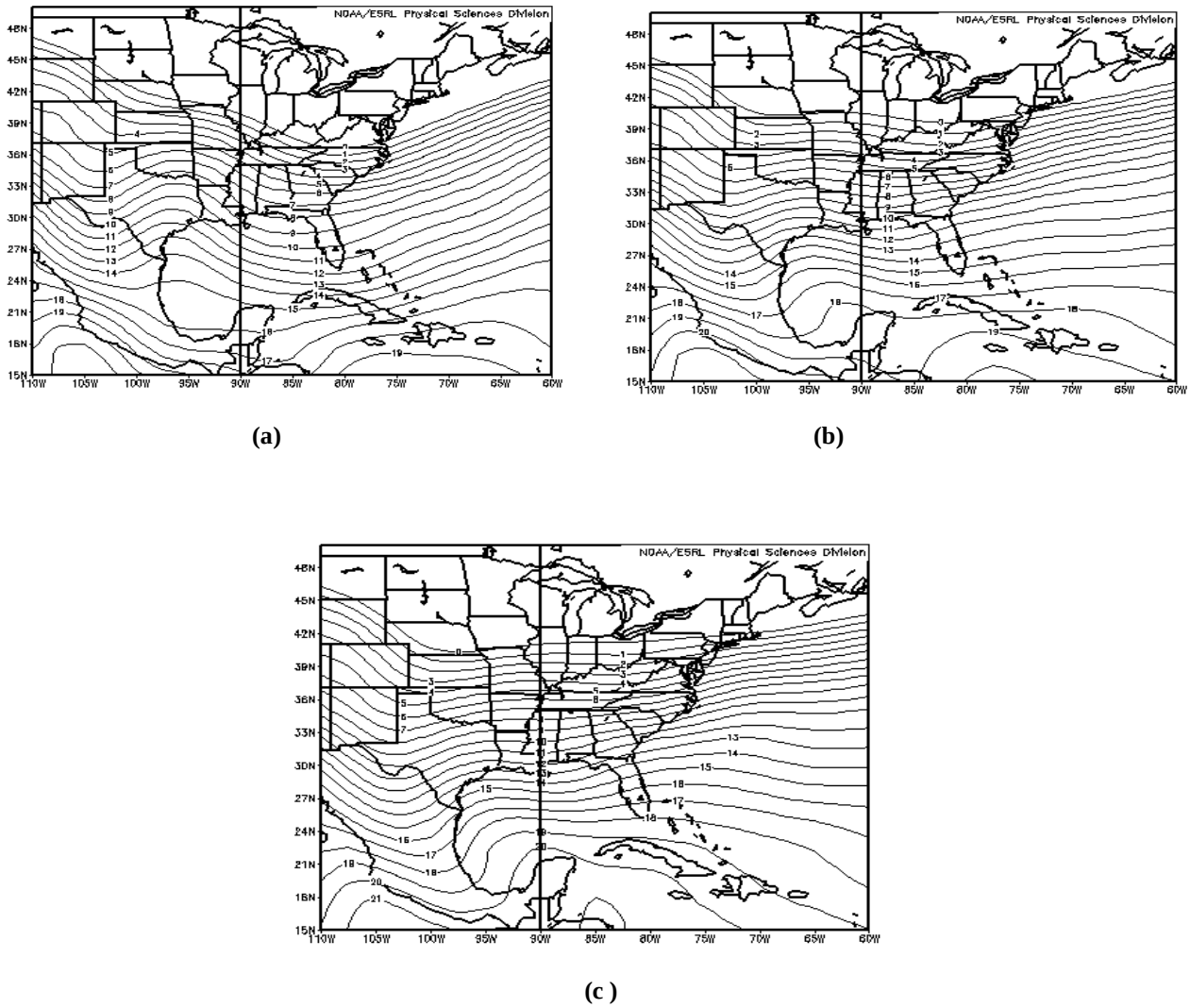


Fig. 11. Temperatura (° C) en el nivel de 925 hPa a las 12:00 UTC para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y Cluster 3 (c)

En el campo de humedad relativa es notable el contraste que se presenta desde la Florida hasta las regiones central y occidental de Cuba en el caso del Cluster 1 (Fig. 12a), donde los valores medios sobre Cuba oscilan entre 80 – 85 %. Este incremento de la humedad está en correspondencia con las anomalías positivas presentadas en el corte vertical analizado con anterioridad. En el Cluster 2 (Fig. 12b) la diferencia es menos significativa y sólo es marcada hasta el Estrecho de la Florida. Por último en el Cluster 3 (Fig. 12c) el campo de humedad se presenta más homogéneo.

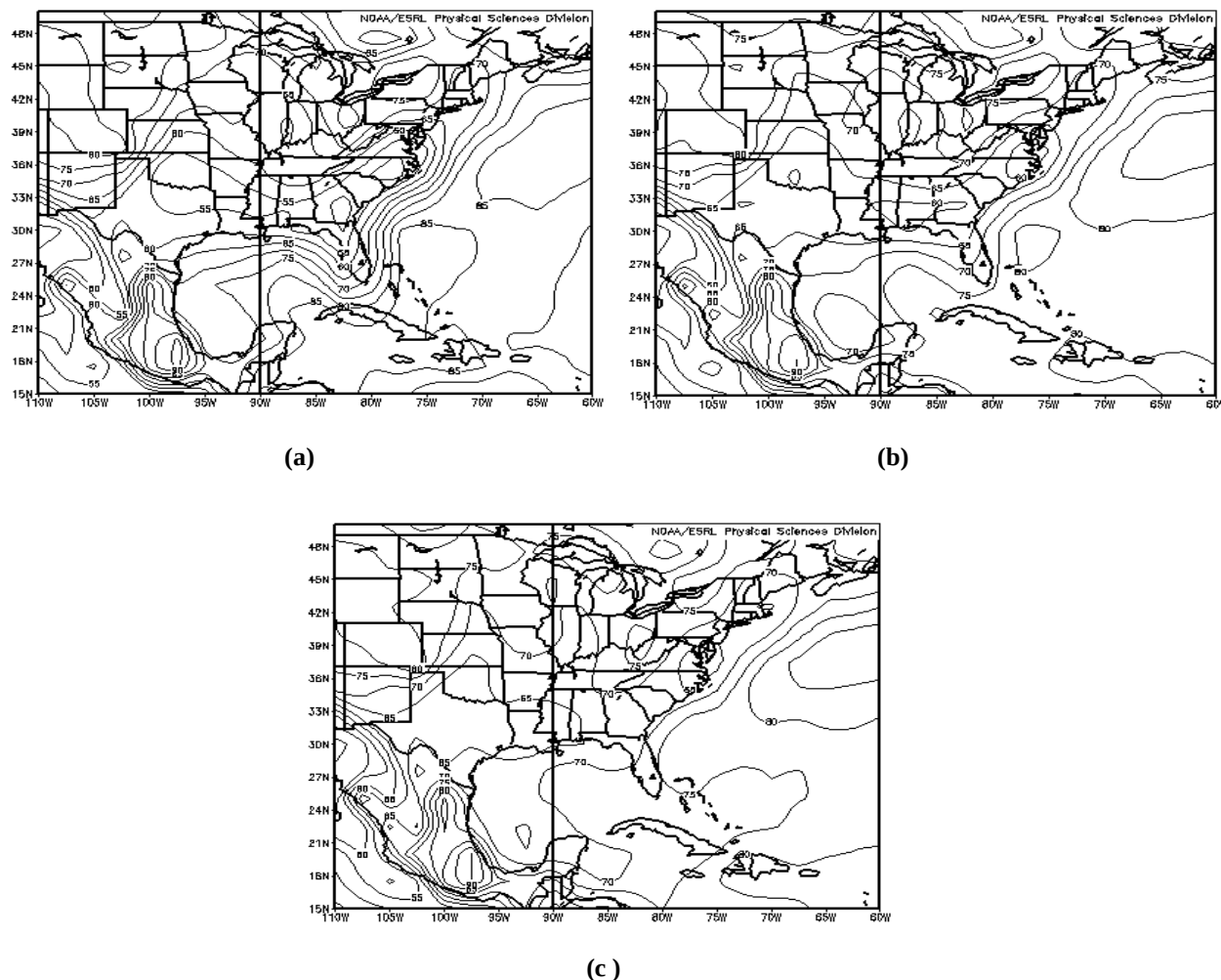


Fig. 12. Humedad relativa (%) en el nivel de 925 hPa a las 12:00 UTC para el Cluster 1 (a), Cluster 2 (b) y el Cluster 3 (c)

Después de analizar los cortes transversales se decidió analizar con mayor detalle el comportamiento de las variables estudiadas en la superficie isobárica de 925 hPa, por ser el nivel donde se encontraron las anomalías más relevantes, principalmente en el Cluster 1 correspondiente a los días más fríos.

Conclusiones

Se encontraron cuatro grupos de estaciones bien diferenciados en cuanto al comportamiento de las temperaturas mínimas en toda la región occidental. El primer grupo lo forman la mayoría de las estaciones de la provincia de Pinar del Río, además de Bahía Honda perteneciente a la provincia de Artemisa y Santiago de las Vegas a La Habana. El segundo grupo lo integran casi todas las estaciones del interior y la zona costera sur de las provincias Artemisa, Mayabeque y Matanzas. En el tercer grupo se encuentran las estaciones de Baimoa, Jovellanos, Jagüey Grande e Indio Hatuey, y por último en el cuarto grupo se encuentran las estaciones de la zona costera norte de la región occidental y las de la Isla de la Juventud.

Se obtuvieron tres patrones sinópticos asociados al comportamiento de las temperaturas mínimas en la región occidental de Cuba en el periodo poco lluvioso.

Los mayores contrastes en la estructura vertical de los campos de temperatura, humedad y viento se presentan entre los grupos conformados por días con temperaturas mínimas más bajas y los de días más cálidos.

Se corrobora que el nivel de 925 hPa marca los principales cambios en la estructura de los campos de temperatura y humedad relativa relacionados con el comportamiento de las temperaturas mínimas en la región occidental. Por ello, se recomienda considerar este nivel en los pronósticos de la temperatura mínima.

Referencias

González, J. y Ballester, M. 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. *Memorias del IV Congreso Cubano de Meteorología, La Habana, Cuba*, 4 – 8 de octubre Ciudad de la Habana 4 – 8 de diciembre del 2007, 75 pp.

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

Sorí, R. 2010. Modelo Sinóptico-Estadístico para el Pronóstico de la Temperatura Mínima en la Isla de la Juventud. Tesis de Grado. 80 pp.