

## CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE LOS SUELOS. RELACION CON SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

A. Arquero Hidalgo, E. Martínez Izquierdo y C. Gonzalo Martín  
*Dpto. Arquitectura y Tecnología de Sistemas Informáticos. Fac. Informática (U.P.M.).  
Campus de Montegancedo. Boadilla del Monte. 28660 Madrid. E\_mail:  
aarquero@fi.upm.es; fax: (91) 3367412*

S. Ormeño Villajos  
*Dpto. Ing. Topográfica y Cartografía. E.U.I.T. Topográfica (U.P.M.). Crta. Valencia km  
7. 28031 Madrid. E\_mail: santi@nivel.euitto.upm.es; fax: (91) 3367932*

**RESUMEN.-** En este trabajo se intenta establecer las relaciones existentes entre las propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados y su respuesta espectral. Los datos espectrales se han obtenido en el laboratorio y a partir de datos Landsat TM. Las muestras de suelos corresponden a 4 áreas de la Comunidad de Madrid (España) y se han analizado exhaustivamente en el laboratorio. Las medidas espectrales en el laboratorio se han registrado en el rango de 500 a 2000 nm. Los valores de reflectancia a partir de los datos TM se han corregido considerando la fecha de la imagen y la posición del Sol y del sensor respecto a la escena. Se ha encontrado una correlación aceptable entre las dos medidas de reflectancia cuando se consideran efectos atmosféricos (Rayleigh) en los datos a partir de la imagen.

**ABSTRACT.-** The results presented in this work have attempted to establish some relationships between the physical and chemical properties of studied soils and their spectral answer. The spectral data are obtained in laboratory and from Landsat TM data. The collected samples of soils are from 4 areas at the countryside of Madrid (Spain) and an exhaustive analysis have been performed in the laboratory. The spectral measures in the laboratory have been performed into 500 to 2000 nm. The reflectance values from TM data have been based fundamentally on the acquisition image date and the relative position of sun and the sensor with respect to scene place. It has presented an acceptable level of correlation between these two reflectance measures when in the image has been considered atmospheric effects, such as the Rayleigh effect.

### 1.- INTRODUCCION

Diferentes autores (Obukhov y Orlov, 1964; Condit, 1970; Curtis, 1976; Schreier, 1977 o Stoner et al., 1980), han realizado estudios parciales tratando de relacionar las propiedades edafológicas con las propiedades espectrales del suelo.

Las propiedades edafológicas superficiales de los suelos desnudos se pueden dividir en: **características permanentes:** contenido en calcio, capacidad de intercambio catiónico, pedregosidad, contenido en hierro, contenido en materia orgánica y textura y **características coyunturales:** rugosidad y porcentaje de humedad de la superficie.

Actualmente los diferentes medios de adquisición de datos espectrales para la caracterización de suelos son: **en campo próximo:** en el laboratorio, con un espectrofotómetro y en el campo, con un radiómetro y **en campo lejano:** con los sensores aerotransportados y los utilizados en plataformas espaciales.

El aspecto general de los espectros de reflectancia difusa de los suelos desnudos es bastante similar en el rango espectral registrado (500-2000 nm). La reflectancia aumenta con la longitud de onda, como corresponde a reglas de difusión de la radiación por el medio y los fenómenos de absorción de la radiación se superponen teóricamente a este efecto de difusión en las bandas espectrales más o menos específicas (Baumgardner, 1985).

El estudio de la reflectancia con los parámetros ligados a las características permanentes del suelo, hay que hacerlo para contenidos en humedad significativos, por lo que hay que conocer cómo se encuentra el agua en el suelo. Una forma de expresar la humedad es con el potencial matricial, como  $pF$ , siendo el trabajo que hay que ejercer para extraer el agua retenida por el suelo por distintas fuerzas (capilares, osmóticas, de adhesión, curvatura, etc.). Las curvas  $pF$ /grado de humedad son importantes para interpretar las relaciones *suelo-planta* y el contenido en agua del suelo ha de interpretarse en función del  $pF$  correspondiente. Desde el p.v. práctico, para estas relaciones, el agua del suelo se divide en:

a) **Agua retenida** por encima de las fuerzas de succión de las plantas, que corresponde al valor de  $pF = 4,2$  (Índice de Marchitez Permanente, **IMP**).

b) **Agua útil**, directamente aprovechable por las plantas, cuyo valor máximo corresponde a la Capacidad de Campo (CC), con  $pF = 2,7$  (agua que permanece en el suelo después de su saturación por la lluvia o riego, seguido de drenaje libre durante uno o dos días).

c) **Agua de infiltración rápida**, apenas aprovechable por las plantas, pero importante para la formación del suelo.

Así, se puede decir que, las reservas de agua útil están comprendidas entre la capacidad de campo y el índice de marchitez permanente.

Mientras que en el **laboratorio** se explora intensivamente todo el dominio espectral del rango visible (VIS), infrarrojo cercano (NIR) y medio, para la identificación de materiales (Hunt, 1979), la **teledetección** consiste en medir la respuesta espectral de un objeto (como puede ser el suelo), después de ser sometido a una excitación electromagnética exterior (luz solar), en varios rangos espectrales. La naturaleza e intensidad de esta reflexión varían en función de numerosos parámetros, en particular de las características propias de las superficies minerales. Así, se puede decir que, la teledetección es una gran ayuda para comprender mejor aspectos del *medio ambiente* de gran interés para especialistas de las Ciencias de la Tierra, como son: la distribución de los suelos, su alteración y potencialidades mineras, hidrológicas y agronómicas.

En este trabajo, se han planteado como **objetivos principales**:

- relacionar las características edafológicas del suelo (humedad, materia orgánica, contenido en hierro, C.I.C, textura...) con su respuesta espectral, y
- comparar los resultados obtenidos en los dos niveles de estudio: medida de laboratorio y medida por teledetección (a partir de imágenes Landsat *Thematic Mapper* de las mismas áreas).

## 2.- METODOLOGIA

Se han estudiado suelos que corresponden a cuatro zonas de cultivo en el oeste de la Comunidad de Madrid. Pertenecen al grupo de Cambisoles, CM5 (Cambisoles eútricos, Luvisoles háplicos y Regosoles dístricos), según el Mapa de Asociaciones de Suelos de la Comunidad de Madrid (1ª ed. 1990) y de acuerdo con la clasificación de la UNESCO-FAO. Debido a que las principales propiedades del suelo que influyen en sus características espectrales son: la humedad, el contenido en materia orgánica, el tamaño de la partícula, los óxidos de hierro, las sales solubles y la composición mineral, en el laboratorio se han determinado los valores de humedad para la curva de  $pF$  con el extractor de presión-

membrana de Richards y la Capacidad Máxima de agua por los métodos habituales (Gutián y Carballas, 1976). Los datos se recogen en la Tabla I.

	pF	0	2	2,7	4,2	seca al aire
suelo						
A		32,9	12,2	10,2	7,2	1,2
B		22,5	7,0	5,6	3,7	0,6
C		37,9	16,2	13,5	9,6	2,9
D		22,1	10,0	7,2	2,9	0,6

Tabla I.- Grado de humedad a distintos pF para los suelos de las zonas A, B, C y D

Se ha determinado la textura de los suelos con el método Boyoucos, que es el método abreviado del hidrómetro de cadena, de gran aplicación en la realización del análisis granulométrico. Se ha utilizado el picnómetro para la obtención de la densidad (Gutián y Carballas, 1976). Para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se ha procedido primeramente a la extracción en un medio de acetato amónico y posteriormente se han utilizado los métodos de absorción atómica y fotometría de llama para obtener la cantidad de los iones presentes. Los valores obtenidos se encuentran en la Tabla II.

	A	B	C	D
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2,74	2,68	2,70	2,64
Textura:				
Arena(%)	66	83	58	74
Arcilla(%)	10	4	24	4
Limo(%)	24	13	18	22
Calcio(mg/100g)	108	64	304	30
Hierro(mg/100g)	5,4	2,9	5,1	3,2
Materia Orgánica(%)	0,54	0,47	0,54	0,44
CIC(mg/100g)	245,13	155,2	635,16	79,67

Tabla II.- Determinaciones físicas y químicas para los suelos estudiados

También se ha determinado la pedregosidad superficial, previo tamizado de los suelos con un tamiz de 2 mm de diámetro, obteniéndose los valores que se recogen en la Tabla III.

	A	B	C	D
Grava(%)	15,41	15,19	19,67	10,95
	con grava	con grava	con grava	con poca grava
Tierra Fina(%)	84,59	84,81	80,33	89,05

Tabla III.- Porcentajes de grava y tierra fina de los suelos

Para las medidas espectrales se ha utilizado un espectrofotómetro Perkin Elmer UV/VIS/NIR, Lambda 9 con esfera integradora de 60 mm, puesto a nuestra disposición por la Dra Dña Alicia Pons del grupo de Radiometría y Metrología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y se ha registrado el rango de 500 a 2000 nm.

Se ha utilizado el método de corrección de imágenes de satélite propuesto por Briam L. Markham y John L. Barker (Laboratory for Terrestrial Physics-NASA), en el que se usan tablas de calibración, posición del Sol y del satélite, tablas astronómicas... Para el análisis interrelacionado de la información se utilizan herramientas software específicas. Se representan los valores de las reflectancias corregidas frente a la longitud de onda en el valor

medio de las bandas T.M., para los valores de pF significativos y cada suelo estudiado.

### 3.- DISCUSION DE RESULTADOS

El estudio de la variación de la reflectancia con los parámetros ligados a las características permanentes del suelo se ha realizado para valores de pF de capacidad de campo. Debido al pequeño contenido en calcio de los suelos estudiados la correlación entre la reflectancia y éste, así como con la CIC, es ligeramente negativa.

Las bandas de absorción ligadas al hierro se encuentran entre 850-920 nm y son debidas a transiciones electrónicas. Cuando el contenido en hierro es alto, estas bandas influyen en la reflectancia. Para las zonas estudiadas se ha observado que a partir de 3,2 mg de Fe/100g en la zona del espectro VIS y NIR hay una correlación negativa, mientras que en el IR medio este comportamiento varía ligeramente.

Los fenómenos de absorción debidos a la Materia Orgánica (M.O.) se presentan entre 460-665 nm y su importancia está ligada a la cantidad de M.O. presente, y al estado de descomposición de ésta. Se observa una disminución de la reflectancia al aumentar la M.O. entre 0,4 y 0,6 %. En los suelos de igual contenido (A y C) hay un comportamiento diferente, debido probablemente al distinto estado de descomposición de esta materia, o a otras características del suelo, como contenido en arcilla (Arrovays et al., 1984).

A partir de los valores para la textura de los suelos estudiados (Tabla II), se han clasificado según el sistema americano UNESCO-FAO (Guitián y Carballas, 1976) como: **A**: Franco Arenoso, **B**: Arenoso Franco, **C**: Franco Arcillo Arenoso y **D**: Franco Arenoso en el límite con Arenoso Franco. En el intervalo VIS-NIR (bandas 1, 2, 3 y 4 correspondientes a las imágenes Landsat T. M.) se observa el mismo comportamiento, que consiste en una disminución de la reflectancia al aumentar el contenido en Arcilla de 4-10% y una variación despreciable para un mayor contenido en Arcilla.

Los registros de la reflectancia difusa de los suelos muestran que a pF=0 (Capacidad máxima de agua) la curva de reflectancia es distinta a la de saturación esperada para suelos, y está determinada principalmente por la presencia de agua, como se aprecia comparando las Figuras 1 y 2.

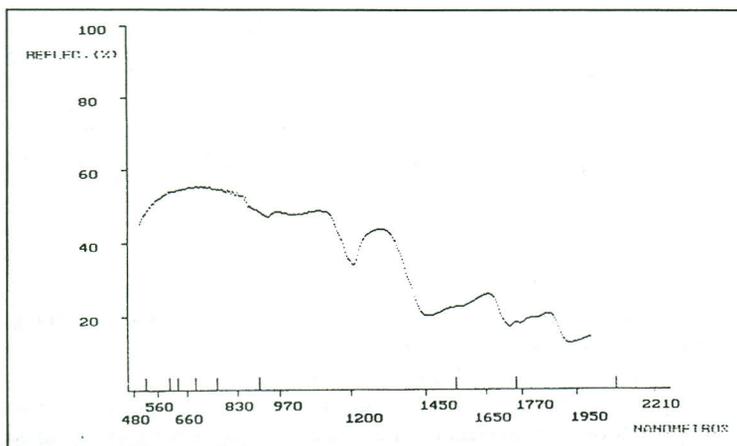


Figura 1.- Espectro de reflectancia del suelo A a pF de 0 en el rango 500-2000nm.

Se hacen patentes las bandas de absorción del agua menos significativas en suelos (970, 1200 y 1770 nm) en **A, B y C**, y las mas habituales e intensas (1450 y 1950 nm) para todos los suelos. Todas son bastante anchas debido a la labilidad de retención del agua En los demás pF aparecen las bandas de 1450 y 1950 nm y se aprecia que la reflectancia aumenta al disminuir el contenido en agua (%) (Figura 2).

Se puede indicar que en general se discriminan mejor los suelos en el VIS para pF=0 y en el IR medio (B5) para otros grados de humedad.

La relación entre el contenido en humedad y la reflectancia no es tan directo, ya que a pF=4,2 (I.M.P.) hay una disminución de la reflectancia con el aumento de % agua (lo que está de acuerdo con la bibliografía revisada), mientras que a pF=2,7 (C.C.) el comportamiento es variable. Para todos los suelos secos al aire hay una correlación negativa entre la reflectancia y el contenido en humedad (%) en el IR medio.

Para los valores de reflectancia de imágenes Landsat T.M. corregidas se aprecia que se encuentran, para todas las bandas, en las proximidades de las reflectancias obtenidas en el laboratorio, como se muestra en la Figura 3.

En las zonas A y B el valor de reflectancia corregida obtenido por teledetección se aproxima más a la medida correspondiente al suelo seco al aire y para la zona C los valores parecen mas próximos a los de pF 2,7 (Capacidad de Campo). También se aprecia un ajuste mejor en la zona visible e infrarrojo cercano del espectro.

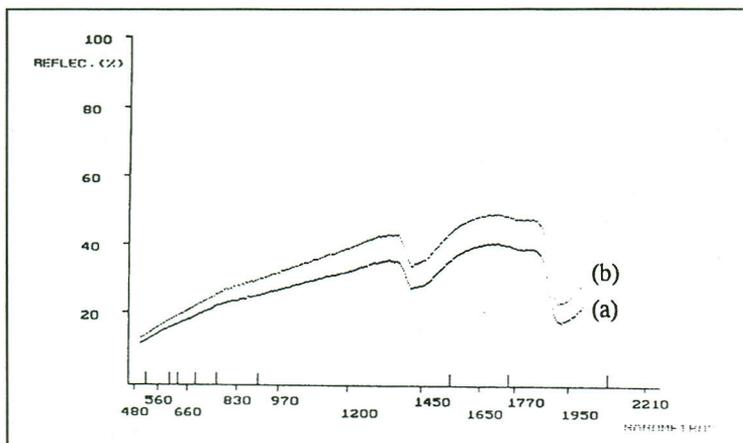


Figura 2.- Espectros de reflectancia del suelo B a pF de 2,7 (a) y 4,2 (b).

#### 4.- CONCLUSIONES

Se ha obtenido una correlación ligeramente negativa entre la reflectancia y la capacidad de intercambio catiónico y la materia orgánica presente.

Los pequeños contenidos en hierro y los niveles y tipos de arcillas presentes tienen una pequeña influencia en los valores de la reflectancia.

Para los suelos estudiados, la reflectancia está más correlacionada con el contenido en limo que con el contenido en arcillas.

Para establecer una relación clara entre la reflectancia y la humedad, ésta se debe medir en valores de pF, obteniéndose en este caso una correlación positiva entre ambas.

El método de estimación de la reflectancia utilizado, a partir de datos de satélite, es el propuesto por Brian L. Markham y John L. Baker y estima aceptablemente la reflectancia de estos suelos.

Sería muy interesante realizar este estudio para otros tipos de suelos, de características menos homogéneas que los considerados, incorporando para ello la radiometría de campo.

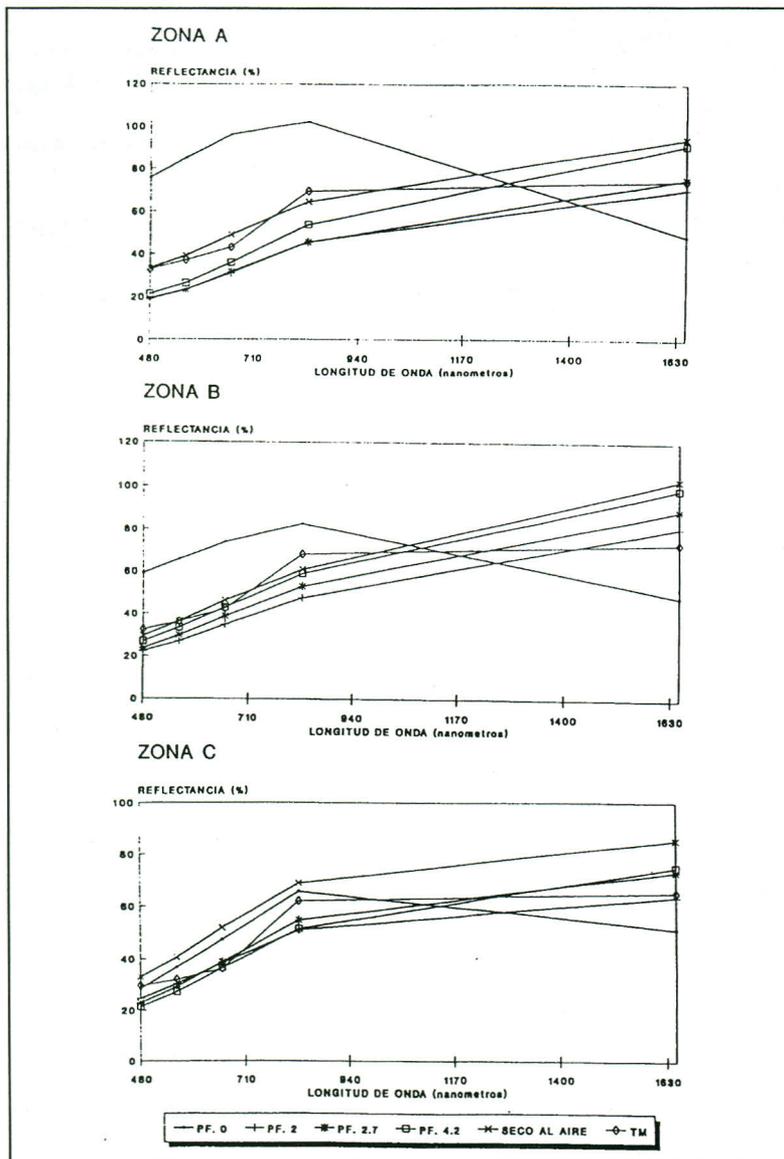


Figura 3.- Representación de los valores de reflectancia corregida frente a longitudes de onda de los suelos estudiados en el laboratorio y a partir de imágenes Landsat T.M.

## 5.- REFERENCIAS

- Arrovays, D., Guyon, D. y Riom, J. 1984. *IIème Coll. Int. Sign. Spec. d'Objets en Télédétection*. CNES-INRA., n° 5, Bordeaux. pp 81-90.
- Baumgardner, M. F. et al. 1985. Reflectance Properties of Soils, *Advances in Agronomy*. Vol. 33.
- Condit, H. R., 1970, The spectral reflectance of American soils, *Photogrammetric Engineering*. **36**: 955-965.
- Curtis, F. 1976. Remote Sensing of soil moisture: use requirements and present prospects, in *Remote Sensing of the terrestrial environment*, 28 th Symposium of the Colstom research Society. Bristol U.K. pp 143-158.
- Gutián, F. y Carballas, T. 1976. *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- Hunt, G. B. and Ashley, R. P. 1979. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*. **74**(7): 1613-1629.
- Irons, J. R. et al. 1989. Soil Reflectance. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. Wiley and Sons.
- Obukhov, A. I. and Orlov, D. S. 1964. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigations. *Soviet Soil Science*. **2**: 174-184.
- Stoner, E. R., Baumgardner, M. P., Weismiller, R. A., Bieh, L. L. and Robinson, B. F. 1980. Extension of laboratory measured soil spectra in field conditions. *Soil Sc. Am. J.* **44**(3): 572-574.
- Schreier, H. 1977. Prévisions des états chimiques des sols au moyen de mesures spectrales effectuées au laboratoire, sur le terrain et par voie aérienne. *Proc. 4ème Symp. Canad. sur la Télédétection*. Québec. pp 106-112.