

Caracterización de la frecuencia y la tendencia de la humedad relativa del aire a lo largo de la Isla de Cuba empleando técnicas de análisis multivariado

Autores: ROSENDO ALVAREZ, LAURA AENLLE, LISSETTE BOUZA

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología.

Resumen.

Se analiza el comportamiento de la frecuencia de los valores de la humedad relativa del aire (Hr) a lo largo y ancho de Cuba y utilizando técnicas novedosas para medir las tendencias. En ocho estaciones meteorológicas, con series de al menos 26 años de datos trihorarios, se analiza la distribución de frecuencias y se determina la marcha diaria mas probable así como la distribución de tendencias de acuerdo con la hora del día y el valor de la variable tomada con un intervalo del 5% de una clase a la otra. Se analiza el comportamiento de la humedad relativa del aire al atravesar la Isla por su región central y a todo lo largo de la misma. Se concluye que la variación de la humedad relativa respecto a la hora del día es una función acotada con: $Hr \geq 60\%$ para $2200 \leq \text{horas del día} \leq 0700$; $Hr \leq 85\%$ para $1200 \leq \text{horas del día} \leq 1400$; $Hr \geq 40\%$ para $0100 \leq \text{horas del día} \leq 2400$. Que al movernos del Norte hacia el Sur los valores de los coeficientes de tendencia aumentan y a la vez cubren un rango mayor de tiempo. Que la tendencia neta tiene una representación bastante irregular con valores positivos en las regiones occidentales y negativos en la oriental. Se dan otras varias conclusiones.

Introducción

La humedad relativa es parte componente de la ocurrencia de smogs como fue demostrado por Alvarez et. al (1984). Estos ocurren para valores de la humedad relativa (Hr) comprendidos entre el 88% y el 95% en combinación con valores pequeños de la rapidez del viento y el déficit de saturación entre 1.25 y 2.50 mm.

También los valores mayores o menores de la Hr influyen en las condiciones de confort tanto para los humanos como para los animales de cría. En su tesis de Doctorado, Paz (1987), consideró que los valores entre el 50% y el 75% marcaban los límites del confort humano para Cuba, y Guevara et. al (1997) lo enmarcan como un término variable en el cálculo de la temperatura efectiva aplicados al confort humano.

Actualmente se estudia en todo el mundo el cambio que experimentan la temperatura y la lluvia debido a la variabilidad climática, pero hasta donde llega nuestra información no se trabaja en la determinación del cambio de la humedad relativa debido a este fenómeno.

El propósito de este trabajo es establecer la relación que existe entre la distribución de frecuencias de acuerdo con las horas del día en ocho estaciones meteorológicas que trazan una sección transversal y otra longitudinal de la Isla de Cuba mediante sus patrones de comportamiento utilizando técnicas de análisis multivariado (Koroliuk, 1981; Maurin, 1972) y establecer las tendencias de esta variable atmosférica y su cambio en función de la ubicación geográfica de las estaciones, lo que puede implicar cambios en las condiciones de confort humano y animal y en la probabilidad de ocurrencias de smogs en nuestro país.

Materiales y métodos

Para el presente trabajo se contó con una serie de datos trihorarios de 8 Estaciones Meteorológicas a lo largo de la Isla de Cuba, desde 1970 hasta 1995 (75920 observaciones en cada Estación). La ubicación de las estaciones puede verse en la Figura 1.

Para cada una de las estaciones se calculó la matriz de frecuencias en el período, sobre la cual se trazó un análisis escalar (Alvarez 1982) de manera que fueran determinados los máximos y los mínimos de frecuencia.



Fig. 1 Ubicación de las Estaciones Meteorológicas estudiadas a lo largo de la Isla de Cuba.

A partir de la metodología desarrollada por Alvarez et. al (1997), que consiste en dividir la serie de datos en períodos de tiempo (5 años de observaciones consecutivos para c/u en este caso) y conformar con los datos, a partir de tablas de doble entrada, matrices de frecuencia que serán a su vez de probabilidad. Los a_{ij} que representan los valores de las mismas variables en c/u de las matrices son ajustadas mediante una ecuación que contiene un término lineal y varios términos oscilatorios hasta alcanzar más del 90% de correlación. Se desprecian los términos oscilatorios y se toma el coeficiente del término lineal como el coeficiente de tendencia. A partir del cálculo del coeficiente de tendencia para cada uno de los a_{ij} se conforma una matriz de tendencias.

Con este método se calcularon las tendencias para cada uno de los elementos de la matriz de humedad relativa contra horas del día y se hallaron las zonas de tendencias positivas, negativas o nulas. Se realizó el análisis comparativo de las matrices (cartas características) de frecuencias y tendencias.

Discusión

Los cambios en la humedad relativa (Hr) fueron analizados de dos maneras: i) mediante un corte transversal en una línea imaginaria en la región central de Cuba que comprende las estaciones de Cienfuegos (al Sur), Santa Clara (al Centro) y Caibarién al norte de la región Central de Cuba; y ii) mediante una línea imaginaria al centro de Cuba que se desplaza de oeste a este y sobre, o a un lado, de ella se ubican las estaciones.

En la tabla 1 puede verse la distribución de las estaciones latitudinalmente mientras recordamos que las tres referidas en el párrafo anterior cortan la Isla en la región Central.

Analizando la Figura 2 de la cual se obtiene la Tabla 1 podemos realizar el análisis del cambio de las tendencias tanto a través de la Isla como a lo largo de ella.

Tabla 1. Valores característicos de la Humedad Relativa en las diferentes estaciones

Nº.	Estación	Nº. De Datos	Tendencia Máxima	Hora	Tendencia Mínima	Hora
1	San Juan y Martínez	84 736	95 %	0100	100 %	0700
2	Casablanca	407 616	65 %	1200	65 %	1000
			65 %	2200		
			90 %	0700		
3	Cienfuegos	84 736	95 %	0100	88 %	0400
			95 %	0400		
4	Santa Clara	84 736	90 %	0100	85 %	2200
			100 %	0400		
5	Caibarién	84 736	90 %	0100	77 %	1300
			85 %	2200		
			75 %	1900		
6	Camaguey	113 952	95 %	0400	75 %	1900
7	Puerto Padre	84 736	85 %	0100	100 %	0700
			90 %	0100		
8	Maisí	84 736	85 %	0100	77 %	2000
			90 %	0400		
Total de Datos		1 029 984				

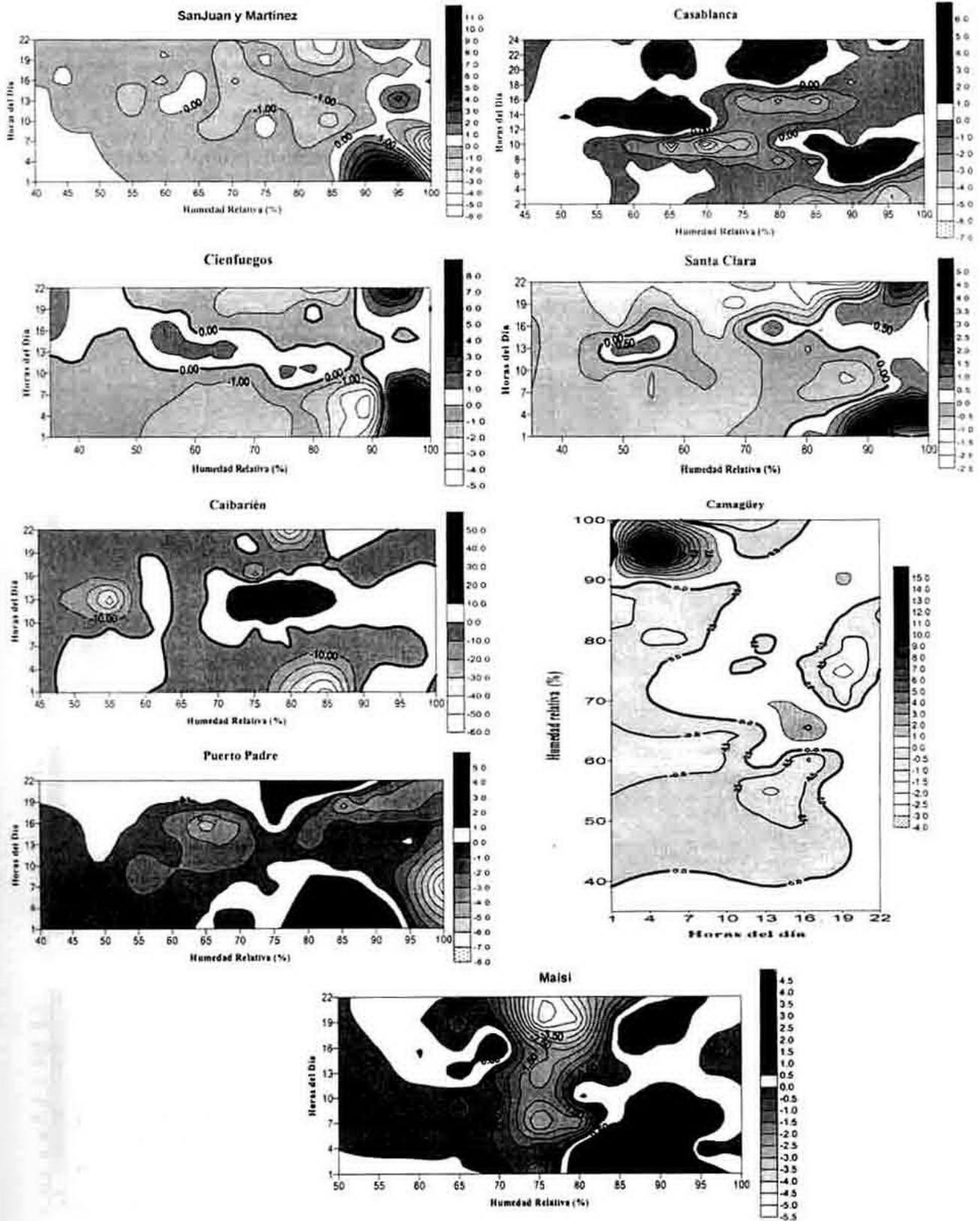


Fig. 2 Comportamiento de la tendencia de la humedad relativa de acuerdo con las horas del día para las 8 estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de la Isla de Cuba.

Cambios de la humedad relativa de acuerdo con las horas del día al atravesar la Isla de Cuba

En la figura 3 pueden verse las cartas características de frecuencias para las tres estaciones involucradas en el primer análisis en una línea a través del centro de la Isla que incluye las estaciones meteorológicas de Cienfuegos, Santa Clara y Caibarién. En ella podemos ver que las configuraciones de las distribuciones de las tres estaciones son similares, presentando valores altos de la Hr (>

80 %) entre las 0100 y las 0700 horas donde ocurre una transición que se desplaza hasta las 1700 horas con valores de Hr < 80 % para aumentar después hasta las 2200 horas con valores de Hr > 80 %.

Para las tres estaciones los valores mínimos están acotados en el 40 % de Hr, teniendo significación mayor que 0.001 (0.1 %) a partir del 50 %. Del gráfico podemos obtener que entre las 2200 horas y las 0700 horas del día siguiente no ocurren valores de Hr < 60 %, así como que entre las 1200 y las 1400 no ocurren valores de Hr > 85 %.

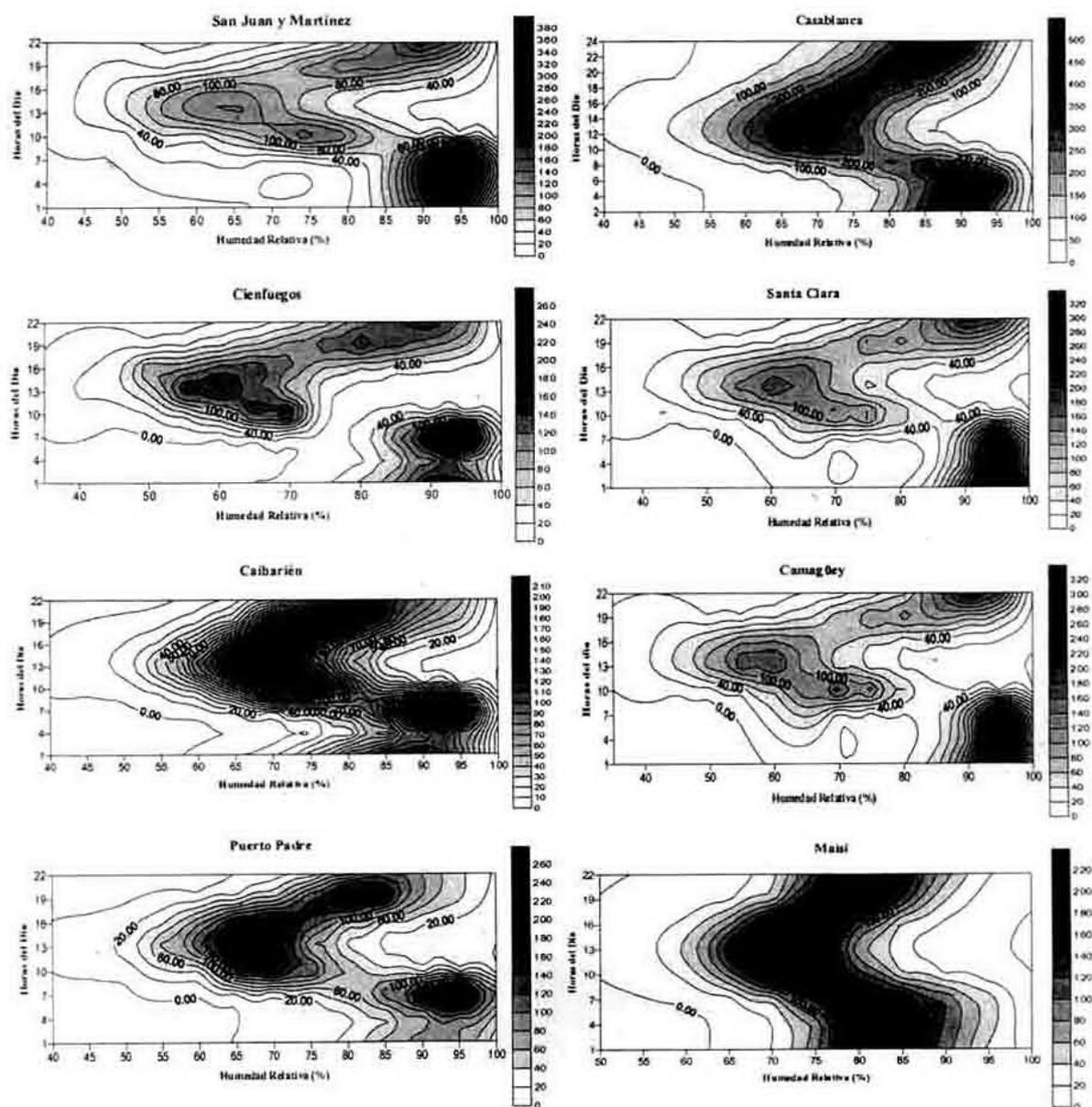


Fig. 3 Cartas de frecuencias de la humedad relativa (frec. x 10-3) de acuerdo con las horas del día para las 8 estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de la Isla de Cuba.

Cada una de las estaciones presenta dos máximos bien definidos. El absoluto para valores altos de Hr se presenta en Caibarién entre 90 % y 95 % a las 0700 horas, en Santa Clara en el 96 % a las 0600 horas y en Cienfuegos en el 95 % a las 0700 horas. Aquí podemos ver que los valores de Hr aumentan desde las costas hacia el centro de la Isla, mientras en las costas ocurren una hora más tarde que en el centro.

Un segundo máximo relativo ocurre en horas del medio día, en Caibarién con el 70 % a las 1300 horas, en Santa Clara con el 60 % también a las 1300 horas y en Cienfuegos con el 60 % y también a las 1300 horas. Cabe destacar que, por su valor, el máximo relativo de Caibarién tiene el mismo valor de frecuencia que el absoluto, siendo discriminado porque el llamado absoluto tiene en su vecindad, otro máximo relativo unido al absoluto casi de la misma intensidad. Es importante señalar que el mayor de máximos absolutos ocurre en Santa Clara y con los

valores altos de la Hr (Hr = 96 %) y que en esta estación ocurren mas profusamente los valores entre 96 % y 100 % de Hr.

Llamamos marcha diaria más probable a la línea que une los valores que más se repiten a una hora del día en una estación, ya que ella representa el valor que con mayor probabilidad ocurrirá a cada hora determinada del día.

En la Figura 4 podemos ver las curvas representativas de la marcha diaria más probable de la Hr para las tres estaciones consideradas. Estas curvas presentan valores coincidentes a las 0440, las 0740 y las 1720 horas. Si sintetizamos promediando las tres curvas obtendremos un punto de máxima a las 0700 horas, un punto de mínima a las 1300 horas y otro de máxima a las 2200 horas. En esos puntos las tres curvas tienen la misma característica por separado con la aclaración que la estación de Santa Clara presenta el mismo máximo durante tres observaciones consecutivas y que Caibarién presenta el mínimo más alto.

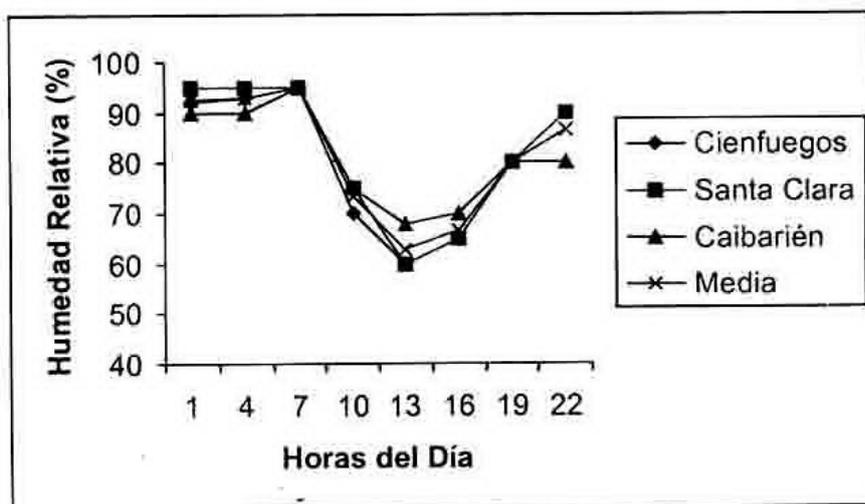


Fig. 4 Marcha diaria más probable de la Humedad Relativa en las estaciones meteorológicas de Cienfuegos, Santa Clara y Caibarién

A continuación se refiere las curvas de mejor ajuste para cada una de las estaciones de esta sección transversal de la Isla:

Estación	Ecuación	Coefficiente de correlación
Cienfuegos	$y = 74.1 + 17.2x - 3.4x^2 + 0.2x^3 - 0.004x^4$	0.97
Santa Clara	$y = 83 + 12.8x - 2.7x^2 + 0.2x^3 - 0.003x^4$	0.99
Caibarién	$y = 80.5 + 10.5x - 2x^2 + 0.1x^3 - 0.002x^4$	0.98

Coefficientes de Tendencia

En cuanto a las variaciones que se espera sufran las tres estaciones estudiadas veamos la figura 2, donde se han ploteado los valores de los coeficientes de tendencia determinados según la metodología elaborada por Alvarez et. al (1997) y que nos señala la probabilidad de aumento o disminución de la Hr de acuerdo con las horas del día cuantitativamente.

Dado que, en general, la forma de las distribuciones de los coeficientes de tendencia no guarda parecido en las tres estaciones pasaremos a discutirla por separado.

Caibarién presenta las siguientes características: un máximo absoluto en valores del 90% a las 0100 horas y otros tres relativos en 85% a las 22 horas, 75% a las 1900 horas y 70% a las 1000 horas. Eliminando estos cuatro máximos localizados en espacios bastante estrechos, el resto de la carta presenta valores negativos (en los cuales disminuye la tendencia) con mínimos en 76% a las 1300 horas y en 95% a las 0600 horas.

Santa Clara presenta también un máximo absoluto en 95% a las 0100 horas y tres máximos relativos ubicados en 96% a las 2200 horas, 96% a las 0600 horas y 89% a las 0100 horas con valores negativos en el resto de la carta si descontamos los

valores estrechos de los máximos. Debe destacarse la zona más intensa de disminución de la tendencia que ocurre para valores entre el 85% y el 90% a las 2200 horas.

Cienfuegos presenta un máximo absoluto de los coeficientes de tendencia con el 95% de Hr a las 0100 horas que se extiende hasta las 0400 horas y otro relativo más bajo a las 2200 y con el mismo valor de Hr. El resto del diagrama presenta valores negativos de la tendencia con un mínimo absoluto en 89% a las 0600 horas y otro relativo del mismo valor en 65% a las 0900 horas.

Como puede verse los valores de tendencia positiva (mayor repetición de casos) difieren poco entre Santa Clara y Cienfuegos estando agrupados entre el 90% y el 100% y en horas de la noche, la madrugada y la mañana. Esto es válido también para Caibarién pero extendiendo el rango de la Hr desde el 85% hasta el 98% y horas de la madrugada (entre las 0100 y las 0400 horas) y la tarde y la noche. De aquí se desprende que al movernos desde el Norte hacia el Sur los valores de la Hr tienden a aumentar y a su vez cubrir un número mayor de tiempo.

Una diferencia fundamental ocurre en Caibarién, donde existe tendencia positiva de algún significado para valores de $70\% \leq Hr \leq 75\%$ a horas tan dispares como las 1000 y las 1900.

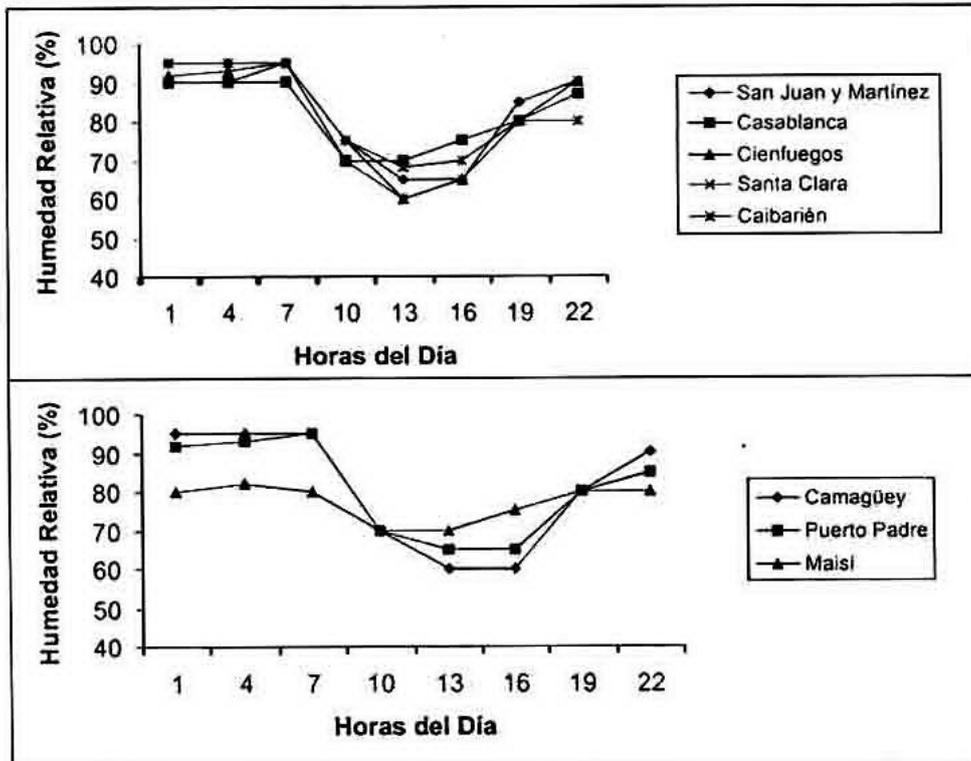


Fig. 5 Marcha diaria más probable de la humedad relativa en las estaciones meteorológicas analizadas.

Cabe destacar que para valores $< 85\%$ de Hr, y con excepción de los máximos mencionados en el párrafo anterior, la tendencia a disminuir el número de casos es más fuerte en las costas que en el centro de la Isla, así como que aumentar el número de casos para valores de $Hr \geq 90\%$ es mayor en el Centro y Sur de la Isla que en el Norte.

Los valores de las matrices de correlación representativas del ajuste de los coeficientes de tendencia son altos en casi todos los diagramas con mínimos en algunas zonas de 0.7 y máximos de 0.95.

Cambios de la humedad relativa de acuerdo con las horas del día a lo largo de la Isla de Cuba

Para realizar el análisis a lo largo de la Isla se siguió un orden latitudinal que es el mismo que mantiene la Tabla 1. Aunque el corte transversal anterior agrupaba tres de estas estaciones, no fue exactamente latitudinal, por lo que las tres estaciones, aunque próximas, tienen diferente latitud. La longitud no ha sido considerada en el análisis que sigue debido a que Cuba es una Isla larga y estrecha comprendida entre los 20° y 23° de longitud Norte.

Frecuencias

En la figura 3 pueden verse las cartas características de humedad - tiempo (Alvarez, 1984), o sea, las matrices de frecuencia del cambio de la humedad de acuerdo con las horas del día. Aquí es fácil ver que en todas las estaciones excepto Maisí la frecuencia de valores de Hr alcanza sus máximos en horas

de la noche y la madrugada, haciéndolo con valores mucho más bajos de la humedad relativa en horas del día.

Ploteando los valores mayores de frecuencia para cada hora del día obtenemos la marcha diaria más probable de la humedad relativa. En la figura 5 podemos ver la marcha diaria más probable para las estaciones meteorológicas escogidas señaladas con el número de orden latitudinal de occidente hacia oriente. Aquí podemos destacar que todas las estaciones con excepción de Maisí presentan los valores más probables entre el 90% y el 95% de Hr entre las 0100 y las 0700 horas, una bajada brusca entre las 0700 y las 1000 horas alcanzando valores mínimos a las 1300; un nuevo cambio brusco ascendente entre las 1600 y las 1900 horas para colocarse entre el 80% y el 90% a las 2200 horas.

Debe destacarse que en lo referido a las frecuencias el comportamiento de la Hr de acuerdo con las horas del día es similar para todas las estaciones excepto Maisí que se encuentra ubicada en el extremo más oriental de Cuba.

Una visión más detallada del comportamiento más probable del valor de Hr para cada una de las horas del día puede verse en la figura 6 donde se han ploteado los valores más frecuentes de las 8 estaciones para cada una de las horas de observación, destacándose aquí la diferencia de la estación Maisí entre las 0100 y las 0700 y el valor anómalo de Caibarién a las 2200 horas.

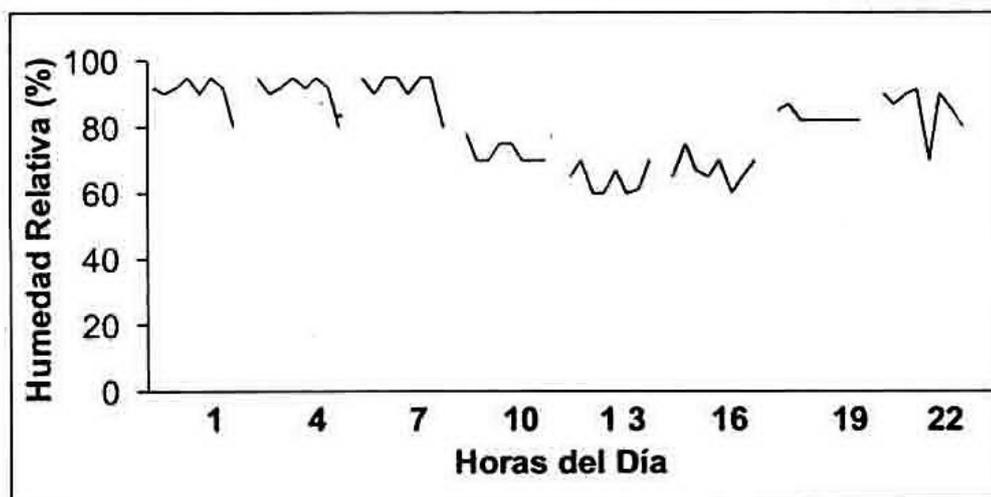


Fig. 6 Marcha de la Humedad Relativa más probable a lo largo de la Isla de Cuba para cada hora del día

Como dato adicional se elaboró la tabla 2 donde se ubican los valores medios más probables de la Hr para cada una de las horas de observación.

Tabla 2. Valores Medios más probables de la Hr para toda la Isla de Cuba.

	Horas del Día							
	0100	0400	0700	1000	1300	1600	1900	2200
Humedad Relativa (%)	91.1	91.6	92.5	71.9	64.8	67.5	80.6	86.5

En ella notamos que el valor más alto ocurre a las 0700 horas y el más bajo a las 1300 horas, con los cambios bruscos antes señalados desde las 0700 a las 1000 decreciendo y desde las 1600 a las 1900 aumentando.

Tendencias

Observando la figura 2 podemos ver que, en general, las estaciones presentan un máximo de tendencias positivas (aumentar el número de repeticiones) y otro de tendencias negativas (disminuir el número de repeticiones), con zonas grandes donde la tendencia es muy pequeña o nula. Solo hay tres estaciones que presentan máximos relativos de tendencias positivas y negativas que son: Casablanca, Caibarién y Puerto Padre, las tres situadas en la costa Norte en occidente, centro y oriente respectivamente, y con valores bajos de la hr que oscilan entre 65% y 75%.

Los valores de los máximos de tendencias tanto positivos como negativos que ocurren en las 8 estaciones están representados en la Figura 7 donde el eje y contiene el valor multiplicado por 10^{-3} para ser

expresado en por ciento. Así vemos que el máximo de tendencia positiva ocurre en la estación Camagüey (6) con el 1.5%, mientras que el máximo de valores negativos ocurre en la estación Santa Clara (4) con el 3%. Aquí podemos notar que en todas las estaciones, con excepción de Camagüey (que se encuentra ubicada en la parte central del territorio), la tendencia a aumentar el número de casos estará acotada entre 0.5 % y 1.0 % y a su vez la tendencia a disminuir el número de casos, con excepción de Santa Clara (que también está ubicada en el centro del territorio) estará acotada entre el 0.4 % y el 0.8 %. Es procedente destacar que, respecto a la Hr, la tendencia general para las estaciones es un poco mayor hacia el aumento y que las dos estaciones que presentan anomalías (tanto positiva como negativa) se encuentran ubicados en el centro de la Isla.

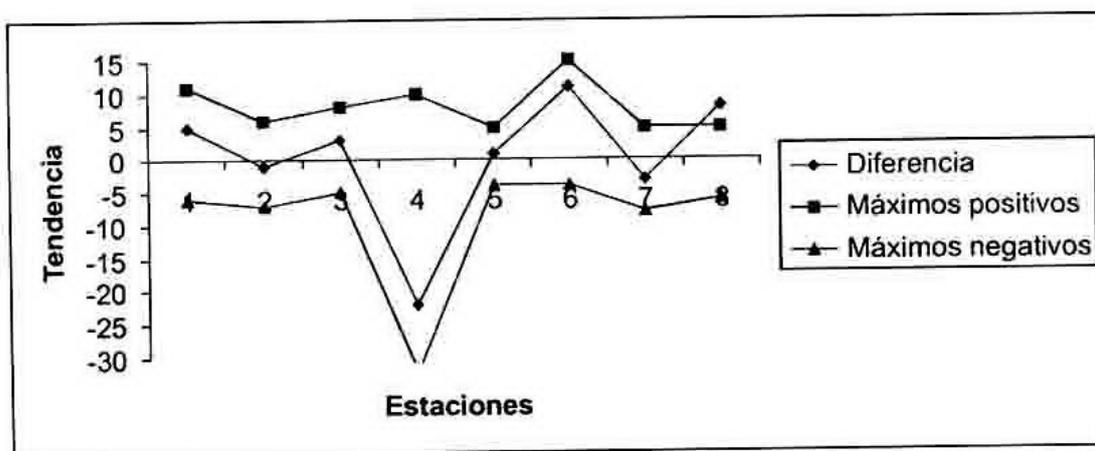


Fig. 7 Valores de los máximos positivos y negativos de la tendencia para las 8 estaciones analizadas y su diferencia (tendencia neta). (1.- San Juan y Martínez, 2.- Casablanca, 3.- Cienfuegos, 4.- Santa Clara, 5.- Caibarién, 6.- Camagüey, 7.- Puerto Padre, 8.- Mais).

En la figura 8 se han planteado los valores máximos que alcanzan las frecuencias en cada una de las estaciones independientemente del valor de la Hr y en la figura 9 los máximos de tendencia para cada valor de la Hr en cada estación (tanto positiva como negativa) así como la diferencia neta que representará (referida a los máximos solamente) el aumento o disminución de la Hr en cada estación. Si calculamos las curvas de mejor ajuste en ambos casos tendremos:

En frecuencia = y, orden de la Estación = x

$$Y = -1708.9 + 4173.4x - 2864.6x^2 + 924x^3 - 154.6x^4 + 13x^5 - 0.4x^6$$

Con coeficiente de correlación $r = 0.895$ y el 80 % de la varianza explicada.

En tendencia neta = y, orden de la estación = x

$$Y = 23.9 - 96.8x + 115.7x^2 - 56.6x^3 + 13.1x^4 - 1.4x^5 + 0.06x^6$$

Con coeficiente de correlación $r = 0.989$ y el 98 % de la varianza explicada.

Estas ecuaciones de regresión nos dan una representación de la distribución de frecuencias y tendencia neta de los valores de la Hr a lo largo de la Isla, notándose valores mayores en la región Occidental que en la Central y Oriental.

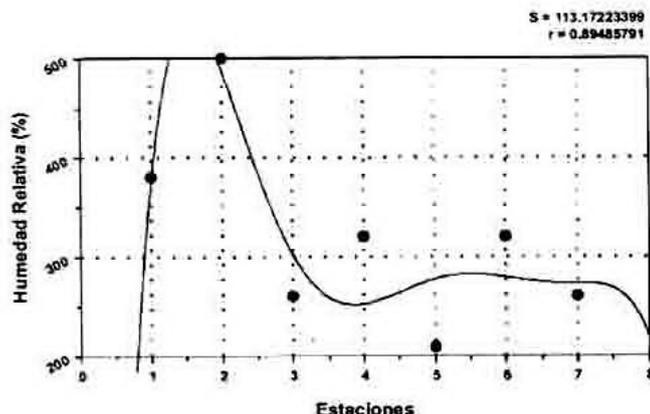


Fig. 8 Valores máximos de la frecuencia que se alcanzan en las diferentes estaciones (1- San Juan y Martínez, 2- Casablanca, 3- Cienfuegos, 4- Santa Clara, 5- Caibarién, 6- Camagüey, 7- Puerto Padre, 8- Maisí). (por 10-3).

Aunque ambas estaciones están representadas por ecuaciones de ajuste del mismo tipo podemos ver de las figuras 8 y 9 que muestran las frecuencias presentan un máximo absoluto en el occidente y un mínimo cuasi absoluto en el oriente con valores oscilantes en el centro, la tendencia neta presenta valores oscilantes en toda la Isla con mínimos (máximos de tendencia negativa) en occidente, cen-

tro y oriente y máximos positivos (máximos de tendencia positiva) en occidente, centro y oriente. De aquí se desprende que en una región habrá diferentes afectaciones por la tendencia para diferentes estaciones y que las conclusiones acerca de las afectaciones por la variabilidad climática de fondo (natural) serán diferentes para diferentes estaciones.

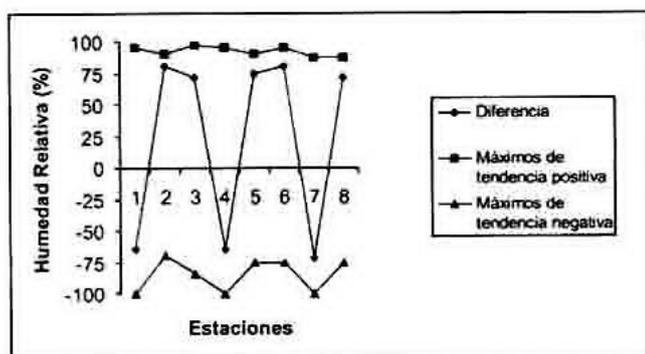


Fig. 9 Valores máximos de tendencia, tanto positiva como negativa, así como su diferencia para cada una de las estaciones analizadas. (1- San Juan y Martínez, 2- Casablanca, 3- Cienfuegos, 4- Santa Clara, 5- Caibarién, 6- Camagüey, 7- Puerto Padre, 8- Maisí). (por 10-3).

Prueba con muestra independiente

Pasaremos ahora a elaborar la prueba con muestra independiente para la matriz humedad - hora del día siguiendo el esquema:

Matriz Humedad - Hora 90 - 94 + Tendencia - Humedad - Hora 95 - 98.

Para la prueba se tomaron las estaciones Casablanca que tiene 12 horarios de observaciones en 24 horas ubicada en la costa Norte y Santa Clara con 8 observaciones en 24 horas ubicada al centro del país.

En la figura 10 puede verse la distribución del error de acuerdo con su rango para ambas estaciones.

En ambos casos se cumple que para un error

$\leq 0.5\%$ se cumple que:

i) En Casablanca se ubican el 93.7 % de los elementos de la matriz.

ii) En Santa Clara se ubican el 91.3 % de los elementos de la matriz.

En Santa Clara se presenta un caso raro que es que el 0.5 % de los elementos se ubican por encima del 1 % y se supone es debido a que la escala de cambio de la Hr se cuenta de 5 % en 5 % en lugar de 1 en 1 de valores, lo que hace que un error pequeño en un valor muy repetitivo nos da un error mayor que el normal.

Este análisis se realizó para las estaciones restantes encontrándose resultados similares.

Conclusiones

De lo tratado con respecto a las tres estaciones que implican un corte transversal a la Isla en lo referente al comportamiento de su frecuencia y su tendencia podemos concluir que:

- La configuración de las distribuciones de frecuencias de acuerdo con las horas del día es muy parecidas en las tres estaciones pero con diferentes valores de frecuencia.

- Entre las 2200 horas y las 0700 horas del día siguiente no ocurren valores de Hr $< 60\%$ y entre las 1200 y las 1400 horas no ocurren valores de Hr $> 85\%$. Entonces la Hr es una función acotada con

$Hr \geq 60\%$ para $2200 \leq \text{horas del día} \leq 0700$

$Hr \leq 85\%$ para $1200 \leq \text{Horas del día} \leq 1400$

$Hr \geq 40\%$ para $0100 \leq \text{Horas del día} \leq 2400$ con significación de 0.1 %.

- Los máximos de repetición de casos ocurren en las tres estaciones para valores del $90\% \leq Hr \leq 95\%$ con el valor mayor en la estación Santa Clara (al centro del territorio) y con su adelanto de 1 hora. O sea, los valores de Hr aumentan desde las costas hacia el centro y ocurren sus máximos una hora más tarde que en el centro.

- A las 1300 horas ocurre un máximo relativo en las tres estaciones, siendo el valor de Hr mayor en el centro del territorio que en las costas.

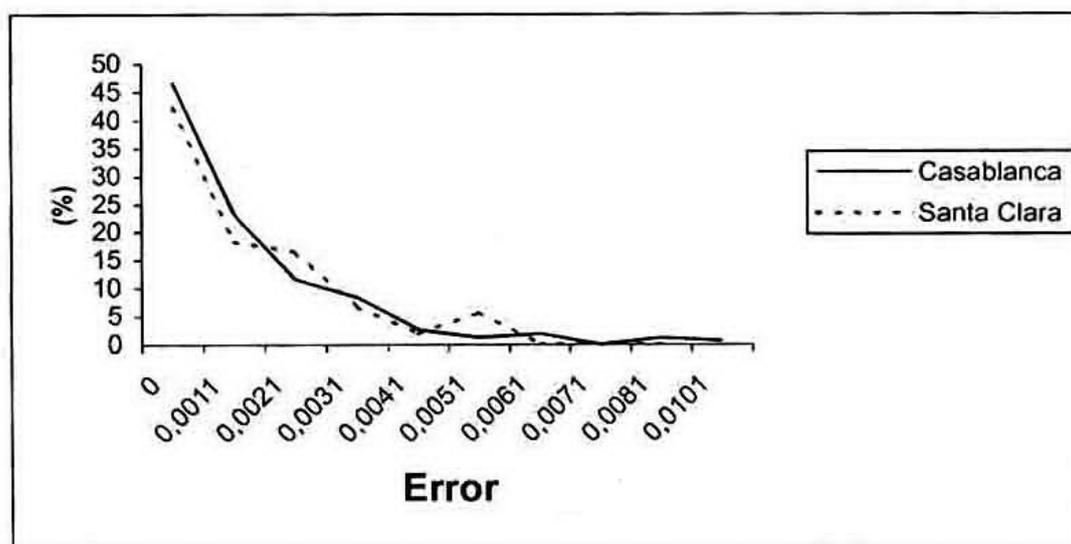


Fig. 10 Propagación del error de la matriz humedad relativa - hora del día en las estaciones de Casablanca y Santa Clara.

- Al movernos desde el Norte hacia el Sur los valores de los coeficientes de tendencia aumentan y a la vez cubren un rango mayor de tiempo.

- La estación al Norte (Caibarién) presenta una anomalía de los coeficientes de tendencia, con valores positivos de algún significado para valores de 70 % \leq Hr \leq 75 % a horas tan dispares como las 1000 y las 1900.

- Para valores de Hr < 85 % y con excepción de lo mencionado en la conclusión anterior la tendencia a disminuir el número de casos es más fuerte en las costas que en el centro de la Isla.

- La tendencia a aumentar el número de casos para valores de Hr \geq 90 % es mayor en el Centro y Sur de la Isla que en el Norte.

- Los valores de las matrices de correlación representativas del ajuste de los coeficientes de tendencia son altos, oscilando entre 0.7 y 0.9%.

De lo tratado con respecto a las ocho estaciones que implican un corte longitudinal a la Isla en lo referente al comportamiento de su frecuencia y su tendencia de la Hr podemos concluir que:

- Todas las estaciones con excepción de Maisí tienen distribuciones parecidas con máximos entre el 90 % y el 95 % y entre el 60 % y el 70 %. En Maisí aparece el máximo entre 65 % y 70 % que es el absoluto al revés de las demás estaciones y otro entre 80 % y el 85 %.

- En ninguna de las estaciones, entre las 0100 y las 0700 horas ocurren valores de Hr por debajo del 70 % y a las 2200 por debajo del 60 %. En general no ocurren valores menores que el 40 % en las estaciones con significado del 0.1 %.

- En las tres estaciones de la costa Norte: Casablanca, Caibarién y Puerto Padre no ocurren valores por encima del 90 % de Hr a las 1300 horas mientras que esta característica cambia para la parte central de la Isla, disminuyendo los valores de Hr desde occidente hacia oriente con San Juan el 90 %, Santa Clara el 85 % y Camagüey el 80 %. En Cienfuegos (costa Sur) no ocurren valores de Hr por encima del 75 % a las 1300 horas y en Maisí por encima del 87 %, aunque esta última responde por su ubicación, más al patrón de la costa norte que al de la costa sur.

- Al movernos de occidente hacia oriente los máximos más probables varían de forma similar entre las 0100 y las 0700 horas con excepción de Maisí, aunque ésta repite los valores en el mismo período de tiempo. En los primeros los cambios ocurren entre 90 % y 95 % de Hr, o sea, las variaciones de los máximos se encuentran dentro del 5 % de Hr y en Maisí del 0 %.

A las 1000 horas se mantiene el cambio de los máximos dentro del 5 % de Hr, para valores más bajos (entre el 70 % y el 75 %).

Entre las 1300 y las 1600 horas aumenta el rango de variación entre el 60 % y el 75 %, o sea, el 15 % del valor más probable. Debe destacarse que a ambas horas los máximos de repetición en las estaciones: Casablanca, Caibarién y Maisí son mayores que en las otras 5.

A las 1900 horas los valores se incrementan para situarse entre el 83 % y el 88 % de Hr con 6 estaciones con el mismo valor de 83 %, distinguiéndose sólo San Juan y Casablanca, o sea, a esta hora sólo la región occidental presenta los mayores valores.

A las 2200 horas se presentan los cambios mayores desde el 70 % hasta el 90 % con un valor anómalo en Caibarién que es el mínimo del 70 % con las demás estaciones oscilando entre el 80 % y el 90 % (20 % de Hr).

- El máximo de tendencia positiva ocurre en Camagüey con el 1.5 %, mientras que el máximo de tendencia negativa ocurre en la estación Santa Clara con el 3 %. En todas las estaciones con excepción de Camagüey la tendencia a aumentar el número de casos estará acotada entre el 0.5 % y el 1.0 % y a su vez, la tendencia a disminuir el número de casos con excepción de Santa Clara estará acotada entre el 0.4 % y el 0.8 %.

- Es procedente destacar que, respecto a la Hr, la tendencia general para las estaciones es un poco mayor hacia el aumento y que las dos estaciones que presentan anomalías (tanto positiva como negativa) se encuentran ubicadas en el centro de la Isla.

- La tendencia neta (máximos de tendencia al aumento menos máximo de tendencia a la disminución) tiene una representación bastante irregular con valores positivos y negativos en las regiones occidentales (San Juan, Casablanca), y central (Cienfuegos, Santa Clara, Caibarién, Camagüey) y negativos en la oriental (Puerto Padre, Maisí).

- Aunque la frecuencia y la tendencia neta tienen una curva de mejor ajuste semejante su forma de distribución es diferente en ambos casos, indicando que los cambios futuros no obedecen a la distribución obtenida hasta la fecha de consideración de la serie.

Referencias

Alvarez, R. (1982): Estudio de un nuevo método de empleo de los datos de viento para estudios de la contaminación del aire. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 5: 23-29.

Alvarez, R.; Vega, R. Y López, C. (1984): Humedad Relativa, déficit de saturación y valores pequeños de la rapidez del viento en la ocurrencia de smogs en la Ciudad de la Habana. Ciencias de la Tierra y el Espacio. No. 9, ACC. 137 - 147 pp.

Alvarez, R. et al (1997): Análisis de los cambios en los patrones de dispersión de contaminantes, del potencial eólico energético y algunas variables meteorológicas debido a la variabilidad y /o los cambios climáticos. Obtención de los resultados para la estación Camagüey. Informe de resultado, INSMET, CITMA.

Guevara, A. V. et. al (1997): Frecuencias de las sensaciones térmicas en Cuba sobre la base de la temperatura efectiva equivalente (TEE). Presentado en el Congreso Interamericano sobre el medio ambiente (CIMA 97). Dic. 1997.

Korolilluk, V. S. (1981): Manual de la teoría de probabilidades y estadística matemática. Ed. Mir. Moscú. 580 pp.

Maurin, K. (1972): Methods of Hilbert Spaces. Polish Scientific Publishers. Varsovia. 553 pp.

Paz, L. R. (1987): El complejo temperatura - humedad relativa del aire en las condiciones climatológicas de Cuba y sus aplicaciones. Tesis de Grado de Doctor en Ciencias Geográficas. Habana. Cuba.

Abstract

The behavior of the frequency of relative humidity of the air (Hr) values is analyzed along and across Cuba using a novel technique to measure the trend. At eight meteorological stations, with at least 26 year-old trihourly series, the distribution of frequencies is analyzed and the daily most probable march is determined as well as the distribution of trend in agreement with the hour of the day and the value of the variable taken with an interval of 5% from one class to the other. The behavior of the relative humidity is analyzed as the air crosses the Island through its central region and all along it. It's concluded that the variation of the relative humidity regarding the hour of the day is a bounded function with: $Hr \geq 60\%$ for $2200 \leq$ hours of the day ≤ 0700 ; $Hr \leq 85\%$ for $1200 \leq$ hours of the day ≤ 1400 ; $Hr \geq 40\%$ for $0100 \leq$ hours of the day ≤ 2400 . It's also concluded that when moving from the North toward the South the values of the trend coefficients increase and at the same time they cover a wider range of time and that the net trend has a quite irregular representation with it values positive in the western and negative in the oriental regions. Several other conclusions are given.