

Condiciones sinópticas que favorecen las precipitaciones durante la mañana en el período lluvioso en La Habana

Synoptic conditions that favor precipitation during the morning in the rainy period in Havana



<http://opn.to/a/5JRMs>

Naima Somoza Rey ^{1*}, Ailyn C. Jústiz Águila ², Roberto C. Cruz Rodríguez ³

¹Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica (OPVM), Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA), Ave. Panamericana y Final. Boyeros, La Habana, Cuba.

²Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología (INSMET), Loma de Casablanca. Regla, La Habana, Cuba.

³Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ave. Universidad #3000. Coyoacán, México.

RESUMEN: Para la ocurrencia de precipitaciones en la mañana se pueden presentar una serie de patrones circulatorios a escala sinóptica, sin embargo es vital conocer el comportamiento de variables como la humedad relativa, temperatura del aire, así como el campo de viento, claves en este tipo de fenómeno meteorológico. Es por esto, que en la presente investigación se realizó un estudio para determinar las condiciones sinópticas que favorecen las precipitaciones durante la mañana en el período lluvioso. Para dicho estudio se usaron los datos de las estaciones meteorológicas de la provincia de La Habana, mapas de reanálisis y las variables meteorológicas antes mencionadas en toda la columna troposférica. Este estudio aportó un total de cinco condiciones sinópticas (cuatro de ellas con una alta significancia estadística). Para ello, se analizaron también los mapas medios de las variables meteorológicas en los niveles de 850, 700, 500 y 200 hPa, en busca de los más representativos para la ocurrencia de este fenómeno en aquellos casos que no presentaron un fondo sinóptico totalmente favorable. Para la humedad relativa los niveles bajos y medios fueron los de mayor aporte, disminuyendo con la altura. En todos los casos la temperatura no resultó significativa para incentivar las precipitaciones mañaneras puesto que presenta valores inferiores en las capas bajas de la troposfera y una homogeneidad en el nivel medio. El campo de viento en la horizontal tampoco fue significativo, sin embargo presentó una fuerte cizalladura vertical, particularidad que influye en la inestabilidad atmosférica y por tanto contribuye a un mayor desarrollo de la actividad convectiva.

Palabras clave: Lluvia, Período lluvioso, Condiciones sinópticas.

ABSTRACT: The occurrence of rainfall in the morning is cause for a series of synoptic patterns. The behavior of variables such as relative humidity, air temperature, as well as the wind field, keys an important role in this type of meteorological phenomenon. For this reason, the main objective of the present investigation is determining the synoptic conditions that favor precipitations during the morning in the rainy season for Havana (Cuba). For this study, we used the data of meteorological stations of the province of Havana, reanalysis maps and the meteorological variables on the entire tropospheric column. We obtained a total of five synoptic conditions (four of them with a high statistical significance). For this, we analyzed the average maps of the meteorological variables in the levels of 850, 700, 500 and 200 hPa, searching favorable conditions for the occurrence of this phenomenon. For the relative humidity, the low and medium levels were those of greater contribution to the rainy process, decreasing with height. In all cases, the temperature had not a significant contribution to the morning rainfall. The wind field in the horizontal had not an important contribution, however it presented a strong vertical shear and this peculiarity influences the atmospheric instability and therefore contributes to a greater development of convective activity.

Keywords: Rain, Rainy period, Synoptic conditions.

*Autor para correspondencia. Naima Somoza Rey. E-mail: naisomoz94@gmail.com

Recibido: 05/06/2019

Aceptado: 11/12/2019

INTRODUCCIÓN

Nuestro país por la posición geográfica en la que se encuentra se divide en dos períodos que lo definen climáticamente, uno poco lluvioso que se extiende desde noviembre hasta abril y el otro lluvioso que abarca de mayo a octubre. En este último las precipitaciones usualmente son favorecidas por sistemas tropicales propios del período, por fenómenos mesoescalares y por la combinación de factores locales con la inestabilidad vespertina y el fuerte calentamiento que caracteriza esos meses, por lo que estas lluvias tienen lugar fundamentalmente en el horario de la tarde, aunque en ocasiones se han registrado lluvias en la mañana. Estas últimas representan un porcentaje relativamente bajo en comparación con la lluvia total, pero tienen un impacto significativo en la planificación de muchas actividades económicas y sociales, pues este horario marca el comienzo de las mismas.

Desde el punto de vista científico y social, alcanza un alto valor el pronóstico de la lluvia en cualquier horario del día, por lo que todo estudio que aborde las situaciones meteorológicas asociadas con las precipitaciones, es valorado con gran interés por parte de los pronosticadores, fundamentalmente aquellos que de una forma u otra favorecen una mejor interpretación sobre la incertidumbre que representa esta variable. Es por esto que en esta investigación se determinó con qué

evento meteorológico está asociada la lluvia durante la mañana en el período lluvioso en La Habana.

Con esta investigación se persigue aportar nuevos conocimientos al estudio de las precipitaciones, con el objetivo de mejorar la confección de pronósticos que resultan complejos de realizar. En este sentido, el presente trabajo científico aportará nuevas herramientas para los pronosticadores del Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología (INSMET). Se pretende además vincular las condiciones sinópticas y el comportamiento de distintas variables en diferentes niveles con la lluvia en la mañana sobre el área de estudio en el período lluvioso, identificando dichas condiciones a partir de los registros de lluvia en los horarios 1200, 1500 y 1800 UTC analizando los mapas sinópticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La región geográfica seleccionada para la investigación comprende desde los 10°N a los 50°N y desde los 110°O a los 50°O ([Figura 1](#)), en la cual se analizará la muestra de los posibles casos a estudiar. Esta área se escogió por ser representativa en el estudio de los sistemas meteorológicos de la escala sinóptica propios de latitudes tropicales y la interacción trópico-extratropical que favorece la actividad convectiva durante la mañana del período lluvioso en el occidente del archipiélago cubano.

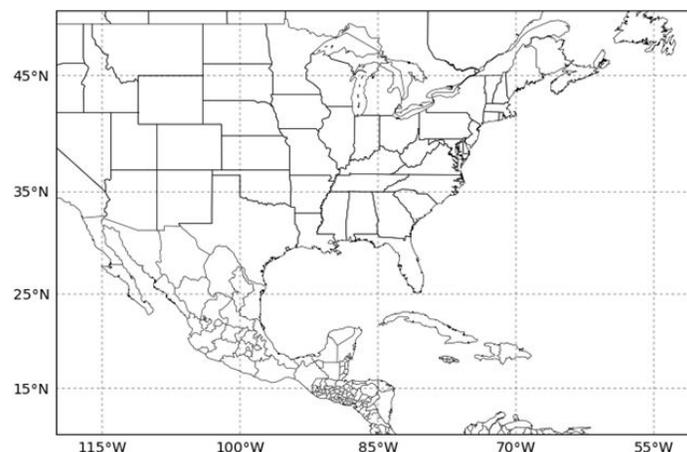


Figura 1. Región de estudio

En el dominio se enfatizará en los casos que presenten lluvia en la mañana del período lluvioso en La Habana, Cuba (Figura 2). En esta provincia existen dos estaciones meteorológicas, una de ellas ubicada en zona costera (Casa Blanca) y la otra se encuentra en el interior del territorio habanero (Santiago de las Vegas), las mismas, distan a una distancia lineal aproximada de 25 km. La selección de los casos de lluvia en la mañana se basó en los datos pluviométricos registrados por estas dos estaciones.

Para este estudio se usaron dos bases de datos principales. La primera está compuesta por los reportes de lluvia diaria, temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento medidos en cada una de las estaciones del país, estos datos se obtuvieron a través del Centro del Clima del INSMET. La segunda consiste en los datos de reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996), disponibles a través del sitio web (<http://www.cdc.noaa.gov>). Los datos de reanálisis contienen la mayoría de las variables de interés desde el año 1948 hasta la actualidad, en los horarios sinópticos (0000Z, 0600Z, 1200Z y 1800Z). Además de los datos anteriores, se usaron cronologías de ciclones tropicales y frentes fríos, obtenidas en el INSMET. Las diferentes fuentes de datos abarcan períodos de varias décadas, sin embargo atendiendo a la calidad y densidad de observaciones en el tiempo y la necesidad de realizar un estudio actual, se escogió el período comprendido entre los años 2000 y 2015. También en esta etapa se cuenta con abundante información

sobre la circulación atmosférica y las condiciones meteorológicas del área.

Atendiendo al objetivo principal de este trabajo, del total de datos disponibles se seleccionaron los días que presentaban registros de precipitaciones en La Habana en el horario de la mañana, comprendido entre las 1200Z y las 1800Z. Esta selección arrojó un total de 510 días con lluvia, lo que representa un 12% del total de precipitación que tiene lugar en el período lluvioso para el territorio de estudio.

Teniendo en cuenta la cantidad de estaciones meteorológicas que presenta la capital cubana, los casos de estudio (días con lluvia) fueron analizados en cada una de las estaciones de manera independiente, quedando un total de 178 casos en la estación meteorológica de Casa Blanca, 162 casos para Santiago de las Vegas y un total de 170 casos de estudio en los que precipitó simultáneamente en ambas estaciones.

Según INSMET (2013), la clasificación de la lluvia teniendo en cuenta su distribución espacial se lleva a cabo de la siguiente manera (Tabla 1):

Por otra parte, el porcentaje de lluvia se calcula considerando el número de estaciones que posea la provincia. De tal manera, reviste gran importancia centrar la investigación en los 170 casos de estudio donde se registró lluvia en ambas estaciones, pues según la Tabla 1, estos entran en la categoría de “Numerosas lluvias”, aumentando así la probabilidad de relacionar este evento con un sistema sinóptico.



Figura 2. La Habana, Cuba

Tabla 1. Clasificación espacial de la lluvia

Pronóstico	Distribución espacial
No lloverá (sin lluvia)	0.0%
Aisladas lluvias	1-30%
Algunas lluvias	31-69%
Numerosas lluvias	≥70%

Una vez seleccionados los casos de estudio, es necesario realizar caso a caso el análisis de los mapas de la presión a nivel del mar en los horarios sinópticos escogidos. La obtención de estos mapas primarios se pudo lograr a partir de la descarga desde sitio web: (<http://www.cdc.noaa.gov>), con lo que se obtendría el nivel de información necesario para esta etapa de la investigación.

Las variables iniciales utilizadas fueron la presión a nivel del mar para determinar la posición e influencia de los diferentes sistemas meteorológicos sobre el territorio cubano, en particular sobre la capital, así como la altura geopotencial de los niveles troposféricos (850, 700, 500 y 200 hPa). También se analizaron la temperatura, humedad relativa y el viento en los mencionados niveles. Estas variables y niveles fueron escogidos porque mediante ellos se puede determinar el estado termodinámico de la atmósfera y valorar el comportamiento medio de las condiciones meteorológicas asociadas con los eventos de lluvia mañanera.

Una vez completada y verificada la muestra se comenzó el procesamiento de la misma, determinándose el acumulado total de lluvia caída durante la mañana y el porcentaje del total de lluvia registrada en la mañana y la tarde, en las dos estaciones para cada uno de los meses del período lluvioso.

Posteriormente, con el análisis de los mapas sinópticos para cada caso de estudio se determinó las diferentes condiciones sinópticas que prevalecieron en cada uno de los días. Las mismas fueron clasificadas en cinco grupos de forma manual o subjetiva, fundamentadas en la apreciación cualitativa del especialista. En aquellos casos, donde no se evidenció un fondo sinóptico totalmente favorable a las precipitaciones durante la mañana en La Habana, se analizaron los valores

de las variables meteorológicas obtenidas en cada estación en el horario de la lluvia.

El problema del método empleado en el procedimiento de clasificación es un aspecto muy polémico y esto es superable solamente en aquellas clasificaciones manuales que no realizan una subdivisión detallada de los procesos circulatorios. En la actualidad se observa una marcada tendencia a que las clasificaciones sinópticas se lleven a cabo por métodos objetivos o automáticos, cuya ventaja está vinculada a la elevada capacidad de procesamiento y por tanto a la rapidez con que se obtienen los resultados. Pero lo más importante radica en la capacidad de selección que tiene las clasificaciones automáticas u objetivas cuando se establece un algoritmo de cálculo.

Como en esta investigación, el análisis y clasificación de las condiciones sinópticas se realizó de manera subjetiva, se decidió realizar un test de significancia estadística a los mapas de las condiciones sinópticas medias obtenidas implementando el método Monte Carlo (Bootstrap). Este método está explicado en detalle en [Livezey y Chen \(1982\)](#) y un ejemplo de aplicación práctica del mismo se puede encontrar en ([Matthews y Kiladis, 1999](#)).

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se realizó el análisis a la muestra de datos mencionada anteriormente, que contempla los días con lluvia durante la mañana en el período lluvioso en La Habana, desde el año 2000 hasta el 2015. Las [Figuras 3](#) y [4](#) muestran los acumulados de la lluvia en la mañana en relación con la lluvia total para las dos estaciones en estudio.

Para el caso de la estación de Casa Blanca se puede evidenciar que el mes de mayor acumulado de precipitación en este horario fue junio, lo cual se corresponde con una de las características

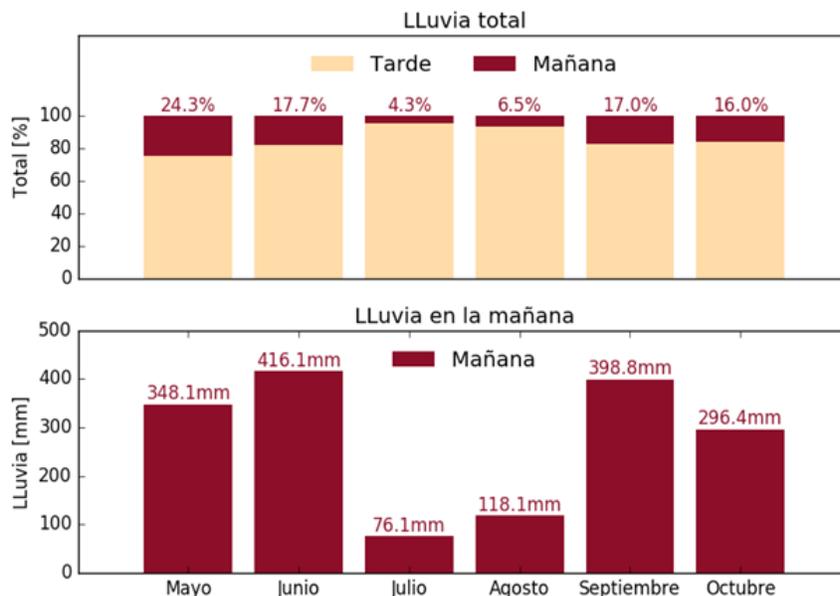


Figura 3. Lluvia promedio mensual para la estación de Casa Blanca

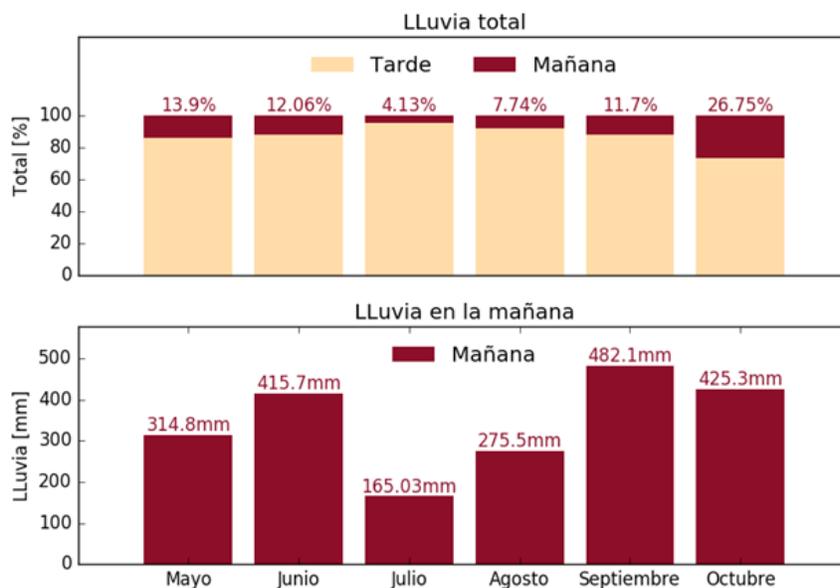


Figura 4. Lluvia promedio mensual para la estación de Santiago de las Vegas

principales del mismo pues es considerado el mes más lluvioso del año. Sin embargo, cuando analizamos el mes de mayor número de días con lluvia se destaca mayo. Esto demuestra que no existe relación entre el número de días con lluvia en la mañana y el total de precipitación caído en este mes.

Al analizar la estación de Santiago de las Vegas, el mes donde el número de días con precipitaciones es representativo fue octubre y los mayores

acumulados en la mañana fueron en septiembre. Este mes tiene como característica principal la mayor frecuencia de formación de organismos tropicales.

Condiciones sinópticas asociadas con la ocurrencia de lluvia durante la mañana en el período lluvioso en el territorio habanero

De un total de 170 casos de estudio se determinaron cinco clasificaciones sinópticas favorables a eventos de lluvia durante la mañana en

el período lluvioso para la región de estudio. Las mismas fueron agrupadas teniendo en cuenta el sistema de escala sinóptica que incidía en el área geográfica de interés y la posición del mismo en superficie. No obstante, en el análisis se tuvo en cuenta la estructura de los sistemas en los diferentes niveles de la troposfera, la influencia sobre la región de estudio seleccionada y sus proximidades, así como el comportamiento de diferentes campos y variables meteorológicas asociadas con el sistema para el día que fue registrada la precipitación. A continuación se exponen esas clasificaciones:

Hondonadas sobre el golfo de México y las inmediaciones de Cuba

Esta situación sinóptica resultó la de mayor frecuencia de afectación, con un total de 68 casos, lo que representa el 40% del total, con el mes de mayor incidencia en junio, correspondiéndose con el mes más lluvioso del año debido en gran parte a este sistema meteorológico. En esta condición lo más interesante resulta la presencia de una perturbación en el flujo del este, asociada con una hondonada bien definida y orientada en forma de V invertida que se localiza en el este del golfo de México. La misma aparece representada sobre el sudeste de Estados Unidos, desde las inmediaciones de las Carolinas, pasando por la Florida e internándose en Yucatán y Centroamérica. Esta configuración provoca el predominio sobre el archipiélago cubano de un flujo de región sudeste, cargado de calor y humedad proveniente de las aguas del mar Caribe ([Figura 5](#)).

En las capas bajas y medias de la troposfera, la hondonada se encuentra bien representada y definida, quedando como una onda corta que se extiende en las inmediaciones del sudeste del golfo de México, el canal de Yucatán, el territorio de igual nombre y la región occidental del archipiélago cubano, así como los mares al sur. La posición de esta vaguada impone un flujo del sur al suroeste sobre el occidente de Cuba. Sin embargo, en los 200 hPa se localiza una onda larga extendida meridionalmente a lo largo de la parte oriental de Norteamérica hasta el golfo de México,

imponiendo fuertes corrientes del oeste sobre el área de estudio. Esta situación sinóptica se evidencia en casi todos los días relacionados con la presencia de una hondonada sobre el golfo de México y las inmediaciones de Cuba, aunque en ocasiones la vaguada en los niveles desde 850 hPa hasta 500 hPa aparece orientada en forma de V invertida provocando un flujo más húmedo del sudeste al sur sobre la región occidental de Cuba y a su vez interactuando con una onda corta en los 200 hPa muy próxima o sobre el área de interés.

Organismos tropicales sobre el archipiélago cubano y los mares que lo rodean

En esta condición sinóptica se tuvo en cuenta la presencia de ondas tropicales y la afectación directa e indirecta de depresiones y ciclones tropicales en el dominio de estudio, representando el 31.3%, con un total de 53 casos, manifestándose la mayor frecuencia en el mes de septiembre, justamente donde se destaca la frecuencia de formación de organismos tropicales más alta del año.

El mapa medio se caracterizó fundamentalmente por la presencia de un organismo tropical en el área geográfica de estudio. Predominó un centro de bajas presiones localizado sobre el canal de Yucatán y la circulación de mínima presión extendió su influencia hasta el extremo más occidental de Cuba, la porción nordeste de la península de Yucatán, el noroeste del Caribe y el sudeste del golfo de México. No obstante, la circulación del sistema ciclónico incidió sobre el territorio cubano, provocando un flujo de fuertes vientos de región sudeste, más del sur sobre las provincias occidentales. El anticiclón subtropical del Atlántico norte se muestra bien definido sobre el Atlántico, con la dorsal extendida al oeste sobre Estados Unidos, aproximadamente al norte de los 35° de latitud norte ([Figura 6](#)).

Las ondas tropicales con un total de afectación de siete días, resultaron en su mayoría reflejo de una baja fría en la troposfera alta, con su centro sobre el golfo de México o el estrecho de la Florida. La vaguada correspondiente se internó en el sur del territorio mexicano y su costa pacífica o en el canal de Yucatán y el extremo occidental de

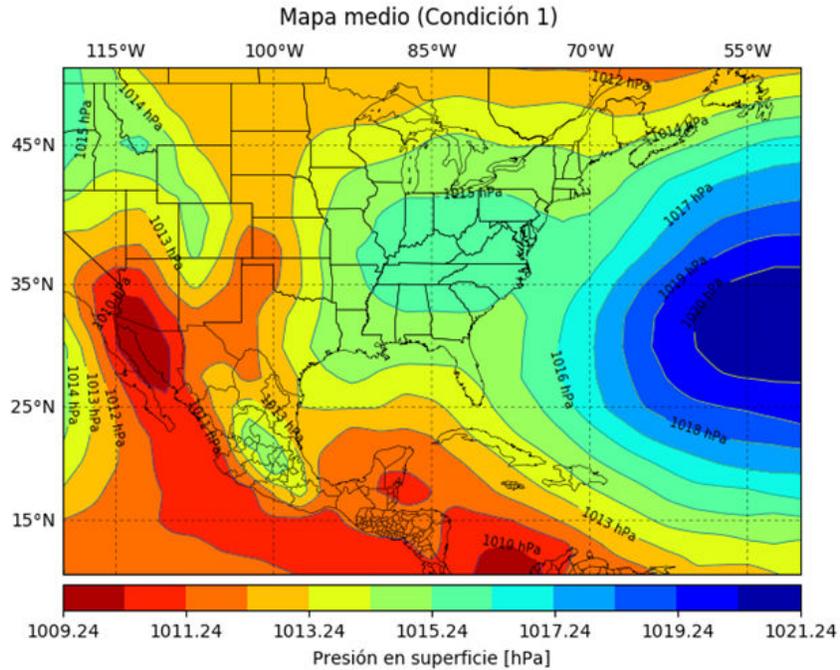


Figura 5. Mapa medio a nivel de superficie para la condición 1

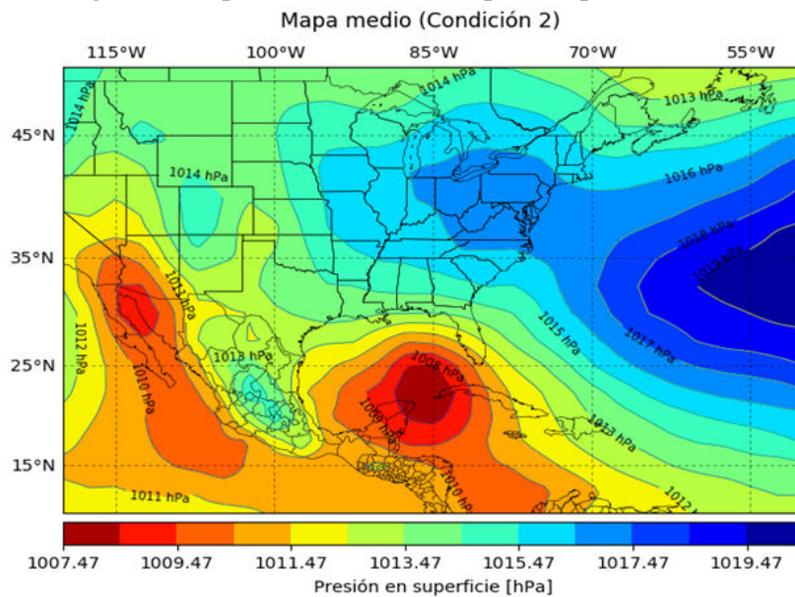


Figura 6. Mapa medio a nivel de superficie para la condición 2

Pinar del Río, Cuba. En la capa media solamente en un caso se observaba representada la baja fría, pues en este nivel lo más importante fue una onda corta sobre el occidente cubano imponiendo vientos de región sur. Sin embargo, en la troposfera baja la onda tropical se manifestó como una vaguada invertida en las proximidades de las provincias occidentales de Cuba, con una componente bien marcada del sudeste, con áreas de

convergencia, humedad y movimientos verticales ascendentes.

Las depresiones y tormentas tropicales, así como los huracanes, incidieron en un total de 46 días durante todo el período de estudio, con la afectación de tres depresiones tropicales, seis tormentas y 13 huracanes. En la columna troposférica el comportamiento de estos sistemas varía en dependencia de la intensidad y

movimiento que tuvo cada uno de ellos, evidenciándose claramente una débil cizalladura vertical del viento y un flujo de salida en los 200 hPa.

Marcada influencia anticiclónica en la superficie a nivel medio del mar

Este grupo se caracterizó por una marcada influencia anticiclónica en superficie, debido a la presencia del anticiclón subtropical del Atlántico norte. El mismo se hallaba extendido en forma de cuña al oeste penetrando su dorsal en el sudeste de Estados Unidos, gran parte del golfo de México, Cuba y ligeramente los mares al sur. La posición y estructura que este sistema mostró en la carta sinóptica de superficie, imponía sobre el archipiélago cubano el predominio de un flujo del este-sudeste, acompañado de humedad, calor y movimientos ascendentes típico de la parte occidental de este tipo de máximo bórico. Esta condición estuvo representada en un total de 27 días, representando el 15.8% del total y con una incidencia marcada en el bimestre julio-agosto. Precisamente, estos meses se caracterizan por poseer gran influencia anticiclónica en el año, pues se observa subsidencia del viento favoreciendo condiciones de buen tiempo para todo el territorio (Figura 7).

Esta condición mostró una particularidad, pues en 11 de los días se observó una marcada influencia anticiclónica a lo largo de toda la columna troposférica, sin evidenciarse un fondo sinóptico totalmente favorable a las precipitaciones. Por tal motivo, se analizaron algunas variables meteorológicas en superficie y en los diferentes niveles de la troposfera para determinar posibles factores que puedan incentivar las lluvias, los que se abordarán más adelante.

En los restantes días predominó en los niveles bajos y medios, la presencia de vaguadas de ondas cortas migratorias próximas o sobre el golfo de México y la mitad occidental de Cuba, que generalmente imponían vientos del tercer cuadrante sobre el occidente cubano. Además se apreció ondas largas en la altura, extendidas desde el este de Canadá y el oriente de los Estados Unidos cruzando sobre la Florida. Estas ondas bien estructuradas y profundas que penetran a través de la región subtropical y llegan en ocasiones a muy bajas latitudes, influyen sobre el estado del tiempo en el trópico, debido a que la temperatura en las capas altas disminuye y el gradiente vertical aumenta provocando inestabilidad. También se manifiesta divergencia en la altura por el aumento del gradiente de presión (geopotencial).

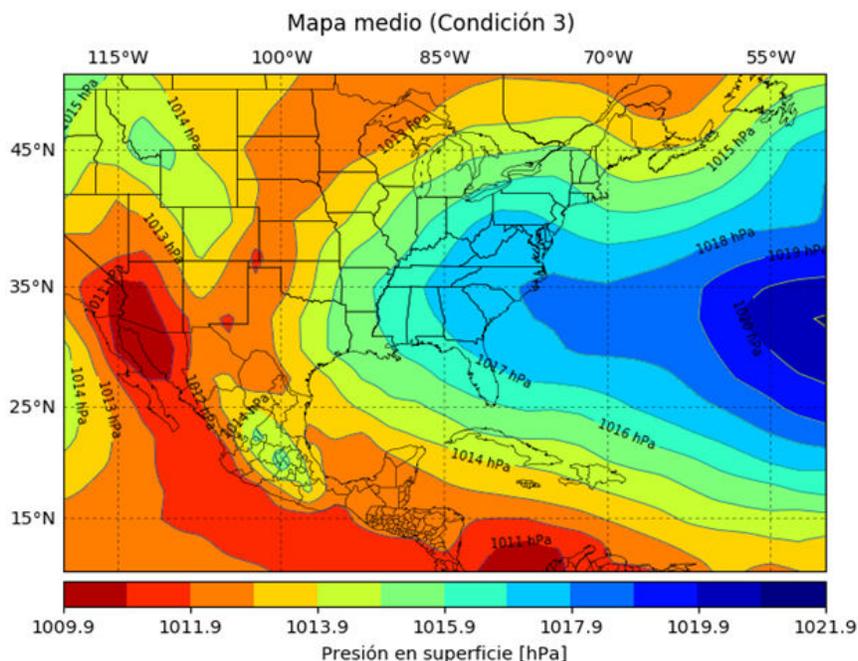


Figura 7. Mapa medio a nivel de superficie para la condición 3

Sistemas frontales extendidos sobre el golfo de México, el estrecho de la Florida y el occidente cubano

En el mapa medio relacionado con esta condición, se puede evidenciar claramente la presencia de un alargado sistema frontal bien estructurado y extendido meridionalmente desde Canadá, hasta el territorio cubano. El mismo tiene su región central en las inmediaciones de la bahía de Hudson en el este de Canadá, cruza a través de los Grandes Lagos y continúa sobre el extremo oriental de Estados Unidos y el Atlántico adyacente hasta la costa norte de la mitad occidental de Cuba. Precisamente, en las inmediaciones de Cuba toma una circulación anticiclónica, relacionada con un movimiento casi estacionario en su porción sur. A ambos lados del frente se observan máximos béricos, denotándose más intenso el que se encuentra extendido sobre el Atlántico occidental, con un centro superior a los 100 hPa (Figura 8).

Durante el período lluvioso, la afectación de sistemas frontales en el área de estudio se vio representada solamente por 10.5% del total, con 18 casos en los meses de mayo y octubre, marcando justamente el comienzo y final del período, donde se denota una transición con el período poco lluvioso y por consiguiente la interacción con sistemas meteorológicos propios de latitudes

medias que penetran en el borde de la zona tropical, evidenciándose una interacción trópico-extratropical.

En los diferentes niveles troposféricos la vaguada polar que genera al sistema se localiza extendida sobre los Estados Unidos, con su centro ubicado en la región sur de Canadá, llegando hasta las inmediaciones del golfo de México y el país de igual nombre. La onda se encuentra bien estructurada y su amplitud es representativa. El flujo de viento que predomina sobre el occidente cubano es de región sursuroeste en las capas más bajas de la troposfera. Se observa además una celda de alto geopotencial con centro sobre el Atlántico occidental y en su periferia se encuentra el occidente de nuestro territorio, imponiendo vientos del segundo cuadrante.

Es importante resaltar que en esta condición se encontraron dos casos en los cuales aparecía una línea de inestabilidad convectiva (Squall Line) delante del sistema frontal. Usualmente estas líneas de tormentas pre-frontales que afectan a Cuba se caracterizan por formarse predominantemente en el área de mayor humedad en superficie y al oeste de la dorsal en el nivel de los 500 hPa, anteceden a frentes fríos débiles y mal definidos, presentan fuerte convergencia en los niveles bajos de la troposfera.

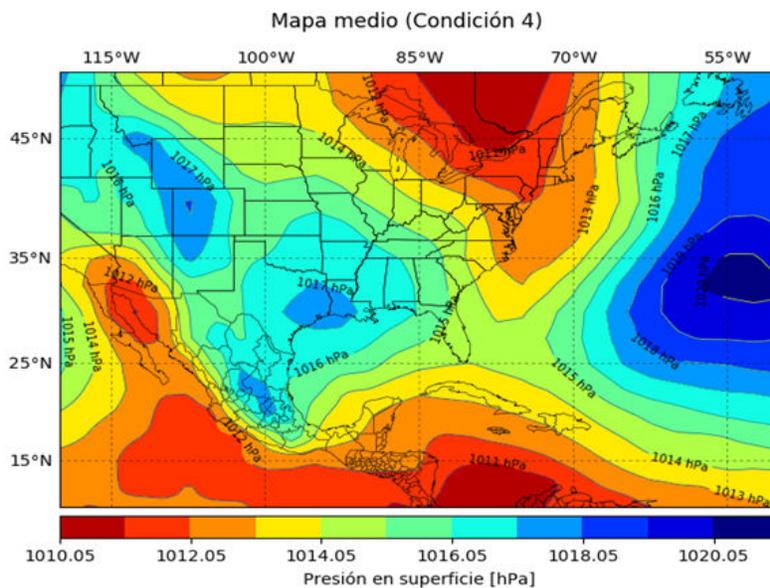


Figura 8. Mapa medio a nivel de superficie para la condición 4

Inestabilidad atmosférica en la región occidental de Cuba y mares adyacentes asociada con otras condiciones

En esta condición se destacaron solo cuatro días con inestabilidad atmosférica, representando un 2.4% del total de casos analizados, estos se explicarán con detalle a continuación.

Día 24 de octubre del 2000

Marcada influencia de un amplio e intenso anticiclón centrado sobre las Carolinas y el Atlántico adyacente, con un valor superior a los 1028 hPa. Sobre Cuba predomina un apretado gradiente bórico que se evidencia en la orientación y posición de las isobaras, así como en los valores de presión en esa área, con un régimen de vientos del nordeste (Figura 10).

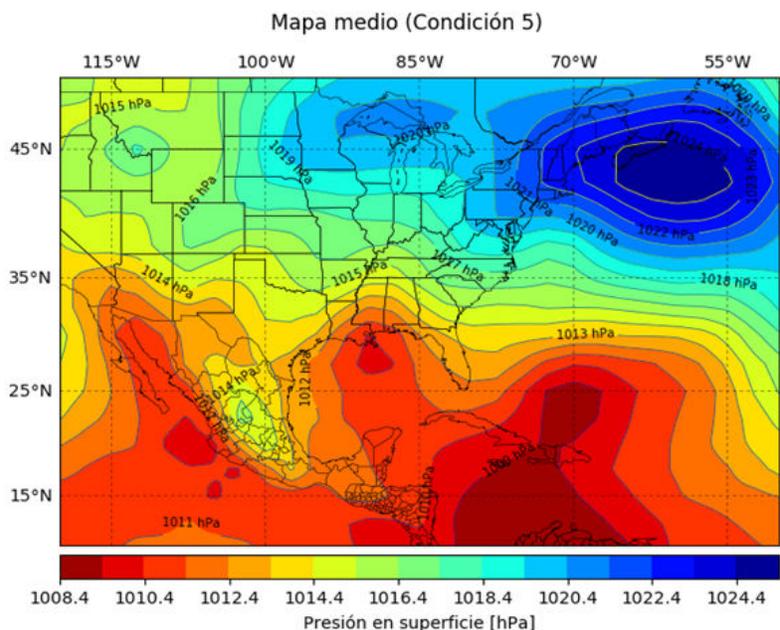


Figura 9. Mapa medio a nivel de superficie para la condición 5

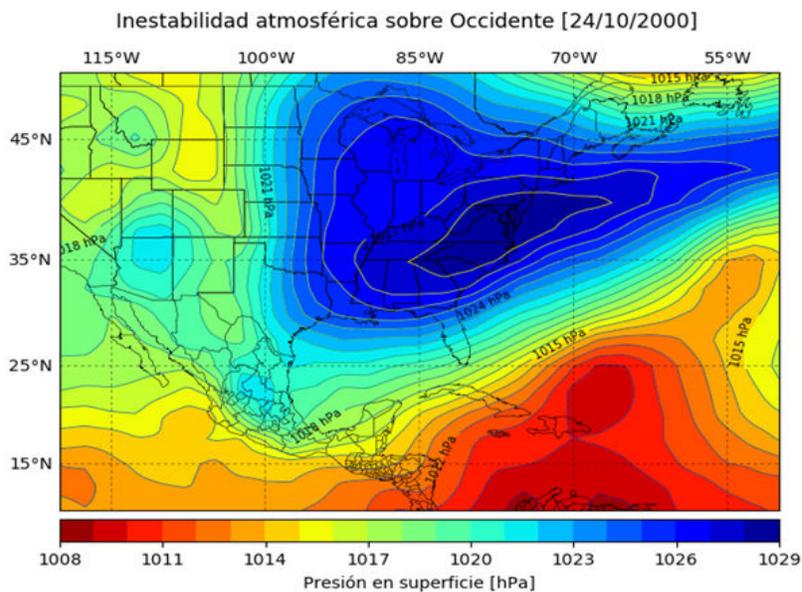


Figura 10. Mapa a nivel de superficie del día 24/10/2000

Día 26 de septiembre de 2002

Cuba se encuentra en la periferia del huracán Isidore, con vientos del tercer cuadrante los cuales aportan gran contenido de humedad. El centro de este sistema tropical se ubica en la costa sur de los Estados Unidos y extiende una hondonada que cruza Centroamérica (Figura 11).

Día 12 de octubre de 2005

El territorio occidental se encuentra afectado por un flujo de vientos del nordeste asociados con un

sistema de bajas presiones, ubicándose su centro al norte de La Española. También se aprecia una hondonada asociada con este sistema sobre la costa este de Estados Unidos que se extiende hasta el Atlántico occidental (Figura 12).

Día 29 de septiembre de 2015

En el mapa se observan dos centros de bajas presiones, uno de ellos ubicado en el norte de América del sur y el otro en el Atlántico occidental al norte de La Española. Se aprecia una hondonada

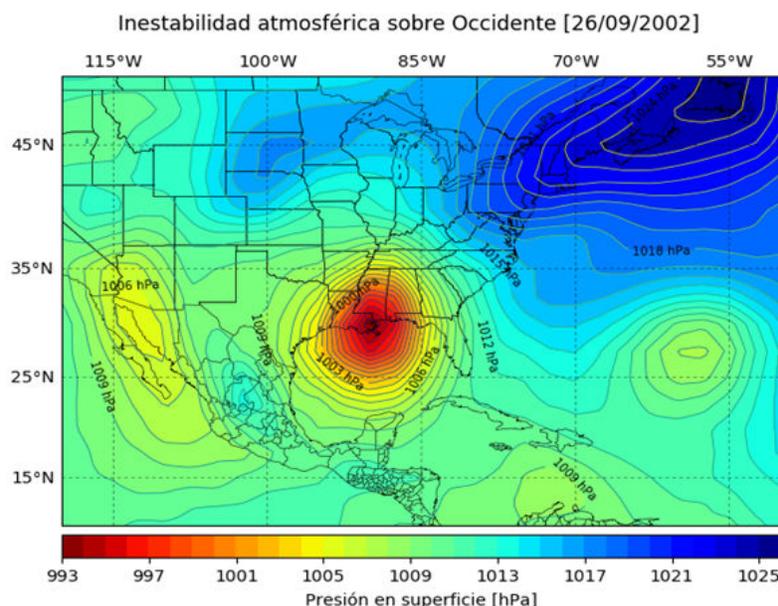


Figura 11. Mapa a nivel de superficie del día 26/09/2002

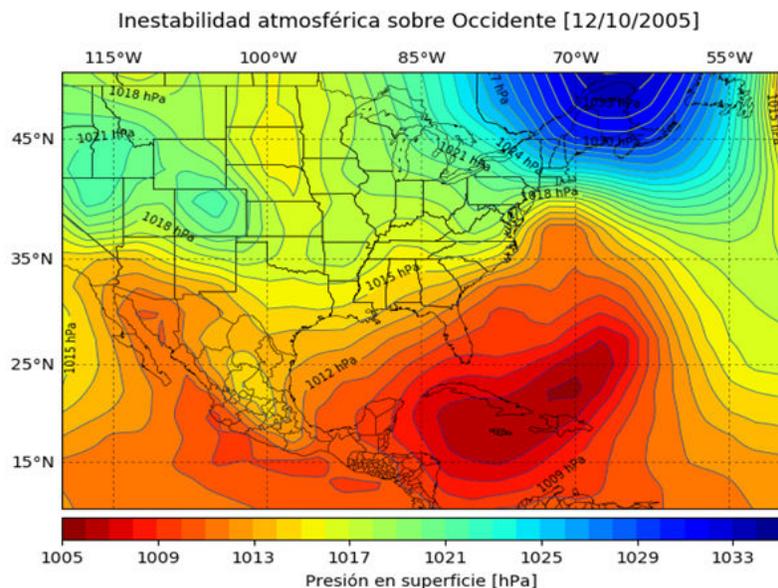


Figura 12. Mapa a nivel de superficie del día 12/10/2005

que se extiende desde la costa este de los Estados Unidos hasta el norte del golfo de Honduras, donde se observa uno de los centros de bajo geopotencial. Sobre el territorio occidental se imponen vientos del segundo cuadrante, esto aporta gran humedad y por tanto favorece en cierta medida la actividad convectiva (Figura 13).

Análisis de los casos que no presentan un fondo sinóptico favorable a las precipitaciones en la mañana

La Tabla 2 muestra que los valores de la temperatura del aire para los días que no

presentaban un fondo sinóptico totalmente favorable debido a la marcada influencia anticiclónica en toda la columna troposférica, oscilaban entre los 25°C y los 28°C, con un mínimo de 24°C y un máximo de 31°C.

Análisis de la humedad relativa (850, 700, 500 y 300 hPa)

La humedad relativa en superficie fue superior al 80% en casi todos los casos con excepción de los días 26/10/2004 con 70% y 30/08/2010 con 75%. Sin embargo, los acumulados de lluvia no superaron los 5.0 mm, aunque dos de los días

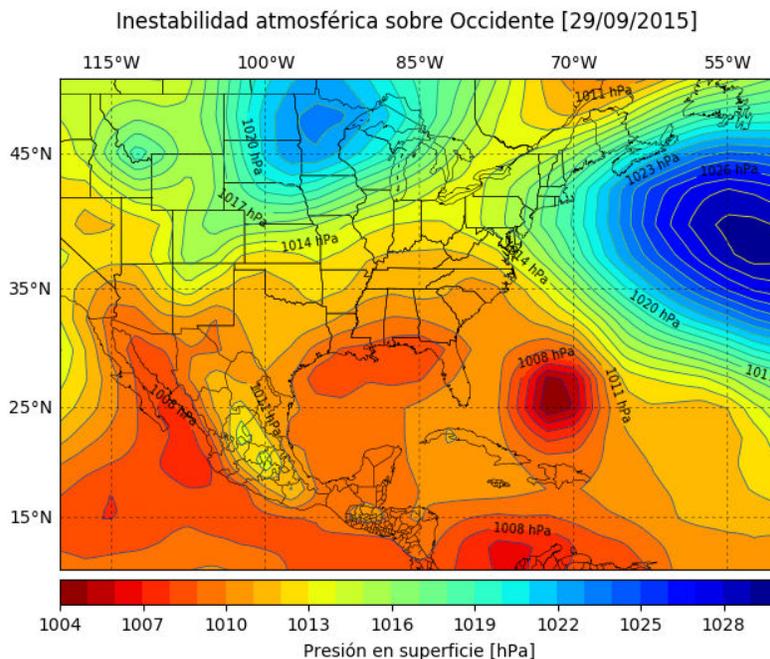


Figura 13. Mapa a nivel de superficie del día 29/09/2015
Tabla 2. Datos de las variables meteorológicas en La Habana

Días	Temperatura	HR	dd	ff (m/s)	RR (mm)
07-09-2000	24	95	Calma	Calma	0.8
20-09-2000	26	90	S	40	15.2
10-10-2000	25	80	E	20	4.3
12-10-2000	26	80	E	20	4.6
13-06-2002	25	94	NE	20	38.7
31-10-2003	26	87	SW	15	3.7
19-07-2004	27	80	Variable	3	3.7
26-10-2004	27	70	Variable	2	0.4
30-10-2005	25	86	NE	30	1.6
19-06-2008	28	90	Variable	15	1
30-08-2010	31	75	E	12	1.9

alcanzaron valores de 15.2 y 38.7 mm para 20/09/2000 y 13/06/2002, respectivamente.

La presencia de varias zonas húmedas con máximos del 95%, una penetrando desde el norte a través de la mitad oriental de Estados Unidos, otra sobre el Atlántico occidental cruzando el sur de la Florida, las Bahamas septentrionales y Cuba, así como áreas de abundante humedad expandidas sobre el Caribe occidental, la mitad occidental de Cuba y el golfo de México aportaron valores de humedad entre 70% y 90% en la baja troposfera. La humedad relativa disminuyó con la altura mostrando valores inferiores en los 500 hPa y una capa de aire más seco en los niveles superiores por debajo del 30%.

Esta variable es representativa para incentivar la lluvia durante la mañana debido a los altos valores en superficie y la troposfera baja, y aire más seco en los niveles altos.

Análisis de la temperatura del aire (Nivel del mar, 850 y 500 hPa)

A una altura de 1.5 km esta variable meteorológica mostró valores entre 16°C y 19°C, con solo dos casos inferiores a este rango, llegando hasta 14°C. Sin embargo, en el nivel medio de la troposfera, la temperatura del aire tuvo un comportamiento más homogéneo con valores entre -5°C y -7°C.

La temperatura del aire no resultó significativa para favorecer las precipitaciones mañaneras puesto que presenta valores inferiores en las capas bajas de la troposfera y una homogeneidad en el nivel medio. Esta particularidad no provocaría inestabilidad en la región de estudio.

Análisis del campo de viento (Nivel del mar, 850, 700, 500 y 200 hPa)

En la capa baja de la troposfera, el viento se mantuvo entre el segundo y tercer cuadrante, predominando una componente del sur débil con intensidades inferiores a los 10 m/s. Sin embargo, en la troposfera media y alta el campo de viento fue muy irregular en cuanto a su dirección pero algo más intenso, con velocidades entre 15-30 m/s en casi todos los casos. Lo más interesante resultó la

presencia de una marcada cizalladura vertical del viento.

El campo de viento en la horizontal no fue representativo, pero si presentó una marcada cizalladura vertical, lo cual junto a otras condiciones favoreció el evento de precipitaciones durante la mañana en el período lluvioso en La Habana.

Test de significancia para los mapas de cada condición

El test de significancia permite cuantificar cuan representativos son estos mapas de cada una de las cinco condiciones analizadas. Debido a que la clasificación de las situaciones sinópticas se realizó de manera subjetiva, es importante tener un criterio cuantitativo de la calidad de los resultados. En las [Figuras 14](#) y [15](#) se puede evidenciar los resultados obtenidos para un valor de significancia del 90%. Las áreas de color rojo muestran los puntos con valores significativos (significancia mayor al 90%).

Como se aprecia en las figuras para el caso de las condiciones 1 y 2, se tiene más del 92% (92.90% y 95.33% respectivamente) del área de estudio con valores de significancia mayores al 90% y para las condiciones 4 y 5 más del 83% (85.77% y 83.40% respectivamente). Los valores anteriores indican que, efectivamente, las condiciones sinópticas que provocan lluvia en el horario de la mañana en el período 2000-2015, agrupadas en las condiciones 1, 2, 4 y 5 tienden a estar asociadas con las respectivas clasificaciones sinópticas medias.

La condición 3 merece especial atención. En este caso, el área con valores significativos no supera el 6%. Este resultado, particularmente decepcionante, no implica que realmente no existía vínculo alguno entre la condición sinóptica 3 y los fenómenos meteorológicos asociados con ella, solo que el grado de certeza de que exista dicho vínculo es bajo (estadísticamente hablando). Por otra parte, la baja significancia estadística de la condición 3 sugiere que podría ser posible reclasificar los 27 días correspondientes a esta condición en dos o más nuevas condiciones.

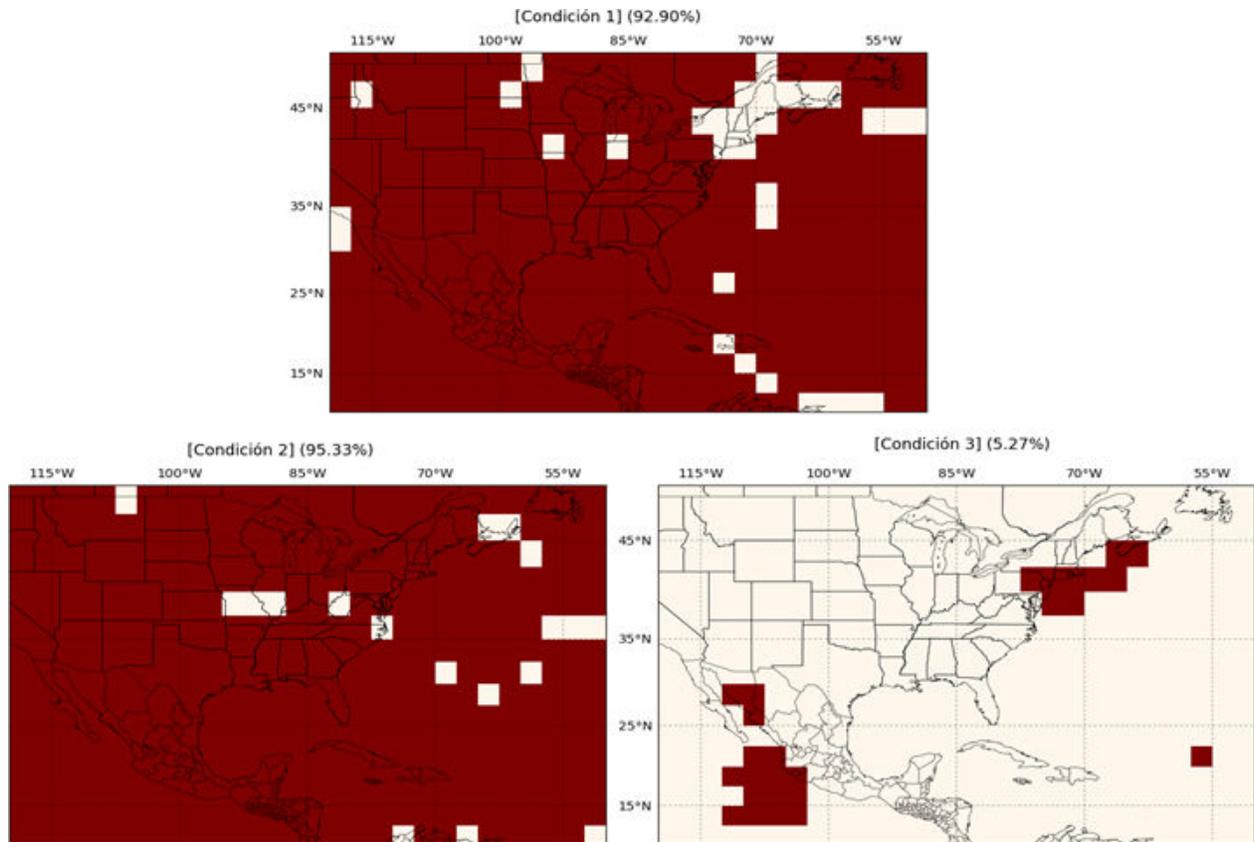


Figura 14. Significancia estadística para las condiciones 1, 2 y 3

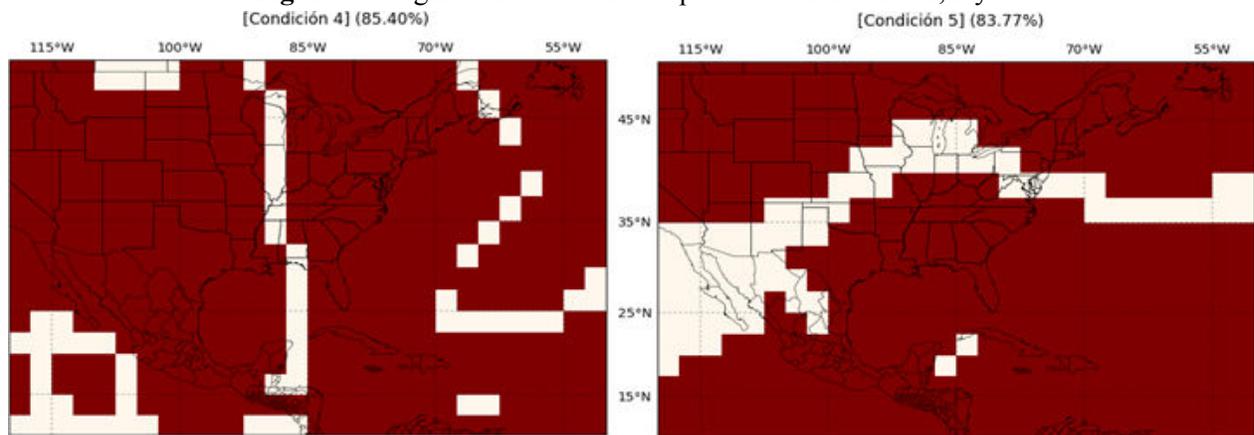


Figura 15. Significancia estadística para las condiciones 4 y 5

CONCLUSIONES

- Las condiciones sinópticas que favorecen las precipitaciones durante la mañana en el período lluvioso en La Habana se agruparon en cinco clasificaciones.
- Cuatro de las cinco condiciones sinópticas tienen un alta significancia estadística, con más del 80% del área de estudio con una significancia superior al 90%.
- La temperatura del aire no resultó representativa en la ocurrencia del evento de lluvia en la mañana para el período de estudio en esta región.
- La humedad relativa y el campo de viento si influyeron de manera significativa en el evento de precipitación estudiado.

REFERENCIAS

- INSMET (2013). *Manual de Procedimientos Operacionales para fenómenos meteorológicos peligrosos*. Número 1. Centro de Pronósticos, La Habana.
- Kalnay, E. *et al* (1996). The NCEP/NCAR 40 year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorology Society*, 77(3):471-473.
- Livezey, R. E. y Chen, W. Y. (1982). Statistical Field Significance and its Determination by Monte Carlo Techniques. *Monthly Weather Review*, 111:46-59.
- Matthews, A. J. y Kiladys, G. N. (1999). Interactions between ENSO, Transient Circulation, and Tropical Convection over the Pacific. *Journal of Climate*, 12:3062-3086.

Naima Somoza Rey. Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica (OPVM), Empresa Cubana de Navegación Aérea (ECNA), Ave. Panamericana y Final. Boyeros, Cuba. E-mail: naisomoz94@gmail.com

Ailyn C. Jústiz Águila. Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología (INSMET), Loma de Casablanca. Regla, Cuba. E-mail: ailyn.justiz@insmet.cu

Roberto C. Cruz Rodríguez. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ave. Universidad #3000. Coyoacán, México. E-mail: roberto.cruz.rdg@gmail.com

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)