

ESTIMACION DE VAPOR DE AGUA INTEGRADO SOBRE TIERRA UTILIZANDO LOS DATOS DEL INSTRUMENTO MWR DE LA MISION SACD-AQUARIUS

Epeloa Javier^{1,2}, Meza M. Amalia² y Bava J. Alberto^{1,3}

1- Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina.

2- TRIACLE -Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

3- Centro de Investigaciones Ópticas, CIOp (CONICET – CIC), La Plata, Argentina.

Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería UNLP. Calle 1 y 47.

La Plata CP(1900), Buenos Aires, Argentina - jepeloa@gmail.com

Keywords: radiómetro-Vapor de agua-calibración-satélite

I. INTRODUCCION

El satélite SACD-Aquarius transporta una serie de instrumentos que es de gran utilidad para el estudio del cambio climático, y aporta a un completo modelo mundial de clima que elabora Estados Unidos, para observar todo lo que hace al ciclo global del agua.

Entre los instrumentos del SAC-D se encuentra dos radiómetro de microondas (Microwave Water Radiometers, MWR) en las bandas K y Ka, que permiten detectar vapor de agua, lluvias, viento de superficie y nubes de agua, operando en las frecuencias de 23,8 GHz y en 36,5 GHz

La frecuencia de 23.8 Ghz (polarización horizontal) permite detectar vapor de agua, mientras que la de 36.5 Ghz (polarización horizontal y vertical) permite detectar agua en estado líquido.

Las mediciones que efectúa el MWR se encuentran calibradas en océano, obteniendo datos de presión de vapor de agua integrado (IPWV), un gas muy importante relacionado con el cambio climático y el efecto invernadero.

En este trabajo se describe la metodología implementada para la estimación de vapor de agua integrado (IPWV) sobre la superficie terrestre, utilizando las mediciones de temperatura de brillo del Radiómetro de Microondas (MWR) del Satélite Argentino SACD/Aquarius.

Empleando un modelo de regresión lineal, se obtuvieron estimaciones de IPWV sobre la región de Norteamérica y se utilizaron datos superficiales meteorológicos de estaciones en tierra, que permitieron obtener los datos de IPWV y temperatura, necesarios para el ajuste del modelo propuesto. Estos resultados son comparables a instrumentos satelitales como el Radiómetro de Microondas de Escaneo avanzado (Advanced Microwave Scanning Radiometer ,AMSR-E) de NASA, que permite obtener IPWV sobre tierra con errores que varían entre 6 a 12mm.

Los valores de IPWR obtenido de los datos del MWR, serán comparados con valores determinados utilizando técnicas de estimación de IPWV a partir del sistema de posicionamiento Global GPS, que relaciona el retraso y la curvatura que sufre esta señal, con la integral de la densidad de vapor de agua, en el trayecto que recorre la misma desde el satélite hasta la superficie terrestre.

El instrumento MWR se encuentra actualmente entregando productos de IPWV únicamente sobre la superficie del océano. Por lo tanto, una calibración que permita determinar este dato sobre tierra, como muestra este trabajo, resulta en un valioso aporte y una nueva aplicación del instrumento.

I. MODELO DE AJUSTE

En esta sección se describirá un modelo radiativo utilizado para la calibración de radiómetros

en satélites sobre mar. Estos modelos permiten obtener estimaciones de distintas variables físicas del medio atmosférico.

Este modelo fue utilizado con el instrumento MWR del SACD/Aquarius para obtener mediciones de IPWV, concentración de hielo y vientos sobre la superficie del mar. Utilizando este mismo concepto, se emplea un algoritmo similar que permite estimar IPWV en tierra, a partir de las mediciones de temperatura de brillo en las dos polarizaciones del MWR y la temperatura superficial.

Se describirá la metodología implementada para la selección de estaciones de calibración en tierra, y el procesamiento de la información de las temperaturas de brillo del MWR.

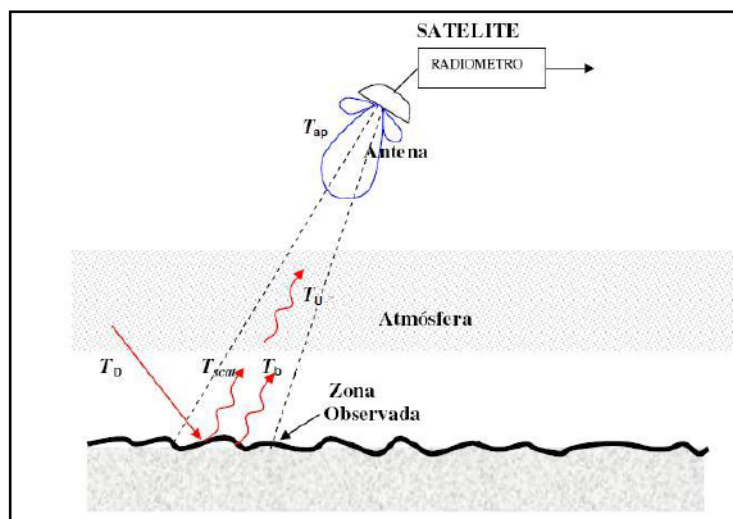


Fig. 1. Modelo radiativo considerando una atmósfera de una sola capa.

En la Figura 1 se observa un esquema de modelo radiativo para observaciones desde satélites, considerando atmósfera de una sola capa y libre de nubes. Pueden verse tres aportes principales a la temperatura de brillo, la producida por la emisión atmosférica que genera una temperatura de brillo ascendente T_u , la temperatura de brillo descendente T_D que se refleja en la superficie, y la temperatura de brillo generada por la superficie del material. A la temperatura T_u contribuyen gases como el oxígeno, el vapor de agua y el agua líquida, con sus diferentes coeficientes de emisión y absorción.

La temperatura de brillo T_D se refleja en la superficie y atraviesa nuevamente el medio atmosférico hacia la antena.

La emisión de la superficie terrestre depende principalmente de la temperatura física a la que se encuentre el material, y del coeficiente de emisividad del mismo.

Según referencias [3], [4], [5] se establece que la temperatura de brillo observada desde un radiómetro desde el cielo responde a la siguiente ecuación (1):

$$T_{ap} = T_u + \tau_{atmos}(SST + (1 - \varepsilon)(T_d + \tau_{atmos} T_{BC})) \quad (1)$$

$$\tau_{atmos} = e^{\sec(\theta)(\alpha_0 + \alpha_v + \alpha_L)} \quad (2)$$

Donde T_{BC} corresponde a la temperatura de brillo del fondo de microondas con un valor de 2.75° K, y SST es la temperatura superficial. El coeficiente de transmitancia de la atmósfera τ_{atmos} depende, según la ecuación (2), del ángulo de incidencia θ del haz, y de los

coeficientes de absorción del oxígeno α_o , del vapor de agua α_v , y del agua líquida α_L . El coeficiente de emisividad de la superficie es ϵ .

Las temperaturas de brillo ascendentes y descendentes pueden ser parametrizadas en función del contenido de vapor de agua integrado, la temperatura superficial y la frecuencia radiométrica en la que se este midiendo [4], [5]. Este modelo fue utilizado sobre mar para calibrar las mediciones de temperatura de brillo del instrumento AMSR-E y el Special Sensor Microwave Imager (SSM/I), ambas misiones pertenecientes a NASA.

A partir de las ecuaciones (1), (2) y la dependencia de las temperaturas de brillo T_D y T_U con los parámetros atmosféricos, se desarrolla un modelo de regresión de múltiples variables [6], en el que se estima el IPWV a partir de las mediciones de temperatura de brillo sobre el océano del instrumento MWR.

Las estimaciones utilizadas para la calibración del IPWV, provienen del satélite WINDSAT que posee una órbita similar al SACD.

Sobre tierra las características de la superficie presentan una variabilidad mucho mayor que en el océano, por lo que una calibración en zonas geográficas extensas requiere de datos que caractericen el terreno y permitan aplicar la ecuación 1.

Se propone sobre tierra para la determinación del IPWV con datos del SACD, un modelo de ajuste lineal que relacione las mediciones en las dos bandas del radiómetro con el IPWV, dado por la siguiente ecuación:

$$IPWV_{modelo} = A \cdot Tb_{24H} + B \cdot Tb_{37H} + C \cdot Tb_{37V} + D \cdot t_{st} + E \quad (3)$$

Donde Tb_{24H} , Tb_{37H} y Tb_{37V} representan las diferencias entre la temperatura de brillo de los radiómetros en las polarizaciones horizontales y verticales respecto de sus medias en la ventana espacial de medición, mientras que t_{st} es la temperatura superficial. Las constantes del modelo A , B , C , D y E son los coeficientes de calibración que se desean obtener para cada estación en tierra.

En la ecuación 3 se observa que se utilizan las diferencias de temperatura de brillo respecto de su valor medio en la ventana espacial. Esto se realiza para desafectar los valores significativamente altos de temperatura de brillo que se presentan sobre la superficie terrestre. Por lo tanto, para aplicar el modelo dado por la ecuación 3 para la estimación de IPWV, se debe obtener un promedio de las mediciones del MWR en la ventana espacial, para luego restarlo a las mediciones puntuales y de esta forma obtener las diferencias como parámetro de entrada al modelo.

II. METODOLOGIA

Cada medición del instrumento MWR dispone de 8 haces por canal. De las 8 bocinas 4 están dispuestas con un ángulo incidencia de 52° y las restantes con 58° .

Utilizando una antena offset toroidal, se concentra sobre las bocinas receptoras la radiación de microondas observada sobre la superficie terrestre. La antena está dispuesta con un ángulo de 3db por haz de 1.64 grados, lo que resulta en un campo instantáneo de visión (IFOV) de 50Km.

En la Figura 2 se observan las mediciones del SACD/Aquarius cuyos haces cruzan la región de América del norte. Se utiliza esta región debido a la gran cantidad de datos superficiales disponibles.

En la Tabla 1 se observan las estaciones GPS seleccionadas (datos de IPWV son provistos por la red Suominet GPS) [8], y en la Figura 3 su ubicación geográfica de las estaciones seleccionadas para poder compáralas con las medidas realizadas con los radiómetros del MWR utilizando el modelo expresado en la ecuación 3.

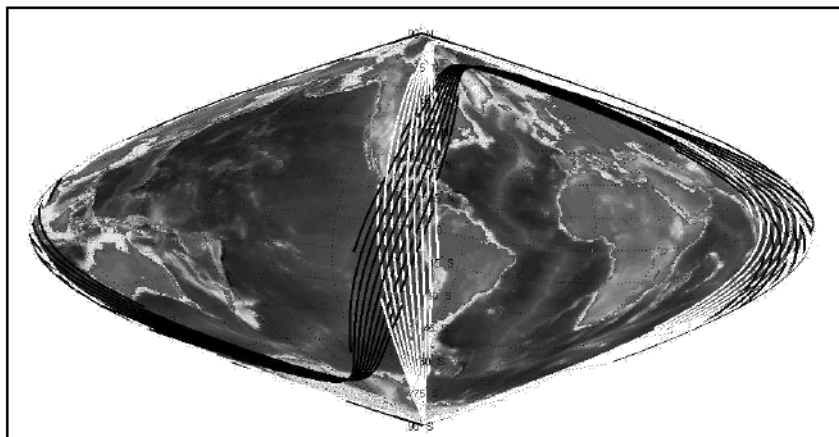


Fig. 2. Orbits del SACD/AQUARIUS sobre América del norte

Se identificaron en los datos de orbita del SACD/Aquarius, las mediciones de temperatura de brillo (Figura 2) que coincidan con estaciones de posicionamiento Global (GPS) para la determinación superficial de IPWV, obteniéndose en ese instante la temperatura superficial de las estaciones meteorológicas in-situ seleccionadas (Figura 2 y Tabla I).

Las orbitas son filtradas espacialmente, promediando las mediciones de temperatura de brillo en un radio de un grado alrededor de cada estación en tierra. Se eliminan días que presenten condiciones de lluvia o nubosidad utilizando los datos de observación de condiciones atmosféricas de las estaciones meteorológicas in-situ, en los que se informa el tipo de nubosidad presente cada 30 minutos.

En referencias dadas sobre los datos del MWR del satélite SACD/Aquarius [1] se establece que el MWR posee una ganancia de receptor constante hasta temperaturas del orden de 300° K. Para registros mayores de temperatura de brillo, se produce una alinealidad del tipo compresiva, provocando mediciones con valores menores a los esperados. Se seleccionan locaciones en tierra, cuyas temperaturas de brillo sean inferiores a este valor máximo.

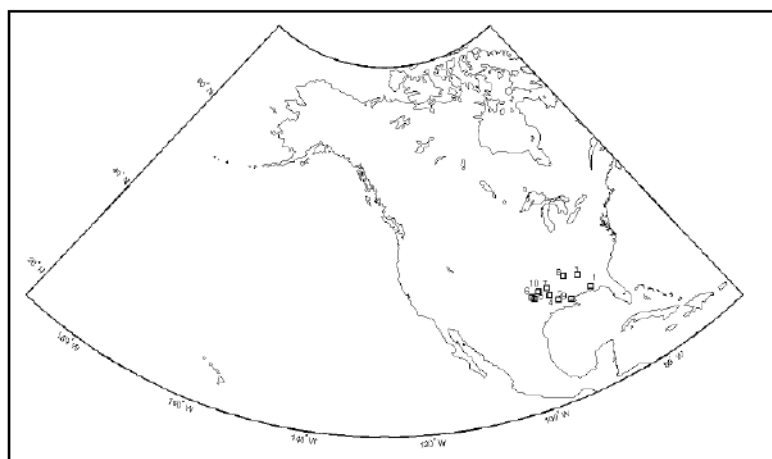


Fig. 3. Estaciones GPS en América del Norte seleccionadas.

TABLA I
Estaciones GPS seleccionadas

Num.	Estaciones de GPS		
Ref.	Latitud	Long.	Estación
1	30.84	-85.60	BNFY
2	31.17	-92.42	LSUA
3	33.53	-86.85	AL30
4	32.42	-93.70	SHRV
5	32.79	-96.67	TXDA
6	33.2	-97.16	TXDE
7	33.69	-93.60	ARHP
8	34.36	-89.53	MSXO
9	30.47	-90.09	COVG
10	33.67	-95.55	TXPA

III. RESULTADOS.

Los resultados de los valores de IPWV calculados con los datos del MWR del satélite SACD/Aquarius y determinados con el modelo dado por la ecuación 3, comparados con los

valores de IPWV determinados con técnicas de GPS con datos de la Red Suominet [8] se observan en la Figura 4. Son mostrados los resultados de 6 estaciones únicamente.

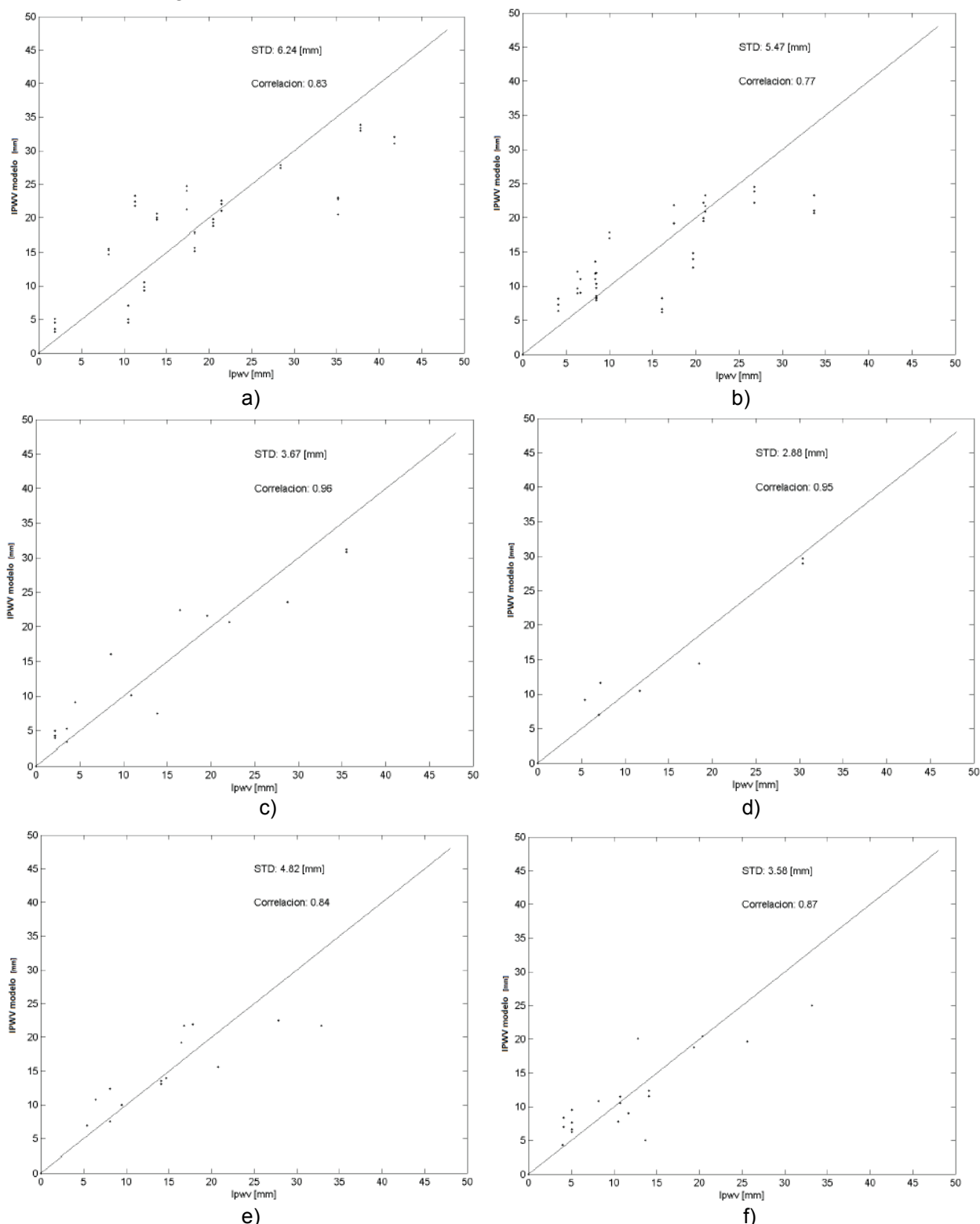


Figura 4 – Comparación del IPWR determinados con el modelo de ajuste con datos del MWR del satélite SACD, con datos determinados con técnicas de GPS de las estaciones a) BNFY, b) LSUA, c) AL30, d) SHRv, e) TXDA y f) TXDE.

En la figura 4 se muestran los gráficos de las comparaciones con las seis primeras estaciones de la Tabla I. Se han obtenidos correlaciones elevadas (mayores de 0.7), con valores de desviación estándar menores a 7 [mm], sobre las diez estaciones de GPS seleccionadas para evaluar el modelo propuesto aplicados a datos del MWR del satélite SACD/Aquarius.

IV. CONCLUSION

En este trabajo se obtuvieron estaciones de GPS sobre la superficie terrestre, con el objetivo de calibrar los datos de temperatura de brillo provistos por el instrumento MWR del SACD/Aquarius. La calibración permite estimar IPWV con errores menores a 7mm, sobre regiones acotadas a un radio de hasta 50Km desde cada estación seleccionada. Esto presenta una contribución a los datos actuales que brinda el SACD/Aquarius, permitiendo obtener vapor de agua integrado sobre regiones en tierra.

Otros radiómetros satelitales, como el AMSR-E de NASA, presenta errores en la estimación de IPWV que oscilan desde 6 mm hasta 12mm, para regiones de América del Norte. Estos resultados son comparables a los obtenidos con el SACD, con la salvedad que el instrumento de NASA cubre superficies geográficas más extensas.

Del manejo de los datos del MWR, surge que es capaz de medir temperaturas de brillo con valores inferiores a 300K. Valores mayores de temperatura, son afectados por la alinealidad que presenta la ganancia del receptor de microondas, lo que se traduce en un aumento significativo en el error del IPWV. Esta limitación surge del análisis de las características técnicas del radiómetro y debe tenerse en cuenta para futuros trabajos con este instrumento.

En síntesis este trabajo permite establecer la utilidad del radiómetro MWR para efectuar mediciones de IPWV en tierra. Una aplicación para la cual no fue diseñado, ya que la misión estaba orientada en obtener datos sobre la superficie del mar.

REFERENCIAS

- [1] S. K. Biswas, "Brightness temperature calibration of SAC-D/AQUARIUS microwave radiometer (MWR)," PhD thesis, M.S. University of Central Florida, Orlando, FL, 2012.
- [2] M. N. Deeter, "A new satellite retrieval method for precipitable water vapor over land and ocean," *Geophysical Research Letters*, vol. 34, 2007.
- [3] F. J. Wentz, "A well-calibrated ocean algorithm for special sensor microwave / imager," *Journal of Geophysical Research*, vol. 10, no. C4, pp. 8703–8718, 1997.
- [4] W. R. Spencer and F. J. Wentz, "Ssmi rain retrievals within a unified all- weather ocean algorithm," *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 55, no. 9, pp. 1613–1627, 1998.
- [5] F. J. Wentz and T. Meissner, "Ssmi rain retrievals within a unified all- weather ocean algorithm," *Proposal 121599A-1. Remote Sensing Systems*, vol. CA, no. 66, p. 66, 2000.
- [6] R. A. Menzerotolo, "Rain rate retrieval algorithm for AQUARIUS/SAC-D microwave radiometer," PhD thesis, M.S. University of Central Florida, Orlando, FL, 2010.
- [7] University of Wyoming, upper air observations. [Online]. Available: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.
- [8] <http://www.suominet.ucar.edu/>