

Valoración del producto MOD16A2 para su potencial aplicación en la Región Pampeana Argentina

Degano, M.F.⁽¹⁾, Rivas, R.⁽¹⁾, Carmona, F.⁽²⁾, Niclòs, R.⁽³⁾, Puchades, J.⁽³⁾

⁽¹⁾ Comisión de Investigaciones Científicas; Instituto de Hidrología de Llanuras. Arroyo Seco S/N, Campus Universitario, (7000) Tandil, Argentina. maflode@alumni.uv.es

⁽²⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Instituto de Hidrología de Llanuras. Arroyo Seco S/N, Campus Universitario, (7000) Tandil, Argentina.

⁽³⁾ Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Universidad de Valencia, Dr. Moliner 50, (46100) Burjassot, España.

Resumen: La evapotranspiración (ET) es la variable hidrológica de mayor relevancia en la Región Pampeana Argentina (RPA) debido a que mediante este proceso se pierde gran parte del agua que ingresa como precipitación al sistema. Conocer la variabilidad espacial de la ET es esencial para introducirla en modelos hidrológicos y el uso de productos de satélite resulta una herramienta clave para ello. En este trabajo, se evaluó el producto MOD16A2 de ET potencial (ETp) (versión 6; MOD16A2.006) comparándolo con datos *in situ* de 24 estaciones distribuidas en la RPA para los años 2012, 2013 y 2014, observándose una sobreestimación mayor al 50%, determinando la existencia de un error sistemático. Debido a este hallazgo, se procedió a calibrar y posteriormente corregir el producto con una ecuación de ajuste lineal, logrando, de este modo, disminuir la diferencia cuadrática media, de 2,31 a 0,51 mm día⁻¹ y el error medio absoluto de 2,08 a 0,37 mm día⁻¹. Tras dicha corrección, el producto MOD16A2.006 mejora significativamente y puede utilizarse con fines hidrológicos a escala de cuenca. Se recomienda evaluar el producto en otras regiones del mundo para determinar si existen errores sistemáticos, y eventualmente corregirlos siguiendo la metodología aquí propuesta.

Palabras clave: evapotranspiración, producto MOD16A2, Región Pampeana Argentina, error sistemático.

Evaluation of MOD16A2 product for its potential application Argentina Pampas Region

Abstract: Evapotranspiration (ET) is the hydrological variable of greater relevance in the Argentina Pampas Region (APR) because through this process a large part of the water that enters as precipitation is lost from the system. The knowledge of the ET spatial variability is essential to introduce it in hydrological models and the use of satellite products is a key tool for this aim. In this study, the MOD16A2 product of potential ET (ETp) (version 6; MOD16A2.006) was evaluated comparing it with *in situ* data of 24 stations distributed in the RPA for the years 2012, 2013 and 2014. An over-estimation greater than 50% was shown, proving the existence of a systematic error. Due to this finding, we proceeded to calibrate and subsequently correct the product with a linear adjustment equation, thus decreasing the root-mean square difference, from 2.31 to 0.51 mm day⁻¹ and the mean absolute error from 2.08 to 0.37 mm day⁻¹. After this correction, the MOD16A2.006 product improves significantly and can be used for hydrological purposes at the basin scale. It is recommended to evaluate the product in other regions of the world to determine if there are systematic errors, and eventually correct them following the methodology proposed here.

Keywords: evapotranspiration, MOD16 product, Argentina Pampas Region, systematic error.

1. INTRODUCCIÓN

En la Región Pampeana Argentina (RPA), la evapotranspiración (ET) es la variable hidrológica de mayor relevancia. Su estimación en este área es fundamental, debido a que la productividad primaria está directamente relacionada con la disponibilidad de agua.

La ET potencial (ETp) es la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, con desarrollo óptimo y sin limitaciones de agua. Según esta definición, la ETp está controlada por factores meteorológicos, por las características del cultivo y del suelo, sin depender de las condiciones de humedad del suelo (Thornthwaite, 1948).

Actualmente, existen diversos métodos para estimar la ET a diferentes escalas; a escala puntual por medio de porómetros, medidores de flujo de sabia en la planta y lisímetros; a escala de parcela por medio de balances de agua, relación de Bowen y sistemas *Eddy covariance*, entre

otros; y a escala regional incorporando principalmente, datos de satélite (Soegaard y Boegh, 1995; Carmona *et al.*, 2011; Rivas y Carmona, 2013; Carmona *et al.*, 2018).

A través del producto de satélite de ET global denominado MOD16A2 (versiones 005 y 006) se obtiene la ETp. Este producto se confecciona con datos del sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo del satélite EOS-Terra (*Earth Observation System-Terra*) a partir de productos que se generan utilizando registros diarios espectrales de la superficie del planeta y datos meteorológicos obtenidos con re-análisis (MERRA *GMAO-Modern Era Retrospective-analysis of Research and Applications of Global Modelling and Assimilation Office*).

Durante los últimos años, varios autores evaluaron el rendimiento del producto MOD16A2 en diferentes partes del planeta, y los resultados indicaron que su fiabilidad no es lo suficientemente robusta como para predecir la

demanda máxima de agua desde la atmósfera (Kim et al., 2012; Ruhoff et al., 2013; Ramoelo et al., 2014; Autovino et al., 2016; Aguilar et al., 2018; Degano, 2017; Degano et al., 2018; Peschechera et al., 2018; Degano et al., 2019).

Degano (2017) y Degano et al. (2019) evaluaron cuantitativamente la bondad del producto MOD16A2.005 en la RPA mediante el uso de estadísticos básicos para las diferencias entre producto y datos de referencia, determinando una sobreestimación sistemática mayor al 50% por parte del producto MOD16A2.005.

Actualmente se encuentra disponible el producto MOD16A2.006 en el que se mejora la resolución espacial (de 1 km a 500 m), entre otros aspectos (Running et al., 2017). En este marco, el objetivo de este trabajo es valorar el producto de ET potencial (ETp) MOD16A2.006 evaluándolo con respecto a datos verdad-terreno de la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) en la RPA en el período 2012 a 2014.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y datos de terreno

La RPA comprende 520 000 km² de planicie ubicada en el centro-este de la República Argentina. Así comprende: la mitad austral de la provincia de Entre Ríos, Sudeste de Córdoba y Sur de Santa Fe, Este de La Pampa y gran parte de la provincia de Buenos Aires, exceptuando el extremo Sur (Matteucci, 2012).

Para la realización de este trabajo se tomaron datos de 24 estaciones de la ORA, repartidas en la región (Figura 1) para el período 2012 a 2014. Se utilizó este período debido a que el 2012 fue un año con máximas precipitaciones, el 2013 con mínimas y el 2014 con precipitaciones medias para la RPA de acuerdo a los registros del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina.

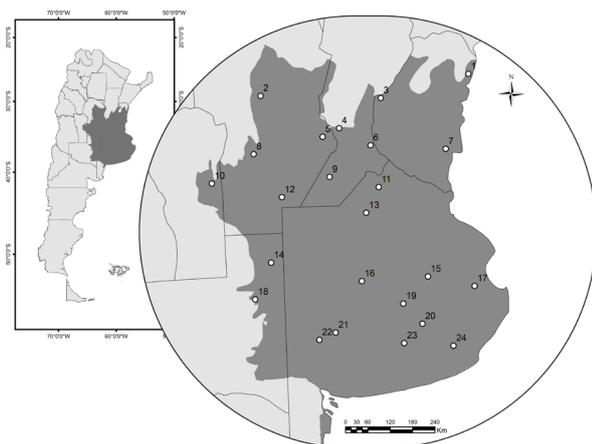


Figura 1. Distribución de las estaciones en la RPA (modificado de Carmona et al., 2018).

En general el clima es templado húmedo. En la tabla 1 se muestran los valores de precipitación y temperatura máxima y mínima media anual. Las precipitaciones en el N decrecen en sentido E-W y en el S, de N a S. Las temperaturas decrecen en sentido N-S, con una amplitud de 15°C en el W y 12°C en el E (Matteucci, 2012).

La ET₀ de la ORA se calcula con información del SMN (<http://www.smn.gov.ar/>) de variables biofísicas medidas

in situ y se basan en el método de Penman Monteith (Monteith y Unsworth, 1990).

Tabla 1. Datos de Precipitación y Temperatura (T).

	Precipitación (mm año ⁻¹)	T media anual (°C)
Mínima	400-600	6-14
Máxima	1000-1200	16-18

2.2. Datos de satélite (MOD16A2.006)

El producto de satélite, MOD16A2.006, se obtiene de la página web *Earth Data* de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) (<https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=MOD16A2%20V006>) y está compuesto por cinco bandas, de las cuales dos son de ET (real y potencial en mm acumulados para 8 días), otras dos de calor latente (real y potencial (J m⁻² acumulada para 8 días) y la banda de calidad. Posee una resolución espacial de 500 m y está disponible a escala global (Running et al., 2017).

Utiliza información meteorológica diaria obtenida a partir de datos de re-análisis como variables de entrada provenientes de MERRA GMAO, y productos provistos por el sensor MODIS (cobertura terrestre: MOD12Q1; FPAR/LAI: MOD15A2; y albedo: MCD43B2/B3) de 8 días para el cálculo espacial de ET.

2.3. Procesamiento de los datos y análisis estadístico

Se evaluó el producto MOD16A2.006 de ETp comparándolo con datos de ET₀ *in situ* de la ORA (ETp y ET₀ se toman como sinónimos debido a que las estaciones están ubicadas en sectores con pasto corto). Para ello, se calcularon los siguientes parámetros: RMSD (*Root-mean-square difference*), MBE (*Mean Bias Error*), MAE (*Mean Absolut Error*), a (pendiente), b (ordenada del origen), R² (coeficiente de determinación).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar los datos de terreno con los obtenidos del producto MOD16A2.006 se encontró una sobreestimación sistemática mayor al 50% (Figura 2). Este comportamiento también fue observado en trabajos previos para la versión 005, lo que indica que las mejoras en el producto MOD16A2 no han sido suficientes para su aplicación directa en la RPA.

En este contexto, fue necesario realizar un ajuste lineal para corregir el modelo. Para lo que se utilizaron 1719 pares de datos (ETp(MOD16.006)-ET₀(ORA)) de los cuales se tomó el 50% para obtener los parámetros de calibración (a y b en Tabla 2) y el 50% restante para su validación.

Tabla 2. Parámetros de la función ajustada.

	a	b [mm día ⁻¹]	R ²
Parámetros de ajuste	0,66±0,01	-0,13±0,03	0,92

En la figura 3 se muestra la relación de los datos de terreno con los de satélite tras aplicar la ecuación de ajuste. Se puede observar que los datos MOD16A2.006 corregidos se ajustan a la recta 1:1, lo que indica que se ha logrado disminuir el error sistemático.

En la tabla 3 se observan los estadísticos obtenidos para la relación entre los datos *in situ* y el producto

MOD16A2.006 (original y corregido). Dado que la mayor parte de la discrepancia se debe a una sobrestimación sistemática por parte del producto (aunque mayor a mayor ETp), no se observa variación en la dispersión de los datos y el R² permanece prácticamente constante. Aún así se mejoran los resultados tras aplicar el ajuste realizado tal y como se observa en términos de RMSDs, MBE y MAE (Tabla 3). Asimismo, la disminución de la sobrestimación del producto se muestra en la reducción de la pendiente del ajuste.

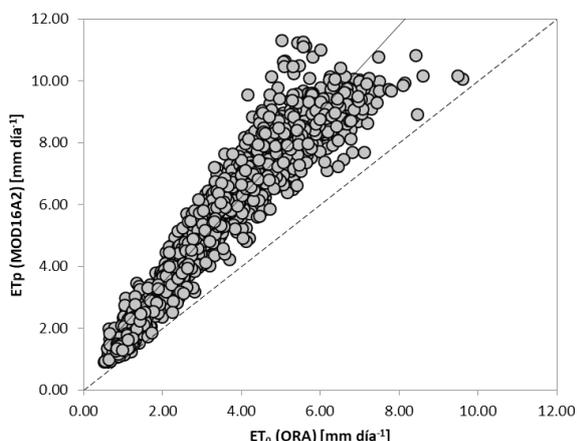


Figura 2. Comparación entre ETp MOD16A2.006 y ET₀ (ORA). La línea llena corresponde a la línea de tendencia, y la discontinua a la relación 1:1.

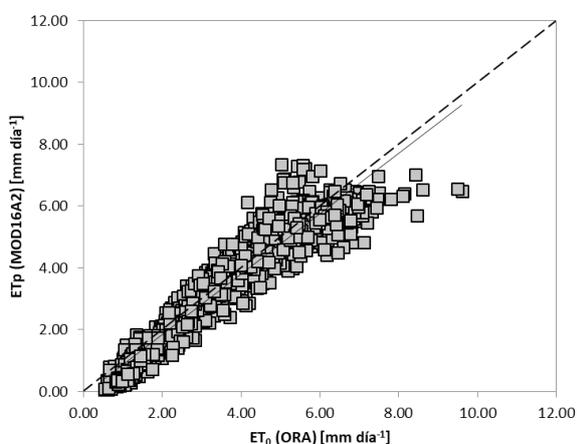


Figura 3. Comparación entre ETp MOD16A2.006 corregido y ET₀ (ORA).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se compararon los datos de ETp del producto de satélite MOD16A2.006 con los de ET₀ medidos *in situ* por la Oficina de Riesgo Agropecuario en la Región Pampeana Argentina en los años 2012, 2013 y 2014. Se encontró que el producto MOD16A2.006 sobrestima la ETp en más de un 50%, por lo que se realizó

una calibración y posterior ajuste sobre los datos de satélite, logrando disminuir el RMSDs en un 75% (de 2,31 a 0,51 mm día⁻¹), el MBE de 2,08 a 0,01 mm día⁻¹ y MAE de 2,08 a 0,37 mm día⁻¹. Se concluye que la versión más actualizada del producto de evapotranspiración potencial MOD16A2 arroja el mismo error sistemático que se observa en trabajos anteriores en la versión 005 en la Región Pampeana Argentina, por lo que se recomienda que, antes de su aplicación directa, se corrobore la existencia de errores sistemáticos, y, en ese caso, corregirlos aplicando la metodología aquí propuesta.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina, al proyecto FONARSEC n° 19, a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y al proyecto CGL2015-64268-R (MINECO / FEDER, UE) del Ministerio de Economía y Competitividad de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) por sus contribuciones. También al Instituto de Hidrología de Llanuras y a la Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires. Finalmente, a la Oficina de Riesgo Agropecuario por proporcionar datos de ET₀ y a la NASA por facilitar los datos del producto MOD16A2.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, A., Flores, H., Crespo, G., Marín, M., Campos, I., Calera, A. 2018. Performance Assessment of MOD16 in Evapotranspiration Evaluation in Northwestern Mexico. *Water*, 10, 7, 901.

Autovino, D., Minacapilli, M., Provenzano, G. 2016. Modelling bulk surface resistance by MODIS data and assessment of MOD16A2 evapotranspiration product in an irrigation district of Southern Italy. 0378-3774/ Elsevier B. V. 86-94.

Carmona, F., Holzman, M., Rivas, R., Degano, M.F., Kruse, E., Bayala, M. 2018. Evaluation of two models using CERES data for reference evapotranspiration estimation, *Revista de Teledetección*. 51, 87-98.

Carmona, F., Rivas, R., Ocampo, D., Schirmbeck, J., Holzman, M. (2011). Sensores para la medición y validación de variables hidrológicas a escalas local y regional a partir del balance de energía. En *Aqua-LAC*, Vol. 3 Nro 1. Revista del programa hidrológico internacional para América Latina y el Caribe. 3, 26-36.

Degano, M.F., 2017. Evaluación del producto de evapotranspiración global MOD16 con medidas *in situ* en la región de la Pampa Húmeda, Argentina. Tesis de Maestría, Facultad de Física, Universidad de Valencia, España. 43 pp.

Tabla 3. Estadísticos para ORA-MOD16A2 original y ORA-MOD16A2 corregido.

	RMSDs [mm día ⁻¹]	MBE [mm día ⁻¹]	MAE [mm día ⁻¹]	a	b [mm día ⁻¹]	R ²
ORA-MOD16A2.006 Original	2,31	2,08	2,08	1,39±0,01	0,67±0,04	0,92
ORA-MOD16A2.006 Corregido	0,51	0,01	0,37	0,92±0,01	0,3±0,03	0,92

- Degano, M. F., Rivas, R., Carmona, F., Faramiñán A., Olivera, P. 2018. Calibración del producto de evapotranspiración potencial “MOD16A2” para la Región Pampeana Argentina. XIV Latin Am. Hidrogeol. Cong., X Hidrogeol. Argent. Cong., VIII Hispano-latín Am. on current issues of underground hydrology Seminary. Salta, Salta, Argentina.
- Degano, M.F., Rivas, R., Sánchez, J., Carmona, F., Niclòs, R., 2019. Assessment of the Potential Evapotranspiration MODIS Product Using Ground Measurements in the Pampas. Proc. IEEE, ARGENCON, Ed. by Fraga, A. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.
- Kim, H., Hwang, K., Mu, Q., Lee, S., M. Choi. 2012. Validation of MODIS 16 global terrestrial evapotranspiration products in various climates and land cover types in Asia. KSCE J. Civil Engineering, 16-2, 229–238.
- Matteucci, S., Rodríguez, A., Silva, M., de Haro, C. 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente. Gráfica Editora. Cap. 12, 341-495.
- Monteith, J., Unsworth, M. 1990. Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, second edition, 291 pp.
- Peschechera, G., Tarantino, E., Fratino, U. 2018. Crop water requirements estimation at irrigation district scale from remote sensing: a comparison between MODIS ET product and the analytical approach. Proc. SPIE- RSCy2018, Paphos, Cyprus, 1-10.
- Ramoelo, A., Majozi, N., Mathieu, R., Jovanovic, N., Nickless, A., Dzikiti, S. 2014. Validation of Global Evapotranspiration Product (MOD16) using Flux Tower Data in the African Savanna. South Africa, Remote Sensing, 6(8), 7406–7423.
- Rivas, R.E., Carmona, F. 2013. Evapotranspiration in the Pampean Region using field measurements and satellite data. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 55–57, 27–34.
- Ruhoff, A.L., Paz, A.R. Aragao, L.E., Mu, Q., Malhi, Y., Collischonn, W., Rocha, H.R., Running, S.W., 2013. Assesment of the MODIS global evapotranspiration using Eddy Covariance measurements and hydrological modelling in the Rio Grande basin. Hydrological Sciences Journal. 58, 1-19.
- Running, S., Mu, Q., Zhao, M. 2017. MOD16A2 MODIS/ Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V006 [Data set] NASA EOSDIS Land Processes DAAC.
- Soegaard, H., Boegh, E. 1995. Estimation of evapotranspiration from a millet crop in the Sahel combining sap flow, leaf area index and eddy correlation technique. Journal of Hydrology, 166(3–4), 265–282.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of Climate. Geographical Review, 38, 55-94.