

Aplicaciones de imágenes MODIS para la estimación de materia seca disponible en pastizales extensivos

F. Leco Berrocal¹, A. B. Mateos Rodríguez²

¹ Grupo de Estudios sobre Desarrollo Rural y Local en Espacios de Frontera (GEDERUL). Instituto de Investigación en Patrimonio (I-PAT). Universidad de Extremadura.

² Grupo de Investigación Geoambiental. Universidad de Extremadura.

fleco@unex.es, abmateos@unex.es

RESUMEN: Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación “Desarrollo de un Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) para la gestión cooperativa de explotaciones ganaderas de ovino en régimen extensivo” (Ref. PCJ1009) financiado por el Gobierno de Extremadura, conjuntamente con varias empresas del sector productivo ganadero ovino de Extremadura. En el mismo, desde una óptica multidisciplinar, transversal y netamente aplicada, dado su carácter de transferencia de investigación a las empresas mencionadas, se han llevado a cabo estudios en los que, a partir de la información de partida proporcionada por el sensor MODIS (Producto MOD09A1), se han diseñado ecuaciones de predicción para el cálculo de los volúmenes de materia seca del pasto.

Este producto MODIS proporciona una información detallada sobre la estimación de reflectancia espectral de la superficie, ofreciéndonos 7 bandas con una resolución espacial de 500 metros, suficiente como para afrontar los cálculos propuestos a nivel de explotación ganadera que, en este caso, ha sido la unidad básica de información. En este sentido, las explotaciones ganaderas de referencias se localizan en La Serena (Badajoz, España), caracterizadas por la explotación ovina extensiva sobre pastizales desarbolados.

Las ecuaciones de regresión utilizadas han sido el modelo de mínimos cuadrados parciales (*Partial Least Squares*). En el caso que nos ocupa los valores de R^2 obtenidos en el cálculo de la materia seca (Kg/Ha) han sido cercanos al 70%.

Palabras-clave: ganado ovino, La Serena, materia seca, teledetección, sensor MODIS.

1. INTRODUCCIÓN

La materia seca disponible es un factor determinante para la gestión técnica de las explotaciones ganaderas en régimen extensivo. Ésta depende de factores, físicos o humanos, que modifican o alteran los volúmenes de producción anual (López, 1995). Por un lado, dentro de los factores físicos destacan, entre otros, la estructura y composición de los suelos, la orografía y las pendientes, así como la dinámica que puedan mantener las variables termoplumiométricas en intervalos de tiempo amplios, así como la marcada variabilidad mensual e interanual de las precipitaciones (Leco, 1994-1995; Granda, 1981).

Por otro lado, entre los factores humanos destaca sobremanera la gestión ganadera en las diferentes explotaciones (López, 1992), así como la presión de la ganadería sobre la producción herbácea anual (López et al., 1982). Por ello, es de suma importancia para los agrosistemas pastorales extensivos los niveles de carga ganadera que actúen sobre las explotaciones (Olea et al., 1983; Pérez et al., 1984). Estos niveles se situaban en la década de los ochenta en 0,2 UGM/Ha (Escribano et al, 2001), no obstante en los últimos años esos niveles han alcanzado cerca de 0,4 UGM/Ha en las explotaciones ganaderas extensivas de Extremadura.

Al mismo tiempo, y en otro orden de cosas, los costes de alimentación ganadera han aumentado sobremanera en los últimos años (Fantova et al., 2013), ello ha dado lugar, en casos como el que nos ocupa, a la gestión cooperativa de rebaños de ovino lo cual repercute de manera positiva en los resultados económicos. En el caso extremeño, la mayor parte de la producción cárnica ovina está basada en la explotación extensiva sobre pastizales desarbolados, básicamente ligada a zonas desarboladas como La Serena (Badajoz) y los Llanos de Cáceres (Cáceres).

Bajo estas premisas es indispensable conocer en tiempo real la disponibilidad de pasto ya que es una ayuda importante para la gestión de las explotaciones, y de este modo poder establecer con criterios técnicos

cargas ganaderas apropiadas a la capacidad de carga real del territorio, además podría posibilitar una gestión anticipada de la compra de suplementos nutritivos, con la ventaja económica que conlleva.

Por otra parte, el empleo de la teledetección espacial para aplicaciones sobre la biomasa vegetal han tenido una rápida expansión en los últimos años (García et al., 2006), al tiempo que uno de los limitantes operativos más importantes, hasta ahora, han sido la utilización de índices de vegetación derivados de una relación matemática sencilla entre algunas bandas espectrales (Huete et al., 2002; Yebra, M. y Chuvieco, E. 2008). Teniendo en cuenta estos aspectos ha sido posible construir ecuaciones de regresión sencillas utilizando, por un lado, los índices de vegetación y, por otro lado, una variable dependiente como es la biomasa vegetal.

Cabe significar, en cualquier caso, que esta modelización a partir de regresiones tiene dos limitaciones importantes: una, la necesidad de elaborar modelos ad hoc para cada territorio y tipo de biomasa y, dos, tratar de utilizar toda la información espectral primaria disponible del sensor utilizado además de los índices de vegetación.

En este trabajo abordaremos la aplicación de imágenes satelitales (MODIS Producto MOD09A1) sobre explotaciones ganaderas extensivas de ovino en pastizales desarbolados, aplicados concretamente a la comarca pacense de La Serena (Badajoz), utilizando modelos de regresión multivariantes que permitan utilizar la totalidad de la información espectral disponible.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. El territorio de referencia: caracterización y localización geográfica

La comarca de La Serena se localiza en el centro-este de la provincia de Badajoz, ocupando una extensión superficial de 223.000 ha, y está integrada por los siguientes municipios: Benquerencia de la Serena, Cabeza del Buey, Capilla, Castuera, Esparragosa de la Serena, Higuera de la Serena, Malpartida de la Serena, Monterrubio de la Serena, Peñalsordo, Quintana de la Serena, Valle de la Serena, Zalamea de la Serena y Zarza-Capilla.

Limita al nor-noreste con los Montes de Toledo, al oeste-noroeste con las Vegas Altas del Guadiana, al suroeste con Tierra de Barros, al sur con la Campiña Sur y, al este, con las provincias de Ciudad Real y Córdoba.

Es una comarca ciertamente llana que se asienta sobre materiales muy antiguos y erosionados del primitivo Macizo Hespérico. Predominan los suelos de la clase pardo-meridionales y xeroranker sobre pizarras y grauwas (Orden: Inceptisol; Suborden: Ochrept; Grupo: Xerochrept), con un contenido de materia orgánica muy bajo, una relación carbonatos-nitrógenos también baja (<12), una textura franco-arenosa, totalmente descarbonatados, una escasa profundidad y un drenaje medio en líneas generales. Estos suelos ocupan aproximadamente el 42% de los suelos de la comarca. Sin embargo, son comunes en el Centro y en el nor-noreste de la comarca suelos de la clase Roglehm y Braumlehm sobre pizarras que, aun perteneciendo al mismo Orden, Suborden y Grupo que los anteriores, presentan una textura arcillosa, una profundidad alta y un buen drenaje. En este caso, estos suelos ocupan el 32% de la comarca.

En la zona sur-suroeste aparecen suelos de la clase pardo meridionales sobre rocas intrusivas y material granítico (Orden: Inceptisol; Suborden: Ochrept; Grupo: Xerochrept). Presentan una textura franco-arenosa, una profundidad mediana y un drenaje medio. Su presencia es importante en esta zona de la comarca si bien su dimensionamiento superficial apenas si alcanza el 17%.

Por otro lado, la topografía de la comarca es suavemente ondulada con altitudes que oscilan entre los 300 y 500 m de altitud, perteneciendo al piso bioclimático mesomediterráneo seco y con unas precipitaciones escasas e irregulares en su distribución anual e interanual que se sitúan entre los 350 y 450 mm/año.

Ciertamente, los pastos naturales de La Serena ocupan los suelos más pobres y se caracterizan por una baja producción herbácea anual e interanual, muy ligada casi siempre a la pluviometría. La variabilidad pluviométrica provoca fuertes diferencias productivas estacionales y anuales, siendo la producción más elevada en primavera (aproximadamente un 70% del total anual), y más escasa en otoño y casi nula en invierno debido a las bajas temperaturas.

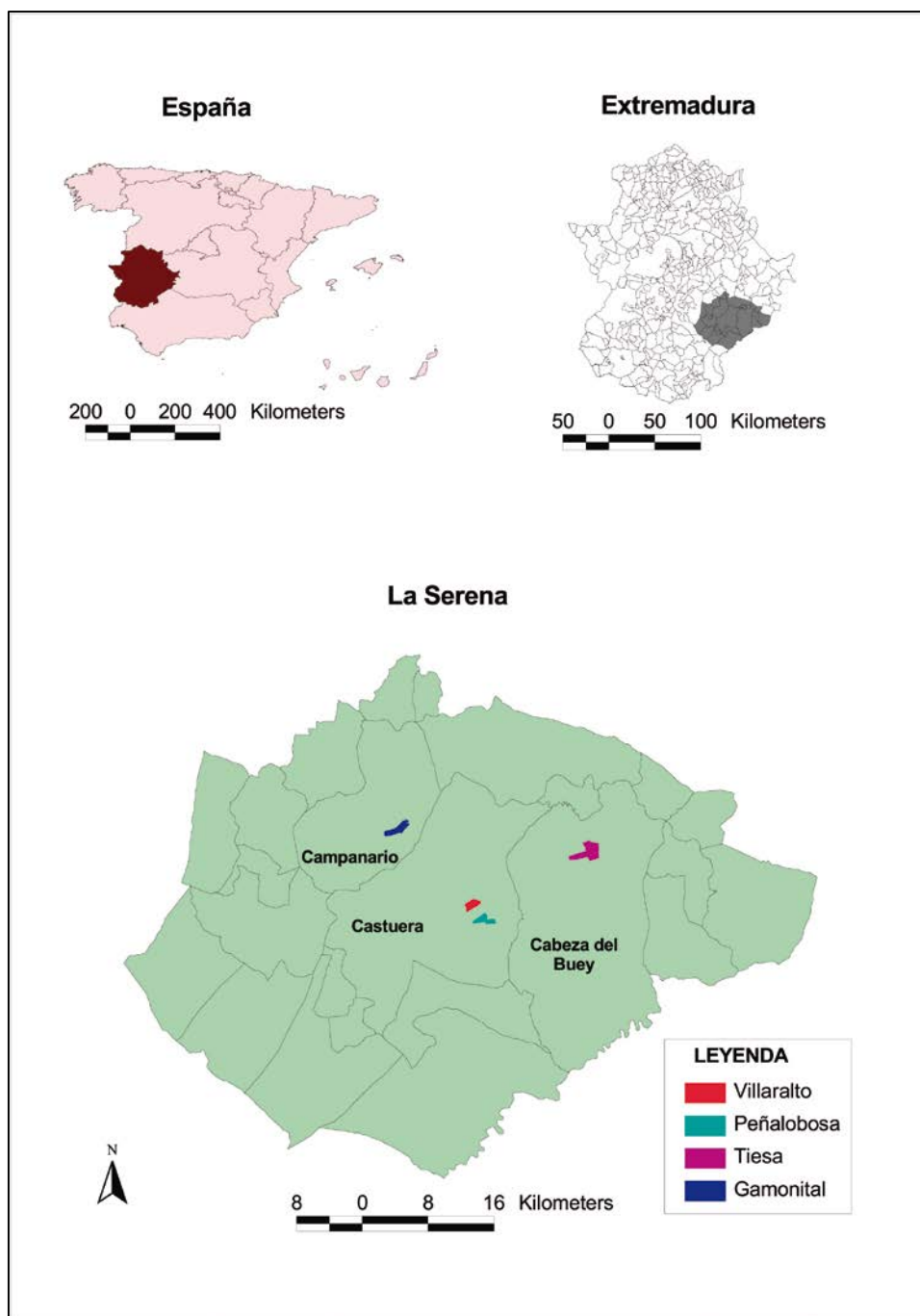


Figura 1. Localización geográfica de las fincas-piloto

En todo caso, esta variabilidad pluviométrica es muy acusada entre años y se encuentra estrechamente correlacionada con la pluviometría (Olea et al., 1989). Históricamente, estos pastos de bajo potencial productivo, se han originado como consecuencia de los sistemas de aprovechamiento, el pastoreo abusivo y las labores agrícolas, inadecuadas en muchos casos, que han sido y son las principales causas de degradación.

Por tanto, se trata de una comarca básicamente ganadera, por ello predominan las tierras no labradas y los pastos permanentes (50,7% de la superficie total de las explotaciones), si bien existe una agricultura extensiva, de apoyo a la ganadería, basada en el cultivo de cereales y leguminosas que suponen el 67,8% de las explotaciones y el 42,1% del total de la superficie agraria útil. En todo caso, son los pastos y pastizales permanentes aquellos que tienen mayor dimensionamiento superficial, alcanzando un total de 82.693 ha (Censo Agrario de España, 2009).

Además en La Serena, desde el punto de vista agrario, predominan las explotaciones ganaderas extensivas de orientación básicamente ovina; esta cabaña ovina alcanza el 87,6% del total de la cabaña ganadera en La Serena y supone el 12,3% de la cabaña ovina de Extremadura (cifrada ésta según el Censo Agrario de España de 2009 en 3.395.638 ovejas). En este sentido, también hemos de reseñar que ese 12,3% de la cabaña ovina se concentra en sólo el 0,9% de las explotaciones, ello da idea de los valores ciertamente altos de las cargas ganaderas, ya que la media se establece en 716 ovejas por explotación.

2.2. Muestreos de campo

La determinación de la cantidad de pasto existente en el momento del muestreo se realizó mediante el *método de los rangos* (Gómez, 2008). Esta metodología permite obtener un elevado número de observaciones georreferenciadas de disponibilidad real de pastos, siendo las muestras proporcionales al tamaño de las cercas de manejo de los animales en las explotaciones.

Las observaciones puntúan visualmente la abundancia de pasto en una escala determinada 1-5 (1=mínimo; 5= máximo), adaptada al momento en el que se realiza el control. La cantidad de materia seca se determina mediante sendas muestras de los puntos de la escala recogidas *in situ* a partir del muestreo de un cuadrado de 0,5 m de lado que, posteriormente, se secan en estufa.

De esta manera es posible determinar el contenido de materia seca de cada uno de los puntos de la escala y ajustar el resultado a una recta de regresión del tipo: $g\ MS = a + b\ Puntuación$. La puntuación es la media asignada al territorio/cerca de manejo tras un recorrido programado y representativo del conjunto (transecto). A partir de los $g/0,25m^2$ se determina la cantidad disponible por ha (Tabla 1).

La recogida de muestras se realizó en las explotaciones colaboradoras y de referencia en el proyecto (Gamonital, Peñalobosa, Villaralto y La Tiesa) con una periodicidad de 30 días desde diciembre de 2012 hasta diciembre de 2014. En el caso que nos ocupa esas muestras corresponden a la explotación de Gamonital y a sus 11 cercas de manejo durante todo el año 2014.

En conjunto se llevaron a cabo 2.729 muestras de campo distribuidas en 12 meses y 11 cercas de manejo de la explotación que, posteriormente, dieron lugar a 132 observaciones medias (1 para cada cerca y en cada mes).

La explotación de Gamonital tiene una superficie de 257 ha, algo por debajo de la media de las explotaciones ovinas extensivas de La Serena, pero sin embargo soporta una carga ganadera ciertamente elevada, en torno a 1.100 ovejas madres reproductoras y 50 carneros.

Por ello es de vital importancia la gestión técnica que se realice de los recursos pastables, tratando de aprovecharlos al máximo y, al mismo tiempo, procurando que la presión ganadera no sea perjudicial para las condiciones estructurales del binomio suelo-vegetación.

Tabla 1. Ejemplo de muestreo y escala de datos. Explotación: Gamonital (23/01/2014) (Nº de observaciones totales de la fecha indicada: 281).

Escala	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	% Materia seca	kg de MS/ ha
1	12,0	7,7	64,2	308
2	24,0	13,3	55,4	532
3	48,6	49,6	49,6	964
4	60,3	66,2	66,2	1.596
5	81,2	60,0	60,0	1.948

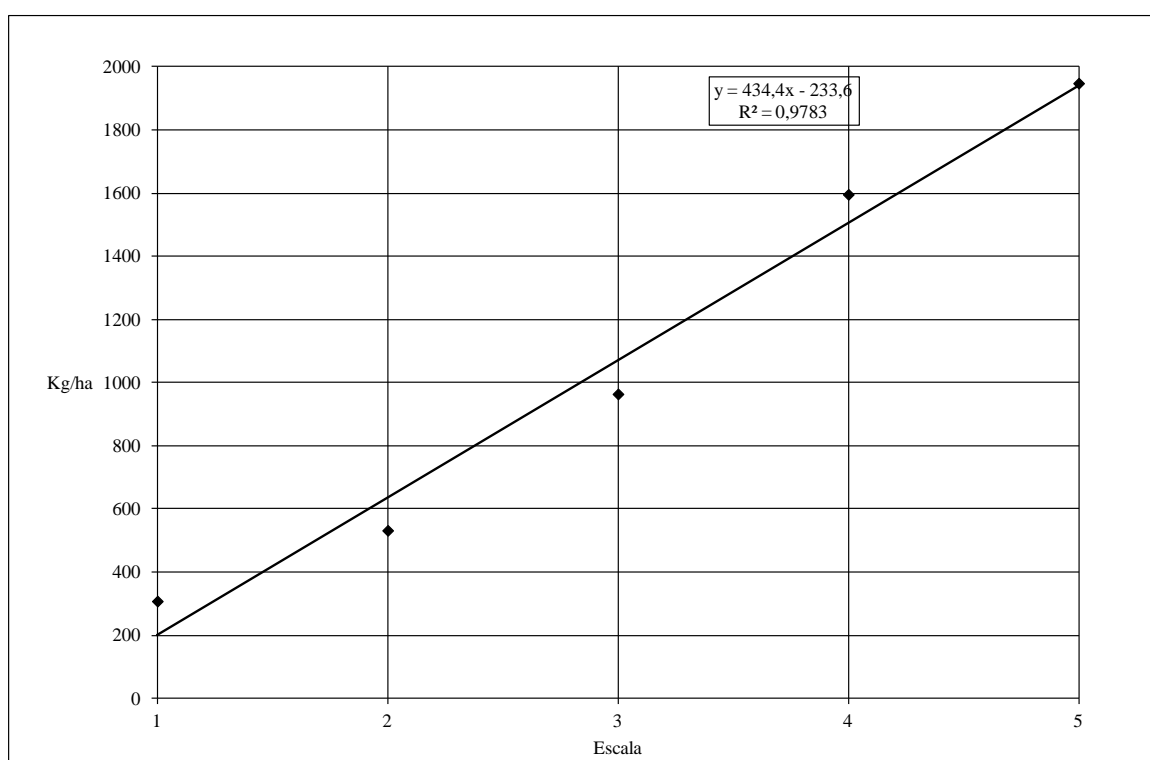


Figura 2. Representación gráfica de la escala de datos mediante regresión lineal simple.

2.3. La información satelital

Para llevar a cabo el trabajo se utilizó la información del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Los sensores MODIS, situados a bordo los satélites TERRA y AQUA, proporcionan una adecuada cobertura espacial y cadencia temporal (Opazo, S. y Chuvieco, E. 2007).

Por otro lado, su adquisición, a través de USGS Glovis (<http://glovis.usgs.gov/>) es gratuita y presenta diferentes niveles de procesamiento, en nuestro caso nos decidimos por el producto MOD09A1. Este producto ofrece la información de la Superficie de Reflectancia para cada 8 días, Nivel Tres de Procesamiento (L3) y una resolución espacial de 500 m. La reflectancia corresponde a siete bandas espectrales, que abarcan desde el visible hasta el infrarrojo (Tabla 2).

A partir de los niveles digitales de las siete bandas primarias, se calculan otros seis índices de vegetación derivados: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*); NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*); Green-NDVI; EVI (*Enhanced Vegetation Index*); NDWI (*Normalized Difference Water Index*), (Huete et al., 2002). Los niveles digitales asignados a cada cerca de manejo se corresponden con una media ponderada de la superficie de los píxeles implicados.

Tabla 2. Datos básicos del Producto MOD09A1 de MODIS. (Fuente: Elaboración propia a partir de Walz, Y. et al., 2007).

Bandas	Reflectancia (nm)	Resolución (m)	Aplicaciones
VIS Red	620-670	250	Clorofila, cobertura de la tierra
NIR	841-876	250	Clorofila, cobertura de la tierra
VIS Blue	459-479	500	Diferencias entre el suelo y la vegetación
VIS Green	545-565	500	Verdor de la vegetación
SWIR 1	1230-1250	500	Diferencias en el follaje
SWIR 2	1628-1652	500	Mapeo de vegetación
SWIR 3	2105-2155	500	Diferencias en el suelo

Tabla 3. Índices de Vegetación utilizados. (*) Coeficientes EVI: L=1; C1 = 6; C2 = 7,5.

Índices de Vegetación	Formulación
NDVI	$(\text{NIR} - \text{VIS Red}) / (\text{NIR} + \text{VIS Red})$
SAVI	$[(\text{NIR} - \text{VIS Red}) / (\text{NIR} + \text{VIS Red} + \text{L})] (1 + \text{L})$
NDMI	$(\text{NIR} - \text{SWIR1}) / (\text{NIR} + \text{SWIR1})$
Green-NDVI	$(\text{NIR} - \text{VIS Green}) / (\text{NIR} + \text{VIS Red})$
EVI (*)	$2,5 [(\text{NIR} - \text{VIS Red}) / (\text{NIR} + \text{C1} \times \text{VIS Red} - \text{C2} \times \text{VIS Blue} + \text{L})]$
NDWI	$(\text{NIR} - \text{SWIR3}) / (\text{NIR} + \text{SWIR3})$

2.4. El modelo de predicción

La relación entre las 13 variables predictoras (7 bandas originales y 6 compuestas por los índices expresados anteriormente), conjuntamente con la variable dependiente (kg ms/ha), se ha realizado mediante regresión multivariante por mínimos cuadrados parciales (PLS), siendo el número total de casos de n=14.

Tabla 4. Ejemplo de la matriz de puntuaciones original. Siendo, “X1” el número de la cerca de manejo y “(01/14)” el mes correspondiente al año.

Cercas	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	NDVI	SAVI	NDMI	Green-NDVI	EVI	NDWI	Ms kg/ha
X ₁ (01/14)	1036	3308	521	1103	1036	3588	1855	0,52	0,26	-0,04	0,50	1,01	0,28	678
X ₂ (01/14)	1003	3479	489	1099	1003	3563	1853	0,55	0,27	-0,01	0,53	1,06	0,30	636
X _n ...	937	3876	453	1111	937	3528	1701	0,61	0,30	0,04	0,57	1,20	0,39	269
X ₁₁ (01/14)	991	3725	470	1129	991	3502	1799	0,58	0,29	0,03	0,55	1,11	0,34	371
X ₁ (02/14)	740	2758	324	805	3230	2729	1416	0,57	0,28	0,00	0,55	1,05	0,32	437
X _n ...	697	2834	306	785	3387	2547	1358	0,60	0,30	0,05	0,58	1,13	0,35	529
X ₁₁ (12/14)	573	3197	270	746	3311	2104	933	0,69	0,34	0,20	0,65	1,42	0,54	1114

Para la realización de dicha regresión las variables fueron tipificadas expresando las mismas en desviaciones respecto a la media, evitando de esta manera problemas derivados de la escala. La normalización de variables se realiza dividiendo el valor original de cada variable y cada caso por la desviación típica de esa variable para el conjunto de los casos. Así todas las variables se encuentran en el mismo orden de magnitud, con independencia de las unidades de medida originalmente utilizadas, de manera que a la hora de realizar el PLS todas las variables tienen un “equilibrio de fuerzas” matemático, y las de mayor valor absoluto en unidades de medida no pesan más que las que tienen menos valor numérico.

Básicamente el proceso consiste en reducir el número de variables predictoras mediante un análisis de componentes principales y, posteriormente, realizar un proceso de regresión lineal múltiple de los nuevos componentes o factores obtenidos (Burns y Ciurczak, 2008; Martens y Naes, 1989).

El sistema de validación empleado ha sido una validación cruzada completa. Como indicador de la calidad del modelo se ha utilizado el valor de R², que viene a ser, en tantos por uno, el porcentaje de la varianza total explicado por el modelo. El software utilizado ha sido *The Unscrambler x-10.3* (Camo, 2014).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el ACP (*Análisis en Componentes Principales*) son más que aceptables, ya que los dos primeros componentes (para un total de 3) alcanzan a explicar el 91% de la varianza total. De tal modo que, al ser representados gráficamente ambos componentes, observamos como las observaciones tenían una distribución lógica en el espacio de representación, mostrando, curiosamente, una diferenciación en el plano casi perfecta entre los valores espectrales de los meses secos (peso negativo en PC1) y los valores espectrales de los meses húmedos (peso positivo en PC1). Por tanto, teniendo en cuenta que el número de componentes resultantes del ACP es de 3, ello significa que estamos hablando de un modelo robusto y poco

susceptible al ruido, es decir ciertamente estable (Westad et al., 2013).

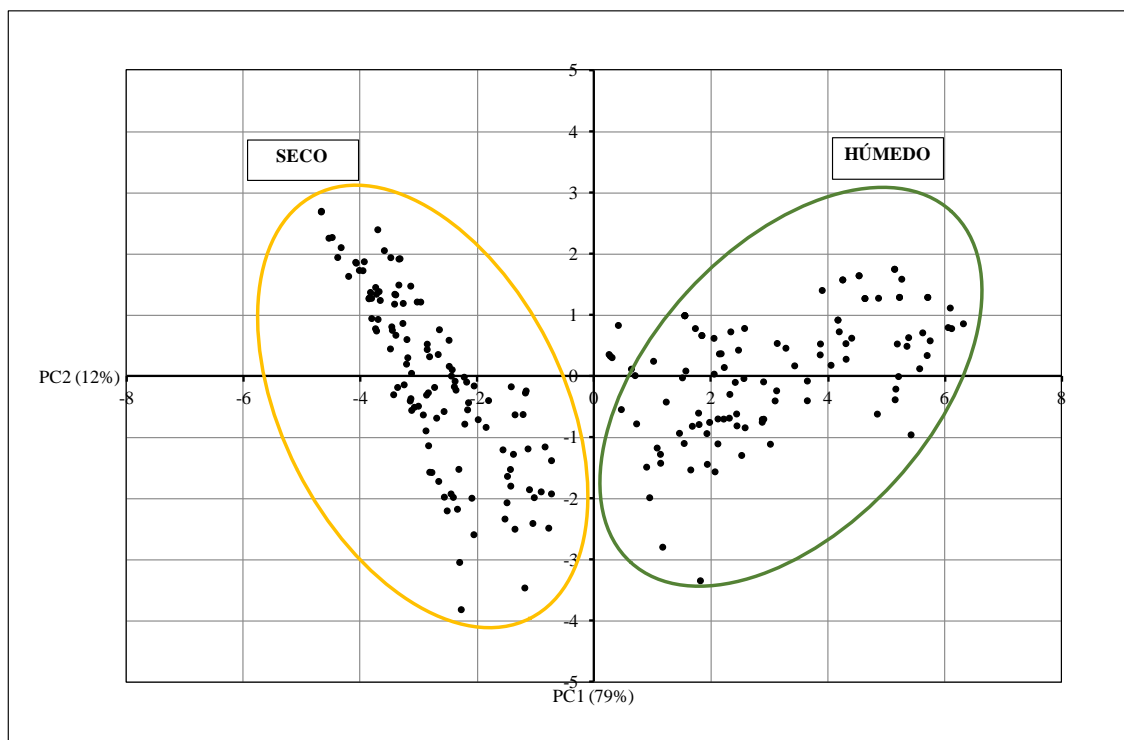


Figura 3. Representación gráfica de PC1 y PC2.

Una vez realizado el ACP, procedimos, como mencionamos anteriormente, a realizar la regresión lineal múltiple de los nuevos componentes obtenidos, en nuestro caso sólo llevamos a cabo la regresión del PC1 ya que éste asumía un 79% de la varianza total. Los resultados son los siguientes:

Tabla 5. Estadísticos R^2 del modelo para la estimación de materia seca (kg/ha)

<i>Parámetros</i>	<i>Valores</i>
Nº de muestras válidas (n)	91
Correlación	0,856
R^2 (Pearson)	0,733
R^2 (Validación)	0,693

Los resultados obtenidos para la estimación de la materia seca están por encima de los indicados por otros autores a partir de modelos basados exclusivamente en índices (Boschetti et al, 2007; Di Bella et al., 2005), y son del mismo orden a los escasos modelos basados en regresiones multivariantes y obtenidos con espectrorradiómetros manuales a nivel de campo, que siempre aportan mayor precisión: R^2 para proteína igual a 0,62 y para la celulosa 0,72 (Thulin et al., 2012).

En conclusión, el conjunto de estos resultados es prometedor ya que pueden permitir monitorizar, partiendo de recursos y materiales gratuitos, la situación del pasto en un determinado territorio y con una precisión más o menos razonable. La disponibilidad en este sentido de biomasa pastable, unida en un futuro a la calidad del pasto, permitirá una aproximación al cálculo de la energía neta disponible (UFL/Kg MS), a la carga ganadera soportable y, en definitiva, a una mejora en la gestión de los rebaños en pastoreo.

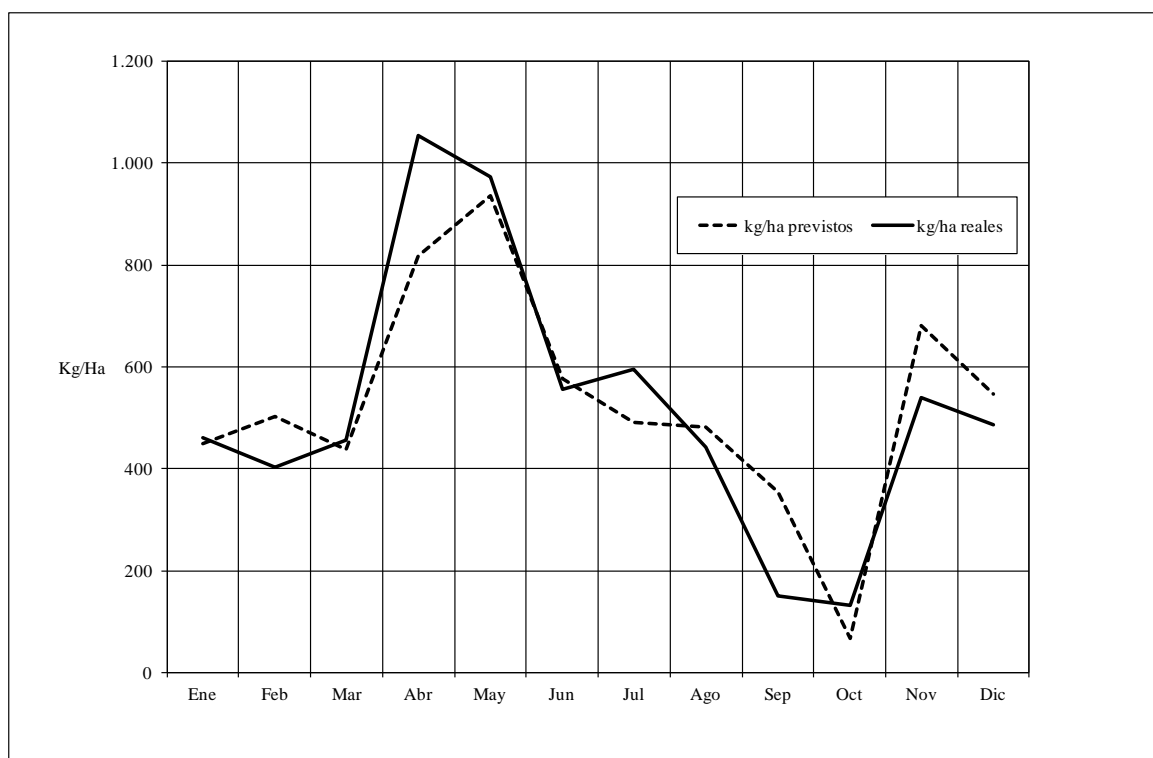


Figura 4. Resultados de validación mensual entre kg/ha reales y previstos. Gamonital, 2014.

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo han colaborado los investigadores D. Pedro Luis Rodríguez Medina, Profesor Titular de Producción Animal en la Facultad de Veterinaria de Cáceres e I.P. del Proyecto “Desarrollo de un Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) para la gestión cooperativa de explotaciones ganaderas de ovino en régimen extensivo” (Ref. PCJ1009); D. Fermín López Gallego, Doctor Ingeniero Agrónomo y Responsable del Departamento de Producción Animal del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura (CICYTEX), y D. Miguel Cortés, Veterinario y Técnico de Apoyo adscrito al proyecto.

Asimismo, este trabajo ha sido financiado por las siguientes Instituciones y Organismos:



BIBLIOGRAFÍA

- Burns, D.A. y Ciurczak, E.W. (2008): Handbook of Near-Infrared Analysis. Third Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Camo (2014). The Unscrambler X ©. Version 10.3. Chemometrical Software. Camo Software AS. Oslo, Norway.
- Di Bella, C. et al. (2005): “Using vegetation satellite data and the crop model STICS-Prairie to estimate pasture production at the national level in France”. Physics and Chemistry of the Earth; 30: 3-9.
- Boschetti, M. et al. (2007): “Assesment of pasture production in the Italian Alps using spectrophotometric and remote sensing information”. Agriculture, Ecosystems and Environment, 118: 267-272.
- Escribano, M. et al. (2001): “Relación entre el tamaño de explotación y los niveles de presión ganadera en sistemas de producción ovina en dehesas”. Livestock Research for Rural Development (13), 3: 1-4.
- Fantova, E. y Pardos, L. (2013): “Efectos de los cambios en las subvenciones percibidas por las explotaciones ovinas de carne aragonesas en sus resultados técnicos y económicos (Período 1997-2001)”. XXXVIII Congreso de la S.E.O.C., Málaga.

- García, A. et al. (2006): “Aplicación de la teledetección a la gestión silvopastoral”. XII Congreso Nacional de Tecnología de la Información Geográfica. Granada.
- Gómez, D. (2008): “Métodos para el estudio de los pastos, su caracterización ecológica y valoración”. En F. Pillat et al. (Eds.). Pastos del Pirineo: 75-109. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- Granda Losada, M. (1981): Mejora de la Dehesa Extremeña. Caja de Ahorros de Cáceres. 140 pp.
- Huete, A. et al. (2002): “Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices”. Remote Sensing of Environment, 83: 195–213.
- Leco, F. (1994): “Establecimiento de una tipología de dehesas en Extremadura mediante la técnica factorial”. VIII Coloquio de Geografía Rural, Córdoba.
- Leco, F. (1995): Los paisajes agrarios extremeños. Universidad de Extremadura: 132 pp.
- López Carrión, T. et al. (1982): “El estudio de los sistemas de Producción Animal en el Suroeste español. Planteamiento general y diagrama del agrosistema productivo”. Anales INIA Ser. Ganadera, 13: 93-100.
- López Gallego, F. (1992): “Responses to reproductive rhythm of triple ability merino sheep under extensive systems”. 43^{ème} Reunión Annuelle de la Federation Européenne de Zootechnie: 215-220.
- López Gallego, F. (1995): “Evolution of ewe body condition and the production of lamb and milk in different productive strategies”. CHIAM-FAO Options Méditerranéennes, 17 (27): 53-58.
- Martens, H. y Naes, T. (1989): Multivariate calibration. John Wiley and Sons, Chichester and New York.
- Olea, L. y Paredes, J. (1983): “Mejora de pastos en el SO de España. Introducción y selección de Trébol subterráneo”. XXIII Reunión Científica de la SEEP. Sevilla. España
- Olea, L., et al. (1989): “Características productivas de los pastos de la dehesa del S.O. de la Península Ibérica”. En: II Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes.
- Opazo, S. y Chuvieco, E. (2007): “Utilización de productos MODIS para la cartografía de áreas quemadas”. Revista de Teledetección, 27: 27-43.
- Pérez, J. L. y Porras, J. C. (1984): Primer balance de la suplementación en las explotaciones de dehesas de Cádiz. Publicaciones del Departamento de Economía y Sociología Agrarias. MAPA. INIA. Córdoba.
- Thulin, S. et al. (2012): “Hyperspectral determination of feed quality constituents in temperate pastures: Effect of processing methods on predictive relationships from partial least squares regression”. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 19: 322-334.
- Westad, F. et al. (2013): “Regression”. En F. Marini (Ed.) Chemometrics in food chemistry. Amsterdam, The Netherlands.
- Walz, Y. et al. (2007): “Classification of burn severity using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): A case study in the jarrah-marri forest of southwest Western Australia”. Journal of Geophysical Research, 112: 14 pp.
- Yebra, M. y Chuvieco, E. (2008): “Comparación de modelos empíricos y de transferencia radiativa para estimar contenido de humedad e pastizales: poder de generalización”. Revista de Teledetección, 29: 73-90.