

Percepción remota del vapor de agua troposférico en zonas adyacentes a estaciones GPS de operación continua utilizando el sensor satelital MODIS

Sarai Leal, Víctor Cioce, Giovanni Royero y Eugen Wildermann

Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ), Departamento de Geodesia Superior, Escuela de Ingeniería Geodésica, Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Venezuela.

cpags.luz@fng.luz.edu.ve

Recibido: 25-10-2016.

Aceptado: 04-04-2017.

Resumen

La cuantificación y análisis de la distribución espacio-temporal del vapor de agua troposférico son tareas de gran importancia en el campo de las ciencias atmosféricas pues este gas es responsable de la ocurrencia de fenómenos diversos propios de la atmósfera terrestre; para la Geodesia Satelital es de relevancia por cuanto induce errores sobre las observables propias de sus técnicas de adquisición, en tal sentido el GPS ha venido siendo utilizado para obtener información precisa sobre la presencia del vapor de agua en la atmósfera baja. No obstante, sensores dispuestos a bordo de plataformas de percepción remota satelital, como MODIS a bordo de los satélites Aqua y Terra, también aportan información sobre dicha variable. El trabajo describe la comparación entre estimaciones del vapor de agua realizadas mediante el análisis de datos GPS y MODIS sobre áreas específicas en Venezuela, encontrándose un alto nivel de correspondencia, permitiendo dar paso a diversas aplicaciones conducentes a la comprensión y modelado de eventos climáticos y meteorológicos en la región de interés con la garantía de que estos datos de libre acceso son confiables.

Palabras clave: Vapor de agua, atmósfera, percepción remota, MODIS, GPS.

Tropospheric water vapor remote sensing by MODIS sensor near continuously operating GPS stations

Abstract

Quantification of tropospheric water vapor and spatial-temporal distribution analysis are very important tasks in atmospheric sciences because this gas is responsible for driving phenomena related with Earth atmosphere; it is relevant for Satellite Geodesy too, due to water vapor leads on observables defined by its acquisition techniques, for example, GPS is being used for obtaining precise information about water vapor presence in low atmosphere. However, remote sensing platforms offer information associated with such variable, this is the case of MODIS sensor on board of Aqua and Terra satellites. This paper describes comparison done between water vapor estimations based in data analysis from GPS and MODIS on Venezuela selected zones, finding that both are very similar, this allows carry on some applications pointed to understanding and modelling weather and meteorological events in the interest region with warranty of accuracy for this free access data.

Key words: Water vapor, atmosphere, remote sensing, MODIS, GPS.

Introducción

El vapor de agua es uno de los gases constituyentes más importantes de la atmósfera terrestre concentrándose principalmente en la troposfera (0 a 15 km de altura), su existencia es determinante para la ocurrencia de fenómenos meteorológicos y climáticos, contribuyendo además con el efecto invernadero. En consecuencia, conocer la distribución espacio-temporal altamente variable del agua en fase gaseosa durante su permanencia en la atmósfera resulta de gran interés para la comunidad científica, motivando el desarrollo de tecnologías capaces de cuantificar su presencia de forma precisa.

El uso de la técnica geodésica GPS (Global Positioning System) representa una opción que al respecto ha venido gozando de amplio reconocimiento gracias a la alta calidad con la que logra ser cuantificado [1] [2] [3], los primeros ensayos efectuados en Venezuela se atribuyen a [4]. Otra opción para su determinación es la percepción remota satelital, que se perfila como una herramienta capaz de ofrecer datos de vapor de agua atmosférico superando las limitaciones propias de los sensores dispuestos a nivel de la superficie como la pobre resolución espacial o la baja representatividad.

Dada la compleja y cambiante dinámica atmosférica, el análisis de información proveniente de fuentes independientes resulta ideal y ante la necesidad actual que tiene Venezuela de mejorar la comprensión del clima y la interacción de la atmósfera con otros componentes del Sistema Tierra, este trabajo demuestra la viabilidad de la percepción remota en este tipo de aplicaciones, sustentada en el uso de datos libremente accesibles captados por los satélites Terra y Aqua del programa EOS (Earth Observation System) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration de los EE.UU.) y en la contrastación con determinaciones GPS.

Percepción remota del vapor de agua mediante satélites artificiales

Los satélites destinados a la percepción remota comúnmente se asocian con la adquisición de datos y consecuente generación de productos geospaciales [5], no obstante, al ser plataformas capaces de transportar diferentes tipos de sensores, en años recientes su uso para detectar y cuantificar la presencia de gases traza vitales para la comprensión del cambio climático (e.g. O_3 , NO_x , SO_x , H_2O , otros) se ha venido incrementando [6] [7]. De hecho, programas específicamente diseñados para tal fin por parte de las principales agencias espaciales a nivel mundial como la NASA o la ESA (European Space Agency), están en plena fase de operatividad. La característica principal que se resalta es la amplia cobertura espacial y alta repetibilidad de las observaciones realizadas por este tipo de plataformas.

El fundamento físico que sustenta la percepción remota de estos gases y otros compuestos como los aerosoles y poluentes a nivel de la atmósfera terrestre, está vinculado con la captación y posterior alteración de ciertas bandas del espectro electromagnético al interactuar en un instante dado con las partículas presentes [8]. Si bien el espectro es muy amplio, solo el infrarrojo y una pequeña porción de las microondas permiten detectar vapor de agua atmosférico gracias a la absorción de energía que este hace, tratándose de radiación solar entrante e infrarroja saliente desde la superficie terrestre [9]. Dispositivos sensibles a estos tipos de radiación en bandas específicas pueden ser colocados en plataformas satelitales.

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) es uno de estos sensores dispuesto a bordo de dos satélites operados por la NASA conocidos como Terra y Aqua (ver Figura 1) lanzados en 1999 y 2002 respectivamente. El sensor ubicado a una altura de 705 km escanea una franja de la superficie terrestre con un ancho de 2330 km, lo suficientemente amplia para alcanzar una cobertura global casi completa cada dos días; capta 36 bandas espectrales entre los 0,4 a 14,4 μm cuidadosamente seleccionadas para facilitar estudios avanzados de la corteza, océano y atmósfera baja; 26 de ellas están destinadas para derivar rasgos atmosféricos diversos de las cuales las 17, 18 y 19 están reservadas a la captación del vapor de agua [10].

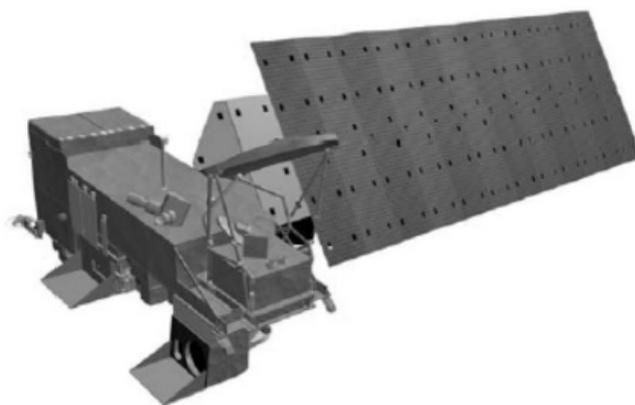


Figura 1. Plataformas Aqua/Terra de la NASA, ambas con diseño y características similares (<http://eosps.nasa.gov>).

El conjunto de datos recolectados por el sensor se somete a procesamientos previos destinados a detectar y reducir efectos sistemáticos y generar los productos MODIS (i.e. presencia de aerosoles, propiedades de las nubes, perfiles de temperatura y humedad atmosférica, vapor de agua, otros). En el caso del vapor de agua, este es obtenido analizando las porciones sensibles del espectro con el denominado *Near-IR Water Vapor Algorithm* [11] aplicado a datos observados en zonas terrestres y oceánicas despejadas como en aquellas cubiertas por nubosidad; el algoritmo se concentra en la atenuación de la radiación solar en canales del infrarrojo cercano, las variaciones de la reflectancia (capacidad de un cuerpo de reflejar energía) de la superficie y transmitancia (capacidad de un cuerpo de transmitir energía) relacionadas con este gas [12].

Al ser los productos MODIS de libre acceso, la evaluación y cuantificación del vapor de agua atmosférico sobre toda la extensión del territorio nacional o en áreas puntuales, representa una alternativa para mejorar el modelado del clima y brindar soporte al desarrollo de estudios relacionados; no obstante, resulta necesario validar la fiabilidad de estos datos siendo las estimaciones GPS una fuente independiente considerada como patrón de comparación. Este tipo de experiencias no han sido reportadas previamente en Venezuela.

Evaluación de productos MODIS asociados con el vapor de agua

La cantidad de agua gaseosa en la atmósfera baja sujeta a estimación satelital, se puede expresar en términos de vapor de agua integrado (IWV, masa de este gas presente por unidad de área expresado en kg/m^2) o bien en vapor de agua precipitable (PW, altura de la columna de agua equivalente expresada en mm). El sensor MODIS ofrece a partir del Nivel 2 (L2) de procesamiento la columna de PW en sus productos MOD05 con resolución espacial de $1 \times 1 \text{ km}$ para el satélite Terra, y MYD05 con resolución espacial de $5 \times 5 \text{ km}$ para el satélite Aqua. Dadas las características orbitales de estas plataformas, cada una realiza un paso diario sobre territorio venezolano (Terra en horas de la mañana, sentido orbital nort-sur y Aqua en horas de la tarde, sentido orbital sur-norte), implicando la disponibilidad de dos valores del PW por día para cada punto barrido por el sensor (uno por cada satélite).

En este sentido, para la obtención y evaluación del PW detectado por el sensor se seleccionaron locaciones donde existen estaciones GPS de control geodésico con influencia en el país cuyos datos permitieron la determinación independiente de dicha variable, a saber MARA (Maracaibo, Zulia) de la red SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) [13], CN39 (Quebrada Arriba, Lara) y CN41 (El Baúl, Cojedes) ambas pertenecientes a la COCONet (Continuously Operating Caribbean

GPS Observational Network) [14] de la que también se incluyeron las estaciones CN19 (Noord, Aruba), CN38 (Cerrejón, Colombia) y CN40 (Williamsted, Curaçao). La ubicación relativa de estos puntos de control se presenta en la Figura 2.

Un radio de 30 km respecto a cada punto GPS se estableció de forma tal que se garantizara la adecuada cobertura del barrido de la superficie terrestre hecho por el sensor MODIS sobre las zonas de interés; si bien el contenido de vapor de agua presenta alta correlación sobre distancias horizontales de hasta 50 km bajo condiciones meteorológicas estables [15] [16], se consideró prudente reducir este margen en atención a posibles alteraciones atmosféricas de origen diverso. Previamente los datos de Terra se remuestrearon alcanzando la misma resolución espacial consistente con los de Aqua (i.e. 5x5 km), la visualización y tratamiento preliminar de los datos MODIS se llevó a cabo con el software Panoply v4.0.2 [17].

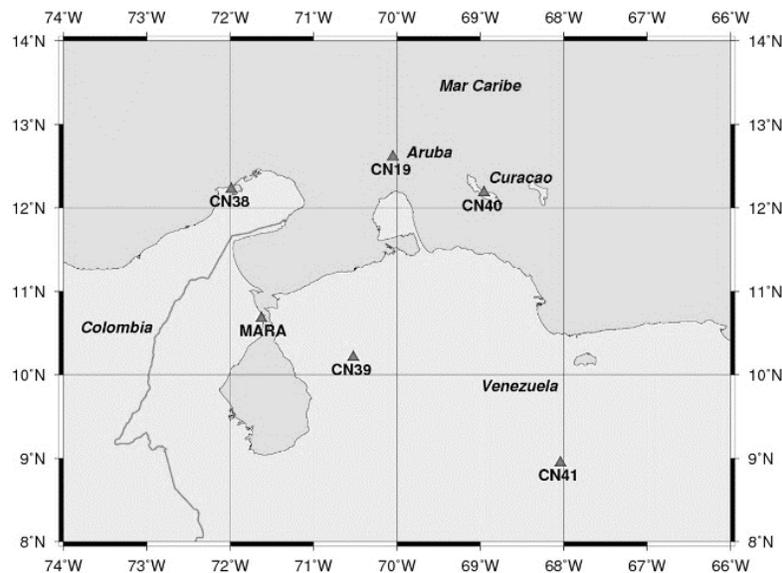


Figura 2. Ubicación relativa de las estaciones GPS consideradas para la comparación con MODIS.

Los periodos seleccionados para los datos MODIS quedaron sujetos a la disponibilidad de las series temporales del PW obtenido con GPS en los puntos de control, de esta manera, para la zona circundante a la estación MARA se trabajó con registros de los meses de abril y mayo de 2014 y 2015. Para el caso de las estaciones COCONet, solo dos semanas (última de abril y primera de mayo de 2015) fueron consideradas. Estos periodos representan el final de la temporada de sequía e inicio de la lluviosa para la zona de estudio.

La resolución temporal de los valores del PW se ajustó a la propia de las estaciones COCONet, siendo de 30 minutos [18], de ahí que fue necesario interpolar los correspondientes tanto a MARA como a los aportados por MODIS, los mismos vienen dados cada 5 minutos siendo el tiempo requerido por el sensor para cubrir su área de barrido de acuerdo al movimiento de la plataforma. Un polinomio de cuarto orden permitió esta tarea demostrada su validez sobre la variable de interés por [19].

De todos los valores del PW contenidos dentro del área definida por el radio de 30 km, un PW medio fue estimado, rechazando aquellos que excedieran tres veces la desviación estándar de la muestra [7]. Estos valores pico se presentaron generalmente en presencia de alta nubosidad como se demuestra en la Figura 3.

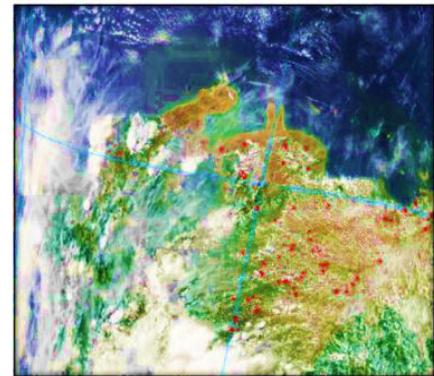
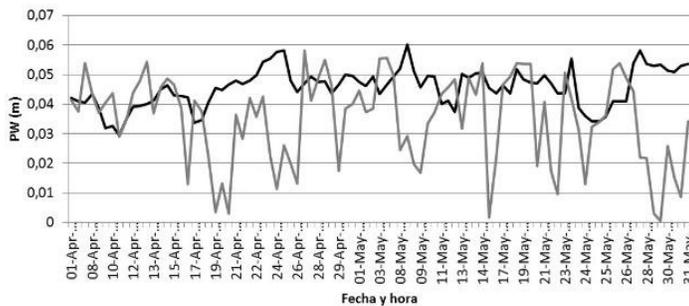


Figura 3. PW MODIS sin depurar (gris) y GPS (negro) sobre MARA para abril-mayo de 2014 y condiciones de nubosidad sobre la estación para el 26.04.2014 (imagen MODIS).

Logró evidenciarse que la máscara de nubes altera de manera significativa la bondad del PW MODIS, de ahí que fue necesario ajustar estos valores reduciendo aquellos que fueron captados en zonas con nubosidad en los alrededores de las estaciones GPS. De esta manera, series temporales del vapor de agua con el menor sesgo posible fueron obtenidas.

Comparando el vapor de agua MODIS respecto al GPS

Estimaciones del PW MODIS fueron comparadas con las aportadas por observaciones GPS de alta precisión consideradas como un patrón confiable, de hecho, la caracterización del vapor de agua con dicha técnica geodésica ha permitido contribuir como insumo para la predicción numérica del clima a escala local, regional y global soportando estudios atmosféricos diversos [20] [21] [22]. Detalles sobre la recuperación del PW GPS son ofrecidos por [1] [23] [24] [25].

La Figura 4 corresponde a la comparación entre el PW MODIS y el PW GPS sobre MARA dentro del periodo abril-mayo de 2014, mostrándose una tendencia similar entre ambas series; la diferencia absoluta media entre ambas estimaciones resulta de 0.26 mm, alcanzando valores máximos de hasta 16.10 mm y mínimos de 0.08mm. Para el lapso abril-mayo de 2015 también se aprecia cómo el vapor de agua MODIS resulta cercano al GPS (ver Figura 5), en este caso la discrepancia media fue de 2.12 mm.

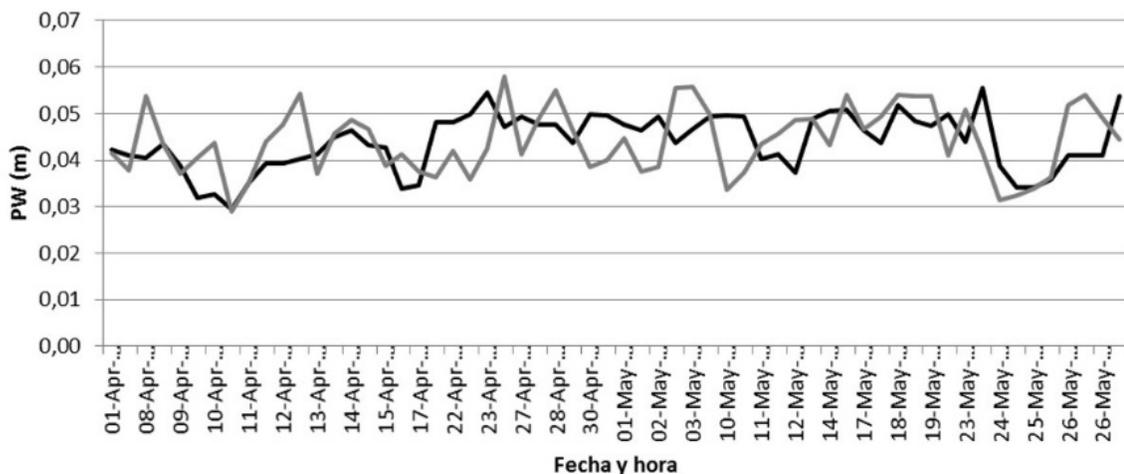


Figura 4. PW MODIS (gris) y GPS (negro) sobre MARA, abril-mayo de 2014.

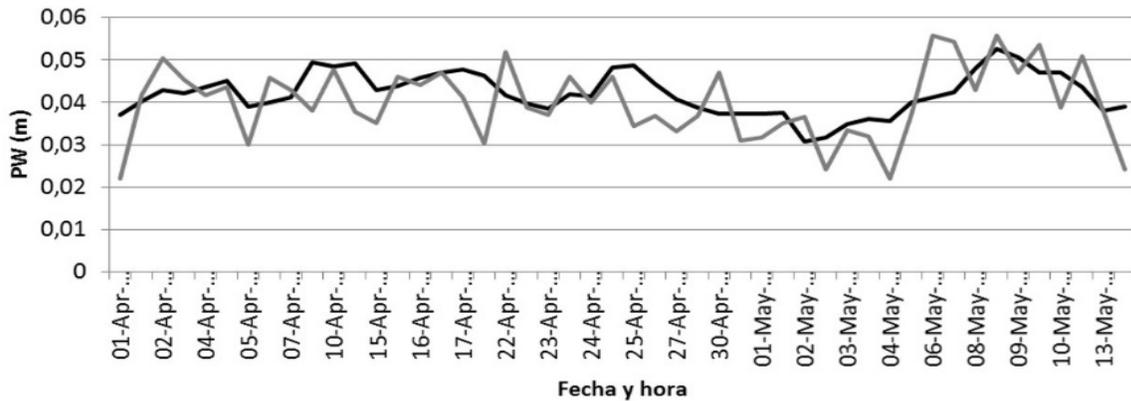


Figura 5. PW MODIS (gris) y GPS (negro) sobre MARA, abril-mayo de 2015.

Debe resaltarse la consistencia entre las estimaciones hechas sobre una misma locación durante la misma temporada en años distintos revelando el carácter cíclico del clima, con leves aumentos del PW típicos al finalizar abril cuando se inicia el periodo de lluvias en Venezuela. En 2015, también se observa la reducción prolongada de agua gaseosa asociada con la extensión del periodo de sequía. Al respecto, el INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) en sus boletines mensuales reportó tal situación atribuida a la ocurrencia del fenómeno climático de “El Niño” [26].

Extendiendo la comparación hacia las demás estaciones venezolanas, la correspondencia entre las series de tiempo del PW MODIS y el GPS es mostrada en las Figura 6 y 7. La diferencia media absoluta para la zona de Quebrada Arriba (Edo. Lara) y El Baúl (Edo. Cojedes) se ubicó en 0.79 mm y 1.49 mm respectivamente.

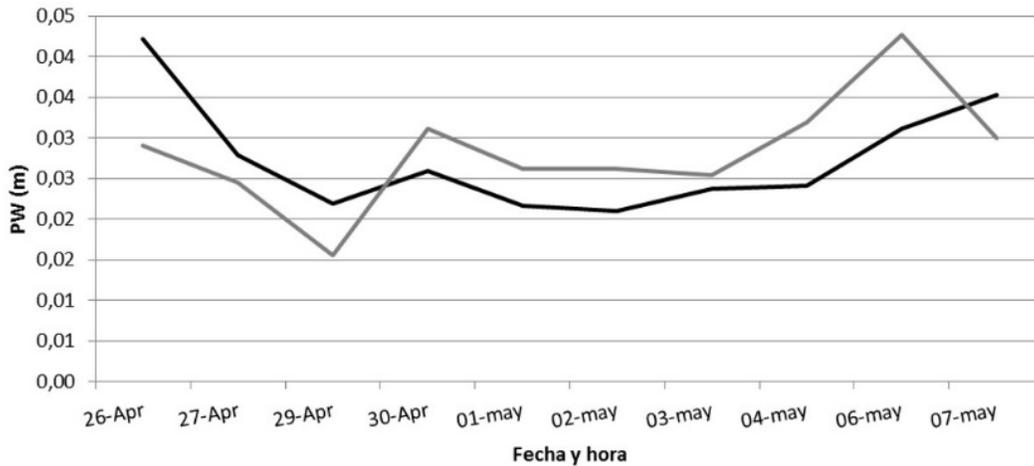


Figura 6. PW MODIS (gris) y GPS (negro) sobre CN39 (Quebrada Arriba, Edo. Lara), abril-mayo de 2015.

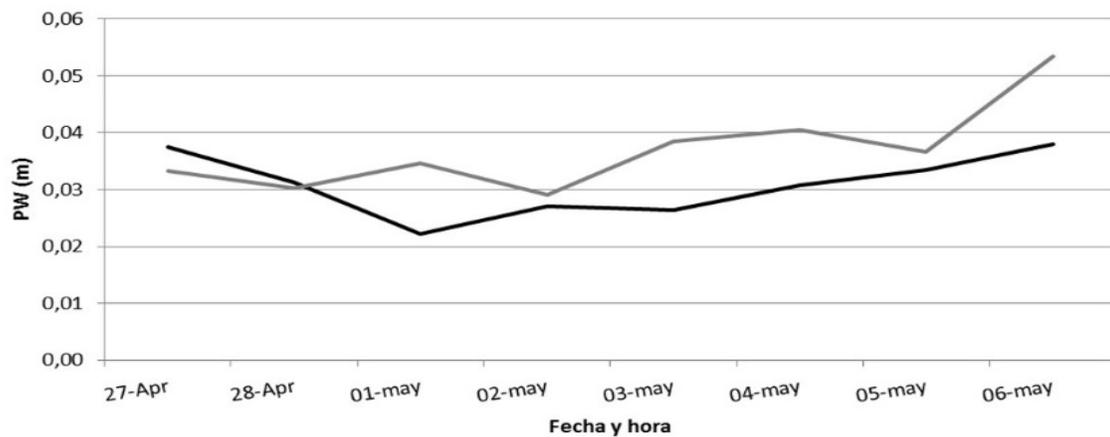


Figura 7. PW MODIS (gris) y GPS (negro) sobre CN41 (El Baúl, Edo. Cojedes), abril-mayo de 2015.

Para el caso de las estaciones situadas en Aruba y Curaçao, separadas aproximadamente 129 km y con condiciones geográficas, climáticas y meteorológicas similares, la cuantificación del PW MODIS arrojó valores cercanos entre sí, siendo la media de 29.69 mm; el PW GPS fue de 31.34 mm difiriendo solo en 1.65 mm, las series pueden apreciarse en las Figura 8 y 9. Con esto se infiere sobre la representatividad de los productos ofrecidos por el sensor no solo de manera puntual sino también en sitios que guardan correlación espacial sobre la variable de interés.

De hecho, se sabe que la cantidad de vapor de agua en la atmosfera varía según la latitud y al estar ambas estaciones a 12° N se verifica esta condición en el caso de los productos MODIS. La estación CN38 si bien se encuentra a la misma latitud presentó un PW medio de 36.48 mm, ligeramente mayor al de la zona de Aruba y Curaçao, lo que se atribuye a diferencias en rasgos geográficos de los sitios (e.g. configuración del relieve, altura sobre el nivel del mar, entre otros). Sin embargo, la cantidad de PW no deja de estar en el mismo orden. La Figura 10 muestra la comparación respecto al PW GPS.

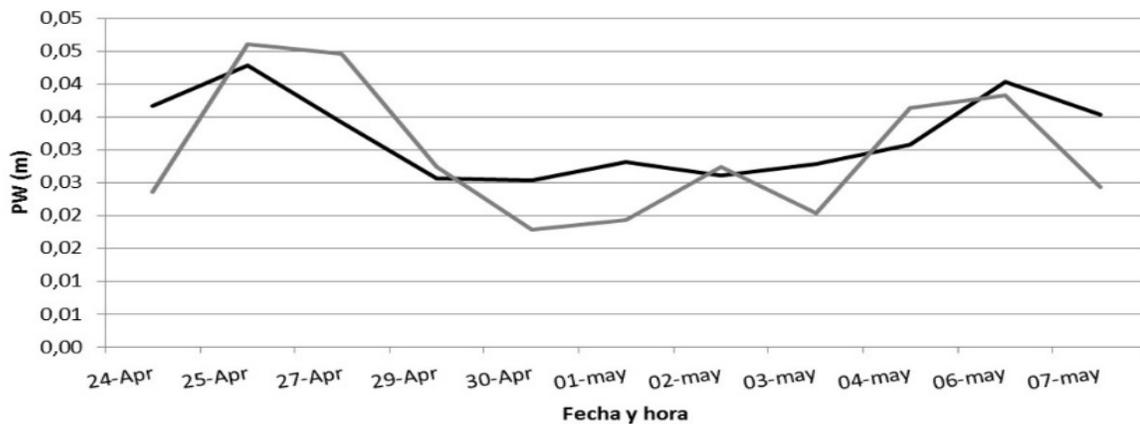


Figura 8. PW MODIS (gris) y GPS (negro) sobre CN19 (Aruba), abril-mayo de 2015.

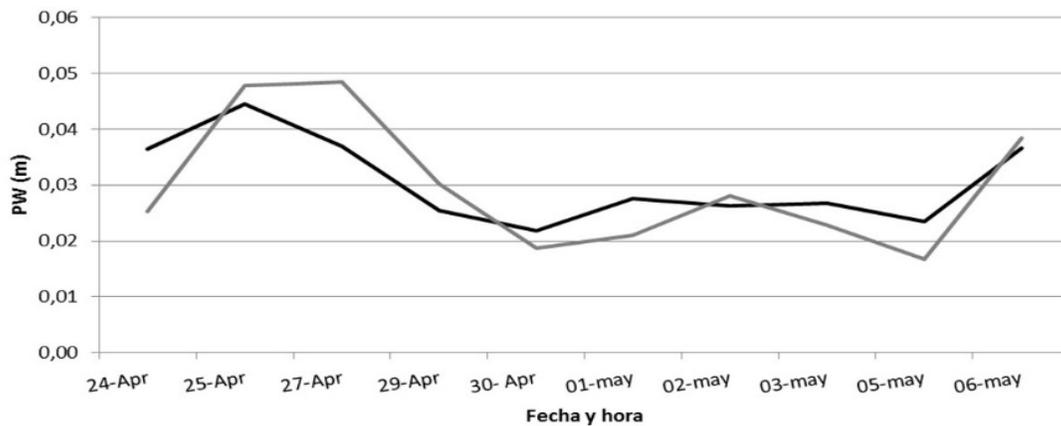


Figura 9. PW MODIS (gris) y GPS (negro) sobre CN40 (Curaçao), abril-mayo de 2015.

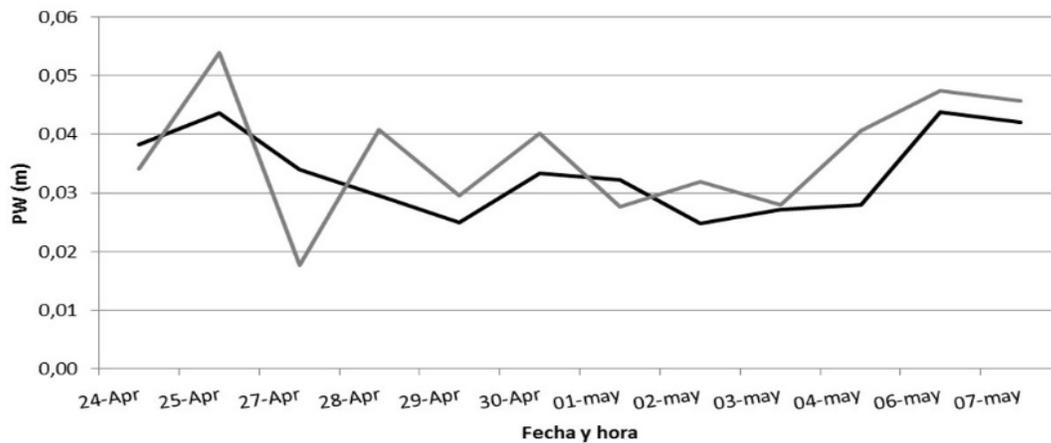


Figura 10. PW MODIS (gris) y GPS (negro) sobre CN38 (Cerrejón, Colombia), abril-mayo de 2015.

En términos generales, el vapor de agua precipitable MODIS guarda una tendencia cercana con los obtenidos mediante el tratamiento de observaciones satelitales GPS aún y cuando los valores del sensor remoto fueron extraídos y promediados para locaciones adyacentes a las estaciones GPS como se explicó anteriormente. Para los sitios seleccionados y dentro de los periodos evaluados, ambos tipos de estimación solo difieren en 1.78 mm, una separación mayor a los 30 km pudiera introducir sesgos con impacto directo sobre la comparación. Las condiciones meteorológicas particulares como por ejemplo alta nubosidad, también afectan la capacidad de medición del sensor lo que no sucede al recurrir al GPS, a esto se atribuyen los valores pico en las series de tiempo. En todo caso, el uso del sensor MODIS es factible y confiable.

Conclusiones

La recuperación espacio-temporal del vapor de agua atmosférico que ofrece el sensor MODIS a partir de sus productos MOD05 (Terra) y MYD05 (Aqua), especialmente sobre territorio venezolano, fue objeto de estudio en este trabajo, contrastándola con aquella que desde el punto de vista geodésico es comúnmente implementada basándose en la técnica satelital GPS. Las diferencias medias en las series de tiempo para el periodo evaluado resultaron de aproximadamente ± 2 mm, lo que sugiere una alta

representatividad y confiabilidad de dicha plataforma de percepción remota. Naturalmente, un análisis más extenso en cuanto a la ventana temporal no deja de ser indispensable.

Los datos del sensor fueron confinados a un radio de 30 km respecto a las seis estaciones de operación continua GPS seleccionadas; luego del tratamiento seguido para lograr comparaciones a un mismo nivel espacial y temporal, se constató no solo su proximidad al vapor de agua sobre estaciones GPS tal como fuera indicado, sino además la influencia negativa de agentes como la nubosidad en las estimaciones de la variable en estudio.

No obstante, al ser los datos MODIS de libre acceso y de uso relativamente sencillo para el usuario, constituyen una solución viable para brindar soporte a diversos estudios climáticos y meteorológicos en el país que permitan un mejor entendimiento de fenómenos de mediano y largo plazo como El Niño. Algunas experiencias han sido reportadas Venezuela, por ejemplo [27]. Se trata así de ampliar las fuentes de datos y considerar metodologías alternativas para ello.

Con los resultados de la investigación realizada, una aplicación práctica inmediata que pudiera plantearse es el seguimiento de esta variable climática sin depender completamente de densas redes de estaciones meteorológicas en tierra, especialmente en sitios de difícil acceso lo que a su vez minimiza costos operativos.

Por otra parte, estos productos también pueden ser utilizados para un modelado inicial del efecto troposférico sobre la señal de sistemas de navegación global similares al GPS como GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), Galileo o BeiDou, considerando que la refracción de la misma en este medio no-dispersivo es una fuente de error principal en estimaciones geodésicas, en la que el vapor de agua aporta cierta contribución. De esta manera, es necesario seguir profundizando sobre este tema de investigación ante la amplia gama de aplicaciones que pueden dársele a los productos atmosféricos del sensor MODIS.

Referencias bibliográficas

[1] Bevis M., Businger S., Herring T., Rocken C., Anthes R., and Ware R., GPS Meteorology: remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97, No. D14, (1992), 15787-15801.

[2] Notarpietro R., Cucca M., Bonafoni S., GNSS Signals: a powerful source for atmosphere and Earth's surface monitoring, *Remote Sensing of Planet Earth*, Chemin Y., Ed., (2012), 171-200.

[3] Li X., Zus F., Lu C., Ning T., Dick G., Ge M, Wickert J., and Schuh H, Retrieving high-resolution tropospheric gradients from multiconstellation GNSS observations, *Geophysical Research Letters*, Vol. 42, No. 10, (2015), 4173–4181.

[4] Cioce V., Hoyer M., Wildermann E., Royero G. y Díaz A., Determinación del vapor de agua troposférico a través de observaciones GPS: primeros ensayos en Venezuela, *Rev. Interciencia*, Vol. 36, No. 10, (2011), 721-730.

[5] Gomarasca M., *Basics of Geomatics*, Springer, Dordrecht (2009).

[6] Chuvieco E. Ed., *Earth Observation of Global Change- The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment*, Springer, Berlin (2008).

[7] Leal S. Determinación de los valores de vapor de agua atmosférico mediante el tratamiento de productos de la plataforma de percepción remota MODIS, Trabajo Especial de Grado, Universidad del Zulia, Maracaibo (2016).

[8] Burrows J., Platt U., Borrell P. (Eds.), *The Remote Sensing of Tropospheric Composition from Space*, Springer, Dordrecht (2011).

[9] Ramanathan V. y Vogelmann A., Greenhouse effect, atmospheric solar absorption and the Earth's radiation budget: from the Arrhenius-Langley era to the 1990s, *Ambio*, Vol. 26, No. 1, (1997), 38-46.

[10] King M., Menzel W., Kaufman Y., Tanré D., Gao B., Platnick S., Ackerman S., Remer L., Pincus R., and Hubanks P., Cloud and aerosol properties, precipitable water and profiles of temperatures and water vapor from MODIS, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 41. (2003), 442-458.

[11] Gao B. y Kaufman J., The MODIS Near-IR Water Vapor Algorithm, disponible en: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov>

[12] Gao B., MODIS Atmosphere L2 water vapor product, disponible en: <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov>

[13] Brunini C., Sánchez L., Mackern M.V., Martínez W., de Freitas S., Avances SIRGAS 2011-2015, Simposio SIRGAS 2015, disponible en <http://www.sirgas.org>

[14] UNAVCO, The Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network (COCONet), disponible en <http://coconet.unavco.org>

[15] Seeber G., *Satellite Geodesy*, 2nd Ed., de Gruyter, Berlin (2003).

[16] Torge W. y Müller J., *Geodesy*, 4th Ed., de Gruyter, Berlin (2012).

[17] Schmunk R., Panoply netCDF, HDF and GRIB Data Viewer. NASA Goddard Institute for Space Studies, disponible en <http://www.giss.nasa.gov>

[18] Cioce V., Rincón M.F., Morales R., Espinoza D., Wildermann E., Royero G., Ceballos R., Sánchez L., Actividades del Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia, periodo 2014-2015, Simposio SIRGAS 2015, disponible en <http://www.sirgas.org>

[19] Barroso A. y Estrada K., Implementación del modelo climático ERA-Interim para la estimación de parámetros troposféricos a partir de observaciones GPS, Trabajo Especial de Grado, Universidad del Zulia, Maracaibo (2015).

[20] Jensen A., Numerical weather predictions for GPS positioning, IAG Symposia 128, Sansó F., Ed., (2003), 65-70.

[21] Li X., Dick G., Lu C., Ge M., Nilsson T., Ning T., Wickert J, Schuh H., Multi-GNSS Meteorology: real-time retrieving of atmospheric water vapor from BeiDou, Galileo, GLONASS and GPS observations, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 12, (2015), 6385-6393.

[22] Perler D., Geiger A., Hurter F., 4D GPS water vapor tomography: new parameterized approaches, *Journal of Geodesy*. Vol. 85, No. 8, (2011), 539-550.

[23] Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D., *GPS Satellite Surveying*, 4th Ed., Wiley, Hoboken (2015).

[24] Misra P. y Enge P., *GPS: Signals, Measurements and Performance*, 2nd Ed., Ganga-Jamuna Press, Lincoln (2006).

[25] Cioce V., Aplicación de observaciones GPS para la cuantificación del vapor de agua troposférico en la ciudad de Maracaibo, Trabajo de Grado, Universidad del Zulia, Maracaibo (2009).

[26] INAMEH, Boletín Climático Mensual Abril/Mayo 2015, disponible en: <http://www.inameh.gob.ve>

[27] Gutiérrez E., Caracterización de las condiciones meteorológicas presentes en febrero 2005 sobre Venezuela empleando los productos atmosféricos del sensor MODIS, Terra Nueva Etapa, Universidad Central de Venezuela, Vol. 22, Núm. 31, (2006), 153-173.

