

Determinación del vapor de agua atmosférico mediante técnica de split-window y medidas fotométricas durante la campaña SPARC 2004

V. Estellés⁽¹⁾, C. Bassani⁽²⁾, M. P. Utrillas⁽¹⁾, J. A. Martínez-Lozano⁽¹⁾, J.L. Gómez-Amo⁽¹⁾, S. Pignatti⁽²⁾, R. M. Cavalli⁽³⁾

⁽¹⁾ Grupo de Radiación Solar de Valencia, C/ Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia. Maria.P.Utrillas@uv.es

⁽²⁾ Italian National Research Council, Institute of Methodologies for Environmental Analysis

⁽³⁾ Italian National Research Council, Institute for Atmospheric Pollution, Airborne Laboratory for Environmental Research

Resumen

En este trabajo se comparan los resultados obtenidos en la determinación del vapor de agua mediante dos procedimientos diferentes: a) la técnica de Split Window, aplicada a las medidas realizadas por un ASD FieldSpec Pro FR portátil en las bandas de longitudes de onda de 890, 936 nm y b) la medida directa en columna, utilizando dos fotómetros, un Cimel 318 y un Microtops II.

1. Introducción

Durante el mes de Julio de 2004 se llevó a cabo en Barrax (Albacete) la campaña SPARC 2004 (SPECTRA Barrax Campaign-2004) [1]. Esta campaña fue financiada por la ESA (European Space Agency) y en ella participaron grupos de las Universidades de Valencia, Castilla-La Mancha, Jaume I de Castellón, Estrasburgo, Nápoles y Utrecht, así como de los siguientes Centros de Investigación: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Instituto Nacional de Meteorología (INM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP), Laboratoire pour l'Etude de le Rayonnement Energetique (LURE, Paris), Institute National de la Recherche Agronomique (INRA, Avignon), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR, Roma) y Alterra (Wageningen).

La mayor parte de las actividades llevadas a cabo en esta campaña estaban relacionadas con la preparación de la finalmente desestimada propuesta SPECTRA de la ESA [2], pero también se diseñaron experiencias para obtener parámetros biofísicos a partir de los datos de MERIS [3]. Otro objetivo de la campaña fue testear y simular distintos procesos atmosféricos a partir de los datos proporcionados por CHRIS-PROBA [4].

En cualquier caso, para poder llevar a cabo las correcciones atmosféricas de las imágenes de satélite, es necesario el conocimiento de los componentes atmosféricos presentes, y más concretamente aerosoles, ozono y vapor de agua. En este trabajo se comparan los resultados obtenidos en la determinación del vapor de agua mediante dos procedimientos diferentes: a) la técnica de Split Window, aplicada a las medidas realizadas por un ASD FieldSpec Pro FR portátil; y b) la medida directa en columna utilizando dos fotómetros, un Cimel 318 y un Microtops II.

2. Medidas experimentales

Para la realización de las medidas experimentales se utilizaron un fotómetro Cimel CE318, un fotómetro Microtops II un espectroradiómetro ASD FieldSpec Pro FR.



Figura 1: Fotómetro Cimel.

El fotómetro Cimel CE318 (Figura 1) consiste en un cabezal que alberga la optoelectrónica sensora al que se le acopla un tubo colimador doble, para la medida tanto de irradiancia directa como de radiancia de cielo. El cabezal contiene una rueda de

5 filtros interferenciales que determinan los canales de medida, dados por las longitudes de onda nominales de 440, 670, 870, 940 y 1020 nm, con una anchura de banda (FWHM) de 10 nm. El canal de 940 nm se emplea únicamente para la determinación del vapor de agua en la columna atmosférica. La calibración del instrumento se realiza mediante ajustes Langley.

El fotómetro Microtops II (Figura 2) es un instrumento portátil y de operación manual. A través de la medida de irradiancia directa en ciertos canales, permite medir el contenido en ozono (3 canales), así como el contenido en vapor de agua precipitable (un canal) y el espesor óptico de los aerosoles (un canal). Cada canal está formado por un colimador, un filtro interferencial y un fotiodo. Las longitudes de onda de los canales, así como las características más importantes del instrumento aparecen en la Tabla I. La medida de ozono y de vapor de agua se lleva a cabo por el método de absorción diferencial, basado en las medidas combinadas de irradiancia en distintas longitudes de onda en que el ozono y vapor de agua presenten bandas de absorción.



Figura 2: Fotómetro Microtops II

Tabla I – Características del fotómetro MICROTUPS II (especificadas por el fabricante).

Rango espectral	Canales 300.0, 305.5, 312.5, 940.0, 1020.0 nm
Anchura de banda	0.4 en UV y 10.0 nm en el resto
Precisión en la medida de ozono	1-2%
Temperatura trabajo	0-50°C

Por último, el espectrorradiómetro FieldSpec Pro FR, ASD (Figura 3) es también un instrumento portátil y manual. Consiste básicamente en una unidad central donde se sitúa la red holográfica de

difracción y el detector, que se conectan mediante una fibra óptica a un receptor coseno que permite las medidas de irradiancia. Las medidas abarcan el rango visible e infrarrojo del espectro, desde 350 nm a 2500 nm, con una resolución nominal de 1nm. Tiene una anchura de banda variable, de 1.4 nm en el rango 350-1050 nm, y de 2 nm en el rango 1050-2500 nm. Está provisto de un motor ecuatorial y de un colimador, que restringe el ángulo de apertura a 1°, para poder realizar medidas de irradiancia directa.



Figura 3: Espectrorradiómetro FieldSpec Pro FR.

3. Metodología

Para determinar la columna de vapor de agua en la atmósfera a partir del ASD FieldSpec Pro FR, se ha aplicado la técnica Split Window a los datos de irradiancia directa solar obtenidos por dicho instrumento. Esta técnica, descrita, entre otros, por Kleespies y McMillin [5] y Jedlovec [6], define una relación directa entre el contenido de vapor de agua de una columna atmosférica y la irradiancia medida en dos canales, uno en la ventana atmosférica y otro en una banda de absorción de vapor de agua. Se basa en una regresión lineal múltiple aplicada a la irradiancia directa medida en los dos canales seleccionados, simulando distintos valores del contenido en vapor de agua y obteniendo el coeficiente que presenta esta relación lineal. Para la simulación de la irradiancia directa se ha utilizado el código MODTRAN, para diferentes valores del ángulo cenital solar, y para diferentes contenidos en vapor de agua.

En nuestro caso, la aplicación de esta técnica se realiza para los datos obtenidos en los canales de 890 nm, ventana atmosférica, y de 930 nm, que constituye una banda de absorción rotacional-vibracional del vapor de agua. A través de la

regresión lineal múltiple, se obtiene la siguiente expresión para calcular el contenido de vapor de agua en la atmósfera, w:

$$\frac{1}{w} = a \left[\frac{R_{890}}{(R_{890} - R_{936})} \right] + b \left[\frac{R_{936}}{(R_{890} - R_{936})} \right] \quad (1)$$

donde R_{890} y R_{936} son las irradiancias asociadas a los dos canales de medida, y a y b son coeficientes que se estiman a partir de la regresión lineal múltiple mediante los valores de simulación del código MODTRAN.

El fotómetro Cimel posee un canal centrado en 936 nm, que es el empleado en la determinación de w. El método adoptado para el cálculo de w está perfectamente establecido [7], [8], y en la actualidad es el método estándar utilizado por la red AERONET [9]. En general, la incertidumbre del método se encuentra alrededor del 10%.

Por su parte el Microtops II calcula el contenido en vapor de agua mediante el método de absorción diferencial, utilizando la banda de 940 nm

4. Resultados y discusión

En la figura 4 se observa la evolución del vapor de agua medido directamente con el Microtops II para los días 16, 17 y 18 de la campaña SPARC2004. Se observa una gran estabilidad en los valores, en torno a 2-2.5 cm.

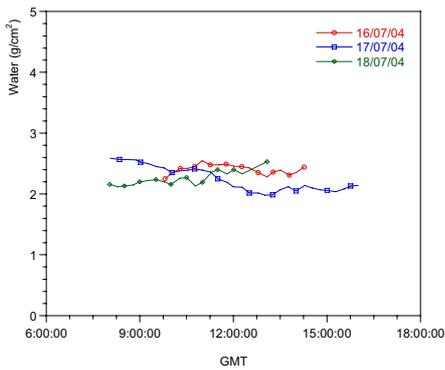
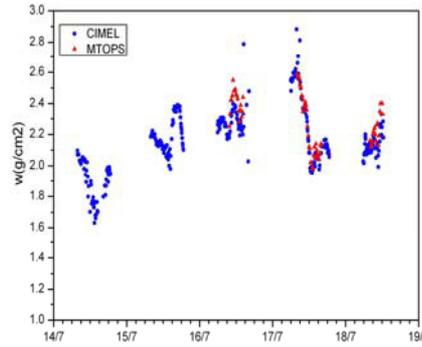


Figura 4: Cantidad de vapor de agua obtenida mediante el Microtops II.

A su vez, en la Figura 5 se han representado los valores obtenidos para toda la campaña con el fotómetro Cimel y su comparación, para los tres últimos días de campaña, con los proporcionados con el Microtops II.

Figura 5: Cantidad de vapor de agua obtenida mediante el fotómetro Cimel, y comparación para



los tres últimos días de campaña, con los valores obtenidos mediante el Microtops II.

La Figura 6 muestra los valores obtenidos con el Microtops y con el espectroradiómetro ADS para los dos últimos días de la campaña. Se observa que las mayores diferencias se tienen a primera y última hora del día, cuando la atura solar es mas pequeña. Para poder observar mejor estas diferencias, en la Figura 7 se ha representado la desviación relativa de los valores obtenidos por ambos instrumentos frente a la hora del día.

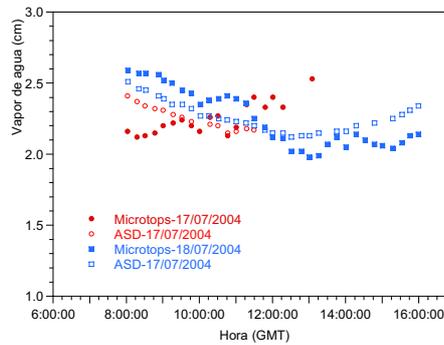


Figura 6: Cantidad de vapor de agua obtenida mediante el espectroradiómetro ADS y el fotómetro Microtops II.

A modo de ejemplo, en la Tabla II se han representado para el día 17 de julio los valores de las desviaciones medias entre los tres instrumentos %.

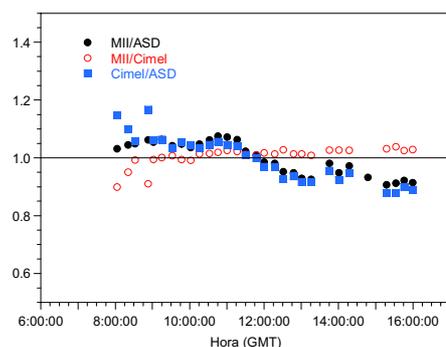


Figura 7: Desviaciones relativas entre los valores de vapor de agua medidos por el Microtops y el ASD.

Tabla II Comparación entre los tres instrumentos de medida.

Hora	MAD(%) ASD-MII	MAD(%) Cimel-ASD	MAD(%) Cimel-MII
8:03	3.1	13.8	10.7
8:21	4.4	9.4	5.0
8:32	4.8	5.6	0.8
8:53	6.0	14.4	9.4
9:01	5.3	5.9	0.6
9:15	6.2	6.1	0.1
9:32	4.2	3.4	0.7
9:46	4.6	5.2	0.5
10:01	3.5	4.3	0.9
10:15	4.7	3.4	1.3
10:32	6.0	4.5	1.5
10:45	7.3	5.5	1.9
11:00	6.9	4.4	2.5
11:16	6.1	3.9	2.2
11:30	2.2	1.0	1.2
11:47	0.9	0.0	0.9
12:00	1.4	3.1	1.7
12:17	1.9	3.2	1.4
12:30	4.8	7.6	2.8
12:47	5.3	6.6	1.3
13:00	7.3	8.6	1.3
13:15	7.7	8.6	0.9
13:45	1.9	4.6	2.7
14:00	5.2	7.9	2.7
14:17	2.8	5.4	2.6
15:17	9.8	12.9	3.1
15:32	9.2	12.9	3.7
15:45	8.1	10.5	2.4
15:59	8.9	11.7	2.8
Media	5.2	6.7	2.5

5. Conclusiones

Cuando se comparan los valores proporcionados por el Microtops II y el Cimel 318 con los obtenidos por Split Window a partir de las medidas del ASD, las desviaciones no superan en ningún caso el 15%, obteniéndose valores medios en torno a un 5-7%. A su vez las medidas entre Cimel y Microtops presentan una desviación media del 2.5%. También se observa que en general, estas desviaciones son mayores a primeras y últimas horas del día cuando la masa óptica es mayor. Para las horas centrales del día las desviaciones fluctúan entre 1-2.5%.

6. Agradecimientos

La campaña SPARC2004 fue financiada por la ESA bajo el contrato 18307/04/NL/FF. Víctor Estellés actualmente disfruta de una beca FPI de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

7. Referencias

- [1] SPARC Data Acquisition Report. Contract No. 18307/04/NL/FF, ESTEC, Netherlands, 2005.
- [2] European Space Agency (ESA), Reports for assessment, in The Five Candidate Earth Explorer Core Missions: SPECTRA, ESA SP-1257 (5), ESA Publ. Div., ESTEC, Netherlands, 2001.
- [3] <http://envisat.esa.int/instruments/meris/>
- [4] <http://www.chris-proba.org.uk/>
- [5] Kleespies T. J. and L. M. McMillin (1984), "Physical retrieval of precipitable water using split window technique", *Preprints Conf. On Satellite Meteorology/Remote Sensing and Applications*, AMS, Boston, 55-57.
- [6] Jedlovec G. J. (1990), "Precipitable water estimation from high-resolution split window radiance measurements", *J. Appl. Meteor.*, 29, 851-865.
- [7] Estellés, V., M.P. Utrillas, J.L. Gómez-Amo, R. Pedrós, J.A. Martínez-Lozano, (2004), "Aerosol size distributions and air mass back trajectories over a Mediterranean coastal site", *Int. J. Rem. Sens.*, 25, 39-50.
- [8] Bruegge, C. J., Conel, J. E., Green R. O., Margolis, J. S., Holm, R. G., and Toon, G., 1992, Water vapor column abundance retrievals during FIFE, *J. Geoph. Res.*, vol.97, D17, 18759-18768.
- [9] Holben B.N. et al. (1998), "AERONET - A federated instrument network and data archive for aerosol characterization", *Rem. Sens. Environ.*, 66, 1-16.