

Caracterización estadística de los perfiles meteorológicos sobre Camagüey y La Habana.

Daniel Martínez, Ibis Rivero, Reynaldo Báez y Eloida Hechavarría

Instituto de Meteorología, Apdo. 17032, La Habana 17, Cuba

Tel: (537) 8813411, ext. 266, e. mail: dan@met.inf.cu

Resumen

Se presentan los perfiles medios de varias variables meteorológicas para 2368 sondeos de las estaciones de Camagüey y Casa Blanca (La Habana), para las 1200 y las 1800 UTC del período 1982-1991. Se estratificó la muestra en función de la lluvia diaria y del período del año. Para cada grupo de casos y cada variable se calcularon la desviación estándar y el error estándar de la media en función de la altura. Los perfiles de temperatura resultaron significativamente diferentes en la troposfera baja, y para los de razón de mezcla y temperatura potencial equivalente la diferencia se extiende a la troposfera media. Los perfiles medios de viento para ambos períodos son radicalmente diferentes, especialmente para la componente zonal, ya que en el PLL predominan los estes en la mayor parte de la tropósfera, mientras que en el PPLL predominan los oestes a partir de los niveles más bajos. La variación media de los perfiles de temperatura durante la mañana para Camagüey se puede apreciar hasta alturas de cerca de 2 km en el período lluvioso y 1.6 km en el poco lluvioso. La variación media del perfil de rapidez del viento se comporta de forma similar, aunque para el período poco lluvioso se observó variación media hasta los 2.6 km. Se obtuvieron expresiones para el NCA a partir de la humedad de superficie, y para el CAPE a partir del índice de ascenso y la temperatura de bulbo húmedo de superficie.

Palabras clave: Perfiles meteorológicos, sondeo, lluvia.

1. 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. Aunque 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 y Rivero et al 2002), unidos a parámetros relacionados con el aporte del entorno. Existen también parámetros más sencillos, evaluables a partir de niveles estándar, como el punto de rocío en superficie y en 700 hPa, la humedad relativa en 700 hPa, el índice K de George y otros (Peppler y Lamb, 1989). De ellos existen valores umbrales aproximados, relacionados con la ocurrencia de lluvia fuerte o tiempo severo, en determinadas regiones, especialmente si está presente un forzamiento significativo o durante el invierno. Esto es un reflejo de la relación de la forma de los perfiles meteorológicos con la lluvia (Martínez et al., 2002). Este trabajo tiene como objetivos determinar los perfiles medios obtenidos para las tres sub-muestras, estratificados en función del lugar de medición, el horario, el período del año y de la cobertura de lluvia. Obtener, además la variabilidad de los valores medidos para alturas fijas y analizar algunos estadígrafos de las principales variables obtenidas a partir de los perfiles, en dependencia del período del año, así como las relaciones empíricas entre algunas de las variables.

2. Datos y métodos de procesamiento

Se empleó la información de aire superior obtenida en la Estación Aerológica de Camagüey en los horarios de las 1200 UTC 1800 UTC en el periodo 1982-1991, y en la de Casa Blanca (La Habana), para el período 1993-95. Se procesaron 1782 sondeos válidos para Camagüey a las 12 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, excepto en breves intervalos de rotura. Las correspondientes a las 1800 UTC, sin embargo, se efectuaron principalmente durante los meses experimentales del PCMAT (Programa

Cubano de Modificación Artificial del Tiempo), que correspondieron al período lluvioso, aunque en algunos de los años de la muestra también se efectuaron sondeos en el período poco lluvioso. Es por esto que no en todos los años están representados los mismos meses para las 18, existiendo cierta inhomogeneidad en el grado de representación de cada mes en la muestra total. Se debe destacar que la parte de la muestra correspondiente al período poco lluvioso para dicho horario es muy pequeña y poco representativa con relación a la muestra total, por lo que los resultados obtenidos para este período se encuentran limitados y se muestran sólo como comparación con los del período lluvioso. Los datos correspondientes a las observaciones aerológicas en La Habana se realizaron en días alternos. En algunos meses se reduce la cantidad de observaciones por haber existido dificultades, fundamentalmente con el abastecimiento de hidrógeno, de forma tal que se vio afectado el lanzamiento de los radiosondas en determinados meses del año. 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. Las observaciones de aire superior fueron realizadas mediante estaciones aerológicas de fabricación soviética, en Camagüey del tipo, Meteorit –2 (empleando radiosondas RKZ-5) y en Casa Blanca del tipo AVK-1 (empleando radiosondas MRZ-3).

En la tabla 2.1 se muestra la distribución por meses de los sondeos utilizados.

Tabla 2.1. 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 (CB)(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, que consta de 263 estaciones pluviométricas, distribuidas más o menos uniformemente, cubriendo toda el área de la provincia, 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. En la base de datos utilizada en el

presente trabajo, dicho total de lluvia se asigna al día anterior al de la observación, de manera que el sondeo precede a la correspondiente lluvia en la gran mayoría de los casos. Se utilizó como estimador de lluvia, 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 definió una variable de clasificación dicotómica para cada período del año (Martínez et al 2000, 2002), 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. Los 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.

Para el PLL se definió:

$$\text{CLAREA} = 1 \text{ si } \text{FRAREA} \leq 0.15; \text{CLAREA} = 2 \text{ si } \text{FRAREA} > 0.15$$

y para el PPLL:

$$\text{CLAREI} = 1 \text{ si } \text{FRAREA} \leq 0.1; \text{FRAREA} = 2 \text{ si } \text{FRAREA} > 0.1$$

Para caracterizar los perfiles meteorológicos y su evolución se utilizó el método de promediar los valores de las variables meteorológicas cada 200 m de altura hasta los 20 km o hasta la altura máxima alcanzada por el sondeo, en caso de que no haya alcanzado los 20 km. Para esto se interpolaron previamente los datos de los perfiles individuales con intervalos de 200 m. Se obtuvieron sondeos promedio para los dos períodos del año y para cada uno de los grupos definidos a partir de las variable CLAREA y CLAREI, por separado para cada uno de los períodos. Para cada variable correspondiente a cada nivel se calculó la desviación estándar σ , como medida de la variabilidad de los casos particulares dentro de cada submuestra y el error estándar de la media ϵ .

Tabla 2.2. Variables utilizadas en la caracterización de los perfiles meteorológicos de los sondeos seleccionados. Camagüey 1200 UTC, 1800 UTC y Casa Blanca 1200 UTC.

VARIABLE	DENOMINACIÓN	FÓRMULA O DESCRIPCIÓN Y UNIDADES
LI	Índice de ascenso	$T_{500}-T'_{500}$ (ascenso desde la superficie) [°C]
K	Índice de George	$T_{850}+Td_{850}-2T_{500}$ [°C]
SI	Indice de Showalter	$T_{500}-T'_{500}$ [°C]. Definido para la capa 850-500
TT	Indice total de totales	$T_{850}+T_{d850}-2T_{500}$ [°C]
Jeff	Jefferson	$1.6 \theta_{w(850)}-T_{(500)}-0.5(T_{(700)}-T_{d(700)})-8$ [°C]
CT	Cross Totals	$T_{d(850)}-T_{(500)}$ [°C]
SICP	Showalter modificado.	$T_{(500)}-T_{p(500)}$ [°C] (ascenso de la parcela se inicia en 850hPa, pero se le asigna el contenido de humedad media en la capa 850-500)
K mod	K modificado	$(T-T_{(500)})+T_d-(T_{(700)}-T_{d(700)})$ [°C] T y T_d promedios para la capa Sup -850
Sweat	Indice Sweat	$12 T_{d(850)}+20(T-49)+2f_{(850)}+f_{(500)}+25(S+0.2)$ f -velocidad del viento, s -sen ($d_{500}-d_{850}$)
NCA	Nivel de condensación por ascendencia.	Nivel en el cual se produce la saturación de la parcela. [m]
HE	Altura del nivel de equilibrio.	Altura a partir de la cual la parcela tiene flotabilidad negativa. [m]
CAPE	Energía potencial convectiva disponible.	Energía de inestabilidad positiva adquirida por la partícula desde el NCA hasta el nivel de equilibrio. [J kg ⁻¹]
CINE	Energía de inhibición de la convección.	Energía de inestabilidad para la parte del perfil de temperatura con flotabilidad negativa. [J kg ⁻¹]
DTmax	Exceso máximo de temperatura de la parcela.	$(T'-T)_{max}$ [°C]
HDTmax	Altura a que ocurre DTmax.	[m]
HR6km	Humedad relativa media en la capa sup.-6 km	%
Bshear	Cizalladura burda. del viento	$((\Delta U)^2+(\Delta V)^2)^{0.5}$ [m s ⁻¹] donde $\Delta U = \frac{1}{\sum_{sup}^{6km} \rho_i} \sum_{sup}^{6km} \rho_i u_i - \frac{1}{\sum_{sup}^{500m} \rho_i} \sum_{sup}^{500m} \rho_i u_i$ y análogamente para ΔV
H0	Altura de la isoterma 0°C	[m]
H5	Altura de la isoterma -5°C	[m]
H10	Altura de la isoterma -10°C	[m]
H20	Altura de la isoterma -20°C	[m]
U1_6 (6_12)	componente zonal del viento media de 1 a 6 km (6 a 12km)	m/s
V1_6 (6_12)	componente meridional del viento media de 1 a 6 km (6 a 12 km)	m/s

Nota: Las variables con supraíndice " ' " se refieren a magnitudes de la parcela de aire ascendente, según el modelo adiabático o pseudoadiabático. El resto de las magnitudes de la parcela, se refieren al mismo modelo, excepto cuando se indica lo contrario explícitamente. u y v son las componentes zonal y meridional del viento. La letra T simboliza la temperatura, HR es la humedad relativa, y ρ_i es la densidad del aire para el iésimo nivel medido. N es el número de casos válidos para cada variable medida.

3. Caracterización estadística de los perfiles meteorológicos de Camagüey y Casa Blanca, su evolución durante la mañana y su relación con la lluvia

3.1 Sondeos promedios.

La tabla 3.1 (A, B y C) muestra los estadígrafos correspondientes a la temperatura, la razón de mezcla, y las dos componentes del viento, además del número de casos para cuatro niveles de altura, para cada estación, horario y período por separado, de manera que es posible comparar los valores de los errores y desviaciones con los promedios, conociendo la cantidad de casos en cada grupo. Todos los sondeos de la muestra llegaron al menos a los 6 km, pero algunos de ellos no alcanzaron las alturas de 10 o 20 km, por lo cual el número de casos decrece con la altura, lo que afecta el error estándar de la media para los niveles más altos. La temperatura y la razón de mezcla se destacan por su baja dispersión para todo el intervalo de alturas, aunque en algunos casos los valores de los promedios para los distintos grupos son muy cercanos.

Los perfiles medios de las estaciones de Camagüey y La Habana para las 1200 UTC, para los períodos lluvioso y poco lluvioso de estas y otras magnitudes derivadas se muestran en la fig. 3.1.. Debe señalarse la evidencia en el sondeo medio de una inversión superficial para las 12 en Camagüey, pero no en La Habana.

Se observa que los perfiles de temperatura en el PLL y el poco lluvioso PPLL (Fig. 3.1) difieren sensiblemente en superficie, y hasta los primeros 4 km de altura, tanto para Camagüey como para La Habana, si se toma en cuenta que el error estándar en esta capa es cercano a 0.2°C , lo que coincide con lo reportado por Amaro et al., (1990) en su estudio de la capa fronteriza planetaria sobre Camagüey. En esta capa, tanto la temperatura como el gradiente térmico son mayores en la estación lluviosa. Más arriba, los perfiles son muy cercanos hasta los 7 km de altura aproximadamente, donde se vuelven a diferenciar. En la vecindad de los 15 km, ambos perfiles coinciden, para diferenciarse radicalmente más arriba, hasta más allá de la tropopausa, que se encuentra unos 2 km por encima en el PPLL.

Los perfiles de la temperatura potencial equivalente, sin embargo, difieren significativamente en toda la troposfera baja y media, ya que los errores estándar son menores que las diferencias entre los valores medios.

La diferencia en los perfiles de razón de mezcla entre ambos períodos es aún más pronunciada (Fig. 3.1), resultando la tropósfera mucho más húmeda en el período lluvioso. Esto se evidencia independientemente del horario y la estación. Según Riehl (1954) la capa húmeda se define para la atmósfera tropical como aquella para la cual la humedad específica (aproximadamente igual a la razón de mezcla) es mayor que 5 g/kg. En el presente trabajo, según los datos de Camagüey para las 18, cuando ha tenido lugar el mezclamiento convectivo durante la mañana, para el PLL resultó igual a 3.8 km, mientras que para el PPLL se encuentra 1 km más baja (Tabla 3.2). Los errores estándar de estimación de la media están claramente por debajo de las diferencias entre las medias. Para el sondeo de las 12 en Camagüey la capa se encuentra 200 m más alta en el PLL y 400 m más alta en el PPLL, con respecto a la de los perfiles de la tarde. Para La Habana la capa se encuentra 600 m más baja que para Camagüey a las 12 en ambos períodos.

Estos resultados son cercanos a los encontrados por Amaro et al. (1990) para sondeos de las 1200 UTC.

Los perfiles medios de viento (Fig. 3.1) para ambos períodos son radicalmente diferentes, especialmente los correspondientes a la componente zonal, ya que en el PLL predominan los estes en la mayor parte de la tropósfera, mientras que en el PPLL, como promedio, predominan los oestes a partir de los niveles más bajos, alcanzando valores medios cercanos a 25 m/s para la tropósfera alta. La base de los oestes, según los datos de las 1200 UTC, que es la muestra mejor representada, se encuentra, para el período poco lluvioso, a 4 km sobre Camagüey y a 1.4 km sobre La Habana, y para el período lluvioso, a 7.2 km sobre Camagüey y a 5 km sobre La Habana, aunque debe tomarse en cuenta que ambas muestras no corresponden al mismo período. Este resultado es consistente con lo encontrado por otros autores que han abordado el problema de la distribución vertical del viento sobre Cuba, como los propios Amaro et al. (1990), Lapinel (1988), Lecha y Llanes (1988) y Pérez y Hechavarría (1987). La componente meridional media en la tropósfera baja (excepto en la capa subnubosa) es del sur en ambos períodos, hasta más de 6 km de altura en el PPLL y hasta más de 10 en el PLL. Para casi todo el intervalo de

alturas, la componente meridional del PPLL refleja una mayor incidencia de vientos del norte que en el PLL. Al analizar los perfiles medios es necesario tomar en cuenta la variabilidad de cada magnitud, dada en la tabla 3.1, para los sondeos medios de Camagüey de las 1200 UTC (los casos de Camagüey a las 18 y La Habana a las 12 se omiten por razones de espacio). En el caso de las componentes del viento, las desviaciones estándar son del mismo orden que los promedios, producto de la alta variabilidad de sus valores individuales. Esto hace que los perfiles sean el resultado de valores de la velocidad con signos en ocasiones opuestos, que ocurren bajo la influencia de diferentes sistemas sinópticos, de manera que los perfiles medios no dan una idea de lo que sería un perfil de viento en un día típico, sino del grado de preponderancia de determinada dirección y fuerza del viento en cada período y a cada altura. No obstante esto, los errores estándar de estimación de la media son lo suficientemente pequeños como para considerar los perfiles medios de ambos períodos como significativamente diferentes en la mayor parte del intervalo de alturas. Al comparar los sondeos medios de viento de las 1200 y las 1800 UTC para Camagüey en la troposfera baja se evidencia que el máximo de rapidez a los 600 metros de altura es más pronunciado para los sondeos de la mañana. Otras diferencias que resultan evidentes son la pendiente de la curva de temperatura potencial equivalente, mucho más negativa en el caso de las 18, producto del desarrollo de la inestabilidad como consecuencia del mezclamiento de la capa subnubosa en la mañana y la aparición a las 18 de un máximo de humedad relativa a 1.4 km de altura, que está asociado a la evolución de los perfiles de razón de mezcla y temperatura y a la aparición de nubes convectivas.

Presenta especial interés la comparación de los perfiles medios de la mañana para Camagüey y La Habana (Fig. 3.1), a pesar de la limitante de que corresponden a distintos períodos. Los perfiles de temperatura de ambas estaciones son bastante cercanos, pero para el caso de la temperatura potencial equivalente (Fig. 3.1 A y B), se evidencia una capa de inhibición superficial en el caso de Camagüey, para el sondeo medio del período poco lluvioso, y un menor grado de inestabilidad condicional para Camagüey, en el período lluvioso en la capa desde la superficie hasta 1 km. Para ambos períodos, la temperatura potencial equivalente para Camagüey es significativamente mayor que para La Habana para la capa desde superficie hasta 5 km. Se muestra además que el valor de la razón de mezcla en la troposfera baja es mayor en el período lluvioso para Camagüey y en el poco lluvioso

para La Habana (Fig 3.1, C y D). Los perfiles de viento (Fig. 3.7 E y F) muestran mayor altura y rapidez del máximo de la componente zonal a bajo nivel para Camagüey en el período poco lluvioso y una mayor representación de la componente del oeste en La Habana para casi toda la tropósfera en ambos períodos, que se hace más pronunciada en el período poco lluvioso.

En la Fig. 3.2 se muestran las diferencias que se observan entre los perfiles medios de Camagüey para las 1200 UTC y las 1800 UTC para la troposfera baja y media. Se detectó que la variación de los perfiles de temperatura durante la mañana se puede apreciar como promedio hasta alturas de cerca de 2 km en el período lluvioso y 1.6 km en el poco lluvioso. La variación media del perfil de rapidez del viento se comporta de forma similar, aunque para el período poco lluvioso se observó variación media hasta los 2.6 km. En los niveles de superficie y 200 m se observa un incremento medio del viento, mientras que en el resto de la capa de cambio, la rapidez del viento disminuye durante la mañana. Los perfiles de la diferencia de humedad específica presentaron un máximo negativo a los 600 m de para ambos períodos, disminuyendo lentamente con la altura, pero sin anularse, hasta los 10 km, lo que evidencia la importancia del transporte de humedad vinculado a los procesos nubosos en la troposfera baja y media, que generalmente no conducen a precipitación en horas de la mañana. En algunos casos particulares se detectaron diferencias entre ambos sondeos en los niveles superiores de la troposfera, principalmente en los datos de viento, que influyen en que los sondeos medios presenten algunas diferencias en estos niveles, lo que será objeto de estudio de los autores en el futuro próximo.

Las diferencias entre los perfiles medios para los grupos definidos dentro de cada uno de los períodos son menos evidentes, y se muestran en las figs. 3.3, 3.4 y 3.5 Para la estación de Camagüey, tanto en el PPLL como en el PLL existe diferencia entre los perfiles de temperatura potencial equivalente hasta la altura de 5 km,. Esta diferencia es mayor en el período poco lluvioso para los perfiles de la mañana y en el lluvioso para los de la tarde (Fig. 3.3 A y B y fig 3.4 A y B) . La diferencia de θ_e para ambos grupos de casos en la mañana es más pronunciada para los sondeos de La Habana (Fig. 3.5 A) que para los de Camagüey, lo que está relacionado con el mayor contraste térmico y de humedad entre los dos períodos estacionales para la región occidental de Cuba. Los perfiles medios de temperatura para ambos grupos son tan cercanos que prácticamente no se diferencian en los gráficos,

excepto para las capas más bajas, y en particular para La Habana, donde se evidencia una diferencia de más de un grado entre ambos perfiles en la capa desde superficie hasta 2 km. Las diferencias entre los grupos 1 y 2 son especialmente notables en el caso del perfil de razón de mezcla. (Fig. 3.3 C y D, fig.3.4 C y D y fig. 3.5 B) hasta una altura de aproximadamente 10 km. Para alturas superiores, los valores de razón de mezcla son tan bajos que este factor pierde relevancia desde el punto de vista físico, pudiendo considerarse como igual a cero para efectos termodinámicos. Es de especial interés el caso de La Habana para las 1200 UTC, donde la diferencia entre la razón de mezcla para ambos grupos se reflejan desde el dato de superficie, lo que contrasta con el caso de Camagüey, que presenta las diferencias desde niveles superiores al superficial. Las diferencias que se observan en el gráfico de humedad relativa, que persisten hasta la troposfera, son debidas a la dependencia de esta variable con la razón de mezcla de saturación, que depende a su vez de la temperatura. Como tanto la razón de mezcla del sondeo como la de saturación son muy pequeñas, la humedad relativa puede tomar valores relativamente altos, aún cuando el contenido de humedad de la atmósfera es bajo.

La componente meridional del viento para Camagüey en el PLL (Fig. 3.3 E y F) presenta perfiles similares para ambos grupos de casos, y las diferencias que se notan en el gráfico quedan dentro del margen del error estándar. Sin embargo, los días del grupo 1 se caracterizan por la componente zonal del este significativamente más fuerte que los del grupo 2 para toda la tropósfera. Para el PPLL, sin embargo, es la componente meridional la que diferencia ambos grupos (Fig. 3.4E y F), caracterizándose los casos del grupo 1 por una componente predominante del norte. A diferencia de Camagüey, para La Habana, (Fig. 3.5 E y F) la componente zonal media del este mas fuerte en el PLL se corresponde con el grupo 2, cumpliéndose lo inverso para el PPLL. Las componentes meridionales sin embargo, se comportan similarmente para ambos períodos, al menos para los primeros 5 km, de modo que el grupo 2 se corresponde con viento predominante del sur.

Tabla 3.1. Valores medios, desviaciones estándar (σ) y errores estándar (ϵ) de la temperatura (T), componentes zonal (u) y meridional (v) del viento y razón de mezcla (q) para cuatro niveles expresados en altura. Se muestra además el número de casos válidos para cada variable a cada nivel (Camagüey, 1200 UTC).

H m	N	P hPa	T °C	σ_t °C	ϵ_t °C	q g/kg	σ_q g/kg	ϵ_q g/kg	u m/s	σ_u m/s	ϵ_u m/s	v m/s	σ_v m/s	ϵ_v m/s
Camagüey. Período lluvioso. 1200 UTC														
122	959	1001	24	1.3	0.1	17.81	1.43	0.08	-1.5	1.7	0.1	-0.25	1.1	0.1
5000	959	560	-1.5	1.9	0.1	3.60	1.28	0.07	-1.7	5.4	0.3	1.35	3.7	0.2
10000	862	287	-34.7	2.5	0.1	0.40	0.17	0.01	2.5	10.0	0.6	-2.72	6.7	0.4
20000	465	57	-63.7	2.7	0.2	0.06	0.02	0.00	-11.5	7.0	0.6	0.44	2.8	0.2
Grupo 1														
122	369	1002	24.1	1.5	0.1	17.71	1.68	0.15	-1.8	1.7	0.2	-0.42	1.2	0.1
5000	369	560	-1.4	2.2	0.2	3.06	1.15	0.10	-2.6	5.5	0.5	1.01	4.1	0.4
10000	326	288	-34.9	2.7	0.3	0.36	0.15	0.01	2.5	11.2	1.1	-3.60	7.3	0.7
20000	174	57	-63.5	3.1	0.4	0.06	0.03	0.00	-12.0	7.5	1.0	0.39	3.1	0.4
Grupo 2														
122	590	1001	24	1.2	0.1	17.87	1.24	0.09	-1.4	1.6	0.1	-0.15	1.1	0.1
5000	590	560	-1.5	1.7	0.1	3.94	1.25	0.09	-1.1	5.2	0.4	1.56	3.4	0.2
5200	590	546	-2.7	1.7	0.1	3.69	1.19	0.08	-1.0	5.2	0.4	1.43	3.3	0.2
10000	536	287	-34.6	2.5	0.2	0.42	0.17	0.01	2.5	9.2	0.7	-2.18	6.2	0.5
20000	291	57	-63.8	2.5	0.3	0.06	0.02	0.00	-11.3	6.7	0.7	0.46	2.6	0.3
Camagüey. Período poco lluvioso. 1200 UTC														
122	775	1003	20.5	2.1	0.1	14.26	2.09	0.13	-1.5	1.8	0.1	-0.98	1.5	0.1
5000	775	559	-1.5	2.4	0.1	2.25	1.17	0.07	2.4	7.7	0.5	-0.67	4.9	0.3
10000	700	286	-36.2	2.9	0.2	0.23	0.14	0.01	15.4	12.9	0.8	-3.65	9.2	0.6
20000	281	56	-68.7	4.2	0.4	0.02	0.02	0.00	-0.6	6.2	0.6	-0.88	3.7	0.4
Grupo 1.														
122	492	1003	20.1	2.2	0.2	13.80	2.18	0.17	-1.5	1.7	0.1	-0.99	1.5	0.1
5000	492	559	-1.4	2.4	0.2	2.05	1.02	0.08	2.0	7.7	0.6	-1.29	5.1	0.4
10000	449	286	-36.1	2.9	0.2	0.22	0.13	0.01	15.1	13.2	1.1	-4.11	9.3	0.8
20000	182	56	-68.8	4.3	0.5	0.02	0.02	0.00	-0.2	6.4	0.8	-1.33	3.8	0.5
Grupo 2.														
122	283	1002	21.2	1.7	0.2	15.05	1.66	0.17	-1.5	1.9	0.2	-0.96	1.6	0.2
5000	283	558	-1.7	2.3	0.2	2.60	1.33	0.14	3.0	7.6	0.8	0.42	4.5	0.5
10000	251	286	-36.2	2.9	0.3	0.25	0.16	0.02	15.8	12.3	1.3	-2.82	8.9	1.0
20000	99	56	-68.5	4.1	0.7	0.03	0.02	0.00	-1.3	5.5	1.0	-0.01	3.5	0.6

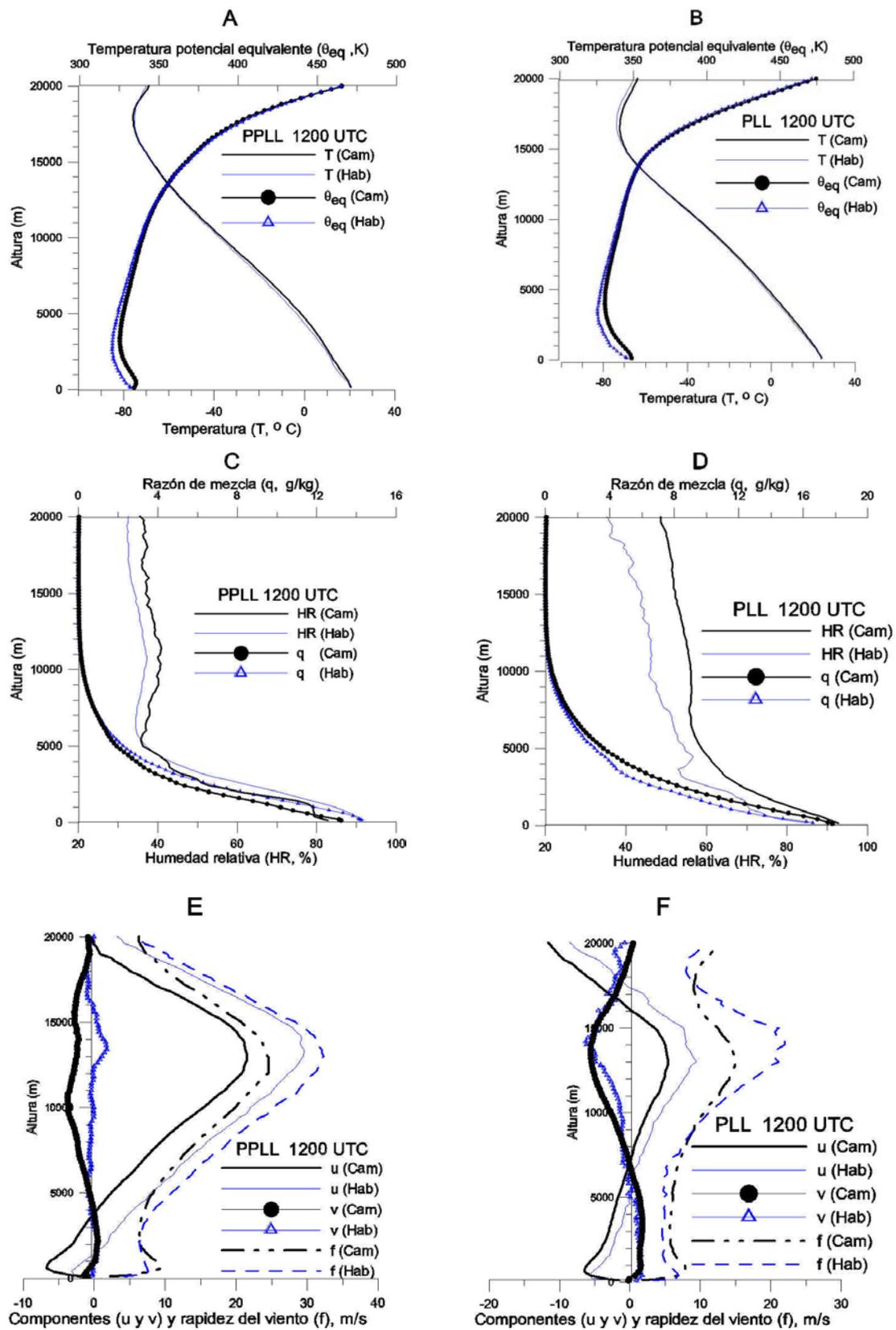


Fig. 3.1 Perfiles meteorológicos medios para el período poco lluvioso (PPLL) y lluvioso (PLL) para las 1200 UTC (0700 LST). Estaciones de Casa Blanca.(La Habana) y Camagüey. . (Ver Fig. 1 para a definición de las variables.)

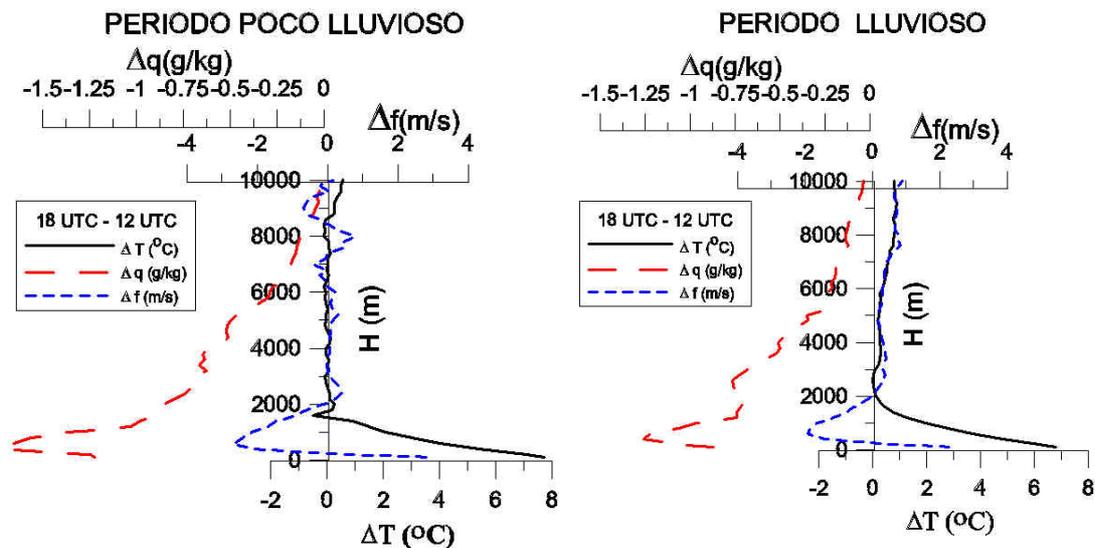


Fig. 3.2 Perfiles medios de la diferencia entre las variables correspondientes a los sondeos de las 1800 UTC y 1200 UTC, en Camagüey para los períodos poco lluvioso y lluvioso. T, q y f denotan la temperatura, la razón de mezcla y la rapidez del viento, respectivamente.

Tabla 3.2 Altura del tope de la capa húmeda, con razón de mezcla superior a los 5 g/kg para los dos períodos, en las estaciones de Camagüey (12 y 18 UTC) y La Habana (12 UTC).

	Camagüey 12 UTC	Camagüey 18 UTC	La Habana 12 UTC
P. Lluvioso	400	380	340
P. Poco Lluvioso	320	280	260

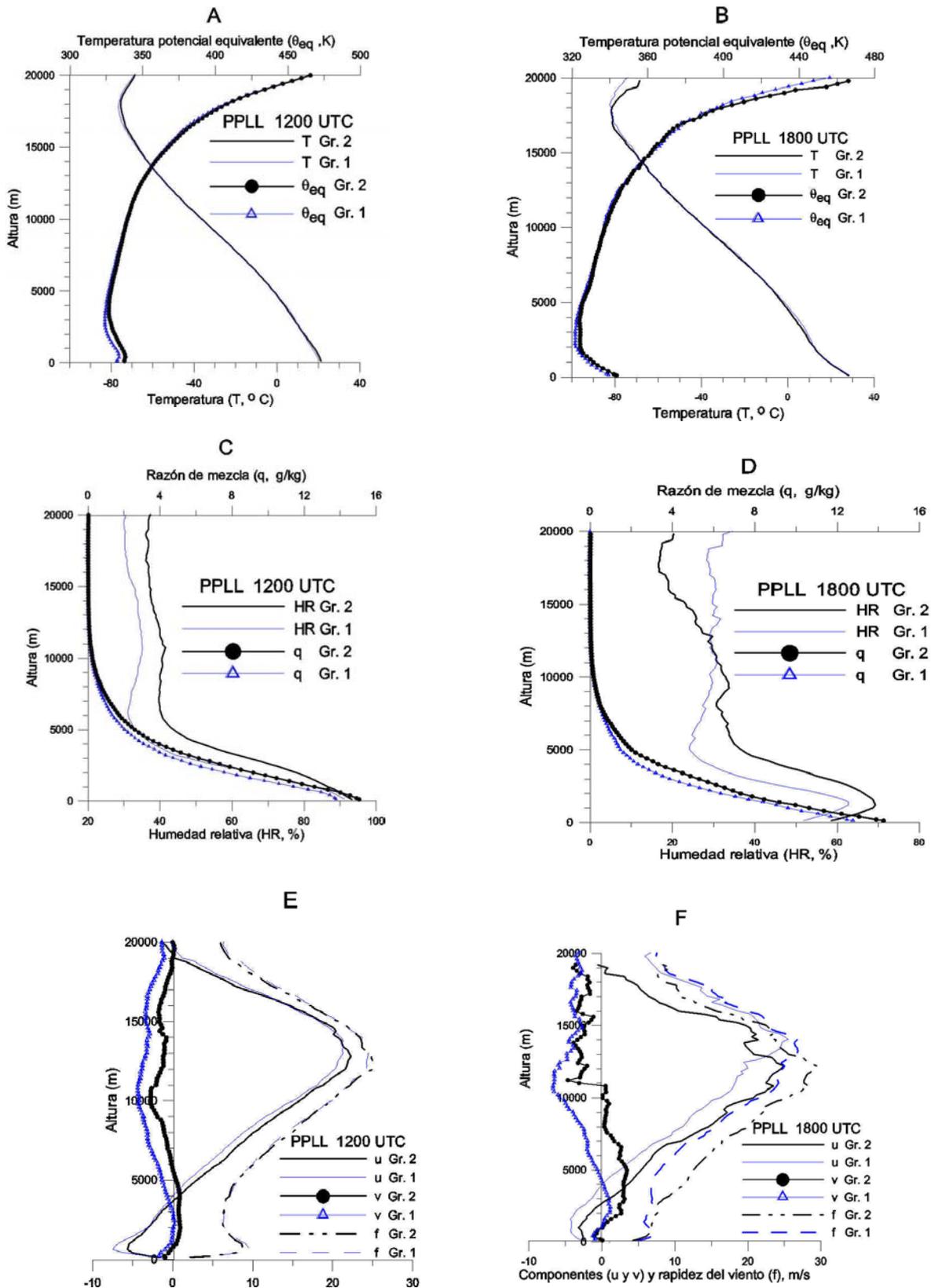


Fig. 3.3. Perfiles medios para la estación de Camagüey estratificados por grupos de casos definidos a partir de la variable CLAREI para el período poco lluvioso (PPLL). La columna izquierda muestra los perfiles de las 1200 UTC y la de la derecha los de las 1800 UTC. (Ver Fig. 1 para la definición de las variables.)

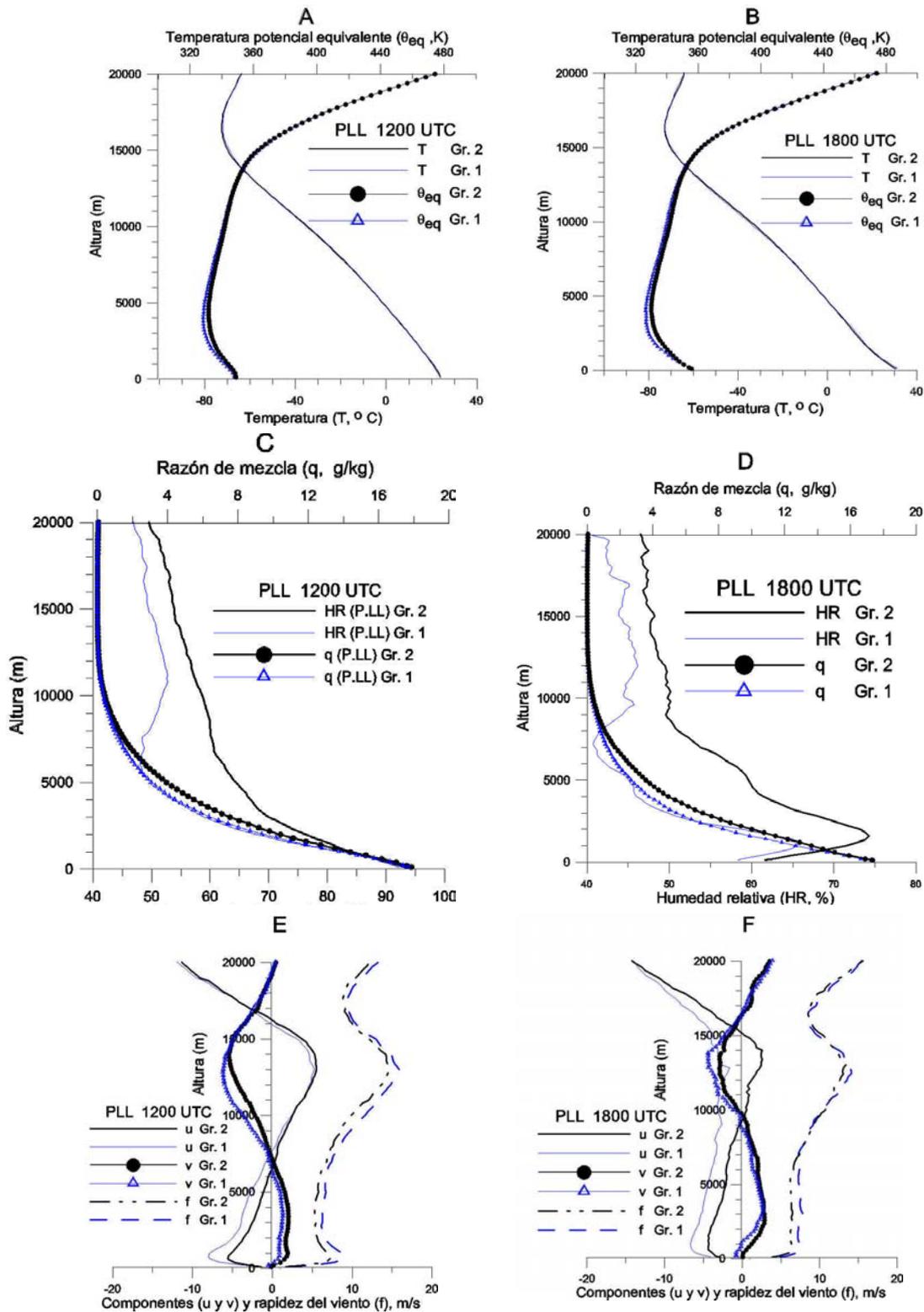


Fig. 3.4. Perfiles medios para la estación de Camagüey estratificados por grupos de casos definidos a partir de la variable CLAREA para el período lluvioso (PLL) . La columna izquierda muestra los perfiles de las 1200 UTC y la de la derecha los de las 1800 UTC. (Ver Fig. 1 para a definición de las variables)

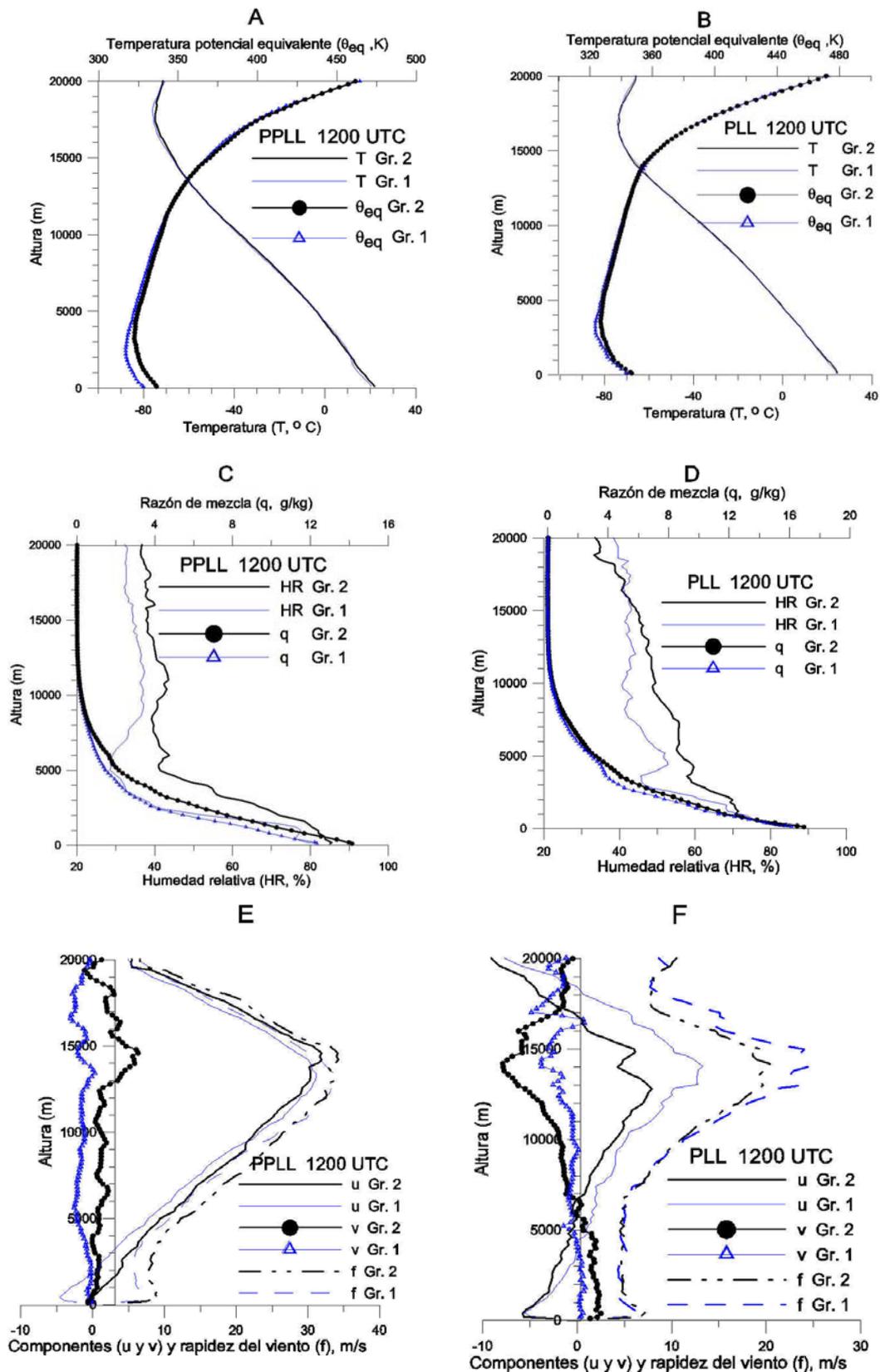


Fig. 3.5 Perfiles meteorológicos medios para el período poco lluvioso (PPLL) y lluvioso (PLL), para los grupos definidos en base a las variables CLAREI (PPLL) y CLAREA(PLL) para las 1200 UTC (0700 LST). Estación de Casa Blanca (La Habana). (Ver Fig. 1 para la definición de las variables.)

3.2 Caracterización estadística de las variables por períodos.

El conocimiento de los estimadores estadísticos básicos y de las frecuencias de ocurrencia de algunas de las variables definidas en la tabla 2.2 para los diferentes períodos del año es de gran importancia para la parametrización de la convección y de los efectos de la nubosidad en diferentes tipos de modelos numéricos para el diagnóstico o el pronóstico del tiempo y el clima y de las propiedades de la radiación atmosférica.

La tabla 3.3 (A, B y C) presenta los parámetros estadísticos básicos de los índices de estabilidad y de algunas variables termodinámicas y energéticas, con un especial significado para los procesos físicos relacionados con la formación de las nubes y la lluvia. Para las tres sub-muestras, el análisis de la tabla evidencia que para casi todas las variables existe diferencia entre las medias de los dos períodos, con nivel de significación superior al 95%, al no haber solapamiento dentro del intervalo definido por la media y el error estándar [$media \pm \varepsilon$]. La mayor inestabilidad de la atmósfera en el PLL se refleja en los índices Li y K, el máximo exceso de temperatura de la parcela DTmax y su correspondiente altura, y también en los valores del CAPE y de la altura del nivel de equilibrio, especialmente para el horario de las 1800 UTC, para el cual se ha producido el mezclamiento en la capa subnubosa (Tabla 3.3 B). El valor medio de la altura del NCA es menor en el PLL en más de 200 m, lo que refleja mayor humedad superficial disponible, mientras que HR6km también es mayor en el PLL.

A pesar de que los perfiles de temperatura de ambos períodos son relativamente cercanos entre sí (Fig. 1), las alturas medias de las cuatro isotermas difieren significativamente. Es de destacar que esta diferencia de alturas entre los dos períodos aumenta desde la isoterma 0°C a la isoterma -20°C, lo que implica que el espesor medio de la capa con agua superenfriada, estimado a partir de H0-H20, sea mayor en el PLL en más de 200 m, lo que implica que los mecanismos de formación de la lluvia de fase mixta, que predominan en las nubes cubanas (Martínez y Gori, 1999), actúen con mayor eficiencia en dicho período. Los valores de los parámetros calculados con los perfiles de las 1200 UTC difieren en general de los de las 18 debido al mezclamiento de la capa mencionado anteriormente. Tanto para Camagüey como para La Habana, los valores de las 12 UTC de las variables relacionadas con la convección presentan diferencias significativas entre el período

lluvioso y el poco lluvioso. Dos de las variables más importantes en el proceso de convección son el NCA y el CAPE. Ambas variables necesitan de un sondeo para ser calculadas, aunque la literatura reporta que pueden ser estimadas a partir de parámetros de superficie o de parámetros que dependen de un solo nivel del sondeo (Matveev, 1976; Williams y Renno, 1993).

Como se puede apreciar de las figuras 3.6 y 3.7, en todos los casos el ajuste fue aceptable, destacándose la estimación del NCA a partir de la humedad de superficie por un modelo lineal. Las estimaciones del CAPE a partir de LI y Dtmax también se ajustaron bien a modelos lineales, mientras que su dependencia con Tw se ajustó a ecuaciones exponenciales y polinómicas. Después de una comparación de los ajustes, se escogieron los ajustes exponenciales que se muestran en las figuras 3.6 y 3.7 para el horario de las 12 UTC y el polinomio cúbico para las 18 UTC.

Tabla. 3.3 A. Parámetros estadísticos básicos de las principales variables meteorológicas e índices de estabilidad derivados de los perfiles termodinámicos para Camagüey, a las 1200 UTC. N es el número de datos, σ es la desviación estándar y ϵ es el error estándar de la media. Tsup, Psup y Tw son la temperatura, presión y temperatura de bulbo húmedo de superficie. Los símbolos y las definiciones de las variables se muestran en la tabla 2.2.

Camagüey. 12 UTC. Período Poco Lluvioso							
	N	media	mediana	mínimo	máximo	σ	ϵ
Psup	812	1002.7	1002.7	992.2	1011.3	2.4	0.1
Tsup	812	20.5	20.7	10.8	26.6	2.1	0.1
Tw	804	19.7	20	9.3	24.5	2.2	0.1
Hrs	802	92.0	94	61	100	6.3	0.2
H 0	811	4721.1	4737	3553	5940	392.3	13.8
H 5	809	5562.4	5585	4212	7112	377.2	13.3
H 10	796	6342.8	6360.5	4772	8145	369.0	13.1
H 20	768	7790.2	7778.5	6519	8902	353.3	12.7
NCA	809	295.2	253	122	1078	146.5	5.2
CAPE	466	293.1	67.25	0	5052.2	594.1	27.5
CINE	490	-56.8	-21.45	-1016	0	93.1	4.2
HNCC	799	1015.1	902	132	4042	650.1	23.0
NCL	490	1473.2	1259	133	8637	1372.9	62.0
HE	466	6215.9	5806	139	15425	3746.6	173.6
SI	798	4.8	4.3	-42.6	23.9	4.7	0.2
SICP	798	9.4	9.45	-56.4	25.1	5.7	0.2
LI	800	3.6	3.2	-10.3	21.2	4.5	0.2
K	796	21.7	22.75	-30	78.5	10.6	0.4
SWEAT	762	-1.2	13.6	-685.6	1270.4	183.9	6.7
DTmax	809	1.2	0.1	0	13.5	2.0	0.1
HDTmax	809	2535.5	722	122	12480	3133.8	110.2
HR6km	804	66.3	66	28	97	11.5	0.4
Camagüey. 12 UTC. Período Lluvioso							
	N	media	mediana	mínimo	máximo	σ	ϵ
Psup	978	1001.2	1001.4	991.4	1006.4	1.9	0.1
Tsup	978	24.0	24	19.1	31.5	1.3	0.0
Tw	969	23.2	23.3	17.1	26.5	1.2	0.0
Hrs	965	92.8	94	68	100	4.7	0.2
H 0	978	4747.4	4754	2949	5959	331.4	10.6
H 5	977	5602.5	5622	3818	6793	330.5	10.6
H 10	958	6427.4	6437	4468	7534	331.7	10.7
H 20	930	7967.6	7972	6298	9098	322.0	10.6
NCA	978	283.1	255.5	122	1041	116.3	3.7
CAPE	825	1290.9	1096.7	0	6098	1105.4	38.5
CINE	926	-52.6	-17.65	-616.6	0	81.0	2.7
HNCC	966	794.7	732	132	3252	430.8	13.9
NCL	926	1395.1	1106.5	132	8014	1272.0	41.8
HE	825	11243.0	12168	158	15592	2991.3	104.1
SI	965	0.8	0.6	-12.7	14.4	3.1	0.1
SICP	966	3.2	2.7	-13.3	16.8	3.9	0.1
LI	972	-2.6	-2.7	-11.2	10.3	3.0	0.1
K	964	31.1	32.3	-4.7	52.2	6.5	0.2
SWEAT	914	134.9	146.5	-390.4	604.4	140.3	4.6
DTmax	978	4.5	4.3	0	18	3.2	0.1
HDTmax	978	6888.9	7557.5	122	13009	3042.7	97.3
HR6km	969	74.3	75	39	100	10.1	0.3

Tabla. 3.3 B. Parámetros estadísticos básicos de las principales variables meteorológicas e índices de estabilidad derivados de los perfiles termodinámicos para Camagüey, a las 1800 UTC. N es el número de datos, σ es la desviación estándar y ϵ es el error estándar de la media. Tsup, Psup y Tw son la temperatura, presión y temperatura de bulbo húmedo de superficie. Los símbolos y las definiciones de las variables se muestran en la tabla 2.2.

Camagüey. 18 UTC. Período Poco Lluvioso							
	N	media	mediana	mínimo	máximo	σ	ϵ
Psup	70	1001.1	1001.0	994.9	1009.0	2.4	0.3
Tsup	70	28.3	29.1	22.3	31.8	2.4	0.3
Tw	70	21.7	22.1	16.1	25.7	2.1	0.3
Hrs	70	54.2	53.0	28.0	87.0	9.9	1.2
H 0	70	4634.4	4640.5	3460.0	5625.0	485.1	58.0
H 5	70	5476.3	5515.5	4129.0	6327.0	430.8	51.5
H 10	66	6279.1	6300.5	5230.0	7149.0	362.3	44.6
H 20	62	7701.3	7747.5	6789.0	8714.0	336.6	42.8
NCA	70	1425.9	1450.5	423.0	2713.0	358.9	42.9
CAPE	54	762.2	144.1	0.0	4687.4	1196.3	162.8
CINE	69	-32.8	-1.0	-720.3	0.0	105.7	12.7
HNCC	70	1567.3	1372.0	472.0	4042.0	731.6	87.4
NCL	69	2301.7	1214.0	122.0	9752.0	2710.1	326.3
HE	53	7153.8	7385.0	1090.0	15571.0	4968.5	682.5
SI	70	7.1	6.4	-1.9	17.1	4.8	0.6
SICP	70	11.0	11.1	1.0	22.1	4.9	0.6
LI	70	0.0	-0.7	-9.6	13.7	4.8	0.6
K	70	16.6	17.6	-10.7	34.5	11.2	1.3
SWEAT	69	-85.8	-44.6	-569.2	297.1	202.3	24.4
DTmax	70	4.9	3.8	0.0	18.3	3.9	0.5
HDTmax	70	5017.5	2940.0	122.0	12700.0	4209.2	503.1
HR6km	70	50.6	50.0	25.0	75.0	10.8	1.3
Camagüey. 18 UTC. Período Lluvioso							
	N	media	mediana	mínimo	máximo	σ	ϵ
Psup	324	1001.0	1001.1	992.7	1005.1	2.0	0.1
Tsup	324	31.0	31.4	24.2	36.2	1.7	0.1
Tw	324	25.0	25.1	21.9	31.6	1.1	0.1
Hrs	324	60.5	59.0	40.0	100.0	9.1	0.5
H 0	324	4700.9	4688.5	3328.0	5656.0	340.5	18.9
H 5	324	5562.6	5586.0	3928.0	6455.0	359.1	20.0
H 10	314	6414.4	6417.5	5080.0	7236.0	344.8	19.5
H 20	302	7983.2	8000.0	6860.0	8921.0	336.5	19.4
NCA	324	1229.1	1260.5	122.0	2039.0	300.6	16.7
CAPE	221	2543.4	2512.2	0.1	7909.3	1576.0	106.0
CINE	324	-19.4	-3.4	-218.8	0.0	33.1	1.8
HNCC	324	1320.4	1277.0	132.0	2532.0	407.5	22.6
NCL	324	2611.7	1354.0	122.0	15409.0	3479.3	193.3
HE	221	13917.8	14312.0	7501.0	16455.0	1608.9	108.2
SI	324	1.2	0.7	-7.0	13.2	3.6	0.2
SICP	324	3.3	3.2	-7.7	16.7	3.7	0.2
LI	324	-5.7	-5.7	-17.5	0.5	2.6	0.1
K	324	29.4	30.8	-5.6	42.8	7.3	0.4
SWEAT	300	111.9	118.4	-470.7	470.2	152.1	8.8
DTmax	324	8.5	8.3	1.2	33.4	3.8	0.2
HDTmax	323	9083.5	9810.0	451.0	14400.0	2583.8	143.8
HR6km	324	62.1	63.0	28.0	94.0	11.3	0.6

Tabla. 3.3 C. Parámetros estadísticos básicos de las principales variables meteorológicas e índices de estabilidad derivados de los perfiles termodinámicos para La Habana , a las 1200 UTC.. N es el número de datos, σ es la desviación estándar y ϵ es el error estándar de la media. Los símbolos y las definiciones de las variables se muestran en la tabla 2.2.

La Habana. 12 UTC. Período Poco Lluvioso							
	N	media	mediana	mínimo	máximo	σ	ϵ
Psup	134	1010.5	1010.6	998	1019.4	3.4	0.3
Tsup	134	20.9	21.1	14.2	25.5	2.4	0.2
Tw	125	19.3	19.8	12.8	24.3	2.7	0.2
Hrs	125	85.3	87.0	60	99	9.2	0.8
H 0	132	4329.1	4365.5	2978	5328	464.9	40.5
H 5	133	5184.2	5228.0	4069	6177	428.7	37.2
H 10	133	5998.8	6026.0	4982	7067	378.8	32.8
H 20	134	7511.6	7521.5	6515	8327	373.6	32.3
NCA	132	395.0	335.0	81	1059	229.0	19.9
CAPE	105	406.3	161.1	0.1	1927.6	491.5	48.0
CINE	106	-27.9	-10.4	-232.1	0	44.3	4.3
HNCC	124	820.5	750.0	120	3050	465.1	41.8
NCL	106	775.1	604.0	77	4991	835.5	81.2
HE	105	6292.0	7163.0	300	13337	4128.9	402.9
SI	125	7.3	6.4	-2	21	5.0	0.4
SICP	129	11.6	11.9	-4.9	26.2	5.6	0.5
LI	127	2.6	2.1	-5.5	15.8	4.8	0.4
K	124	14.3	15.6	-17.5	37.1	13.1	1.2
SWEAT	126	-96.2	-80.9	-819.5	292.6	201.1	17.9
DTmax	133	2.1	1.7	0	9	2.1	0.2
HDTmax	133	2718.4	1801.0	60	11023	2733.4	237.0
HR6km	134	53.4	51.0	25	95	15.5	1.3
La Habana. 12 UTC. Período Lluvioso							
	N	media	mediana	mínimo	máximo	σ	ϵ
Psup	101	1005.9	1009.8	824.1	1014.4	25.7	2.6
Tsup	101	24.4	24.6	14.9	27.8	1.8	0.2
Tw	99	23.0	23.5	12	25.9	2.1	0.2
Hrs	99	88.5	89.0	55	98	6.2	0.6
H 0	100	4576.6	4560.0	3980	5209	257.4	25.7
H 5	100	5452.8	5473.5	4909	6403	271.6	27.2
H 10	101	6304.3	6284.0	5680	7152	285.1	28.4
H 20	96	7892.6	7856.0	7280	8829	297.1	30.3
NCA	101	356.9	303.0	104	2938	351.3	35.0
CAPE	87	1309.6	1072.2	4	5460.2	1022.4	109.6
CINE	94	-37.8	-25.1	-222.6	0	41.9	4.3
HNCC	98	857.2	825.0	130	3360	469.7	47.4
NCL	94	1015.4	952.0	77	3823	804.1	82.9
HE	87	11234.8	11929.0	1143	15364	3065.4	328.6
SI	98	2.8	2.5	-3.1	16.2	3.0	0.3
SICP	99	4.6	3.8	-2.5	19.8	3.9	0.4
LI	98	-2.9	-3.2	-9.6	5.5	2.8	0.3
K	96	26.0	28.9	-40.1	38.1	10.0	1.0
SWEAT	89	28.4	30.6	-2078	316.1	255.6	27.1
DTmax	101	4.3	4.2	0	12.6	2.4	0.2
HDTmax	101	6223.7	6014.0	60	13019	2841.2	282.7
HR6km	101	64.9	66.0	36	96	11.9	1.2

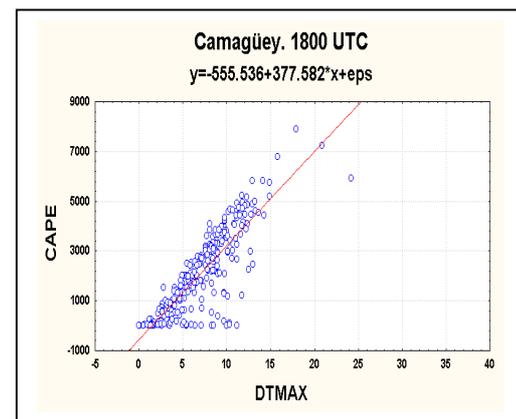
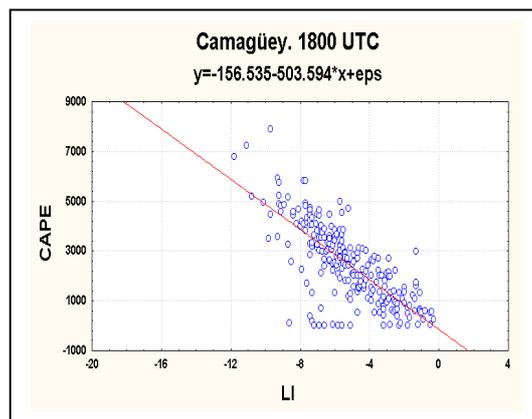
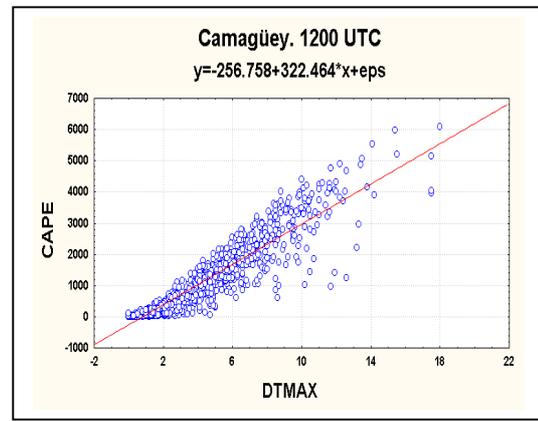
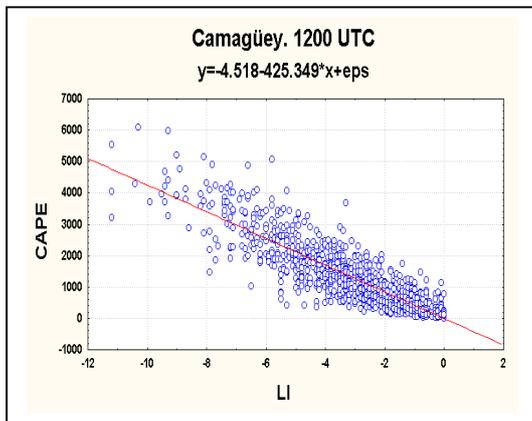
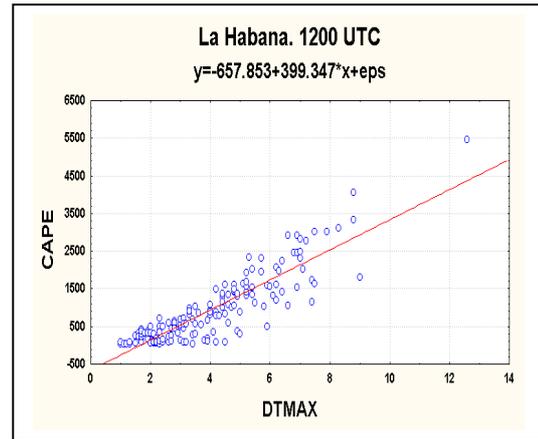
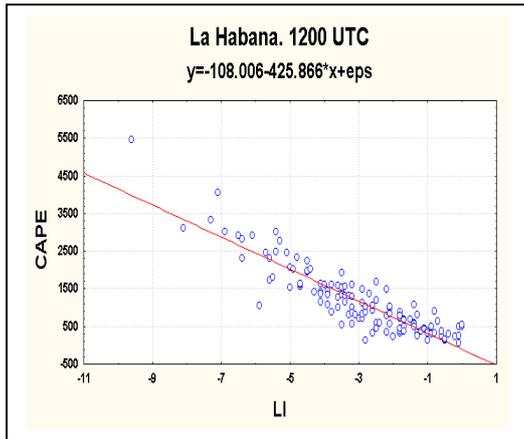


Fig. 3.6 Diagramas de dispersión y ecuaciones de ajuste para la estimación del CAPE en función de los índices de estabilidad LI y DTMAX. Habana 1200 UTC, Camagüey 1200 UTC y 1800 UTC

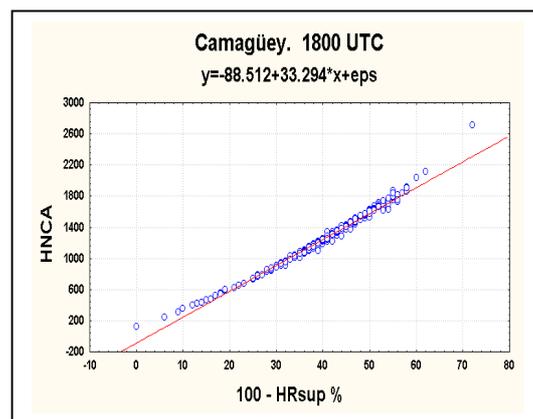
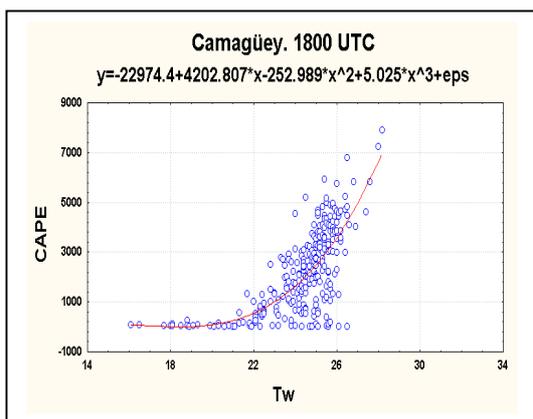
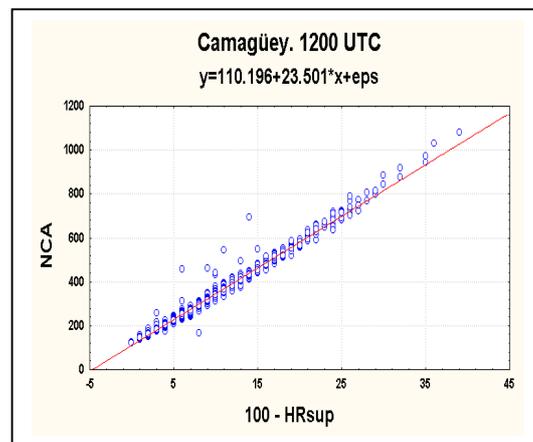
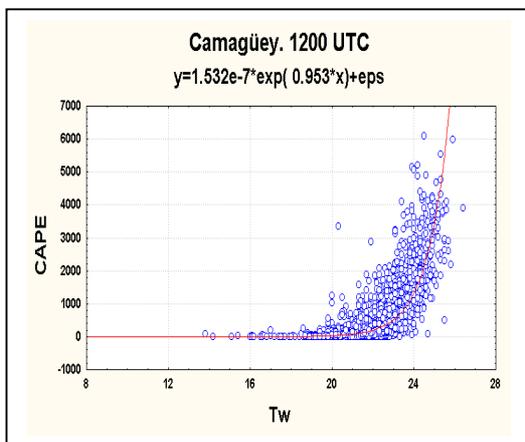
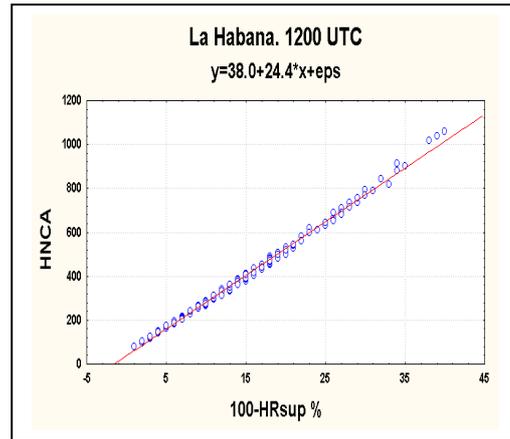
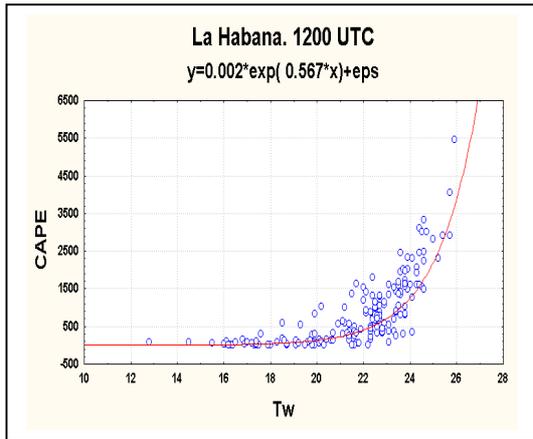


Fig. 3.7 Diagramas de dispersión y ecuaciones de ajuste para la estimación del CAPE y la altura del nivel de condensación en función de la temperatura de bulbo húmedo (T_w) y la humedad relativa de superficie ($100-HR_{sup}$). Habana 1200 UTC, Camagüey 1200 UTC y 1800 UTC

CONCLUSIONES

1. Los perfiles de temperatura difieren significativamente en la troposfera baja, y para los de razón de mezcla y temperatura potencial equivalente la diferencia se extiende a la troposfera media, en el sentido de mayor temperatura y humedad en el período lluvioso.
2. La capa con razón de mezcla mayor de 5 g/kg se encuentra entre 800 m y 1 km más alta en el período lluvioso que en el poco lluvioso para las tres submuestras. Para los perfiles de la mañana en Camagüey la capa tiene 4 km para el período lluvioso y 2 km para el poco lluvioso, siendo más alta que para los de la tarde en ambos períodos, mientras que para La Habana está 600 m más baja.
3. Los perfiles medios de viento para ambos períodos son radicalmente diferentes, especialmente los correspondientes a la componente zonal, ya que en el PLL predominan los este en la mayor parte de la tropósfera, mientras que en el PPLL, como promedio, predominan los oeste a partir de los niveles más bajos. La base de los oeste, según los datos de las 1200 UTC, que es la muestra mejor representada, se encuentra, para el período poco lluvioso, a 4 km sobre Camagüey y a 1.4 km sobre La Habana, y para el período lluvioso, a 7.2 km sobre Camagüey y a 5 km sobre La Habana, aunque debe tomarse en cuenta que ambas muestras no corresponden al mismo período.
4. La variación de los perfiles de temperatura durante la mañana se puede apreciar como promedio hasta alturas de cerca de 2 km en el período lluvioso y 1.6 km en el poco lluvioso. La variación media del perfil de rapidez del viento se comporta de forma similar, aunque para el período poco lluvioso se observó variación media hasta los 2.6 km. En los niveles de superficie y 200 m se observa un incremento medio del viento, mientras que en el resto de la capa de cambio, la rapidez del viento disminuye durante la mañana. Los perfiles de la diferencia de humedad específica presentaron un máximo negativo a los 600 m de para ambos períodos, disminuyendo lentamente con la altura
5. Los sondeos medios de Camagüey y La Habana muestran las siguientes diferencias significativas:

- i) El de temperatura potencial equivalente para Camagüey evidencia una capa de inhibición superficial, para el sondeo medio del período poco lluvioso, y un menor grado de inestabilidad condicional que el de La Habana, en el período lluvioso, en la capa desde la superficie hasta 1 km.
 - ii) El valor de la razón de mezcla en la troposfera baja es mayor en el período lluvioso para Camagüey y en el poco lluvioso para La Habana
 - iii) Los perfiles de viento muestran mayor altura y rapidez del máximo de la componente zonal a bajo nivel para Camagüey en el período poco lluvioso y una mayor representación de la componente del oeste en La Habana para casi toda la tropósfera en ambos períodos, que se hace más pronunciada en el período poco lluvioso.
6. Los perfiles medios de temperatura calculados para los grupos definidos a partir del área cubierta por lluvia, prácticamente coinciden, pero los de temperatura potencial equivalente, de razón de mezcla y de las componentes el viento son significativamente diferentes entre ambos grupos en todos los casos, al menos en algún intervalo de alturas.
 7. Se obtuvieron algunos estimadores estadísticos para varias magnitudes meteorológicas derivadas de los perfiles para ambos períodos, las cuales resultaron en su mayoría significativamente diferentes, tanto entre horarios como entre estaciones.
 8. Se estimó del NCA a partir de la humedad de superficie por un modelo lineal. La estimación del CAPE a partir del LI y DTMAX también se ajustaron bien a modelos lineales, mientras que su dependencia con T_w se ajustó a ecuaciones exponencial y polinómicas.

Agradecimientos

El trabajo se realizó con apoyo financiero del Proyecto Ramal “Aplicación de la simulación numérica tridimensional de nubes y el análisis de mesoescala al esclarecimiento de los mecanismos físicos de formación y desarrollo de las nubes y la lluvia en Cuba”, de la Agencia de Medio Ambiente del CITMA de Cuba, y del Proyecto de Colaboración Cubano-Mexicano CITMA-CONACyT 01-2000 “Modelación matemática de nubes convectivas y de su impacto en la evolución de

los contaminantes de la atmósfera”. Se agradece además la colaboración del INRH, que proporcionó los datos de lluvia.

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, I., 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.

