

DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA FIRMA ESPECTRAL DE LA VEGETACIÓN. UNA SENCILLA PRÁCTICA DE INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN.

Carmelo Alonso (*), Victoriano Moreno (*) y Elías Rodríguez (**)

calo@mdr.indra-espacio.es

(*) *Departamento de Teledetección, INDRA Espacio. C/ Mar Egeo, nº 4. 28850 San Fernando de Henares, MADRID.*

(**) *MEC Instituto "VALDEMORO II". 28340 Valdemoro, MADRID.*

RESUMEN: Una de las principales dificultades que entraña la enseñanza de la teledetección, especialmente cuando se dirige a alumnos con escasa formación técnica como son los de bachillerato, es la asimilación de sus conceptos fundamentales. En este sentido, la realización de prácticas de radiometría en el laboratorio o en el campo con instrumentos sencillos son de gran ayuda en la didáctica de esta disciplina en la enseñanza secundaria. En esta comunicación presentamos una práctica de radiometría, realizada en el laboratorio de Ciencias Naturales del instituto Valdemoro II, para los alumnos de bachillerato.

ABSTRACT: One of the main difficulties inherent to remote sensing training, especially for secondary school students with basic technical skills, is the assimilation of its fundamental concepts. In this sense, the realization of a radiometry practice in the laboratory or in the field with simple instruments are of great help in the didactics of this discipline in the secondary education. In this communication we present a radiometry practice, carried out in the laboratory of Natural Sciences of the institute Valdemoro II, for the secondary school students.

Palabras clave: radiometría, teledetección, firma espectral, reflectancia.

INTRODUCCIÓN

Los sensores instalados a bordo de los satélites destinados a la observación de la Tierra miden la cantidad de radiación reflejada o emitida por ésta. Son, por tanto, un tipo de radiómetros. Para cada punto observado del terreno o píxel, la cantidad de radiación reflejada o reflectancia se mide en varias bandas espectrales. El número de bandas que puede discriminar el radiómetro y su anchura determinan su resolución espectral.

Los distintos tipos de coberturas terrestres (bosques, suelos cultivados, láminas de agua, etc.) se distinguen por la energía que reflejan y emiten. Estos "espectros" que caracterizan el tipo de cubierta observada constituyen su firma espectral (figura 1).

Con el fin de poder analizar e interpretar los datos adquiridos por dichos sensores, es necesario realizar medidas radiométricas en el laboratorio o en el campo. A partir de dichas medidas es posible determinar la relación entre esas curvas de referencia, que son la firmas espectrales, y las características del objeto observado (Pinilla, 1995).

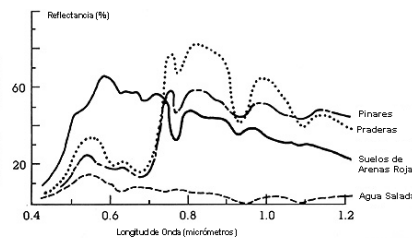


Figura 1: Firma espectral de distintas coberturas terrestres (adaptado de *Short, 1997*).

El objetivo que perseguimos con la realización de esta práctica es obtener diferentes firmas espectrales para la vegetación en distintas condiciones, de manera sencilla y asequible para los alumnos de bachillerato. Presentándoles, a la vez, los fundamentos de las técnicas de teledetección y sus aplicaciones en el campo de las Ciencias Naturales.

MEDIDAS RADIOMÉTRICAS EN EL LABORATORIO

Se define por radiancia el cociente entre la intensidad luminosa emitida por una superficie y el área aparente de la misma, para un observador lejano. La radiancia se expresa en unidades de vatios / sterorradian A m². La radiancia de una superficie depende de la longitud de onda, λ , de la luz. Por ello se define la radiancia espectral, $L(\lambda)$, para una longitud de onda dada, como

$$L(\lambda) = \frac{\Delta I(\lambda) \cos \theta}{\Delta A}$$

siendo θ el ángulo formado por la normal a la superficie radiante y la dirección considerada.

La lectura del radiómetro es proporcional a la radiancia del blanco observado, es decir a la intensidad de la radiación en la dirección de observación y por unidad de superficie aparente del blanco. Si la superficie observada por el radiómetro es homogénea, el resultado de la medida es independiente de la distancia del radiómetro a la superficie y de las dimensiones del campo de observación. Por ello, la radiancia es una magnitud fundamental en teledetección.

La reflectancia, R , de una superficie se define físicamente como el cociente entre la potencia de la radiación reflejada y la potencia total recibida por la misma. Dado que la cantidad de radiación reflejada por la superficie siempre será menor o igual que la potencia recibida, la reflectancia tendrá valores comprendidos entre 0 y 1. Normalmente suele expresarse en porcentaje.

La reflectancia es una magnitud característica del medio y, por tanto, es esta magnitud la base para el reconocimiento de sustancias. Al igual que la radiancia, la reflectancia también depende de la longitud de onda, $R(\lambda)$.

En la realización de esta práctica hemos procurado que el objeto estudiado fuera iluminado homogéneamente. En estas condiciones, comparamos, para una banda espectral dada y para una misma dirección de observación, la radiancia espectral de la sustancia estudiada, $L(\lambda)$, por un lado, y la radiancia espectral de una superficie blanca de referencia, $L_0(\lambda)$, por otro lado.

Para la realización de la práctica hemos utilizado un sencillo radiómetro de campo de la marca JEULIN. Se trata de un instrumento que

funciona mediante corriente continua suministrada por una pila de 9 voltios. Su elemento principal es el fotodetector, que puede considerarse prácticamente puntual (2.7 mm x 2.7 mm), situado en el extremo más elevado del tubo del radiómetro. En el extremo inferior, un diafragma permite seleccionar tres aberturas de campo diferentes: una cuadrada de 1 cm x 1 cm, y dos circulares de distintos diámetros.

La dimensión del campo de observación es proporcional, por un lado, a la distancia entre el fotodetector y el objeto a estudiar, d , y por otro lado al tamaño de la abertura del diafragma. De esta forma, por ejemplo, para $d = 18$ cm, correspondiente a la altura máxima del radiómetro con respecto a su base, el campo de observación para la abertura cuadrada del diafragma es de aproximadamente 6 x 6 cm². Para las otras dos aberturas, el tamaño del campo es considerablemente inferior.

Este instrumento es capaz de medir la radiancia en un determinado intervalo espectral o banda. Gran parte de los radiómetros utilizados en campo son multicanal, es decir, capaces de efectuar lecturas de radiancia en más de una banda. Con ello pueden abordarse estudios de correlación entre algún fenómeno de interés y la radiancia medida, por ejemplo la existente entre el cociente de las radiancias en el infrarrojo próximo y en el rojo y el vigor de la vegetación.

El radiómetro dispone de un disco portafiltros con 6 filtros diferentes que nos permite seleccionar distintas bandas del espectro electromagnético (tabla 1).

REFERENCIA	FILTRO	λ en nm
O	Cerrado	-
SF	Sin Filtro	-
B	Azul	400 - 500
V	Verde	500 - 600
R	Rojo	600 - 700
RF	R. Lejano	700 - 800
RC	R. Completo	600 - 800
IR	Infrarrojo	800 - 1100

Tabla 1: Canales de detección del radiómetro JEULIN

Estos canales del radiómetro se corresponden con las diferentes bandas espectrales (Tabla 2) en que pueden obtener información distintos sensores embarcados en los satélites de observación de la Tierra, que son muy utilizados en la obtención de parámetros medioambientales a partir de la teledetección.

Satélite	Sensor	Banda	λ en nm
LANDSAT	MSS	MSS1	500 - 600
		MSS2	600 - 700
		MSS3	700 - 800
		MSS4	800 - 1100
	TM	TM1	450 - 520
		TM2	520 - 600
		TM3	630 - 690
		TM4	760 - 900
SPOT	HRV	XS1	500 - 590
		XS2	610 - 680
		XS3	790 - 890

Tabla 2: Canales de observación de diferentes sensores utilizados en teledetección.

FIRMAS ESPECTRALES DE LA VEGETACIÓN:

Aquí nos vamos a centrar en la firma espectral de la vegetación verde. Esta se caracteriza por presentar un claro contraste entre las regiones del espectro correspondientes al rojo del visible y al infrarrojo cercano (Lobo, 1995). Mientras en la región visible, los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la luz que reciben, en el infrarrojo cercano estas sustancias son bastante transparentes. Por esta razón, la vegetación sana ofrece baja reflectividad en la banda roja del espectro (entre 600 y 700 nm) y alta en el infrarrojo próximo (entre 800 y 1000 nm), de manera que cuanto mayor sea el “vigor” que presenta la vegetación, mayor será el contraste entre los valores de reflectancia captados en ambas bandas. Bajos valores de reflectancia en el infrarrojo próximo pueden indicar una vegetación

enferma o con una falta importante de humedad (figura 5).

Hemos realizado las medidas sobre hojas de plantas cultivadas y controladas en el laboratorio y, por tanto, de fácil acceso para los alumnos. Las medidas se tomaron en hojas recién cortadas (verdes), tanto por la parte del haz (figura 2) como por la del envés (figura 3), y para hojas secas (figura 4), con el fin de determinar la dependencia de la curva espectral de la vegetación con las diferentes partes de la hoja y con su estado.

En la región del visible (entre 400 y 700 nm), la respuesta espectral de la vegetación está caracterizada por el papel fundamental que desempeñan los pigmentos de la hoja en la absorción de la energía. Mientras que las propiedades de la superficie de la hoja son, en parte, responsables de la reflectancia en dicha superficie, la absorción está gobernada principalmente por la estructura interna, esto es, composición, concentración y distribución de los pigmentos (la clorofila, el caroteno y la xantofila). De ellos, el más importante es la clorofila, que es responsable de dos bandas de absorción, una en el azul y otra en el rojo. Esto se traduce en un máximo de reflectancia en torno a los 550 nm (Figura 2). En esta región del espectro se produce la fotosíntesis, proceso que implica la absorción de energía. En síntesis, esta región se caracteriza por una escasa reflectancia (<20%) y una fuerte absorción debida a los pigmentos foliares.

Podemos establecer las siguientes franjas en la región del visible:

- 400 – 500 nm: se produce una fuerte absorción por la clorofila, el caroteno y la xantofila.
- 500 – 600 nm: el nivel de absorción es menor y, por tanto, la reflectancia es algo mayor que en las regiones azul y roja adyacentes. La reflectancia en esta zona es responsable del color verde que percibimos en las plantas.
- 600 – 700 nm: se produce una fuerte absorción por la clorofila, que es inferior por la parte del envés (figura 3) y aún menor en la vegetación seca (figura 4).
- 700 – 800 nm: se produce la transición entre la zona de absorción de la clorofila y los altos niveles de reflectancia que comienzan hacia los 750 nm.

Por último, en la región del infrarrojo próximo (entre 800 y 1100 nm) el factor decisivo es la estructura interna de la hoja. Concretamente el mesófilo esponjoso, es el responsable de la elevada reflectancia que se observa en todas las gráficas.

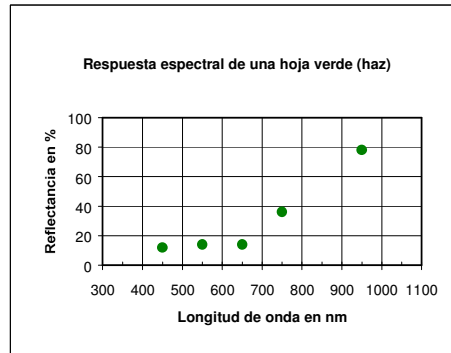


Figura 2: Valores de reflectancia espectral obtenida para el haz de una hoja verde.

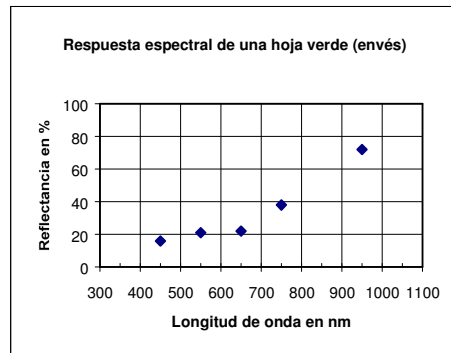


Figura 3: Valores de reflectancia espectral obtenida para el envés de una hoja verde.

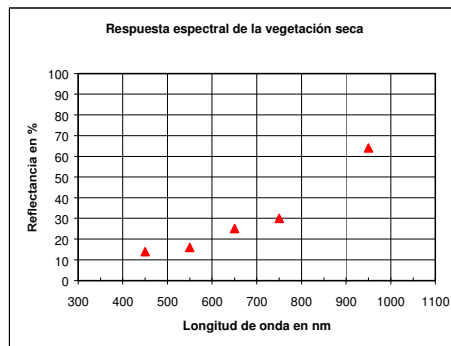


Figura 4: Valores de reflectancia espectral obtenida para una hoja seca.

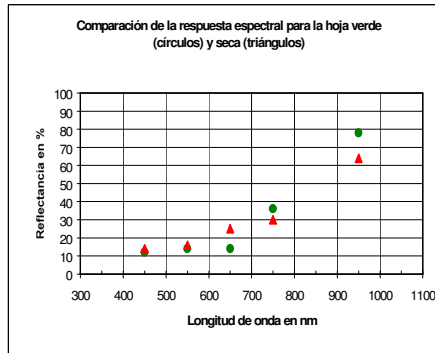


Figura 5: Comparación entre los valores de reflectancia espectral para la vegetación sana y la vegetación seca.

CONCLUSIONES

En la bibliografía suelen encontrarse bastantes trabajos sobre medidas radiométricas para diferentes coberturas y en diferentes condiciones. Sin embargo, muy pocos son asequibles para los alumnos que comienzan a introducirse en el campo de la teledetección.

A lo largo de nuestra modesta comunicación, nuestro interés se ha centrado en el diseño de una práctica de laboratorio que ponga al alcance de los alumnos de bachillerato los fundamentos de la teledetección espacial y sus aplicaciones en los campos de la agricultura y la ecología. En este sentido es fundamental la determinación experimental de la respuesta espectral de la vegetación, como paso previo al análisis de las imágenes de satélite.

BIBLIOGRAFÍA

Lobo, A. 1995. *La observación remota de los ecosistemas*. En "Análisis de la variabilidad espacio-temporal y procesos caóticos en ciencias ambientales". Geoforma Ediciones. Logroño.

Pinilla, C. 1995. *Elementos de teledetección*. Rama. Madrid.

Short, N. M. 1997. *The remote sensing tutorial. An online handbook*, en CD-ROM. NASA/Goddard Space Flight Center.