

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CONTENIDO EN PIGMENTOS CLOROFÍLICOS SOBRE LA DISCRIMINACIÓN ENTRE CLASES ESPECTRALES DE OCUPACIÓN DE SUELO A PARTIR DE IMÁGENES T.M.

M. Estíbaliz Martínez*, Santiago Ormeño**, Agueda Arquero*, Consuelo Gonzalo*

*DATSI. Facultad de Informática (UPM), Campus de Montegancedo 28660 Boadilla del Monte (Madrid).
E-mail EMARTINEZ@FIUPM.ES.

**D. Ing. Topográfica y Cartografía, EUIT.Topográfica, Ctra. de Valencia, km 7, 28031 Madrid.

Resumen. En este trabajo se establece una correlación entre la respuesta espectral de datos procedentes del sensor T.M. (LANDSAT-5) y los espectros de reflectancia obtenidos en el laboratorio para diferentes pigmentos fotosintéticos (Clorofila-a, Clorofila-b, α -Caroteno, β -Caroteno y Xantofila) y sus mezclas de laboratorio (M1, M2 y M3), como continuación de nuestros anteriores estudios sobre comportamiento de suelos en teledetección. Utilizando dichos datos es posible lograr una buena correlación entre los valores obtenidos en TM2, TM3 y su diferencia; y los contenidos en Clorofila-a y Clorofila-b en las mezclas sintéticas. También se propone un método para la estimación del contenido clorofílico en clases ocupacionales del suelo.

Abstract. Correlation between spectral reflectance answer provided by TM sensor (LANDSAT-5) and reflectance spectra obtained at laboratory for different photosynthetic pigments (Chlorophyll a, Chlorophyll b, α -Carotene, β -Carotene and Xanthophyll) and their laboratory mixtures (M1, M2 and M3) has been established at this work, which is a prolongation of our soils remote sensing later studies. Good correlation between TM2, TM3 and TM2-TM3 reflectance bands and Chlorophyll a, Chlorophyll b mixtures content, has been provided by used data. Also, we propose a method for chlorophyll content estimation at cover thematic classes.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos planteados, en investigaciones que utilizan como fuente de datos la teledetección, es obtener información de la cubierta vegetal del terreno a partir del estudio de su interacción con la radiación solar. Existe un cierto número de factores que conviene tener en cuenta cuando el estudio y valoración de la respuesta espectral de la cubierta vegetal es utilizada para aplicaciones posteriores. Dentro de estos factores se encuentran una serie de elementos de origen vegetal de distribución heterogénea y aleatoria como flores, hojas, tallos y ramas; que junto con la influencia que ejerce el suelo de las inmediaciones, hacen que la interpretación de la respuesta espectral de la cubierta vegetal sea elevadamente compleja [1].

Las hojas verdes son los componentes más influyentes en la respuesta espectral de dichas cubiertas. Los pigmentos clorofílicos, sus constituyentes fundamentales, tienen un gran efecto

por sus propiedades de absorción y reflexión de la radiación a la que son sometidos. La absorción debida a la clorofila-a tiene lugar en la región del rojo del espectro electromagnético, presentando una banda centrada en 675 nm y con una anchura de 30 nm. La absorción de la clorofila-b se presenta como una banda centrada en 650 nm y de menor intensidad que la de la clorofila-a. La justificación de estas absorciones se encuentra en las transiciones electrónicas existentes entre los grupos cromóforos de la clorofila-b y los carotenoides, y la clorofila-a [2].

Mientras que en la región visible (VIS) del espectro, es evidente la influencia de los pigmentos en los valores de la reflectancia de la vegetación, en la región del infrarrojo cercano (NIR), la elevada reflectancia obtenida es consecuencia de la dispersión de la radiación solar por el mesófilo o estructura interna de las hojas.

Para la caracterización de diferentes cubiertas se pueden utilizar dos métodos diferentes de adquisición de datos espectrales: en el laboratorio, con un espectrofotómetro y a partir de sensores remotos [3].

En nuestro trabajo hemos registrado los espectros de laboratorio de diferentes pigmentos vegetales y de tres mezclas sintéticas que los contienen en diferentes proporciones. Nuestro objetivo principal es correlacionar los datos de las firmas espectrales de diferentes cubiertas vegetales de una imagen (Landsat Thematic Mapper) previamente clasificada, con los datos obtenidos en el laboratorio.

2. METODOLOGÍA

Se han registrado los espectros de reflectancia difusa en un rango de longitudes de onda situado entre 400 y 2000 nm, utilizando un espectrofotómetro UV/VIS/NIR Perkin-Elmer Lambda 9 con esfera integradora de 60 mm, para los siguientes pigmentos: clorofila-a, clorofila-b, α -caroteno, β -caroteno y xantofila (suministrados por ALDRICH); y sus mezclas preparadas en laboratorio denominadas M1, M2 y M3, cuyas proporciones se encuentran recogidas en la tabla I.

Tabla I. Composición en porcentaje en peso de las mezclas.

Pigmentos	M1	M2	M3
Clorofila-a	28,05	51,29	20,40
Clorofila-b	-	33,91	68,70
α -caroteno	17,39	-	2,74
β -caroteno	14,70	2,62	-
Xantofila	39,86	12,18	8,16

Los espectros resultantes son reducidos en sus valores de reflectancia para los diferentes intervalos de longitudes de onda correspondientes a las bandas del satélite (Tabla II), con la consiguiente pérdida de información acerca de la estructura molecular de los pigmentos.

Tabla II. Extracción de los valores de reflectancia de los pigmentos y sus mezclas a los valores medios de las bandas T.M.

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Clor-a	62,10	20,23	13,95	40,38	67,49
Clor-b	76,92	24,99	18,48	48,88	76,26
α -Car	64,54	21,36	19,07	47,26	67,03
β -Car	41,36	13,89	15,79	53,13	73,85
Xant	83,14	27,62	21,78	49,88	73,22
M1	49,85	17,09	14,92	39,36	58,26
M2	63,74	20,99	16,19	44,49	70,42
M3	67,16	22,19	16,76	44,04	69,58

La imagen que ha sido previamente clasificada mediante el clasificador Bayesiano óptimo y supervisión de campo, pertenece a una escena localizada en el Noroeste de la provincia de Toledo (cuarto nº 3 de la escena 201/32 EOSAT), correspondiente al mes de Mayo.

Los valores de reflectancia exoatmosférica procedentes de los datos de satélite han sido obtenidos por transformación de los valores digitales utilizando el método propuesto por B. L. Markham et al. [4], en el que se utilizan tablas de calibración, posición del Sol y del satélite, tablas astronómicas.....

Para el análisis interrelacionado de la información, se utilizan herramientas de software específicas. En la tabla III se presentan los valores de reflectancia frente a la longitud de onda de las bandas T.M., para cada una de las clases espectrales procedentes de la clasificación.

3. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Al reducir los espectros registrados en el laboratorio, a la longitud de onda media del intervalo de las bandas del sensor T.M., para los pigmentos vegetales y sus mezclas sintéticas, se pierde parte de la

Tabla III. Reflectancias de las clases para las diferentes bandas T.M.

Clase	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Cebada	9,6	9,3	7,1	34,5	14,7
Regadío	10,0	9,0	6,5	40,6	15,0
Trigo	9,8	9,5	6,8	44,9	16,1
Pastizal	9,0	8,4	5,8	41,3	15,1
Barbecho	12,7	13,9	14,8	27,7	32,4
Monte alto	10,2	9,3	8,3	21,5	20,4
Matorral	10,0	9,6	8,8	27,6	20,2
Bos.mixto	9,6	8,3	7,0	20,1	16,1

información espectral. Sin embargo, esta información es suficiente para comprobar que existe una relación directa entre el contenido en Clorofila-b de las mezclas estudiadas y su respuesta espectral en TM2 y TM3, calculándose los coeficientes de correlación entre los datos del contenido (porcentaje en peso) de los pigmentos en las mezclas sintéticas de laboratorio, y los valores de reflectancia que presentan en TM2 y TM3 (Tabla IV).

Tabla IV. Valores de los coeficientes de correlación.

Pigmentos cont.	TM2	TM3
Clorofila-a	0,056	- 0,023
Clorofila-b	0,954	0,975
Clor-a + Clor-b	0,985	0,968

Este comportamiento no se mantiene cuando se considera la proporción en clorofila-a exclusivamente, encontrándose una correlación más satisfactoria cuando se estudia el contenido global en pigmentos clorofílicos (Clorofila-a + Clorofila-b), siendo su coeficiente de correlación de 0,985 y 0,968 para la reflectancia en TM2 y TM3 respectivamente.

Como ya ha sido comprobado [3], la pendiente negativa existente entre la reflectancia en TM2 y TM3, en el perfil de la firma espectral para cubiertas vegetales vigorosas es indicativa de una alta concentración en pigmentos clorofílicos por unidad de área. Por esta razón, se ha estudiado la correlación existente entre el contenido global en clorofilas y la diferencia en reflectancia para los datos en TM2 y TM3 de las mezclas sintéticas, obteniéndose un coeficiente de 0,982. Este coeficiente se mejora (0,988) si se introduce en el estudio de la correlación la diferencia entre los valores de reflectancia entre TM2 y TM3 existentes en la clase barbecho, considerando a esta clase como una mezcla en la que habría un 0% de contenido en clorofila-a + clorofila-b.

En el supuesto de que los dos conjuntos de observaciones (laboratorio y sensor T.M.) perteneciesen al mismo espacio y considerando la recta de regresión obtenida para los valores de las mezclas y barbecho, pueden estimarse los contenidos en

clorofilas de las diferentes clases de ocupación. Bien es cierto, que para robustecer esta hipótesis sería necesario obtener más puntos de control que permitiesen establecer una correspondencia rigurosa entre los espacios de campo próximo y campo lejano.

En nuestro caso para los datos citados, se obtienen los valores de contenido en pigmentos clorofílicos que se presentan en la tabla V, lo que permite establecer la siguiente relación de orden: Trigo>Pastizal>Regadío>Cebada>Bosque mixto>Bosque alto>Matorral.

Tabla V. Estimación del contenido en clorofilas de las diferentes clases de ocupación.

Clase de ocupación	Contenido
Cebada	40,18
Regadío	44,55
Trigo	47,45
Patizal	46,00
Monte alto	22,74
Matorral	19,83
Bosque mixto	27,10

Esta relación está de acuerdo con lo que cabría esperar dado el estado vegetativo en el que se encontraban las clases de estudio cuando se realizó la supervisión de campo.

Si se tiene en cuenta que, todas las clases de ocupación pertenecen a una imagen obtenida en primavera (Mayo), que la cebada entra en madurez ligeramente antes que el trigo y que el cultivo de regadío se encuentra en un estadio temprano de su desarrollo, parece que los resultados en lo que respecta a estas clases citadas son coherentes.

El resto de las clases de ocupación pertenecientes a vegetación permanente natural muestran, como es de esperar, menores contenidos de clorofila hipotéticos, siendo el matorral el que presenta el menor valor, lo que parece lógico dada la menor cobertura de esta clase.

4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio intentando correlacionar los datos obtenidos de los espectros de reflectancia de laboratorio para pigmentos vegetales y los datos obtenidos a partir de una imagen del sensor T.M.

Una extracción de los datos de laboratorio a las longitudes de onda de las bandas T.M., conlleva una considerable pérdida de información acerca de las características estructurales de dichos pigmentos.

Se observa una elevada correlación positiva entre el contenido global en clorofilas (Clorofila-a + Clorofila-b) y los datos espectrales en TM2 y TM3 para las mezclas de pigmentos (M1, M2, M3) preparadas en laboratorio.

En el supuesto de que los dos conjuntos de observaciones (campo próximo y campo lejano) perteneciesen al mismo espacio, es posible ordenar por su contenido global en pigmentos clorofílicos siete clases de ocupación, resultado de clasificar una imagen T.M., por métodos clásicos.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la CICYT por la financiación del proyecto TIC96-0388 y a la Dra. Alicia Pons (C.S.I.C.) por la utilización del espectrofotómetro de reflectancia difusa.

6. REFERENCIAS

- [1] Hurcom, S. J., Harrison, A. R. and Taberner, M. Assessment of biophysical vegetation properties through spectral decomposition techniques, *Remote Sens. Environ*, 1996, Vol. 56, p. 203-14.
- [2] Curran, P.J., Dungan, J. L., Macler, B. A., and Plummer, S. E. The effect of a red leaf pigment on the relationship between red Edge and chlorophyll concentration, *Remote Sens. Environ*, 1991, Vol. 35, p. 69-76.
- [3] Gonzalo, C., Martínez, E., Arquero, A. and Ormeño, S.; *Measurements and Modelling in Environmental Pollution*. Computational Mechanics Publications UK, USA. 1996. p. 471-79. ISBN 1-85312-461-3.
- [4] Markham, B.L. and Barker, J. L., "Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and AT-Satellite Temperatures", *EOSAT, Landsat Technical Notes*, 1986, 1, p.3-8.