

Relación entre algunas variables derivadas del sondeo aerológico y la lluvia sobre La Habana y Camagüey.

Ibis Rivero, Daniel Martínez, Reynaldo Báez y Eloida Hechavarría

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología.

Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. Ciudad Habana. Cuba.

FAX: (537) 33 80 10 e-mail: lbisr@met.inf.cu

Resumen: Se analiza la relación entre algunas variables de superficie y de aire superior derivadas de los sondeos y tres variables relacionadas con la de lluvia en una región dada (PMED - lluvia media de todos los pluviómetros con datos válidos, PMAX - lluvia máxima reportada en una de las estaciones, FRAREA - fracción de área cubierta por lluvia) aplicando técnicas de estadística descriptiva, regresión y análisis discriminante. La muestra utilizada consistió en 2368 sondeos de las estaciones de Camagüey (1200 y 1800 UTC, del período 1982-1991) y Casa Blanca, La Habana, (1200 UTC del período 1993-1995). Para cada sub-muestra en particular se determinaron las variables que mejor correlacionan con la lluvia y la varianza descrita por cada variable de acuerdo a un esquema regresivo múltiple. En general, cuando se consideran todos los datos de cada año, los índices de estabilidad que mejor correlacionan con la lluvia son el SICP y K. Sin embargo, el parámetro que mejor correlaciona con el área cubierta no es un índice de estabilidad, sino la humedad relativa media en la capa de 0 a 6 km.

Introducción:

El análisis de los datos obtenidos mediante el radiosondeo es una valiosa herramienta que permite conocer el estado de la atmósfera así como el comportamiento de las variables meteorológicas a diferentes alturas.

La evaluación de la humedad en la troposfera baja y media es importante para la determinación del potencial de convección, tiempo severo y lluvia fuerte. Las medidas más completas de la misma son los parámetros integrales como la humedad relativa media en determinadas capas de la troposfera, o el contenido de agua precipitable (Martínez et al 2000, 2001 y Rivero et al 2002), unidos a parámetros relacionados con el aporte del entorno. El efecto de la humedad varía en dependencia del fenómeno que se analice, ya que por ejemplo, la humedad alta incrementa la eficiencia de la precipitación, mientras que el aire seco incrementa la inestabilidad convectiva. Existen también parámetros más sencillos, evaluables a

partir de niveles estándar, tales como el índice K de George y otros (Peppler y Lamb, 1989).

En el trabajo de Martínez et al. (2001) (en lo sucesivo, referenciado como M2001) se analizó la relación entre una serie de variables derivadas de los perfiles meteorológicos de las 1800 UTC de la estación de radiosondeo de Camagüey, que incluían índices de inestabilidad y parámetros integrales relacionados con la temperatura, la humedad y el viento y algunas variables relacionadas con la lluvia caída en 24 horas, utilizando técnicas de regresión múltiple y análisis discriminante. Más adelante, Rivero et al. (2002) (R2002 en lo adelante) aplicaron la metodología de M2001 al análisis de un conjunto de variables mucho más completo, esta vez obtenidas a partir de los sondeos de las 1200 UTC, para los que existe un período de mediciones mucho mayor y más homogéneo.

Se analizó la relación entre algunas variables de superficie y de aire superior derivadas de los sondeos y tres variables relacionadas con la de lluvia, aplicando técnicas de estadística descriptiva, regresión y análisis discriminante. Se agruparon los valores de los índices de estabilidad con las diferentes situaciones sinópticas que influyeron sobre nuestro territorio en el área de ubicación de las estaciones aerológicas de Camagüey y Casa Blanca.

Datos y métodos de procesamiento

Se utilizó la información de aire superior obtenida en la Estación Aerológica de Camagüey en los horarios de las 1200 UTC 1800 UTC (1982-1991), y en la de Casa Blanca (La Habana), (1993-95). Se procesaron 1782 sondeos válidos para Camagüey a las 1200 UTC y 394 para las 18 UTC y 236 para La Habana. Las observaciones de las 1200 UTC para Camagüey se efectuaron diariamente de manera sistemática durante todo el período. Las correspondientes a las 1800 UTC, sin embargo, se efectuaron principalmente durante los meses experimentales del Programa Cubano de Modificación Artificial del Tiempo, que correspondieron al período lluvioso(PLL), aunque en algunos de los años de la muestra también se efectuaron sondeos en el período poco lluvioso(PPLL). Las observaciones aerológicas en La Habana se realizaron en días alternos. Debe señalarse que se consideran sondeos válidos, aquellos que alcanzaron al menos 6 km de altura y para los cuales, al menos el registro de temperatura resultó válido.

En la tabla 1 se muestra la distribución por meses de los sondeos utilizados.

Tabla 1. Cantidad de datos por meses en la muestra de sondeos en las Estaciones Aerológicas: Camagüey (Cam.) (1200 y 1800 UTC) y Casa Blanca, La Habana (C.B.)(1200 UTC).

Estación.	Período	Hora UTC	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Tot.
C.B.	93-95	1200	27	22	31	22	22	25	20	14	7	13	14	19	236
Cam.	82-91	1200	117	111	165	121	170	137	166	169	180	141	134	127	1738
Cam.	82-91	1800	18	19	10	0	16	20	57	95	104	32	20	3	394

Se utilizaron los datos de la red pluviométrica básica del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) para la provincia de Camagüey, (263 estaciones pluviométricas), distribuidas más o menos uniformemente, así como 45 estaciones pluviométricas de la provincia de la Habana y Ciudad de la Habana y 9 de estaciones meteorológicas. Las lecturas de estos instrumentos se realizan diariamente a las 8:00 hora local, de manera que corresponden a la lluvia caída en 24 horas. Se utilizaron como estimadores de volumen de lluvia, la lluvia media de todos los pluviómetros con datos válidos (PMED), la lluvia máxima reportada en una de las estaciones (PMAX), la fracción de área cubierta por lluvia (FRAREA), estimada de manera simple y aproximada como el cociente entre el número de estaciones con lluvia no nula y el número total de estaciones con datos válidos.

Con el objetivo de formar dos grupos de cada estimador de lluvia, se definieron variables de clasificación relacionadas con cada uno de ellos (Martínez et al 2000, 2002). A cada estimador de lluvia se asoció una variable de clasificación dicotómica, cuyo valor define dos grupos de casos, denominados 1 y 2, separados por un valor umbral de la variable. Como el método se aplicó para el período lluvioso, de mayo a octubre (PLL) y el período poco lluvioso, de noviembre a abril (PPLL) por separado, para cada período se determinó el umbral correspondiente a cada una de las variables de clasificación. Estos valores se determinaron previamente, partiendo de consideraciones físicas y climatológicas, y fueron precisados varias veces, por el método de prueba y error, tratando de maximizar el porcentaje de casos bien clasificados.

En el presente trabajo, se analizaron las variables utilizadas por R2002, en el cual se utilizaron los índices termodinámicos, algunas variables de superficie y otras relacionadas con los propios perfiles meteorológicos.

Desarrollo

Análisis del comportamiento entre las variables escogidas del sondeo y su relación con la lluvia.

Análisis de correlación (Camagüey, 1800 UTC) (La Habana, 1200 UTC)

Camagüey, 1800 UTC: Se calculó la matriz de correlación cuadrada para un total de 394 datos, la que contiene 304 casos donde ninguna de las variables resultó faltante. Existen coeficientes de correlación superiores a 0.94 entre los siguientes grupos de índices de inestabilidad (TT, CT y SI) y (JEFF, KMOD y K), por lo que se decidió escoger para el análisis a un solo índice de cada uno de estos grupos, SI y K, por ser los más conocidos en Cuba. Estos mismos índices fueron los que habían sido seleccionados para realizar estudios de su comportamiento a las 1200 UTC por R2002. Teniendo en cuenta la muestra total de datos, existe correlación significativa con los tres parámetros de lluvia para la mayoría de las variables, fundamentalmente para la fracción de área cubierta. Se mantiene una correlación lineal negativa entre el SI, SICIP y LI con las tres variables de lluvia. El índice que mayor correlación muestra con las variables de lluvia es el K (tabla 2) mientras que a las 1200 UTC lo es el SICIP (R2002). Tanto el índice K como el SICIP contienen información explícita o implícita del contenido de humedad en la troposfera media, de manera que su alta correlación con la lluvia se explica por la importancia del efecto de la inclusión de aire lateral en las tormentas convectivas que se desarrollan principalmente en el período lluvioso. La variable que mejor correlaciona con los tres parámetros de lluvia es la HR6KM y no un índice de estabilidad.

Según los diagramas de dispersión analizados (muestra completa) para cada índice de estabilidad con respecto a las variables de lluvia FRAREA y PMAX, el comportamiento es similar al obtenido a las 1200 UTC. Como se puede apreciar en la fig 1, la dependencia de los índice K con el parámetro de lluvia FRAREA es creciente, lo que denota que a mayor inestabilidad y humedad, se favorecen los valores altos de las variables de lluvia. Cuando se habla de muestra completa, se consideran las observaciones que ocurren tanto en PLL, como en el PPLL, por lo que se mantiene el criterio de que la correlación entre las variables del sondeo y las relativas a la lluvia, que se muestran en los diagramas de dispersión, se debe en cierta medida a la estacionalidad. Para hacer notar este aspecto, se señala en cada

punto de la figura una etiqueta que representa numéricamente al período al cual corresponde la observación (0 – PPLL ; 1 – PLL).

Tabla 2 Matriz de correlación entre las variables del sondeo y las relacionadas con la lluvia. Período 1982-1991. 1800 UTC. Estación Camagüey. Los valores significativos al 95% se denotan con un asterisco a la derecha del número.

VARIABLES DEL SONDEO	VARIABLES DE LLUVIA		
	FRAREA	PMED	PMAX
Psup	-0.42 *	-0.39*	-0.29*
Tsup	-0.01	0.00	0.17*
HSup	0.31*	0.27*	0.27*
SI	-0.34*	-0.30*	-0.39*
SICP	-0.47*	-0.40*	-0.47*
LI	-0.20*	-0.17*	-0.34*
K	0.50*	0.43*	0.47*
SWEAT	0.29*	0.25*	0.36*
HR6KM	0.59*	0.51*	0.48*
BSHEAR	0.01	-0.01	-0.08
SUSHEAR	-0.06	-0.09	-0.08
U1_6	0.17*	0.10	0.10
V1_6	0.22*	0.22*	0.04

Analizando la distribución de las nubes de puntos obtenidas en los diagramas de dispersión (fig. 1), se observa un comportamiento muy similar al obtenido a las 1200 UTC, corroborando que la estacionalidad está reflejada en el hecho de que los casos de mayor inestabilidad están concentrados para el PLL y los estables al PPLL, aunque en la muestra de datos empleada, son escasas las observaciones en el PPLL. Se sigue manifestando gran dispersión en la parte más inestable de los diagramas, lo que refleja que la alta inestabilidad no es condición suficiente para la formación de grandes volúmenes de lluvia.

Teniendo en cuenta la estacionalidad, es conveniente realizar un estudio por periodos. Las matrices de correlación obtenidas para ambos periodos se pueden encontrar en la tabla 3, en la cual se observan valores de correlación más bajos que cuando se considera la muestra completa. Al igual que a las 1200 UTC(R2002) los valores de los coeficientes de correlación de los índices SICP y K para ambos periodos son superiores al LI y SWEAT, condicionado esto a su definición como se refirió anteriormente. Se puede apreciar que a pesar de tener una muestra pequeña de datos en el PPLL, los valores de correlación de los índices de estabilidad en

dicho período son superiores al PLL. Esto concuerda con lo encontrado por M2001, que tuvo en cuenta para su análisis sólo los índices LI, SI y K, y permite corroborar la conclusión de que, generalmente, en el período lluvioso existe suficiente inestabilidad para el desarrollo de la convección profunda, por lo que otros parámetros son los que influyen en las variables de lluvia, mientras que en el PPLL los índices de inestabilidad juegan un papel más importante en las condiciones para la lluvia al existir con mayor frecuencia situaciones donde predomina la estabilidad.

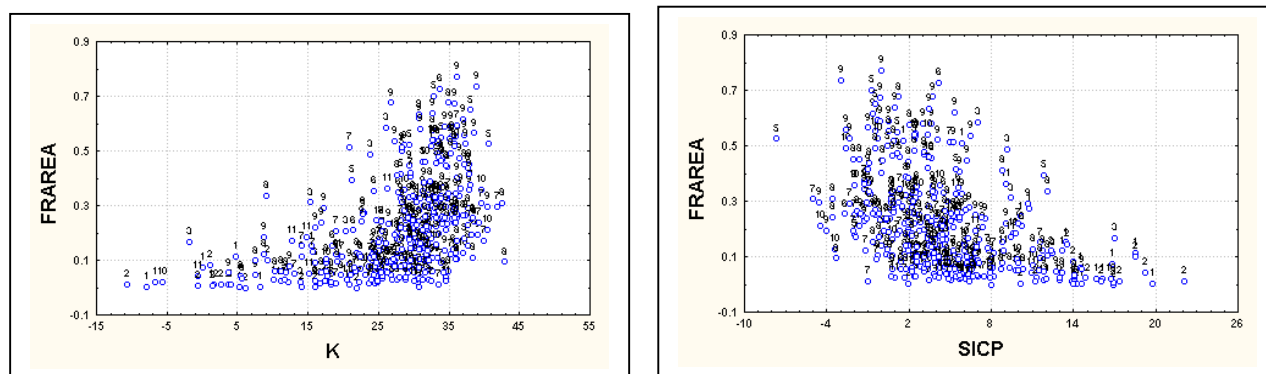


Fig .1 Diagrama de dispersión de FRAREA en función de K y SICP, para la muestra completa. Estación Camagüey.1800 UTC. (Las etiquetas encima de los puntos corresponden al mes

Tabla 3: Matriz de correlación entre las variables del sondeo y las relacionadas con la lluvia para el período lluvioso (PLL) y el poco lluvioso (PPLL). Período 1982-1991. 1800 UTC. Estación Camagüey. Los valores significativos al 95% se denotan con un asterisco a la derecha del número.

VARIABLES DEL SONDEO	VARIABLES DE LLUVIA					
	(Lluvioso)			(Poco Lluvioso)		
	FRAREA	PMED	PMAX	FRAREA	PMED	PMAX
PSUP	-0.48*	-0.44*	-0.35*	-0.30*	-0.25	-0.24
TSUP	-0.28*	-0.23*	-0.15*	0.07	0.04	0.07
HSUP	0.25*	0.22	0.14*	0.27*	0.19	0.30*
SI	-0.22*	-0.19*	-0.17*	-0.30*	-0.25*	-0.24
SICP	-0.38*	-0.32*	-0.24*	-0.42*	-0.35*	-0.32*
LI	0.07	0.05	0.01	-0.32*	-0.25	-0.36*
K	0.44*	0.37*	0.30*	0.46*	0.39*	0.32*
SWEAT	0.15*	0.13*	0.19*	0.31*	0.29*	0.23
HR6KM	0.56*	0.47*	0.37*	0.46*	0.36*	0.33*
BSHEAR	0.03	0.00	-0.05	0.22	0.24	-0.13
SUSHEAR	-0.05	-0.09	-0.09	-0.13	-0.17	0.18
U1_6	0.09	0.03	0.01	0.42*	0.40*	0.32*
V1_6	0.38*	0.37*	0.24*	0.31*	0.39*	0.28*

La Habana, 1200 UTC: Para los 236 casos de la muestra total se calculó la matriz de correlación cuadrada, la que incluye 200 casos donde ninguna de las variables resultó faltante .

Teniendo en cuenta el resultado de la matriz cuadrada de correlación entre las variables escogidas de superficie y aire superior, se puede apreciar que existen coeficientes de correlación lineal altos entre sí, superiores al 0,93, entre grupos de variables tales como K-Kmod-Jeff ; TT-CT. Por lo que se decidió escoger a priori para el análisis posterior un solo índice de cada uno de esos grupos, K para el primero y TT para el segundo. Al aplicar la técnica del análisis del discriminante lineal, nos encontramos que existían variables del sondeo escogidas que estaban dentro del modelo pero que mantenían una alta correlación con el resto de las variables utilizadas, por lo que se procedió a escoger nuevamente las variables a tener en cuenta en el ulterior análisis, de manera tal que se escogieron las variables que tuviesen un coeficiente de correlación entre sí, inferior o igual a 0.85, inclusive aquellas que correlacionaran con igual valor escoger una de ellas, como es el caso entre las variables, LI-TSUP, decidiéndose escoger LI, y SICP-SI, escogiendo a SICP.

Para la muestra total de datos la mayoría de las variables estudiadas presentan correlación significativa con las tres variables de lluvia (tabla 4), fundamentalmente con la fracción de área cubierta. La correlación lineal negativa entre los índices SI, SICP y LI con las tres variables de lluvia se mantiene. El índice que mayor correlaciona con las variables de lluvia es el SICP, seguido por el índice K, al igual ocurre en las observaciones de la mañana en Camagüey, por lo que el contenido de humedad en la capa entre 850-500 hPa, juega un papel fundamental. Se mantiene, al igual que en Camagüey que la variable que mayor correlaciona con FRAREA no es un índice de estabilidad, sino la HR6KM, manteniéndose el valor del coeficiente de correlación de la presión del mismo orden que los índices y que las matrices de correlación obtenidas por periodos muestran coeficientes de correlación más bajos que al considerar la muestra completa.

De acuerdo a los diagramas de dispersión analizados (muestra completa) para cada índice de estabilidad con respecto a las variables de lluvia FRAREA y PMAX, se mantiene un similar comportamiento al obtenido en Camagüey (1200 UTC)(R2002) y

1800 UTC respectivamente. En la fig 2 se muestra el comportamiento de los índices K y SICP con respecto a la variable FRAREA,.

Tabla 4: Matriz de correlación entre las variables del sondeo y las relacionadas con la lluvia. Período 1993-1995. 1200 UTC. La Habana. Los valores significativos al 95% se denotan con un asterisco a la derecha del número.

VARIABLES DEL SONDEO	VARIABLES DE LLUVIA		
	FRAREA	PMED	PMAX
PSUP	-0.41*	-0.30*	-0.26*
HSUP	0.19*	0.19*	0.26*
SICP	-0.50*	-0.45*	-0.56*
LI	-0.38*	-0.32*	-0.50*
K	0.47*	0.40*	0.50*
SWEAT	0.33*	0.27*	0.34*
HR6KM	0.56*	0.48*	0.51*
U1_6	-0.03	-0.04	-0.01
V1_6	0.08	0.07	0.06
U6_12	0.31	0.22*	0.22*
V6_12	-0.11	-0.18	-0.26
BSHEAR	-0.03	-0.03	0.02
SUSHEAR	-0.03	-0.03	0.02

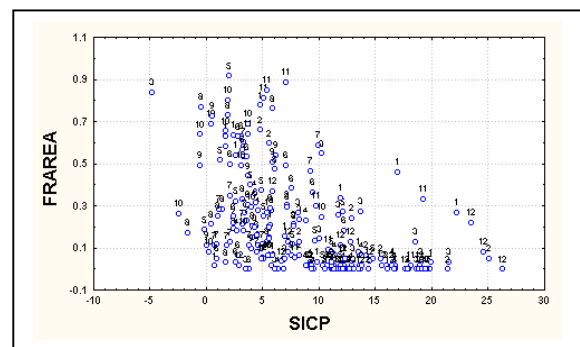
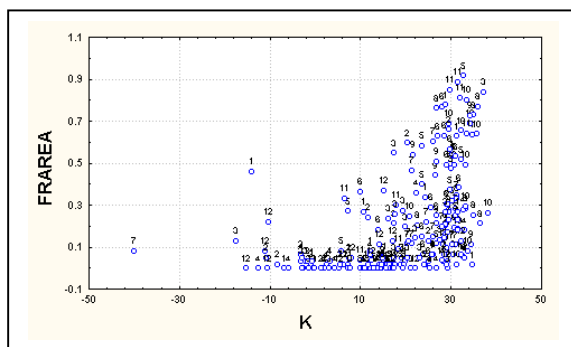


Fig 2. Diagrama de dispersión de FRAREA en función de K y SICP, para la muestra completa. Estación Casa Blanca 1200 UTC (La Habana).

Análisis de regresión múltiple. Porcentaje de la varianza descrita (Camagüey, 1800 UTC; La Habana 1200 UTC)

Aplicando la técnica de análisis de regresión lineal múltiple progresiva, se determinó el aporte de cada una de las variables a la varianza total de la regresión. En

Camagüey (tabla 5a) muestra que para el PLL, análogamente a lo encontrado en R2002, la variable que más aportó a la varianza fue HR6km con un 31.7% con la variable de lluvia FRAREA en el período lluvioso, seguida de P_{sup}. En ambos casos, el porcentaje de la varianza explicada encontrado es superior al reportado para las 1200 UTC. Esto se debe a que el sondeo de la tarde está mucho más cercano en tiempo a la hora de la convección, especialmente en el período lluvioso, y la troposfera baja se encuentra mucho más mezclada. Por otra parte, en este trabajo no se encontró porcentaje significativo de la varianza descrito por la componente zonal del viento, a diferencia de lo observado a las 1200 UTC, cuando los porcentajes de la varianza descrita por esta variable para las tres variables de lluvia estuvieron entre el 1.7 y el 6.6 %, a partir de una muestra mucho mayor de sondeos. Para el PPLL, la varianza descrita por la regresión a las 1800 UTC está mucho más dividida entre las variables del sondeo que para el período lluvioso. Por ejemplo, los índices de inestabilidad tienen mucho más peso, debido a que para este período los valores de los índices son, en general menores, y no siempre la inestabilidad es suficiente para garantizar la convección profunda.

Al aplicar la técnica del análisis multivariado para la Habana, se determinó el aporte de cada una de las variables a la varianza total de la regresión (tabla 5b), la cual muestra que para el período lluvioso la variable que más aportó a la varianza fue la HR6KM con un 31.1%, para la variable de lluvia FRAREA, 21.7% para la variable de lluvia PMED y 17% para P_{MAX}. A diferencia de las 1200 UTC en Camaguey, en el cual el aporte más significativo a la varianza fue por la HR6KM para la variable de FRAREA con un 20.5% (R2002) en el período poco lluvioso, en La Habana la variable que más aportó fue la P_{SUP} con un 34.1% para FRAREA y 22.3% para PMED.

Tabla 5. Porcentaje de la varianza de las variables de lluvia (dependientes), descrito por las variables del sondeo (independientes), por el método de la regresión lineal por pasos progresiva, para la muestra completa. Estación Camagüey, 1800 UTC **(a)**. Estación Casa Blanca, La Habana 1200 **(b)**

(a)

Variables de lluvia	Variables del perfil termodinámico							
	HR6KM	Psup	LI	SICP	K	Bshear	U1-6	V1-6
	Período lluvioso							
FRAREA	31.7	11.5						1.8
PMED	22.5	10.5						2.4
PMAX	13.4	6.7				1.1		
	Período poco lluvioso							
FRAREA	2.3		2.6		16.3		9.7	3.2
PMED		2.1		2.2	9.9	1.9	15.7	7.9
PMAX		2.1	13.1			1.7	4.8	12.5

(b)

Variables de lluvia	Variables del perfil termodinámico									
	HR6KM	PSUP	HSUP	K	LI	SICP	SUSHEAR	BSHEAR	U1_6	U6_12
FRAREA	31.1						2.8	3.5	4.5	
PMED	21.7					2.6				
PMAX	17.0								2.7	2.2
FRAREA	9.6	34.1		3.0	1.9					
PMED	10.6	22.3	5.1					6.6		
PMAX	16.5	5.8	4.5		2.4		2.9	7.3		

Estratificación de la muestra por grupos de casos según las variables de lluvia y aplicación del análisis discriminante lineal. (Camaguey ,1800 UTC; La Habana 1200 UTC)

Se obtuvieron ecuaciones discriminantes para cada una de las variables de clasificación, del tipo:

$$Y = \sum a_i x_i + c$$

donde:

x_i son las variables del sondeo que resultaron informativas para predecir el valor de la variable de clasificación

a_i son los coeficientes de la ecuación para la variable y c es una constante.

Si $Y > 0$, la variable de clasificación se asigna al grupo 2 y en caso contrario, al grupo 1. Aplicando el método de regresión lineal progresiva se obtuvieron los coeficientes para dichas ecuaciones en ambas estaciones(anexo 1 y 2).

Tabla 6. Matrices de clasificación para cada una de las variables de clasificación y para ambos períodos a las 1800 UTC en la Estación Camagüey y 1200 UTC en la estación de Casa Blanca (La Habana)

Camaguey 1800 UTC				Habana 1200 UTC		
Grupo observado	Porcentaje de clasificación correcta	Grupo clasificado		Porcentaje de clasificación correcta	Grupo clasificado	
		Gr. 1	Gr. 2		Gr. 1	Gr. 2
CLAREA						
Gr. 1	72	92	36	82	18	4
Gr. 2	73	52	144	86	4	25
Total	73	144	180	84	22	29
CLPMAX						
Gr. 1	66	109	55	65	49	26
Gr. 2	64	49	87	71	5	12
Total	65	158	142	66	54	38
CLPMED						
Gr. 1	71	76	31	64	25	14
Gr. 2	72	61	156	69	15	33
Total	72	137	187	67	40	47
CLAREI						
Gr. 1	75	30	10	85	45	8
Gr. 2	75	6	18	79	5	19
Total	75	36	28	83	50	27
CLPMAXI						
Gr. 1	65	20	11	69	43	19
Gr. 2	67	11	22	83	3	15
Total	66	31	33	72	46	34
CLPMEDI						
Gr. 1	82	37	8	88	53	7
Gr. 2	83	3	15	83	3	15
Total	86	40	23	87	56	22

Las matrices de clasificación obtenidas se muestran en la tabla 6, de manera tal que los porcentajes de clasificación correctos para Camagüey a las 1800 UTC, están alrededor del 70 % y a la variables de clasificación CLAREA y CLPMED le corresponden los valores más altos del porcentaje de clasificación para el PLL. En el PPLL a CLPMEDI le corresponden los mayores valores. Similares resultados fueron obtenidos por M2001 a las 1800 UTC, algo superiores a los obtenidos a las 1200 UTC, resultado este que se corresponde en su gran mayoría por la ocurrencia de la

lluvia en horas de la tarde y para La Habana a las 1200 UTC los porcentajes de clasificación correctos están próximos al 80% para las variables de clasificación definidas para el período lluvioso y próximos al 70 % para aquellas que están definidas en el PPLL.

Evaluación de los índices en forma individual. Camaguey,1800 UTC; La Habana. 1200 UTC

La utilización tradicional de los índices de estabilidad como predictores de diversos fenómenos relacionados con la lluvia confiere especial interés a la evaluación de su rango de comportamiento para las diferentes categorías de lluvia. Con este objetivo se evaluaron los valores medios, desviaciones estándar y errores estándar de estimación de la media para cada uno de los índices por separado para cada grupo, tomando a CLAREA y CLAREI como variable de clasificación.

Teniendo en cuenta los diagramas de caja y bigotes analizados para las diferentes variables del sondeo seleccionadas, se pueden obtener los valores medios y los umbrales que se presentan en la (tabla 7 y 8).

El método estadístico empleado para la determinación de los valores medios y umbrales a partir de los diagramas de caja y bigotes de las diferentes variables del sondeo tomando CLAREA y CLAREI como variables de clasificación, no se diferencian mucho de los obtenidos en R2002.

Tabla 7. Medias y valores umbrales de las variables derivadas del sondeo, para las variables de clasificación CLAREA y CLAREI, para el período lluvioso (PLL) y poco lluvioso (PPLL) a las 1800 UTC en la Estación Camagüey.

Variable de clasificación	Variables derivadas sondeo	Grupo 1		Grupo 2		Indeterminado
		Media	Umbral	Media	Umbral	
CLAREA (PLL)	SICP	5.3	≥5.5	2.1	≤1.5	1.5 < SICP < 5.5
	K	25.5	≤26.7	32	≥32.5	26.7 < k < 32.5
	SI	2.5	≥3.5	1	≤-2.3	-2.3 < SI < 3.5
	LI	-5.7	-	-5.6	-	-
	SWEAT	85	≤-10	130	≥250	-10 < SWEAT < 250
	HR6km	56	≤57	67	≥66	57 < HR6km < 66
CLAREI (PPLL)	SICP	11.8	≥14	8.5	≤7	7 < SICP < 14
	K	14	≤13	21.5	≥25.5	13 < k < 25.5
	SI	7.5	≥10.2	6.3	-----	2.2 < SI < 10.2
	LI	0.5	≥3	-1.0	≤-4.2	-4.2 < LI < 3
	SWEAT	-100	≤-240	60	≤110	-240 < SWEAT < 110
	HR6km	47.5	≤47	56.5	≥57	47 < HR6km < 57

Tabla 8. Medias y valores umbrales de las variables derivadas del sondeo, para las variables de clasificación CLAREA y CLAREI, para el período lluvioso (PLL) y poco lluvioso (PPLL) a las 1200 UTC en la Estación Casa Blanca (La Habana).

Variable de clasificación	Variables derivadas sondeo	Grupo 1		Grupo 2		Indeterminado
		Media	Umbral	Media	Umbral	
CLAREA (PLL)	SICP	6.2	≥ 5	3.9	≤ -1.8	$1.8 < \text{SICP} < 5$
	K	21	≤ 23	28.5		$k < 22$
	LI	-2.2	≥ 1.1	-3.5	≤ 5.5	$-5.5 < \text{LI} < -1.1$
	SWEAT	-25	-	75	-	-
	HR6km	60	≤ 56	68	≥ 70.5	$56 < \text{HR6km} < 70.5$
CLAREI (PPLL)	SICP	13.5	≥ 14	8.5	≤ 8.1	$8.1 < \text{SICP} < 14$
	K	11	≤ 8.5	21.5	≥ 23	$8.5 < k < 23$
	LI	4	≥ 4	-0.1	≤ -0.3	$4.1 < \text{LI} < 4$
	SWEAT	-150	≤ -180	20	≥ 40	$180 < \text{SWEAT} < 40$
	HR6km	50	≤ 46	62	≥ 64	$46 < \text{hr6km} < 64$

CONCLUSIONES

1. Se observa que para la muestra total de datos en ambas estaciones, la mayoría de las variables estudiadas presentan correlación significativa con los tres parámetros de la lluvia, especialmente con el estimador de área cubierta. El parámetro que mejor correlaciona con el área cubierta es HR6km y los índices que mejor correlacionan para la muestra total son el SICP y K. Aunque se encontró que para los sondeos de la tarde en Camagüey el índice que mejor correlaciona es el índice K y para los de la mañana en La Habana es el índice SICP, como ocurrió a las 1200 UTC en Camagüey.
2. Se corrobora la conclusión de que, generalmente, en el período lluvioso existe suficiente inestabilidad para el desarrollo de la convección profunda, por lo que otros parámetros son los que influyen en las variables de lluvia, mientras que en el PPLL los índices de inestabilidad juegan un papel más importante en las condiciones para la lluvia al existir con mayor frecuencia situaciones donde predomina la estabilidad.
3. La aplicación del análisis discriminante lineal al diagnóstico de tres variables dicotómicas relacionadas con la lluvia permitió la clasificación correcta de cerca del 70 % de los casos para cada una de las variables a partir de las

ecuaciones discriminantes, para los sondeos de la tarde en Camagüey y para los sondeos de la mañana en Casa Blanca están próximos al 80% para las variables de clasificación definidas para el período lluvioso y próximos al 70 % para aquellas que están definidas en el PPLL.

4. Considerando el valor medio, la desviación estándar y el error estándar de estimación de la media de todos los índices de forma individual, para ambas estaciones y para cada período se definieron los intervalos de variación de cada índice en cada grupo y los umbrales a partir de los cuales se puede diagnosticar la variable de lluvia utilizando sólo el índice dado, con un nivel de significación superior al 85%. Los valores medios de los índices por grupos se diferenciaron con más de un 95% de significación.

REFERENCIAS

Amaro L., Pérez D., Mon S., Suárez I. y Báez R. , 1990: Caracterización de la temperatura, la humedad y el viento en la capa fronteriza de Camagüey. Informe Científico. Instituto de Meteorología. 50 pp.

Lapinel, B. ,1988: La circulación atmosférica y las características espacio – temporales de las lluvias en Cuba. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Geográficas. ACC. Cuba. 170 pp.

Lecha L. y Llanes A., 1988: Características estacionales de la circulación atmosférica sobre Cuba. Rev. Cubana Meteor. 1, 1, 49-56.

Martínez, D., L. Alfonso, R. Báez and I. Jo, 2000: The influence of Meteorological profiles at a local scale in rainfall over Camagüey, Cuba. Proceedings of 13th International Conference on Clouds and Precipitation. Reno, Nevada, USA. Vol. 1, 440-443.

Martínez D. and E. G. Gori, (1999): Raindrop size distributions in convective clouds over Cuba. Atmospheric Research., 52, 221-239.

Martínez D., Rivero I y Báez R. (2002): Caracterización estadística de los perfiles meteorológicos de Camagüey en horas de la tarde y su relación con la lluvia . (Rev. Cub. Meteor, 9 (1).

Matveev, L. T., 1976: Kurs obschei meteorologii. Fizika atmosfery (p. 393). Gidrometeoizdat, Leningrad. [en ruso]

Peppler R. A. and Lamb. P. J., 1989: Tropospheric stability and Central North American growing season rainfall. Mon. Wea. Rev., 117: 1156-1180.

Pérez D.y Hechavarría E., 1987: Estudio aeroclimatológico del comportamiento del viento con la altura en La Habana. Reporte de Investigación del INSMET No. 17. ACC. 4 pp.

Riehl, H., 1954: Tropical meteorology. Mc. Grew Hill Inc., 392 pp.

Rivero, R., Martínez D., Baéz R., Echevarria., 2002: Los perfiles meteorológicos a las 1200 GMT y la lluvia en Cuba. . Rev. Cub. Meteor, 9 (2).

Williams E. and Rennó N., 1993: An analysis of the conditional instability in the tropical atmosphere. Month. Wea. Rev, 121: 21-36.

Anexo 1

Coefficientes de la función discriminante de las variables del perfil termodinámico del sondeo para cada una de las variables de clasificación en el período lluvioso (PLI) y poco lluvioso (PPLL). Estación Camagüey. 1800 UTC

Variables de clasificación	Variables del perfil termodinámico													
	HR6KM	PSUP	TSUP	K	LI	SI	SWEAT	SICP	U1-6	V1-6	Sushear	Bshear	Const	
Período lluvioso														
CLARE A	0.1	-0.34	0.16	-0.01	0.15			-0.12					333.4	
CLPM ED	0.08	-0.31	0.2	0.05	0.11								298.5	
CLPM AX		-0.34					0.01			0.08			334.7	
Período poco lluvioso														
CLARE I	0.18		0.31			-0.16						0.46	-21.66	
CLPM EDI	0.12	0.34			0.22	0.17			0.33	0.17	-0.07		-340.2	
CLPM AXI	0.05	0.25	0.38		-0.1	0.11				0.11	0.38	0.46	-264	

Anexo 2.

Coefficientes de la función discriminante de las variables del perfil termodinámico del sondeo para cada una de las variables de clasificación en el período lluvioso (Pl) y poco lluvioso (PPLL). Estación Casa Blanca (La Habana). 1200 UTC

Variables de clasificación	Variables del perfil termodinámico													
	HR6km	PSUP	HSUP	K	LI	SICP	SWEAT	U1-6	V1-6	U6-12	V6-12	Sushear	Bshear	Const
Período lluvioso														
CLARE A	-0.13			-0.05	0.42	-0.55		-0.56		0.17		0.04	0.42	101.38
CLPME D			-0.14	-0.03				-0.22		0.12				13.95
CLPMA X	- 0.010								-0.23	0.12	0.075			6.33
Período poco lluvioso														
CLAREI		0.25	0.13		0.07		0.01		-0.31			-0.06	0.46	- 263.65
CLPME DI		0.41	-0.1				-0.01	-0.27			-0.06	-0.1	0.57	- 423.37
CLPMA XI	0.05						-0.004					0.04		3.53

