

# Condiciones mesoescalares asociadas con la lluvia en la mañana durante el período lluvioso en las estaciones meteorológicas de La Habana

## Mesoscale conditions associated with rain in the morning during the rainy period at the meteorological stations of Havana



CU-ID: 2377/v28n1e04

 Carlos Cornell Martínez<sup>1\*</sup>,  Ailyn Caridad Justiz Aguila<sup>2</sup>,  Naima Somoza Rey<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Ave. Panamericana y Final, Edificio ATC. Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Loma de Casablanca, Regla, La Habana, Cuba.

<sup>3</sup>Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Ave. Panamericana y Final, Edificio ATC. Boyeros, La Habana, Cuba.

**RESUMEN:** Esta investigación se propone identificar las condiciones mesoescalares asociadas con la lluvia en la mañana durante el período lluvioso en las estaciones meteorológicas de La Habana, realizándose un estudio de carácter sinóptico y mesoescalar. Para ello se confecciona una base de datos trihorarios de lluvia en los horarios de la mañana en las estaciones meteorológicas de Casablanca y Santiago de las Vegas, correspondientes al período de estudio 2000-2017. Se determinaron un total de seis configuraciones sinópticas asociadas con la lluvia en la mañana en cada estación meteorológica, las cuales se conformaron según su ubicación en superficie, la estructura que presentaban en la altura y su influencia sobre el área de estudio. La influencia anticiclónica en superficie constituye la situación sinóptica que más días con lluvia en la mañana tuvo asociados en cada estación meteorológica. Además, se determinaron mediante imágenes de satélite y observaciones de radar meteorológico, cuatro condiciones que a mesoescala están asociadas con la lluvia, en los casos con influencia anticiclónica en toda la columna troposférica. Los niveles bajos de la tropósfera fueron los que más aportaron humedad y los movimientos verticales no influyeron de manera significativa en dichos casos. Los años 2005 y 2007 fueron los de mayor cantidad de días con lluvia en la mañana en Santiago de las Vegas y Casablanca, respectivamente, y se obtuvo octubre como el mes que más reportes de lluvia en la mañana tuvo asociado.

**Palabras claves:** condiciones mesoescalares, configuraciones sinópticas, lluvia en la mañana.

**ABSTRACT:** This research aims to identify the mesoscale conditions associated with rain in the morning during the rainy season in the meteorological stations of Havana, with a synoptic and mesoscale study. To do this, a three-hour rainfall database is prepared in the morning hours at the meteorological stations of Casablanca and Santiago de las Vegas, corresponding to the 2000-2017 study period. A total of six synoptic configurations associated with the rain in the morning were determined in each meteorological station, which were shaped according to their location on the surface, the structure they presented in the height and their influence on the study area. The anticyclonic influence on surface constitutes the synoptic situation that more days with rain in the morning had associated in each meteorological station. In addition, four conditions that are associated with rainfall in the mesoscale were determined by means of satellite images and meteorological radar observations, in cases with anticyclonic influence in the whole tropospheric column. The low levels of the troposphere were the ones that contributed most moisture and the vertical movements did not influence significantly in such cases. The years 2005 and 2007 were the ones with the highest amount of rainy days in the morning in Santiago de las Vegas and Casablanca, respectively, and October was the month with the most reports of rain in the morning.

**Keywords:** mesoscale conditions, synoptic configurations, rain in the morning.

\*Autor para correspondencia: Carlos Cornell Martínez. E-mail: [ccornellmartinez@gmail.com](mailto:ccornellmartinez@gmail.com)

Recibido: 03/08/2021

Aceptado: 20/01/2022

## INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones constituyen un fenómeno de vital importancia para la vida cotidiana y la planificación de las actividades en cualquier país del mundo. Es por ello que, en Cuba, hoy día el pronóstico de las mismas constituye un factor de primer orden y necesidad, así como un reto para los pronosticadores.

El archipiélago cubano por encontrarse en la zona tropical presenta dos períodos que lo definen climáticamente, uno poco lluvioso entre los meses de noviembre y abril, y otro lluvioso entre mayo y octubre (Lecha 1994). En este último las lluvias usualmente son favorecidas por sistemas tropicales propios del período lluvioso, por fenómenos mesoescalares y por la combinación de factores locales, inestabilidad vespertina y el fuerte calentamiento del día que caracteriza esos meses. Teniendo en cuenta estas condiciones meteorológicas, las lluvias usualmente en el período lluvioso tienen lugar en el horario de la tarde, aunque en ocasiones se han registrado en las primeras horas del día. Estas últimas, aunque de menor ocurrencia en comparación con las del horario vespertino y un porcentaje bajo con respecto a la lluvia total que se registra en el territorio nacional, tienen un impacto significativo en la planificación de muchas actividades económicas y sociales que comienzan temprano en la mañana.

Desde el punto de vista científico y social, alcanza un alto valor el pronóstico de la lluvia en cualquier lugar y horario del día, debido a la complejidad espacial y temporal que presenta esta variable. En el Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), trabajar en función de este objetivo es de primer orden y necesidad. Por tanto, todo estudio que aborde las condiciones meteorológicas asociadas con la lluvia es de significativo interés para los pronosticadores y especialistas del tiempo, para elevar el conocimiento y lograr mejores resultados que luego tributen a la Seguridad Nacional.

En este sentido, el Centro de Pronósticos del INSMET en los años 2016 y 2017, incluyó en su Sistema de Evaluación el pronóstico de las precipitaciones en la provincia de La Habana, según Manual de Procedimientos Operacionales Ordinarios (versión 2017) (INSMET, 2012). Esta evaluación contempla los horarios de la mañana y la tarde, en cada día y durante todo el año. Los resultados de la evaluación de esta variable en ese territorio durante la mañana en el período lluvioso, resultaron negativos en la mayoría de los casos. Por lo que, conocer el régimen de las lluvias en La Habana, sobre todo de aquellas que ocurren en la mañana, es de gran importancia para el pronóstico en dicha provincia y para la planificación territorial y de la población ante sus efectos.

En Cuba se han realizado investigaciones significativas sobre el tema de las lluvias, prestando especial atención a la intensidad, por el fuerte impacto que esta

puede tener en la sociedad. En estudios realizados por (Orbe, 2009) se determinaron los patrones de circulación de la atmósfera que producen eventos de lluvias intensas, e (Irañeta, 2016) centró su investigación en el estudio mesoescalar de precipitación localmente intensa, ambos para la mitad occidental de Cuba. Por otra parte, (Somoza, 2020) identificó las configuraciones sinópticas asociadas con las precipitaciones para el período lluvioso en La Habana, utilizando los días con lluvia en la mañana en las estaciones meteorológicas de Santiago de las Vegas y Casablanca, simultáneamente.

A pesar de estas investigaciones, se conoce aún poco sobre las condiciones mesoescalares asociadas con la lluvia, en los horarios de la mañana, durante el período lluvioso en la capital cubana y su posible pronóstico. Para este fin se propone como objetivo general: Determinar las condiciones mesoescalares asociadas con la lluvia en la mañana durante el período lluvioso en las estaciones meteorológicas de La Habana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La región de estudio seleccionada para esta investigación comprende la provincia de La Habana, la cual está ubicada en el occidente cubano. En dicho territorio se encuentran dos estaciones meteorológicas, la 78325 (Casablanca) y la 78373 (Santiago de las Vegas). La primera se localiza en una zona costera a los 23°08,6' de latitud norte y 82°20,5' de longitud oeste, en la loma de Casablanca perteneciente al municipio Regla. La segunda se encuentra en el interior del territorio habanero, en Santiago de las Vegas, municipio Boyeros, en los 22°59,0' de latitud norte y 82°23,7' de longitud oeste. La distancia lineal entre ellas es aproximadamente de 20 km.

Para la realización de esta investigación se seleccionó un período de estudio de 18 años, desde el año 2000 hasta el 2017, atendiendo a la calidad y densidad de las observaciones en el tiempo y la necesidad de un estudio actual. Se tomaron, además, los meses correspondientes al período lluvioso del año.

Para la obtención de los valores de lluvia en los horarios de la mañana se utilizaron los datos de los pluviómetros de la red de estaciones meteorológicas del INSMET en La Habana. Se emplearon aquellos días en los que se registró cualquier acumulado de lluvia, incluidos los valores de traza, en los horarios 12, 15, 18 UTC. Estos datos iniciales se obtuvieron de las observaciones trihorarias de la precipitación y de otras variables meteorológicas como la temperatura, la humedad relativa y la dirección y velocidad del viento en dichas estaciones. Estas observaciones forman parte de la base de datos del Centro Nacional del Clima del INSMET.

Es preciso señalar que en el año 2007 no se tienen registros de ninguna variable meteorológica en la esta-

ción de Santiago de las Vegas, pues esta se encontraba en reparación. Por lo que se cuenta con 17 años de estudio en dicha estación solamente.

Para el procesamiento de los datos de las diferentes variables meteorológicas, fueron empleados los softwares Microsoft Office Access 2016 y Microsoft Office Excel 2016, y el lenguaje de programación Fortran 90. Se procesó la información y se escogieron los acumulados de lluvia de las observaciones trihorarias en las estaciones meteorológicas de Casablanca y Santiago de las Vegas de forma individual.

Atendiendo al criterio de selección, se encontraron un total de 569 días con lluvia en la mañana, tanto en ambas estaciones a la vez como en cada estación individualmente. En la estación de Casablanca se determinaron 198 días, lo que representa el 35% del total de días encontrados con lluvia en la mañana. Mientras que en la estación de Santiago de las Vegas se determinaron 167 días con este evento meteorológico, lo que representa el 29% del total. El resto constituyen los casos en los que llovió en ambas estaciones simultáneamente.

Tiene gran importancia centrar la investigación en los 198 casos de estudio de la estación de Casablanca y en los 167 casos de la estación de Santiago de las Vegas individualmente, relacionando la lluvia con sistemas de la mesoescala; puesto que en esta escala meteorológica se ubican los sistemas del tiempo atmosférico más pequeños que los de la escala sinóptica, pero más grandes que los propios de la microescala. Sus dimensiones horizontales generalmente son mayores a 2 km y menores que 2000 km según Fujita (1971) (Caymares, 2016).

Este análisis se hace teniendo en cuenta la separación aproximada entre ambas estaciones meteorológicas, que es de aproximadamente 20 km. Si el fenómeno de la lluvia en la mañana ocurre solamente en una de las dos estaciones, entonces debe estar asociado con condiciones de mesoescala, aunque siempre se debe tener en cuenta el fondo sinóptico presente a la hora de la ocurrencia de la lluvia, pues esta puede estar favorecida por dichos fenómenos.

Después de conformada la base de datos con los días de estudio correspondientes, se le aplica la estadística descriptiva, la cual permite caracterizar el comportamiento de la muestra seleccionada en los 18 años de estudio. Se empleó la herramienta Microsoft Office Excel 2016 para calcular la media aritmética,

la varianza y la desviación estándar de las diferentes variables meteorológicas en los días con lluvia en la mañana, para cada año y para cada mes del período lluvioso. Además, se analizó gráficamente el comportamiento mensual y anual de la lluvia en la mañana en el período de estudio para cada estación meteorológica.

Posteriormente se adquirieron los mapas sinópticos medios de cada día de estudio, para analizar el fondo sinóptico existente e imperante sobre la región de estudio, posiblemente relacionado con la ocurrencia de las lluvias. Se emplearon los mapas de presión a nivel medio del mar y altura geopotencial en los niveles de superficie, 850, 700, 500 y 200 hPa (niveles básicos para el análisis sinóptico y el trabajo operativo). Estos mapas fueron descargados desde los sitios web [www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/day/) y [www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/hour/](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/hour/) pertenecientes al National Center for Environmental Prediction (NCEP) / National Center for Atmospheric Research (NCAR).

Además, se definieron como variables de trabajo en cada uno de los niveles mencionados, la humedad relativa, la temperatura, el viento y los movimientos verticales. La distribución de las variables meteorológicas y los diferentes niveles troposféricos estudiados se muestra en la [Tabla 1](#).

Se seleccionó el espacio sinóptico comprendido entre las coordenadas 10°N - 50°N y 110°W - 50°W con una resolución horizontal de 2.5 grados y formado por 425 puntos de rejilla, para tener en cuenta el fondo sinóptico presente a la hora de la lluvia ([Figura 1](#)). Este espacio es lo suficientemente amplio para analizar los sistemas meteorológicos que integran el fondo sinóptico favorable para la lluvia en Cuba durante el período lluvioso del año, siendo representativo de la interacción trópico-extratropical y de los fenómenos propios de la zona tropical.

Los mapas se obtuvieron de la base de datos descargada y disponible en el Centro Nacional de Pronósticos del INSMET, en formato NetCDF. Esto permitió generar mapas con buena salida gráfica en un período menor de tiempo. Se obtuvieron a través del software GrADS (Grid Analysis and Display System) en su versión 2.1.a 1, a partir de los archivos promedios para las variables presión a nivel medio del mar, altura geopotencial, humedad relativa, temperatura del aire, campo de viento y movimientos verticales. Además,

**Tabla 1.** Variables meteorológicas y niveles troposféricos estudiados

| <i>Variables meteorológicas</i> | <i>Niveles troposféricos (hPa)</i> |     |     |     |     |
|---------------------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| <i>Presión</i>                  | Superficie                         | -   | -   | -   | -   |
| <i>Altura geopotencial</i>      | -                                  | 850 | 700 | 500 | 200 |
| <i>Temperatura</i>              | Superficie                         | 850 | -   | 500 | -   |
| <i>Humedad Relativa</i>         | Superficie                         | 850 | 700 | 500 | -   |
| <i>Viento</i>                   | Superficie                         | 850 | -   | -   | 200 |
| <i>Movimientos verticales</i>   | -                                  | 850 | 700 | 500 | -   |



Figura 1. Espacio sinóptico empleado en el estudio

fue necesario utilizar las cronologías de ciclones tropicales y de frentes fríos archivadas en el INSMET, para compararlas con los días de estudio, y los mapas del tiempo emitidos por el Centro Nacional de Pronósticos del INSMET.

A partir del análisis sinóptico de los mapas de presión en superficie y geopotencial en cada uno de los niveles troposféricos especificados, se pudieron determinar los sistemas que a escala sinóptica afectaron la región de estudio para cada día con lluvia en la mañana. Estos sistemas fueron clasificados en grupos de forma manual o subjetiva, fundamentados en la apreciación cualitativa del especialista. Con este método de clasificación se realiza una subdivisión detallada de los procesos circulatorios y se utiliza dada la necesidad de determinar en la región de estudio el fondo sinóptico y los sistemas existentes.

Luego de finalizar el análisis de los 198 días con lluvia en la mañana en la estación de Casablanca y los 167 días en la estación de Santiago de las Vegas estos se agruparon en seis situaciones sinópticas semejantes para cada estación meteorológica. Sin embargo, como el objetivo fundamental de este trabajo es determinar las condiciones mesoescalares asociadas con los procesos de lluvia en la mañana, no se tuvo en cuenta la influencia directa de los sistemas meteorológicos a escala sinóptica encontrados para un análisis más local del fenómeno. Se seleccionaron solo los días en los que la región de estudio se encontraba bajo influencia anticiclónica en toda la columna troposférica, por lo que el ambiente sinóptico no era favorable para la ocurrencia de la lluvia. Es decir, se escogieron aque-

llos días con influencia anticiclónica en superficie y altos valores de geopotencial hasta niveles altos para realizar un análisis más local.

Utilizando este nuevo criterio se identificaron 27 días con esta situación sinóptica imperando en la región de estudio, 15 días con lluvia en la estación de Casablanca y 12 días con lluvia en la estación de Santiago de las Vegas. Se analizaron estos casos de estudio con los mapas medios de las diferentes variables meteorológicas, con observaciones de radar e imágenes de satélite meteorológico, para detectar los rasgos nubosos y las condiciones que a mesoescala pudieran estar relacionadas con la lluvia.

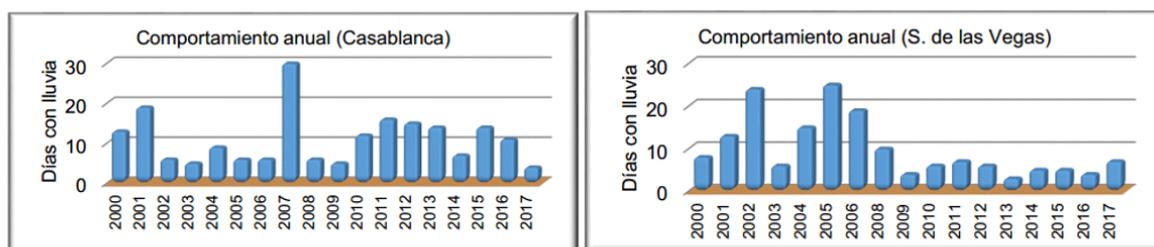
## RESULTADOS

Después de analizada la base de datos se observa el comportamiento estadístico de la lluvia y las diferentes variables meteorológicas del período. El estudio arrojó un promedio de 11 días con lluvia en la mañana en cada período lluvioso en la estación de Casablanca y 9,8 días en el caso de Santiago de las Vegas, presentando una desviación estándar de 6,6 y 7,0 días, respectivamente. Este resultado muestra la gran variabilidad interanual entre un período lluvioso y otro de este fenómeno.

La Figura 2 muestra el comportamiento interanual de los días con lluvia en la mañana en el período de estudio analizado para cada estación meteorológica.

Se obtuvo un máximo absoluto con un total de 30 días de estudio en la estación de Casablanca, en el período lluvioso correspondiente al año 2007 y 25 días de estudio en la estación de Santiago de las Vegas, en el período lluvioso correspondiente al año 2005. Estos máximos de días en ambas estaciones, posiblemente estuvieron asociados con las anomalías negativas de la presión atmosférica a nivel medio del mar, existentes como promedio en el área de Cuba y mares adyacentes en los años anteriormente mencionados. Mientras que se detectó un mínimo de cuatro días con lluvia en la mañana en la estación de Casablanca en el año 2017, y en Santiago de las Vegas se obtuvo un mínimo de tres días en el año 2013.

En sentido general, los acumulados medios de lluvia en la mañana en todo el período de estudio, es-

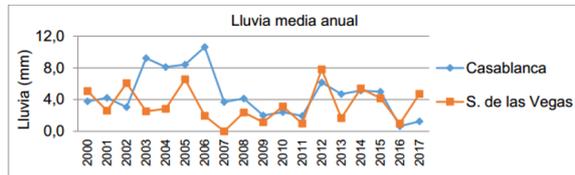


a)

b)

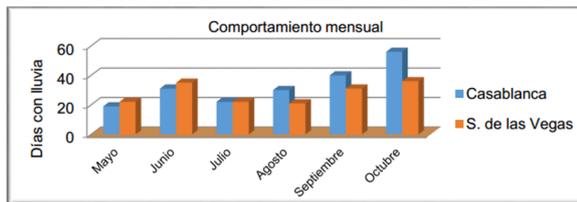
Figura 2. Variabilidad interanual de días con lluvia en la mañana en los períodos lluviosos comprendidos entre 2000-2017 por estación. a) Casablanca, b) Santiago de las Vegas

tuvieron por debajo de los 11 mm cada día, en ambas estaciones meteorológicas. Esto se muestra en la **Figura 3**. Cuando se comparan ambas estaciones, la lluvia media precipitada en Santiago de las Vegas se comportó ligeramente por debajo de la precipitada en Casablanca.



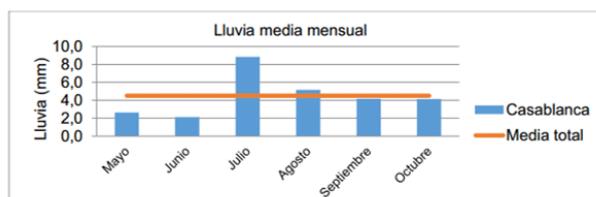
**Figura 3.** Acumulado medio de lluvia en la mañana por año en las estaciones meteorológicas de La Habana

La distribución de los reportes de lluvia en la mañana durante el período lluvioso mostrada en la **Figura 4**, pone de manifiesto como el mes de octubre es el más afectado por este fenómeno en ambas estaciones meteorológicas. Este mes tiene como característica la mayor frecuencia de formación de organismos tropicales y el arribo de sistemas frontales, que comienzan a penetrar en bajas latitudes. En la estación de Casablanca el mes de mayo fue el que menos días con lluvia en la mañana presentó, mientras que agosto tuvo menor cantidad de reportes en el caso de la estación de Santiago de las Vegas.

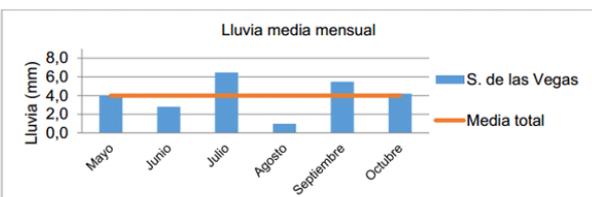


**Figura 4.** Comportamiento mensual de la lluvia en la mañana en los períodos lluviosos comprendidos entre 2000-2017, en las estaciones meteorológicas de La Habana

A pesar de que el mes de octubre se presenta como el más afectado por el fenómeno de la lluvia en la mañana en las estaciones meteorológicas de La Habana, este mes no fue el que más acumulados de lluvia tuvo. La lluvia precipitada en julio en ambas estaciones meteorológicas, fue superior a la registrada en los demás meses del período lluvioso, durante todo el período de estudio, como se muestra en la **Figura 5**.



a)



b)

**Figura 5.** Acumulado medio de lluvia en la mañana por mes por estación. a) Casablanca, b) Santiago de las Vegas

El acumulado medio de lluvia en la mañana durante el período lluvioso en la estación de Casablanca fue de 4,5 mm. En esta estación meteorológica la lluvia media precipitada en los meses de julio y agosto estuvo por encima de la media del mencionado período estacional. Mientras que el acumulado medio en la estación de Santiago de las Vegas fue de 4,0 mm; en este caso la lluvia promedio precipitada en los meses de julio, septiembre y octubre se comportó por encima de la media del período.

### Condiciones sinópticas asociadas con la lluvia en la mañana durante el período lluvioso en las estaciones meteorológicas de La Habana

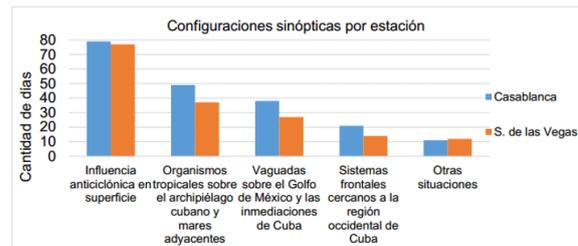
Los días de estudio en cada estación se agruparon en seis configuraciones sinópticas favorables a este evento hidro-meteorológico durante el período lluvioso. Cinco de estas configuraciones se detectaron para ambas estaciones meteorológicas; mientras que se encontraron dos que estuvieron asociadas con la lluvia de manera individual en cada estación meteorológica. Se obtuvo la siguiente distribución de situaciones sinópticas de fondo imperando sobre el área de estudio:

1. Influencia anticiclónica en superficie
  - I. Influencia anticiclónica en superficie con alto geopotencial hasta niveles altos
  - II. Influencia anticiclónica en superficie con vaguada en la altura
  - III. Influencia anticiclónica en superficie con baja fría en la altura
2. Organismos tropicales transitando sobre el archipiélago cubano y mares adyacentes
  - I. Ciclones tropicales
    - Ciclón tropical al norte de Cuba
    - Ciclón tropical al sur de Cuba
    - Ciclón tropical sobre el golfo de México
  - II. Bajas presiones
    - Sistema de bajas presiones al norte de Cuba
    - Sistema de bajas presiones al sur de Cuba
    - Sistema de bajas presiones sobre el golfo de México y la península de Yucatán
  - III. Onda tropical cercana al occidente de Cuba

3. Vaguadas sobre el golfo de México y las inmediaciones de Cuba
  - I. Vaguada sobre el golfo de México
  - II. Vaguada sobre el occidente de Cuba
4. Sistemas frontales cercanos a la región occidental de Cuba
  - I. Frente casi-estacionario cercano a la región occidental de Cuba
  - II. Frente frío cercano a la región occidental de Cuba
5. Área inestable de bajas presiones
6. Débil gradiente bórico (Estación de Casablanca) e Influencia de la circulación de centros de bajas y altas presiones (Estación de Santiago de las Vegas).

En la estación de Casablanca se detectaron 79 días con influencia anticiclónica en superficie a la hora de la ocurrencia de la lluvia, mientras que en la estación de Santiago de las Vegas se encontraron 77 días bajo esta configuración sinóptica. La cantidad de días que le corresponde a cada configuración se muestra en la [Figura 6](#). Como segunda configuración más frecuente se cuenta con los organismos tropicales sobre el archipiélago cubano y mares adyacentes. Dentro de este grupo se incluyen tres situaciones sinópticas fundamentales: ciclones tropicales (al norte de Cuba, al sur de Cuba y sobre el golfo de México), sistema de bajas presiones (al norte de Cuba, al sur de Cuba y sobre el golfo de México y la península de Yucatán), y ondas tropicales cercanas al occidente de Cuba. La configuración: vaguadas sobre el golfo de México y las inmediaciones de Cuba, se agrupó teniendo en cuenta las vaguadas que se localizaban sobre el golfo de México y aquellas que influían directamente sobre el occidente cubano. Los sistemas frontales cercanos a la región occidental de Cuba se dividen en dos situaciones: frente casi-estacionario cercano a dicha región y frente frío transitando sobre el occidente de Cuba. Las configuraciones sinópticas menos frecuentes asociadas con la lluvia en la mañana en la región de estudio fueron: área inestable de bajas presiones, débil gradiente bórico e influencia de las circulaciones de centros de altas y bajas presiones. Estas situaciones se presentaron en menos de 10 días de estudio para cada estación meteorológica, estando por debajo del 4 % del total de días con lluvia mañanera en el período 2000-2017.

Teniendo en cuenta que la influencia anticiclónica en superficie constituye la situación sinóptica más frecuente asociada con la lluvia en la mañana en ambas estaciones meteorológicas, y que, bajo esta configuración, el fondo sinóptico no resulta favorable para los procesos de precipitación, en esta investigación se analizan los días en los que predominó esta situación sinóptica sobre el territorio habanero. En estos días se pueden analizar mejor las condiciones que a



**Figura 6.** Configuraciones sinópticas más frecuentes asociadas con la lluvia en la mañana durante el período lluvioso en ambas estaciones meteorológicas

mesoescala influyen o están asociadas con la lluvia en la mañana. Con el resto de las configuraciones sinópticas encontradas, las condiciones son más propicias para la ocurrencia de precipitaciones y al especialista le resulta menos complejo pronosticar esta variable meteorológica.

### Influencia anticiclónica en superficie

Para agrupar los días con influencia anticiclónica en superficie, se tuvo en cuenta la influencia directa de los centros de alto barómetro sobre la región de estudio, así como la influencia de la periferia del anticiclón subtropical del Atlántico Norte y de los anticiclones migratorios que transitan al norte de Cuba. Esta condición se presentó con una incidencia marcada en los meses de junio y octubre, según la muestra seleccionada y una vez analizados los días para ambas estaciones, se detectaron tres situaciones predominantes en la columna troposférica a la hora de la lluvia, estas son mostradas en la [Figura 7](#).

- Influencia anticiclónica en superficie con vaguada en niveles medios y altos
- Influencia anticiclónica en superficie con bajas frías en la altura
- Influencia anticiclónica en superficie con alto geopotencial hasta niveles altos

Con una mayor cantidad de días de estudio, para cada estación meteorológica se presentó la influencia anticiclónica en superficie con vaguada en niveles medios y altos. En la estación de Casablanca esta situación estuvo presente 48 días, mientras que en la estación de Santiago de las Vegas ocurrió en 42 días. La influencia anticiclónica en superficie con bajas frías en la altura estuvo asociada con la lluvia en la mañana 16 días en Casablanca y 23 en el caso de Santiago de las Vegas. La presencia de estos sistemas en la altura, propician la inestabilidad en la columna troposférica, con un incremento en la humedad relativa, corrientes del sur y suroeste sobre el archipiélago cubano y otras condiciones favorables a la precipitación, por lo que el pronosticador las identifica como configuraciones que incentivan las precipitaciones en cualquier horario del día.

Por último, la influencia anticiclónica en superficie con alto geopotencial hasta niveles altos fue la configuración que menor cantidad de casos de estudio tuvo asociados en ambas estaciones. Pero es precisamente esta situación la de mayor importancia a la hora de desarrollar un análisis a mesoescala de los fenómenos favorecedores de la lluvia, pues el fondo sinóptico presente no respalda la ocurrencia de precipitaciones. Se obtuvieron 15 días con esta situación en Casablanca y 12 días en la estación de Santiago de las Vegas, para un total de 27 días que posteriormente se analizan utilizando imágenes de satélite y observaciones de radar.

### Influencia anticiclónica en superficie con alto geopotencial hasta niveles altos

Se realiza un análisis de esta configuración con los mapas sinópticos medios de los días de estudio en las dos estaciones meteorológicas.

Subgrupo 1: Anticiclón que se encuentra sobre el este de los Estados Unidos con centros de alto geopotencial hasta niveles altos (Figura 8).

Este grupo se caracterizó por una marcada influencia anticiclónica en superficie, debido a la presencia de un centro de altas presiones (aproximadamente de

1020 hPa) sobre cabo Hatteras, al este de los Estados Unidos. El mismo tiene influencia sobre el centro y este de los Estados Unidos, el golfo de México y Cuba.

La estructura de este sistema en superficie impone sobre el archipiélago cubano el predominio de un flujo de región este. En los niveles medios y altos de la tropósfera se localizan centros de alto geopotencial sobre el sureste de Estados Unidos y el golfo de México, imponiendo vientos del primer cuadrante en niveles medios y bajos y del cuarto cuadrante en el nivel de 200 hPa sobre la región de estudio.

Subgrupo 2: Anticiclón que se encuentra retirado en el océano Atlántico con centros de alto geopotencial hasta niveles altos (Figura 9).

Este grupo se caracterizó por la influencia anticiclónica en superficie, debido a la presencia de un sistema de altas presiones alejado en aguas del Atlántico, con un centro de alto barómetro (aproximadamente de 1023 hPa) localizado en las inmediaciones de los 35°N y 50°W. La dorsal anticiclónica se extiende al oeste hasta el centro de los Estados Unidos y el golfo de México, con centros anticiclónicos secundarios sobre el Atlántico occidental y sobre los Estados Unidos.

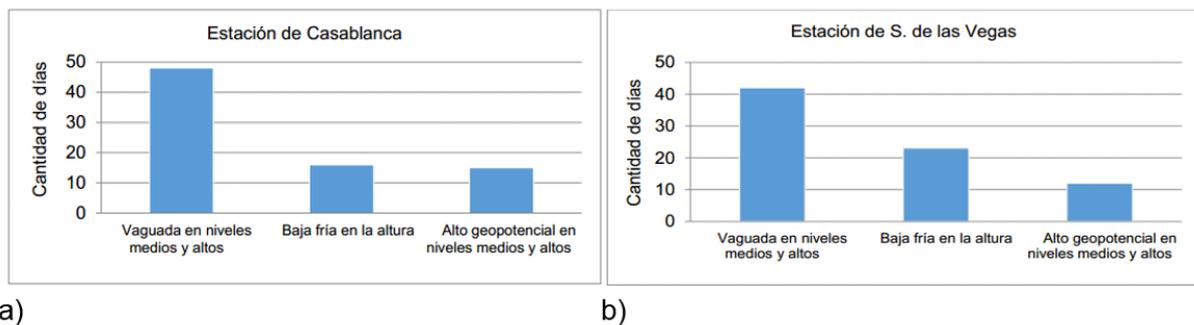


Figura 7. Situaciones predominantes en la altura con influencia anticiclónica en superficie por estación. a) Casablanca, b) Santiago de las Vegas

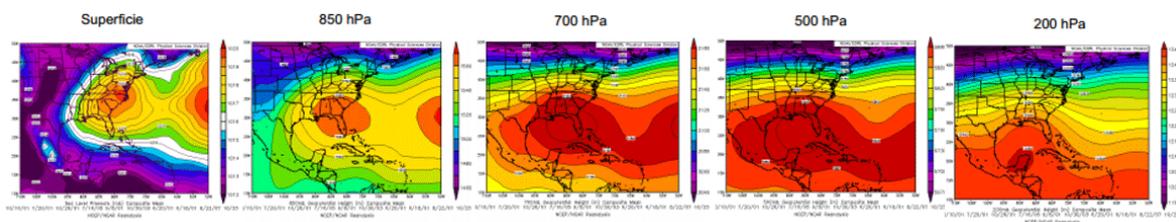


Figura 8. Mapas medios de presión a nivel del mar y niveles troposféricos. Lluvia en la estación de Casablanca

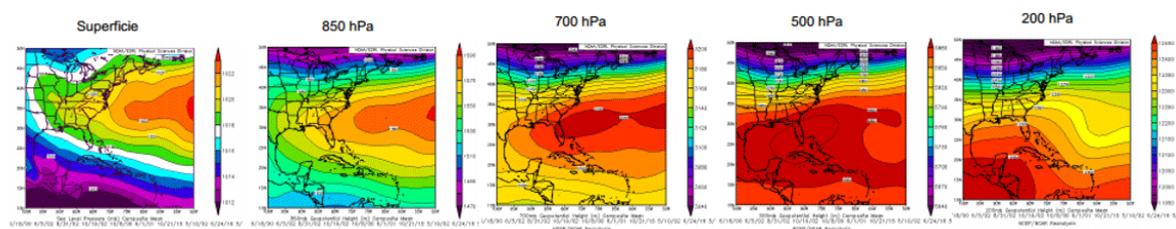


Figura 9. Mapas medios de presión a nivel del mar y niveles troposféricos. Lluvia en la estación de Santiago de las Vegas

La estructura de este sistema anticiclónico en superficie, impone sobre la región de estudio el predominio de un flujo de región este-sureste. En los niveles bajos y medios de la tropósfera se localizan centros de alto geopotencial cercanos a la región de estudio. En el nivel de 200 hPa, la celda de alto geopotencial aparece ubicada por debajo de los 25°N de latitud, imponiendo vientos del cuarto cuadrante sobre el territorio nacional en la altura.

### **Estudio de casos de influencia anticiclónica en todos los niveles troposféricos mediante el análisis de variables meteorológicas, imágenes de satélite y observaciones de radar**

Los 15 días con lluvia en la mañana en la estación de Casablanca y los 12 días con este evento en la estación de Santiago de las Vegas, asociados con la influencia anticiclónica en superficie y alto geopotencial hasta niveles altos de la tropósfera, no mostraron condiciones a escala sinóptica propicias para la ocurrencia de la lluvia. Esto conllevó a la necesidad de analizar y determinar más a fondo las condiciones que incentivaron las precipitaciones en la mañana en dichas estaciones meteorológicas. Con este fin, se tomó en cuenta la utilización de herramientas como los mapas de re-análisis, las imágenes de satélite y las observaciones de radar para determinar las condiciones mesoescalares asociadas con la lluvia en los 27 casos de estudio.

- Análisis de la temperatura (Superficie, 850 hPa, 500 hPa)

En los casos de estudio con lluvia en la mañana en la estación de Casablanca, con influencia anticiclónica en toda la columna troposférica, la temperatura en superficie fue como promedio 28 °C. En el nivel 850 hPa la temperatura del aire estuvo entre 17 y 18 °C. Sin embargo, en el nivel medio de la tropósfera esta variable meteorológica presentó valores cercanos a los -6 °C. Mientras que en los casos con lluvia en la estación de Santiago de las Vegas, la temperatura en superficie fue como promedio 27,5 °C. En el nivel 850 hPa la temperatura del aire estuvo alrededor de los 18 °C, y en el nivel medio de la tropósfera, esta variable se comportó igual que para la estación de Casablanca, con valores alrededor de los -6 °C.

- Análisis de la humedad relativa (Superficie, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa)

En los casos de estudio con lluvia en la mañana en la estación de Casablanca, con influencia anticiclónica en toda la columna troposférica, la humedad relativa en superficie fue inferior al 80 % y como promedio del 78 % para esta situación sinóptica. En el nivel 850 hPa se comportó alrededor del 60 %. Esta variable meteorológica disminuyó siempre con la altura, alcanzando una media del 42 % en el nivel 700 hPa y 34 % en el nivel 500 hPa, evidenciándose un ambiente seco en niveles medios de la tropósfera.

En los casos de estudio con lluvia en la estación de Santiago de las Vegas, la humedad relativa en superficie fue también inferior al 80 %, con un promedio del 79 % para esta situación sinóptica. En el nivel 850 hPa se comportó alrededor del 61 %. Esta variable meteorológica disminuyó también con la altura, aunque los valores fueron superiores con respecto a la estación de Casablanca. Se alcanzaron valores del 52 % como promedio en el nivel 700 hPa y 38 % en el nivel 500 hPa, evidenciándose el ambiente seco en estos niveles de la tropósfera.

En resumen, la capa superficie-850 hPa fue la que más aportó humedad a los procesos de lluvia en la mañana en las dos estaciones meteorológicas. En esta capa de la tropósfera los valores de humedad relativa se comportaron entre 60 y 80 %, siendo inferiores en los niveles medios.

- Análisis del viento (Superficie, 850 hPa, 200 hPa)

En los casos de estudio con lluvia en la mañana en la estación de Casablanca, con influencia anticiclónica en toda la columna troposférica, el viento en los niveles bajos se mantuvo del primer cuadrante como promedio, con velocidades inferiores a los 25 km/h.

Sin embargo, en la tropósfera alta el viento fue del cuarto cuadrante, pero más intenso, con velocidades superiores a los 25 km/h en casi todos los casos, como promedio 29 km/h. Al final de la madrugada e inicios de la mañana el viento se comportó del segundo cuadrante en superficie, en muchos casos, evidenciando la existencia de la brisa de tierra (terral) en esta estación meteorológica.

En los casos de estudio con lluvia en la estación de Santiago de las Vegas, el viento en los niveles bajos se mantuvo del primer cuadrante, con velocidad promedio de 21 km/h. En ocasiones presentó una componente fuerte de región este. Sin embargo, en la tropósfera alta el viento fue del cuarto cuadrante al igual que en la estación de Casablanca, pero con velocidades de hasta 39 km/h, siempre por encima de los 30 km/h en todos los casos.

- Análisis de los movimientos verticales (850 hPa, 700 hPa, 500 hPa)

Los movimientos verticales no poseen un comportamiento bien definido en los niveles bajos y medios de la tropósfera. En ocasiones indican tanto ascensos como descensos del aire, en promedio se mostraron entre -0.02 y 0.02 Pa/s.

El valor máximo encontrado, en los casos de estudio con lluvia en la mañana en la estación de Casablanca, con influencia anticiclónica en toda la columna troposférica, fue de 0,04 Pa/s y el mínimo de -0,03 Pa/s. Mientras que, en los casos de estudio con lluvia en la estación de Santiago de las Vegas, fueron siempre entre -0.01 y 0.01 Pa/s

Todo esto evidencia que los movimientos verticales bajo condiciones anticiclónicas en toda la columna troposférica resultan ser muy débiles y no intervienen de manera significativa en los procesos de lluvia en la mañana bajo esta situación sinóptica.

- Análisis de las imágenes de satélite

A partir del análisis de las imágenes de satélite de los 27 días con influencia anticiclónica en toda la columna troposférica, se pudo comprobar la existencia de cuatro situaciones que a mesoescala, estuvieron asociadas con la lluvia en la mañana en las dos estaciones meteorológicas de La Habana:

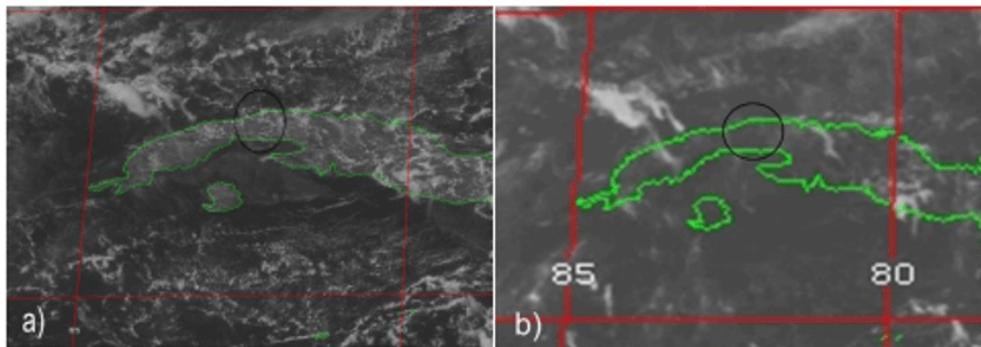
- Nubosidad baja proveniente del mar
- Rollos convectivos horizontales (HCR)
- Convergencia del frente de brisas marinas con los HCR
- Cable de nubes cúmulo sobre el estrecho de la Florida

Se obtuvo como condición común para ambas estaciones, la existencia de nubosidad baja proveniente del mar sobre la región de estudio. Esta nubosidad no presenta un desarrollo vertical considerable, está constituida por nubes cúmulo que se limitan a los niveles bajos de la tropósfera. En las imágenes infrarrojas se observan topes cálidos. Esta situación se puede observar en la [Figura 10](#).

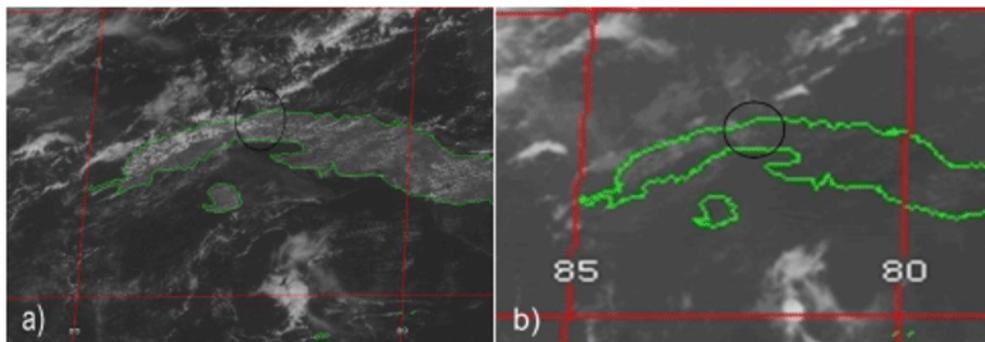
El flujo predominante observado con esta situación, en la mayoría de los casos es de región noreste (primer cuadrante). La lluvia ocurre en la estación de Santiago de las Vegas cuando el viento es capaz de trasladar esta nubosidad hasta el interior del territorio. En este caso la velocidad del viento en niveles bajos es mayor con respecto a los días con lluvia en la estación de Casablanca.

Como segunda situación predominante sobre la región de estudio y que provocó lluvia en la estación de Casablanca se tiene la existencia, desde horas tempranas de la mañana (1400 UTC) de rollos convectivos horizontales. La nubosidad asociada con este sistema tampoco presenta un desarrollo vertical considerable, está constituida por cúmulos que se limitan a los niveles bajos de la tropósfera. Esta situación se puede observar en la [Figura 11](#). En las imágenes infrarrojas se observan topes cálidos. El flujo predominante observado con esta situación, siempre fue del primer cuadrante.

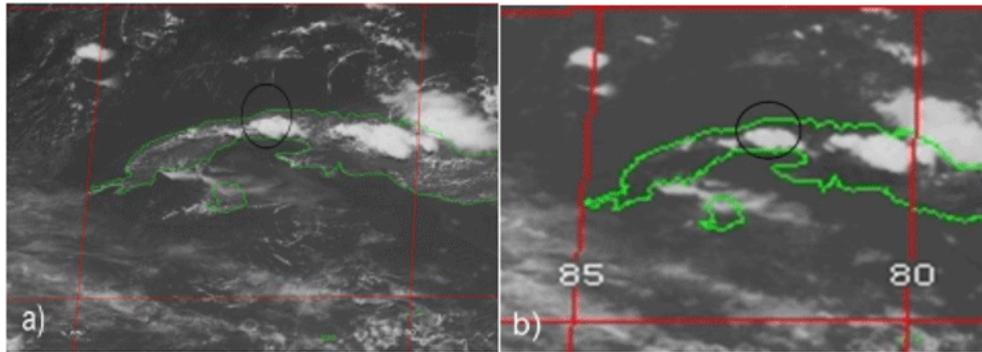
Se obtuvo como situación predominante, en el caso de la lluvia en la estación de Santiago de las Vegas, la convergencia del frente de brisas marinas con los HCR existentes en dirección del flujo. Esta condición se presentó al final de la mañana, provocando nubosidad y lluvia hacia el interior de la región de estudio. En las imágenes infrarrojas se observan topes fríos. Esta situación se puede observar en la [Figura 12](#).



**Figura 10.** Imagen de satélite: a) Visible, se observa sobre la región de estudio, nubosidad baja proveniente del mar, b) Infrarroja, se observan topes cálidos



**Figura 11.** Imagen de satélite: a) Visible, se observa sobre la región de estudio, nubosidad baja asociada con los HCR, b) Infrarroja, se observan topes cálidos



**Figura 12.** Imagen de satélite: a) Visible, se aprecia la convección profunda, b) Infrarroja, se observan topes fríos

Se aprecia en estas imágenes la existencia de cumulonimbos hacia el interior del territorio con topes penetrantes y fríos en las imágenes infrarrojas. En esta región se produjeron tormentas en la tarde, aunque en la mañana los acumulados de lluvia fueron débiles. Esta situación se presentó con flujo en niveles bajos del primer y segundo cuadrantes.

Como última situación, la de menor frecuencia en la región de estudio y que solo incidió en la lluvia en la estación de Casablanca fue la existencia de un cable de nubes cúmulo sobre el estrecho de la Florida. Esta condición se presenta al final de la madrugada e inicios de la mañana. El cable se forma por la interacción del terral de la península de la Florida, el terral de Cuba y el flujo predominante del viento. Esta situación se puede observar en la [Figura 13](#). La nubosidad asociada con este sistema es baja, de poco desarrollo vertical y se observan los topes cálidos en las imágenes infrarrojas.

- Análisis de las observaciones de radar

El análisis de las observaciones de radar solo se pudo realizar en 10 de los 27 casos de estudio, debido a la disponibilidad de las imágenes y porque en algunos casos, las celdas generadoras de la lluvia se encontraban justo encima del radar de Casablanca, por lo que en la observación no se definían los ecos de reflectividad de dichas celdas. Se determinaron los valores de las variables radáricas durante el proceso de génesis, desarrollo y disipación de la celda que afectó la estación meteorológica.

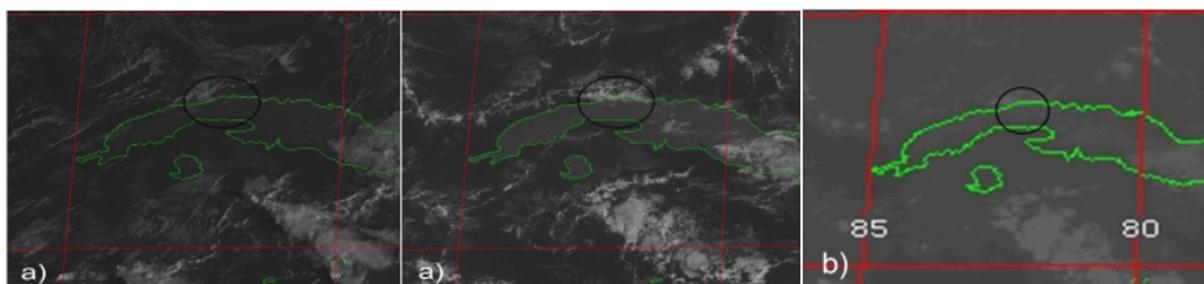
En los casos donde existe nubosidad baja proveniente del mar sobre la región de estudio, la máxima

reflectividad encontrada en las celdas analizadas fue de 47 dBz que constituye una reflectividad fuerte. En cuatro casos analizados se comportó alrededor de los 38 dBz como promedio. La altura de la máxima reflectividad estuvo por debajo de los 2 km, mientras que los topes no superaron los 3 km de altura ([Figura 14](#)). Estos resultados son característicos de celdas con un débil desarrollo vertical y predominio de corrientes descendentes. Esto está en concordancia con lo encontrado en el análisis de las imágenes de satélite para esta situación.

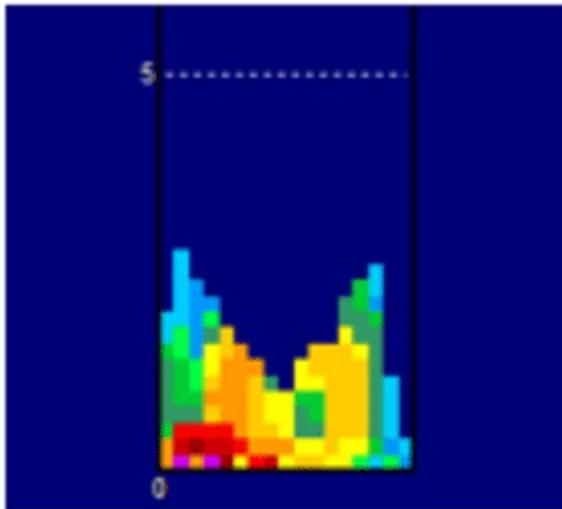
Los valores del VIL máximo encontrado en dichas celdas no superaron los 4 kg/ m<sup>2</sup>, demostrándose que es poco el contenido de agua líquida en este tipo de nubosidad, verificándose así los acumulados de lluvia poco significativos en muchos de los casos.

En los casos donde existen rollos convectivos horizontales sobre la región de estudio, la máxima reflectividad encontrada en las celdas analizadas fue de 42 dBz que constituye una reflectividad fuerte. La altura de la máxima reflectividad estuvo por debajo de los 2 km, mientras que los topes no superaron los 2,5 km de altura. Los valores del VIL máximo encontrado en dichas celdas no superaron los 3 kg/ m<sup>2</sup>, comprobándose que es poco el contenido de agua líquida en la nube, estos valores de VIL son muy débiles ([Figura 15](#)). Estos resultados son característicos de celdas con un débil desarrollo vertical.

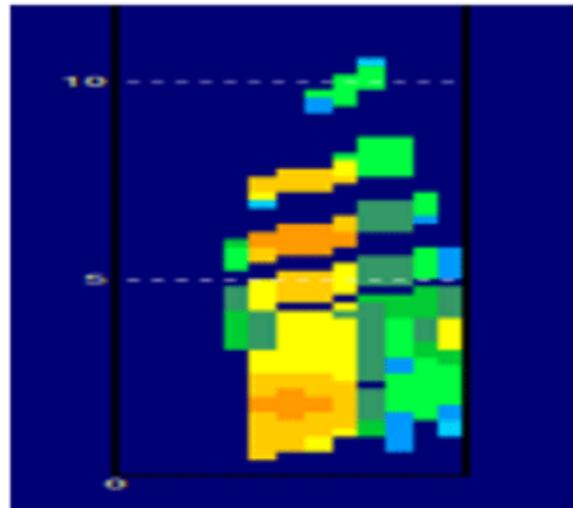
En los casos donde existe convergencia del frente de brisas marinas con los HCR existentes en dirección del flujo sobre la región de estudio, la máxima reflectividad encontrada en las celdas analizadas fue de 50 dBz que constituye una reflectividad fuerte.



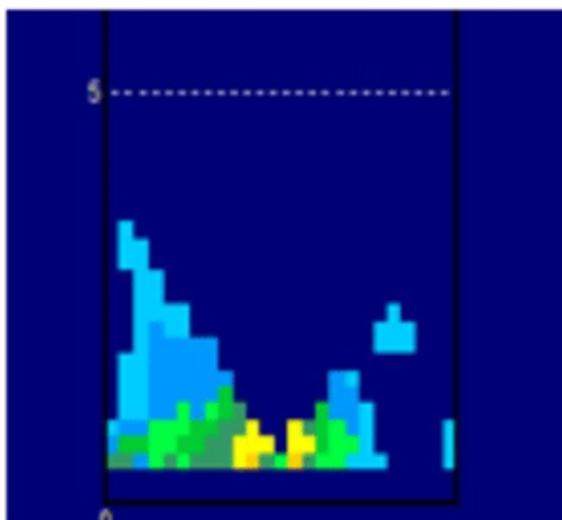
**Figura 13.** Imagen de satélite: a) Visible, se aprecia el cable en el estrecho de la Florida, b) Infrarroja, se observan topes cálidos



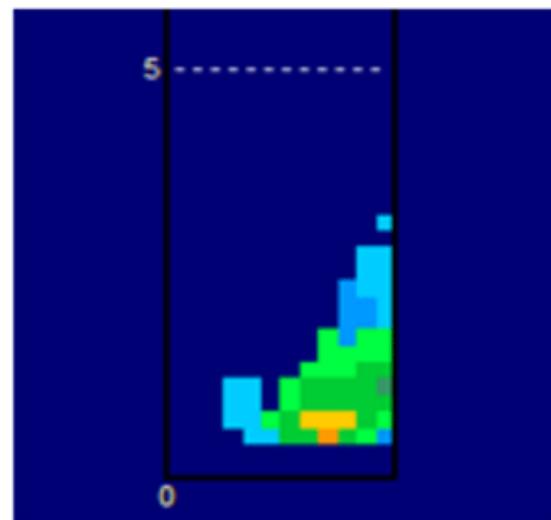
**Figura 14.** Corte vertical de celdas asociadas con la nubosidad baja proveniente del mar



**Figura 16.** Corte vertical de una celda formada por la convergencia del frente de brisas marinas con los rollos convectivos horizontales



**Figura 15.** Corte vertical de una celda asociada con los rollos convectivos horizontales



**Figura 17.** Corte vertical de una celda asociada con el cable de cúmulos formado sobre el estrecho de la Florida

La altura de la máxima reflectividad estuvo por encima de los 3 km, encontrándose en un caso de estudio aproximadamente en los 6 km.

Los topes sobrepasaron los 7 km de altura, los máximos se encontraron alrededor de los 10 km de altura (Figura 16). Sin embargo, a diferencia de los casos anteriores, los valores del VIL máximo encontrados en esta situación fueron moderados, como promedio 6,5 kg/m<sup>2</sup>. Estos resultados son característicos de celdas con gran desarrollo vertical y con predominio de corrientes ascendentes fuertes. Esta situación se detectó fundamentalmente al final de la mañana e inicios de la tarde.

En los casos donde existe un cable de nubes cúmulo sobre el estrecho de la Florida, la máxima reflectividad detectada fue de 40 dBz que constituye una reflec-

tividad fuerte. La altura de la máxima reflectividad estuvo por debajo de los 2 km, mientras que los topes no sobrepasaron los 3 km de altura (Figura 17). Los valores del VIL máximo encontrados en esta situación fueron débiles, como promedio 3 kg/m<sup>2</sup>. Estos resultados son característicos de celdas con poco desarrollo vertical y poco contenido de agua líquida.

Se comprobó que, en casi todos los casos estudiados, la lluvia en la mañana fue generada por celdas aisladas de escaso desarrollo vertical, con tiempo de vida corto. Esto ocurrió siempre, excepto en los casos donde se comenzó a gestar una tormenta al final de la mañana hacia el interior de la región de estudio, asociada con la convergencia del frente de brisas marinas y los rollos convectivos horizontales.

## CONCLUSIONES

1. Se determinaron seis configuraciones sinópticas asociadas con la lluvia en la mañana durante el período lluvioso en cada estación meteorológica de La Habana.
  - Influencia anticiclónica
  - Organismos tropicales transitando sobre el archipiélago cubano y mares adyacentes
  - Vaguadas sobre el golfo de México y las inmediaciones de Cuba
  - Sistemas frontales cercanos a la región occidental de Cuba
  - Área inestable de bajas presiones
  - Débil gradiente bórico y combinación de circulaciones de centros de bajo y alto barómetro.

La Influencia anticiclónica en superficie constituye la situación sinóptica que más generó lluvia en la mañana en la región de estudio.
2. Se determinaron cuatro condiciones mesoescales asociadas con la lluvia en la mañana cuando el fondo sinóptico no es favorable para dicho fenómeno:
  - Nubosidad baja proveniente del mar
  - Rollos convectivos horizontales (HCR)
  - Convergencia del frente de brisas marinas con los HCR
  - Cable de nubes cúmulo sobre el estrecho de la Florida
3. Predominaron valores de humedad relativa entre 60 y 80 % en la capa superficie-850 hPa y una capa seca en niveles medios de la tropósfera. Las temperaturas fueron cercanas a los -6 °C en 500 hPa y los movimientos verticales no influyeron de manera significativa en los procesos de lluvia.
4. En las observaciones de radar, las celdas se caracterizaron por tener reflectividades fuertes, superiores

a 40 dBz, pero topes por debajo de los 3 km de altura, con excepción de los casos en los que se gestaron tormentas al final de la mañana, donde se encontraron topes por encima de los 7 km de altura.

5. Los años 2005 y 2007 fueron los de mayor cantidad de días con lluvia en la mañana en las estaciones meteorológicas de Santiago de las Vegas y Casablanca, respectivamente. Se obtuvo octubre como el mes que más reportes de lluvia en la mañana presentó en el período de estudio.

## REFERENCIAS

- Caymares, A. 2016. *Curso de Meteorología de Mesoescala*. InSTEC. La Habana.
- INSMET. 2012. *Manual de Procedimientos Operacionales Ordinarios del Sistema Nacional de Pronósticos*. Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba.
- Irañeta, J. M. 2016. *Estudio a mesoescala de la lluvia localmente intensa en la mitad occidental de Cuba para el periodo poco lluvioso*. Tesis presentada en opción al grado de Licenciado en Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, Cuba.
- Lecha et al. 1994. *El clima de Cuba*. Editorial Academia, La Habana, Cuba.
- ONEI (Oficina Nacional de Estadísticas e Información). 2010. Available: <<http://www.one.cu>>
- Orbe, G. 2009. *Sistema de reconocimiento de patrones de eventos de lluvias intensas en la mitad occidental de Cuba*. Tesis presentada en opción al grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas, La Habana, Cuba.
- Somoza, N. 2020. "Condiciones sinópticas que favorecen las precipitaciones durante la mañana en el período lluvioso en La Habana". *Revista Cubana de Meteorología*, 26(1): 1-15, ISSN: 2664-0880.

Carlos Cornell Martínez. Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Ave. Panamericana y Final, Edificio ATC. Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: [ccornellmartinez@gmail.com](mailto:ccornellmartinez@gmail.com)

Ailyn Caridad Justiz Águila. Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Loma de Casablanca, Regla, La Habana, Cuba. E-mail: [ailyn.justiz@insmet.cu](mailto:ailyn.justiz@insmet.cu)

Naima Somoza Rey. Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Ave. Panamericana y Final, Edificio ATC. Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: [naisomoz94@gmail.com](mailto:naisomoz94@gmail.com)

**Conflicto de intereses:** los autores no declaran conflictos de intereses.

**Contribución de los autores: Conceptualización:** Carlos Cornell Martínez, Ailyn Caridad Justiz Águila y Naima Somoza Rey. **Investigación:** Carlos Cornell Martínez. **Redacción -revisión y edición:** Carlos Cornell Martínez, Ailyn Caridad Justiz Águila y Naima Somoza Rey.

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/)