

COMPARACIÓN Y VALIDACIÓN LOCAL DE PRODUCTOS GEOLAND 2-BIOPAR Y MODIS EN UN ECOSISTEMA DE DEHESA

E. Durá, G. Mendiguren, J. Pacheco-Labrador, D. Riaño y M.P. Martín

*Instituto de Economía, Geografía y Demografía. Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Albasanz 26-28, 28037 Madrid,
E-mail: elia.dura@cchs.csic.es*

RESUMEN

En este trabajo hemos comparado y validado dos productos obtenidos a escala global a partir de los sensores MODIS y VEGETATION, el índice de área foliar (LAI) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). La validación se ha realizado a partir de datos de campo recogidos en una dehesa situada al NE de la provincia de Cáceres. Los resultados obtenidos muestran que los productos VEGETATION desarrollados en el ámbito del proyecto GEOLAND 2-BioPar se ajustan mejor a los datos de campo para la variable LAI ($r^2=0,81$, $RMSE=0,26$), mientras que MODIS captura mejor el NDVI medido en terreno ($r^2=0,91$ y $0,89$, $RMSE=0,02$ y $0,03$, para Terra y Aqua respectivamente).

Palabras clave: Dehesa, VEGETATION 2, MODIS, BioPar, validación

ABSTRACT

In this paper we compared and validated two global products obtained from MODIS and VEGETATION sensors, leaf area index (LAI) and the index of normalized difference vegetation index (NDVI). The validation was carried out using field data collected in a pasture located NE of the province of Cáceres. The results obtained show that the VEGETATION products developed within the project GEOLAND 2-BioPar best fit the data for the variable field LAI ($r^2 = 0.81$, $RMSE = 0.26$), whereas MODIS better capture field measured NDVI ($r^2 = 0,91$ and $0,89$, $RMSE = 0,02$ and $0,03$ for Terra and Aqua, respectively).

Keywords: Dehesa, VEGETATION 2, MODIS, BioPar, validation

1. INTRODUCCIÓN

La validación de las estimaciones obtenidas a partir de sensores remotos sobre el estado y características de la vegetación y la cuantificación de incertidumbres asociadas, resultan fundamentales para garantizar la validez operativa de estos datos en diversas aplicaciones a escalas regionales y globales (Fang *et al.*, 2012).

Se han encontrado errores significativos en productos globales, especialmente en algunos ecosistemas con factores limitantes de temperatura, radiación y agua (Running *et al.*, 2004), que pueden propagarse a otros productos derivados como los relacionados con asimilación o emisión de carbono global (Zhao *et al.*, 2005, Chen *et al.*, 2011).

En anteriores trabajos (Durá *et al.*, 2012) se ha observado infraestimaciones de más de un 50% de Productividad Primaria Bruta (GPP) de los productos MOD y MYD 17A2 de MODIS frente a las mediciones del sistema Eddy Covariance (EC) en un área adehesada. Asumiendo que estas diferencias son consistentes en ecosistemas abiertos similares, y teniendo en cuenta que la superficie de estas formaciones en la Península Ibérica es de 3,5-4 Mha (San Miguel, 1994, Olea *et al.*, 2006), podríamos hablar de una infraestimación entre 12,8 y 14,6 Mt de carbono

fijado al año por los ecosistemas de dehesa en la Península Ibérica por parte de estos productos globales de teledetección.

El producto GPP de MODIS es considerado uno de los productos de teledetección más complejos (Zhao *et al.*, 2005), por combinar una gran diversidad de datos de diferentes fuentes (Running *et al.*, 1999). Entre otros, emplea estimaciones de LAI y de Fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa (fPAR) (MOD15A2) así como el tipo de bioma o cobertura vegetal (MOD12Q1) derivados a su vez de información espectral y datos auxiliares. Este trabajo se ha centrado la validación, no del producto final de GPP, sino de dos de las variables que se incluyen en su cálculo como LAI y NDVI, producto básico del que se deriva el anterior.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se ha llevado a cabo en una zona de dehesa situada en "Majadas del Tiétar" (39°20'41.17''; 0°19'12.03''), al noreste de la provincia de Cáceres (España). Este ecosistema, se compone de dos estratos de vegetación muy bien diferenciados: un estrato arbóreo disperso, donde predomina *Quercus ilex* L.

subsp. *ballota*, y un estrato herbáceo compuesto por una gran variedad de especies típicas de dehesa. El clima es típico mediterráneo, con temperatura y precipitación media anual de 16,7°C y 572 mm, respectivamente. La altitud media sobre el nivel del mar es de 256 m.

La zona de estudio cuenta con una torre de medición de flujos EC incluida en la redes CARBORED y FLUXNET y gestionada por el CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo). Para la comparación y validación de los productos de teledetección se identificaron los píxeles de 250 m y 1km de MODIS y el píxel de 1 km de BioPar centrados en la zona de estudio. Para cada uno se calculó la proporción de cada estrato de vegetación (herbáceo y arbóreo) mediante interpretación visual de una ortofoto PNOA 2006 de 50 cm de resolución espacial. El área de dehesa analizada se caracterizó por tener una superficie de encina próxima al 20% mientras que alrededor de un 80% de la superficie total pertenece al estrato de pasto.

2.2. Productos MODIS

Para este trabajo se han utilizado los productos de MODIS colección 5 (C5), ya que presenta ventajas respecto a la colección 4 (C4) para ecosistemas de arbolado disperso (De Kauwe *et al.*, 2011), disponibles en LP DAAC (<http://lpdaac.usgs.gov/products>).

Los productos de LAI seleccionados son MOD/MYD/MCD15A2, con 1 km de resolución espacial y 8 días de resolución temporal, generados a partir de información procedente de los satélites TERRA, AQUA y una combinación de ambos, respectivamente, así como el producto combinado MCD15A3 con idéntica resolución espacial (1km) pero mayor frecuencia temporal (4 días).

Los productos NDVI son MOD/MYD13Q1 con resolución espacial de 250 m y frecuencia de 16 días, y MOD/MYD13A2 con la misma frecuencia temporal pero con una resolución espacial de 1km.

2.3. Productos BioPar

Los productos BioPar (Biogeophysical Parameters) pertenecen al Core Mapping Services (CMS) de Geoland 2 (<http://www.gmes-geoland.info>). Estos productos están enfocados a la obtención de variables biogeofísicas a nivel local, europeo y global, en tiempo casi real para describir el estado de la vegetación, el balance de radiación en la superficie terrestre y el ciclo del agua (Baret *et al.*, 2007). Los productos GEOV1 Geoland2-BioPar, están basados en las observaciones del sensor VEGETATION a bordo del satélite SPOT (Baret *et al.*, 2007, Verger *et al.*, 2011) e incluyen, entre otros, los productos de LAI y NDVI, generados ambos cada 10 días con una resolución de 1 km.

Son productos validados según los criterios del grupo Land Product Validation (LPV) de CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) (GCOS, 2006).

2.4. Datos de campo

A lo largo de dos años (2009-2011), y con una periodicidad aproximada de 16 días, se muestrearon 8 parcelas de 25 metros de lado distribuidas aleatoriamente dentro del área cubierta por los píxeles MODIS y BioPar seleccionados. En cada una de estas parcelas se estimó el LAI del estrato herbáceo mediante muestreo destructivo. El LAI del dosel arbóreo se calculó a partir de fotografía hemisférica. Más detalles sobre estas mediciones pueden consultarse en Durá *et al.*, 2012. El LAI del ecosistema fue calculado para cada día de muestreo ponderando el LAI de pasto y encina por la proporción de cada estrato en el píxel analizado. Las mediciones espectrales en terreno para el cálculo del NDVI se realizaron en las mismas 8 parcelas utilizando un espectrorradiómetro ASD Fieldspec® 3 (<http://www.asdi.com>). Adicionalmente se realizaron dos campañas de medición de reflectividad de dosel arbóreo utilizando el mismo espectrorradiómetro elevado mediante una grúa Genie TZ-34/20 (Terex Corporation). Los valores de reflectividad de pasto y encina obtenidos, disponibles en intervalos de 1nm, fueron remuestreados utilizando el software ENVI (<http://www.exelisvis.com>). Finalmente los valores de NDVI de pasto y encina fueron ponderados teniendo en cuenta la proporción de cada estrato en los píxeles MODIS y BioPar.

2.5. Métodos para la comparación y validación de productos

Dado que los productos MODIS y BioPar analizados presentan resoluciones temporales y espaciales distintas, para la comparación se le asignó a cada día de campaña de campo el valor del compuesto MODIS y BioPar que incluía en su período el día del muestreo. Se realizaron algunos de los análisis estadísticos propuestos en Richter *et al.* (2012), para la validación de variables derivadas de imágenes de satélite: índices del error medio cuadrático (RMSE), coeficiente de determinación (r^2), el interceptor de la recta de correlación (b), la pendiente de la recta de correlación (m) y el error medio cuadrático relativo (RRMSE).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Índice de Área Foliar

Los valores de LAI medidos en terreno para el conjunto del ecosistema (pasto y encinas) fluctúan entre 0,42 m²/m² en junio de 2009 y 2,55 m²/m² en abril de 2010 (Figura 1), presentando un valor medio de 1,09 m²/m². La evolución temporal del LAI observada se explica por las características del ecosistema, con una pradera de herbáceas anuales que provocan una dinámica muy acusada con valores máximos en primavera y mínimos en verano.

Todos los productos MODIS analizados presentan un valor máximo de 2,1 m²/m² entre los días julianos (DJ)

101-138, excepto MYD15A2, que presenta el valor máximo de 2,1 m²/m² el día juliano 138, produciéndose un retraso de más de un mes en registrar el LAI máximo. Los valores mínimos de MODIS en ningún caso descienden de los 0,6m²/m², valor superior a los mínimos observados en terreno (Figura 1).

Por otro lado, el producto LAI de BioPar, alcanza un valor de 2,23 m²/m² en abril de 2010 y un mínimo de 0,36 m²/m² en septiembre de 2010 (Figura 1). Esto confirmaría las conclusiones del grupo LPV de CEOS según las cuales los productos BioPar son capaces de capturar valores más bajos que MODIS y ajustar de forma similar a este sensor los valores más altos de LAI.

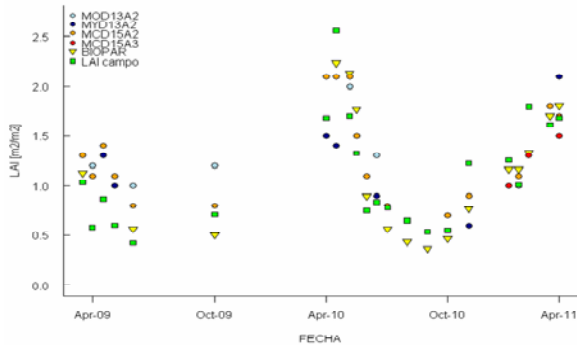


Figura 1. Dinámicas temporales de los productos LAI comparados y los valores medidos en campo.

Los resultados obtenidos muestran un ajuste (r^2) con los datos medidos en terreno de 0,71 y 0,76 para los productos de MOD15A2 y MCD15A2, con RRMSE de 28,9% y 25,3%, respectivamente (Tabla 1). En cambio, los productos de LAI de Aqua (MY15A2) así como el combinado de 4 días (MCD15A3), muestran $r^2 < 0,57$, siendo MYD15A2 el que mayor error relativo presenta con un valor de 35,4% (Tabla 1), debido al desajuste sufrido en la primavera de 2010 (Figura 1).

PRODUCTO	r^2	m	b	RMSE	RRMSE (%)
BIOPAR	0,81	0,83	0,22	0,26	24,6
MOD15A2	0,71	1,07	0,33	0,38	28,9
MYD15A2	0,46	0,84	0,08	0,43	35,4
MCD15A2	0,76	1,02	0,22	0,33	25,3
MCD15A3	0,57	0,80	0,11	0,32	24,9

Tabla 1. Estadísticos de los análisis realizados para cada uno de los productos LAI comparados.

BioPar presenta los mayores ajustes (r^2) y menores RMSE y RRMSE, (0,81, 0,26 y 24,6% respectivamente) (Tabla 1). La relación lineal entre los datos estimados por BioPar y los datos de campo, tiene una pendiente (m) de 0,83 y un interceptor (b) de 0,22, siendo el producto que más se aproxima a la realidad de campo.

3.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Las dinámicas temporales de NDVI de los datos de campo presentan sus máximos entre los días julianos 300 y 140 para los dos años de estudio (0,72 y 0,71 para las áreas de 1000m y 250m); y los mínimos en los

meses de verano (DJ 160-260) con (0,29 y 0,32 para las zonas de 1000m y 250m respectivamente) (Figura 2).

Los cinco productos de teledetección analizados presentan sus máximos y sus mínimos los mismos días que los datos de campo, con valores muy similares entre ellos. BioPar tiene un promedio anual para todo el período de estudio de 0,47, un máximo de 0,64 y un mínimo de 0,28. MOD13A2 y MYD13A2, coinciden con sus parámetros anuales con un promedio de 0,48, un máximo de 0,66 y un mínimo de 0,31. Los productos de 250m de MODIS, presentan valores muy similares también con máximos de 0,68 y 0,69, mínimos de 0,29 y 0,30 y promedios de 0,47 y 0,51 para MOD15Q1 y MYD15Q1, respectivamente (Figura 2).

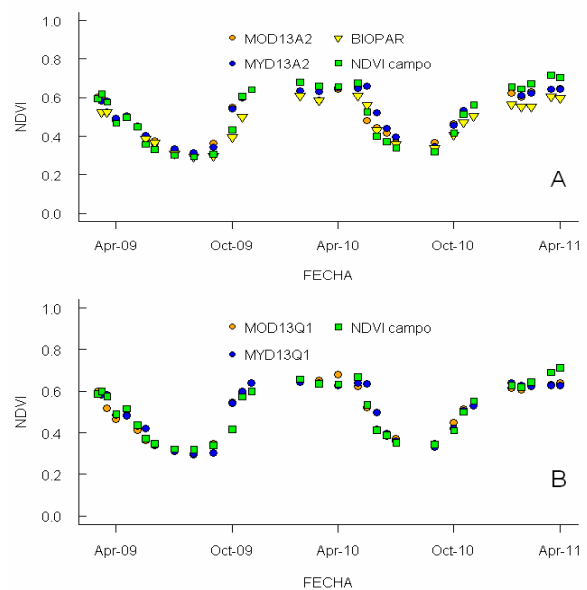


Figura 2. Dinámicas temporales de los productos NDVI. En la figura 2A los productos y datos de campo de 1000m de resolución y en la figura 2B los productos y datos de campo de resolución 250m.

Las correlaciones con los datos de campo son muy altas para todos los productos ($r^2 > 0,89$), siendo BioPar el que mejor ajuste presenta ($r^2 = 0,94$) aunque con el mayor RRMSE (14,1%), debido a la infraestimación sistemática de los valores superiores a 0,5.

Los parámetros estadísticos de correlación más óptimos corresponden a los productos de 250m (MOD13Q1 y MYD13Q1) con r^2 próximas a 0,90, interceptores cercanos a 0, pendientes casi unitarias y RRMSE menores del 8% (Tabla 2).

PRODUCTO	r^2	m	b	RMSE	RRMSE (%)
BIOPAR	0,94	1,36	0,13	0,07	14,1
MOD13A2	0,94	1,26	0,14	0,05	9,5
MYD13A2	0,89	1,19	0,11	0,05	10,3
MOD13Q1	0,91	1,01	0,00	0,04	7,5
MYD13Q1	0,89	0,98	0,01	0,04	8,4

Tabla 2. Estadísticos de los análisis realizados para cada uno de los productos NDVI comparados.

Se observan dependencias en la distribución estacional de los residuales (Figura 3); siendo mayores en verano para los productos MODIS y BioPar, y sólo en invierno para los productos MODIS. Los mayores residuos en verano podrían estar relacionados con las diferencias de NDVI entre el pasto (completamente seco) y el arbolado (perenne) y, en las distintas proporciones cada estrato que el sensor observa en función del ángulo de adquisición. De este modo se maximizaría el impacto de los errores en la corrección de los efectos direccionales cuando las diferencias en la reflectividad de cada estrato son también máximas.

Los residuos altos que presenta DJ 290 en los productos de MODIS, podría deberse quizás a algún problema típico del invierno que puede afectar a la señal y no ha quedado registrado en los *quality flags* de MODIS (problemas atmosféricos, encharcamiento de la superficie, etc.).

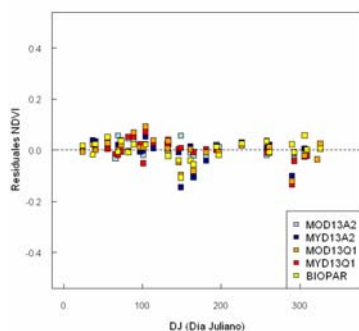


Figura 3. Distribución de los residuales de cada uno de los productos analizados en función del día juliano.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el producto LAI de BioPar ofrece mejores relaciones con los datos de campo que los productos MODIS, obteniendo los mayores ajustes cuadráticos y errores más bajos. Por otro lado el NDVI, insumo en numerosos productos de satélite relacionados con el estudio de la vegetación, (entre ellos de LAI) es mejor capturado por MODIS que por BioPar.

Los errores de los productos de NDVI analizados muestran tendencias estacionales, siendo mayores errores en verano, lo que podría explicarse por la maximización de los errores en la corrección bidireccional cuando las diferencias de reflectividad entre los elementos observados es extrema, lo que de confirmarse, requeriría considerar este factor en la utilización del producto NDVI en estudios realizados sobre este tipo de ecosistemas a escala global.

5. BIBLOGRAFÍA

BARET, F., HAGOLLE, O., GEIGER, B., BICHERON, P., MIRAS, B., HUC, M., ET AL. 2007. *LAI, fAPAR, and fCover, CYCLOPES global products derived from VEGETATION: Part I. Principles of the algorithm.* Remote Sensing of Environment, 110, 3, 275–286.

CHEN, M., ZHUANG, Q., COOK, D.R., PEKOUR, M., SCOTT, R.L., MUNGER, J.W. & BIBLE, K. 2011. *Quantification of terrestrial ecosystem carbon dynamics in the conterminous United States combining a process-based biogeochemical model and MODIS and AmeriFlux data.* Biogeosciences, 8, 2665-2688.

DE KAUWE, M. G., DISNEY, M. I., QUAIFE, T., LEWIS, P., & WILLIAMS, M. 2011. *An assessment of the MODIS collection 5 leaf area index product for a region of mixed coniferous forest.* Remote Sensing of Environment, 115, 2, 767-780.

DURÁ, E., MENDIGUREN, G., PACHECO-LABRADOR, J., MARTÍN, M. P., RIAÑO, D., ET AL. 2012. *Validación de productos MODIS relacionados con la estimación de flujos de carbono en una dehesa.* XV Congreso Tecnologías de la Información Geográfica. Madrid (Spain).

FANG, H., WEI, S., & LIANG, S. 2012. *Validation of MODIS and CYCLOPES LAI products using global field measurement data.* Remote Sensing of Environment, 119, 43.

GCOS, 2006. *Systematic Observation requirements for satellite-based products for climate. Supplemental details to the satellite-based component of the "Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC".* GCOS – 107. WMO/TD No. 1338.

OLEA, L. & SAN MIGUEL-AYANZ, A. 2006. *The Spanish dehesa. A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation.* 21st General Meeting of the European Grassland Federation. Badajoz (Spain).

RICHTER, K., ATZBERGER, C., HANK, T. & MAUSER, W. 2012. *Derivation of biophysical variables from Earth Observation data: validation and statistical measures.* Journal of Applied Remote Sensing, 6, 1, 063557-1 - 063557-23.

RUNNING, S.W., NEMANI, R., GLASSY, J.M., THORNTON, P.E. 1999. *MODIS daily photosynthesis (PSN) and annual net primary production (NPP) product (MOD17). Algorithm Theoretical Basis Document.* (http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod16.pdf).

RUNNING, S.W., NEMANI, R.R., HEINSCH, F.A., ZHAO, M.S., REEVES, M., HASHIMOTO, H. 2004. *A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production.* Bioscience, 54(6), 547-560.

SAN MIGUEL, A. 1994. *La dehesa española. Origen, tipología, características y gestión.* Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid (Spain), 96.

VERGER, A., BARET, F. & WEISS, M. 2011. *A multisensor fusion approach to improve LAI time series.* Remote Sensing of Environment, 115, 2460-2470.

ZHAO, M., HEINSCH, F.A., NEMANI, R.R. & RUNNING, S.W. 2005. *Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global dataset.* Remote Sensing of Environment, 95, 164–176.