

Estimación de Vapor de Agua Integrado Sobre Tierra Utilizando los Datos del Radiómetro MWR de la Misión SACD-Aquarius

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

[†]*Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería UNLP.*

Calle 1 y 47, La Plata, Buenos Aires, Argentina

¹jepeloa@gmail.com

³albertobava@yahoo.com.ar

^{*}*Departamento de Astrometría, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas*

Paseo del Bosque, La Plata, Buenos Aires, Argentina

²amalia.meza@gmail.com

Abstract—This paper describes the methodology implemented for the estimation of integrated water vapor (IPWV) over the land, by the use of brightness temperature measurements of the microwave radiometer (MWR) provided from the Argentinian Satellite SACD-Aquarius.

Using a linear regression model, estimations of IPWV were obtained with an error less than 7 mm over the North American region. Superficial meteorological data were used, as well as ground radiosonde stations, which allow to obtain the IPWV and temperature data necessary for the adjustment of the proposed model. This results can be compared with others satellital instruments such as the Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) of the NASA, through which IPWV data can be obtained with errors that vary from 6 to 12 mm.

This work represents an important contribution, allowing the use of the radiometer data of the SACD/Aquarius, to provide measurements of the IPWV over land, data that is not actually available for this instrument.

Resumen— 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 con un error menor a 7 mm sobre la región de Norteamérica. Se utilizaron datos superficiales meteorológicos, y estaciones de radiosondeo 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 Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) de NASA, que permite obtener IPWV sobre tierra con errores que varían entre 6 a 12mm.

Este trabajo representa un aporte importante, permitiendo utilizar los datos del radiómetro del SACD/Aquarius, para proporcionar mediciones de IPWV sobre tierra, dato que actualmente no se encuentra disponible en este instrumento.

I. INTRODUCCIÓN

El satélite SACD/Aquarius es una misión dedicada a la medición de salinidad en mares. Posee 7 instrumentos de observación, entre los que se encuentra el radiómetro de microondas (MWR). Este instrumento opera en dos frecuencias, 23.8 Ghz y 36.5 Ghz. Los datos que entrega el MWR permiten al instrumento Aquarius obtener mediciones de

salinidad en mares. 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.

El objetivo de este trabajo es obtener una estimación del IPWV sobre la superficie terrestre, utilizando los datos de temperatura de brillo del MWR.

Se identificaron en los datos de órbita del SACD, las mediciones de temperatura de brillo que coincidan en hora local con el lanzamiento de radiosondadores, obteniéndose en ese instante la temperatura superficial de las estaciones meteorológicas in-situ seleccionadas.

Las órbitas 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 observacionales de condiciones atmosféricas de las estaciones meteorológicas in-situ, en los que se informa el tipo de nubosidad presente cada 30 minutos.

En [1] se establece que el MWR posee una ganancia de receptor constante hasta temperaturas del orden de 300K. 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.

Hoy en día existen algoritmos que permiten estimar vapor de agua sobre tierra a partir de mediciones de temperatura de brillo. En [2] se describe la metodología empleada para determinar IPWV utilizando el Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E) de NASA. Con este instrumento y a partir de algoritmos de regresión, se obtienen errores en la determinación de IPWV del orden de 2mm en mar y entre 6 a 12mm en tierra, para la región de América del Norte.

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 resulta en un valioso aporte, y una nueva aplicación del instrumento.

II. METODOLOGÍA

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.

A. Modelo Radiativo

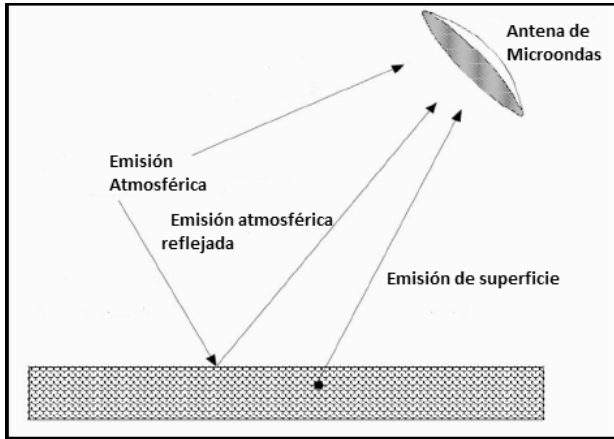


Fig. 1. Modelo radiativo considerando una atmósfera de una sola capa

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_{BU} , la temperatura de brillo descendente T_{BD} que se refleja en la superficie, y la temperatura de brillo generada por la superficie del material. A la temperatura T_{BU} 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_{BD} se refleja en la superficie y atraviesa nuevamente el medio atmosférico hacia la antena. Si se considera a ϵ la emisividad del material, su coeficiente de reflexión $(1 - \epsilon)$ indicará la cantidad de señal reflejada. En el caso del océano se refleja casi su totalidad.

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.

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

$$T_b = T_{BU} + \tau_{atmos}(\epsilon SST + (1 - \epsilon)(T_{BD} + \tau_{atmos} T_{BC})) \quad (1)$$

$$\tau_{atmos} = e^{-sec(\theta)(\alpha_O + \alpha_V + \alpha_L)} \quad (2)$$

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

Según [4], [5] 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 esté midiendo. 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.

En la tesis [6], a partir de las ecuaciones (1), (2) y la dependencia de las temperaturas de brillo T_{BD} y T_{BU} con los parámetros atmosféricos, se desarrolla un modelo de regresión de múltiples variables, 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 emplean estaciones de radiosondeo en tierra, utilizando las mediciones de temperatura de brillo del MWR en zonas acotadas a un radio no mayor a 100Km desde cada estación.

En la ecuación (3) se observa el modelo de regresión utilizado para aproximar los datos de vapor de agua.

$$IPWV = ATb_{24H} + BTb_{37H} + CTb_{37V} + Dt_{st} + E \quad (3)$$

Donde Tb_{24H} , Tb_{37H} , Tb_{37V} representan las mediciones de temperatura de brillo en las polarizaciones horizontales y verticales, t_{st} es la temperatura superficial, e IPWV es el contenido de vapor de agua integrado medido por el radiosondador. Las constantes del modelo A,B,C,D y E son los coeficientes de calibración que se desean obtener para cada estación en tierra.

La medición de IPWV de los radiosondadores se realiza mayormente a las 0 o 12 de tiempo universal coordinado (UTC), se deberán ubicar las locaciones en tierra donde la órbita del SACD cumpla con esta restricción temporal, para obtener mediciones de temperatura de brillo y poder calibrar el modelo.

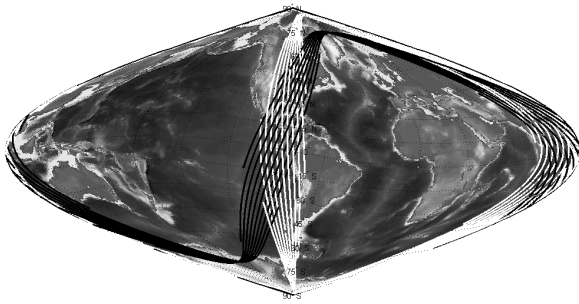


Fig. 2. órbitas del SCD a la hora 12 UTC+-1 (negro) y 0 UTC+-1 (blanco)

B. Estaciones de radiosondeo en tierra

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

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 SCD/Aquarius que coinciden en hora universal con las 12 UTC (negro) y 0 UTC (blanco) en un margen de 1 hora.

Puede observarse que sobre argentina existen datos cercanos a 0UTC, pero lamentablemente no se dispone de datos de radiosondeo a esa hora en la zona geográfica observada.

Sobre América central, y el sur de Norteamérica, se dispone datos en las dos horas universales, y sobre ésta última región los radiosondadores son lanzados con regularidad en ambas horas.

La región de América central presenta el inconveniente de ser bastante lluviosa, por lo que muchos datos deben descartarse. Sobre Europa se dispone de datos en Rusia, pero se presenta el inconveniente de condiciones climáticas con muy poco vapor de agua. Por lo tanto seleccionarán las estaciones que se muestran en la Figura 3, y en la Tabla I sus coordenadas en grados.

Cada estación dispone de datos meteorológicos in-situ, que permiten obtener la temperatura superficial (dato que será utilizado para la calibración) y la nubosidad del cielo al momento del lanzamiento del radiosondador.

TABLA I
COORDENADAS DE LAS ESTACIONES DE RADIOSONDEO

Num Ref	Estaciones de Radiosondeo Seleccionadas		
	Latitud	Longitud	Numero de Estación
1	33.36	-84.56	72215
2	32.31	-90.08	72235
3	34.84	-92.26	72340
4	32.83	-97.3	72249
5	32.46	-93.78	72248
6	36.08	-79.95	72248

Todos los datos de radiosondeo fueron extraídos desde el sitio de la Universidad de Wyoming [7], que dispone de una base de datos mundial. Este sitio también dispone de observaciones de superficie, brindando una base de datos meteorológica con información cada 30 minutos.

C. Procesamiento de los datos del MWR

Se utilizan los datos del año 2014, hasta el día 19 de marzo, correspondiente a la última versión de los algoritmos de los productos L1.B de temperatura de brillo.

En la Figura 4 se observa el esquema de procesamiento utilizado, consiste en agrupar todas las órbitas, empleando las coordenadas espaciales para realizar un filtrado por región del dato.

A partir de los datos filtrados en locación se eliminan los que no corresponden a un lanzamiento de radiosondador, utilizando un filtro temporal.

Finalmente se eliminan los días lluviosos o con presencia de nubes, lo que permite obtener el ajuste del modelo de regresión lineal múltiple, y los coeficientes de calibración sobre cada estación.

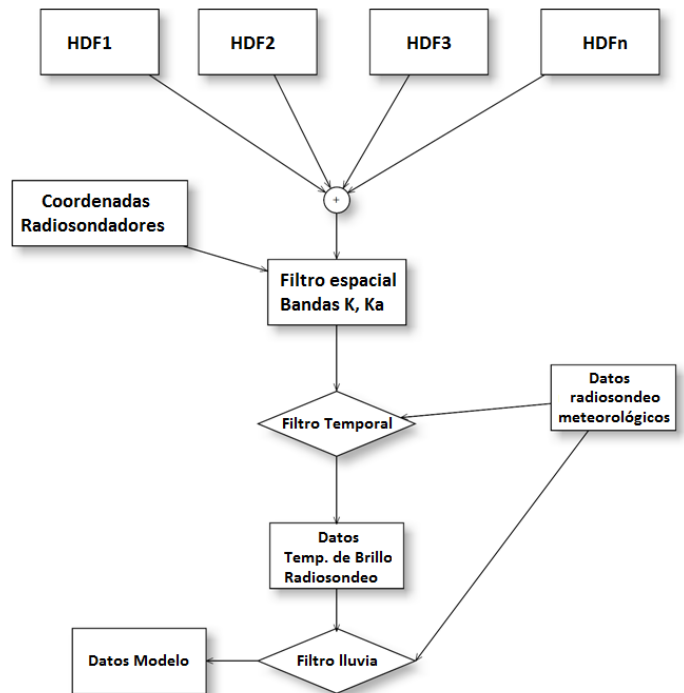


Fig. 4. Diagrama del procesamiento de los datos del MWR

El filtrado espacial se realiza tanto en la banda K (23.8 Ghz) como en la Ka (36.5Ghz) para asegurar la locación correcta de las mediciones. Esto se debe a que los haces apuntan a diferentes zonas geográficas, por lo que existe una diferencia de segundos entre medidas de distinta frecuencia.

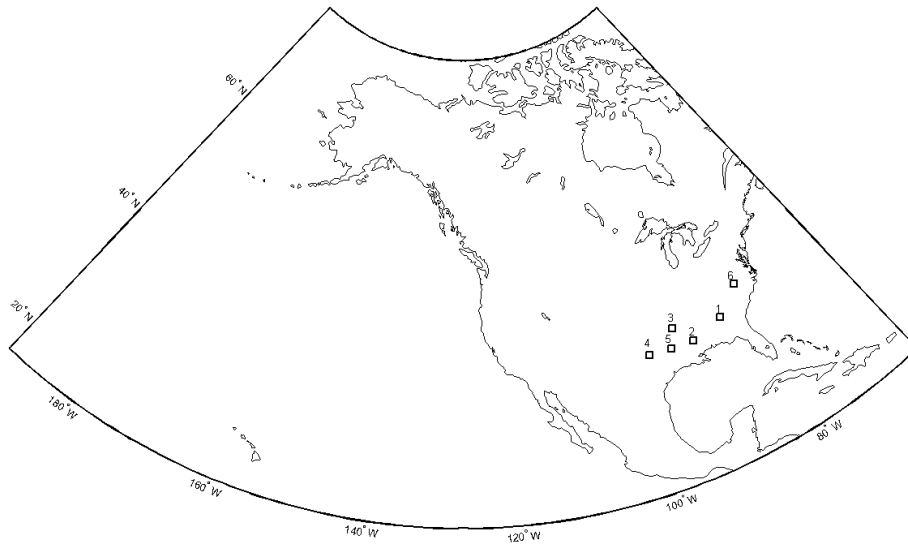


Fig. 3. Estaciones de radiosondeo seleccionadas

III. RESULTADOS

Los resultados de los ajustes pueden observarse en las Figuras 5 a 10.

En la Tabla 2 se observan los coeficientes de calibración correspondientes a cada estación

Los ajustes fueron realizados utilizando los datos de radiosondadores a la hora 12 UTC, correspondientes a las órbitas ascendentes del SACD.

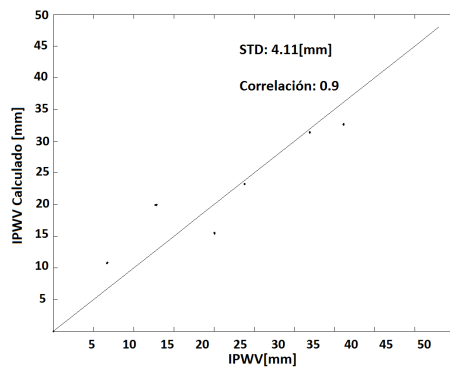


Fig. 5. Estación 72215

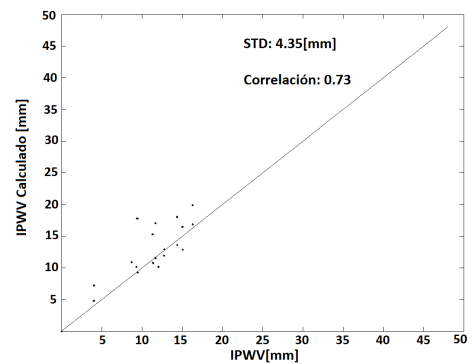


Fig. 7. Estación 72340

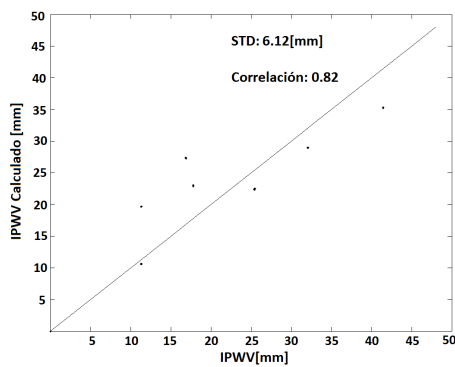


Fig. 6. Estación 72235

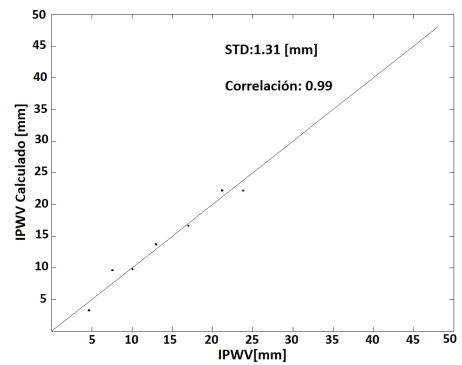


Fig. 8. Estación 72249

TABLA II
CONSTANTES DE CALIBRACIÓN PARA CADA ESTACIÓN

Num Ref	Constantes de calibración					Número de Estación
	A	B	C	D	E	
1	0.008	0.0000057	-0.00026	0.0099	-2.43	72215
2	-0.00022	-0.002	0.0017	0.025	-5.93	72235
3	0.0012	0.0033	0.0009	0.0031	-1.68	72340
4	0.0222	-0.0941	0.0063	0.053	9.975	72249
5	-0.0071	0.0158	-0.0029	0.0075	-5.595	72248
6	-0.011	0.00054	0.000068	0.0182	-4.757	72317

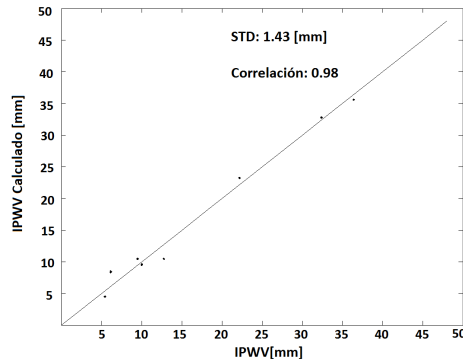


Fig. 9. Estación 72248

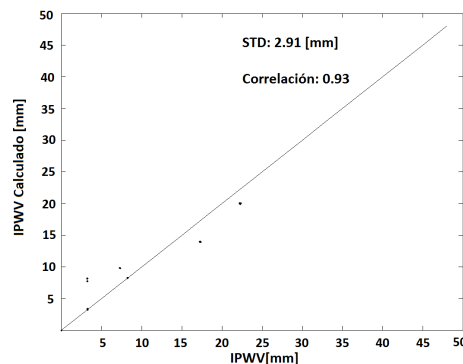


Fig. 10. Estación 72317

IV. CONCLUSIÓN

En este trabajo se obtuvieron estaciones de radiosondeo 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 100Km 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 base a estos resultados actualmente se está trabajando con técnicas de medición de vapor de agua a partir de la señal de posicionamiento global GPS. Esto permitirá ampliar la intersección de las mediciones del radiómetro MWR con datos superficiales de IPWV, obteniéndose puntos de calibración en regiones mayores.

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.

AGRADECIMIENTOS

-Un especial agradecimiento a Sebastián Heredia por la ayuda en la comprensión de los datos del instrumento MWR.

-A la Universidad de Wyoming por brindar los datos meteorológicos y de radiosondeo que hicieron posible este trabajo.

-A la Agencia de Promociones Científicas y Tecnológicas -PICT 00405 - Código de Proyecto 00405

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>