

## ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL NDVI Y PROPUESTA DE UN ÍNDICE DE ESTADO DE LA VEGETACIÓN

A. Fernández-Manso (\*), O. Fernández (\*), J. Ramírez (\*), C. Quintano(\*\*), J. Delgado(\*\*\*)

[diaafh@unileon.es](mailto:diaafh@unileon.es)

(\*). Universidad de León. Dpto. de Ingeniería Agraria. Av. Astorga s/n  
Ponferrada (León)

(\*\*) Universidad de Valladolid. LATUV. Dpto. de Tecnología Electrónica. C/ Francisco Mendizabal s/n  
47014 Valladolid

(\*\*\*) Universidad de Valladolid. LATUV. Dpto. de Física Aplicada I. Av. Madrid s/n  
Palencia

### RESUMEN

Una de las principales aplicaciones del NDVI es la vigilancia de las áreas forestales a partir del estudio de su evolución. Su medición permite el análisis de las variaciones temporales y espaciales de la vegetación. En esta comunicación se presenta los resultados de la aplicación de una metodología que permite clasificar las respuestas del NDVI y calcular un Índice de Estado de la vegetación.

### ABSTRACT

One of the main applications of NDVI is the surveillance of forest areas analysing its evolution. Mensuration allows the study of the temporary and space variations of the vegetation. In this paper, the results of the application of a methodology which allows to classify the NDVI evolution and to calculate a Index of Vegetation State are presented.

**Palabras Clave:** NDVI, vegetación, Índice de Estado

### INTRODUCCIÓN

Una simple imagen de NDVI no permite conocer el estado fisiológico exacto de la vegetación para dos clases de vegetación distintas: valores iguales en este índice puede tener un significado muy distinto. La utilización práctica del NDVI para el seguimiento del estado de la vegetación ha llevado al desarrollo de distintas estrategias que aprovechan todos los registros temporales del índice para una determinada clase de vegetación y poder definir su situación con relación a sus valores históricos. Las clases utilizadas deben ser lo más homogéneas posibles, dependiendo de la escala de trabajo se diferencian clases por usos del suelo, grupos de vegetación o, con mayor precisión, especies o ecotipos.

Entre las metodologías que se han utilizado en teledetección para el seguimiento de la

vegetación sobresalen por su sencillez y utilidad las que utilizan métodos descriptivos que calculan estadísticos resumen del NDVI (tendencia central y desviaciones). Existen distintos procedimientos de análisis multitemporal que aprovechan el potencial de la estadística descriptiva, destacamos aquí los que se basan en la comparación entre los valores de una imagen y valores históricos de referencia (promedio, desviación típica, máximos y mínimos) (González-Alonso *et alii.*, 1999) o los que utilizan la estandarización frente al máximo y un mínimo del periodo (Peters *et alii.*, 1991; Kogan, 1991; Burgan, 1995; Calle *et alii.*, 1999).

Otro enfoque relacionado ha sido la elaboración de funciones de clasificación a partir del cálculo de percentiles de la serie temporal para cada clase, por ejemplo, los quintiles (Sannier *et alii.*, 1998). Estos enfoques tienen una gran utilidad para contextualizar un determinado valor del NDVI frente a sus valores históricos lo que permite clasificar el estado de la vegetación en ese

momento y detectar situaciones anómalas. La última metodología, basada en el cálculo de los quintiles, puede ser utilizada para establecer probabilidades de ser sobrepasados determinados valores, de esta manera se puede representar gráficamente los niveles del NDVI probables.

Los quintiles de una serie han sido utilizados en distintas ciencias como la climatología o la hidrología para clasificar series de datos o para determinar periodos de ocurrencia

## MATERIAL Y MÉTODOS

Clasificación de las situaciones: Índice de Estado (IE)

A partir de los registros históricos de observaciones de NDVI para 7 años (1993 – 1999) se han determinado las evoluciones del índice para cada clase (Figura 1). Posteriormente y por clase se ha realizado un estudio de las frecuencias, las probabilidades y los periodos de retorno. Este estudio ha permitido elaborar unas herramientas de clasificación basadas en la utilización de quintiles. Esta metodología centra la atención sobre las observaciones en sí y no en los procesos físicos que las producen.

## Cálculo de quintiles y ajuste de la distribución

Los valores NDVI extraídos de los datos históricos se ordenan de menor a mayor para cada década y clase. Se han calculado para cuatro grupos de interés, tres forestales (principales especies de coníferas, frondosas y tipos de matorrales) y para los cultivos agrícolas de secano y regadío. Posteriormente para cada clase se calculan los cuatro quintiles que dividen la serie en cinco subconjuntos de igual tamaño.

La aplicación del método no paramétrico exige asignar a cada uno de los datos de la muestra una determinada probabilidad muestral. Existen distintas expresiones para asignar probabilidad (Gringosten, Hazen y Weibull). Todas asignan los valores de probabilidad en función del orden  $i$  de la muestra ordenada de mayor a menor y del número de valores  $N$ . En esta aplicación se ha elegido la fórmula de Weibull:

$$\text{Probabilidad } (X_i \leq X_i) = F(X_i) = i / N + 1$$

Siendo  $i$  el rango o lugar que ocupa en una serie ordenada y  $N$  el número de valores (años de la muestra)

Esto permite calcular la probabilidad  $p$  de tener un NDVI menor o igual que un valor dado aplicando la fórmula definida por Weibull. Una de las primeras consecuencias es la posibilidad de asignar probabilidades a los intervalos que dividen los quintiles y definir 5 clases en el Índice de Estado en función de la respuesta de la vegetación. Un valor clasificado como nivel 5 tendrá una respuesta muy baja, determinará una posible alarma por estar en un estado vegetativo preocupante (Tabla 1).

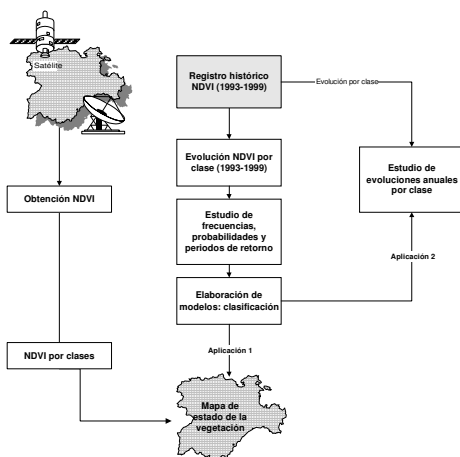


Figura 1. Metodología y aplicaciones del Índice de Estado

Índice de estado	Intervalos intercuantílicos	Niveles de probabilidad
Muy alto	< quintil 1	$P < 0,2$
Alto	quintil 1 < v < quintil 2	$0,2 < p < 0,4$
Medio	quintil 2 < v < quintil 3	$0,4 < p < 0,6$
Bajo	quintil 3 < v < quintil 4	$0,6 < p < 0,8$
Muy bajo	> quintil 4	$p > 0,8$

**Tabla 1.** Niveles del Índice de Estado y probabilidades asociadas

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elaboración de relaciones de clasificación: rectas de regresión

A partir de las probabilidades asociadas los NDVI de cada clase (incluidos los quintiles) se han ajustado mediante regresión lineal las funciones que relacionan la probabilidad de ocurrencia con un determinado NDVI.

Se realizó el ajuste para los NDVI obtenidos en los compuestos decenales. Los resultados obtenidos para las clases forestales (coníferas, frondosas y matorrales) y los cultivos agrícolas (regadío y secano) han sido en todos los casos muy satisfactorios, la mayor parte de los ajustes tiene una  $R^2$  mayor al 95%. Por ejemplo, para la década 22 (30 julio a 8 de agosto) en la clase pino silvestre  $Y = 0,1134 \text{ NDVI} + 0,2398$ ;  $R^2 = 0,9892$  ( $Y$  = probabilidad de ocurrencia)

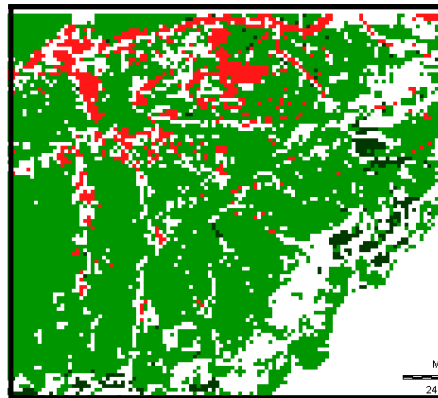
A partir de modelos obtenidos para esta década se puede, en primer lugar, determinar la probabilidad de tener un NDVI menor que un valor dado. Por ejemplo, en los pinares de silvestre para esta década se tiene una probabilidad de 0,8 de que el NDVI sea menor de 0,5. En segundo lugar, asignar a un determinado valor de NDVI un Índice de Estado. En el ejemplo anterior, un NDVI de 0,45 se clasificaría como bajo. En tercer lugar, podemos conocer el significado de un mismo valor de NDVI en distintas clases. Un NDVI de 0,3 corresponde a una probabilidad muy alta para los pinares de carrasco y muy bajo para pinares de resinero.

Elaboración de Imágenes de IE para todas las clases estudiadas

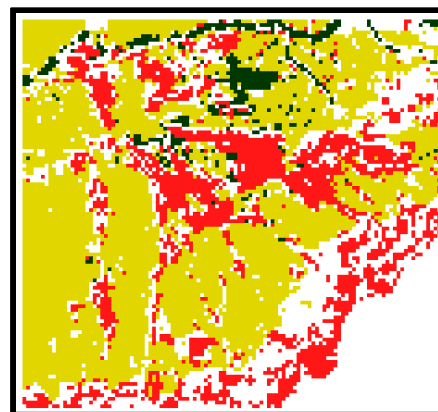
Una aplicación inmediata de las gráficas de probabilidad y el Índice de Estado de la vegetación es construir imágenes de IE que nos ayudarán a clasificar tanto imágenes de NDVI real como estimado.

Como ejemplo, se ha seleccionado el cuadrante sureste de Castilla y León que integra a las provincias de Ávila, Segovia y Valladolid. Para esta área se han diseñado dos aplicaciones.

**INDICE DE ESTADO 1999**



**INDICE DE ESTADO 1994**



Muy bajo  
 Bajo  
 Medio  
 Alto  
 Muy alto

Metros  
 24,333,33

**Figura 2.** Cálculo de imágenes de IE para la década de 1994 y 1999

## BIBLIOGRAFÍA

En la figura 2 se ha calculado el IE para dos años diferentes en la misma década (30 de julio a 8 de agosto), en la imagen se comprueba la diferencia de estado de la vegetación. En 1994 todas las clases excepto los cultivos agrícolas se clasifican como "muy bajas", los cultivos de secano como "bajas". Los regadíos, sin embargo, tienen un IE muy alto. Esta situación puede indicar altas temperaturas y condiciones de estrés hídrico que sólo los regadíos son capaces de compensar con los aportes del agua de riego. En 1999 la imagen de IE esta invertida, todas las clases están por encima de la clase "alto" a excepción de los regadíos, las condiciones térmicas son menos extremas y las especies no sufren estrés, los regadíos en esta situación están por debajo del potencial de otros años.

## CONCLUSIONES

El Índice de Estado de la vegetación propuesto permite clasificar las respuestas predichas o las reales del NDVI. Se ha realizado un estudio de las frecuencias, las probabilidades y los periodos de retorno. A partir de las probabilidades asociadas, los NDVI de cada clase se han ajustado mediante regresión lineal, y se han obtenido las funciones que relacionan la probabilidad de ocurrencia con un determinado NDVI. Estas funciones permiten conocer la probabilidad de que el NDVI sea menor de un determinado valor, asignar automáticamente Índices, comparar respuestas entre clases, estudiar respuestas relativas de las clases vegetación y calcular periodos de retorno.

La incorporación de nuevas series de imágenes anuales permitirá perfeccionar los sistemas de clasificación y definir con mayor precisión los intervalos de estado de la vegetación.

Burgan, R. E. 1995. Use of remotely sensed data for fire danger estimation. Proceeding of International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management. Universidad de Alcalá de Henares, España. pp. 87-97.

Calle, A., Casanova, J. J. & Gonzalez Alonso, F. 1999. Diseño de un Sistema de Información Geográfica para el control de la evolución de la vegetación. VII Reunión de la Asociación Española de Teledetección. Albacete, España.

Gonzalez Alonso, F., Calle, A., Casanova, J. L., Cuevas, J. M. & Vazquez, A. 1999. Desarrollo de una metodología para el seguimiento de la sequía en España mediante técnicas de teledetección espacial. Teledetección. Avances y aplicaciones. Papeles de la Diputación de Albacete.

Kogan, F. N. 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non homogeneous areas. International Journal of Remote Sensing. 11: pp. 1405-1419.

Peters, A., Rundquist, D. C. & Wilhite, P. A. 1991. Satellite detection of the geographic core of the 1988 Nebraska drought. Agricultural and Forest Meteorology. 57: pp. 35-47.

Sannier C. A., Taylor, J. C., Du Plessis, W. & Campbell, K. 1998. Real-time vegetation monitoring with NOAA-AVHRR in southern Africa for wildlife management and food security assessment. International Journal of Remote Sensing. 19: 4, pp. 621-639.