

Estudio de afecciones por plagas y decaimiento forestal en masas de coníferas mediante imágenes procedentes de sensores hiperespectrales.

A. Cabello¹, J. E. Frieyro¹, L. Granado¹, A. Hayas¹, E. Méndez¹, G. Montoya¹, I. Pino¹, R.M. Navarro² y R. Hernández².

¹ EGMASA. Dpto. de Comunicación y Sistemas de Información y Unidad de I+D+i. Johan G. Gutenberg, 1. 41092, Sevilla. jfrieyro@egmasa.es

² DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Apdo. 3048. 14080-Córdoba.

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la aplicación de distintos sensores hiperespectrales para la cartografía de daños producidos por procesionaria en masas de *Pinus pinea* L., y por decaimiento forestal en masas de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arnold. A partir de la selección de los bioindicadores más adecuados se establecieron correlaciones con índices de vegetación derivados de las imágenes. Entre los sensores utilizados en el proyecto destacó el sensor aerotransportado AHS por su resolución espectral y espacial, así como, por la información suministrada en la región del térmico relacionada con el potencial hídrico.

Palabras clave: *Sensores hiperespectrales, plagas, decaimiento forestal, indicadores biofísicos, térmico e integración de sensores.*

ABSTRACT

This paper reports on application of hyperspectral sensors to map damages produced by Thaumetopoea pityocampa Den. & Schiff and forest decline in Andalusia. The study was carried out at two different sites (Almonte and Filabres) where bioindicators were collected and then linked with vegetation index derived from hyperspectral imagery. Among the studied sensors, the airborne hyperspectral sensor AHS show to be the most suitable for mapping forest damage in pine stands because of its spatial and spectral resolution, and due to the thermal information retrieved.

Keywords: *remote sensing, plagues, forest decline, bioindicators, thermal remote sensing.*

INTRODUCCIÓN

El conocimiento del estado fitosanitario de la vegetación constituye un punto clave para la gestión de los montes andaluces y de los recursos destinados a su control. Además de los sistemas de seguimiento de daños basados en parcelas de control existentes, es necesario desarrollar otros que permitan obtener una visión espacializada más precisa. Los sensores hiperespectrales representan una gran oportunidad para abordar esta tarea gracias a su resolución espectral y la capacidad que estos tienen para suministrar información de grandes extensiones del terreno. En este contexto se ha desarrollado el proyecto para la implementación de nuevas tecnologías, basadas en la investigación y desarrollo de metodologías avanzadas con sensores hiperespectrales, aplicadas en el contexto forestal andaluz.

El objetivo principal del proyecto fue detectar y cartografiar los cambios fisiológicos del arbolado producidos por la procesionaria y por procesos de decaimiento a través de índices de vegetación calculados a partir de imágenes hiperespectrales.

Las plagas de procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa* Den. & Schiff.)

La procesionaria es actualmente el defoliador más importante de los pinares andaluces. Este lepidóptero de la familia *Thaumetopoeidae* se alimenta de las acículas de todas las especies de pinos presentes en Andalucía. En su fase larvaria (oruga) es cuando producen las defoliaciones en los pinos donde se alimentan durante el otoño, el invierno e incluso la primavera en las zonas más frías.

Procesos de decaimiento forestal en masas de coníferas

Los decaimientos forestales son enfermedades de etiología compleja, en las que concurren distintos agentes causales que provocan el deterioro sanitario del árbol y en último lugar la muerte del mismo. Sin embargo, por lo general siempre existe un agente desencadenante, de origen biótico o abiótico, que tiene un peso específico mayor en el desarrollo de la enfermedad. En el caso concreto de los procesos de decaimiento de masas de pino en la Sierra de los Filabres (Almería), la sucesión de varios periodos con bajas precipitaciones y periodos estivales prolongados, han provocado junto a otros factores, la aparición de síntomas de decaimiento en las poblaciones de pinos de esta sierra.

SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para el estudio de evaluación de daños por plagas de procesionaria se seleccionó una masa de pinares de *Pinus pinea* L. situada en Almonte. Se trata de una zona de bajo relieve con una topografía ondulada.

La zona de estudio de decaimiento forestal se encuentra en la Sierra de los Filabres (Almería), está comprendida una masa de pinares procedentes de repoblación de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y pino salgareño (*Pinus nigra* Arnold.). El problema de decaimiento de pinares en la Sª de Filabres viene siendo observado por los Agentes Forestales desde el año 2002. Desde entonces los daños han experimentado un progresivo aumento hasta afectar a gran parte de las repoblaciones de pinos (Navarro *et al.*, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Adquisición de imágenes

Tras evaluar las necesidades del proyecto y las características resolutorias de los sensores, se optó por el sensor AHS (Airborne Hyperspectral Scanner) como eje central del proyecto. Además, se eligieron otros sensores que por sus características espaciales y/o espectrales podrían adaptarse a las necesidades del proyecto, como es el caso de los sensores hiperespectrales Hyperion y CHRIS-PROBA. Por otro lado, para obtener una comparación de las aptitudes de los sensores hiperespectrales frente a los multispectrales, y como complemento del estudio se adquieren

imágenes Landsat TM y QuickBird.

Sensor	Fecha de adquisición
AHS	27/02/08 (Almonte)
AHS	23/07/08 (Filabres)
Hyperion	28/08/08 (Filabres)
ChrisProba	29/07/08 (Filabres)
Landsat TM	21/07/08 (Filabres)
QuickBird	18/07/08 (Filabres)

Tabla 1: Imágenes utilizadas, con indicación de la fecha y la localización de la zona de estudio.

Campañas de campo

Las campañas realizadas en Almonte y Filabres durante el año 2008 se programaron y ejecutaron entorno a los vuelos realizados con el sensor AHS. El principal objetivo de la campaña de Almonte fue caracterizar el LAI-IAF (índice de área foliar) de las parcelas seleccionadas, ya que el principal daño que produce la procesionaria es la defoliación. En Filabres sin embargo, y dado que los procesos de decaimiento que allí se dan están relacionados con estados de estrés hídrico, se tomaron además medidas de conductancia estomática, potencial hídrico y temperatura del dosel arbóreo. Además en ambas campañas se recogieron muestras de acículas para el análisis de contenidos en clorofilas y xantofilas.

Radiometrías y caracterización atmosférica

Para realizar los controles de calidad de las imágenes y para la calibración de estas, se realizaron radiometrías de campo en todas las campañas asociadas a los vuelos con el sensor AHS. Para las radiometrías se utilizó un radiómetro GER 3700. Se tomaron medidas de radiancia y reflectancia en cada uno de los transectos que determinaban las pasadas y de manera simultánea al paso del avión.

Para la caracterización del espesor atmosférico se utilizó un fotómetro solar, modelo 540 Microtops II™ Sunphotometer, con el que se midió el espesor óptico de aerosoles, vapor de agua e irradiancia solar directa.

Tratamiento previo de las imágenes

Las imágenes AHS fueron suministradas por el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) corregidas a valores de reflectividad y emisividad sobre la cubierta, incorporando un archivo IGM que permitió

posteriormente su georreferenciación. Los datos fueron corregidos atmosféricamente utilizando el modelo ATCOR4, basado en el código de transferencia radiativa MODTRAN. Como datos auxiliares se utilizaron medidas de aerosoles en campo a 1.020 nm en el momento de la toma de la imagen.

La corrección atmosférica, a niveles de reflectancia sobre cubierta, se hizo mediante la implementación de la aplicación del modelo de transferencia radiativa FLAASH en ENVI 4.6, para las imágenes Hyperion, Landsat TM y QuickBird. En el caso de los datos ChrisProba, estos fueron corregidos a nivel de reflectancia sobre la cubierta utilizando el software BEAM 4.6 de la Agencia Espacial Europea, aplicando previamente un algoritmo interno para la reducción del ruido en la señal. Para facilitar la discriminación de la cubierta forestal se aplicó en todos los casos una máscara de suelo calculada a partir del NDVI. Los datos fueron georreferenciados con coordenadas UTM (European Datum 1950) a partir de la ortofoto de la Junta de Andalucía (año 2006).

Cálculo de índices y correlaciones

El nexo de unión entre las imágenes y los parámetros biofísicos medidos en campo se estableció mediante correlación estadística a través de índices de vegetación. Para ello se revisó una amplia batería de índices de vegetación (Zarco *et al.*, 1999) de los cuales se seleccionaron para las correlaciones los que figuran en la tabla 2.

Índice	Referencia
$NDVI = (R_{NIR} - R_{red}) / (R_{NIR} + R_{red})$	Rouse et al. (1974)
$SR = R_{NIR} / R_{red}$	
$MSR = ((R_{NIR} / R_{red}) - 1) / (((R_{NIR} / R_{red}) + 1) / 0,5)$	Chen et al. (1996)
$GM1 = R_{750} / R_{550}$ $GM2 = R_{750} / R_{700}$	Gitelson & Merzlyak (1997)
$Vog1 = (R_{740}) / (R_{720})$	Vogelmann et al. (1993)

Tabla 2: Índices de vegetación calculados para la correlación de las imágenes con el contenido en clorofila y LAI.

A partir de la información térmica captada por el sensor AHS, se obtuvo la diferencia entre la temperatura de copas y la ambiental, que más tarde sirvió para obtener correlaciones con la conductancia estomática y el potencial hídrico

medidos en campo.

Finalmente las regresiones obtenidas sirvieron para elaborar mapas de dichos indicadores (LAI, contenido en clorofila, conductancia estomática, potencial hídrico, etc.) del estado fitosanitario de las masas de pinos estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las correlaciones más significativas se obtuvieron entre el contenido en clorofila y los índices Vogelmann y Gitelson para *P.nigra*. Mientras que para el LAI se obtuvieron mejores correlaciones con el índice MSR en masas de *P.sylvestris* (tabla 3).

AHS				
		P.sylvestris	P.nigra	P.pinea
LAI	MSR	60,23	55,78	-
	SR	56,83	57,69	53,26
	NDVI	53,24	51,31	-
Chl	Vogelmann	52,77	69,95	52,77
	Gitelson	50,21	68,50	-
	NDVI	30,66	59,58	-
QuickBird				
LAI	MSR	47,82	18,78	-
	SR	47,62	16,48	-
	NDVI	37,42	26,07	-
Chl	Vogelmann	33,94	68,72	-
	Gitelson	28,71	39,99	-

Tabla 3: Valores de R^2 obtenidos en las regresiones.

Por otro lado, a partir de la temperatura de las copas de los pinos se obtuvieron correlaciones muy significativas con la conductancia estomática, especialmente para masas de *P.sylvestris* (tabla 4).

Tc - Ta		P.sylvestris	P.nigra
	ΨH_2O	32,06	47,76
	Gs	67,30	48,74

Tabla 4: Valores de R^2 obtenidos en las regresiones (Tc - Ta: temperatura de copa menos temperatura ambiente; ΨH_2O : Potencial hídrico del xilema; Gs: Conductancia estomática).

Las regresiones calculadas se utilizaron para elaborar cartografías de los indicadores medidos en campo. Mediante segmentación de umbrales y en base a las clases de daño observadas en campo, y los parámetros biofísicos medidos, se

obtuvieron mapas de distribución de valores de los parámetros biofísicos indicadores de procesos de decaimiento y de defoliaciones producidas por procesionaria.

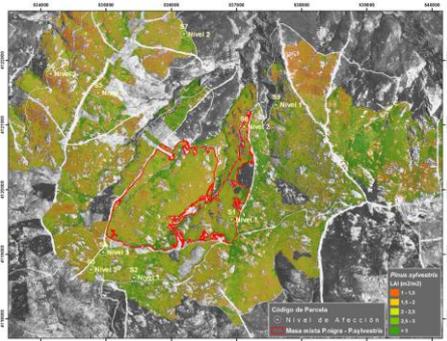


Figura 1: Estimación de LAI (m^2/m^2), a partir de imágenes AHS en la Sª de los Filabres (Almería) en masas de *Pinus sylvestris*.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han mostrado los resultados de la aplicación de índices de vegetación, calculados a partir de sensores hiperespectrales, para la estimación de bioindicadores y su aplicabilidad cuando se pretende obtener cartografía a nivel de coberturas forestales de pinares en Andalucía. La estructura de las masas forestales juega un papel primordial en las estimaciones de muchos parámetros relacionados con masas forestales, como son su cobertura (e.g. densidad, fracción de cubierta, etc.), su estado vegetativo (e.g. estrés, incidencia de plagas y enfermedades, etc.), pero también de numerosos parámetros indirectos como son la biomasa o la productividad de esos ecosistemas. El uso de índices es una primera aproximación para su modelización espacial.

La generación de cartografía a través del cálculo de correlaciones entre indicadores-biofísicos e índices de vegetación, permitió tener una visión espacializada de los procesos de decaimiento en la Sª de los Filabres y de las defoliaciones de Almonte

La conductancia estomática fue el predictor más adecuado de estrés, mostrando cambios en sus valores tanto entre distintos grados de daños, como entre especies.

La conductancia estomática, como indicador de estrés, se puede utilizar de forma complementaria con otros indicadores como el

LAI y la concentración de clorofila, para evaluar procesos de decaimiento en ecosistemas forestales sobre grandes superficies.

Las relaciones numéricas establecidas permiten obtener cartografía de alta resolución de los niveles de estrés de la vegetación, que puede incorporarse en los procesos de planificación forestal.

BIBLIOGRAFÍA

CHEN, J. M. & CIHLAR, J. 1996. *Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images*. Remote Sensing of Environment, 55, 153–162.

GITELSON, A.A. & MERZLYAK, M.N., 1997. *Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves*. International Journal of Remote Sensing, 18, 2691–2697.

NAVARRO CERRILLO, R.M., VARO M.A., LANJERI S., & HERNÁNDEZ CLEMENTE R., 2007. *Cartografía de defoliación en los pinares de pino silvestre (Pinus sylvestris L.) y pino salgareño (Pinus nigra Arnold.) en la Sierra de los Filabres*. Ecosistemas 16 (3). Septiembre.

ROUSE J.W., HAAS R.H., SCHELL J.A. & DEERING D.W., 1974. *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, pp 301–317

VOGELMANN, J.E., et al., 1993. *Red-edge spectral measurements from sugar maple leaves*. International Journal of Remote Sensing, 14: 1563-1575.

ZARCO-TEJADA, P.J., MILLER J.R., MOHAMMED G.H., NOLAND T.L., & SAMPSON P.H., 1999. *Índices Ópticos obtenidos mediante datos Hiperespectrales del sensor CASI como Indicadores de Estrés en Zonas Forestales*. VIII Congreso Nacional de Teledetección, Asociación Española de Teledetección, Albacete (Spain), 22-24 Septiembre.