

## Patrones Sinópticos troposféricos asociados a los frentes fríos en el occidente de Cuba

### Tropospheric Synoptic Patterns associated cold fronts of the west Cuban

Ailyn Caridad Justiz-Águila✉, Cecilia González-Pedroso

Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

#### Resumen

En este trabajo, se realiza un estudio de carácter Climatológico Sinóptico sobre los frentes fríos (FF) durante los meses de diciembre, enero y febrero, para un total de 65 temporadas invernales comprendidas entre los años desde 1950 hasta 2015. Se analiza el comportamiento troposférico de esos sistemas invernales, las características asociadas, así como los diferentes patrones circulatorios cuando ellos influyen en el archipiélago cubano. Los resultados obtenidos demuestran, las características propias de los FF que afectan al occidente cubano, como sistemas meteorológicos que responde a la interacción de los extratropicos con las bajas latitudes, así como su comportamiento climatológico, que aporta una mejor comprensión de las anomalías circulatorias en los diferentes niveles troposféricos y contribuye a la efectividad en los pronósticos meteorológicos a ellos asociados. La Climatología Sinóptica que en este marco se desarrolló, permite que sus patrones puedan ser aplicados en los estudios de variabilidad climática y valorados con las salidas de modelos dinámicos y oscilaciones a corto y largo período, para el posible pronóstico estacional de estos sistemas invernales. Se determinó, entre otras características, que el mes de enero es el de mayor contribución de frentes fríos en el trimestre, resaltando la temporada invernal 1976 – 1977 como la de mayor aporte al total de la muestra, con un máximo de 20 FF. En las situaciones sinópticas media halladas, están presentes las características del flujo de circulación asociadas a la vaguada polar y al anticiclón subtropical del Atlántico.

**Palabras clave:** frentes fríos, patrones circulatorios, Climatología Sinóptica.

#### Abstract

In this study, a synoptic weather character on cold fronts (FF) that affected the western region Cuban, during the months of December, January and February, was realized. A total of 65 covered winter seasons between the years from 1950 until 2015, were analyzed. The behavior tropospheric of these winter systems, associated features, as well as the different circulation patterns when they influence western Cuban archipelago, was determined. The results obtained show as well as the relationship between the cold fronts that affect Cuban in winter, with its own characteristics as weather systems that respond to the interaction of the extratropics with the low latitudes, its weather

✉ Autor para correspondencia: Ailyn Caridad Justiz-Águila. E-mail: [ailyn.justiz@insmet.cu](mailto:ailyn.justiz@insmet.cu)

Recibido: 12/12/2017

Aceptado: 26/3/2018

behavior that provides a better understanding of the structure tropospheric and contributes to the effectiveness in weather forecasts to them associated. It was determined, among other features that the month of January is the greatest contribution of cold fronts in the quarter, highlighting the 1976-1977 season as the greatest contribution to the total sample, with a maximum of 20 FF for the months of study, while the lowest was only 6 FF in seasons 1988-1989 and 2011-2012. Update the synoptic climatology of winter systems which developed, this framework allows patterns may be applied in the studies of variability climate and contribute to a better understanding anomalies circulations in the tropospheric levels. In the synoptic medium pattern found, are present the flow of features circulation associated with the polar trough and the subtropical anticyclone of the Atlantic.

**Key words:** cold fronts, circulation patterns, Climatology Synoptic.

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de conocer los pronósticos meteorológicos en distintos plazos de tiempo y el apoyo meteorológico en casi todas las esferas de la vida, ha sido a través de los años de vital importancia en el desarrollo de las diversas actividades. Todo estudio que aborde las situaciones meteorológicas que inciden directamente en el estado del tiempo son de gran importancia para el desarrollo de la Meteorología Sinóptica y, en particular, de la Climatología Sinóptica, así como el aporte a la predicción operativa.

En el archipiélago cubano se presentan dos estaciones o períodos bien marcados en el año, el período lluvioso (mayo a octubre) y el poco lluvioso (noviembre hasta abril) ([González, 2000](#)); en este último se enmarca la temporada invernal, con la afectación principalmente de frentes fríos (FF). Algunos autores cubanos, entre ellos [Rubiera \(1984\)](#), [Rubiera y Caymares \(1998\)](#), [Hernández \(2002\)](#), [Fonseca \(2008\)](#), [Justiz \(2010\)](#) y [Acosta \(2014\)](#), exponen en sus estudios que las características meteorológicas de la temporada invernal en Cuba, pueden variar de forma significativa de un año a otro, entre otras causas, debido a la presencia de algunos patrones atmosféricos de teleconexión, como el evento El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) y la Oscilación Ártica (AO, por sus siglas en inglés). Muchos han sido los trabajos que se han llevado a cabo en nuestra área geográfica sobre los frentes

fríos y su afectación a Cuba. Sin embargo, los estudios realizados arrojan muy poca información sobre la variabilidad de estos sistemas y no presentan identificados los patrones de la Circulación General de la Atmósfera (CGA) asociados a esta variabilidad, en particular para el archipiélago cubano y en temporadas significativas, de acuerdo a la frecuencia de los mismos.

Considerando lo antes expresado y con el objetivo de profundizar en el conocimiento de esos vacíos sobre los frentes fríos y las variaciones de sus frecuencias, principalmente en el occidente cubano, motiva a la realización de este estudio. Teniendo en cuenta además, la incidencia que estos sistemas meteorológicos tienen en la esfera socioeconómica del país, por sus efectos y cambios en distintos campos meteorológicos, con aspectos negativos que emanan de ella e inciden en la realización de las actividades.

Para ello, debemos determinar aquellas situaciones significativas a escala sinóptica que se manifiestan en la temporada invernal en Cuba para su clasificación, teniendo en cuenta el flujo medio en el trimestre diciembre – febrero, así como el flujo medio mensual correspondiente a cada uno de los meses referidos, para corroborar y/o encontrar nuevos patrones de la circulación atmosférica en la troposfera, y su posible vinculación con el comportamiento de estos sistemas invernales en el occidente de Cuba. Estos meses fueron seleccionados, porque en ellos existe una mayor

representación de la interacción de latitudes medias en el trópico, se observan las principales anomalías de la CGA con respecto a los sistemas frontales en el área y su relación con oscilaciones de corto y largo período. La significación de una temporada invernal puede estar dada por diversos criterios, en este trabajo se tomaron en cuenta por ejemplo, el número de frentes fríos en cada una de ellas para los meses de diciembre, enero y febrero, así como la ausencia de estos sistemas invernales en esos meses.

El problema a resolver consiste entonces en: ¿cómo determinar los diferentes flujos circulatorios significativos asociados a los frentes fríos que afectan a la región occidental de Cuba, utilizando la información que brindan los mapas sinópticos desde la superficie a nivel del mar hasta la troposfera media y alta? Por tanto, el objetivo general del presente trabajo es determinar los diferentes patrones significativos de la circulación atmosférica asociados a los frentes fríos que afectan a Cuba en el trimestre diciembre – febrero. Para dar respuesta a lo planteado se tomaron en cuenta como objetivos específicos: caracterizar las situaciones meteorológicas invernales en Cuba, en particular en la región occidental, para el trimestre diciembre-febrero en las temporadas seleccionadas y determinar los patrones circulatorios basados en el análisis frecuencial de esos sistemas invernales.

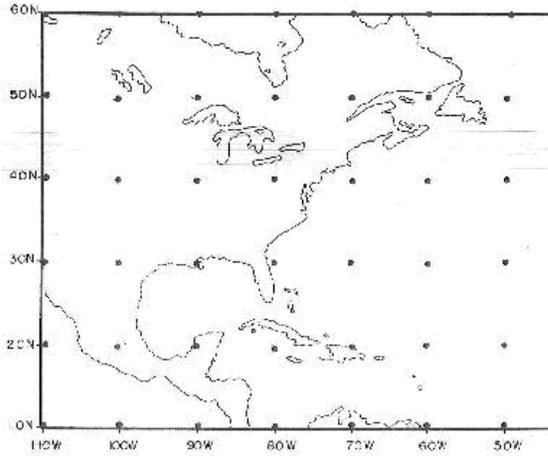
Los resultados que emanen de este trabajo serán de gran utilidad para los meteorólogos sinópticos y pronosticadores, así como para los climatólogos. Los patrones podrán ser aplicados en los estudios de variabilidad climática y contribuir a una mejor comprensión de las anomalías circulatorias en los diferentes niveles troposféricos, así como para los pronósticos a mediano y largo plazo, considerando en éste al pronóstico estacional, mediante la comparación con las salidas de modelos hidrodinámicos y considerando diferentes oscilaciones y eventos teleconectivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El entorno geográfico seleccionado para el estudio comprende desde los 15 °N a los 50 °N y desde los 110 °W a los 50 °W como muestra la [figura 1](#), en el cual se analizará la muestra de los posibles casos a estudiar. Esta área fue escogida por ser representativa en el estudio de los patrones circulatorios asociados a los sistemas meteorológicos invernales que afectan el archipiélago cubano y la interacción trópico - extratropical.

Con el propósito de obtener una base de datos inicial para comenzar el estudio de las situaciones meteorológicas a escala sinóptica que resulten significativas en las temporadas invernales en Cuba, se consultaron las Cronologías de los Frentes Fríos que han afectado al territorio nacional, elaboradas por [González et al. \(1984-2015\)](#); seleccionando de ellos todos los frentes fríos que afectaron al territorio cubano en el trimestre diciembre – febrero en el período de estudio, por lo que la base de datos quedó conformada por 65 temporadas invernales con un total de 737 frentes fríos en el trimestre escogido, lo que representa el 54.2 % del total de FF que han afectado al archipiélago cubano en ese período de tiempo.

Se consideraron los datos meteorológicos de la base de datos del Centro Nacional para la Predicción Ambiental y del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCEP-NCAR, por sus siglas en inglés), de su página WEB <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis>. Para la visualización de los mapas primarios que serían utilizados en la primera etapa de la investigación, se utilizó el software GrADS (Grid Analysis and Display System), que provee una gran variedad de opciones, es compatible con las principales plataformas de software (Windows y Linux), admite los datos de entrada en varios formatos (GRIB, NetCDF, etc.) y es de libre aplicación. De esta manera se pudo adquirir de forma rápida las imágenes necesarias, con elementos mejor definidos y precisos, para lograr profundizar el estudio. Las



**Figura 1.** Dominio de estudio

variables iniciales empleadas fueron, la presión a nivel del mar en hPa y altura geopotencial en metros geopotenciales (m<sub>gp</sub>), en los niveles troposféricos de 500 y 200 hPa.

Después de completada y verificada la muestra se comenzó el procesamiento estadístico de la misma, mediante el uso de la estadística descriptiva en busca de elementos que caracterizaran la muestra y que permitieran estratificarla a un número menor de casos representativos. Este análisis estadístico descriptivo, se basó en el uso de los estadígrafos media, mediana, varianza y desviación estándar, a través del Microsoft Excel en su versión de 2013. En el caso del análisis a la totalidad de la muestra se obtuvo el valor de frecuencia por temporada, los estadígrafos antes mencionados y los valores extremos. De igual forma en el caso de la distribución por meses donde se analizó el comportamiento de los FF en el trimestre diciembre – febrero, el mes de enero resultó el de mayor frecuencia de FF con un total de 262.

Con los mapas medios seleccionados para las variables meteorológicas y niveles determinados correspondientes al trimestre diciembre- febrero y para cada uno de los meses de forma individual, se realizó la descripción sinóptica de los mismos para determinar así las diferencias de los flujos circulatorios asociados a cada uno de los meses seleccionados. De esta manera se pudo caracterizar dinámicamente las

situaciones meteorológicas sinópticas asociadas a los FF y determinar los diferentes patrones significativos de la CGA asociados a estos sistemas que afectan a Cuba en el trimestre diciembre-febrero, para la predicción estacional de las temporadas invernales.

En cada mes del trimestre, se previó encontrar los diferentes flujos circulatorios y diferencias significativas entre las condiciones para cada región. Estas diferencias se valoraron por medio del parámetro estadístico Z. La hipótesis de que ambas poblaciones tienen medias iguales se rechazará si  $|Z| > 1,96$  para el nivel de significación prefijado del 5%, lo que implica que las muestras pertenecen a dos poblaciones diferentes. Similar criterio se aplicó a las variables seleccionadas para cada tipo de patrón, esto es que si en alguna variable esta condición se cumplía, entonces se asumía la caracterización de la misma. El parámetro estadístico Z, se calculó por las expresiones siguientes:

$$Z = (X_A - X_B) / (S_A^2 / N_A + S_B^2 / N_B)^{1/2} \quad (2.5.1)$$

$$Z = (X_A - X_C) / (S_A^2 / N_A + S_C^2 / N_C)^{1/2} \quad (2.5.2)$$

$$Z = (X_A - X_D) / (S_A^2 / N_A + S_D^2 / N_D)^{1/2} \quad (2.5.3)$$

$$Z = (X_B - X_C) / (S_B^2 / N_B + S_C^2 / N_C)^{1/2} \quad (2.5.4)$$

$$Z = (X_C - X_D) / (S_C^2 / N_C + S_D^2 / N_D)^{1/2} \quad (2.5.5)$$

Donde  $X_A$ ,  $X_B$ ,  $X_C$  y  $X_D$  son las medias de los tipos A, B, C y D, con las desviaciones típicas  $S_A$ ,  $S_B$ ,  $S_C$  y  $S_D$ , respectivamente;  $N_A$ ,  $N_B$ ,  $N_C$  y  $N_D$  son los números de casos de cada uno de los patrones.

Mediante el estadígrafo Z se pudo determinar, las diferencias entre los patrones seleccionados y en qué puntos del área éstas se hacen significativas. El cálculo de Z se realizó en cada punto de la rejilla seleccionada, extrayendo en estos los datos del mapa medio de cada uno de los días de un mes y una zona determinada que pueden ser, tanto positivos como negativos. Posteriormente, los datos se graficaron para dar una representación en la distribución espacial, y en ella las zonas con un comportamiento significativo. Las variables seleccionadas para este cálculo fueron: la presión a nivel del mar y la altura de

geopotencial en los niveles medios y altos de la troposfera (500 y 200 hPa).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó el procesamiento estadístico descriptivo a la muestra seleccionada para caracterizar y definir el comportamiento de los FF en el período de estudio ([Tabla 1](#)). Para determinar el comportamiento estacional de estos sistemas meteorológicos se tomaron los valores de frecuencia de casos por cada temporada invernal en el trimestre diciembre - febrero y en cada uno de esos meses de manera individual ([Figura 2](#)).

La [figura 2](#) refleja la distribución estacional de los FF en el trimestre diciembre - febrero y en ella se aprecian como características significativas el valor absoluto de 20 FF que se manifestó en la temporada invernal 1976 - 1977; así como los valores mínimos con 6 FF en las temporadas 1988 - 1989 y 2011 - 2012.

Mediante la interpretación de los resultados expresados en la [Tabla 1](#) destaca que en las 65 temporadas analizadas se tuvo un promedio de 11.33 FF que influyen en una temporada sobre el archipiélago cubano en los meses de diciembre, enero y febrero; con una variación o desviación estándar de 3.21.

De manera similar se determinaron los estadígrafos para cada uno de los meses de forma individual arrojando los datos de la [Tabla 2](#).

En la [tabla 3](#) se expone el total de FF para el trimestre en las temporadas invernales en que afectaron al occidente cubano y la clasificación de los mismos. En ella se denota que el mes de enero resulta el de mayor afectación de esos sistemas frontales con 262. También se puede observar la distribución que mostraron estos fenómenos meteorológicos teniendo en cuenta la clasificación de los mismos según el campo de viento (tipo e intensidad). Con mayor frecuencia tienen lugar los frentes fríos clásicos, con una diferencia suficientemente amplia con respecto a los revesinos y secundarios, respectivamente. Sin embargo, en cuanto a la intensidad de esos sistemas

frontales, los débiles son los que más afectan en el trimestre de estudio al archipiélago cubano, pero con muy poca diferencia de los moderados.

Las [figuras 3](#) y [4](#), ilustran la frecuencia estacional de los FF en el trimestre diciembre - febrero correspondiente a la clasificación de estos sistemas invernales en cuanto al tipo, según el giro de los vientos y a la intensidad de los mismos, respectivamente. En ellas, se evidencia claramente el predominio de frentes fríos clásicos durante estos meses en todas las temporadas invernales, no así con los revesinos y secundarios, pues existe la ausencia de estos tipos de frentes fríos en algunas temporadas, principalmente de las últimas. La temporada 1976 - 1977 se destaca por presentar el máximo de FF clásicos en el trimestre con un total de 18.

Los frentes fríos débiles y moderados presentan cierta homogeneidad en su distribución estacional para los meses de diciembre, enero y febrero. Los mismos han afectado al territorio cubano, en particular a la región occidental durante todos los trimestres estudiados en los períodos poco lluviosos desde 1950 hasta el 2015. Sin embargo, llama la atención que en este trimestre, los frentes fríos fuertes (FFF) muestran una notable ausencia en 38 temporadas invernales y de ellos, 23 temporadas en forma consecutiva, lo que se corresponde con el período inactivo de FFF determinado en estudios realizados por [Justiz \(2010\)](#), denotándose un flujo zonal positivo débil y retirado hacia las latitudes al norte de los 30° N y la dorsal subtropical bien estructurada desde la superficie a nivel del mar hasta la troposfera media y en ocasiones alta.

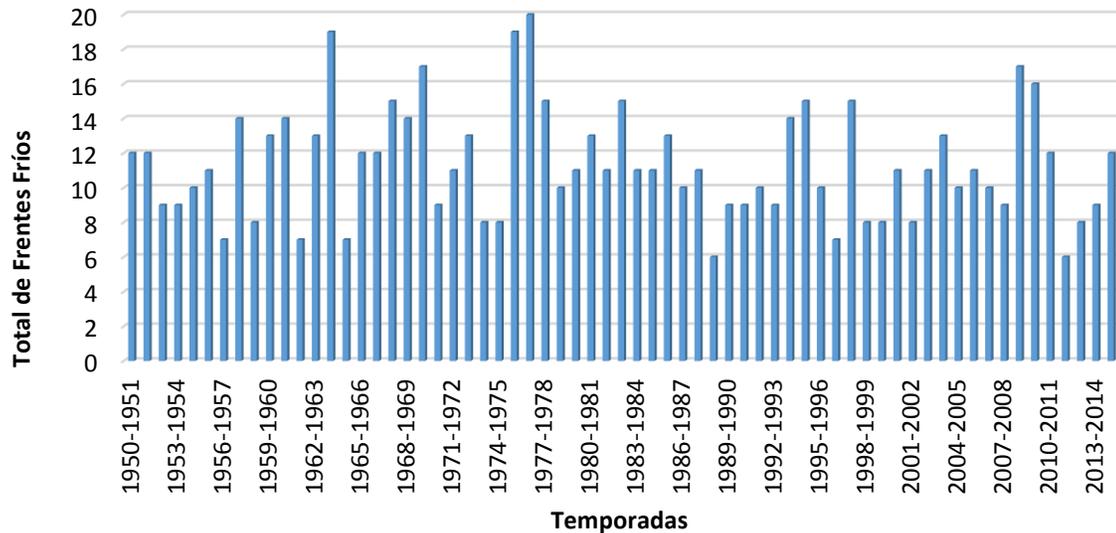
### **Selección de las temporadas invernales para el estudio sinóptico, valorando la media aritmética del trimestre y el valor de la desviación estándar**

La desviación estándar es una medida de dispersión para variables cuantitativas (o cantidades racionales) y de intervalo. Nos refleja cuan alejados se encuentran los valores de un conjunto con respecto a su valor central.

**Tabla 1.** Estadística descriptiva del total de la muestra de casos (trimestre dic - feb)

Temporadas Invernales	Casos	Media	Mediana	Desv. estándar	Varianza	Mínimos	Máximos
65	737	11.33	11	3.21	10.32	6	20

**Distribución estacional de los FF en el trimestre dic - feb.**



**Figura. 2.** Distribución estacional de los frentes fríos en el período desde 1950 hasta 2015 para el trimestre diciembre-febrero

**Tabla 2.** Estadística descriptiva por meses

Meses	Media	Mediana	Desv. estándar	Varianza	Mínimos	Máximos
<b>Diciembre</b>	3.61	4	1.58	2.52	1	7
<b>Enero</b>	4.03	4	1.63	2.68	0	9
<b>Febrero</b>	3.69	3	1.70	2.90	1	9

**Tabla 3.** Distribución mensual de FF teniendo en cuenta la clasificación por intensidad del campo del viento y por el giro de los vientos

Meses	Cantidad de FF	Débiles	Moderados	Fuertes	Clásicos	Revesinos	Secundarios
<b>Diciembre</b>	235	119	99	16	174	50	11
<b>Enero</b>	262	124	114	24	203	51	8
<b>Febrero</b>	240	120	106	14	195	32	12
<b>Total</b>	<b>737</b>	<b>363</b>	<b>319</b>	<b>54</b>	<b>572</b>	<b>133</b>	<b>31</b>

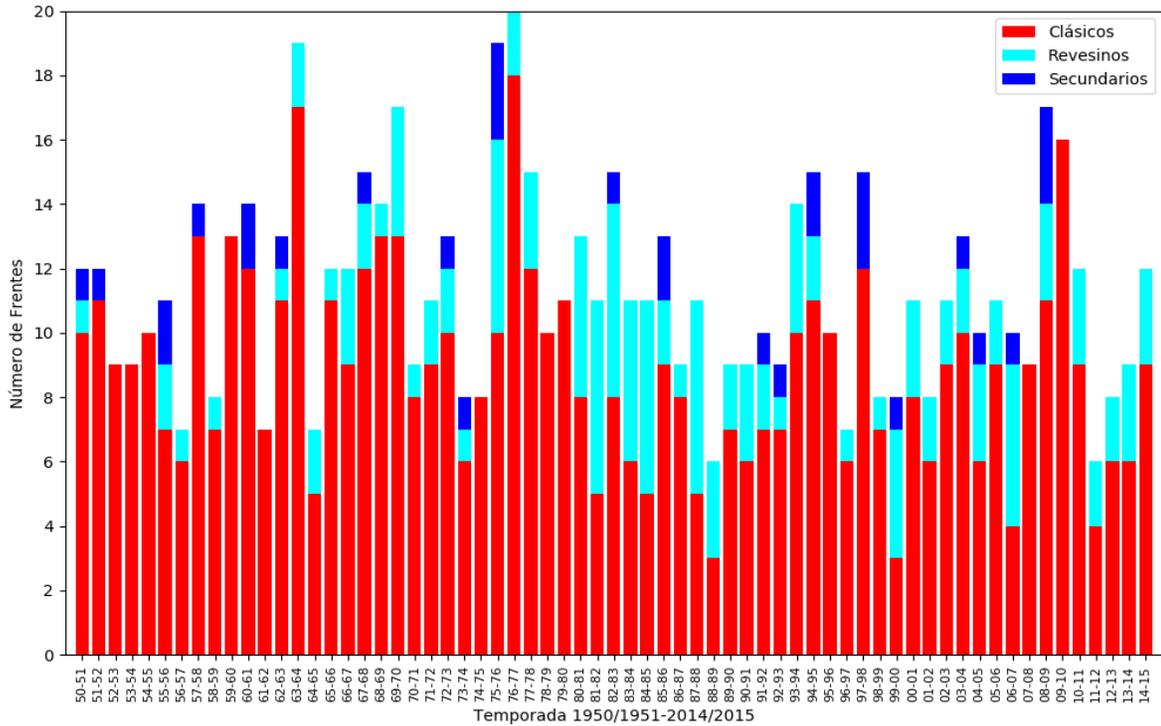


Figura 3. Distribución estacional de FF según el giro de los vientos

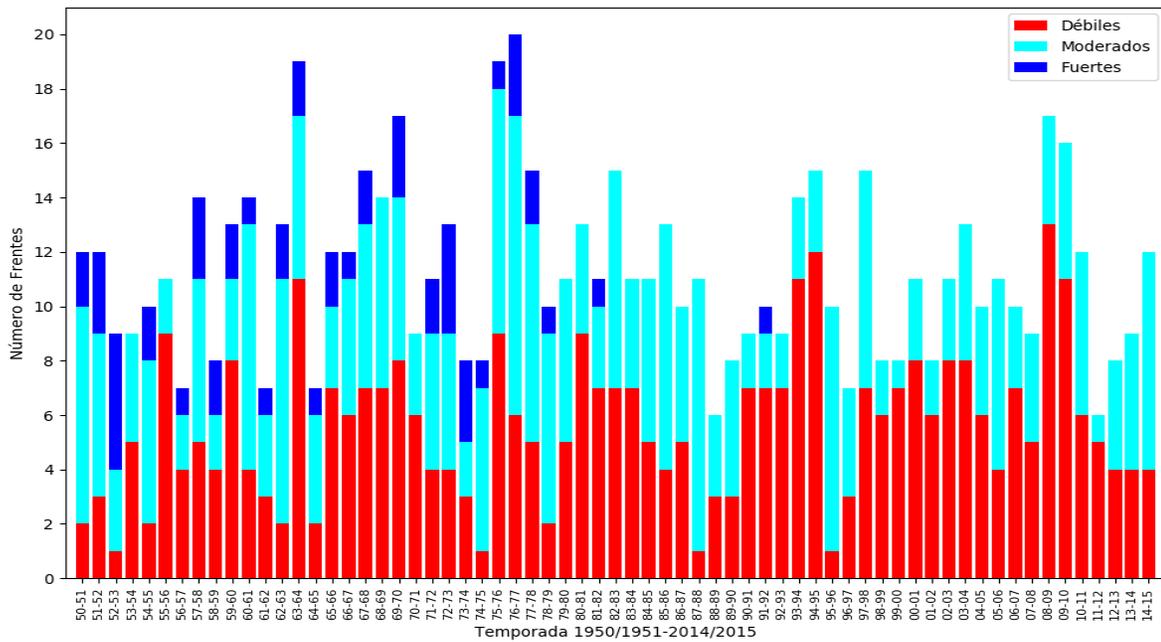


Figura 4. Distribución estacional de FF según la intensidad de los vientos

Para este trabajo, como la media en el trimestre presenta un valor de 11.33 y la desviación estándar es de 3.21, quiere decir entonces que los valores más cercanos al valor central se localizan en un rango de  $\pm 3$  y las temporadas que se encuentren en este intervalo se considerarán como temporadas normales de acuerdo al trimestre seleccionado. Por su parte, los valores más alejados de la media resultan aquellos que tienden al mínimo, y se denominaron temporadas poco activas para el trimestre, mientras que los valores que tienden al máximo, se consideraron como temporadas activas en el trimestre. Bajo estos criterios, se abordaron las temporadas invernales con menor y mayor cantidad de frentes fríos en el trimestre y luego, para cada uno de los meses de forma independiente.

### **Descripción de los patrones sinópticos en el trimestre diciembre - febrero**

El análisis de las variables meteorológicas y niveles troposféricos considerados (presión a nivel del mar y altura geopotencial en 500 y 200 hPa) se realizó primero, en aquellas temporadas invernales poco activas para el trimestre de estudio, valorando el criterio estadístico explicado con anterioridad; todas aquellas temporadas en las que se registraron un total de frente fríos superiores a la media.

En la [figura 6](#) se puede apreciar que durante el trimestre diciembre - febrero, las temporadas poco activas respecto a la media aritmética, se caracterizaron por la presencia en superficie de un sistema frontal extendido por el Atlántico adyacente a la costa oriental de Norteamérica, desde una baja ubicada en la parte nororiental del referido océano hasta las proximidades de 30 °N, en los mares al norte de las Bahamas septentrionales. La dorsal del anticiclón Subtropical del Atlántico, en combinación con un sistema migratorio ubicado en el sudeste de Estados Unidos, imponen sobre el archipiélago cubano la influencia de las altas presiones, con un flujo del este.

En los niveles medios y altos de la troposfera, la vaguada polar se observa sobre el

extremo este del continente norteamericano expandida ligeramente al sur de 40 °N. Precisamente en estos niveles, predomina una profunda dorsal anticiclónica, centrada sobre el mar Caribe, al sur de la región oriental de Cuba en los 500 hPa. En la troposfera alta el centro de la celda de alto geopotencial se profundiza en latitudes más bajas, quedando fuera de los límites de la carta sinóptica, prevaleciendo un marcado flujo del oeste suroeste sobre el occidente cubano.

En las temporadas con una mayor cantidad de FF para el trimestre diciembre-febrero, se puede observar, según indica la [figura 7](#), que tanto el sistema frontal como la vaguada polar que lo acompaña, aparecen mejor estructuradas, definidas y representadas. El ciclón extratropical se localiza ligeramente más al oeste noroeste con respecto a la posición en las temporadas poco activas y el frente frío se interna en la porción sur de la Florida. Sobre el territorio cubano se aprecia la influencia anticiclónica asociada al sistema que se aleja en el Atlántico, que tiene un centro de 1021 hPa en las proximidades de 28 °N y 50 °W.

La onda polar se encuentra inmersa en una vaguada algo más cerrada y de onda larga por su longitud, que se extiende de nordeste a suroeste desde Canadá hasta Texas y el sudeste de Louisiana en la troposfera media y alta. A pesar que en 200 hPa la vaguada se halla más profunda en latitud en comparación con las temporadas que tienden al mínimo de frentes fríos, predomina sobre Cuba, en particular en la región occidental, un flujo zonal positivo, debido a la presencia de la dorsal subtropical al sur de este territorio, con centro en la troposfera media sobre el Caribe centro-oriental.

### **Patrones sinópticos para cada uno de los meses del trimestre seleccionado**

En las [figuras 8, 9 y 10](#) que aparecen a continuación, se muestran los patrones sinópticos determinados para cada uno de los meses del trimestre seleccionado en la investigación. Las temporadas analizadas en cada uno de ellos, fueron escogidas utilizando

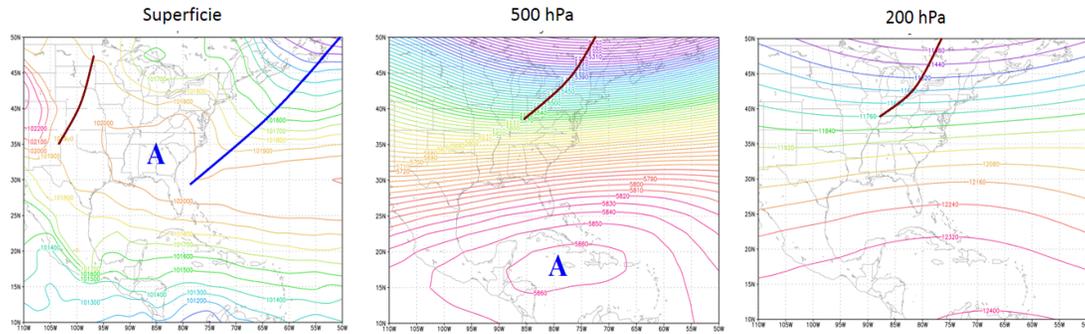


Figura 6. Mapas medios de las temporadas poco activas en el trimestre diciembre-febrero

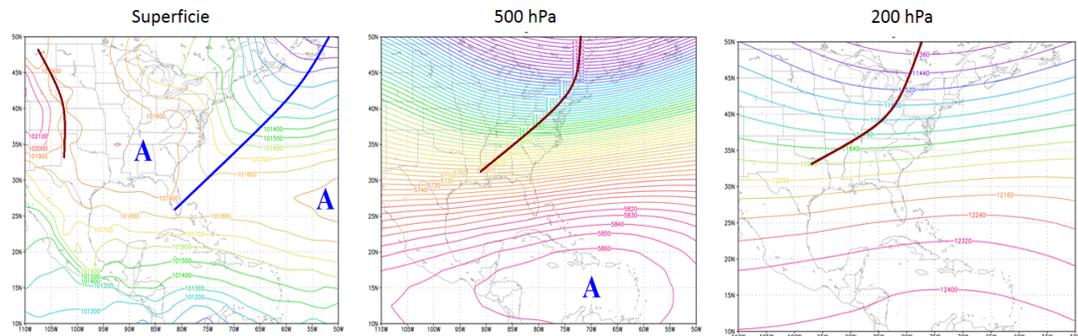


Figura 7. Mapas medios de las temporadas activas en el trimestre diciembre-febrero

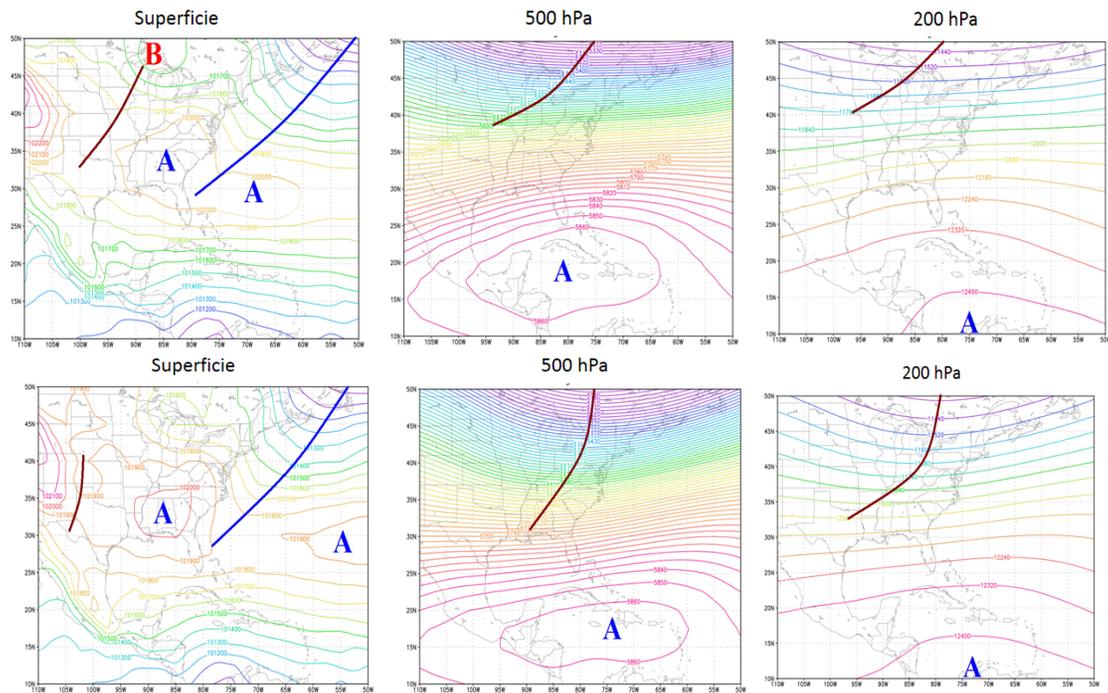
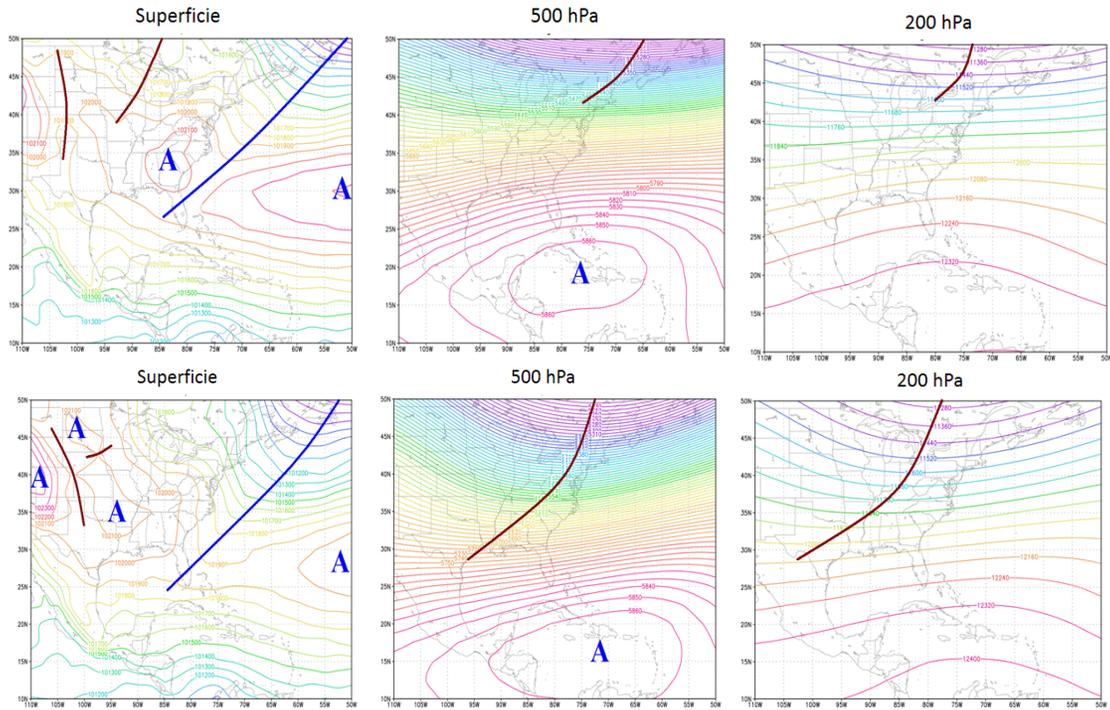
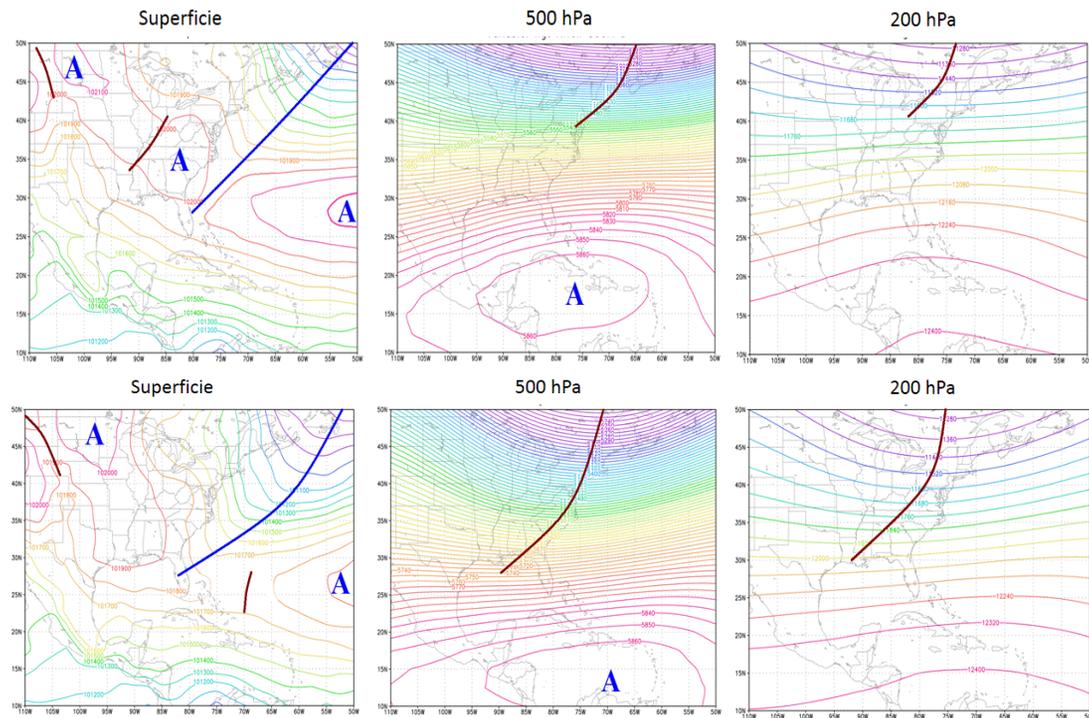


Figura 8. Patrón medio de las temporadas poco activas y activas en el mes de diciembre, respectivamente



**Figura 9.** Patrón medio de las temporadas poco activas y activas en el mes de enero, respectivamente



**Figura 10.** Patrón medio de las temporadas poco activas y activas en el mes de febrero, respectivamente

el criterio descrito con anterioridad, respecto a la media y la desviación estándar.

Tanto en las temporadas poco activas como en las activas, los centros de alto y bajo barómetro presentaron valores entre los 1020 y 1024 hPa para el trimestre de estudio y en cada uno de los meses. En todos los casos, se observaron anticiclones extendidos sobre el continente norteamericano, con centros en el sudeste de Estados Unidos, principalmente en las temporadas con menor cantidad de frentes fríos. Sin embargo, en los meses de enero y febrero, las temporadas con mayor cantidad de estos sistemas, mostraron la posición media de los máximos béricos sobre la parte centro – occidental de Estados Unidos. Además se evidenció la dorsal del anticiclón Subtropical durante el trimestre y en cada uno de los meses de forma individual, extendida hasta las proximidades de las Bahamas, con centro en las inmediaciones de 30 °N y 55 ° - 50 °W, más retirada al este en las temporadas activas, permitiendo así la penetración de los FF en el área de Cuba y sus inmediaciones.

Una síntesis del comportamiento del flujo en la troposfera media y alta, en los meses de diciembre, enero y febrero, en concordancia a los patrones sinópticos resultantes, quedaría de la siguiente manera: las temporadas asociadas con un número de FF superiores a la media, se caracterizaron por una situación en la que se denota un flujo meridional sobre Norteamérica, debido a ondas polares profundas con vaguadas cerradas penetrando en el sur de Estados Unidos y el golfo de México. En estos casos la dorsal anticiclónica se encuentra bien definida al sur de 20 °N, con el centro en los 200 hPa sobre Sudamérica, mientras que en el territorio cubano, en particular sobre la región occidental prevalece un flujo del tercer cuadrante, más suavizado en la troposfera alta.

En las temporadas con menor frecuencia de FF analizadas para cada mes, el patrón circulatorio se define por la presencia de un marcado flujo zonal positivo, debido a la profunda dorsal del anticiclón Subtropical, centrada en los 500 hPa sobre el mar Caribe, al

sur de la región oriental del archipiélago cubano. La vaguada polar disminuye su extensión, y su eje se localiza sobre el extremo este del continente, amortiguada al norte de 40 °N, fundamentalmente en el bimestre enero – febrero.

### **Descripción sinóptica de los patrones medios en las temporadas invernales con ausencia de FF en los meses de estudio**

Uno de los elementos que se tomaron en cuenta en este trabajo para valorar la significación de una temporada invernal, resultó precisamente, considerar la posible ausencia de frentes fríos en los meses de diciembre, enero y febrero. Por tal motivo todas aquellas temporadas en las que al menos uno de los meses no presentó la afectación de FF se analizó de manera independiente.

Durante el período de estudio, los meses de diciembre y febrero presentaron como mínimo la afectación de al menos un frente frío sobre el territorio cubano. Sin embargo, es interesante resaltar que en la temporada 1973 – 1974 con un total de 8 FF en el trimestre, en el mes de enero ningún FF afectó al archipiélago cubano, siendo la única temporada que mostró este comportamiento. El patrón medio para el trimestre de esta temporada, evidenció la presencia en superficie de un frente frío desde el Atlántico noroccidental hasta las proximidades de cabo Hatteras. La vaguada se encuentra fragmentada tanto en 500 como en los 200 hPa sobre la parte oriental del continente y la porción norte del territorio mexicano. En superficie la cuña del anticiclón Subtropical del Atlántico Norte, se expande al oeste cubriendo con su influencia el sudeste y sur de Estados Unidos, con un centro de 1022 hPa localizado en las inmediaciones de 30 °N y 57 °W. En la troposfera media y alta se aprecia un flujo del oeste suroeste sobre Cuba debido a la dorsal anticiclónica, centrada al sur del oriente cubano en 500 hPa y sobre Sudamérica en los niveles altos de la troposfera ([Figura 11](#)).

En el mes de enero, tal y como muestra la [figura 12](#), se observa la pronunciada extensión

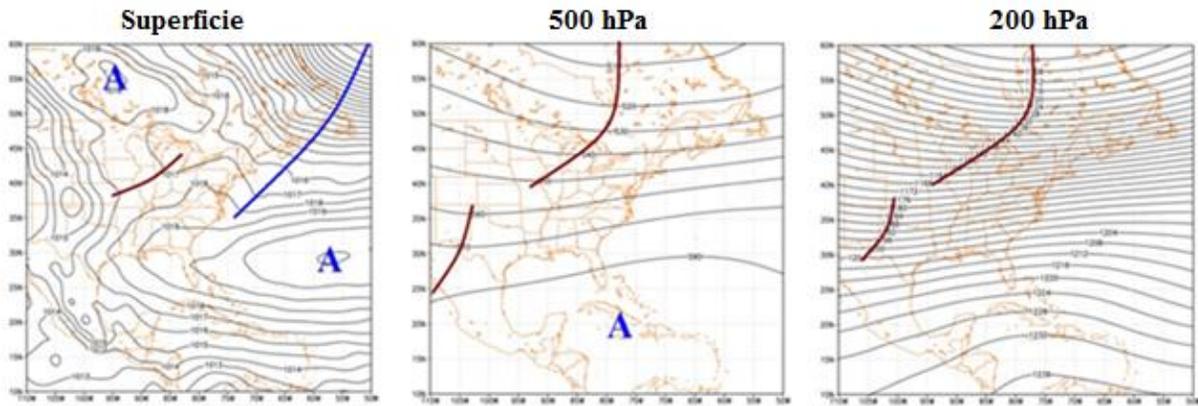


Figura 11. Mapas medio del trimestre diciembre – febrero en la temporada 1973-74

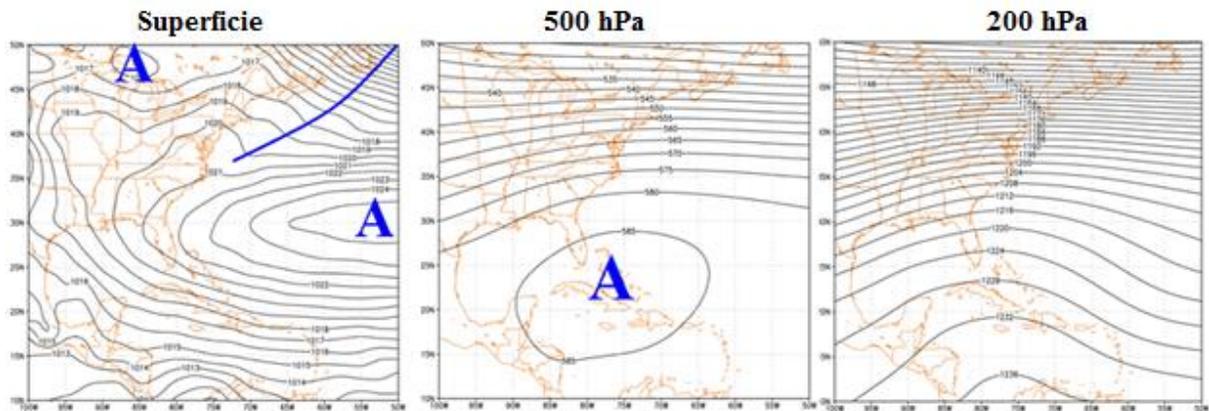


Figura 12. Mapas medio del mes de enero, temporada 1973-74

al oeste del anticiclón Subtropical del Atlántico Norte hasta la parte occidental de Estados Unidos. Este sistema se mantiene en la troposfera media y alta como una amplia celda de alto geopotencial en 500 hPa y una dorsal en los niveles altos con un marcado flujo zonal positivo sobre casi todo el dominio de estudio, limitando en los trópicos la entrada de aire frío proveniente de latitudes altas, así como el desarrollo y extensión de las ondas polares en el área.

Además se analizaron las temporadas invernales que alcanzaron el valor absoluto de FF para el mes de enero (9 FF) y se pudo notar que solamente la temporada 1969 – 1970 cumplía este requisito. En la [figura 13](#) se denota claramente las diferencias significativas que mostró el flujo circulatorio troposférico en los niveles medios y altos, con respecto al patrón

medio con cero FF en este mes. El mismo se caracterizó por una profunda y bien definida vaguada polar con longitud de onda larga, que se extiende por el extremo oriental del continente norteamericano y el Atlántico adyacente hasta el norte de México. La dorsal subtropical en estos niveles, se observa retirada al este sudeste con centro en el Caribe oriental y la costa norte de Venezuela. En el archipiélago cubano prevalecen corrientes del tercer cuadrante, más pronunciadas en los 200 hPa.

A diferencia del mes de enero con ausencia de FF, en esta temporada con el máximo valor de estos sistemas invernales para dicho mes, se observa en superficie un descenso considerable en latitud del sistema frontal, cruzando la Florida hasta internarse en el extremo este del golfo de México. Por consiguiente, se evidencia

un debilitamiento en la influencia del anticiclón Subtropical, que aparece retirado al este quedando en los límites del área de estudio. Sobre el continente norteamericano se expande un anticiclón migratorio muy bien definido con centro sobre el estado de Arkansas, en los Estados Unidos.

### Distribución y significación del parámetro Z en cada patrón

La muestra de estudio se sometió a una valoración de las temporadas invernales significativas por período (diciembre – febrero) y en cada uno de estos meses de manera independiente. Para determinar si las diferencias de las medias entre ellas eran significativas se realizó el cálculo del parámetro estadístico Z, en concordancia con la metodología expuesta por [Paegle y Kierulff \(1974\)](#) y detallado en el capítulo anterior.

La significación de las variables seleccionadas y su relación entre los patrones correspondientes al trimestre y a cada uno de los meses, se denota por el parámetro estadístico Z, según muestran las [figuras 14, 15, 16 y 17](#). En cada una de ellas, lo más representativo resulta el área sombreada de color azul. La misma indica que en esa zona, durante las temporadas con mayor cantidad de frentes fríos, teniendo en cuenta el trimestre seleccionado, se presenta una disminución de la presión en superficie y del geopotencial en 500

y 200 hPa, con respecto a las temporadas que en dicho trimestre, presentan la menor frecuencia de esos sistemas invernales sobre Cuba.

Como se puede apreciar en la [figura 14](#), la significación de Z en la troposfera media y alta se concentra sobre el este y sur de Estados Unidos, así como el Atlántico adyacente y el golfo de México, donde se presenta un debilitamiento del campo de geopotencial en las temporadas activas de acuerdo al trimestre, debido a la intensificación y profundización de la vaguada polar en esa área, fundamentalmente en los 500 hPa, donde la significancia llega hasta la región occidental de Cuba. Similar comportamiento mostró la significación de Z para los patrones de diciembre ([Figura 15](#)), enero ([Figura 16](#)) y febrero ([Figura 17](#)), destacándose los últimos dos meses, por presentar el núcleo de mayor significancia sobre el sudeste de Estados Unidos y cubriendo casi todo el archipiélago cubano en los niveles medios y altos de la troposfera para el mes de febrero. La significancia de Z en superficie, responde a las diferencias en los patrones con respecto a la disminución de los valores de presión a nivel del mar que alcanzan las temporadas activas en esa área. Esto se corresponde con la intensificación del sistema frontal en esa zona y el desplazamiento al este sobre aguas del Atlántico del anticiclón Subtropical.

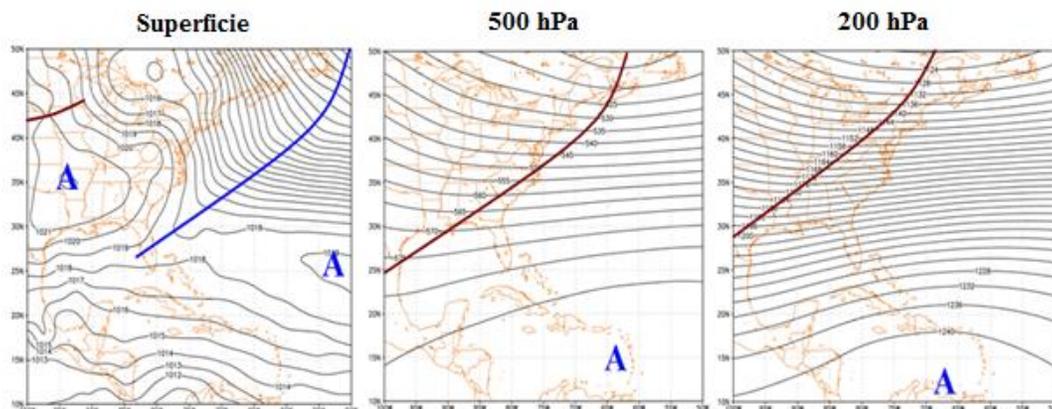


Figura 13. Mapas medio del mes de enero, temporada 1969-70

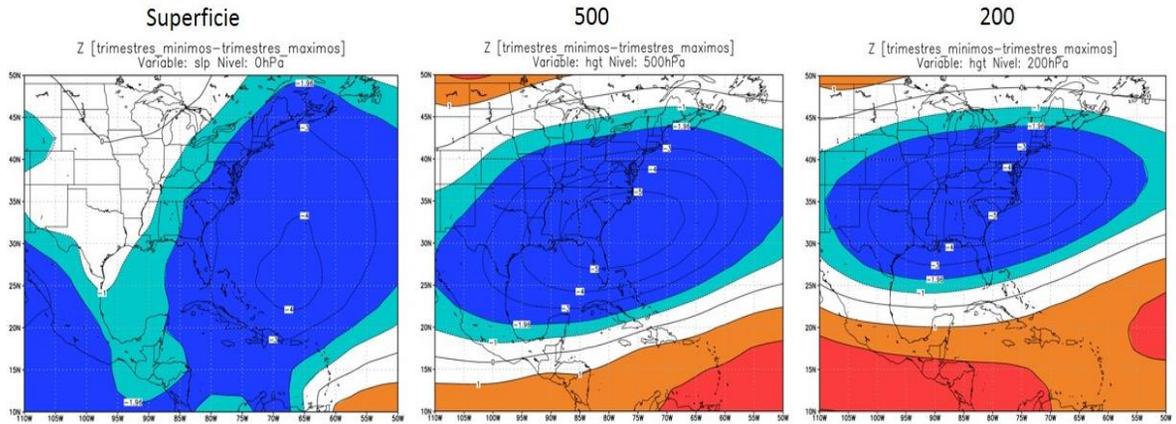


Figura 14. Significación del estadígrafo Z para los patrones del trimestre diciembre-febrero

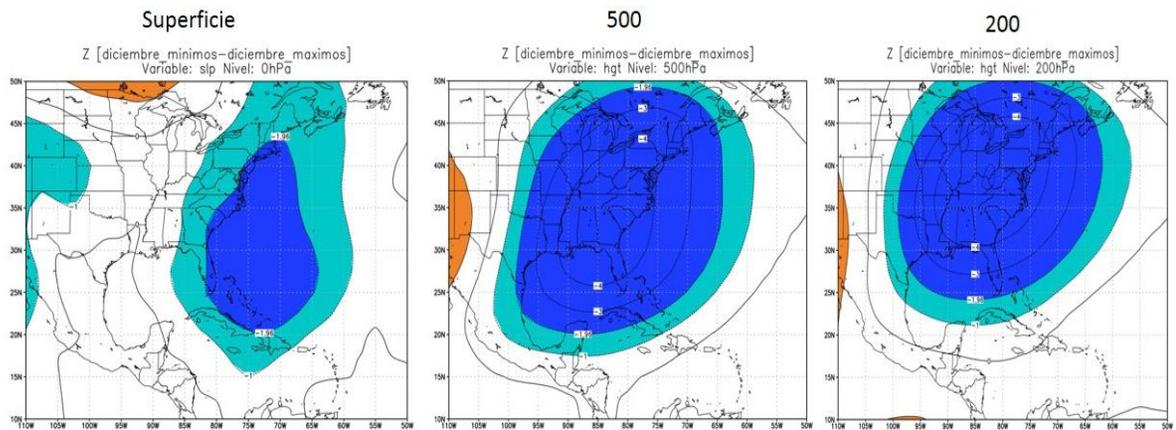


Figura 15. Significación del estadígrafo Z para los patrones del mes de diciembre

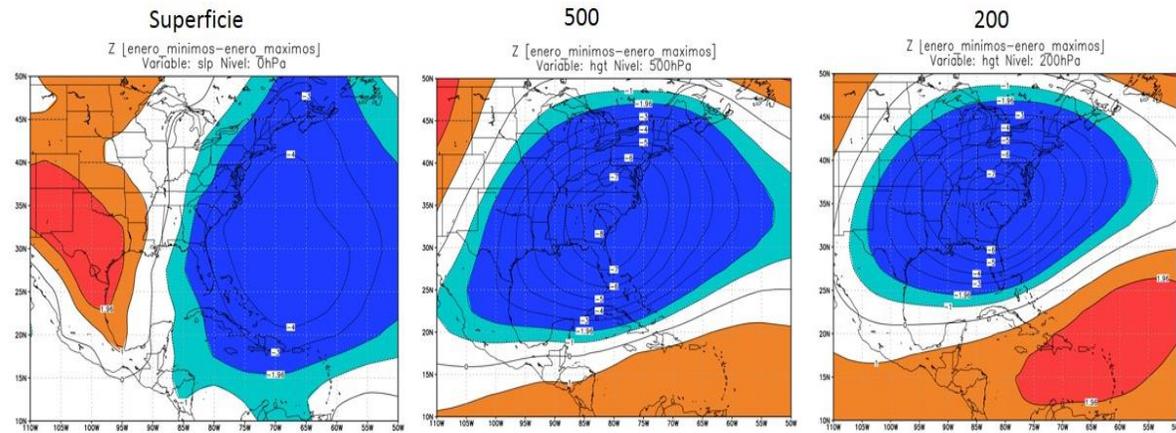


Figura 16. Significación del estadígrafo Z para los patrones del mes de enero

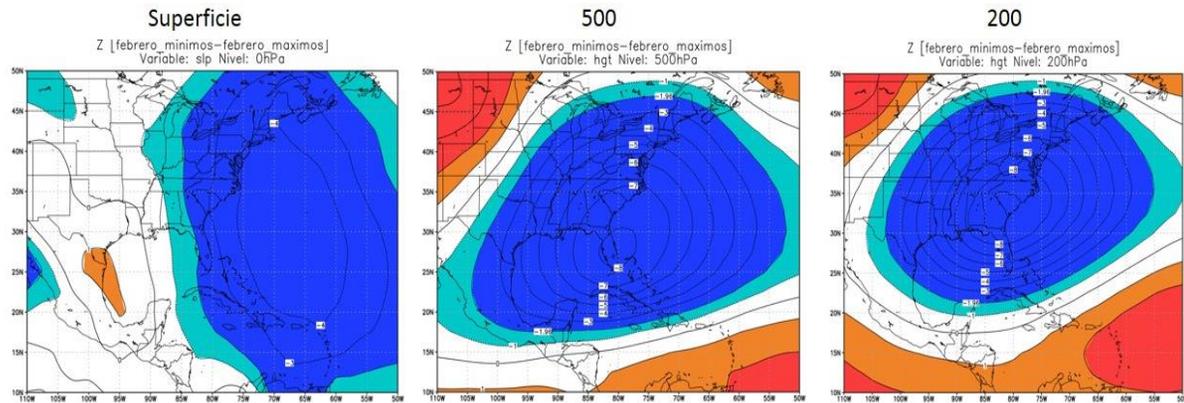


Figura 17. Significación del estadígrafo Z para los patrones del mes de febrero

## CONCLUSIONES

1. Se determinaron los patrones circulatorios significativos para el trimestre de estudio y en cada uno de los meses, haciendo énfasis en la posición y profundización de la vaguada polar y la localización e intensificación del centro de alto geopotencial, asociado al anticiclón subtropical en el océano Atlántico.
2. Se obtuvo una Climatología Sinóptica que permitió determinar el flujo medio de los frentes fríos que afectan a Cuba, en particular a la región occidental, para el trimestre diciembre-febrero y su variabilidad.
3. Las situaciones sinópticas arrojaron que la frecuencia de los frentes fríos y la intrusión de aire frío en el occidente cubano en el período de estudio, es una consecuencia directa de la intensidad y amplitud de la circulación en latitudes medias.

## RECOMENDACIONES

1. Aplicar los patrones sinópticos determinados en este trabajo para la caracterización de las temporadas invernales en Cuba y, su posible empleo en el pronóstico trimestral diciembre-febrero.
2. Desarrollar similar estudio, pero atendiendo a la clasificación de los frentes fríos en cuanto a la intensidad de los vientos y el giro de los mismos.

## REFERENCIAS

- Acosta, H. (2014). La Oscilación del Atlántico Norte y el comportamiento de la temporada invernal en la región occidental de Cuba. Tesis de Diploma. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas. Facultad de Medio Ambiente. Cuba.
- Fonseca, C. (2008). La Oscilación del Atlántico Norte, los índices de circulación atmosférica y la lluvia en Cuba. Tesis de Doctorado. Instituto de Meteorología. Cuba.
- González, P. C. (1999): Climatología de los frentes fríos que han afectado a Cuba. Vol. 6 No.1. Rev. Cub. De Met.
- González, P. C. (2001 y 2002): Resumen de la Temporada Invernal 2000 – 2001 y 2001 - 2002. Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba. Vol. 7. No.2 y Vol. 8. No.2.
- González, P. C. (2006 y 2007): Resumen de la Temporada Invernal 2004 – 2005 y 2005 – 2006. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 13. No. 1 y Vol. 14. No. 1.
- González, P. C. (2008): Resúmenes Mensuales. (2007 – 2008). Sitio WEB del Instituto de Meteorología.
- González, P. C. (2009): Resumen de la Temporada Invernal 2006 – 2007. Revista Cubana de Meteorología. Vol. 15. No. 1. 55.
- González, C. y Estévez, G. (2003). Resumen de la Temporada Invernal 2002 – 2003. Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba, 9 (1).
- González, C. y Estévez G. (2012). Actualización de los frentes fríos que han

- afectado a Cuba desde 1997 hasta 2011. *Revista Cubana de Meteorología*, 18 (1).
- Hernández, B. (2002). El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y los frentes fríos que arriban a la región occidental cubana. *Revista de Investigaciones Marinas*, 30 (2).
- Justiz, A. (2010). Circulación troposférica asociada a los frentes fríos fuertes que han afectado a Cuba en el período 1950–2008. Trabajo de Diploma. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas. Facultad de Medio Ambiente. Cuba.
- Peagle, J. N and Kierulff, L. P. (1974): Synoptic Climatology of 500 -mb Winter Flow Types. *J. Appl. Meteor.* Vol 13. No 2, pp 205- 220.
- Rodríguez, R. M., C. González y J.V. Quiñónez (1984): Cronología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde la temporada 1916 – 1917 hasta la temporada de 1982 – 1983 (67 temporadas). *Rep. De Inv. No. 9, ACC.* 16 p.
- Rubiera, J. (1984). Enero - Marzo de 1983: Un análisis del período invernal más severo registrado en Cuba. *Memorias del I Seminario Taller de Desastres Naturales.* UNDRO. La Habana.
- Rubiera, T. J.M. y A. Caymares (1998): Eventos del tiempo severo inducidos por el ENSO en la temporada invernal cubana. *Boletín francés de estudios sobre el ENOS.* pp 845-855.