

## INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN LA EVOLUCIÓN ANUAL DEL NDVI EN DISTINTAS FORMACIONES FORESTALES DE CASTILLA Y LEÓN

FERNANDEZ MANSO, A.A. ; ILLERA GUTIÉRREZ, P. ; DELGADO DE LA MATA, J.A.; FERNÁNDEZ UNZUETA, A.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA APLICADA I. E. T. S DE INGENIERIAS AGRARIAS.  
 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. AVDA MADRID 57, 34071 PALENCIA.

**Palabras clave:** Teledetección, Vegetación, Índice de Vegetación, climatología, temperatura del aire, Sistemas de Información Geográfica ( SIG)

**Resumen:** En esta comunicación se describe la metodología y resultados del estudio de las relaciones entre la evolución anual del NDVI y la temperatura del aire para tres formaciones forestales en Castilla y León: bosque de caducifolias, bosque de perennifolias y pinares. Como conclusión, en todos los casos se consigue el mejor ajuste mediante un modelo lineal entre las temperaturas máximas y el correspondiente NDVI en el espacio de tiempo estudiado.

**Keywords:** Remote Sensing, Vegetation, vegetation index NDVI, Climatology, temperature of the air, Geographical Information System (GIS).

**Abstract:** In this communication, the methodology and the results are described in the study of the relation between the evolution of the NDVI calculated through the NOAA satellite and the temperature of the air for three forest formations of Castilla y León: deciduous forests, perennial forests and pinewoods. The conclusion, in all the cases, is that the best relation comprises a linear model between the maximal temperatures in each period and the consequent value of the NDVI.

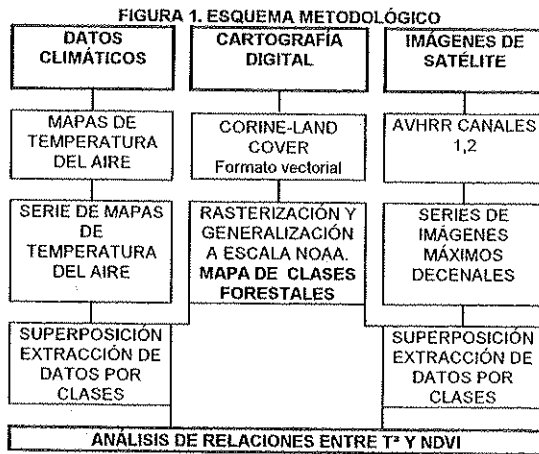
### 1. INTRODUCCIÓN

El NDVI está ligado a la densidad y al estado de la vegetación, su medición permite el estudio de las variaciones temporales y espaciales de la distribución de la vegetación, dando una medida de la actividad fotosintética en relación con el tipo de cubierta, índice de área foliar, radiación fotosintéticamente activa absorbida y fitomasa. Es también un indicador del estrés hídrico y del efecto de posibles plagas y enfermedades forestales ( TUCKER, 1979; SELLERS, 1989 ). Pero el estudio de la variación temporal del NDVI no es suficiente para realizar un seguimiento del estado forestal, ya que éste está muy

relacionado con la variación climática anual. Para determinar la evolución normal sería útil construir modelos que establezcan su relación con variables climáticas como la precipitación y la temperatura (LIPING et al., 1994; DAVENPORT & NICHOLSON, 1993). Como primera aproximación a la construcción de este tipo de modelos en este trabajo se ha estudiado cómo evolucionaba el NDVI durante 1993 en distintas formaciones forestales en Castilla y León. A partir de esta evolución se han establecido las relaciones que existen con distintas expresiones de la temperatura del aire para llegar al final a construir un modelo lineal que relaciona NDVI y esta temperatura.

### 2. MATERIAL Y MÉTODOS

A partir de los datos puntuales proporcionados por la Red de Estaciones Meteorológicas de Castilla y León se han creado series de imágenes digitales raster que resumen los valores de las temperaturas cada 10 días para todos los puntos del territorio a una escala en la que cada pixel corresponde a 1 km<sup>2</sup> (FIGURA 1).



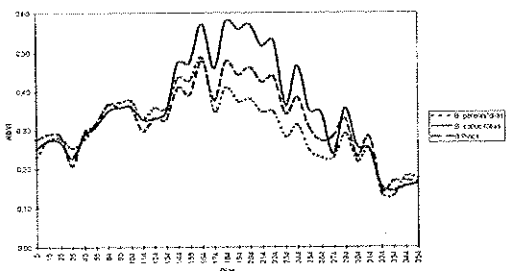
Con las imágenes de satélite se han obtenido compuestos decenales de máximo valor del NDVI. La información climática y el NDVI han sido extraídos para 3 clases de vegetación mediante la superposición con la cartografía digital elaborada a partir del Corine Land - Cover. Como resultado final se han obtenido las curvas de evolución anual del NDVI y de las temperaturas del aire

### 2.1. DATOS DE SATÉLITE

Se han utilizado imágenes AVHRR de los canales 1 y 2. El Departamento de Física Aplicada I de la Universidad de Valladolid dispone de un receptor NOAA-HRPT a partir del cual se captan a diario las transmisiones digitales de los satélites NOAA.

Los valores del NDVI se ven influenciados por la direccionalidad de la reflectividad de la superficie terrestre y las diferencias de resolución espacial del satélite en cada pixel; además hay que tener en cuenta las perturbaciones que provoca la atmósfera en el infrarrojo que tienden a disminuir el índice. Para minimizar estos efectos son utilizados los Compuestos de Valor Máximo MVC (HOLBEN, 1986). Se ha elegido un periodo de 10 días por ser el más próximo al ciclo del satélite.

EVOLUCIÓN DEL NDVI PARA TRES CLASES FORESTALES DURANTE 1993



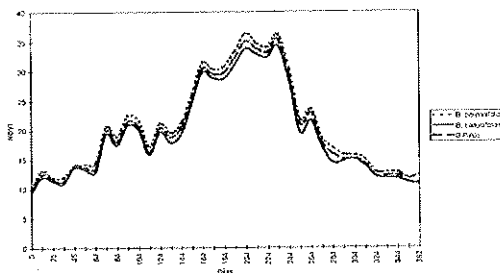
### 2.2. ELABORACIÓN DE UNA CARTOGRAFÍA DIGITAL DE TEMPERATURAS DEL AIRE A ESCALA NOAA.

Se ha realizado una interpolación de valores térmicos registrados en las 240 estaciones meteorológicas de la Red Regional para conseguir un mapa de temperaturas teniendo en cuenta el efecto del relieve. Para ello se ha utilizado el Modelo Digital del Terreno de Castilla y León. Cada nivel digital equivaldrá a la temperatura del aire en una zona de 1 km<sup>2</sup>.

Las temperaturas elegidas por su significado Fitoclimático han sido: T<sup>a</sup> media, T<sup>a</sup> máxima, T<sup>a</sup> media de las máximas, T<sup>a</sup> mínima, T<sup>a</sup> media de las mínimas. En total se han obtenido una serie 37 mapas anuales para cada una de

ellas, un compuesto para cada 10 días. Se ha comprobado la interpolación en relación con las temperaturas del Instituto Nacional de Meteorología INM y las obtenidas en el mismo punto por la metodología utilizada. En los resultados el 75 % de las estaciones está comprendida entre +1 y -1 °C.

EVOLUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS PARA TRES FORMACIONES FORESTALES



### 2.3. CARTOGRAFÍA DIGITAL

A partir de la cartografía digital en formato Arc/Info desarrollada en el Programa Corine land - Cover se generó una nueva en formato raster. Posteriormente se realizó una agrupación temática en tres grandes clases forestales. Los datos analizados fueron los valores medios de una muestra de 287.300 ha de perennifolias - principalmente *Quercus ilex*- que representan el 88 % de la superficie que ocupa esta especie en Castilla y León ; 336.500 ha de caducifolias - *Fagus sylvatica*, *Quercus spp.*, *Castanea sativa*,...- aproximadamente el 89 % del total regional ; y, 515.700 ha de pinares que corresponden al 68 % del total de la comunidad ( CUADRO 1 ).

CUADRO 1. PRINCIPALES ESPECIES Y SUPERFICIES UTILIZADAS.

CLASES ANALIZADAS	Especies principales	Superficie total* (ha)	Superficie estudiada (ha)
1. Bosque perennifolio	<i>Quercus ilex</i>	323.470	287.300
2. Bosque caducifolio	<i>Fagus sylvatica</i> <i>Quercus pyrenaica</i> <i>Castanea sativa</i> <i>Populus spp.</i> Otras frondosas	381.808	336.500
3. Bosque de pinos	<i>Pinus sylvestris</i> <i>Pinus pinaster</i> <i>Pinus nigra</i> <i>Pinus halepensis</i>	753.074	515.700

\* Resultados Segundo Inventario Forestal Nacional

### 3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El resultado final del proceso ha sido la obtención de las series temporales de la evolución anual del NDVI y de cada uno de los parámetros climáticos considerados en las tres clases.

Como se observa en el CUADRO 2 la evolución del NDVI tiene una mejor relación con la evolución de las temperaturas máximas del mismo decenio y de todos los ajustes posibles el modelo lineal, como se puede observar en la gráficas adjuntas, es el que mejor explica esta relación. Se realizaron comprobaciones adicionales con las temperaturas de 10 ó 20 días antes del correspondiente NDVI pero se obtuvieron peores resultados.

CUADRO 2 RESUMEN DE LAS R<sup>2</sup> DE LAS RELACIONES ENTRE TEMPERATURAS-NDVI

Temperaturas	Bosque de pinos	Bosque perennifolias	Bosque caducifolias
Tª media	0,57	0,31	0,71
Tª media mínimas	0,44	0,22	0,56
Tª mínima	0,41	0,19	0,51
Tª media máximas	0,63	0,36	0,77
Tª máximas	0,65	0,38	0,77

La temperatura máxima representa actividad fotosintética posible y determina el NDVI real cuando no existen limitaciones de agua para el desarrollo de la vegetación.

Los mejores resultados se han obtenido en la clase caducifolias con una R<sup>2</sup>= 0,77. En estas formaciones forestales el principal factor limitante suelen ser la temperaturas puesto que al ocupar las áreas montañosas o las zonas de ribera no presentan un acusado déficit en la disponibilidad hídrica estival.

En el caso de los pinares también se obtuvieron buenos resultados con una R<sup>2</sup>= 0,65. Para estas masas forestales los resultados podrían haber sido mejores si se hubiera diferenciado entre los pinares de montaña o media montaña - *P. sylvestris* o *P. nigra*- de los de las zonas interiores mucho más áridas como *P. pinea*, *P. halepensis* *P. pinaster*. Los del primer grupo hubieran seguido previsiblemente una evolución muy parecida a las caducifolias.

En los bosques de la clase perennifolias que representa a los encinares de *Quercus ilex* de las zonas de mediterraneidad más extrema la temperatura máxima sigue siendo la que mejor se relaciona con la evolución del NDVI pero en este caso el modelo explica muy poco la variabilidad del NDVI, la R<sup>2</sup>= 0,38 es muy baja, la potencialidad vegetativa que las temperaturas máximas

permiten se ve claramente limitada muy posiblemente por el déficit de agua.

Como conclusión de los resultados anteriores se propone un primer modelo que relaciona el NDVI con la temperaturas máximas

$$\text{Para caducifolias NDVI} = 0.0142 \text{ TMAXI} + 0.0729$$

$$R^2 = 0,77$$

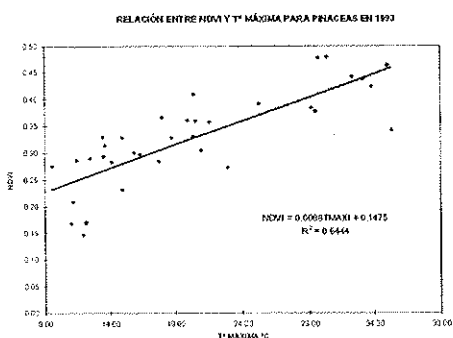
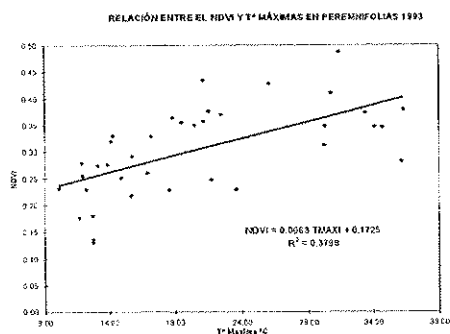
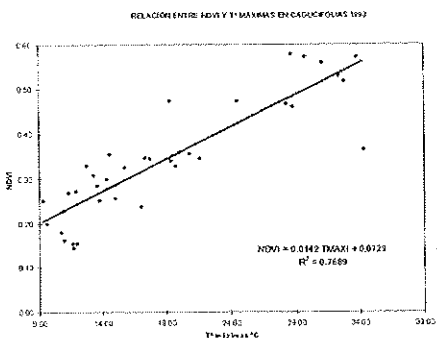
$$\text{Para pinares NDVI} = 0.0088 \text{ TMAXI} + 0.1475 \quad R^2 = 0,65$$

De las conclusiones obtenidas se deduce que es necesario realizar una subdivisión de las tres clases estudiadas sobre todo en aquellas como la de pinares donde se incluyen especies con unas características ecológicas bien diferenciada. En este caso sería ideal llegar a estudiar por separado cada especie, para ello sería muy interesante utilizar como referencia cartográfica el Mapa Forestal de España frente a las limitaciones de definición que impone el Corine Land - Cover.

Una segunda mejora en el modelo de temperatura - NDVI se conseguiría utilizando una clasificación Biogeoclimática que permita una estratificación de las distintas formaciones forestales en función de factores que condicionan su NDVI como son los ecológicos, climáticos, litológicos y fisiográficas. En este sentido se esta estudiando subdividir la comunidad castellanolonesa en función de las distintas Clases Territoriales propuestas por la Clasificación Biogeoclimática Territorial de España (CLATERES) desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA).

El conjunto del trabajo presentado corresponde a la primera aplicación del Sistema de Información Geográfica diseñado para el seguimiento de la vegetación en Castilla y León que se encuentra en una fase inicial y se completará con la inclusión de nuevas variables meteorológicas como la precipitación, la Tª del suelo, obtenida a partir de imágenes NOAA, y la radiación solar a partir del METEOSAT.

El análisis de las relaciones entre la evolución del NDVI y las temperatura ha permitido dar los primeros pasos en la construcción de un modelo que, cuando se incorpore toda la información disponible en el SIG, ayudará a la predicción, detección y seguimiento de cambios en la vegetación de Castilla y León.



DEBLONDE, G. AND CIHLAR, J. (1993). A multiyear analysis of the relationship between surface environmental variables and NDVI over the Canadian landmass. *Remote Sensing Reviews*, 7: 151-177

DELGADO, J.A. (1991). Clasificación y análisis de nubes mediante imágenes meteorológicas. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid. Valladolid.

ELENA-ROSELLÓ, R. 1996. Un instrumento para la planificación territorial de la reforestación en España : la Clasificación Biogeoclimática Territorial CLATERES El campo 134 : 105 - 118

HOLBEN, B.N. (1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7: 1417-1434

KAUFMAN, Y.J. & HOLBEN, B.N. (1993). Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. *International Journal of Remote Sensing*, 15:21-25.

KERR, Y., IMBERNON, J., DE DIEU, G., HAUTECOEUR, O LAGOUARDE, J. SEGUIN, B. (1989). NOAA-AVHRR and its uses for rainfall and evapotranspiration monitoring.

LIPING, D, RUNDQUIST D.C. LUOHENG H. (1994) Modelling relationships NDVI and precipitation during vegetative growth cycles. *International Journal of Remote Sensing*, 10: 2121-2136

RUIZ DE LA TORRE, J. 1996. Mapa Forestal de España. Bases para la gestión Forestal. El campo 134 : 119-131

SELLERS, P.J. (1989). Vegetation-canopy spectral reflectance and biophysical processes. In *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, ( G. Asar, De.), John Wiley, New York, 297 - 335.

TUCKER, C. J. (1979) . Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation . *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-150.

#### AGRADECIMIENTOS

Al programa de ayudas para la realización de Tesis Doctorales de la Fundación Caja Madrid.

Y a la C.I.C.Y.T y la Junta de Castilla y León por los distintos proyectos de investigación financiados.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOCIACIÓN FORESTAL DE CASTILLA Y LEÓN. 1997. Resultados del Segundo Inventario Forestal en Castilla y León. Boletín Informativo I.

DAVENPORT M.L. & NICHOLSON S.E. (1993). On the relation between rainfall and the Normalized Difference Vegetation Index for diverse vegetation types in East Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 12: 2369-2389.