



## ESPECTROSCOPIA VISIBLE E INFRARROJO CERCANO PARA EL ESTUDIO DE SUELOS AGRÍCOLAS

Ochoa, Yuri<sup>1</sup>; Aramburu, Iratxe<sup>2</sup>; García-Fernández, Canela<sup>1</sup>

Tutores: Barreiro, Pilar<sup>1</sup>; Hontoria, Chiquinquirá<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agroforestal. E.T.S.I.A.A.B. Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

<sup>3</sup>Departamento de Edafología y Química Agrícola. E.T.S.I.A.A.B. Universidad Politécnica de Madrid.

yp.ochoa@alumnos.upm.es, iratxear@ucm.es, canelagfernandez@gmail.com.

### RESUMEN

En este estudio se propone verificar si la espectroscopia visible e infrarroja permite segregar distintas muestras de suelos con orígenes geológicos distintos y usos diferentes. Para ello se parte de muestras caracterizadas por sus propiedades físico-químicas (textura, Carbono Orgánico Total (TOC), pH, Conductividad Eléctrica (CE), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Nitrógeno (N), entre otros), a las que se aplica un análisis de varianza. Los datos VIS-NIR se han pre-procesado mediante Standard Normal Variate (SNV) y se han analizado mediante análisis de componentes principales (PCA) y análisis múltiple de varianza (MANOVA). Una de las finalidades de este estudio es caracterizar la variabilidad espectral en la hipótesis de que ésta refleja el proceso complejo de formación del suelo.

**Palabras clave:** edafología, agricultura de precisión.

### INTRODUCCIÓN

Desde hace una década, se vienen desarrollando estudios para determinar si el uso de la espectrometría VIS-NIR puede determinar algunas propiedades del suelo, por ejemplo, Ross S. Bricklemyer (2009) lo refiere como un método rápido y barato de mapear el contenido en carbono orgánico (SOC) y la textura del suelo (principalmente el contenido de arcilla). Además, este autor cita que “la técnica VisNIR en condiciones de laboratorio se ha establecido como una técnica viable para la estimación de las múltiples propiedades del suelo (Brown et al, 2006; Morgan et al, 2009; Reeves y McCarty, 2001; Pastor y Walsh, 2002; Viscarra Rossel et al., 2006; Waiser et al, 2007), en cambio hay pocos estudios relativos al empleo VisNIR en el sitio (Ben-Dor et al, 2008; Morgan et al, 2009; Viscarra Rossel et al, 2009;. Waiser et al., 2007). De hecho, algunos experimentos han evaluado las limitaciones de la técnica VisNIR en dinámico tanto para la evaluación del SOC o el contenido de arcilla del suelo (Christy, 2008; Shibusawa et al., 1999;. Shonk et al, 1991; Sudduth y Hummel, 1993a, 1993b)”

Además de los estudios de carbono orgánico también encontramos información sobre el empleo de la espectroscopia NIR para detectar Nitrógeno. Así, (Santana, 2015) compara tres estimaciones de nitrógeno realizadas por autores diferentes con sensores NIR no destructivos. En este documento se representan los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de cada uno de los tres casos, concluyendo que el mejor resultado obtenido ( $R^2=0,87$ ) corresponde al sensor Shibuya. En este ensayo, además se estiman distintas fracciones de nitrógeno presente en el suelo (amoniacal, nitratos y extraíble con agua caliente) indicándose que es el amoniacal el más fácilmente predecible, siendo la fracción de nitratos la más compleja de evaluar.

El objetivo principal de este estudio es el de verificar si la espectroscopia visible e infrarroja permite segregar muestras de suelos con orígenes geológicos distintos y usos diferentes, siendo los objetivos secundarios: determinar la región del espectro que más información aporta, así como establecer el método de detección que se comporte mejor, basado en datos de validación.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar este objetivo se han seleccionado cuatro tipos de materiales parentales (arcosas -A-, margas yesíferas -Y-, calizas del Páramo -C- y granitos -G-) representativos de la zona centro peninsular y que están presentes dentro de los límites de la Comunidad de Madrid. Dentro de la Cuenca Sedimentaria, las arcosas se han estudiado en una zona aproximadamente delimitada por Tres Cantos, S. Sebastián de los Reyes y S. Agustín de Guadalix; las margas yesíferas en las vertientes del valle del río Tajuña en las cercanías de Perales de Tajuña; las calizas del Páramo al este de Madrid en una zona próxima a Villar del Olmo. En la Sierra, los granitos se han estudiado en las cercanías de Miraflores de la Sierra. Estos tipos de materiales parentales del suelo se han estudiado bajo cuatro usos distintos del mismo: dos forestales (pinar -PIN- y encinar -ENC-), matorral (MAT) y cultivo herbáceo en secano con laboreo convencional (CUL). Cada combinación de material parental y uso constituye una unidad de estudio y dentro de cada unidad se han estudiado tres repeticiones mediante la identificación de 3 zonas de muestreo de características semejantes. No se ha estudiado la combinación caliza del Páramo con pinar ni la combinación Granito con cultivo debido a la baja representación en el terreno de estas dos combinaciones. Por tanto, se cuenta con 14 unidades de estudio. En conjunto, se han identificado y estudiado 42 zonas de muestreo, que han sido localizados mediante recorridos de campo y análisis de la cartografía específica.

Los suelos se han caracterizado mediante análisis de referencia en laboratorio (textura, Carbono Orgánico Total (TOC), pH, Conductividad Eléctrica (CE), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Nitrógeno (N), Carbono Oxidable (Coxid), Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), % agregados, Densidad Aparente, Infiltración), así como empleando espectroscopia VIS\_NIR. Los datos espectrales fueron adquiridos con un equipo Hamamatsu PMA-11 con dos rangos espectrales: VIS extendido 300-950 nm, y NIR 900-1600nm. La temperatura ambiente durante las mediciones se mantuvo constante entre 21 ° C y 23 ° C, y el instrumento fue calibrado con una placa de sulfato de bario, así como corrigiendo la línea base de los detectores (corrección oscura); los datos espectrales se han tomado con cuatro niveles de humedad distintos del suelo. Para realizar el análisis estadístico se concatenó la información de los cuatro niveles de humedad, al mismo tiempo que se efectuó la lectura de los datos de visible e infrarrojo desarrollando para cada caso un (SNV); luego un (PCA) y (ANOVA) para visible y NIR.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

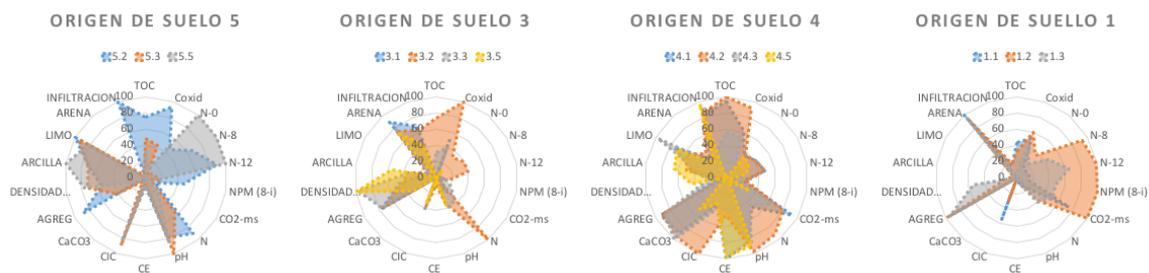
### **Caracterización de Referencia**

En primer lugar se realizó un análisis de los datos de referencia de las muestras de suelo en laboratorio (126 datos, 43 muestras \* 3 repeticiones), observándose que las propiedades que más varían según el origen geológico son el  $\text{CO}_2$ -ms, pH, CE, Densidad, y  $\text{CaCO}_3$ , limo, arcilla y arena; y dependiendo del uso: el TOC, N y Coxid principalmente (ver Figura 1). También se observa dependiendo del uso que el suelo tenga, sin importar su origen, variaciones en las propiedades fisicoquímicas (Materia orgánica, Carbono Oxidable, Nitrógeno, CIC, Agregados e infiltración).

**Figura 1 . Grafica normalizada (0-1) que incluye 18 parámetros del suelo según el origen geológico; en el sentido de las agujas del reloj: TOC, Coxid, N-0, N-8, N-12,**



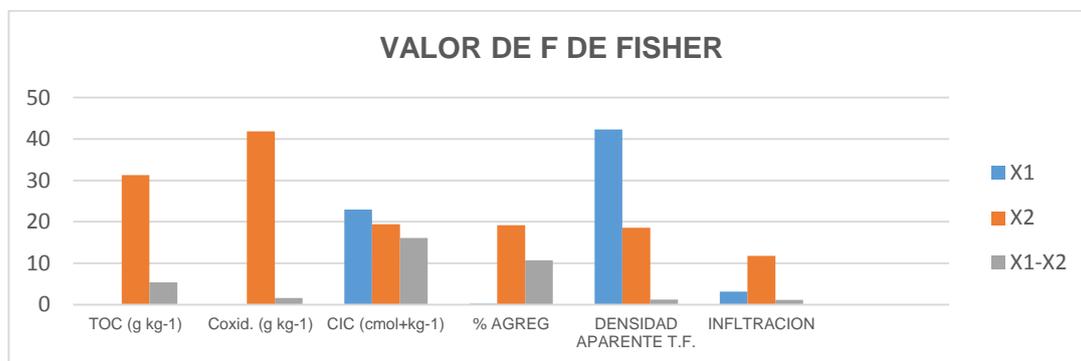
**NPM, CO<sub>2</sub>-ms, N, pH, CE, CIC, CaCO<sub>3</sub>, AGREG, Densidad, Arcilla, Limo, Arena e Infiltración.**



**Análisis de varianza en las variables de referencia**

En la Figura 2 se representan en forma de diagrama de barras los valores de la F de Fisher en el análisis de varianza en los ensayos de referencia, observándose que: **(1)** el contenido de Coxid y nitrógeno son los factores más variables ( $F=41,87$  y  $F=20,892$ , respectivamente) y están relacionados con el uso agrícola del suelo; **(2)** la CIC y la densidad del suelo depende del origen geológico del suelo ( $F=22,92$  y  $F=42,28$ , respectivamente); **(3)** la mayor interacción se observa en la CIC y el % de agregados ( $F=16,11$  y  $F=10,66$  respectivamente).

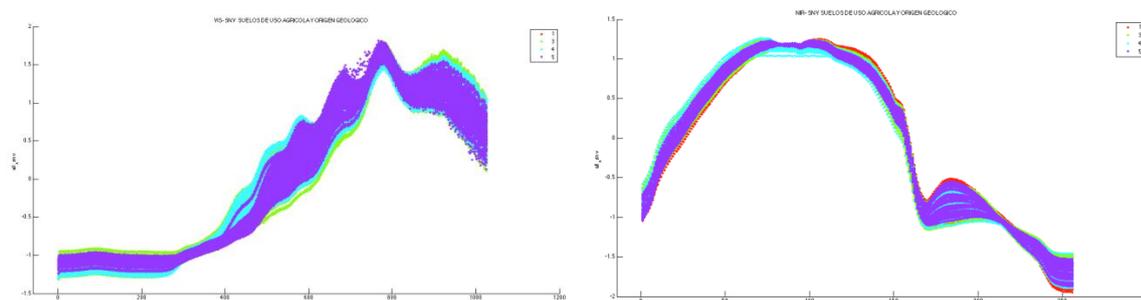
**Figura 2 . Valores de F por cada propiedad, donde X1=Origen Geológico, X2=Uso Agrícola y X1-X2=interacción entre el Origen geológico y Uso Agrícola de los suelos.**



**Pre - procesados de espectros**

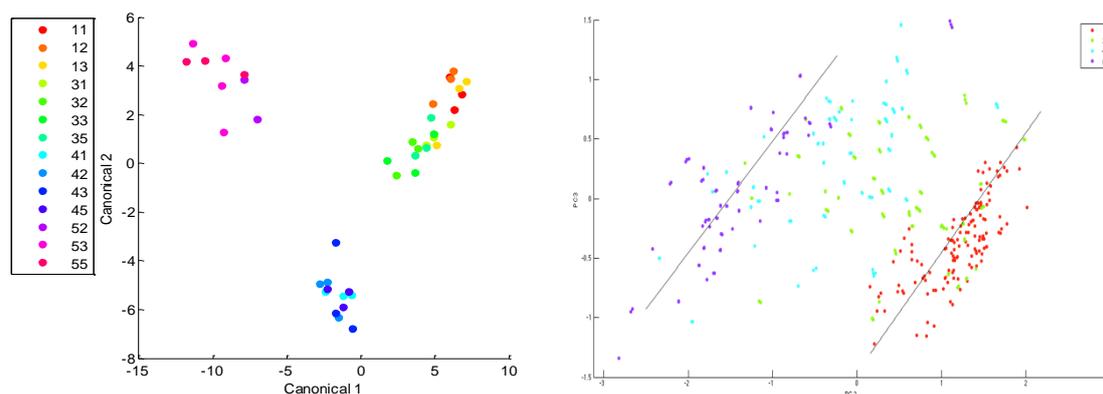
Los espectros VIS y NIR se han pre-tratado (Figura 3) mediante la transformación de la varianza normal estándar (SNV), que se basa en un centrado y escalado (restando la media y dividiendo por la desviación típica) de cada espectro, obteniéndose 516 espectros NIR, y 578 espectros de VIS (168 datos de humedad).

**Figura 3. Espectros VIS y NIR tras la aplicación de SNV. Los colores indican orígenes geológicos distintos.**



La Figura 4 muestra los valores de las variables canónicas del MANOVA aplicados sobre los componentes principales obtenidos de los espectros visibles (izda.) y los componentes principales aplicados sobre los espectros infrarrojos (dcha.).

**Figura 4. Resultado del MANOVA aplicado a los espectros VIS (izda.) y del PCA aplicado a los espectros NIR (dcha.), en ambos casos tras el pre-procesado SNV. Los colores indican orígenes geológicos en los espectros VIS, y niveles de humedad distintos en los espectros NIR.**



## CONCLUSIÓN

La espectroscopia aporta información compleja que hay que condensar para poder relacionarla con las propiedades físico químicas del suelo. Entre las técnicas multivariantes disponibles, el PCA (no supervisado) y el MANOVA (supervisado) aplicado sobre PCA, aportan unos resultados impactantes con una capacidad de condensación de la información de 2 órdenes de magnitud (con 3 variables resumimos la información del 300 bandas espectrales). Variables como la humedad del suelo, (o la temperatura) suponen una interferencia importante en la información espectral que hay que considerar a la hora de establecer modelos de estimación de las propiedades físico-químicas.

## BIBLIOGRAFIA

- Ross S., Brickleymer, D. J., 2009. On the go VisNIR: Potential and limitations for mapping soil clay and organic carbon. 209-210  
Santana, N. B. (2015). *Evaluación De La Relación Entre La Proporción De Los Atributos Químicos Y La Reflectancia Espectral (Vis-Nir) Del Suelo*. 55-59