

## “IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE HUMEDAD PARA LLUVIAS INTENSAS EN LA HABANA, CUBA”

*Autor: Darielis Aguiar Figueroa*

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba,  
E-mail: [daguiar@instec.cu](mailto:daguiar@instec.cu)

### **Resumen:**

En este trabajo se realiza un estudio de carácter climatológico sinóptico sobre las fuentes de humedad que contribuyen a las lluvias intensas en La Habana, en el período desde el 2000 hasta el 2016. Se analizan los diferentes sistemas meteorológicos que inciden en la presencia de estas precipitaciones sobre la capital cubana, en dependencia de la época del año. Para ello, se identifican las condiciones sinópticas que determinaron las mismas, así como el comportamiento troposférico de esa situación meteorológica, y sus características asociadas. Se analiza el campo de la humedad en las capas bajas y medias de la troposfera, por ser una de las variables meteorológicas de mayor aporte a la ocurrencia de las precipitaciones en la zona tropical. A la vez, se tuvo en cuenta la interacción de la misma con otros campos derivados del viento, como la vorticidad, divergencia y los movimientos verticales (omega). Para este último, se realizaron perfiles verticales sobre la estación meteorológica donde se registró la lluvia intensa, con el objetivo de conocer la dinámica del evento extremo valorando los movimientos ascendentes o descendentes del aire.

# Introducción

Las lluvias intensas ocurren por una serie de factores combinados. Las inundaciones causadas por las mismas pueden resultar perjudiciales en la pérdida de vidas humanas y daños a la propiedad e infraestructura social.

La humedad relativa en la troposfera media y baja para estos casos juega un papel importante pues el mecanismo que inicia la lluvia es la advección de humedad, que a su vez requiere una región adecuada de evaporación (región fuente) desde donde se puede transportar la humedad. Si no hay región de origen entonces la lluvia intensa no puede ocurrir. En Cuba es típico el esqueleto convectivo por confluencia de las brisas del norte y sur. Los estudios climatológicos en la región muestran que este fenómeno ocurre predominantemente bajo circulación atmosférica ciclónica, pero en nuestra investigación se descarta aquellos casos asociados a ciclones tropicales.

## Conceptos fundamentales:

La humedad relativa es la relación porcentual entre el contenido de vapor de agua actual de la masa de aire y el contenido máximo posible para esa misma temperatura.

La precipitación es el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes, también se produce cuando el vapor de agua se condensa o se sublima sobre la superficie de objetos que están en el terreno. En las nubes más cálidas del trópico la precipitación se mantiene siempre como lluvia. Esta variable, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se considera intensa si ocurre a razón de 100 mm o más en 24 horas o menos, así como 50 mm o más en 12 horas o menos.

**Objetivo de la investigación:** Identificar los mecanismos atmosféricos generadores de eventos de lluvias intensas en las estaciones de Casablanca y Santiago de Las Vegas, La Habana.

## Objetivos específicos:

1. Analizar las condiciones sinópticas que determinaron los casos de lluvias intensas en La Habana en el período del 2000-2016.
2. Analizar la presión a nivel del mar y alturas geopotenciales en el período lluvioso y poco lluvioso para identificar el patrón medio sinóptico predominante en ambos períodos.
3. Analizar el campo de la humedad en la troposfera media y alta.
4. Analizar la temperatura del aire en 850 y 500 hPa y determinar el contraste térmico entre ambos niveles.
5. Analizar la posición e intensidad de los núcleos máximos de movimientos ascendentes y descendentes asociados a ambos períodos (omega).

# Desarrollo

## Materiales y Métodos

### 1.1) Descripción general de la zona de estudio

La zona de estudio utilizada para llevar a cabo la investigación es La Habana, capital de Cuba. Está ubicada entre las coordenadas 22°58'- 23°10' de latitud norte y los 82°30'- 82°06' de longitud oeste. Ocupa el decimocuarto lugar en extensión entre las provincias del país, con 721,01 kilómetros cuadrados, representando el 0,7 por ciento de la superficie total del territorio nacional.

Límites geográficos:

- Al norte: Estrecho de la Florida
- Al este: Provincia de Mayabeque
- Al sur: Provincias de Mayabeque y Artemisa
- Al oeste: Provincia de Artemisa

Es la provincia más pequeña del país y la más poblada, con alrededor del 20 % de la población (2.135.498 habitantes). Las costas ocupan todo el límite norte a escasos metros sobre el nivel del mar lo que ha despertado preocupaciones sobre todo por el impacto que el cambio climático pudiera tener. El clima de la ciudad, es tropical como en el resto de la isla. Sin embargo recibe una mayor influencia de masas de aire continental en invierno, lo que hace que las temperaturas sean más frescas en estos meses



### 1.2) Descripción de los datos utilizados

Los datos de precipitación empleados fueron obtenidos de los registros de las estaciones meteorológicas de Casablanca (78325) y Santiago de Las Vegas (78373) y proporcionados por el Centro del Clima, Instituto de Meteorología (INSMET).

Las cartas sinópticas de presión a nivel del mar y alturas geopotenciales en los principales niveles (850, 700, 500 y 200 hPa) fueron obtenidos del Centro de Pronósticos, INSMET.

La obtención de los mapas de los distintos campos meteorológicos utilizados se logró a partir de la descarga desde el sitio WEB: <http://www.cdc.noaa.gov>, basados en la base de datos del NCEP/NCAR de la NOAA (Nacional Oceanic Atmospheric Administration),

## Caso estudio

### 2.1) Identificación de lluvias intensas en La Habana

Los eventos de lluvias intensas están asociados a diferentes Sistemas Meteorológicos en dependencia de la época del año. El umbral empleado en el trabajo para este tipo de evento es 100 mm o más en 24 horas o menos. Con la base de datos diarios de las estaciones de Santiago de las Vegas (78373) y

Casablanca (78325) se tomaron los valores que cumplían con dicho umbral a partir del año 2000 hasta el 2016, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla I.

**Tabla I. Lluvias intensas**

Estación	Año	Mes	Día	r (24h)
78325	2016	1	15	101.2
78325	2001	4	28	112.2
78373	2001	4	29	130.8
78325	2015	4	29	188.3
78325	2002	5	19	126.8
78373	2002	5	22	106.9
78325	2006	5	16	100.6
78373	2015	5	6	122.5
78325	2002	6	12	118.2
78325	2002	6	21	151.7
78325	2007	6	30	109.6
78373	2008	6	17	139
78325	2005	7	8	142
78325	2005	7	9	144.5
78373	2010	7	15	103.2
78325	2011	7	15	105.3
78325	2004	8	12	104.7
78325	2005	8	26	138.7
78325	2005	9	20	185.9
78373	2008	9	9	167.4
78325	2008	9	9	190
78325	2012	9	28	112
78373	2006	10	7	108.4
78325	2011	10	4	105.6
78373	2012	10	21	109
78325	2001	11	4	110.3
78325	2013	11	29	228.3
78325	2016	12	8	111.9

En este período se obtuvo un total de 28 días entre las dos estaciones meteorológicas y los datos fueron agrupados por meses, años y días, resaltando el trimestre mayo-junio y julio como el de mayor cantidad de días con lluvias intensas en territorio habanero.

## 2.2) Determinación de las condiciones sinópticas

Las condiciones sinópticas que determinaron estas lluvias intensas están dadas fundamentalmente por la presencia de frentes casi-estacionarios sobre el occidente de Cuba, líneas de tormentas pre-frontal y frentes fríos en estado de disipación, estos dos últimos sistemas, en menor medida. Estas condiciones prevalecieron desde finales de octubre hasta principios de abril en correspondencia con el período poco lluvioso del año, donde es típico la presencia de estos sistemas invernales. Sin embargo, en el período lluvioso desde mayo hasta octubre, las condiciones predominantes estuvieron asociadas a la presencia de ondas tropicales al sur de la isla y centros de bajas presiones en la península

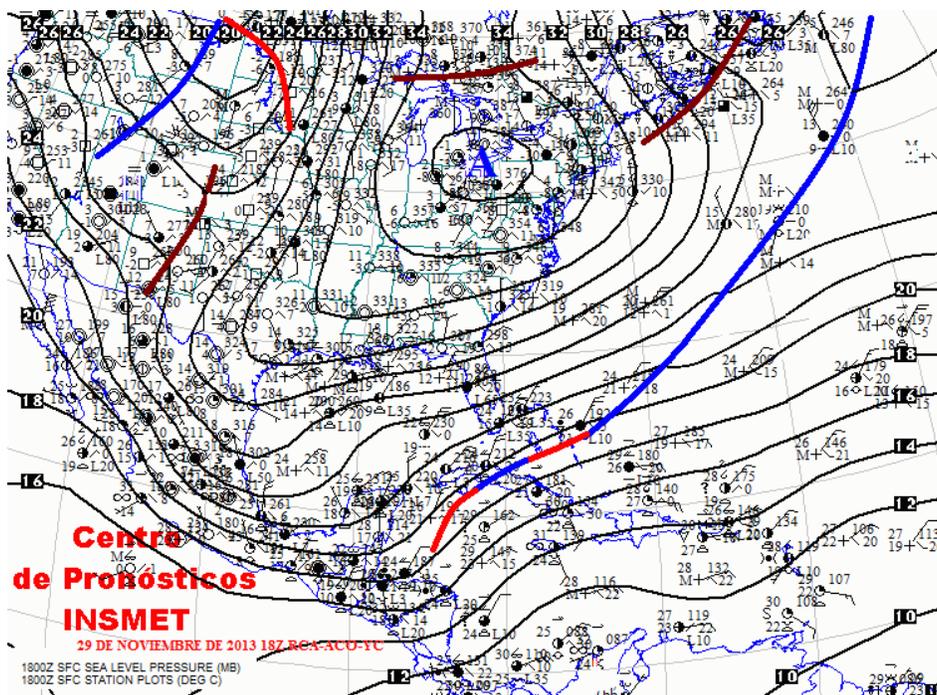
de la Florida con vaguadas sobre occidente. En la investigación se excluyeron ocho días pues sus condiciones fueron ocasionadas directa o indirectamente por ciclones tropicales transitando sobre o próximas a la región occidental, los cuales no son objeto de estudio en el trabajo debido a la estructura y organización que tienen esos sistemas. Por tanto, los casos de estudios en el período, fueron un total de 20 días (Ver Tabla II):

**Tabla II. Días por períodos**

Período poco lluvioso		Período lluvioso	
28-4-2001	29-4-2001	19-5-2002	22-5-2002
4-10-2011	21-10-2012	12-6-2002	21-6-2002
29-11-2013	29-4-2015	16-5-2006	7-10-2006
15-1-2016	8-12-2016	30-6-2007	17-6-2008
		15-7-2010	15-7-2011
		28-9-2012	6-5-2015

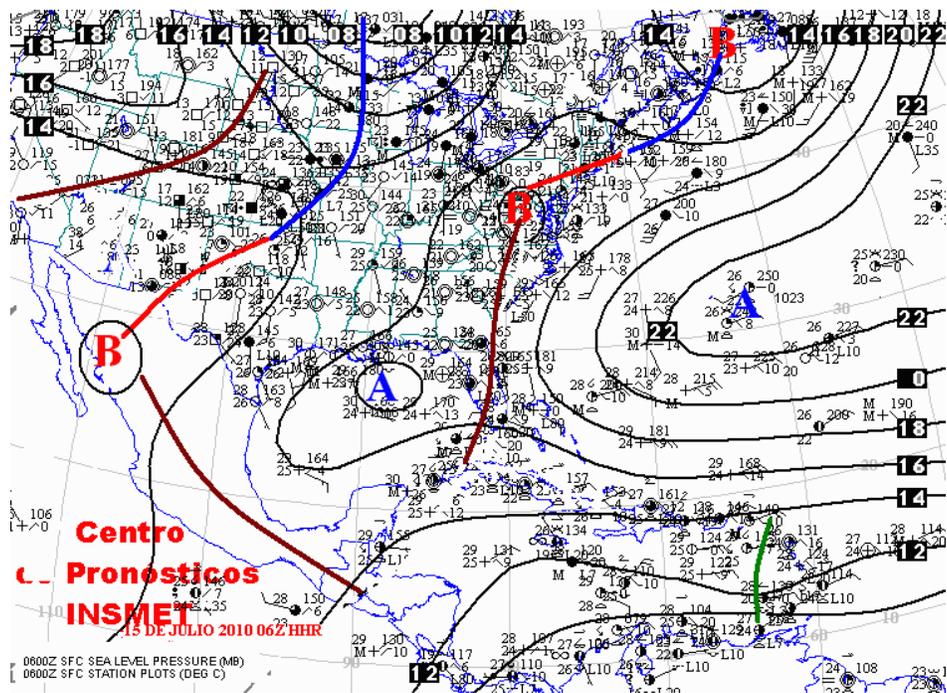
### 2.3) Ejemplos de los fenómenos atmosféricos predominantes en ambos períodos:

La figura I muestra como el frente casi-estacionario está afectando la región occidental y central de Cuba el día 29 de noviembre de 2013, reportándose un valor de lluvia intensa de 228.3 mm en 24 horas (período poco lluvioso)



## Figura I. Mapa sinóptico de superficie, con frente casi estacionario sobre el occidente cubano

La figura II muestra como la vaguada proveniente de una baja en la Florida está afectando el occidente cubano el día 15 de julio de 2010, reportándose un valor de precipitación extrema de 103.2 mm en 24 horas (período lluvioso)

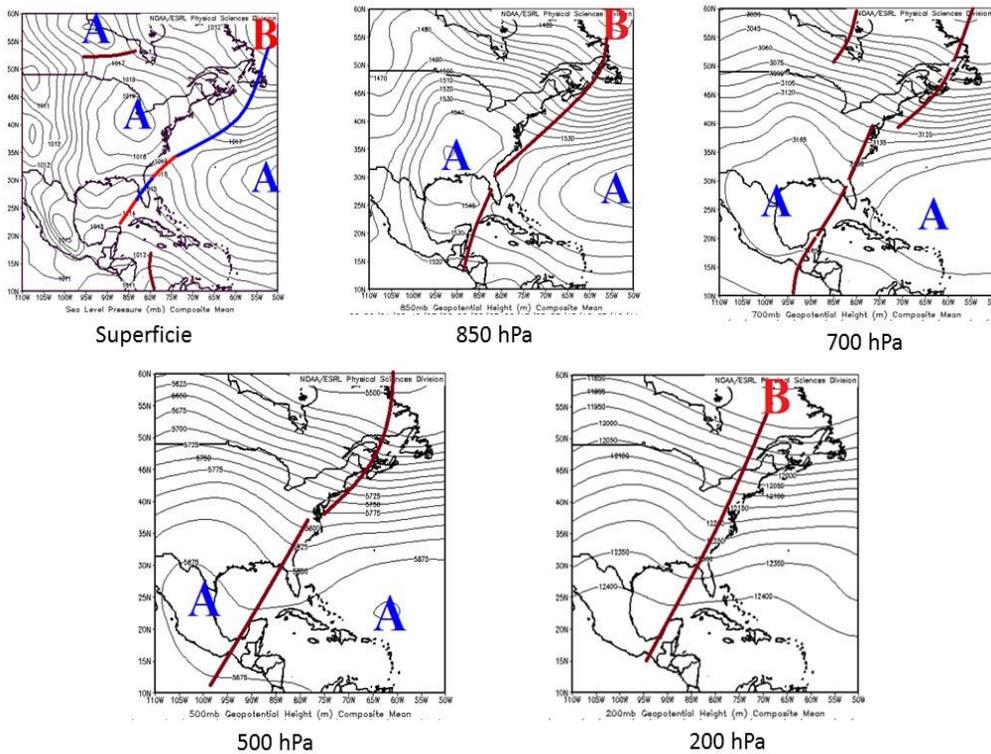


## Figura II. Mapa sinóptico de superficie, con una vaguada sobre la costa norte occidental de Cuba

### Análisis de los resultados

#### 3.1) Análisis de la presión a nivel del mar y alturas geopotenciales en el período lluvioso.

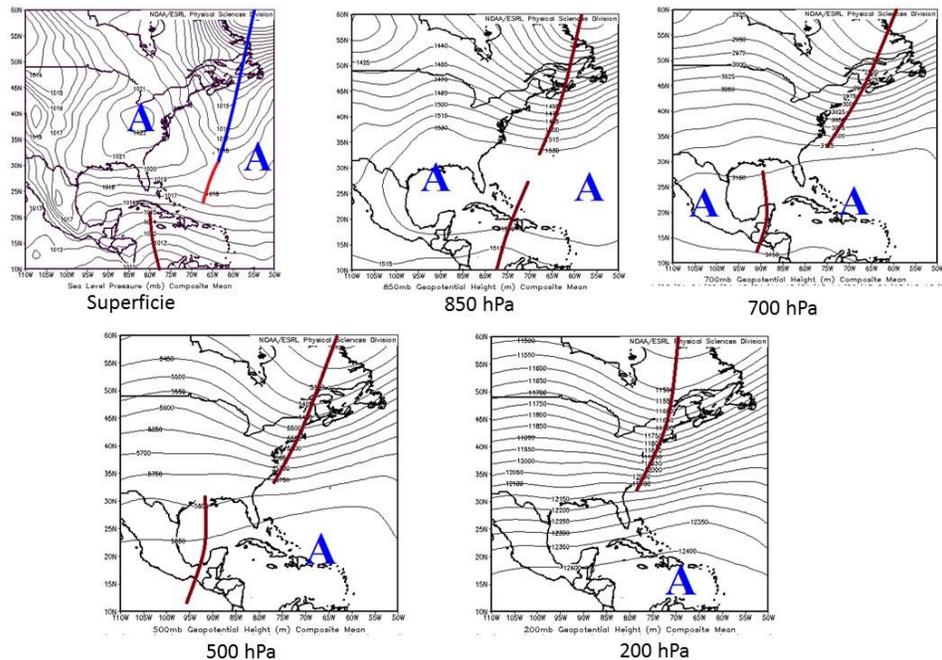
El análisis realizado a la muestra de casos en los que se reportó lluvia intensa para el periodo lluvioso arrojó como configuración predominante la presencia de una muy bien definida y alargada zona frontal casi estacionaria en su porción sur y con tendencia al debilitamiento (Figura 3). La misma se encuentra extendida a lo largo de la costa oriental de Norteamérica, desde una baja extratropical centrada en el Atlántico noroccidental, cruza muy cerca de Cabo Hatteras, la península de la Florida y se interna en el sudeste de golfo de México, próxima al occidente cubano. El patrón troposférico predominante consistió en una onda larga moviéndose en una vaguada abierta y con el eje fragmentado en las capas bajas y medias. La onda mantuvo similar orientación y posición a la del frente en superficie y sobre Cuba se observa un flujo del segundo y tercer cuadrante, favoreciendo al aumento de la humedad en el área, principalmente en la región occidental, la cual se encontraba en superficie en la periferia del anticiclón oceánico.



**Figura 3. Patrones medios correspondientes a los casos del periodo lluvioso.**

### **3.2) Análisis de la presión a nivel del mar y alturas geopotenciales en el período poco lluvioso.**

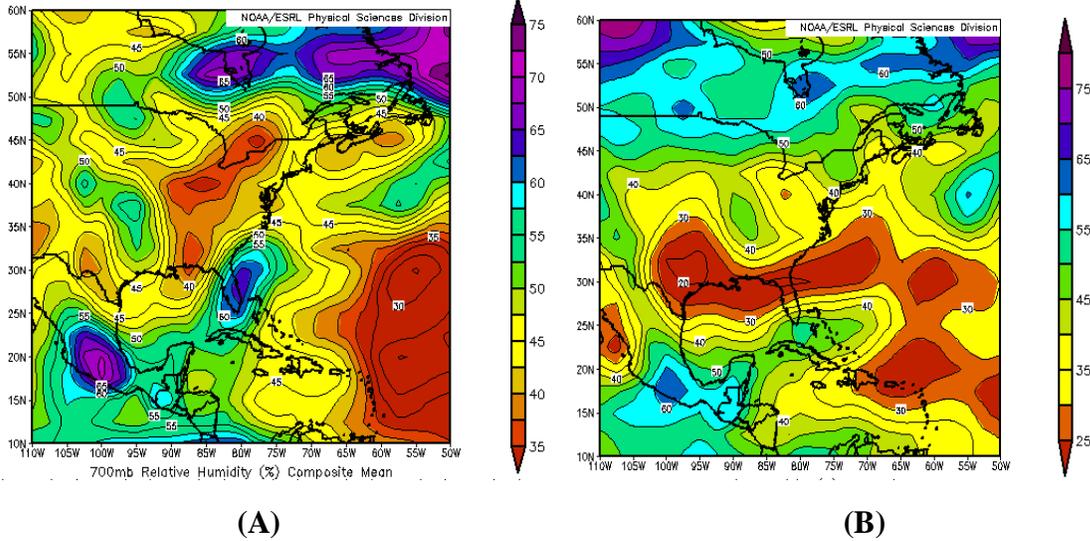
En los días con precipitaciones extremas correspondientes al periodo poco lluvioso, el patrón medio se caracterizó por la influencia anticiclónica sobre el archipiélago cubano, pero con la marcada presencia de una vaguada en los mares al sur de Cuba, adentrándose en el Golfo de los Mosquitos y con débil representación en la troposfera baja y media, estimulando la inestabilidad atmosférica combinado con factores mesoescalares. En la altitud, el archipiélago cubano se encuentra inmerso en la circulación de la celda de alto geopotencial, con un marcado flujo zonal positivo a 10 y 12 kilómetros de altura, con la dorsal anticiclónica centrada en el Caribe centro-oriental al norte de Venezuela y Colombia, inhibiendo los procesos convectivos.



**Figura 4. Patrones medios correspondientes a los casos del periodo poco lluvioso.**

### **3.3) Análisis de la Humedad Relativa en el nivel de 700 hPa.**

A una altitud de tres kilómetros se localizan los bloques o núcleos de aire frío o de aire caliente y en algunas ocasiones en este nivel aparecen sistemas de baja presión que generan lluvias en superficie. Las líneas de flujo a este nivel indican la dirección de traslado de los núcleos de aire frío o caliente sobre una localidad determinada. La experiencia ha demostrado que la mayor o menor concentración de humedad en este nivel tiene una estrecha relación con la ocurrencia de precipitaciones. Alta concentraciones de humedad por encima de 95 % del área cubierta, puede provocar lluvias numerosas o sea, una probabilidad de que llueva en más del 70 % del área. En la Figura 5.A se puede apreciar en el periodo lluvioso un núcleo máximo superior al 65 % que se extiende sobre la Florida y el Saco de Charleston, quedando el occidente cubano inmerso en una zona de humedad con valores entre 45 y 55 %, estimulando el campo nuboso en esa parte del país. Sin embargo, en el periodo poco lluvioso (Figura 5.B) disminuye la concentración de humedad en el área, predominando un núcleo máximo con valores de 50 % sobre el estrecho de la Florida y la costa norte central de Cuba, por lo que sobre el área de estudio en esta investigación presenta valores muy cercanos al valor máximo para este periodo (40-50 %).

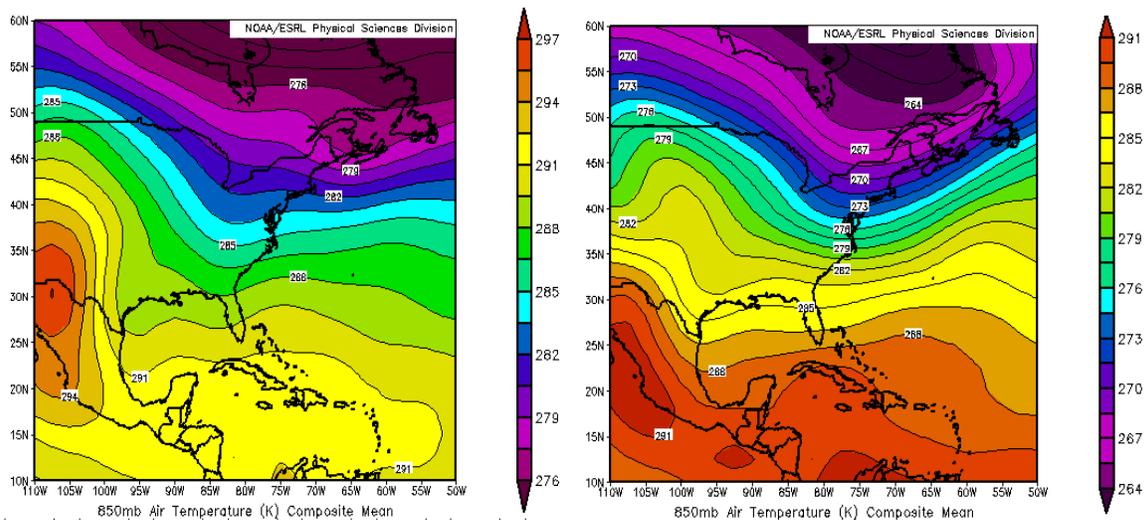


**Figura 5. Humedad relativa en el nivel de 700 hPa para el periodo lluvioso (A) y poco lluvioso (B).**

En las capas altas de la troposfera, la humedad relativa mostró valores superiores al 70 % para ambos periodos, indicando la presencia de una masa de aire húmeda en casi toda la columna troposférica, aunque con un aire ligeramente más seco en los niveles medios, con valores entre 45 y 60 %.

### 3.4) Análisis de la Temperatura del aire en 850 y 500 hPa.

En correspondencia con los patrones de circulación que predominaron en las capas bajas de la troposfera, el campo térmico en el nivel de 850 hPa, mostró una vaguada térmica limitada solo hasta la latitud 25 °N y sobre el territorio cubano para el periodo lluvioso, la masa de aire alcanzó valores de temperatura ambiente alrededor de los 20.0 °C, ligeramente inferiores en la costa norte occidental con 18.0 °C debido a la presencia justamente sobre esa parte de Cuba de la isoterma correspondiente a ese valor. (Figura 6.A) En el periodo poco lluvioso los valores de temperatura estuvieron cercanos a los 15.0 °C en occidente cubano y superiores a los 19.7 °C en el resto del país. (Figura 6.B).



**Figura 6. Temperatura en el nivel de 850 hPa para el periodo lluvioso (A) y poco lluvioso (B).**

A cinco kilómetros de altura, las temperaturas mostraron valores negativos tanto para el periodo lluvioso como para el poco lluvioso, con valores entre -7 y -8 °C en el área de Cuba. Esta capa fría y ligeramente seca en niveles medios, sobre todo en el periodo lluvioso, provocó inestabilidad atmosférica, desencadenando en la ocurrencia de precipitaciones.

### 3.5) Análisis de la Velocidad Vertical (Omega, $\dot{\omega}$ ) en el nivel de 700 y 500 hPa

En la Tabla 3 se muestra la distribución media de la velocidad vertical para el período poco lluvioso o activo donde el valor máximo de movimientos descendentes en 700 hPa es -0.12 Pa/s y en 500 hPa es -0.09, ambos localizados entre el Estrecho de la Florida y la costa occidental de Cuba. Mientras que en el período lluvioso o inactivo los movimientos descendentes en 700 hPa es -0.08 Pa/s y en 500 hPa es -0.01, ambos localizados al oeste del Estrecho de La Florida sobre las Bahamas.

De forma similar se hizo el análisis de la posición e intensidad de los movimientos ascendentes, arrojando para el período activo frontal, un núcleo máximo en 700 hPa y 500 hPa de 0.09 Pa/s, ambos localizados sobre los Estados Unidos, mientras que en el período inactivo, el núcleo máximo de movimientos ascendentes en 700 hPa es de 0.08 Pa/s y en 500 hPa es de 0.06 Pa/s, ambos localizados también en los Estados Unidos.

**Tabla 3: Posición e intensidad de los núcleos máximos de movimientos ascendentes y descendentes asociados al período lluvioso y poco lluvioso.**

Niveles (hPa)	Período poco lluvioso				Período lluvioso			
	Movimientos Descendentes		Movimientos Ascendentes		Movimientos Descendentes		Movimientos Ascendentes	
	Posición	Intensidad (Pa/s)	Posición	Intensidad (Pa/s)	Posición	Intensidad (Pa/s)	Posición	Intensidad (Pa/s)
<b>700</b>	Norte de Occidente	<b>-0.12</b>	EEUU	<b>0.09</b>	Estrecho de la Florida	<b>-0.08</b>	EEUU	<b>0.08</b>
<b>500</b>	Norte de Occidente	<b>-0.09</b>	EEUU (Este)	<b>0.09</b>	Estrecho de la Florida	<b>-0.01</b>	EEUU	<b>0.06</b>

# Conclusiones

- En el período lluvioso el núcleo máximo de humedad es superior al 65 % y se extiende sobre la Florida y el Saco de Charleston, quedando el occidente cubano inmerso en una zona de humedad con valores entre 45 y 55 %, estimulando el campo nuboso en esa parte del país.
- En el período poco lluvioso disminuye la concentración de humedad en el área, predominando un núcleo máximo con valores de 50 % sobre el estrecho de la Florida y la costa norte central de Cuba, por lo que sobre el área de estudio en esta investigación se presentan valores muy cercanos al valor máximo para este período (40-50 %).
- En las capas altas de la troposfera, la humedad relativa mostró valores superiores al 70 % para ambos períodos, indicando la presencia de una masa de aire húmeda en casi toda la columna troposférica.
- En las capas bajas de la troposfera, se determinó una vaguada térmica sobre el territorio cubano para el período lluvioso, la masa de aire alcanzó valores de temperatura ambiente de 18.0 °C debido a la presencia justamente sobre esa parte de Cuba de la isoterma correspondiente a ese valor. En el período poco lluvioso los valores de temperatura estuvieron cercanos a los 15.0 °C en occidente cubano.
- El análisis de la temperatura del aire indicó que existe una capa fría y ligeramente seca en niveles medios, sobre todo en el período lluvioso, que provocó inestabilidad atmosférica, desencadenando en la ocurrencia de precipitaciones.

# Recomendaciones

- Ampliar el período de la investigación para separar los eventos por meses y empezar el estudio viendo la tendencia del número de eventos por cada mes y si existe o no algún punto de cambio en las series y la intensidad.
- Agregar el análisis de índices termodinámicos como el CAPE y el LI.
- Utilizar el modelo HYSPLIT o FLEXPART, para identificar con mejor resolución las fuentes de humedad asociadas a la ocurrencia de los eventos.
- Hacer un análisis de vorticidad y divergencia del viento para cada período para ver la convección y el ambiente de estabilidad.

# Reconocimiento

Premio Especial “Ab Initio” en la Jornada Científica Estudiantil InSTEC, Universidad de La Habana  
2018-2019

## Referencias

- (1) Gustafsson, M.; Rayner, D.; Chen, D.; “Lluvias extremas en el sur de Suecia: ¿De dónde viene la humedad?”, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Gotemburgo, PO Box 460, Suecia, 2010
- (2) Clases impartidas en la asignatura de Instrumentos y Métodos de Observación
- (3) Sitio WEB: <http://www.cdc.noaa.gov>, basados en la base de datos del NCEP/NCAR de la NOAA (Nacional Oceanic Atmospheric Administration)