

COMPARACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA OBTENIDO A DIFERENTES ESCALAS EN PASTOS DE DEHESA

A COMPARISON OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX OBTAINED FROM DIFFERENT SCALES ON PASTURES OF DEHESA

C.G. HERNÁNDEZ^{1*}, J.A. ESCRIBANO^{1*} Y A.M. TARQUIS^{2*}

¹Grupo de Sistemas Agrarios AgSystems, Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. ²Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería Agronómica. CEIGRAM. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, E-28040 Madrid (España). *carlosgregorio.hernandez@upm.es, juanagustin.escribano@upm.es, anamaria.tarquis@upm.es

RESUMEN

Las imágenes satelitales son una importante fuente de información para el seguimiento de la vegetación y de la cartografía de la tierra en varias escalas. Varios índices de vegetación se han empleado para evaluar la calidad y cantidad de la vegetación utilizando datos satelitales. Dado que las características de las bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR, radiación reflejada en la longitud de onda 800 nm) y el rojo (RED, radiación reflejada en la longitud de onda 670 nm) son muy distintas según el tipo de sensor, los valores del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) variarán según el tamaño del píxel y de la heterogeneidad y la escala de las superficies. Se seleccionaron dos zonas de dehesa (Salamanca y Córdoba) y se tomaron imágenes mensuales del satélite DEIMOS-I con una resolución espacial de 22 m × 22 m. El objetivo de este estudio es establecer una comparación entre diferentes resoluciones, mediante los valores de NDVI obtenidos en diferentes épocas del año en las que la actividad fotosintética de las plantas varía. Los resultados a diferentes escalas mostraron un comportamiento fractal del NDVI por lo que puede concluirse que las áreas de pasto herbáceo evaluadas presentan un comportamiento homogéneo.

Palabras clave: pastoreo extensivo, NDVI, satélite, sequía, teledetección.

SUMMARY

The satellite images are an important source of information for monitoring vegetation and mapping the Earth at multiple scales. Various vegetation indices have been used to assess the quality and quantity of vegetation using satellite data. Since the characteristics of the spectral bands in red (RED) and near infrared (NIR) are very different depending on the type of sensor, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values will vary according to the size of the pixel and the heterogeneity and the scale of surfaces. Two zones of dehesa (Salamanca and Córdoba, west central and southwest of Spain respectively) were selected and monthly DEIMOS-I satellite images were taken with spatial resolutions of 22 m × 22 m. The objective of this study is to establish a comparison among different spatial resolutions, through the NDVI values obtained at different times of the year in which the photosynthetic activity of plants varies. These areas showed a fractal performance of NDVI. We conclude that these areas of dehesa pasture are in large scale homogeneous for remote sensing data.

Key words: Drought, NDVI, rangeland grazing, remote sensing, satellite.

INTRODUCCIÓN

La teledetección es la técnica que permite obtener información sobre un objeto, superficie o fenómeno a través del análisis de los datos adquiridos por un instrumento que no está en contacto con él (Schowengerdt, 2007). Se basa en que cada objeto, superficie o los elementos que la forman, reflejan y emiten un espectro electromagnético específico, en función de su propia naturaleza y de las radiaciones que recibe. La reflectancia de ese espectro electromagnético se denomina firma espectral, la cual hace distinguible a ese objeto. Por lo general, los datos son recogidos por sensores instalados en plataformas aerotransportadas o en satélites artificiales, los cuales captan la radiancia emitida o reflejada, obteniéndose una imagen, habitualmente en una gama de color para cada una de las bandas de esas regiones del espectro. Los avances en tecnología han permitido contar con instrumentos cada vez más precisos basados en electrónica, óptica y experimentación con materiales que son capaces de obtener información más completa de esas imágenes.

La teledetección tiene múltiples aplicaciones en agricultura, como la estimación de parámetros biofísicos de la vegetación, el contenido de agua en la planta, la materia seca o la cantidad de clorofila (Cheng *et al.*, 2006). Para medir la actividad vegetativa de

las plantas se calculan índices de vegetación que se obtienen a partir de la reflectividad de varias bandas del espectro. La estimación del contenido de agua es interesante para el seguimiento del estado de la humedad del cultivo o de la vegetación, y se está empleando para el seguimiento de la sequía y la predicción del riesgo de incendio. La humedad de la vegetación referida al peso seco y expresado en porcentaje se conoce como FMC (Contenido de humedad de la Vegetación). Este indicador se relaciona muy bien con medidas del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) (Chuvieco *et al.*, 1999). Por su parte, la teledetección térmica permite la detección de estrés en las plantas mediante la relación existente entre la temperatura de la planta y su transpiración, ya que la vegetación con estrés hídrico cierra estomas y aumenta su temperatura (Sepulcre-Cantó *et al.*, 2005).

Los índices de vegetación más utilizados usan las bandas del infrarrojo cercano (NIR, radiación reflejada en la longitud de onda 800 nm) y el rojo (RED, radiación reflejada en la longitud de onda 670 nm). El NDVI es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación y se define por la siguiente relación (Rouse *et al.*, 1974):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

La mayoría de los organismos vegeta-

les contienen pigmentos que captan diversas ondas del espectro de luz para su utilización en las reacciones fotosintéticas. Dos bandas del espectro, la azul (430 nm) y la roja (600 nm) son las más absorbidas por las plantas, y por consiguiente poco reflejadas. En contraste, la banda del infrarrojo cercano (750-1100 nm) actúa justo de forma inversa, reflejándose casi en su totalidad. La mayor absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación a la radiación solar. Ninguna otra cubierta refleja de forma semejante y, por lo tanto, esta peculiaridad ha sido usada durante mucho tiempo para poder diferenciar las superficies con vegetación de las demás superficies. El intervalo de valores del NDVI varía entre menos uno (-1) y uno (+1), con valores más positivos correspondiendo a vegetación más activa (Chuvioco, 2008), y valores cercanos a cero indicadores de la ausencia de vegetación. Los valores negativos, con unos patrones espectrales generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, corresponden a nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo y rocas. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, estado fenológico de la vegetación, situación hídrica del suelo y ambiente climático de la zona. En la práctica, el NDVI se usa para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación mediante sensores remotos instalados en

satélites (Rouse *et al.*, 1974).

El seguro de sequía en pastos en España (línea 133 del Sistema Español de Seguros Agrarios) se basa en la medición del índice de vegetación (NDVI) mediante teledetección, obtenido a partir del sensor MODIS, instalado en el satélite Terra con una resolución de 500×500 m. Al ser un seguro que utiliza un índice, compensa a partir de cierto umbral definido en el seguro. La base del seguro es la comparación del NDVI de cada decena del año en curso, con la media obtenida, para esa misma decena, de la serie histórica de los diez años anteriores. Por debajo de la media se han establecido dos estratos, por los que el seguro compensa de menor a mayor medida, siendo el primero -0,7 veces la desviación típica y el segundo -1,5 veces la desviación típica.

La adquisición de imágenes satelitales analizadas a distinta escala permiten determinar las características de invarianza de las distintas bandas espectrales o los índices derivados de ellos (e.g. Cheng, 2004) mediante técnicas de multiescala como la función de estructura (S). Esta función da información espacial o información probabilística sobre la distribución de los píxeles con singularidades parecidas. Por ejemplo, Cheng (1999), mediante análisis multifractal en las seis primeras bandas de las siete que presenta las imágenes de Landsat TM, encontró que las ban-

das visibles (1 - 3) mostraban una relación entre escalas muy distinta a las bandas de infrarojo (4, 5 y 7).

El objetivo de este trabajo es establecer si el NDVI obtenido en zonas de pasto herbáceo de dehesas en distintas épocas se ve afectado por la resolución espacial, permitiendo así determinar un rango espacial homogéneo de medida de este índice.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se ha realizado en dos áreas de pastos anuales de dehesa en el Cubo de Don Sancho (Salamanca) y Pozoblanco (Córdoba), con características topográficas y edáficas distintas descritas en Escribano *et al.* (2012). Las imágenes analizadas se han obtenido entre mayo y octubre de 2012, con una periodicidad mensual, utilizando tres imágenes para la zona de Salamanca y cuatro para Córdoba. Las imágenes de teledetección fueron tomadas por los sensores DEIMOS-1, con un tamaño de imagen de 10 km × 10 km. DEIMOS-1 se basa en el concepto Microsat-100 de Surrey. Está concebido para obtener imágenes de la Tierra con una resolución suficiente para estudiar la cubierta vegetal terrestre (22 m × 22 m), aunque con una gran variedad de campos visuales (600 km) con el fin de obtener las imágenes con alta resolución temporal y con una reducción de los costes.

Los datos obtenidos (NIR, RED y NDVI) de las imágenes satelitales $z(x,y)$ fueron evaluados mediante la función de estructura (S) que mide la media de las diferencias en valor absoluto que ocurren a mayor o menor escala (Δs):

$$S(q, s) = \left\langle |z_i(x, y) + \Delta s - z_i(x, y)|^q \right\rangle \quad [1]$$

El tamaño de las resoluciones analizadas (s) fueron 1, 40, 80, 160, 320, 640 y 1280 metros y el exponente de masa (q) varió desde 0,5 hasta 4, a intervalos de 0,5. Si la medida $z(x, y)$ es invariante al cambio de escala y auto-semejante en un rango de escalas (s), entonces la S de orden q se muestra como:

$$S(q, s) \approx s^{\zeta(q)} \quad [2]$$

Donde el exponente del cambio de escala (ζ) es una función monótonicamente no decreciente función de q , siendo este el exponente en la función anterior que puede tomar cualquier valor real distinto de 0. El comportamiento descrito por la ecuación [1] se llama de multiescalamiento, pues cada momento estadístico de la medida analizada se rige por distinto exponente. Por lo tanto, usando la S se describe una jerarquía de exponentes denominados exponentes generalizados de Hurst $H(q)$, con valores entre 0 y 1:

$$H(q) = \frac{\zeta(q)}{q} \quad [3]$$

Si $H(q)$ es constante para cualquier valor de q , implica que existe un único escalamiento para los momentos estadísticos de los datos. Si $H(q)$ es distinto de cero, las variaciones de los valores (NIR, RED y NDVI) tienen carácter persistente ($H(q) > 0,5$) o antipersistentes ($H(q) < 0,5$). En el caso de que $H(q) = 0,5$ se trata de variaciones sin ninguna correlación en el espacio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros espectrales estudiados de estas zonas de dehesa mostraron un comportamiento fractal persistente (los valores de H son mayores a 0,5), es decir, en esas áreas se encuentra una correlación positiva directa por lo que existe un comportamiento homogéneo (Tabla 1).

Tabla 1. Exponentes generalizados de Hurst $H(q)$ para el orden 1 y 2 obtenidos para los datos del infrarrojo cercano (NIR), rojo (RED) y NDVI del píxel situado geográficamente en el centro de las imágenes DEIMOS-1 analizadas.

Imagen Fecha	NIR			RED			NDVI			Tipo de sequía según el seguro	NDVI medio de la imagen
	H (q=1)	H (q=2)	ΔH (q)	H (q=1)	H (q=2)	ΔH (q)	H (q=1)	H (q=2)	ΔH (q)		
Salamanca 2012/05/11	0,71	0,70	0,05	0,60	0,62	0,02	0,64	0,66	-0,04	Entre medio y leve	0,41
Salamanca 2012/06/29	0,63	0,63	0,05	0,68	0,68	0,01	0,67	0,69	-0,02	Leve	0,14
Salamanca 2012/09/19	0,55	0,57	-0,01	0,61	0,61	-0,01	0,65	0,65	-0,01	Leve	0,24
Córdoba 2012/05/24	0,58	0,58	0,02	0,64	0,64	0,02	0,68	0,67	0,04	Extremo	0,29
Córdoba 2012/06/20	0,54	0,55	-0,02	0,66	0,66	0,02	0,70	0,67	0,13	Extremo	0,20
Córdoba 2012/07/18	0,49	0,50	-0,02	0,59	0,59	0,00	0,65	0,63	0,05	Leve	0,20
Córdoba 2012/10/09	0,54	0,56	-0,09	0,59	0,62	-0,14	0,68	0,68	0,00	Leve	0,31

El histograma de frecuencias del NDVI para todos los píxeles en Salamanca en mayo muestra que el valor más frecuente fue 0,56 (Figura 1), mientras el valor medio de la imagen fue 0,41. En este caso, el tipo de sequía determinado por el seguro para la comarca homogénea fue entre medio y leve, correspondiente al inicio del agostamiento del pasto. En el caso de Córdoba en el mes de julio el valor más frecuente del histogra-

ma fue 0,16 mientras el valor medio de NDVI fue 0,20 y el tipo de sequía leve, correspondiente a pasto completamente agostado. La distribución de frecuencias en Salamanca muestra una clara asimetría entre las colas, determinando que al tomar diferentes resoluciones para calcular el NDVI sus valores presenten una mayor variación (Figura 2). Para Salamanca en la imagen de mayo el NDVI medio varía de 0,30 para una resolu-

ción de 1200 metros a 0,55 para una resolución de 22 metros. Mientras, cuando la imagen corresponde a un pasto totalmente agostado la asimetría de frecuencias se reduce (Figura 1 caso de Córdoba) y la homogeneidad en la resolución del cálculo del NDVI es mayor (Figura 2). La figura 2 muestra la existencia de una correlación positiva entre nivel de resolución de la imagen y valor del NDVI, y entre valor medio de NDVI y variación en función de la resolución espacial.

CONCLUSIONES

La estimación de la actividad de la vegetación de los pastos herbáceos de dehesa mediante teledetección varía en función de la resolución empleada en su cálculo, no obstante estas diferencias se reducen a medida que la actividad vegetativa disminuye por falta de agua. Se han obtenido los valores medios de NDVI más altos a las resoluciones mayores en todas las imágenes satelitales y

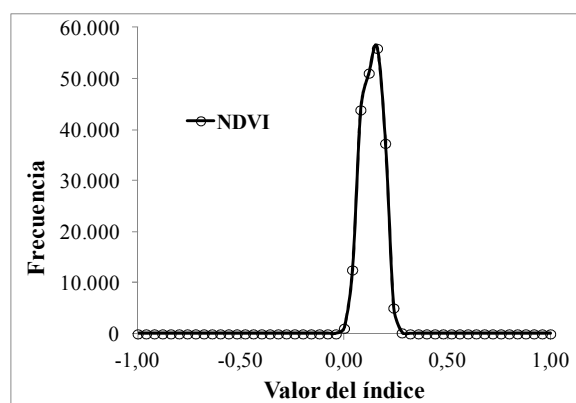
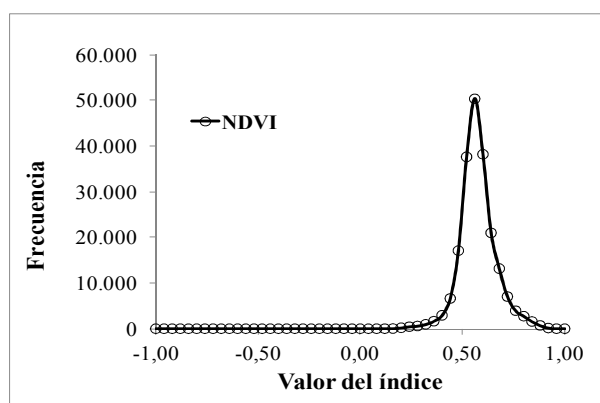


Figura 1. Histograma del NDVI obtenido en Salamanca el 11/05/2012 (izquierda) y en Córdoba el 18/07/2012, mediante el análisis de imagen del sensor del satélite Deimos-I. Área de cada zona: 100 km². Cada valor corresponde a un pixel de 484 m².

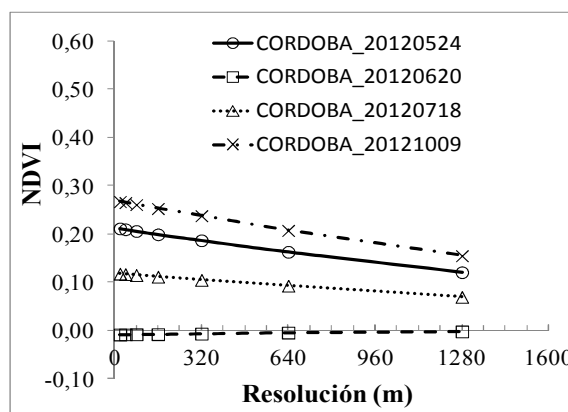
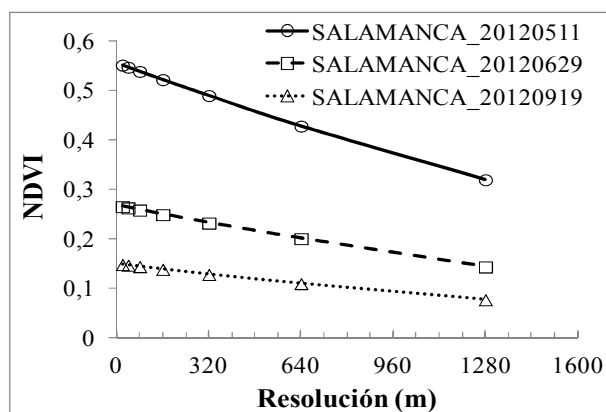


Figura 2. Comparación del valor medio de NDVI para diferentes escalas y fechas calculados de las imágenes del satélite Deimos-I en Salamanca y en Córdoba.

para todas las fechas. La estructura que presentan los pastos herbáceos analizados es persistente en el espacio, es decir está directamente correlacionados los valores de NDVI de píxeles adyacentes, por lo que cabe pensar que se pueden medir el NDVI sobre zonas homogéneas sin grandes errores de estimación.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado en el proyecto «Recogida y procesamiento de información agronómica y zootécnica obtenida “in situ” y su integración satelital de precisión para la mejora del seguro para la cobertura de los daños por sequía en pastos 2010 y 2013» financiado por ENESA. Agradecemos a los ganaderos por dejarnos sus dehesas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHENG Q. (1999). Multifractality and spatial statistics. *Computer & Geoscience* 255, 949-961.

CHENG Q. (2004). A new model for quantifying anisotropic scale invariance and for decomposition of mixing patterns. *Mathematical Geology* 36, 345-360.

CHENG Y.B., ZARCO-TEJADA P.J., RIAÑO D., RUEDA C.A. Y USTIN S.L. (2006) Estimating vegetation water content with hyperspectral data for different canopy scenarios: Relationships between AVIRIS and

MODIS indexes. *Remote Sensing of Environment*, 105, 354-366.

CHUVIECO E., DESHAYES M., STACH N., COCERO D. Y RIAÑO D. (1999) Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data. En: Chuvieco E. (ed) *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, pp 17-34. Berlin, Alemania: Springer-Verlag.

CHUVIECO E. (2008) *Teledetección Ambiental*. 3ª ed. Barcelona, España: Editorial Ariel.

ESCRIBANO J.A., GLIGA A.E., LLORENTE J.F., Y HERNÁNDEZ C.G. (2012) Caracterización de la sequía en pastos anuales en dehesas. En: Canals R. y San Emeterio L., (Eds) *Nuevos retos de la ganadería extensiva: un agente de conservación en peligro de extinción*, pp. 111-116. Pamplona, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

ROUSE J.W. JR., HAAS R.H., SCHELL J.A. Y DEERING D.W. (1974) Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. College Station, Texas, Estados Unidos: Remote Sensing Center, Texas A&M Univ. EEUU.

SCHOWENGERDT R.A. (2007) *Remote sensing: models and methods for image processing* (3ª ed.). Londres, Reino Unido: Academic Press.

SEPULCRE-CANTÓ G., ZARCO-
TEJADA P.J., JIMÉNEZ-MUÑOZ J.C., SO-
BRINO J.A., DE MIGUEL E. Y VILLALOBOS
F.J. (2005) Detection of water stress in an
olive orchard with thermal remote sensing
imaginery. *Agricultural and Forest Meteorology*
136, 31-44.