

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS DE BRASIL CON UN ESPECTROFOTÓMETRO VERIS VIS-NIR

Santana, Nuria¹; Tonini Eitelwein, Mateus²
Tutores: Barreiro, Pilar¹; Molin, José Paulo²

¹Departamento de Ingeniería Agroforestal. E.T.S.I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid

²Departamento de Engenharia de Biosistemas. ESALQ. Universidade de São Paulo

Correo electrónico (AUTOR/ES): nuria.svega@alumnos.upm.es; mateus_eitelwein@outlook.com.

RESUMEN

La distribución de nutrientes del suelo presenta una gran variabilidad. Algunos estudios indican la interdependencia entre atributos físico-químicos, concluyendo que se necesitan muestreos densos para caracterizar eficientemente la distribución espacial. Para la realización de este trabajo experimental se han empleado datos tanto espectrales, obtenidos con el espectrofotómetro Veris Vis-NIR, como de referencia, mediante análisis de laboratorio, correspondientes a 341 muestras de suelo de 41 ha. Para ambos tipos de datos se ha realizado un análisis de componentes principales (PCA), y un análisis de Conglomerados (Clúster). En las variables de referencia se escogieron aquellos atributos con mayor coeficiente de variación: arcilla, potasio, fósforo, calcio, magnesio, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónica efectiva. El objetivo principal es establecer las necesidades mínimas de muestreo comparando los resultados obtenidos con plantillas cartesianas de distinta resolución, y determinar la relación existente entre la cantidad de nutrientes y la reflectancia espectral Vis-NIR.

Palabras clave: *agricultura de precisión, nutrientes, sensor de suelo.*

INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Precisión (AP) es un sistema de gestión de la producción basado en un conjunto de tecnologías capaces de considerar la variabilidad espacial en campo (Molin, 2011), se trata de “efectuar la intervención agrícola correcta, en el momento adecuado y en el lugar preciso” (Valero et al. 2010). La AP se encuentra en constante desarrollo, siendo el análisis y el control de insumos una línea estratégica orientada a la reducción de costes, a la mejora de la productividad de los cultivos y a la disminución del impacto ambiental. A pesar de presentarse la AP como una de las mejores herramientas a utilizar en los sistemas de producción actuales, existen barreras técnicas que impiden la plena implementación: la intensificación de la información; el déficit en criterios de selección en los procedimientos a aplicar y en las estrategias a seguir, y la labor costosa en tiempo e inversión que supone la obtención de datos relativos al suelo, cultivo y condiciones ambientales.

El concepto fundamental y pilar básico en el que se basa la AP es la existencia de variabilidad intraparcelsaria, cuya georreferenciación se basa en el empleo de DGPS (*Differential Global Positioning System*), visualizándose en los SIG (Sistemas de Información Geográfica) para generar los mapas. La información representada puede obtenerse mediante detección remota (empleando imágenes tomadas por cámaras de visión artificial o capturadas por espectroradiómetros), o mediante registro a nivel del terreno (muestreo combinado con análisis de laboratorio o empleo de sensores a bordo de equipos móviles).

En cuanto a los sensores, en las últimas décadas varias marcas han desarrollado diferentes sensores eléctricos y electromagnéticos, electro-químicos, mecánicos, ópticos, acústicos y neumáticos, teniendo la mayoría de ellos como característica común su sensibilidad a más de un factor agronómico del suelo (Barreiro, 2007).

Las principales casas comerciales de sensores eléctricos y electromagnéticos son Veris (3100), Geocarta (ARP), Geonics (EM31 y EM38) y Geophex (GEM-2), estos sensores determinan la conductividad eléctrica aparente (ECa), que es un promedio de la circulación eléctrica por las tres fases distintas del suelo: la fase líquida con nutrientes disueltos, la fase sólido-líquida debida al intercambio de cationes de arcillas y minerales, y la fase sólida derivada del contacto físico entre partículas sólidas del suelo. Dentro de estos sensores podemos encontrar dos tipos: los que realizan las mediciones en contacto con el suelo, y los que no tienen contacto con el suelo (Grisso et al., 2009). En cuanto a sensores electroquímicos se dispone de ejemplos que miden pH, generalmente usados en laboratorio, aunque Veris comercializa un dispositivo que realiza la medida directa en el suelo. El desarrollo de sensores ópticos parte del análisis de la interacción de la radiación electromagnética con la materia en el área del espectro manipulada con lentes. Históricamente en la caracterización del suelo agrícola se ha empleado el espectro visible (Vis, 400-700 nm), y más recientemente el infrarrojo cercano (NIR, 700-2400 nm), banda donde los grupos funcionales C-H, N-H y O-H absorben energía, siendo por tanto muy útil para cuantificar distintas formas de carbono, nitrógeno y agua, respectivamente. La determinación espectral del suelo en condiciones dinámicas requiere el empleo de una ventana transparente de zafiro (resistente a al deterioro), instalada en la base de una reja. Estos sistemas requieren un proceso de calibración frecuente (Barreiro, 2007). Existen dos marcas con productos comerciales en desarrollo basados en este tipo de sensores: una es Shibuya (Kodaira y Shibusawa, 2013), y la otra es Veris (Barreiro, 2007; Schirrmann et al., 2013; Eitelwein et al., 2014).

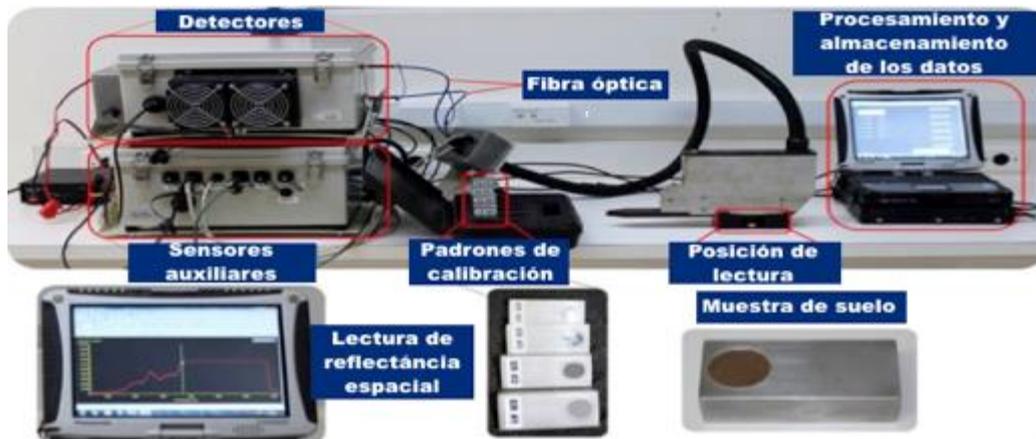
La casa comercial Veris de origen universitario ya dispone en el mercado sensores eléctricos, electro-químicos y ópticos para caracterización de conductividad eléctrica (EC), pH y materia orgánica (MO) respectivamente; estos dispositivos se pueden adquirir tanto individualmente como en plataformas multi-sensor. Las más habituales son: EC-MO, EC-pH y MPS-3 para las medidas de EC, MO y pH.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de este estudio se emplearon 341 muestras recogidas en un área de 41 hectáreas en el municipio de Boa Vista das Missões, Rio Grande do Sul, Brasil. Las muestras se analizaron de forma convencional en el laboratorio de Fertilidad del Suelo de la Universidade Federal de Santa Maria, *campus* Federico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil. Los parámetros de referencia analizados en el suelo fueron: arcilla, pH, SMP, Al, P, K, Ca, MO, suma de H y Al (HA1), suma de bases, capacidad de intercambio catiónica (CIC7), capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICef), saturación de Al, saturación de bases, saturación de Ca, saturación de Mg, saturación de K, relación Ca-Mg, y relación Ca-Mg-K.

Las lecturas espectrales se realizaron con el equipamiento Veris Vis-NIR Spectrophotometer (Veris Technologies Inc., Salina, Kansas, EEUU) que cuenta con dos espectrofotómetros integrados que realizan lecturas simultáneas en las bandas de 350 nm a 2.200 nm con resolución espectral de 8 nm. Para llevar a cabo las lecturas, el equipo que se comercializa para su uso directo en campo, se instaló sobre una mesa de trabajo en el Laboratorio de Agricultura de Precisión (LAP) de la ESALQ-USP (Figura 1). Se realizaron de 3 a 5 lecturas por muestra de suelo, cogiendo submuestras para cada lectura, obteniéndose un total de 1118 espectros.

Figura 1. Dispositivo para las lecturas de reflectancia espectral (Vis-NIR) del suelo realizadas con el equipo Veris Vis-NIR Spectrophotometer.



Se han analizado por separado los parámetros de referencia y los espectrales, para ambos tipos de datos se ha realizado un análisis de componentes principales (PCA), y un análisis de Conglomerados (Clúster) (Figura 2). De los 20 parámetros de referencia se eligieron aquellos que mostraron mayor variabilidad: Fósforo, Magnesio, Calcio, Potasio, CIC efectiva, Materia Orgánica y Arcilla (coeficiente de variación entre 36%-9%). Con ellos se llevó a cabo un PCA que permite establecer unas líneas de comportamiento de los iones en el suelo (79,2% de varianza explicada con 4 componentes). El primer componente principal REF_PC1 contiene información referente a la CICef con un peso del 25.5%. El REF_PC2 representa un 22.5% de la información y se relaciona con el contenido de potasio, calcio y magnesio. El REF_PC3 con 17.3% de la varianza total aglutina el contenido en arcilla, calcio y fósforo. Y por último el REF_PC4 (13.9% varianza) representa el contenido en calcio y materia orgánica. La tabla 1 muestra los valores medios en REF_PC para 5 clústers de referencia realizados por K-means.

Tabla 1. Valores medios en REF_PC para 5 clústers de referencia.

Plantilla (mxm)	PC1 (CIC)	PC2 (Ca, K, Mg)	PC3 (Ar, Ca, P)	PC4 (Ca, MO)
C1	-0.7464	-0.929	-0.4349	-0.1552
C2	0.1027	1.0216	0.2891	-0.4756
C3	-0.3467	0.3358	-0.1339	0.6674
C4	2.4721	-0.8235	0.3934	0.3973
C5	-0.1313	0.6193	0.4828	0.4524
F	92.05	73.26	9.93	19.95
Varianza	1.7833	1.5742	1.2126	0.9701

**Observación: lo resaltado en negrita se refiere a relación positiva, lo resaltado en cursiva lo hace a relación negativa y el resto se refiere a una relación de baja intensidad.*

Posteriormente se realizó otro PCA sobre la información espectral (1118 espectros), tras el cual se desecharon los espectros de tendencia anormal, seleccionando un conjunto de 1072 espectros.

Figura 2. Procedimiento de análisis de datos.



Con estos se obtuvieron cinco componentes principales. A continuación se realizó una agrupación no supervisada (análisis de clúster) en forma de dendograma en el que la información espectral se agrupa en un número reducido de categorías. La figura 2 resume el procedimiento seguido, la columna de la izquierda respecto a los espectros y la de la derecha a las referencias.

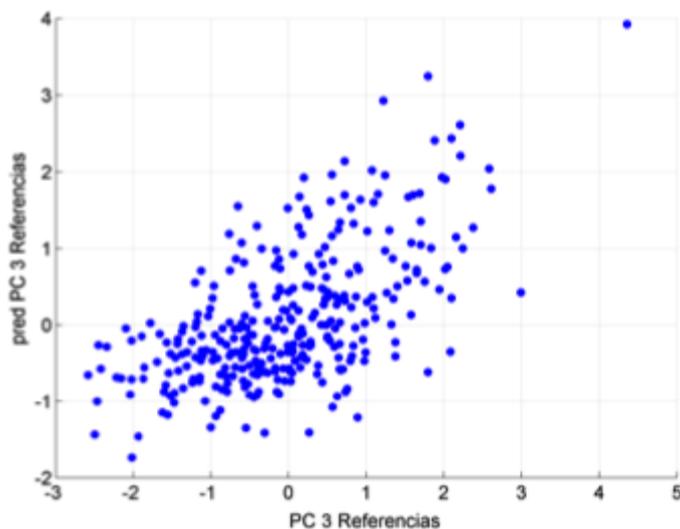
Se ha realizado una modelización mediante regresión de cuadrados parciales (PLS) tanto de los REF_PC como de los parámetros de referencia seleccionados del suelo

usando como variables independientes la información espectral. Todos los análisis se realizaron mediante el software MatLAB, versión 2013a (MathWorks).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mejor resultado en la modelización (SEP=0.91) se ha obtenido para la estimación

Figura 3. Modelización del PC3 de los datos de referencia



combinada de fósforo, calcio y arcilla (PC3_REF), según se aprecia en la figura 3. Las longitudes de onda que más contribuyen al modelo son: 420 nm, **650-700 nm**, 1413 nm, 1924 nm y 2153 nm.

En relación al muestreo, el empleo de clústers con los valores de referencia indica que con menos de una muestra por hectárea (plantilla de 100 m) se pierde la información relativa a la variabilidad espacial (Tabla 2).

Ningún modelo de estimación de parámetros individuales del suelo en este ensayo alcanza los resultados mostrados previamente (Figura 3). Los próximos pasos se

centrarán en verificar el efecto de nuevos pretratamientos de los espectros en la calidad de la modelización, y en establecer mapas de representación y zonas de gestión de la variabilidad espacial.

Tabla 2. Valores de clúster por plantilla, en tanto por ciento.

Plantilla (mxm)	C1	C2	C3	C4	C5
50	29.27	65.85	0	0	4.88
75	66.22	9.46	0	1.35	22.97
100	13.16	0	0	68.42	18.42
125	0	0	0	73.08	26.92
150	0	0	18.75	75	6.25
175	0	0	100	0	0
200	0	0	100	0	0

AGRADECIMIENTOS

A la ESALQ-USP por darme la oportunidad de cursar un año en dicha institución. Al Laboratorio de Agricultura de Precisão (LAP/ESALQ-USP) y al gMAP por ceder el material y las instalaciones. Y al Profesor José Paulo Molin por supervisar el trabajo allí realizado durante mi estancia.

BIBLIOGRAFÍA

- Barreiro P. 2007. Vida rural 260: 38-42
- Eitelwein M.T., Besson D.G.A., Muniz R.A., Trevisan R.G., Vettorazzi C.A. Molin J.P. 2014. Congreso Brasileiro de agricultura de Precisão-ConBAP. Ribeirão Preto-SP, Brasil.
- Grisso R., Alley M., Holshouser D., Thomason W. 2009. Virginia Cooperative Extension Publication 442-508.
- Kodaira K., Shibusawa S. 2013. Geoderma,199: 64-79.
- Molin J.P. 2011. Agricultura de Precisão Boletim Técnico: 5-27.
- Schirrmann M., Gebbers R., Kramer E. 2013. Vadose Zone Journal, 12(4).
- Valero C., Navas L.M., González F., Gómez J., Ruiz G., Barreiro P., Andújar D., Diezma B., Báguena E., Garrido M. 2010. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura, 16.
- N/D. 2012. Veris Technologies Inc.-White Paper.