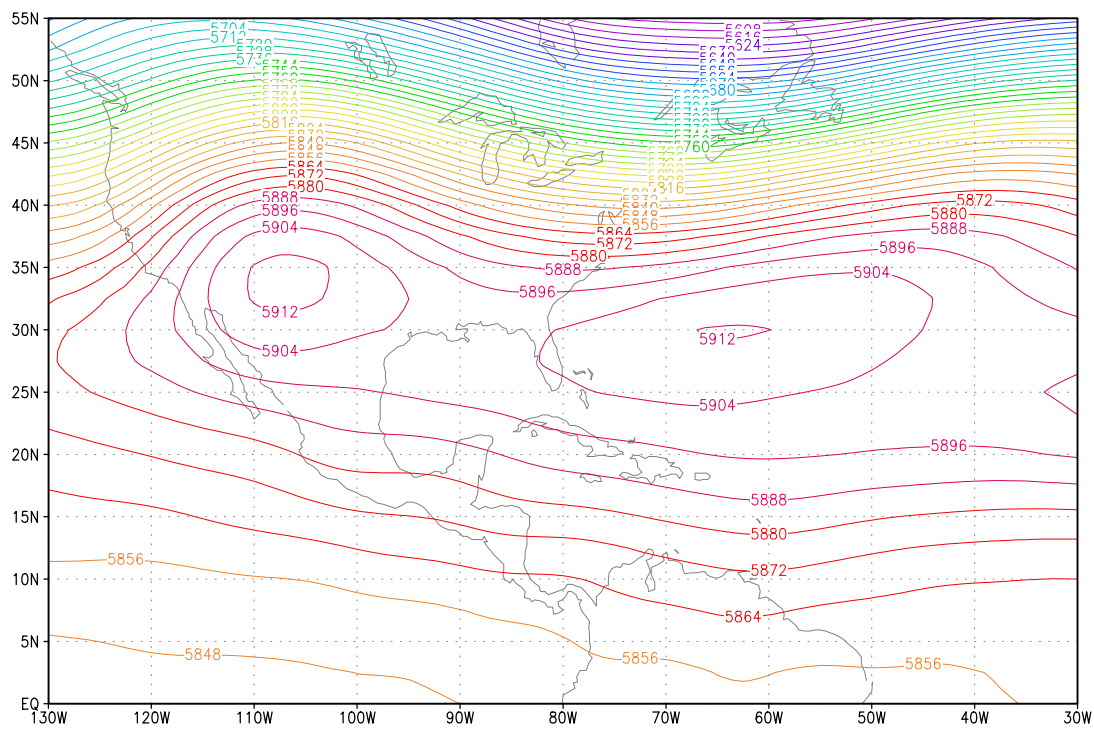


# COMPORTAMIENTO DE LA TENDENCIA FRENTE A LAS PRECIPITACIONES Y A LOS FENÓMENOS FORZADORES DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA.



Presencia de los Anticiclones Mexicano y Bermudas en el mes de julio para el nivel 500 hPa.

Autores: *Lic. Yandry Galindo Guía*

*Ing Roberto Aroche Ramirez*

*Mayleivis Dorta Valdés*

País: *Cuba*

Teléfono: (0650) 38 4925

e - mail: [yandry33@yahoo.es](mailto:yandry33@yahoo.es)

[mayleivis\\_dorta@yahoo.es](mailto:mayleivis_dorta@yahoo.es)

## **INTRODUCCIÓN.**

Las investigaciones sobre la variabilidad del sistema climático han adquirido una importancia capital en los estudios científicos de los últimos años, pues su relación con los sectores socioeconómicos, ecosistemas tanto naturales como artificiales, se ha hecho plausible durante la ocurrencia de eventos extremos en los regímenes pluviométricos, los cuales han alcanzado la categoría de desastres, con secuelas irreversibles para la humanidad. En muchos países de la región del gran caribe, especialmente los no petroleros, se observa una fuerte relación entre el régimen de las precipitaciones, la producción, la economía y la sociedad (Villalobos y Retana,1998), en esto Cuba no constituye una excepción.

En las regiones tropicales (Riehl, H.1954) aparecen características en la variabilidad climática, las cuales están sometidas en el verano a condiciones propias de clima tropical y durante el invierno a condiciones extratropicales (Lapinel 1988), además de las influencias continentales y oceánicas ecuatoriales, subtropicales y extratropicales en los niveles bajos e incluso ínter hemisféricas en los niveles altos.

Durante varias décadas el papel principal se lo ha llevado el anticiclón del Atlántico Norte con sus oscilaciones tanto longitudinales como latitudinales y su papel de permitir o no el paso de los sistemas atmosféricos de una u otra latitud, los hallazgos que se han investigado sobre esto (Trusov et al, 1983,Vega et al,1987,Carrion 1988) permitieron su división en dos estaciones o temporales, reveladas principalmente por el régimen de lluvias mas que por el de la temperatura(temporada lluviosa y poco lluviosa).

En la década pasada, (Vega et al,1987; Lapinel et al 1993) a partir de series largas de lluvia, se identificaron tendencias y anomalías en las estaciones pluviométricas y circulatorias (Naranjo 1994; Ballester et al 1995; Aroche et al,1999) que no podían ser explicadas por un solo sistema(anticiclón del Atlántico Norte) sino que era necesario tener en cuenta el otro sistema anticiclónico (Mexicano) que afecta directamente la caída de precipitaciones; otros parámetros informativos a relacionar fueron el número de Wolf, el índice geomagnético, la Actividad Volcánica, el niño (ENOS) entre otros.

Luego de lo visto hasta ahora, se nos plantea la necesidad de investigar a los dos sistemas anticiclónicos(Mexicano y Azores-Bermudas) que mayor mente repercuten en

el clima de la región y principalmente en nuestro país, además de estudiarlos en relación con otros fenómenos forzadores de la variabilidad climática como son ENOS, AENOS, QBO ect.

Es por ello que nos hemos propuesto los siguientes objetivos en nuestro trabajo:

1. Obtener los mapas de las Alturas Geopotenciales y la posición de los sistemas anticiclónicos (Mexicano y Azores-Bermudas) con la ayuda del software GRADS, mes por mes del año y durante los 40 años (1958-1997) en los 3 niveles troposféricos (850,500,300 hPa) y agruparlos por quinquenios.

2. Obtener con la utilización del software Curveexpect la serie de Fourier (hasta un orden 12) que mejor modela a las variables que me caracterizan a los centros ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) y a la Altura Geopotencial del centro  $A_c$  de ambos sistemas anticiclónicos (Mexicano y Azores-Bermudas) para los 8 quinquenios comprendidos entre (1958-1997) y para los tres niveles troposféricos (850,500,300 hPa).

3. Realizar un análisis de las salidas que da el Curveexpect (Coeficiente de Correlación, desviación standard, número de iteraciones) así como el orden de la serie de Fourier.

4. Analizar el comportamiento de las tendencias de las series de Fourier obtenidas, frente a las salidas (Coeficiente de Correlación, desviación standard, número de iteraciones).

5. Obtener relaciones claras entre las tendencias dadas de la serie de Fourier de ambos anticiclónicos, en los 8 quinquenios estudiados (1958-1997) con los fenómenos forzadores de la variabilidad climática (ENOS, AENOS, QBO, Volcanes) ect.

6. Comparar la tendencia con la caída promedio de precipitaciones en los 8 quinquenios (1958-1997) estudiados y realizar un análisis de los resultados obtenidos.

7. Analizar la posibilidad de modelar matemáticamente las variables ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) y  $A_c$  utilizando la ecuación del movimiento armónico simple.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

En este trabajo se analiza matemáticamente un fenómeno poco estudiado hasta el momento, el movimiento simultáneo de dos sistemas anticiclónicos que con mayor frecuencia afectan al tiempo y al clima regionales, y en particular de nuestro país; el Anticiclón Mexicano y el Anticiclón del Atlántico Norte o Subtropical (Bermudas).

La información sobre ambos sistemas, las Alturas Geopotenciales de sus centros y la posición de estos, en los doce meses del año, durante cuarenta años (1958 - 1997), la obtuvimos de un CD elaborado por el Centro del Clima del INSMET, a partir de los datos rejillados del Proyecto norteamericano "Reanalysis", (Kalnay, 1996).

Mediante el empleo del sistema "Grads", Doty, (1992), se obtuvo la posición de los centros ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) de los sistemas anticiclónicos mencionados anteriormente, así como la Altura Geopotencial  $A_c$  a la que se encuentran dichos centros; a partir del visualizador de dicho programa, en tres niveles de la troposfera (300, 500 y 850 hPa) y durante los 40 años (1958-1997) que fueron estudiados.

En todo el desarrollo del proyecto, la posición es expresada en unidades pixel del visualizador del "Grads", con el objetivo de realizar todos los cálculos con valores pequeños. Sin embargo, para cualquier necesidad práctica o científica de conocer su equivalente en coordenadas geográficas o cartesianas en Kilómetros, se puede acudir al empleo de las fórmulas siguientes:

$$X \text{ (Km)} = (X_f - X_o) 1110 \text{ (Km)} \quad Y \text{ (Km)} = (Y_f - Y_o) 924.63 \text{ (Km)}$$

Donde ( $X_f$  y  $Y_f$ ), son los valores que copiamos del Grads.

( $X_o$  y  $Y_o$ ), son los valores iniciales del gráfico del Grads.

Al concluir el proceso descrito anteriormente se obtuvieron las series cronológicas para cada una de las variables estudiadas de estos sistemas, y se organizaron en tablas, lo que permitió posteriormente agruparlas por quinquenios, las series fueron sometidas a un análisis mediante la realización de ajustes de funciones. Con tal propósito se utilizó el producto informático CurveExpert, en su versión 1.34, (Hyams, D; 1997), disponible en Internet.

Los ajustes se realizaron por quinquenios, con dos variantes; una objetiva, que le permitiera al CurveExpert, seleccionar el mejor modelo por sí solo, de un vasto número de modelos que tiene el programa y una entrada por nosotros, en esta última variante utilizamos la descomposición en Series de Fourier. De cada desarrollo de la serie de Fourier, escogimos 7 términos, 6 oscilatorios y 1 lineal. Además para casos específicos, utilizamos los términos pares e impares de dicha serie. El programa también presenta como información complementaria de salida, al coeficiente de correlación entre los valores ajustados y los reales, la desviación estándar, la tendencia

y el número de iteraciones necesario para alcanzar la convergencia de estas funciones, luego se realizó un análisis de estas salidas, así como el orden de las series de Fourier, también se analizó el comportamiento de las tendencias de dichas series, frente a las salidas del CurveExpect.

Se utilizó información adicional y representativa de algunos de los factores externos generadores de variaciones importantes de las variables estudiadas, como pueden ser: AENOS, ENOS, QBO, comportamiento anómalo de la actividad solar (Número de Wolf), el Índice Geomagnético y la Actividad Volcánica, dados por el Centro del Clima, Instituto de Meteorología, igualmente se estudió el comportamiento de la tendencia frente a estos fenómenos para ambos sistemas anticiclónicos.

Finalmente se realizó un análisis de la tendencia de los anticiclones en estudio y el comportamiento de las precipitaciones en Cuba, para ello se utilizó la serie de datos de lluvia para Cuba elaborada en el Centro del Clima para el período 1941-2000 sustentada en alrededor de 350 estaciones pluviométricas seleccionadas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y el Instituto de Meteorología, las cuales son utilizadas oficialmente por ambas instituciones, estas series de lluvias fueron promediadas por quinquenios; Para obtener las características estadísticas de dichas series se utilizó el sistema de Programas que conforman el sistema nacional de vigilancia de La sequía, Lapinel et al, (1993).

Con los datos adquiridos del CurveExpect se confeccionaron tablas donde se reflejaban las funciones escogidas por el programa con sus respectivas características y la serie de Fourier que mejor Coeficiente de Correlación nos diera, teniendo en cuenta que nuestro análisis lo llevamos hasta llegar al término oscilatorio número 12, ya que seguir no tenía sentido para nosotros.

Se tomaron las funciones dadas por el CurveExpect y se hizo un análisis estadístico de que variables eran posible modelar como un movimiento armónico simple.

## **RESULTADOS**

### **NIVEL 850 hPa. A. BERMUDAS**

Es significativo señalar la superposición prácticamente perfecta de la evolución multiquinquenal de las características de dicho sistema, reflejadas en su tendencia y las

curvas de los Coeficientes de Correlación, situación que tiene su origen en la obtención de funciones de ajuste del mismo orden en cada quinquenio.

Por su parte los Coeficientes de Correlación en las 3 variables modeladas presentaron, variaciones que oscilan entre 0.40 y 0.67 en el eje X y entre 0.48 y 0.80 para el eje Y; además de valores superiores a 0.50 en el 93% de los casos, lo que nos expresa la obtención de buenas correlaciones que avalan nuestros modelos, ahora, en el caso de la Altura Geopotencial (Ac), esta vario entre un 0.79 y 0.93, la afirmación anterior se apoya además, en el conocimiento de las variaciones de las desviaciones estándar y el número de iteraciones presentes en este nivel, estas ultimas expresan la rapidez de convergencia de las funciones. Por ejemplo, las desviaciones estándar en el eje X variaron desde 1.10 a 1.52 y para eje Y desde 0.28 a 0.43, por su parte las iteraciones variaron desde 7 hasta 70 y para Y de 12 a 88.

Cuando trabajamos la tendencia, notamos patrones bien definidos del movimiento del anticiclón Bermudas, en ambos ejes; pues en el caso del eje X el movimiento está dirigido hacia el este, con un período de varios quinquenios y después retorna al oeste para volver luego al ciclo; para el caso del eje Y, alternó su movimiento hacia el norte y hacia el sur para los quinquenios vistos.

Si consideramos que el orden de la función de ajuste es informativo de la complejidad de las oscilaciones modeladas, entonces podemos plantear que el movimiento hacia el Suroeste se caracteriza por ser menos complejo en la dirección del eje X que en la del eje Y, y que la variación de la Altura Geopotencial; lo que en consecuencia significa que las frecuencias en los términos oscilatorios son mayores. Además, en general, las correlaciones en X y Ac disminuyeron y aumentaron en Y y la tendencia en la Altura Geopotencial tendió a disminuir lo que nos indica una pérdida de la intensidad del anticiclón.

El movimiento hacia el Noreste, al igual que al Suroeste se caracterizó por corresponderle al ajuste de la componente en el eje X y Ac una función más sencilla que el eje Y, además los Coeficientes de Correlación disminuyeron para todas las variables como promedio; por su parte en este movimiento hubo una intensificación de la intensidad del anticiclón.

Por ultimo el movimiento Sureste se caracterizó por una alta complejidad de las ecuaciones de movimiento, además del aumento del Coeficiente de Correlación para el eje X y Ac, y por el aumento de la intensidad del anticiclón.

Suroeste: Un número de Wolf bajo, un Índice Geomagnético medio, ENOS fuertes, QBO del este.

Sureste: Hubo un ENOS fuerte y otro medio, con dos AENOS muy fuertes, un número de Wolf bajo, a diferencia del Índice Geomagnético que fue alto, con la ausencia de Actividad Volcánica de importancia y una QBO del este.

Noreste: Un número de Wolf alto, al igual que el Índice Geomagnético, Actividad Volcánica fuerte, AENOS fuertes.

Quinquenio	Movimiento	Prom. Precip	Quinquenio	Movimiento	Prom. Precip
1963 – 67	Suroeste	1150.56	1883 – 87	Suroeste	1118.08
1968 – 72	Noreste	1209.96	1988 – 92	Noreste	1273.84
1973 – 77	Sureste	1010.12	1993 - 97	Suroeste	1237.62
1978 – 82	Noreste	1229.24			

Tabla 1: Promedio de Precipitaciones por quinquenio, para el Anticiclón A. Bermudas

Se observó una alternancia quinquenal del movimiento del anticiclón hacia el noreste o el suroeste, teniendo lugar una anomalía del tercer al cuarto quinquenio, al realizarse el único movimiento hacia el sureste, en presencia de dos AENOS, al cual le correspondió el mínimo absoluto de las precipitaciones quinquenales de todo el período de estudio (Tabla 1). Sin embargo el máximo estuvo asociado con un movimiento al noreste y los valores medios con el movimiento al suroeste. De manera que la región central de este anticiclón siempre se mueve hacia el océano

Y no presentó movimiento hacia Norteamérica.

El movimiento hacia el sur parece estar asociado con la ocurrencia de números de Wolf bajos y hacia el norte con los altos.

En este nivel, se puede modelar como un MAS (movimiento armónico simple), el eje X, con un 63 % de efectividad.

### **NIVEL 500 hPa. A. Bermudas y A. Mexicano.**

En este nivel haremos el análisis en conjunto para los dos anticiclones y debemos comenzar diciendo que existe una gran diferencia en la manera en que influyen los

factores externos sobre ambos anticiclones, según lo muestran tanto las gráficas de los Coeficientes de Correlación como las de la tendencia. Por ejemplo para el Bermudas, con el mismo orden en los desarrollos de Fourier que el Mexicano, se presentan establemente mejores correlaciones en ambos ejes, es así como para los respectivos centros, en el eje X, los Coeficientes de Correlación variaron entre 0.34 y 0.56 en el caso del Mexicano y entre 0.66 y 0.79 para el Bermudas, mientras que en el eje Y fue mayor la diferencia entre ellos 0.22 - 0.41 para el Mexicano y 0.90 - 0.93 para el Bermudas. De manera que el anticiclón Mexicano no cumplió con nuestras expectativas de alcanzar Coeficientes de Correlación por encima de los 0.50, pues solo el 10% de ellos supero dicho umbral, para las 3 variables analizadas.

Con respecto a la Altura Geopotencial, se noto, que cuando la correlación aumenta en los ajustes para el Bermudas, disminuye para el Mexicano y viceversa, lo que puede ser indicador de la existencia de un posible balance e intercambio de masa entre ambos, en el sentido de sostener una posición de equilibrio en la masa total de la componente anticiclónica.

**BERMUDAS:** Noroeste: Amplia Actividad Volcánica, ocurrencia de ENOS.

Sureste: Índice Geomagnético medio, QBO del este.

Suroeste: ENOS fuerte, AENOS fuerte, Índice Geomagnético fue alto, Actividad Volcánica fuerte, QBO del este.

Noreste: ENOS fuerte, con un Número de Wolf y un Índice Geomagnético bajos, sin Actividad Volcánica y la QBO del este.

Como parecen indicar los datos, las condiciones externas operan de modo tal que la ocurrencia de importante Actividad Volcánica propicia movimientos hacia el oeste del anticiclón de las Bermudas, mientras que la actividad solar lo hace meridional e inversamente, según el Índice Geomagnético.

En este nivel, se puede modelar como un MAS (movimiento armónico simple), el eje X, con un 63 % de efectividad.

**MÉXICANO:** Noroeste: ENOS fuerte, con un Número de Wolf bajo, al igual que para el Índice Geomagnético, amplia Actividad Volcánica. QBO del este.

Sureste: AENOS fuerte, con un Número de Wolf alto, Índice Geomagnético medio, dos volcanes y la QBO del este.



Suroeste: En este movimiento los fenómenos analizados no coinciden.

Noreste: ENOS fuerte, predominio de un Número de Wolf bajo y de ausencia de Actividad Volcánica, siendo la QBO del este.

Las condiciones externas parecen operar de modo tal que la ocurrencia de importante Actividad Volcánica propicia movimientos hacia el oeste del anticiclón Mexicano, mientras que la actividad solar lo hace meridionalmente e inversamente, según el número de Wolf.

De modo general podemos decir, que en lo que respecta a la desviación estándar y al número de iteraciones, en el anticiclón Mexicano fueron mucho mayores que en el Bermudas, lo cual avala que los Coeficientes de Correlación del Bermudas sean mucho mejores que los del Mexicano, aunque el eje Y se presenta en ambos anticiclones de modo mucho mas preciso que el eje X.

En este nivel, se puede modelar como un MAS (movimiento armónico simple), el eje X, con un 50 % de efectividad.

**GENERALIDAD NIVEL 500 hPa:**

Movimiento	A. Mexicano	A. Bermudas
Sureste	Índice Geomagnético medio, QBO del este	
Noroeste	ENOS fuerte, amplia Actividad Volcánica	
Suroeste	ENOS fuerte, AENOS fuerte, Índice Geomagnético fue alto, Actividad Volcánica fuerte, QBO del este	
Noreste	ENOS fuerte, ausencia de Actividad Volcánica, QBO del este, Número de Wolf bajo	

Tabla 2: Fenómenos Forzadores de la Variabilidad Climática contra Tendencia.

Durante la primera mitad del periodo de estudio predominó el movimiento acoplado de ambos sistemas y en los ajustes de las funciones se puede notar una gran semejanza de los Coeficientes de Correlación y menores frecuencias de los términos oscilatorios de las series de Fourier. Durante el quinquenio 73-77 tuvo lugar el mínimo quinquenal de las precipitaciones y el movimiento de ambos sistemas fue hacia el suroeste. A partir del quinquenio 78-82 ambos sistemas desacoplaron sus movimientos, pues el Mexicano se movió hacia el suroeste, sin embargo el Bermudas cambió hacia el noroeste; para el

quinquenio 88-92 se alcanzó un máximo que avala el movimiento noreste en el caso del Mexicano y suroeste para el Bermudas, luego la diferencia entre los extremos de precipitaciones lo puso el Mexicano.

Quinq	A. Mex	A. Berm	P/Precip	Quinq	A. Mex	A. Berm	P/Precip
1963-67	Noroeste	Noroeste	1150.56	1883-87	Noreste	Sureste	1118.08
1968-72	Sureste	Sureste	1209.96	1988-92	Noreste	Suroeste	1273.84
1973-77	Suroeste	Suroeste	1010.12	1993-97	Noreste	Noreste	1237.62
1978-82	Suroeste	Noroeste	1229.24				

Tabla 3: Promedio de Precipitaciones por quinquenio, para ambos Anticiclones

Noroeste - Noroeste: En este movimiento se puede notar una semejanza en lo que respecta a los Coeficientes de Correlación. Del resto de los aspectos a evaluar, no podemos hablar, debido a las diferencias que existe en el relieve sobre el que se desplazan dichos anticiclones.

Sureste - Sureste: Se evidencia una disminución de las frecuencias de los términos oscilatorios de las series de Fourier, de forma general se denota la disminución de las precisiones en ambos ejes con respecto al quinquenio anterior. Y por otra parte se puede ver que hay una disminución en la tendencia.

Suroeste - Suroeste: Se denota un aumento en la complejidad de las Ecuaciones de Movimiento en lo que respecta al eje Y. De forma general se puede ver una pérdida en la exactitud del centro en el eje X y la disminución de las tendencias en lo que respecta a ambos ejes.

Suroeste – Noroeste: De forma general hay un aumento en la precisión de los Coeficientes de Correlación y una disminución en la tendencia, en el eje X.

Noreste – Sureste: Los Coeficientes de Correlación de forma general disminuyeron para el eje X, así como se denota un aumento en la tendencia en el propio eje y en la intensidad de los anticiclones.

Noreste – Suroeste: De forma general, se denota la pérdida de exactitud en el eje de las X y de su Altura Geopotencial en lo que respecta a las ecuaciones. También existe una disminución en la intensidad de los sistemas.

Noreste – Noreste: Aquí solo podemos hablar del aumento en la tendencia para el eje X y la disminución de la intensidad en ambos anticiclones.

### **NIVEL 300hPa. A. Bermudas y A. Mexicano**

Es significativo señalar la alternancia en la evolución multiquinquenal de las características de los sistemas anticiclónicos Azores-Bermudas y Mexicano reflejada en su tendencia y las curvas de los Coeficientes de Correlación, situación que tiene su origen en la variación alterna de las funciones de ajuste del mismo orden en cada quinquenio.

Las regularidades del movimiento de ambos anticiclónicos en este nivel, consisten en que el anticiclón de las Bermudas alterna quinquenalmente la dirección de su movimiento noroeste-sureste, apareciendo como anómalo el movimiento hacia el noreste durante el último periodo 93-97, sin embargo el Mexicano no tuvo ninguna regularidad.

Los Coeficientes de Correlación en las 3 variables oscilaron entre 0.55 y 0.90, lo que nos indica la buena calidad de los ajustes realizados, podemos decir que todo apunta al intercambio de momentum y masas de ambos sistemas.

**BERMUDAS:** Sureste: ENOS fuerte, Número de Wolf bajo, Índice Geomagnético de medio a alto, ausencia de Actividad Volcánica de importancia, QBO del este.

Noroeste: Número de Wolf alto, AENOS fuerte, gran Actividad Volcánica, Índice Geomagnético de medio a alto, predominio de la QBO del este.

Noreste: Dos ENOS medios y uno fuerte, con un Número de Wolf y un Índice Geomagnético bajos, sin Actividad Volcánica y la QBO del este.

Todo parece indicar que la combinación fase del ENOS, el número de Wolf y la intensidad de la Actividad Volcánica, es determinante en la tendencia del movimiento regular y alternante noreste-sureste, y la ocurrencia de un movimiento anómalo lo distingue un Índice Geomagnético bajo, en presencia de una gran actividad de ENOS.

En este nivel, se puede modelar como un MAS (movimiento armónico simple), el eje Y y la Altura Geopotencial, con un 75 y 50 % de efectividad respectivamente.

**MEXICANO:** Sureste: Para un ENOS fuerte, con un Número de Wolf bajo, al igual que para el Índice Geomagnético, con gran Actividad Volcánica, y una QBO del este.

Suroeste: Un Número de Wolf alto, Índice Geomagnético de medio a alto, predominio de Actividad Volcánica.

Noroeste: Hubo un ENOS fuerte y un AENOS fuerte también, con un Índice Geomagnético y un Número de Wolf altos, con una Actividad Volcánica fuerte, debido a la actividad de un volcán de importancia, y una QBO del este

Noreste: Un ENOS fuerte, AENOS fuerte, QBO del este.

El estudio de los fenómenos externos nos indica, parece ser que el movimiento hacia el norte esta asociado con la presencia de AENOS y la ocurrencia de un número de Wolf e Índice Geomagnético altos parecen propiciar un movimiento hacia el oeste, además la actividad solar parece eliminar la alternancia entre el noreste-sureste.

A modo general, podemos decir, que en este nivel ambos ejes del Mexicano son mucho mas precisos que para el Bermudas, y esto se encuentra avalado por las desviaciones estándar, las cuales fueron mucho mas pequeñas en el Mexicano que en el Bermudas, y por ultimo el número de iteraciones fueron para ambos sistemas muy parecidas para el eje X, pues en Y si se notó la diferencia, al igual que en la Altura Geopotencial.

En este nivel, se puede modelar como un MAS (movimiento armónico simple), el eje X, con un 50 % de efectividad.

#### **GENERALIDAD NIVEL 300 hPa:**

Movimiento	A. Mexicano	A. Bermudas
Sureste	ENOS fuerte, Número de Wolf Bajo, QBO del este	
Noroeste	AENOS fuerte, Número de Wolf alto, al igual que el Índice Geomagnético, gran Actividad Volcánica.	
Suroeste	Número de Wolf alto, al igual que el Índice Geomagnético, gran Actividad Volcánica.	
Noreste	ENOS fuertes, QBO del este.	

Tabla 4: Fenómenos Forzadores de la Variabilidad Climática contra Tendencia.

Lo que ocurrió con mucha frecuencia, fue que el movimiento de ambos sistemas no se acopló, lo cual que refleja la diferencia con que responden a la influencia de forzamientos, sin embargo en 1963-1967 el movimiento de los anticiclónicos fue un movimiento acoplado. Durante este acoplamiento las ecuaciones de movimiento de ambos sistemas, reflejaron oscilaciones de altas frecuencias, entre otras cosas por la

interacción entre si, además las correlaciones en el eje X y la Altura Geopotencial disminuyeron.

Sureste – Sureste: Se trabajo con altas frecuencias para encontrar mejores ajustes en las ecuaciones, disminución de los Coeficientes de Correlación en X y en la Altura Geopotencial, un aumento de la tendencia en X y la Intensidad del Anticiclón, con una disminución en Y.

Suroeste – Noroeste: Disminución de las frecuencias de los Términos Oscilatorios de la Ecuación de Movimiento, obtención de una mayor precisión tanto en X como en la Altura Geopotencial, una disminución perceptiva de la Tendencia en X y una caída de la Intensidad de los sistemas.

Noreste – Sureste: Alta complejidad en lo que respecta a las Ecuaciones en el eje Y, aumento en la precisión de sus Alturas Geopotenciales, acrecentamiento de la Tendencia en el eje X y de la Intensidad de los sistemas.

Noroeste – Sureste: Alta complejidad de las Ecuaciones de Movimiento de forma general, la tendencia en la intensidad de ambos anticiclones aumentó.

Noreste – Noroeste: Durante estos movimientos, se percibe una disminución en la complejidad de la Ecuación de Movimiento en el eje Y, aumento de la precisión y exactitud en las Y y la Altura Geopotencial reflejado en los Coeficientes de Correlación, y un aumento evidente en la tendencia de Y así como una disminución en la Intensidad de ambos anticiclones.

Suroeste – Noreste: Disminución evidente en las frecuencias de los términos oscilatorios en el eje de las X. Así como una ganancia en precisión tanto en X como en la Altura Geopotencial.

Quinq	A. Mex	A. Berm	P/Precip	Quinq	A. Mex	A. Berm	P/Precip
1963-67	Sureste	Sureste	1150.56	1883-87	Noroeste	Sureste	1118.08
1968-72	Suroeste	Noroeste	1209.96	1988-92	Noreste	Noroeste	1273.84
1973-77	Noreste	Sureste	1010.12	1993-97	Suroeste	Noreste	1237.62
1978-82	Suroeste	Noroeste	1229.24				

Tabla 5: Promedio de Precipitaciones por quinquenio, para ambos Anticiclones

Las bajas en las precipitaciones se encontraron en los movimientos sureste del Bermudas y en los Noreste y Noroeste respectivamente del Mexicano, por su parte las

altas de precipitaciones se ubican en el Noroeste – Noreste y Noreste – Suroeste, y lo valores medios en el Sureste – Sureste y Noroeste – Suroeste.

(En este trabajo se hace referencia al Número de Wolf y al Índice Geomagnético, como resultado de magnitudes altas, cuando los valores a que se hacen referencia responden a los mayores resultados obtenidos como promedio en los quinquenios y de igual forma se trabajó para aquellos cuya referencia está dada como magnitudes medias y bajas. En el caso de los ENOS y AENOS la información tomada, venía previamente elaborada en los análisis del INSMET. Para el caso de la QBO, se tomó como resultado, la predominante en cada quinquenio. Y se consideró como una alta Actividad Volcánica cuando los resultados demostraban la existencia de grandes emisiones de aerosoles a la atmósfera )

---

## **CONCLUSIONES**

1. Obtuvimos los mapas de las Alturas Geopotenciales y la posición de los centros de ambos sistemas anticiclónicos (Mexicano y Azores-Bermudas) para los 3 niveles troposféricos (850, 500, 300 hPa), mes por mes y durante los 40 años (1958 -1997) estudiados y los agrupamos por quinquenios.
2. Con la utilización del software CurveExpect obtuvimos la serie de Fourier (hasta un orden 12) que mejor modela a las variables que caracterizan a los centros (X, Y) y a la Altura Geopotencial del Centro Ac de ambos sistemas anticiclónicos (Mexicano y Azores - Bermudas) para los 8 quinquenios comprendidos entre 1958 -1997 y para los tres niveles troposféricos (850, 500, 300 hPa).
3. Se realizó un análisis de las salidas obtenidas del CurveExpect, así como el orden de la serie de Fourier, obteniéndose en general muy buenos resultados de forma general en lo que respecta a los niveles 850, 500 y 300 hPa para el anticiclón Bermudas, en el caso del anticiclón Mexicano en el nivel de los 500 hPa, los resultados, realmente no fueron buenos, algo que esperábamos debido a que en este nivel la irregularidad de las tierras y mares se refleja enormemente en el orden de las ecuaciones de movimiento y en la exactitud de nuestros análisis, en el caso del nivel 300hPa si se obtuvieron muy buenos resultados para este Anticiclón.
4. Se analizó el comportamiento de las tendencias de las series de Fourier obtenidas frente a las salidas (Coeficiente de Correlación, desviación standard, número de iteraciones) y se estudio la relación entre estos factores, encontrándose relaciones mutuas que explican los resultados.
5. Se obtuvieron relaciones entre las tendencias dadas de la serie de Fourier de ambos anticiclónicos, en los 8 quinquenios estudiados (1958 - 1997) con los fenómenos forzadores de la variabilidad climática (ENOS, AENOS, QBO, Volcanes) lo que

demuestra la estrecha relación existente entre los fenómenos anteriormente planteados y la tendencia.

6. Hicimos la comparación entre la tendencia con la caída promedio de precipitaciones en los 8 quinquenios (1958 - 1997) estudiados, obteniéndose patrones bien definidos de comportamiento de las lluvias frente a las tendencias.

7. Analizamos la posibilidad de modelar matemáticamente las variables X, Y y Ac y se encontró que sí es posible la modelación de los anticiclones Mexicano y Azores - Bermudas como un Movimiento Armónico Simple, para mayor exactitud, pudimos modelar, en el nivel 850 hPa donde únicamente aparece el A. Bermudas, el eje X, en el nivel 500 hPa, para ambos anticiclones el eje X, y en el nivel 300 hPa para el A. Bermudas, el eje Y y Ac y para el Mexicano el eje X.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Aroche, R., Varela, N., Lapinel, B., Pérez, I. y Hernández, I., (1999): Subsistema para el cálculo de Índices de Circulación de Katza en las variantes de las intersecciones o de rejillas de la información barométrica de cualquier región o nivel de la atmósfera. ICT. Proyecto 013 01 017. Programa Nacional de Cambios Globales.

Ballester et al. (1995): Variabilidad de la Ciclogénesis tropical en el Atlántico. Instituto de Meteorología, Cuba, 20 pp.

Carrión, A. M. (1988): El Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte y su influencia sobre la sequía en Cuba. Tesis de lic. En Geografía.

Doty E. B., (1992): Using the Grid Analysis and Display System (Grads). COLA. Calverton. MD.USA 97 pp.

Hyams, D. 1997.: Curve Expert. Versión 1.34. A curve Fitting system for windows. Microsoft Corporation.

Kalnay, E, (1996): The NCEP / NCAR 40 year Reanalysis Project. Bulletin of the American Met. Soc. 77 No. 3 pp. 437-471.

Lapinel, B., ( 1988): La circulación atmosférica y las características espacio temporales de las lluvias en Cuba. Tesis de Doctor en Ciencias Geográficas. 170 pág.

Lapinel B., R. E. Rivero y V. Cutié, (1993): La sequía en Cuba: Análisis del período 1931-90. Informe científico técnico. Centro Meteorológico Territorial, Camagüey, 40 pp.

Naranjo L.R. (1994): Uso de los Índices de Circulación para la caracterización de las condiciones atmosféricas en las inmediaciones de Cuba, Reporte de Investigación Grupo Nacional de Pronóstico a largo plazo, INSMET, CITMA, 50 pp.

Ramal de Investigación del INSMET, Proyecto 49 201 204. (inédito).

Riehl, M., (1954): Tropical Meteorology. Mc Graw-Mill, 392 pp.

Trusov, I.I., A. Izquierdo y L. R. Diaz, (1983): Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba. Edit. ACC, La Habana, 150 pp.

Vega et al (1987): Análisis del comportamiento de los totales de lluvia caídas en Cuba sobre la base de una clasificación de sequía. Informe técnico, Instituto de Meteorología, Cuba.

Villalobos and Retana , 1998: The ENSO phenomenon and the interannual climate variation: its relationship with dry land rice fields in the North Pacific of Costa Rica and decision making. Proceedings of the conference on national assessment results of climate change. Held in. San Jose, Costa Rica, March 25-28, 1998. pp 151 161.