

CARTOGRAFÍA DE LA VARIACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA VEGETACIÓN MEDITERRÁNEA A PARTIR DE IMÁGENES SPOT-HRVIR

A. Roldán (*), F. Dauriac (*), M. Deshayes (*) y F. González-Alonso (**)

sunasun@terra.es

(*UMR 3S Cemagref-Engref, Maison de la Télédétection, 500 Rue J-F Breton, 34093 Montpellier cdx 5, Francia

(**) Laboratorio de Teledetección CIFOR-INIA, Carretera de La Coruña km 7, 28040 Madrid, España.

RESUMEN

En el presente estudio se elaboró un mapa que refleja los distintos niveles de variación de la humedad de la vegetación, evaluada mediante el NDII (Normalized Difference Infrared Index). El mapa se obtuvo a partir de siete imágenes SPOT-HRVIR de una zona de alto riesgo de incendio cercana a Montpellier tomadas durante el período junio-octubre 2001. La base de datos europea CORINE Land Cover se utilizó para elaborar un filtro que contenga únicamente las zonas de vegetación natural. El mapa obtenido será utilizado para localizar puntos de muestreo en zonas donde la variación de NDII sea elevada y continuar con las investigaciones sobre la variación del contenido de humedad de *Quercus ilex* y *Quercus coccifera* para la prevención de incendios forestales que el UMR-3S Cemagref-Engref lleva a cabo dentro del proyecto europeo SPREAD.

ABSTRACT

The present study has produced a map representing the different levels of variation of the NDII (Normalized Difference Infrared Index), indicative of vegetation water content. The map was made from seven SPOT-HRVIR images covering a high fire risk area near Montpellier during the period June-October 2001. The European CORINE Land Cover data base was used to produce a map containing natural vegetation areas only. The map obtained will be used to locate sampling points in areas with a high NDII variation to continue the research about water content variation for *Quercus ilex* and *Quercus coccifera*. This work is being carried out by the UMR-3S Cemagref-Engref for the European Project SPREAD in order to prevent forest fires.

Palabras clave: prevención de incendios forestales, humedad de la vegetación mediterránea, SPOT-HRVIR, NDII.

INTRODUCCIÓN

Hace años que se vió el potencial de la teledetección para tratar de hallar la humedad de la vegetación a través de la información suministrada por sensores remotos, los cuales aportan una amplia cobertura espacial y temporal, y registran datos que proceden directamente de las cubiertas vegetales (Chuvieco *et alii.* 2002). En lo relativo a la prevención de incendios forestales el estado hídrico de las plantas constituye un factor clave, ya que está inversamente relacionado con la inflamabilidad y combustibilidad (Viegas, Viegas y Ferreira 1992).

Para demostrar la relación entre el contenido de humedad de la vegetación y su comportamiento espectral es necesario contrastar los datos de las imágenes de satélite con el contenido de humedad real de la vegetación, medido en laboratorio a partir de hojas recolectadas en

muestreos de campo. Dichos muestreos son caros y llevan mucho tiempo, por lo que interesa elegir cuidadosamente los puntos donde se van a realizar, para que sean lo más representativos posible. El trabajo aquí presentado da un paso en este último campo.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es identificar y cartografiar los diferentes tipos de comportamiento hídrico de la vegetación en los alrededores de Montpellier con el fin de elegir los puntos más interesantes a muestrear los próximos veranos, que serán aquéllos donde las variaciones de humedad sean mayores. La metodología seguida es aplicable a cualquier territorio.

MATERIAL Y MÉTODO

El trabajo se llevó a cabo a partir de siete imágenes captadas por el sensor HRVIR (Haute Résolution Visible et Infra Rouge) instalado a bordo del satélite SPOT 4 que comprenden un área de 60 x 60 km de la zona cercana a Montpellier (K047-J262). Las imágenes son el producto ORTHO® (corrección radiométrica y geométrica mediante un MDT) de la compañía SPOT IMAGE®. La resolución es de 20 x 20 m y corresponden a las fechas: 14/06/2001, 17/07/01, 27/07/01, 21/08/01, 27/08/01, 27/09/01 y 12/10/01. Las imágenes registran la información en cuatro bandas espectrales:

B1 (verde): 0.50-0.59 micrómetros.

B2 (rojo): 0.61-0.68 micrómetros.

B3 (infrarrojo cercano): 0.79-0.89 micrómetros.

B4 (infrarrojo medio): 1.58-1.75 micrómetros.

Sobre estas imágenes se efectuaron distintas operaciones mediante el programa de tratamiento de imágenes ERDAS Imagine 8.5, que se exponen a continuación.

Elaboración de un filtro a partir de CORINE Land Cover

El primer paso consistió en separar las zonas en las que existe riesgo de incendio forestal de aquéllas en las que esto no ocurre (zonas urbanas, agrícolas, superficies de agua), puesto que sólo nos interesa trabajar con las primeras. La clasificación CORINE establece 44 categorías de entre las cuales se seleccionaron 14 por considerarlas con riesgo de incendio.

Transformación de datos en código numérico en datos de reflectividad.

Las cuatro bandas de las imágenes SPOT proporcionan datos en código numérico que fue necesario transformar en datos de reflectividad en % mediante la ecuación (Begni 1988):

$$\rho_x = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot DN_x}{E_{sun_x} \cdot \cos(\theta_S) \cdot K_x}$$

ρ_x : reflectividad en la banda x ($0 < \rho_x < 1$)

d : distancia del Sol a la Tierra ($0.9833 < d < 1.0167$, en Unidades Astronómicas) varía según el día.

DN_x : cifra en formato digital (código de 8 bits, $0 < DN < 255$)

E_{sun_x} : irradiancia solar para la banda x del sensor

θ_S : ángulo zenital solar (radianes)

K_x : coef. de calibración (gain) de la banda x

La imagen resultante contiene los datos de reflectancia en % correspondientes a cada pixel para las cuatro bandas SPOT.

Obtención del índice NDII

Para cada imagen y cada pixel la combinación de las bandas B3 y B4 permite calcular el valor de NDII. (Normalized Difference Infrared Index), que responde a la fórmula (Hunt y Rock 1989):

$$NDII = \frac{\rho_{IRC} - \rho_{IRM}}{\rho_{IRC} + \rho_{IRM}}$$

ρ_{IRC} : reflectividad en el infrarrojo cercano.

ρ_{IRM} : reflectividad en el infrarrojo medio.

Se seleccionó este índice para estimar la humedad de la vegetación puesto que estudios anteriores (Hunt y Rock 1989, Coing 2002) han confirmado que está fuertemente relacionada con las bandas IRC e IRM y los índices en los que éstas intervienen.

Fusión de imágenes

Las siete imágenes SPOT se fusionaron en una sola que contiene en cada pixel los siete valores de NDII en orden cronológico de las imágenes de partida.

Selección de la zona común a las siete imágenes y de la zona correspondiente de CORINE.

Las siete imágenes con las que se inició el proceso comprenden una zona común de aproximadamente 1000 km², que es para la que se dispone de los siete valores de NDII. Se seleccionó esa misma zona del filtro CORINE para trabajar sólo con el trozo correspondiente a la superficie para la que se dispone de toda la información necesaria.

Aplicación del filtro CORINE a la imagen

Se combinó la zona común de las siete imágenes iniciales con la zona correspondiente del filtro CORINE. Ya que éste está compuesto por pixeles con valor 0 ó 1, el resultado fue un mapa en el que sólo aparecen los pixeles (con sus siete valores de NDII asociados) con valor 1, es decir, en los que existe riesgo de incendio.

Establecimiento de las distintas clases de variación de la humedad

El primer ensayo consistió en aplicar sobre el mapa resultante una clasificación con 20 clases, basada en una selección matemática automática e iterativa (método de los centros móviles). Los resultados no fueron satisfactorios, ya que las clases no reflejaban el rango de variación de NDII.

Dado que la clasificación automática no proporcionó los resultados perseguidos se elaboró un nuevo modelo que obtiene el valor máximo y mínimo de NDII y halla la diferencia entre ambos (amplitud), con lo que el mapa resultante contiene para cada pixel el valor: (NDII máximo - NDII mínimo).

Sobre este mapa se aplicó una clasificación automática con 20 clases que se establecieron en función del rango de variación de NDII. Las 20 clases se reagruparon en 5, asignando el mismo valor a las que se decidió unir en una sola tras contrastar la información del mapa por clases con los datos de NDII de las imágenes de origen y con las imágenes SPOT. Se crearon 5 clases ya que en Francia se trabaja con 5 niveles de riesgo de incendio, y la precisión cartográfica resultante es adecuada a los objetivos perseguidos.

Se aplicó a la imagen resultante un filtro morfológico para eliminar puntos aislados, ya que nos interesa poder localizar zonas más o menos amplias donde situar los puntos de muestreo. Cada pixel se integra en la clase resulte mayoritaria en una zona de 5x5 píxeles a su alrededor. Se eligió 5x5 como dimensiones ya que el mapa resultante se ajusta bien a los objetivos perseguidos. Sólo un 10% de los píxeles cambian de clase y, dentro de dicho porcentaje, ¼ de los píxeles modificados pasan de una clase a la contigua, por lo que la pérdida de precisión es muy pequeña.

RESULTADOS

Las cinco clases que componen el mapa definitivo (Figura 1) son fáciles de identificar y reflejan los distintos niveles de variación de la humedad de la vegetación a lo largo del período considerado (junio-octubre 2001).

Los puntos de muestreo para los próximos veranos deben reunir las siguientes características:

- 1) variación de humedad lo mayor posible
- 2) presencia de las especies de estudio: *Q. ilex* y *Q. Coccifera*.
- 3) cercanía a Montpellier.

4) proximidad a una carretera.

Se seleccionó la zona más cercana a Montpellier del mapa resultante del tratamiento de imágenes y se superpuso sobre ella el mapa de carreteras. Esto permite ver las zonas que reúnen las características 1, 3 y 4 (Figura 2).

variacion NDII muy debil	
variacion NDII debil	
variacion NDII media	
variacion NDII fuerte	
variacion NDII muy fuerte	

Figura 1.-Niveles de variación de NDII.

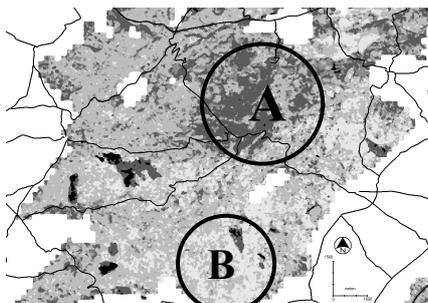


Figura 2.-Mapa de variación de NDII y carreteras en la zona cercana a Montpellier.

Las principales relaciones encontradas entre las clases de variación de NDII y las imágenes SPOT-HRVIR son las siguientes:

- las zonas de variación de NDII muy fuerte se quemaron en los dos últimos veranos, corresponden a suelo desnudo o con cubierta vegetal muy escasa.
- las zonas de variación de NDII fuerte están asociadas a suelo desnudo (zonas quemadas) o con escasa cubierta vegetal, así como a formaciones de *Q. Coccifera* (A en la Figura 2).
- las zonas de variación de NDII media están asociadas, en su mayoría, a formaciones de *Q. coccifera* pero aparecen también como manchas dispersas en otros tipos de ocupación del suelo.
- las zonas de variación de NDII débil están ocupadas por masas de *Q. Coccifera* y *Q. ilex*.
- las zonas de variación de NDII muy débil (B en la Figura 2) corresponden, en su mayoría, a *Q. ilex*, aunque también aparecen en masas de *Q. coccifera*.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De lo expuesto se extraen las siguientes conclusiones:

- las formaciones de *Q. coccifera* ocupan, en su mayoría, zonas de variación de NDII fuerte, media o

débil. No será difícil encontrar masas de muestreo en las que dicha variación sea fuerte.

- las formaciones de *Q. ilex* ocupan principalmente zonas de variación de NDII débil o muy débil, lo cual dificultará la elección de los puntos de muestreo. Habrá que ser meticoloso buscando las coordenadas de los puntos con GPS sobre el terreno o muestrear en zonas de variación débil.

Estos dos últimos puntos confirman lo observado en trabajos anteriores (Dauriac *et alii*. 2001, Iglesias 2003, Roldán 2003) donde quedó demostrado que las variaciones del contenido de humedad son más elevadas para *Q. coccifera* que para *Q. ilex*.

Para elegir los futuros puntos de muestreo será necesario contrastar la información aportada por este mapa con cartografía o fotografías aéreas donde puedan apreciarse los distintos tipos de vegetación, o verificar las zonas sobre el terreno, ya que las clases obtenidas no están asociadas necesariamente a un tipo de formación vegetal o a una especie. En la próxima campaña de muestreos (verano 2003) habrá que verificar si las clases establecidas se corresponden con los datos procedentes de la vegetación.

Sería posible obtener, a partir de los resultados obtenidos, un mapa mucho más preciso en el que se diferenciase las formaciones de cada especie dentro de cada clase de variación de NDII, lo cual sería muy útil para nuestro objetivo.

En futuros trabajos sería interesante repetir el método presentado utilizando otros índices: SAVI (Huete 1988), GVMi (Ceccato *et alii*. 2001) para comparar resultados y ver si realmente NDII es el que mejor se adapta a los objetivos perseguidos.

La línea de investigación queda por tanto abierta a futuras aportaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Begni, G. 1988. Document de synthèse sur l'étalonnage absolu des données Spot. CNES, Toulouse (France).

Ceccato, P., Godron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S. 2001. Designing a Spectral Index to Estimate Vegetation Water Content from Remote Sensing Data. *Remote Sensing of Environment*, no. 82:188-197.

Coing, P. 2002. Suivi par télédétection basse résolution, de la dynamique temporelle de la teneur

en eau de la végétation méditerranéenne, pour la prévention du risque de feu de forêt. Mastère Spécialisé en Sciences Forestières, Engref, Nancy.

Chuvieco, E., Riaño, D., Aguado, I., Cocero, D. 2002. Estimation of Fuel Moisture Content from Multitemporal Analysis of LANDSAT Thematic Mapper reflectance Data : Applications in the Fire Danger Assessment. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, no.11: 2145-2162.

Dauriac, F., Deshayes, M., Gillon, D., Roger, J-M. 2001. Suivi de la Teneur en Eau de la Végétation Méditerranéenne par Télédétection. Application au Risque de Feu de Forêt. *Conferencia SURNAT, 6-7 diciembre 2001*, Sophia-Antipolis, Francia.

Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, no.25:295-309.

Hunt, E.R., Rock, B.N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near and middle-infrared reflectances. *Remote Sensing of Environment*, no.30:43-54.

Iglesias, A. 2003. Aportación de la Teledetección al estudio de combustibles en la vegetación mediterránea. Aplicación a la prevención del riesgo de incendio forestal. PFC de la ETSI Montes, UPM.

Roldán, A. 2003. Seguimiento mediante técnicas de Teledetección del contenido de humedad de la vegetación mediterránea para la prevención de incendios forestales. PFC de la ETSI Montes, UPM.

Viegas, D.X., Viegas, T.P., Ferreira, A.D. 1992. Moisture content of fine forest fuels and fire occurrence in Central Portugal. *The International Journal of Wildland Fire*, vol. 2, no.2:69-85.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue llevado a cabo por Asunción Roldán Zamarrón en la Maison de la Télédétection (UMR-3S Cemagref-Engref) en Montpellier, bajo la dirección de Fabien Dauriac y Michel Deshayes y la supervisión de Federico González Alonso (INIA, Madrid), como parte del proyecto Fin de Carrera para la ETSI Montes de la Universidad Politécnica de Madrid.