

POSIBLES CAUSAS DE FLUJOS DIURNOS NEGATIVOS DE VAPOR DE AGUA EN EL VERANO EN BARCELONA

Adalberto TEJEDA*, Alberto UTRERA*, Luis Gustavo GARCÍA*, Ernesto JÁUREGUI**, Víctor ZARRALUQUI** y María del Carmen MORENO***

* *Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad VERACRUZANA, Xalapa, MÉXICO*

** *Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, MÉXICO*

*** *Departamento de Geografía Física, Universidad de Barcelona, ESPAÑA*

RESUMEN

Del 16 al 21 de junio del 2001 se realizaron mediciones de balance energético atmosférico en el centro de la ciudad de Barcelona. Los flujos de calor latente y de calor sensible se obtuvieron con el método de covarianza turbulenta a partir de datos instantáneos tomados a 20 Hz y procesados cada media hora. Los comportamientos del balance responden a lo esperado bajo estabilidad atmosférica. Sin embargo, se presentaron casos de flujos turbulentos de calor latente de evaporación (Q_E) negativos (hacia abajo) a mitad del día. Aquí se discute el tratamiento de esos casos bajo dos hipótesis: a) Eventuales fallas del equipo de medición, b) Se analizan casos de Q_E negativo para una situación meteorológica similar en la ciudad de México, con datos instantáneos tomados cada segundo. Aún para el día se encontraron rachas de subsidencia, que pueden generar flujos netos negativos de vapor de agua.

Palabras clave: Vapor de agua, subsidencia, Barcelona, Ciudad de México.

ABSTRACT

Atmospheric energy balance measurements were made from 06/16/2001 to 06/21/2001 in downtown Barcelona, Spain. The latent and sensible turbulent heat fluxes were obtained using eddy-covariance method. The data were taken at 20 Hz and processed every 30 minutes. Actually, the behavior of energy balance components was as expected to an urban zone with oceanic influence under atmospheric stability conditions. However, negative latent heat fluxes (down direction) were presented in some times around midday. This paper shows the analysis of these cases according to two hypotheses: a) If there were instrumental errors, b) For similar meteorological situation in Mexico City, the Q_E negative values were analyzed, but from instantaneous data from vertical wind and specific humidity sensed each second. It was found that subsidence cases were presented during day- time, too.

Key words: Water vapor, subsidence, Barcelona, Mexico City.

1. INTRODUCCIÓN

Para el estudio del clima urbano es de interés el conocimiento del balance de energía sobre áreas urbanas. El balance de energía para una ciudad puede ser expresado como

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + Q_A \quad (\text{Wm}^{-2}) \quad (1)$$

donde Q^* es la radiación neta, Q_F es el flujo de calor antropogénico, Q_H es el flujo de calor sensible, Q_E es el flujo de calor latente, ΔQ_S es el flujo de calor en la superficie y Q_A es la advección horizontal neta. Sobre el continente durante el periodo diurno, bajo condiciones de cielo despejado, prácticamente todos los flujos son positivos, es decir, que significan una ganancia de energía para el sistema atmósfera-superficie (OKE, 1978). Sin embargo, en mediciones realizadas durante el verano del 2001 en Barcelona, España (gracias a una colaboración entre las Universidades de Barcelona, Nacional Autónoma de México y Veracruzana), se presentaron casos aislados de valores negativos de Q_E , los cuales serán discutidos en esta comunicación.

2. EL ÁREA DE ESTUDIO

La ciudad de Barcelona se encuentra en la costa mediterránea, en la franja oriental de la Península Ibérica, lo que le confiere rasgos propios a su clima mediterráneo (fig. 1). Con una población alrededor de 1,5 millones de habitantes, la ciudad tiene un clima mediterráneo templado con verano seco (Csa) y con los meses más cálidos con temperaturas por encima de 22°C. Las temperaturas estivales pueden alcanzar hasta cerca de 30-35°C en los meses de julio y agosto. La precipitación media anual es de unos 600 mm, con un máximo en otoño, cuando se producen chubascos de carácter tormentoso y, ocasionalmente, torrenciales. Barcelona presenta claramente el efecto urbano de la isla de calor, cuya máxima intensidad (hasta 8°C) se registra sobre todo en los meses de otoño e invierno, siendo bastante más débil en verano (MORENO, 1994). El sitio de observación está localizado en la azotea del edificio de la Universidad de Barcelona, en el centro de la ciudad, justo en el borde meridional del Ensanche, barrio caracterizado por un plano ortogonal de calles rectas y anchas con dos o más filas de árboles. Al SE se encuentra el casco antiguo de la ciudad, con calles estrechas (fig. 2).

3. EL BALANCE EN BARCELONA

Del 16 al 21 de junio del 2001 estuvieron instalados en el sitio descrito anteriormente, los instrumentos que se citan en la tabla 1. Durante la campaña de mediciones prevaleció tiempo muy estable con cielos despejados, a excepción de la tarde del 17 a la madrugada del 18, cuando cruzó por Barcelona un frente frío. El balance energético durante los días totalmente despejados se puede ver en la fig. 3.

El periodo diurno se caracterizó por valores altos de radiación neta (máximos cercanos a 640 Wm^{-2}) en una atmósfera prácticamente libre de smog en comparación, por ejemplo, con la ciudad de México (440 Wm^{-2}), donde la capa de contaminación atenúa la radiación de onda corta (OKE *et al.*, 1999; JÁUREGUI *et al.*, 2002). Durante la noche la pérdida de radiación neta fue grande (hasta de -90 Wm^{-2}). Es de notarse que aun en la marcha diaria promedio de las componentes del balance energético, se presentan casos de flujos negativos de Q_E , los cuales serán discutidos en las siguientes secciones.

Tabla 1: Instrumentos usados en mediciones de balance energético atmosférico en Barcelona, junio del 2001.

Variable	Instrumento	Altura sobre azotea	Unidades
Dirección del viento	Wind vane RM Young	9,0 m	grados (azimut)
Rapidez del viento horizontal	Anemómetro RM Young	9,0 m	m/s
Rapidez del viento vertical	Anemómetro sónico Campbell Inst. Inc.	9,0 m	m/s
Temperatura del aire	Termómetro Vaissala	3,8 m	°C
Humedad relativa	Higrómetro Vaissala	3,8 m	%
Temperatura (máxima y mínima) y humedad relativa	Termohigrómetros digitales	1,5 m s/azotea y 1,5 m s/calle	°C y %
Qg, Radiación global	Piranómetro Licor	3,2 m	W/m ²
Q*, Radiación neta	Radiómetro neto Campbell	8,0 m	W/m ²
Qh, Flujo de calor sensible	Anemómetro sónico Campbell	8,0 m	W/m ²
Q _E , Flujo de calor latente	Higrómetro de kriptón Campbell	8,0 m	W/m ²

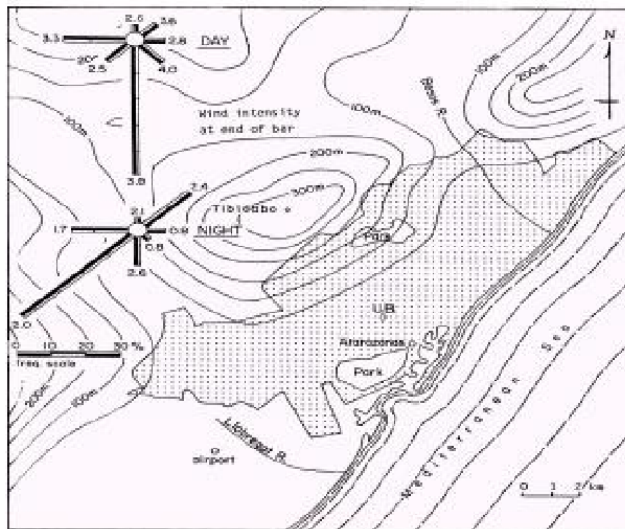


Figura 1: Localización del sitio de estudio y las rosas de viento durante el experimento junio de 2001 en Barcelona.

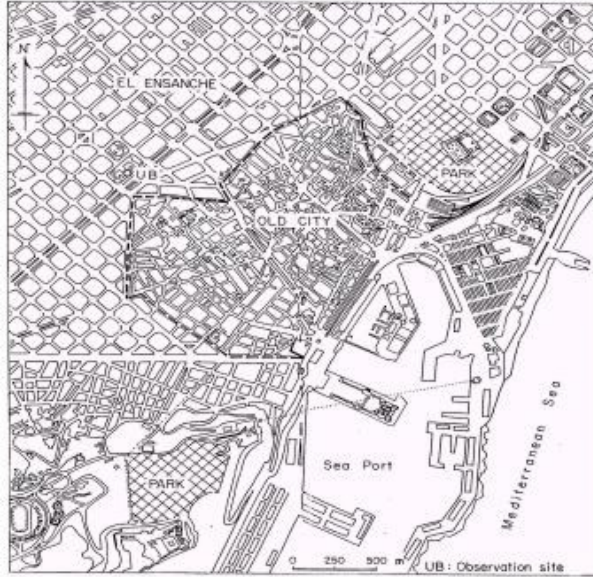


Figura 2: Localización del sitio de observación en el mapa central de Barcelona.

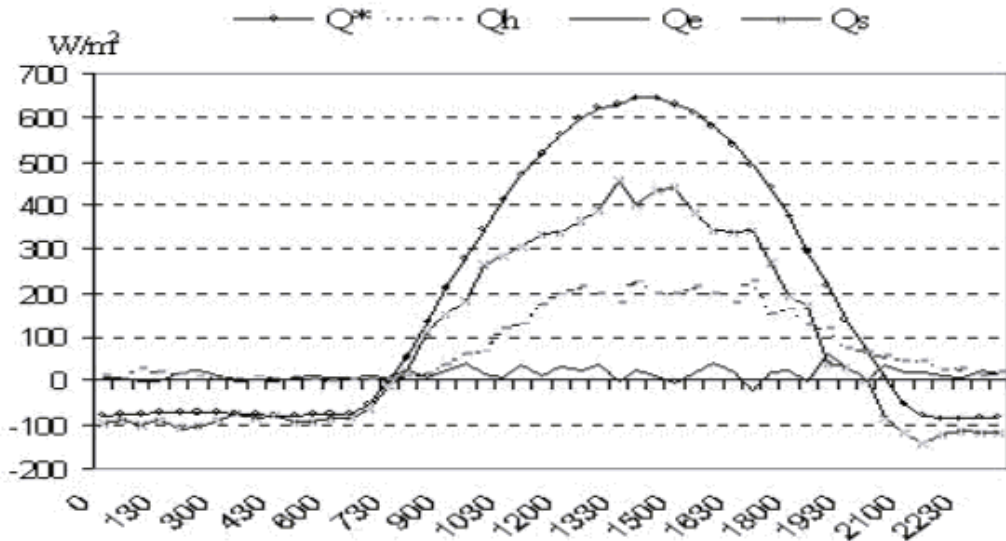


Figura 3: Flujos promedios en la Universidad de Barcelona para los días despejados del 16 y 19-21 de junio de 2001.

4. FLUJOS NEGATIVOS DE Q_E

La fig. 4 presenta veinte casos (promedios de media hora) de Q_E negativo. Q_E se calculó a partir de datos instantáneos de humedad específica (q en gr/kg) y de velocidad del viento (w en m/s) según la ecuación (2):

$$Q_E = -\rho L_v k_v \text{cov}(w, q) \tag{2}$$

donde ρ es la densidad del aire, L_v es el calor latente de vaporación y k_v es la constante de transporte turbulento del vapor de agua (OKE, 1978). Así, los valores de Q_E menores de cero pueden tener tres causas probables:

- a) Fallos en los instrumentos de medición, dada la delicadeza de los sensores cuya frecuencia máxima es de hasta 50 Hz,
- b) Subsistencia ($w < 0$),
- c) Déficit de vapor en superficie, i.e, que la humedad específica en superficie sea menor que metros más arriba.

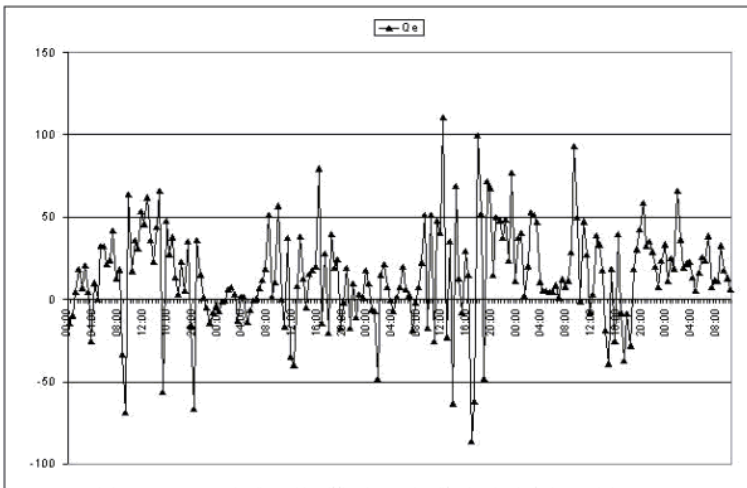


Figura 4: Comportamiento de Q_e los días 16 y 19 a 22 de junio de 2001, en Barcelona, España.

Una forma de minimizar los fallos instrumentales consiste en suavizar la serie de datos, por ejemplo, mediante medias móviles. Aún así, en la fig. 5 aparecen cuatro periodos con valores negativos de la Q_E : el día 16 entre las 17:00 y 24:00 horas; el 19 entre las 20:00 y 24:00 horas; el 20 entre las 12:00 y las 14:00 horas, y el 21 entre las 12:00 y las 15:00 horas. En los dos primeros casos los flujos negativos de vapor se explican por la subsistencia que se observa en la fig. 6, y en los dos últimos son claros los déficit de humedad específica al nivel de calle con respecto a los medidos en altura (fig. 7), que ocasionarían transportes de humedad hacia abajo.

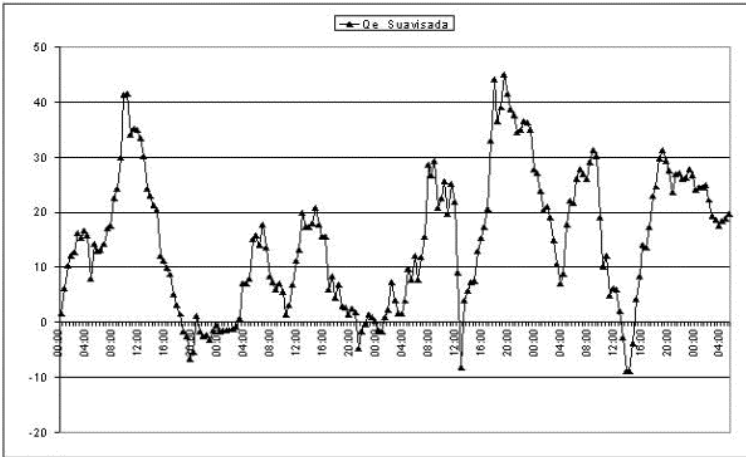


Figura 5: Comportamiento de Q_e aplicándole una media móvil de 10 datos los días 16 y 19 a 22 de junio de 2001, en Barcelona, España.

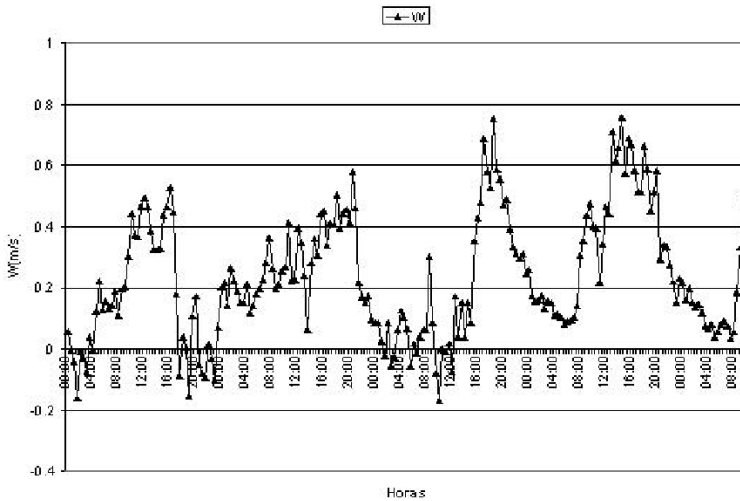


Figura 6: Comportamiento de W los días 16 y 19-22 de Junio.

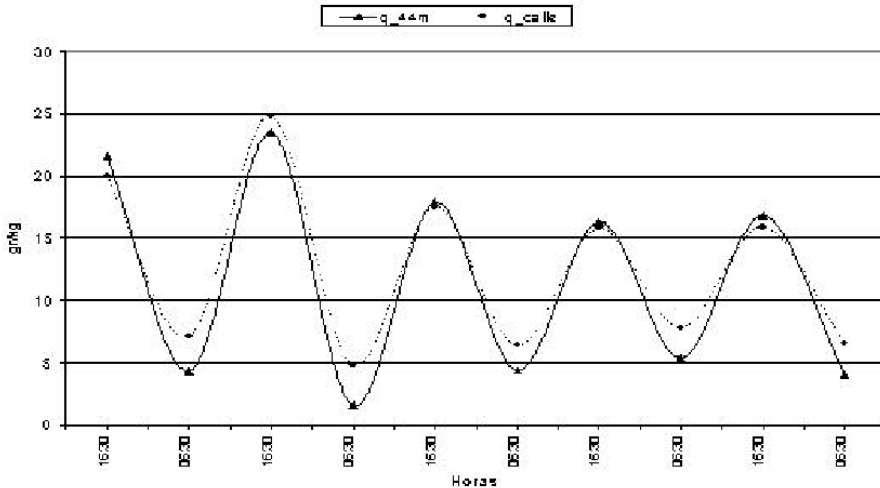


Figura 7: Comportamiento de la humedad específica, a 44 m sobre la calle en línea continua y a nivel de calle punteada, en Barcelona, España, 15-16 y 19-22 de Junio de 2001.

5. LA SUBSIDENCIA: UN CASO DE ESTUDIO

Los mismos recursos de medición de viento vertical y humedad específica (anemómetro sónico e higrómetro de kriptón) se colocaron en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (Ciudad de México) a 15 m de altura sobre suelo cubierto parcialmente de césped y de pavimento. Se obtuvieron mediciones instantáneas cada segundo de la rapidez vertical del viento y la humedad específica para el día 27 de noviembre del 2001 (cielo despejado, temperatura media de 16°C y humedad relativa media de 40%). Mediante la ecuación (2) se obtuvo el flujo de calor latente de evaporación Q_E en periodos de 10 minutos (fig. 8). El comportamiento es el acostumbrado en situaciones meteorológicas no perturbadas (BARRADAS *et al.*, 1999), con un máximo de 45 Wm^{-2} dos horas después de la máxima insolación. Sin embargo, se presentan flujos negativos durante el día: de 08:30 a 09:00 hrs, de 16:00 a 16:10 hrs y de 18:00 a 18:30 hrs.

Durante los tres casos se presentan rachas de subsidencia (fig. 9), las cuales se pueden ver más detalladamente en las figuras 10(a), 10(b) y 10(c).

6. CONCLUSIONES

Aun en condiciones de cielo diurno despejado, es posible encontrar flujos verticales negativos (hacia abajo) de vapor de agua, los cuales pueden tener dos causas:

- a) Rachas de subsidencia, que suelen presentarse a pesar del calentamiento diurno superficial, posiblemente originadas por sistemas anticiclónicos, pues a nivel sinóptico estuvieron presentes tanto en Barcelona (16 al 20 de junio del 2001) como en la Ciudad de México (27 de noviembre del 2001).

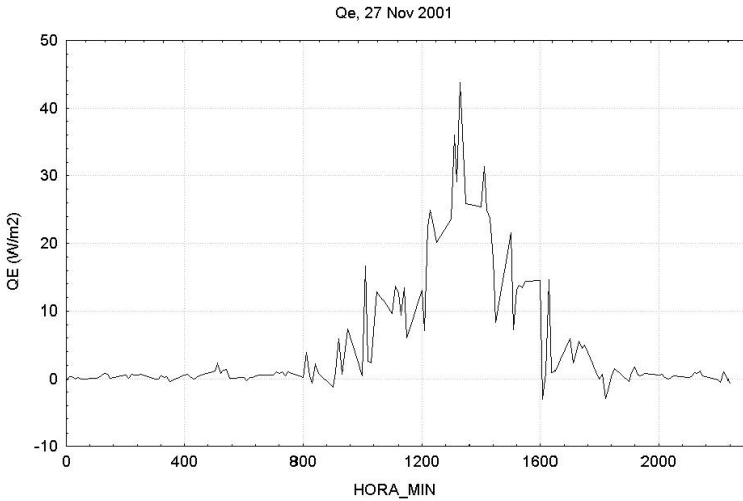


Figura 8: Variación diaria de Q_E en Ciudad de México (27 de noviembre de 2001).

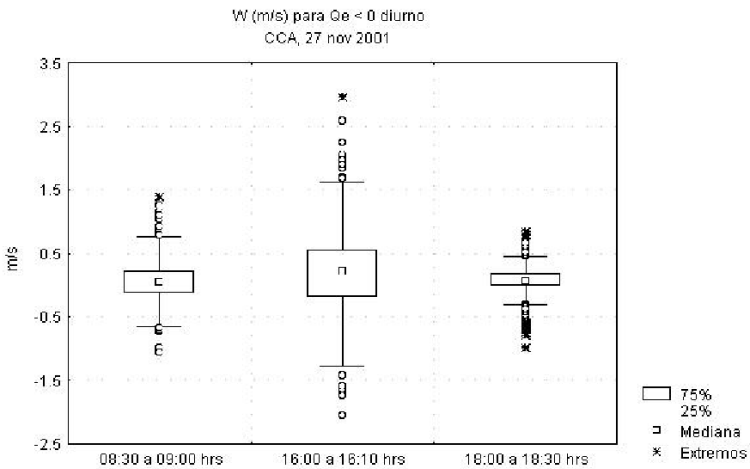


Figura 9: Rapidez del viento vertical para $Q_E < 0$ diurno en Ciudad de México (27 de noviembre de 2001).

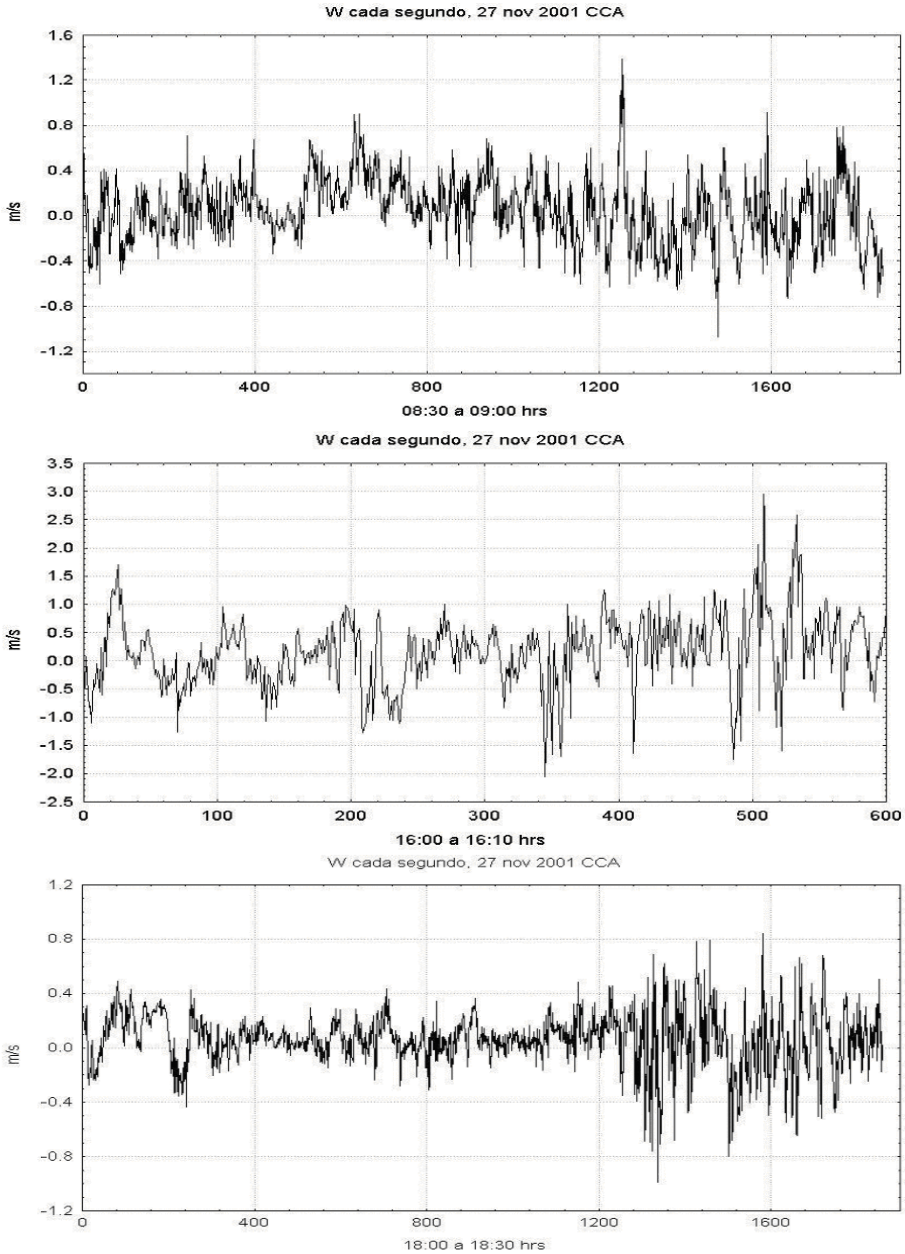


Figura 10: Rapidez del viento vertical para los periodos de $Q_E < 0$: de 08:30 a 09:00 hrs (arriba), de 16:00 a 16:10 hrs (centro) y de 18:00 a 18:30 hrs (abajo).

b) En el caso de Barcelona, posiblemente se presentó entrada de aire húmedo (marítimo) en la parte superior de la capa superficial, lo que generó un déficit de humedad a nivel de la calle, provocando transporte hacia abajo del vapor de agua.

7. AGRADECIMIENTOS

La presente investigación ha contado con el apoyo del proyecto CLI98-0930-CO2-02 (CICYT), del Grup de Climatologia 2001SGR10 (Generalitat de Catalunya) y del Servei de Meteorologia de Catalunya.

8. REFERENCIAS

BARRADAS, V., TEJEDA, A. y JÁUREGUI, E. (1999): Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City. *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 4109-4113.

JÁUREGUI, E., MORENO, M.C. y TEJEDA, A. (2002): The energy balance of central Barcelona (Spain). *Proceedings of Fourth Symposium in the Urban Environment of the American Meteorological Society* (paper 9.6). Norfolk VA, May 20 to 25.

MORENO, M.C. (1994): Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *International Journal of Climatology*, 14, pp. 705-710.

OKE, T.R. (1978). *Boundary layer climates*. Methuen, second edition. London and New York. 435 pp.

OKE, T.R., SPRONKEN-SMITH, R.A., JÁUREGUI, E. y GRIMMOND, C.B. (1999): The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment*, 33, pp. 3919-3930.