



DISCRIMINACIÓN DE ATRIBUTOS DE SUPERFICIE DE SUELOS AGRÍCOLAS CON RADIOMETRÍA DE CAMPO EN REGIONES DEL ÓPTICO

Piscitelli, M¹; Bruscantini, C²; Karszenbaum, H².; del Valle, H³.

¹Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos. Facultad de Agronomía (U.N.C.P.B.A.)

República de Italia 780, Azul, 7300, Buenos Aires, Argentina; mpiscit@faa.unicen.edu.ar;

²Grupo de Teledetección Cuantitativa, Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA),

Int. Guiraldez 2700, Buenos Aires 1428, Argentina;

³Instituto Patagónico para el Estudio de los Ecosistemas Continentales (IPEEC, CENPAT CONICET),
Alte. Brown 2915, Puerto Madryn (U9120ACF), Chubut, Argentina.

RESUMEN

Propiedades superficiales de los suelos como textura y materia orgánica, juegan un rol muy importante en procesos vinculados a la dinámica hídrica y a la degradación de las tierras. Los sistemas conservacionistas de cultivos agrícolas en contraposición con los tradicionales dejan una cantidad variable de residuos post cosecha en superficie (rastros). Éstos, manejados adecuadamente, intervienen controlando positivamente los procesos antes mencionados y el balance del carbono en la superficie del suelo. Numerosos estudios demuestran que la respuesta espectral obtenida sobre suelos desnudos con radiometría en laboratorio da resultados más precisos que aquella obtenida desde sensores satelitales en pos de estimar propiedades de suelos.

La presencia de rastros en la superficie de suelos agrícolas causa cambios en la reflectancia de estos suelos en contraste con suelos desnudos. La precisión en la obtención de las características espectrales de los suelos desde satélites, puede verse incrementada si se mejora la discriminación espectral entre diferentes tipos y proporciones de rastros presentes en superficie en suelos agrícolas. El objetivo de este trabajo es mostrar que la respuesta espectral de atributos superficiales de suelos, medida en valores de reflectancia relativa (FR) con radiometría de campo, se ve mejorada con la aplicación de técnicas de preprocesamiento comúnmente utilizadas en espectrometría. Las mediciones radiométricas se realizaron sobre 66 puntos en dos transectas diferentes ubicadas en lotes en producción, una con rastro de soja seco (humedad promedio = 6,3 %) y la otra con rastro de maíz moderadamente húmedo (humedad promedio = 28,5%). Las coberturas en las transectas variaron entre 30% y 100% para el rastro de soja y entre 35% y 88% para el de maíz. Las propiedades texturales, de materia orgánica, y de contenido hídrico de los suelos son similares. Se evaluó la discriminación entre las firmas individuales de cada uno de los puntos medidos en las transectas considerando si se producían cambios en sus formas y en sus valores de reflectancia, y se analizó la correlación con el porcentaje de cobertura (PCR) y la humedad del rastro (HR) y del suelo (HS). Las firmas espectrales crudas (FR) no pueden discriminarse en la región entre 350nm y 2000nm, sólo muestran leves diferencias en el pico de absorción entre 2000nm y 2200nm, atribuible a la celulosa y lignina del rastro. Se encontró que

en las firmas a las que se le aplicó el método “ContinuumRemoval” se mejoró la discriminación. En el visible (entre 450nm y 650nm) se discriminan las firmas de ambas transectas. En el infrarrojo (entre 850nm y 2150nm) sólo la transecta con rastrojo húmedo (TH) muestra considerable discriminación en diferentes bandas espectrales. La transecta con rastrojo seco muestra correlaciones más altas que la TH con PCR y HS tanto en el visible como en el infrarrojo. Se considera que realizar mediciones con radiómetros de campo en condiciones naturales, tal como son observadas desde satélites, y luego aplicar técnicas de preprocesamiento sobre los datos obtenidos, contribuye a detectar con mejor precisión la respuesta espectral de los diferentes componentes presentes en la superficie de suelos agrícolas.

PALABRAS CLAVE: RADIOMETRÍA DE CAMPO, PREPROCESAMIENTO FIRMAS ESPECTRALES, RASTROJOS, SUELOS AGRÍCOLAS

ABSTRACT

Soil surface properties like organic matter and texture play an important role in processes linked to soil hydric dynamics and land degradation. Conservation agricultural systems leave a variable amount of cover crop residues over soil surfaces; tillage systems, in contrast, do not. The crop residues former ones, when are handled properly, control the previously mentioned processes as well as the soil carbon balance over soil surface. With respect to soil properties estimates, numerous papers show that the spectral response of bare soils from laboratory spectrometry measures are more accurate than those obtained from satellite sensors. Crop residues over agricultural soil surfaces cause significative changes in the reflectance characteristics of those soils compared to bare soils spectral responses. Accuracy in estimations of the spectral responses of soil properties from satellite data can be increased if spectral discrimination among different types and proportions of cover crops residues in soil surface is improved. The aim of this work is to show that the spectral response of soil surface features (acquired in terms of relative reflectance (RF) with field radiometry) improves if common spectrometry preprocessing techniques are applied. The radiometric measures were acquired over 66 points along two different transects located in farm plots that were in production. One of this transects was covered with dry soybean crop residue (average water content = 6,3 %), and the other one with moderately wet corn crop residue (average water content = 28,5%). The cover crop residues within the transects varied from 30% to 100% for the soybean crop residue, and between 35% and 88% for the corn crop residue. Organic matter, texture and water content properties were similar. Discrimination among spectral signatures from each point measured in the transects was evaluated, and changes in their shapes and in their reflectance values were taken into account. The correlation with the cover crop residue percentage (CRP), the crop residue water content (CRWC) and soil water content (SWC) was considered as well. It is not possible to discriminate the reflectance spectral signature (RF) within the 350nm-2000nm region; but, there is a slight difference in the absorption peak within 2000nm and 2200nm due to cellulose and lignin concentrations from crop residue. The “Continuum Removal” method improved the spectral signatures discrimination, and it was possible to discriminate spectral signatures in the visible region (between 450nm to 650nm) of both transects. In the infrared region (between 850nm to 2150nm), the wet crop residue transect (WT) was the only one that had considerable discrimination in different spectral bands. However, the dry crop residue transect had better correlations than the WT for the CRP and the SWC in both regions (visible and infrared). We



consider that improvements on the accuracy of the spectral response of different components from the agricultural soil surfaces can be made with the application of preprocessing techniques to radiometry measures in natural conditions.

KEYWORDS: FIELD RADIOMETRY, PREPROCESSING SPECTRAL SIGNATURES, CROP RESIDUES, AGRICULTURAL SOILS

INTRODUCCIÓN

Propiedades superficiales de los suelos como textura y materia orgánica, juegan un rol muy importante en procesos vinculados a la dinámica hídrica y a la degradación de las tierras. Los sistemas conservacionistas de cultivos agrícolas en contraposición con los tradicionales dejan una cantidad variable de residuos post cosecha en superficie (rastros). Éstos, manejados adecuadamente, intervienen controlando positivamente los procesos antes mencionados y el balance del carbono en la superficie del suelo. Para estimar a través de la respuesta espectral, las propiedades superficiales de los suelos antes consideradas, es condición indispensable contar con superficies de suelos desnudos libres de cultivos. Los sistemas de cultivo conservacionistas como la siembra directa (SD) se han desarrollado ampliamente en Argentina en las últimas dos décadas. No obstante, la adopción de esta técnica no está totalmente generalizada, conviviendo en muchas regiones con técnicas de labranza tradicional y reducida, dejando, esta última, proporciones variables de rastros en superficie. En suelos agrícolas, y en especial, los cultivados bajo sistemas conservacionistas (labranzas reducidas o SD), la presencia de rastros en los lapsos entre cultivos causa cambios significativos en la reflectancia de las propiedades de los suelos en comparación con suelos desnudos. La respuesta espectral de estas superficies puede estar dominada por otros factores además de la propiedad en estudio (Henderson et al., 1992, Daughtry, 2001, Daughtry, et al., 2003, Pinter et al., 2003, Serbin et al., 2009 Stenberg, et al., 2010).

La respuesta espectral obtenida sobre suelos desnudos con radiometría en laboratorio da resultados más precisos que aquella obtenida desde sensores satelitales en pos de estimar propiedades de suelos (Gerighausen et al., 2012). La resolución espectral y radiométrica de los sensores satelitales actualmente accesibles, la atenuación atmosférica y el estado actual de conocimiento sobre la variabilidad y complejidad presente en las superficies agrícolas, no han logrado al presente contribuir de manera ampliamente satisfactoria a la estimación de las propiedades de los suelos (Ben Dor, 2002, Ben Dor et al., 2009, Mulder et al., 2011). Nosotros consideramos que la precisión en la obtención desde satélites de las características espectrales de los suelos agrícolas, puede ser incrementada si se mejora el conocimiento en la discriminación espectral entre los diferentes tipos y proporciones de rastros presentes en superficie en suelos agrícolas. En este sentido la radiometría de campo puede constituirse en una herramienta complementaria contribuyendo a incrementar la precisión sobre la respuesta espectral de superficies agrícolas con presencia de rastros en superficie.

Muchos de los componentes existentes en los suelos generan distintas frecuencias en el espectro electromagnético como consecuencia de las diferentes propiedades de absorción de luz

que éstos tienen. En consecuencia se genera superposición de información que se suma al efecto de scattering causado por los arreglos estructurales diversos que forman dichos componentes individuales. Este comportamiento hace dificultosa la interpretación del espectro, en especial cuando ésta se realiza en rangos de bandas espectrales muy amplios (Stenberg et al., 2010). El tamaño de longitud de onda en el NIR-SWIR es comparable con algunos tamaños que tienen las partículas minerales que integran la fase sólida del suelo, esto ocasiona efectos de scattering indeseados y de no-linearidad que influyen en la reflectancia registrada (Rinnan, 2009). La radiometría debido a su alta resolución espectral brinda mucha información pero también se producen fluctuaciones aleatorias alrededor de la señal que se conocen como ruido. Aplicando técnicas de preprocesamiento estos efectos indeseados pueden ser eliminados en gran medida. A su vez esta manipulación matemática de los datos espectrales primarios da precisión y robustez a un análisis posterior y también contribuye a seleccionar bandas para posteriormente generar modelos de predicción de variables de suelo (Stevens, Ramirez-Lopez, 2014).

El objetivo de este trabajo es mostrar que la respuesta espectral de atributos superficiales de suelos, medida en valores de reflectancia relativa con radiometría de campo, se ve mejorada con la aplicación de técnicas de preprocesamiento comúnmente utilizadas en espectrometría.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio-Diseño del experimento

El experimento se llevó a cabo en lotes agrícolas (coordenadas centrales del área: 36° 56' 36" S - 59° 52' 18" W) del sur del partido de Azul (provincia de Bs. As), cuyos suelos y características físicas son representativos de diversos ambientes de la región pampeana de Argentina. Los suelos sobre los cuales se efectuaron las mediciones radiométricas están clasificados por INTA, 1973 como Argiudoles Típico, franco-limosos con proporciones granulométricas muy similares y materia orgánica con valores oscilando entre 5,8% y 6,7 %. Para la ejecución del experimento se seleccionaron 2 lotes en descanso de cultivos, uno con rastrojo de cultivo de soja y el otro con rastrojo de maíz. Las mediciones de las variables de suelo y cobertura, y de la radiometría se realizaron sobre dos transectas georeferenciadas de 100 metros de longitud con un diseño sistematizado sobre 33 puntos por transecta, distanciados a 3 metros.

Información de campo

Coberturas y suelos: Se determinó Humedad Gravimétrica (Klute, 1986) (Tabla 1) sobre muestras de suelo a 2 cm profundidad. La cobertura fue descripta a campo (Tabla 1) y llevada a porcentaje según Laflen et al., 1981. Los residuos fueron secados en cámara climatizada a 70° C hasta constancia de peso seco.

Radiometría: Las mediciones de los datos espectrales fueron adquiridas con un espectroradiómetro de campo "ASDFieldSpec Pro FR" (Error absoluto = 1%), sobre una región espectral comprendida entre 350-2500 nm de longitud de onda, a intervalos de 1 nm y FOV= 25°. El radiómetro fue montado a una altura con respecto a la superficie del suelo diferente en cada transecta, en función de las variaciones existentes en altura y distancia entre hileras del rastrojo y acorde con Jackson et al. 1980 y Daughtry, 1982. Al comienzo de cada transecta se adquirieron mediciones de referencia con un panel "Spectralon" ® sobre una superficie de 0,62 cm², ejecutadas de la misma manera que sobre las transectas. Los valores espectrales que se presentan en las gráficas se refieren a valores de reflectancia relativa. Los datos fueron adquiridos



en condiciones de cielo libre de nubes durante 1 día, en condiciones de ángulo de elevación solar superior a 45° por encima del horizonte. Ambas transectas fueron medidas el mismo día con 2 horas de diferencia

Preprocesamiento firmas espectrales

Para este fin se aplicó la técnica de continuum removal. La misma está basada en la generación de una línea continua que conecta los valores de máxima reflectancia obtenidos a partir del espectro original. Luego se normaliza el espectro original con esta línea obtenida. De esta manera se pueden comparar rasgos de reflectancia individuales a partir de una línea de base común (Información detallada de esta técnica puede encontrarse en Clark y Roush, 1984)

Los datos fueron procesados con esta técnica automáticamente mediante el paquete “R prospectr”, versión 0.1.3 (<http://CRAN.R-project.org/package=prospectr>)

Todos los gráficos y estadísticos se realizaron con el software R (<https://cran.r-project.org>)

RESULTADOS

Los espectros de reflectancia de ambas transectas se muestran en la figura 1. Se denominarán en adelante “Firmas crudas” a las que fueron obtenidas en valores de reflectancia relativa y “Firmas removidas” a las correspondientes a los datos de reflectancia una vez removido el continuum de máxima reflectancia.

La composición porcentual de las coberturas de rastrojo (PCR) presenta gran variabilidad dentro de las transectas. Los rastrojos presentan valores contrastantes en humedad (HR) en cada punto de medición, pero la humedad del suelo (HS) es similar (tabla 1).

Las firmas obtenidas fueron analizadas visualmente considerando, cambios en sus formas y en sus valores de reflectancia (Yitagesu et al, 2014). Esto permitió discriminar diferentes intervalos espectrales que fueron correlacionados con los atributos de superficie aquí considerados.

Tabla 1: Cuantificación de los atributos de las superficies

H / M: Transecta húmeda con rastrojo de maíz.

S / S: Transecta seca con rastrojo de soja

PCR: %Cobertura de rastrojos

HR: Humedad de los rastrojos (%)

HS: Humedad de suelo (%)

Transecta	Puntos	PCR	HR	HS	Transecta	Puntos	PCR	HR	HS
H / M	1	71	25.9	26.6	S / S	1	60	6.9	22.6
H / M	2	53	34.9	22.4	S / S	2	60	7.1	26.0
H / M	3	71	31.5	30.9	S / S	3	70	7.3	22.6
H / M	4	41	33.8	15.0	S / S	4	80	6.2	24.3
H / M	5	59	25.4	20.2	S / S	5	70	6.0	26.2
H / M	6	53	30.1	22.8	S / S	6	50	8.2	23.2
H / M	7	59	32.6	12.7	S / S	7	70	5.2	21.4
H / M	8	80	31.7	16.9	S / S	8	80	8.0	24.0
H / M	9	53	29.8	25.2	S / S	9	60	4.5	23.2
H / M	10	59	30.7	16.1	S / S	10	70	6.5	20.4
H / M	11	59	33.8	22.8	S / S	11	80	5.9	21.5
H / M	12	65	26.3	21.7	S / S	12	70	6.2	22.5

Actas del SELPER 2016

Eds. Sione, W. F.; Antes, M. E.; Serafini, M.C. y F. M. Viva Mayer

Transecta	Puntos	PCR	HR	HS	Transecta	Puntos	PCR	HR	HS
H / M	13	65	28.9	20.6	S / S	13	70	5.8	18.6
H / M	14	76	29.8	21.7	S / S	14	60	5.9	22.1
H / M	15	88	26.5	23.5	S / S	15	80	2.9	17.2
H / M	16	71	26.1	24.0	S / S	16	100	5.9	25.8
H / M	17	53	26.1	21.4	S / S	17	90	7.0	23.0
H / M	18	53	27.7	25.0	S / S	18	50	6.1	21.9
H / M	19	71	27.6	22.3	S / S	19	50	5.5	17.5
H / M	20	65	28.2	22.1	S / S	20	60	7.0	21.6
H / M	21	76	26.0	16.7	S / S	21	70	3.2	21.0
H / M	22	71	32.4	25.4	S / S	22	40	7.1	22.5
H / M	23	76	25.8	23.1	S / S	23	50	7.3	24.1
H / M	24	53	25.5	21.8	S / S	24	60	6.2	21.3
H / M	25	82	28.5	24.4	S / S	25	50	7.6	19.9
H / M	26	65	29.4	29.5	S / S	26	10	7.5	19.9
H / M	27	71	27.8	17.9	S / S	27	50	6.2	17.6
H / M	28	82	25.8	20.5	S / S	28	70	4.8	23.9
H / M	29	59	29.3	19.3	S / S	29	60	7.0	20.7
H / M	30	71	26.7	33.7	S / S	30	30	4.8	23.6
H / M	31	65	27.9	21.0	S / S	31	60	6.8	22.4
H / M	32	35	23.7	22.3	S / S	32	30	6.7	20.4
H / M	33	71	25.8	27.0	S / S	33	30	6.5	20.8

Formas e intensidades de los espectros

A pesar de diferencias en intensidad las curvas crudas de ambas transectas son muy similares en sus formas esto no ocurre con las firmas removidas (Figura 1). Las firmas removidas muestran importantes variaciones en sus formas tanto entre transectas como en los diferentes puntos medidos en una misma transecta. Algunos sitios con igual porcentaje de cobertura dentro de cada transecta (firmas con igual color) aún también presentan variaciones en formas e intensidades.

Ambos espectros de firmas crudas presentan concavidades de absorción alrededor de 750nm, 1400 nm y 1900 nm, menos distinguible alrededor de 750nm en comparación con 1400nm y mucho más pronunciada y observable alrededor de 1900nm. En las firmas removidas estas regiones muestran una notoria diferencia en las profundidades de los picos de absorción entre ambas escenas. Estos picos de absorción se consideran asociados a fuerte absorción de radiación solar debido a la presencia de agua en la atmósfera y en la escena (Beck, 1975; Stoner, 1980 Baumgardner, 1985; Coleman, Montgomery 1987; Chavda, 2005).

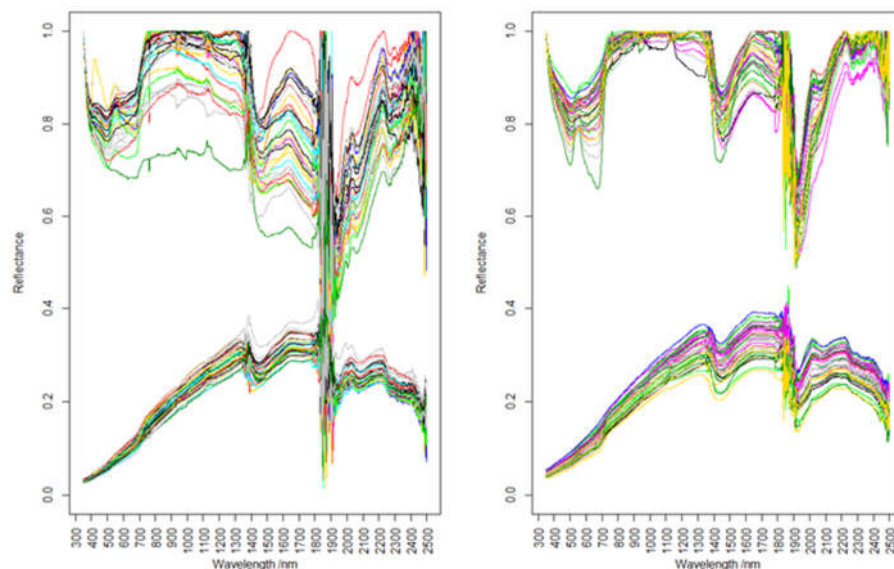


Figura 1: Firmas crudas (abajo) y Firmas removidas (arriba), correspondientes a la transecta con rastrojo de maíz, húmedo (izquierda) y a la transecta con rastrojo de soja, seco (derecha).

Las intensidades absolutas en las firmas crudas no difieren en gran medida entre transectas con mínimas variaciones entre los distintos sitios dentro de cada transecta. Las mayores diferencias (hasta 10%) ocurren en la escena con rastrojo más seco.

Van der Meer (2004) menciona que la transformación de continuum removal acrecienta las bandas de absorción incluyendo el ruido. En este sentido se puede observar que efectivamente los espectros removidos presentan fuertes picos de absorción que difieren en su profundidad entre las mediciones de una misma transecta, siendo este comportamiento más evidente en la transecta con rastrojo húmedo. Las intensidades de las mediciones en dicha transecta muestran diferencias superiores al 20%. Este comportamiento mencionado varía según la región espectral.

Regiones del espectro diferenciadas a través de las firmas removidas

Para el análisis que continúa se eliminaron las regiones correspondientes a los intervalos de absorción de agua señalados en la figura 1.

A partir de la visualización de las firmas removidas se distinguieron para un análisis más detallado tres regiones diferentes, una entre 350nm y 700nm, otra que se corresponde con el infrarrojo cercano entre 700nm y 1000nm y dentro del infrarrojo medio, se consideraron tres regiones por separado, de 1000nm-a 1300nm, entre 1500nm y 1800nm y por último de 1950nm a 2250nm.

La región que comprende el visible se graficó en tramos de 100nm para una mejor visualización de las formas e intensidades (Figura 2). Entre 450nm y 650nm se discriminan los puntos de medición de ambas transectas tanto en formas como en intensidades. Se señalan con flechas las diferencias observadas en un mismo valor de longitud de onda entre ambas transectas. Es notoria la diferencia en el comportamiento de las firmas sin procesar con respecto a las procesadas.

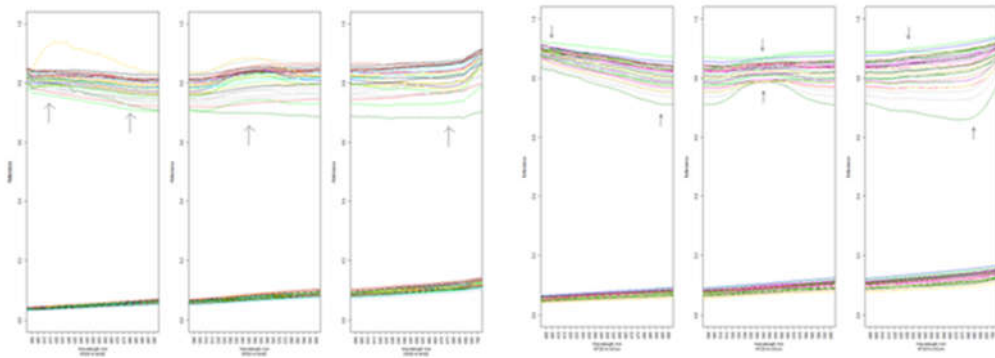


Figura 2: Región del visible, detalle que muestra los cambios de formas e intensidades entre los puntos medidos en cada transecta. Tres rangos espectrales para en las firmas de rastrojo de maíz, húmedo (izquierda), y los tres rangos espectrales en las firmas de rastrojo de soja, seco (derecha).

En la figura 3 se muestran las firmas de la región del infrarrojo cercano. Se puede observar que los sitios de la escena “más seca” no muestra la discriminación que es observada en la escena más húmeda.

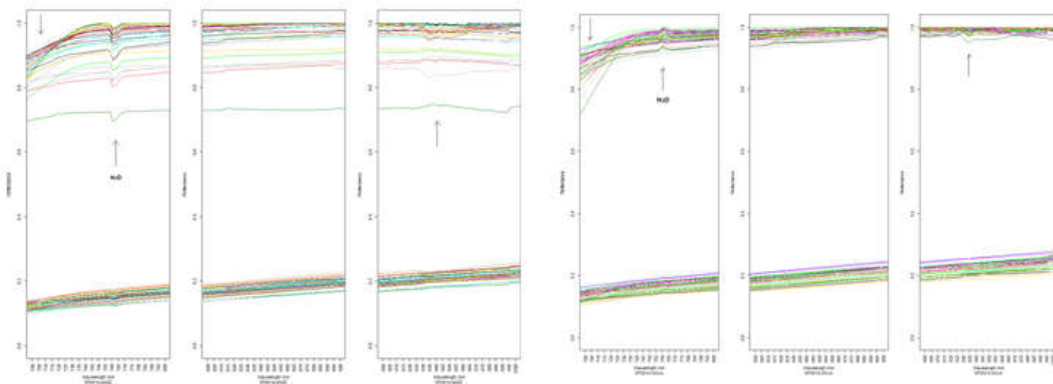


Figura 3: Rangos espectrales entre 700nm-800nm (Izquierda) , 800nm -900nm (centro) y 900nm - 1000nm (derecha) para cada transecta. Transecta de cobertura de rastrojo de maíz (izquierda) y la cobertura de rastrojo de soja (derecha)

En la figura 4a, se observan las firmas correspondientes a los rangos de longitudes de onda entre 1000nm y 1300nm. En el tramo 1100nm-1200nm (gráfico central) es donde mejor se discriminan las firmas de la escena húmeda tanto en sus formas como en sus intensidades (flechas). La figura 4b corresponde al rango de 1500 nm 1800nm. Las firmas aquí son similares en sus formas en ambas escenas. En cuanto a las intensidades, se separan más las firmas de la escena más húmeda (gráficos izquierda). En la figura 4 c, rango entre 1950nm y 2250nm se observa un comportamiento muy diferente entre puntos y entre transectas (flechas).

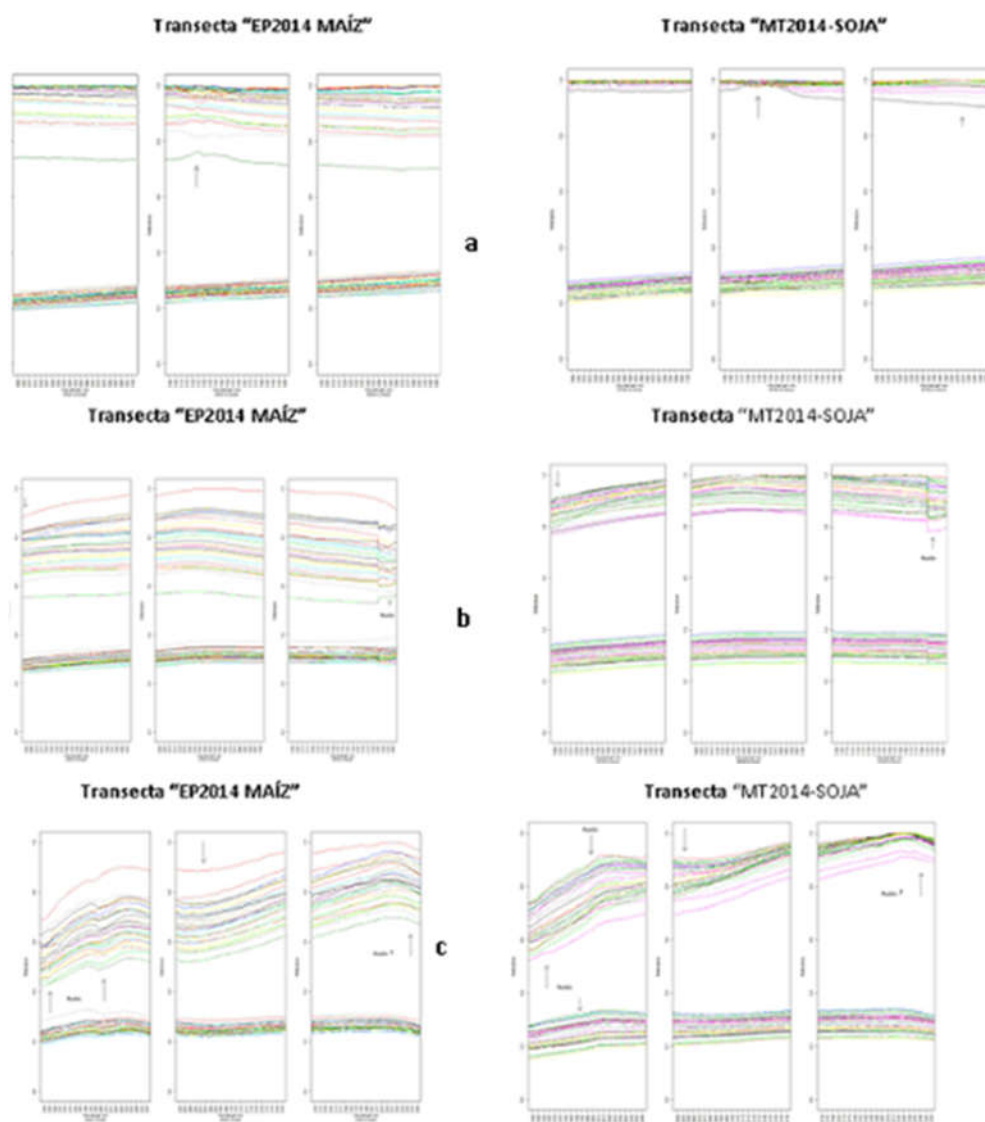


Figura 4: Región del infrarrojo medio, a:Rango espectral 1000nm a 1300nm con detalle en tres tramos de 100nm. b:Rango espectral 1500nm a 1800nm también dividido en tres tramos de 100nm. c: Rango espectral 1950nm a 2250nm en tres tramos de 100nm.

Correlación entre los atributos de superficie y los espectros

La tabla 2 resume la asociación o interdependencia de los atributos considerados y los valores espectrales. Esta asociación fue medida a través del coeficiente de correlación por rangos “rho” de Spearman, asumiendo la anomalía de los datos espectrales. Se muestran los valores extremos que se obtuvieron en los rangos espectrales anteriormente discriminados a partir del análisis visual de las firmas removidas. Se consideró un nivel de significancia $p < 0.05$ para rechazar la hipótesis nula y concluir que la verdadera correlación poblacional entre los datos espectrales y alguno de los atributos de superficie aquí considerados es distinta de cero.

Tabla 2

Transecta	Atributos	Intervalo espectral (nm)	rho Spearman	p
Húmeda/ Maíz	PCR	351 - 700	-0.081 / -0.291	0.65 / 0.09
Húmeda/ Maíz	HS	351 - 700	-0.0001 / -0.219	1 / 0.22
Húmeda/ Maíz	HR	351 - 700	0.095 / 0.361	0.59 / 0.03
Húmeda/ Maíz	PCR	701-1000	-0.0006 / -0.130	0.99 / 0.46
Húmeda/ Maíz	HS	701-1000	-0.0008 / 0.101	0.99 / 0.57
Húmeda/ Maíz	HR	701-1000	0.038 / 0.206	0.82 / 0.24
Húmeda/ Maíz	PCR	1001-1300	-0.016/ -0.085	0.92/ 0.63
Húmeda/ Maíz	HS	1001-1300	0.026 /0.089	0.88 /0.61
Húmeda/ Maíz	HR	1001-1300	0.029 / 0.161	0.87 /0.36
Húmeda/ Maíz	PCR	1500-1800	0.002/ -0.004	0.98 / 0.98
Húmeda/ Maíz	HS	1500-1800	-0.012 / -0.162	0.94 /0.36
Húmeda/ Maíz	HR	1500-1800	0.003 / 0.162	0.98 /0.36
Húmeda/ Maíz	PCR	1950-2250	-0.042 / -0.202	0.81 / 0.26
Húmeda/ Maíz	HS	1950-2250	0.0006 / -0.187	0.99 / 0.29
Húmeda/ Maíz	HR	1950-2250	0.00005 / 0.178	0.99 / 0.31
Húmeda/ Maíz	HR	1950-2250	-0.0008 / -0.070	0.99 / 0.69
Seca/ Soja	PCR	351 - 700	0.496 / 0.654	0.003/ 0.00003
Seca/ Soja	HS	351 - 700	0.515 / 0.630	0.002 /0.0001
Seca/ Soja	HR	351 - 700	-0.040 / -0.204	0.82 / 0.25
Seca/ Soja	PCR	701-1000	0.566 / 0.711	0.0005 / 0.000003
Seca/ Soja	HS	701-1000	0.303 / 0.514	0.08 /0.002
Seca/ Soja	HR	701-1000	0.042 / 0.210	0.81 / 0.24
Seca/ Soja	PCR	1001-1300	0.545 / 0.587	0.001 / 0.0003
Seca/ Soja	HS	1001-1300	0.363 / 0.461	0.03 / 0.007
Seca/ Soja	HR	1001-1300	0.0006 / 0.091	0.99 / 0.61
Seca/ Soja	PCR	1500-1800	0.482 / 0.514	0.004 / 0.002
Seca/ Soja	HS	1500-1800	0.474 / 0.539	0.005 / 0.001
Seca/ Soja	HR	1500-1800	0.0003 / 0.012	0.99 / 0.94
Seca/ Soja	HR	1500-1800	- 0.002 / -0.027	0.98 / 0.87
Seca/ Soja	PCR	1950-2250	0.412 / 0.485	0.01 / 0.004
Seca/ Soja	HS	1950-2250	0.434 / 0.517	0.01 / 0.002
Seca/ Soja	HR	1950-2250	0.003 /0.068	0.98 / 0.70
Seca/ Soja	HR	1950-2250	-0.0008 / -0.006	0.99 / 0.91

La transecta con rastrojo seco muestra correlaciones positivas y con una fuerte certeza (muy buen nivel de significancia) de asociación con el PCR y la HS tanto en el visible como en el infrarrojo. La mejor asociación entre el PCR y la respuesta espectral se da en el rango entre 701nm y 1000 nm, siendo menos fuerte en el rango 1001nm-1300nm. En cambio entre la HS y la respuesta espectral la mejor asociación se da en el rango entre 350nm y 700nm. Con rastrojo húmedo no se encontraron correlaciones entre los atributos medidos y la respuesta espectral.

CONCLUSIONES

Los suelos agrícolas presentan una alta variabilidad espacio temporal. Realizar mediciones con radiómetros de campo en condiciones naturales, tal como son observadas desde satélites, y luego aplicar técnicas de preprocesamiento sobre los datos obtenidos, contribuye a detectar con mejor precisión la respuesta espectral de los diferentes componentes presentes en la superficie de suelos agrícolas.



El método de “Continuum Removal” mostró sensibilidad a los atributos aquí analizados, no obstante sería deseable comparar con otras técnicas de preprocesamiento.

Este estudio pone de relieve la incidencia que tiene la humedad en la respuesta espectral de los componentes existentes en las superficies de suelos agrícolas.

AGRADECIMIENTOS

Este experimento fue realizado con el apoyo de CONAE Argentina (Convenio CONAE -FA -UNCPBA). Ing. Guillermo Ibáñez y Lic. Ivanna Tropper (Técnicos del Área de Gerencia de Relaciones Institucionales-Comisión Nacional de Actividades Espaciales) estuvieron a cargo de las mediciones radiométricas a campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Baumgardner, M; Silva, L; Biehl, L.; Stoner, E.(1985). Reflectance properties of soils. *Advances in Agronomy*, vol 38. pp1-44.
- Beck, R..1975. Spectral Characteristics of soils related to the interaction of soil moisture, organic carbon and clay content. Thesis of Master of Science. Purdue University. USA. 92 pp.
- Ben Dor E..2002. Quantitative Remote Sensing of soil properties. *Advances in Agronomy*.Volume 75 pp173-242. Ben-Dor E.; Chabrilat, S.; Demattê J.; Taylor R.; Hill J.; Whiting M.; Sommer S..2009. Using Imaging Spectroscopy to study soil properties. *Remote Sensing of Environment* 113, 538–555.
- Clark R., Roush.T.. 1984. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research*, 89(B7):PP. 6329–6340.
- Coleman, T.; Montgomery, O. 1987. Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols en Alabama. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol 53, n° 12, pp1659-1663.
- Chavda C. G. 2005. Simulated versus actual Landsat reflectance spectra of bare soils. Thesis of Master of Science. Mississippi State University. 272 pp.
- Daughtry C., Vanderbilt V., Pollara V. 1982. Variability of Reflectance Measurements with Sensor Altitude and Canopy Type. *Agronomy Journal*, VOL. 74, pp144-751.
- Daughtry, C. Discriminating Crop Residues from Soil by Shortwave Infrared Reflectance. *Agronomy J.* 93, 2001, 125-131
- Daughtry, C.; Hunt Jr. E., McMurtrey III J. Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment* 90: 126–134, 2004, [doi:10.1016/j.rse.2003.10.023](https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.10.023)
- Gerighausen H.;Menz, G.; Kaufmann, H. (2012). Spatially Explicit Estimation of Clay and Organic Carbon Content in Agricultural Soils Using Multi-Annual Imaging Spectroscopy Data. *Applied and Environmental Soil Science*. Volume 2012, Article ID 868090, 23 pages. [doi:10.1155/2012/868090](https://doi.org/10.1155/2012/868090)
- Henderson, T, Baumgardner, M.; Franzmeier, D.; Stott, D.; Coster, D. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1992, pp 865-872.

- INTA –CIRN, Cartas de Suelos de la República Argentina, Hoja 3760-29 “María Ignacia”, 1973.
- Jackson, T, Pinter, Jr.P., Reginato R. Idso S..1980. Hand-Held Radiometry U.S. Department of Agriculture. Science and Education Administration. Agricultural Reviews and Manuals U.S. Department of Agriculture
- Klute, A(Ed). Methods of Soil Analysis, Agronomy series N9, ASA-SSSA, Madison, W, USA. 1986, Part1: pp383-409; 493-541; Part 2: pp539-593
- Laflen, J.M., Amemiya M., Hintz E.A. Measuring crop residue cover. J. Soil Water Conserv. 36; 1981, 341–343
- Mulder, V., de Bruin S, Schaepman M., Mayr T. 2011.The use of remote sensing in soil and terrain mapping . A review. Geoderma 16: 1–19. [doi:10.1016/j.geoderma.2010.12.018](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.018)
- Pinter, P., Hatfield J., SchepersJ., Barnes E., Moran S., Daughtry C., Upchurch D.; (2003), Remote Sensing for Crop Management. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 69, No. 6, pp. 647–664.
- Rinnan, A., van den Berg, F., Engelsen, S., 2009. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra Trends in Analytical Chemistry, Vol. 28, No. 10, pp1201-1221
- Serbin G.; Daughtry C.; Hunt Jr. E, Reeves III, Brown D. 2009. Effects of soil composition and mineralogy on remote sensing of crop residue cover. Remote Sensing of Environment, 113: 224–238, [doi:10.1016/j.rse.2008.09.004](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.004)
- Stenberg, B.; Viscarra Rossel, R.; Mounem Mouazen, A.; Wetterlind, J. 2010. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. Advances in Agronomy, Vol. 107. [Doi: 10.1016/S0065-2113\(10\)07005-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07005-7)
- Stevens A., Ramirez–Lopez, L.2014 An introduction to the prospectr package. <https://cran.r-project.org/web/packages/prospectr/vignettes/prospectr-intro.pdf>
- Stoner,E.R.; Baumgardner, M.F; Biehl L.L. ; Robinson, B.F. 1980. Atlas of Soil Reflectance Properties. Research Bulletin 962. Agricultural Experiment Station, Purdue University. West Lafayette, Indiana. USA. 75p.
- Yitagesu F van der Meer, F. van der Werff, H. Hecker, C.2011.Spectral characteristics of clay minerals in the 2.5–14 µm wavelength region. Applied Clay Science 53, 581–591.