

Estimación de la producción de pasto natural a partir de sensores remotos como apoyo a la gestión integral de los ecosistemas de dehesa

Pedro J. Gómez-Giráldez⁽¹⁾, Cristina Aguilar⁽²⁾, Alma García⁽¹⁾, Belén Caño⁽¹⁾, M.Pat González-Dugo⁽¹⁾

⁽¹⁾ IFAPA. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Apdo. 3092 Córdoba. e-mails: pjesus.gomez@juntadeandalucia.es, alma.garcia@juntadeandalucia.es, antoniab.cano@juntadeandalucia.es, mariap.gonzalez.d@juntadeandalucia.es

⁽²⁾ Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología. IIISTA Universidad de Granada, CEAMA, Avda del Mediterráneo s/n, Apdo. 18006 Granada. e-mail: caguilar@uco.es

Resumen: Este trabajo aborda la estimación de la producción primaria neta del pasto natural a escala regional con el uso de sensores remotos de media y baja resolución espacial. La producción primaria neta ha sido estimada mediante una adaptación del modelo clásico de eficiencias de Monteith (1977), aplicado al área de dehesa de Andalucía (1.2 millones de ha) durante el periodo de crecimiento del año hidrológico 2013 - 2014. En este caso, se ha empleado el producto de reflectancia del sensor MODIS con 250 metros de resolución espacial, combinado con datos interpolados espacialmente de la red de estaciones agroclimáticas de Andalucía (RIA) (radiación, temperatura del aire y humedad relativa). Tras la validación de la producción estimada a partir de datos de campo de 7 fincas de la red de dehesas demostrativas del proyecto LIFE+bioDehesa al final del periodo de crecimiento, se obtuvo un error absoluto medio de 98 Kg/ha, equivalente a un 16.5% de error.

Palabras clave: Producción primaria neta, Monteith, MODIS, dehesa

Estimation of net primary production of natural pasture from remote sensing to support the management of dehesa (Oak savannah)

Abstract: This paper is focused on the estimation of net primary production of natural pastures at regional scale, combining remotely sensed data and meteorological information. Primary production was estimated by adapting the classical model of efficiencies of Monteith (1977) to the dehesa area in Andalusia (1.2 million ha) during the growing season of the hydrological year 2013 - 2014. The model has been applied using the reflectance product of MODIS sensor, with 250 meters spatial resolution, combined with spatially interpolated meteorological data from a network of meteorological stations in Andalusia (RIA) (radiation, air temperature and relative humidity). The validation, using ground measurements obtained in seven farms, part of the network of demonstration dehesas of LIFE + bioDehesa project at the end of the growth period, produced an average absolute error of 98 kg / ha, equivalent to 16.5% .

Keywords: Net Primary Production, Monteith model, MODIS, dehesa

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería extensiva es la principal actividad económica sustentada por los pastos mediterráneos. Estas áreas proporcionan importantes servicios ecosistémicos como la prevención de los incendios forestales, la protección del suelo o la conservación de hábitats clave para la biodiversidad, además de poseer valores culturales e históricos importantes. En los últimos años parece observarse una tendencia a la disminución de la producción vegetal de este ecosistema (Giner et al., 2012). Las dehesas cubren alrededor de 3 millones de hectáreas en la Península Ibérica y Grecia. El seguimiento de estas grandes áreas requiere de herramientas eficaces que proporcionen información oportuna y precisa para ayudar a la gestión y toma de decisiones a diferentes escalas. En estas áreas Este trabajo se centra en la estimación de la producción neta de los pastizales a partir de datos obtenidos por sensores remotos.

Los modelos de estimación de la biomasa integrando sensores remotos se han utilizado a menudo en agricultura para proporcionar datos de entrada en los

modelos de cultivos, usados para predecir o estimar el rendimiento de los mismos. Los modelos empíricos son fáciles de aplicar, pero difíciles de extrapolar; los enfoques con una mayor base física, como el modelo de estimación de biomasa de Monteith (1977), permiten incorporar datos remotos, derivando de las imágenes la fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la planta, y combinarlos con información meteorológica para proporcionar estimaciones precisas de biomasa aérea (Padilla et al., 2012). Para la producción de pastos existen varios modelos empíricos (Hobbs, 1995; Henry et al., 2002; Hill et al., 2004; Irisarri et al., 2013). En el sector forestal, hay muchos estudios sobre la producción de biomasa de las plantaciones forestales o bosques homogéneos mezclados con diferentes técnicas, tales como los modelos mecanicistas con sistemas de covarianza de torbellinos, o el uso de inventarios forestales (Van Tuyl et al., 2005). Algunos estudios de este tipo se han realizado en sabanas (Sjöström et al., 2008; Ma et al., 2014). Sin embargo, la estructura particular y compleja del sistema de dehesa, que combina diferentes estratos de vegetación, presenta algunas dificultades en este tipo

de estudios y las experiencias previas son escasas, centrándose en los modelos de producción de pasto general sin sensores remotos (por ejemplo, Haydock y Shaw, 1975).

El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de la teledetección para apoyar el desarrollo de un servicio de asesoramiento en el marco del proyecto LIFE bioDEHESA, lo que puede ayudar a los agricultores y ganaderos a tomar decisiones adecuadas y minimizar los costes de alimentación de animales en sistemas de pastoreo extensivo, evitando a su vez la sobreexplotación de los recursos, y tratando de asegurar la conservación del sistema, pero garantizando la rentabilidad. Para ello, una primera aproximación se ha desarrollado en la zona de dehesa de Andalucía (España) (Figura 1).

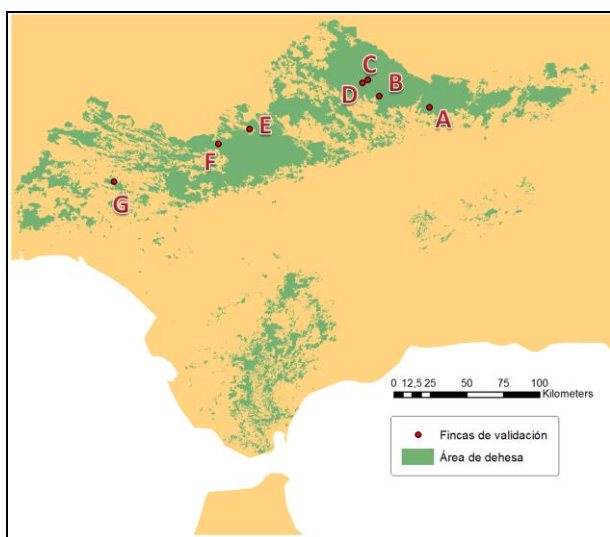


Figura 1. Área de dehesa en Andalucía (fuente: REDIAM) y fincas utilizadas en la validación.

2. MATERIAL Y MÉTODOS.

En primer lugar, se obtuvieron los valores diarios de las variables meteorológicas empleadas en el modelo: radiación solar (R_d), temperatura mínima del aire (T_{min}) y déficit de presión de vapor (DPV) para el período de estudio (año hidrológico 2013-2014). Fueron seleccionadas 18 estaciones meteorológicas pertenecientes a la red de estaciones agroclimáticas de Andalucía (RIA), distribuidas a lo largo de la región. Estas variables se han interpolado espacialmente de la siguiente forma: el IDW (inverso de la distancia) se aplicó directamente para DPV; para T_{min} se utilizó IDW corregido a partir del modelo digital de elevaciones usando un gradiente de $-0,6^\circ\text{C}$ cada 100 metros de altitud; en el caso de R_d , el efecto de las nubes y la atmósfera fue incluido por medio de un índice de claridad (Herrero et al. 2011).

2.1. Adaptación del modelo al ecosistema de dehesa

La estimación de la producción primaria neta se ha obtenido utilizando una adaptación del modelo de Monteith (1977):

$$NPP = \int fAPAR PAR \epsilon dt \quad (1)$$

donde:

- NPP (g / ha): la producción primaria neta
- fAPAR (adimensional): Fracción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación. Se calcula a partir de series de NDVI diarias, basada en productos de reflectancia MODIS (MOD09Q1). Esta estimación utiliza una expresión experimental genérica obtenida para cultivos extensivos por Padilla et al. (2012):

$$fAPAR = 1.14 NDVI - 0.15 \quad (2)$$

Previamente, el valor mínimo anual de NDVI en cada píxel, que se asume correspondiente a la presencia de vegetación arbórea, se resta del valor diario de NDVI. Este mínimo se toma de los valores obtenidos durante el verano, cuando los pastos anuales están secos y la única actividad fotosintética corresponde al arbolado. La estabilidad de este valor durante el año se verificó con medidas de campo con un espectrorradiómetro ASD FieldSpec FR durante la época de estudio, que confirmaron que la región espectral usada en el cálculo de NDVI se puede considerar constante (Andreu, 2014).

- PAR (MJ): la radiación fotosintéticamente activa. Se deriva de los datos totales de radiación solar, proporcionados por los mapas diarios interpolados a partir de los datos de las estaciones meteorológicas, con un factor de reducción de 0.48 por PAR como promedio (Szeicz, 1974).

- ϵ (g / MJ): eficiencia en el uso de luz. Se ha utilizado un valor máximo de 0.6 g / MJ (Running et al., 2000). Este valor constante se modifica de acuerdo a las variables climáticas que reducen la eficiencia de la planta, la temperatura mínima diaria y el déficit de presión de vapor. Se tomaron valores umbrales superiores e inferiores para ambas variables (-8 y 12.02°C para T_{min} ; y 0.65 y 3.5 kPa para VPD) de estudios previos en praderas (Running et al., 2000). Para esta modificación se emplearon los mapas distribuidos de estas variables a partir de los datos de las estaciones meteorológicas.

El modelo se aplicó de enero a junio de 2014, sumando el valor diario obtenido píxel a píxel. Este período fue elegido de acuerdo con el primer evento de lluvia a partir del que se observó un periodo de precipitaciones estable, menor a un mes entre eventos.

2.2. Validación

Para la validación de los resultados se realizaron medidas en campo de la biomasa de pasto seca al final de la época de crecimiento de 2014 en siete fincas de la Red de Dehesas Demostrativas del proyecto LIFE+bioDehesa (Figura 1).

El método escogido para estas medidas fue el de asignación de categorías con muestreo doble (*Comparative yield method*, de Haydock y Shaw, 1975). En este método se seleccionan tres zonas de referencia en el pasto donde se asigna una categoría de 1 a 3, de menor a mayor producción de pasto. Se realiza un muestreo visual de al menos 30 puntos en el que se asigna una de las categorías a cada parcela de muestreo.

Finalmente se obtiene el peso seco equivalente a una parcela de cada categoría y se establece una producción media de la zona.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 2 muestra un ejemplo de la interpolación espacial diaria para las variables meteorológicas empleadas (Rd, Tmin y DPV).

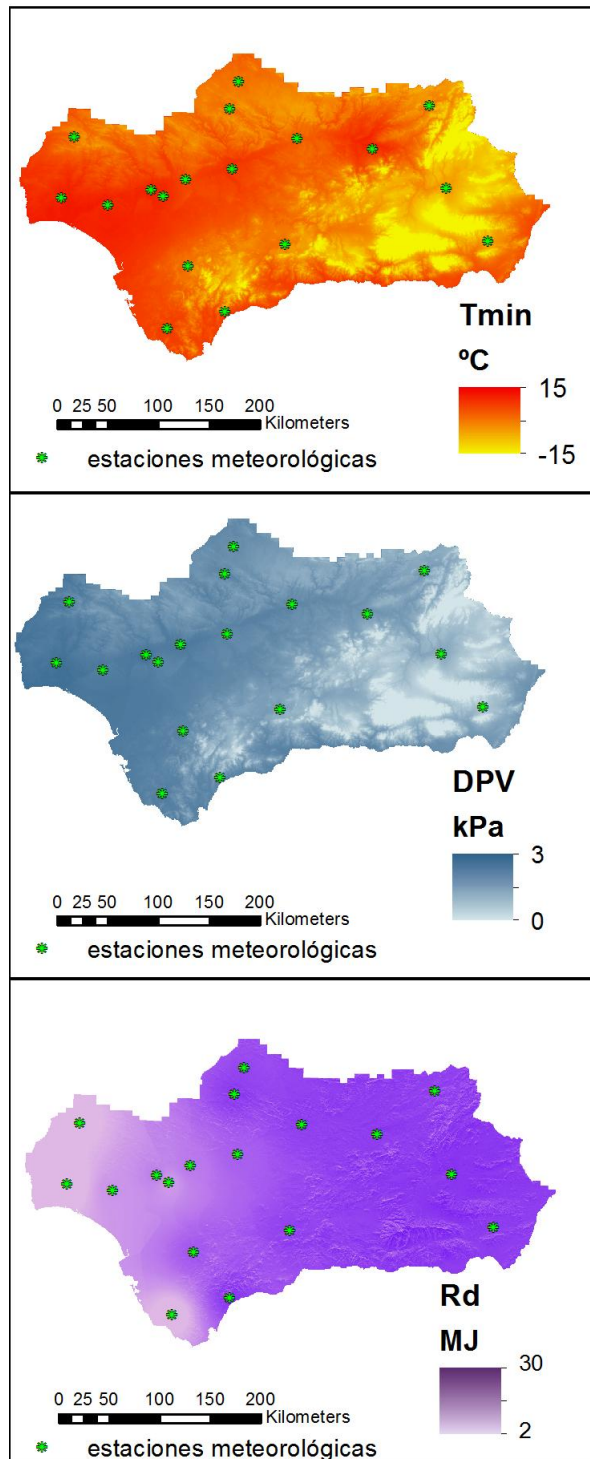


Figura 2. Ejemplo de datos interpolados espacialmente de Tmin, DPV y radiación (18/04/2014) y estaciones meteorológicas usadas.

La figura 3 muestra el resultado de la producción primaria neta acumulada durante el periodo de estudio.

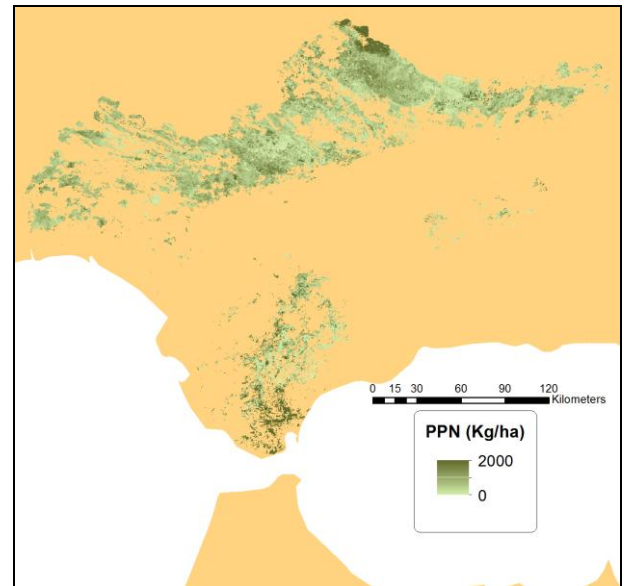


Figura 3. Producción primaria neta acumulada durante el periodo de crecimiento del pastizal (Enero a Junio de 2014).

Los resultados de la validación con datos de campo se muestran en la Figura 4. Las estimaciones presentan un error absoluto medio (MAE) de 98 kg/ha, que representa un 16.5 % de error.

Este error en la estimación de la biomasa se considera satisfactorio para aplicaciones agrícolas (Jamieson et al., 1991, Bannayan y Hoogenboom, 2009 y Dettori et al., 2011), y también parece suficiente para el seguimiento de los pastos.

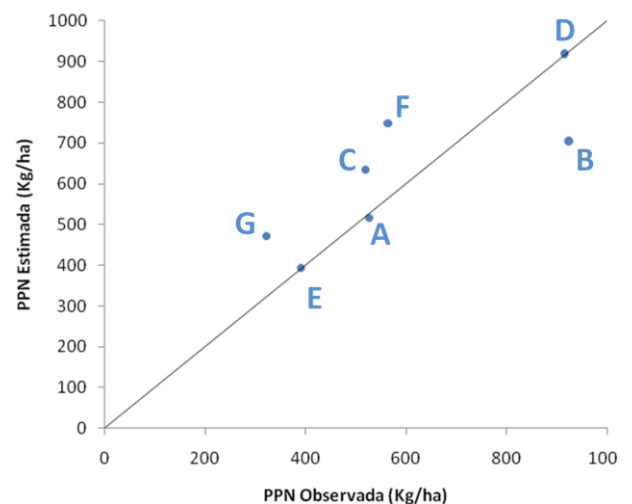


Figura 4. Producción primaria neta estimada vs producción primaria neta observada en los puntos de validación.

4. CONCLUSIONES

El modelo de Monteith, usado para la estimación de la producción de pasto en dehesa a partir de imágenes de resolución espacial media y datos meteorológicos, ha presentado un error admisible, del 16.5%.

Esta estimación se considera adecuada para la escala y objetivos de las potenciales aplicaciones en la gestión de los pastos. No obstante, se deberá profundizar en el uso en la eficiencia de la luz para rebajar el error estimado, atender a otras variables como las características del suelo y la evaluación del modelo en situaciones extremas de alta y baja producción. Por otro lado, el uso de este modelo en zonas con una presencia de formaciones leñosas de características diferentes a las estudiadas aquí, tales como árboles de hoja caduca o matorral, con mayor variabilidad espectral a lo largo del año, requeriría una adaptación específica que debería ser tenida en cuenta en futuros estudios.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Andreu, A., 2014. *Water monitoring in vegetation covers through multi-scale energy balance modelling using time series of remotely sensed data*. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba.
- Bannayan, M. & Hoogenboom, G, 2009. *Using pattern recognition for estimating cultivar coefficients of a crop simulation model*. Field Crops Research. 111, 290-302.
- Dettori, M., et al. 2011. *Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy*. Field Crops Research. 120, 179-188.
- Giner, C., et al., 2012. *Tendencias en el verdor de la vegetación y en la producción primaria bruta de las áreas forestales en la España peninsular (2000-2009)*. Revista de Teledetección. 38, 51-64.
- Haydock, K.P. & Shaw, N.H., 1975. *The comparative yield method for estimating the dry matter yield of pasture*. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 15, 663-670.
- Henry, D.A., et al., 2002. *Monitoring pastures using satellite remote sensing*. Australian Society Animal Production. 24.
- Herrero, J., et al. 2011. *WiMMed. Base teórica*. Grupo de Dinámica de Flujos Ambientales, (Universidad de Granada) y Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología, (Universidad de Córdoba), Granada, disponible en: http://www.uco.es/dfh/images/stories/20110614%20wimmed_teorial.pdf
- Hill, M.J., et al., 2004. *Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data*. Remote Sensing of Environment. 93, 528-545.
- Hobbs, T.J., 1995. *The use of NOAA-AVHRR NDVI data to assess herbage production in the arid rangelands of Central Australia*. International Journal of Remote Sensing. 7(16), 1289-1302.
- Irisarri, J. G. N., et al., 2013. *Monitoring the Ecosystem Service of Forage Production*. Earth Observation of Ecosystem Services. 5, 87-103.
- Jamieson, P.H., et al. 1991. *A test of the computer simulation model ARCWheat on wheat crops grown in New Zealand*. Field Crops Research. 27, 337-350.
- Ma, X., et al. 2014. *Parameterization of an ecosystem light-use-efficiency model for predicting savanna GPP using MODIS EVI*. Remote Sensing of Environment. 154, 253-271.
- Monteith, J., 1977. *Climate and efficiency of crop production in Britain*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. B: 277-294.
- Padilla, F.L.M., et al. 2012, *Monitoring regional wheat yield in Southern Spain using the GRAMI Model and satellite imagery*. Field Crops Research. 130, 145-154.
- Running, S.W., et al. 2000. *Global terrestrial gross and net primary productivity from the Earth Observing System*. Methods in Ecosystem Science. O. Sala, R. Jackson and H. Mooney. New York, Springer Verlag: 44-57.
- Sjöström, M., et al. 2009. *Evaluation of satellite based indices for gross primary production estimates in a sparse savanna in the Sudan*. Biogeosciences. 6, 129-138.
- Szeicz, G., 1974. *Solar radiation for plant growth*. Journal of Applied Ecology. 11, 617-637.
- Van Tuyl, S., et al. 2005. *Variability in net primary production and carbon storage in biomass across Oregon forests—an assessment integrating data from forest inventories, intensive sites, and remote sensing*. Forest Ecology and Management. 209, 273-291.