

# Análisis Preliminar De Firmas Espectrales De Atributos Superficiales De Suelos Agrícolas

## Preliminary Analysis Of Spectral Signatures Over Soil Surface Agricultural Attributes

Marcela Piscitelli<sup>1</sup>, Guillermo Ibáñez<sup>2</sup>, Jesús Pérez<sup>2</sup>

Recibido: 1 de marzo 2016

Aceptado: 3 de octubre 2016

### Resumen:

Estimar y monitorear la variabilidad espacio-temporal de atributos superficiales de suelos agrícolas tiene un valor potencialmente amplio al contribuir en múltiples investigaciones sobre procesos cruciales de los agroecosistemas. Si bien técnicas espectrales basadas en datos satelitales vienen realizando un gran aporte en este sentido, aún resultan imprecisas a nivel de detalle. La radiometría de campo puede cooperar en mejorar la precisión sobre la respuesta espectral de superficies agrícolas bajo diferentes sistemas de manejo. El propósito de este trabajo es analizar visualmente firmas espectrales en función de diferentes atributos considerando interacciones presentes en superficies agrícolas en condiciones reales de campo. Se adquirieron datos espectrales con un espectroradiómetro (“ASDFieldSpec Pro FR”) sobre 8 transectas en lotes agrícolas en descanso de cultivos bajo con diferentes proporciones de cobertura de rastrojo de soja y bajo sistemas de manejo diferentes. Todas las adquisiciones se hicieron en suelos similares en cuanto a granulometría y contenido hídrico. Si bien los datos son preliminares se observó que de los atributos de superficie tenidos en cuenta, interacciones entre la proporción de cobertura de rastrojo, la diferencia de humedad

- 
- 1 Profesor Conservación y Manejo de Suelos-Facultad de Agronomía-Universidad Nacional del Centro de la provincial de Buenos Aires. Email : mpiscit@faa.unicen.edu.ar
  - 2 Técnicos del Area de Gerencia de Relaciones Institucionales-Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Email: jeperez@conae.gov.ar , gibanez@conae.gov.ar

*rastraje / suelo y cambios en el estado estructural vinculados al manejo afectan la respuesta espectral de los suelos considerados.*

**Palabras clave:** Radiometría de campo, Residuos de cosecha, Condiciones de la superficie del suelo, Manejo del suelo

## **Abstract:**

Such is the importance to estimate and monitor the spatial and time variability from the superficial features of agricultural soil that it contributes to carry out research on essential processes of the agro-ecosystems. Although spectral methods based on satellite data have been of great help, still they are not as accurate as they should at field level. Field radiometry helps to increase the accuracy of spectral response on agricultural grounds under different management systems. The aim of this work is to make a qualitative analysis on spectral signatures regarding different features, and considering current interactions on agricultural grounds under field conditions as well. Field-measured Spectroradiometric reflectances have been obtained (“ASDFieldSpec Pro FR”) over 8 transects in agricultural plots with no crops, under different soybean residue covers, and under different soil management systems. These acquisitions took place on soils with similar characteristics as regards granulometric and water content. Even though preliminary results have been obtained up to now, they show that the superficial features taken into account (interactions among different crop residue covers, different amounts of crop residue cover / soil moisture, and changes in structure) do have an effect on the spectral response of the soils in question.

**Keywords:** Field radiometry, crop residues, soil surface conditions, soil management

## **1. Introducción**

**E**stimar y monitorear la variabilidad espacio-temporal de atributos superficiales de suelos agrícolas como tipo y cantidad de cobertura presente, las proporciones de los diferentes componentes granulométricos (textura), el estado estructural y el nivel de carbono orgánico entre otros, tiene un valor potencialmente amplio. Su contribución a la dinámica del aire y del agua y por ende a los procesos de evaporación, escurrimiento, balance hídrico edáfico, de fluctuaciones sequía-inundación, el ciclo de carbono global y la dinámica de plagas y enfermedades, resulta de interés en múltiples investigaciones desarrolladas en estos últimos años en el campo de la agricultura<sup>[1]</sup>.

Pero la cuantificación de estos atributos, sistemática, y secuencialmente, a escala detallada, no sólo resulta sumamente engorroso, sino que requiere de una vasta cantidad de personal entrenado y eventualmente además del

análisis de un número elevado de muestras en laboratorio constituyéndose en investigaciones extraordinariamente costosas.

Análisis espectrales basados en sensores ubicados en plataformas satelitales constituyen un gran aporte a este desafío. No obstante, tanto las características de los sensores actualmente accesibles (en especial su resolución espectral y espacial) como la imprecisión aportada por la atmósfera, y por la variabilidad presente en las superficies agrícolas, no logran, al presente, contribuir de manera ampliamente satisfactoria a la evaluación cuantitativa de dichos atributos [2],[3]. Si bien alguno de estos factores puede ser minimizado a través de la corrección atmosférica; la complejidad y variabilidad existente en la actualidad en las superficies de suelos agrícolas resulta una problemática aún por resolver.

Para estudiar atributos de suelo como composición granulométrica, condición estructural o bien contenido de carbono orgánico, es condición indispensable contar con superficies de suelos libres de cultivos. Los sistemas de cultivo conservacionistas como la siembra directa (SD) se han desarrollado ampliamente en Argentina en las últimas dos décadas. Pero no obstante la adopción de esta técnica no está totalmente generalizada, conviviendo en muchas regiones con técnicas de labranza tradicional (LT) principalmente con arado de discos.

En suelos agrícolas, y en especial, los cultivados bajo sistemas conservacionistas (labranzas reducidas o SD), la presencia de rastrojos 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 [1],[4],[5],[6],[7].

La radiometría de campo puede constituirse en una herramienta complementaria contribuyendo a mejorar la precisión sobre la respuesta espectral de superficies agrícolas con presencia de rastrojos en superficie.

El objetivo de este experimento es analizar visualmente firmas espectrales en función de diferentes atributos considerando interacciones presentes en superficies agrícolas en condiciones reales de campo. En el presente trabajo se muestran resultados preliminares de firmas obtenidas con radiometría de campo.

## **2. Materiales y Métodos:**

### **2.1. 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 Buenos Aires), cuyos suelos y características físicas son representativos de diversos ambientes de la "región pampeana" de Argentina.

Para la ejecución del experimento se seleccionaron 3 lotes en descanso de cultivos (en adelante "barbecho"), todos con cobertura muerta de cultivo de soja (en adelante "rastrojo"). Los suelos de todos los lotes seleccionados han sido clasificados como Argiudoles Típicos, familia franca illítica térmica [8] muy similares en granulometría, materia orgánica y color. Los atributos de superficie se muestrearon sobre parcelas cuadradas de 100m x 100m, distanciadas entre sí, en cada lote, 50 metros y ubicadas en sectores centrales y representativos de los lotes de 40 has de superficie promedio. Dentro de cada parcela se trazó 1 transecta para la adquisición de los datos espectrales. De las 8 transectas consideradas, dos se ubicaron en un lote arado expresamente (LT) en distinto momento, mediando una lluvia entre ambas labores, quedando una transecta aterronada (LTa) y la otra con suelo "sellado" en superficie (LTs). Seis transectas restantes se midieron en dos lotes (3 por lote) diferentes. Si bien ambos lotes se cultivaron en SD, el manejo del barbecho fue distinto. En SDNP se realizó un barbecho químico controlando malezas hasta la siembra del próximo cultivo y en el lote SDP se intervino con un pastoreo continuo de los rastrojos hasta el momento de las mediciones. En estas transectas (SDP), si bien no se caracterizó la condición estructural del suelo se observaron variaciones en la misma con tendencia a sellado y densificación superficial.

Las adquisiciones de los datos espectrales y los muestreos de las variables de suelo y cobertura se realizaron con un diseño aleatorio sistematizado y en simultaneidad.

### **2.2. Radiometría**

Las mediciones de los datos espectrales fueron adquiridas con un espectralradiómetro de campo "ASDFieldSpec Pro FR" 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

al suelo de 2 metros, la cual se determinó en función de las variaciones existentes en altura y distancia entre hileras del rastrojo y acorde a <sup>[9],[10]</sup>. Al comienzo de cada transecta se adquirieron mediciones de referencia con un panel de referencia (“Spectralon®) sobre una superficie de 0,62 cm<sup>2</sup>, ejecutadas de la misma manera que sobre las transectas. Los datos fueron adquiridos en condiciones de cielo libre de nubes durante 3 días (5-6-7 junio de 2013), en condiciones de ángulo de elevación solar superior a 45° por encima del horizonte.

Los valores espectrales que se presentan en las gráficas se refieren a valores de reflectancia relativa (en adelante RR) calculados según <sup>[11]</sup>.

### **2.3. Atributos de superficie: Coberturas y suelos**

Todas las muestras de suelo fueron obtenidas a 5 cm profundidad. Sobre muestras de suelo individuales se determinó Humedad Gravimétrica <sup>[12]</sup>. Sobre muestras compuestas (n = 25): Color <sup>[13]</sup>, Granulometría <sup>[12]</sup> y Materia orgánica (MO) <sup>[12]</sup>.

La cobertura de rastrojo fue descrita y llevada a porcentaje aplicando el método de la “cinta” o “transecta” <sup>[14]</sup>, cuyo principio se basa en caracterizar exclusivamente el punto de intersección entre la cobertura y marcas distribuidas sistemáticamente sobre una cinta. Los residuos fueron secados en cámara climatizada a 70°C hasta constancia de peso seco.

## **3. Resultados y Discusión**

### **3.1. Atributos de superficie**

Los atributos presentes en las superficies de suelos agrícolas, se dividieron para este análisis, en aquellos que son propiedades de suelos vinculadas a la génesis y evolución del mismo, y en los que son atributos asociados con el manejo que se realiza en el suelo.

En la Tabla 1 se presentan las propiedades, vinculadas a la génesis de los suelos, medida en las parcelas ubicadas en los distintos lotes seleccionados. Estas propiedades son consideradas de baja variabilidad temporal. Se observa que las diferencias en los valores de las mismas son mínimas, por lo tanto se determinó que entre las parcelas seleccionadas no existen variaciones en las propiedades genéticas de los suelos.

**TABLA1.** DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUELOS EXISTENTES EN LAS PARCELAS DE LOS ENSAYOS EN EL SUR DEL PARTIDO DE AZUL (PROVINCIA DE BUENOS AIRES-ARGENTINA) Y SU VINCULACIÓN CON LAS TRANSECTAS DE ADQUISICIÓN DE LA RADIOMETRÍA:

IDT: IDENTIFICACIÓN DE LAS TRANSECTAS      CG: COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA  
 CT: CLASE TEXTURAL                                      C: COLOR  
 MO: MATERIA ORGÁNICA (%)                              NESPEC: NÚMERO DE ADQUISICIONES RADIOMÉTRICAS POR TRANSECTA

ID T	CG	CT	MO	C	nespec
T1-SDNP	21%ar/ 50%Li29% AR	Franco	6,79	Seco: 10YR 3/2 Húmedo 10YR 2/1	56
T2-SDNP	21%ar/ 52%Li27% AR	Franco Limoso	6,31	Seco: 10YR 3/2 Húmedo 10YR 2/1	61
T3-SDNP	20%ar/ 51%Li29% AR	Franco Limoso	5,92	Seco: 10YR 3/2 Húmedo 10YR 2/1	57
T4-SDP	21%ar/ 49%Li30% AR	Franco	5,76	Seco: 10YR3/2,5 Húmedo 10YR 2/1	62
T5-SDP	21.5%ar/ 51%Li27.5% AR	Franco Limoso	6,73	Seco: 10YR 3/2 Húmedo 10YR 2/1	116
T6-SDP	22%ar/ 51%Li26% AR	Franco Limoso	5,80	Seco: 10YR 3/2 Húmedo 10YR 2/1	62
T7-LTa	21%ar/ 48%Li31% AR	Franco	6,44	Seco: 10YR 3/2 Húmedo 10YR 2/1	58
T8-LTs	22%ar/ 46%Li32% AR	Franco	5,33	Seco: 10YR3,5/2 Húmedo 10YR 2/1	63

En la Tabla 2 se describe exhaustivamente la composición y proporción de la cobertura medida en la superficie de las parcelas en los lotes seleccionados, y en la Tabla 3 se presentan los valores de humedad del rastrojo (HR) que se encontraba en la superficie en el momento de adquisición del dato radiométrico y de humedad del suelo (HS) a partir de las muestras superficiales extraídas.

Considerando que los rastrojos pueden ser más brillantes o más oscuros que el suelo, dependiendo de sus condiciones de humedad, se calculó la diferencia existente entre los valores de humedad rastrojo-suelo, medidos en cada parcela (Tabla 3).

**TABLA 2.** COMPOSICIÓN Y PROPORCIÓN PORCENTUAL DE LA COBERTURA MEDIDA EN SUPERFICIE EN LAS PARCELAS DE LOS LOTES SELECCIONADOS:

IDT: IDENTIFICACIÓN DE LAS TRANSECTAS      CT: COBERTURA TOTAL  
M: MALEZAS      RST: RASTROJO DE SOJA -TALLO  
RSH: RASTROJO DE SOJA -HOJA      RSCH: RASTROJO DE SOJA –VAINA  
RA: RASTROJO CULTIVO ANTECESOR      RSU: RASTROJOS SUPERPUESTOS  
B: EXCREMENTO ANIMAL      \*CON RESPECTO A CT

ID T	CT %	M %*	RSt %*	RSh %*	RSch %*	RA %*	Rsu %*	B %*
T1-SDNP	88	-	62	22	2	2	-	-
T2-SDNP	86	2	54	24	4	2	-	-
T3-SDNP	80	-	50	26	4	-	-	-
T4-SDP	72	-	34	24	6	2	4	2
T5-SDP	64	-	40	22	-	-	-	2
T6-SDP	54	-	34	16	4	-	-	-
T7-LTa	30	2	20	8	-	-	-	-
T8-LTs	18	4	14	-	-	-	-	-

**TABLA 3.** HUMEDAD DEL SUELO, HUMEDAD DEL RASTROJO PRESENTE EN SUPERFICIE, DIFERENCIA DE HUMEDAD ENTRE RASTROJO Y SUELO, Y FECHA DE MEDICIÓN DE ESTOS ATRIBUTOS EN LAS PARCELAS:

IDT: IDENTIFICACIÓN DE LAS TRANSECTAS      HS: HUMEDAD DEL SUELO  
HR: HUMEDAD DEL RASTROJO      DIF HR/HS: DIFERENCIA HUMEDAD RASTROJO/HUMEDAD DEL SUELO

ID T	HS %	HR %	Dif HR/HS %	Fecha
T1-SDNP	29.84	25.05	-4.79	06-jun-13
T2-SDNP	28.8	28.02	-0.78	06-jun-13
T3-SDNP	24.29	31.76	7.47	06-jun-13
T4-SDP	28.86	30.4	1.54	05-jun-13
T5-SDP	27	30.9	3.9	05-jun-13
T6-SDP	24.5	26.2	1.7	06-jun-13
T7-LTa	26.32	-	-	07-jun-13
T8-LTs	24.23	-	-	07-jun-13

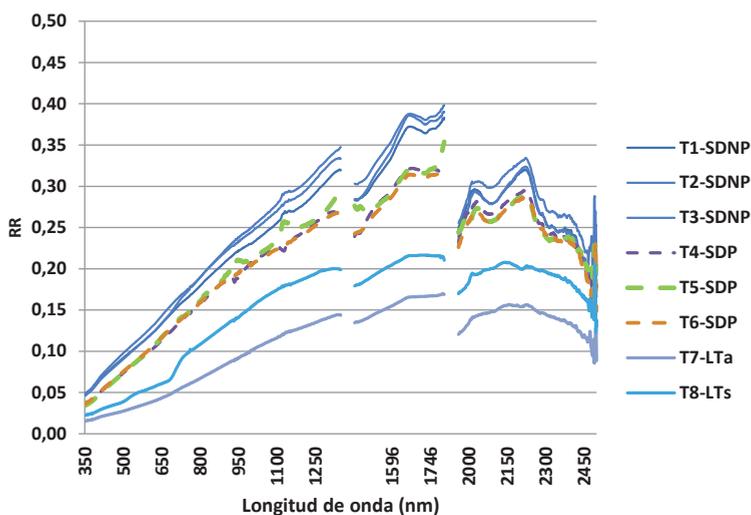
Se observa una importante variabilidad entre estos atributos de superficie tanto entre parcelas dentro de un mismo lote como entre lotes.

### 3.2. Radiometría

La Figura 1 muestra los espectros de reflectancia adquiridos para cada transecta. Los valores de estas firmas representan el promedio del total de mediciones adquiridas por transecta (columna “nespec” en Tabla 1).

Las regiones del espectro en torno a 1400 nm y 1900 nm fueron eliminadas de las curvas por presentar importante componente de ruido debido a una fuerte absorción de la radiación solar por agua presente tanto en la atmósfera como en la superficie [6].

Entre LT ( $\leq 30\%$  de cobertura total), y SD, (coberturas entre 54% y 88%), se observan grandes diferencias tanto en las intensidades de RR, como en las formas de los espectros. Se discutirán por separado las firmas correspondientes a cada uno de estos sistemas de cultivo.



**FIGURA 1.** ESPECTROS DE REFLECTANCIA (350-2500NM) DE LAS TRES TRANSECTAS NO PASTOREADAS (T1-SDNP, T2-SDNP, T3-SDNP), LAS TRES PASTOREADAS (T4-SDP, T5-SDP, T6-SDP) Y LAS DOS TRANSECTAS LABRADAS (T7-LTA Y T8-LTS).

### 3.3. Sistema de cultivo SD

Entre 350 y 1000 nm. (Visible e infrarrojo cercano), las formas de las firmas son muy similares y difieren mínimamente en los valores de RR.

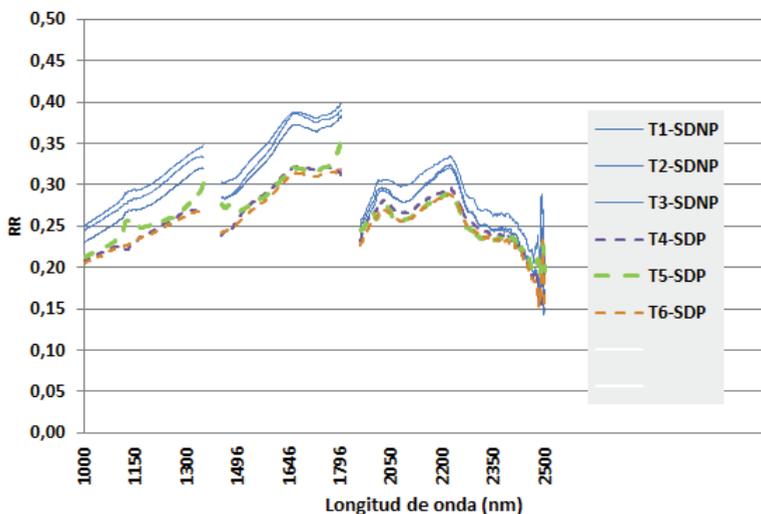
En cambio dentro de la región del infrarrojo medio (1000 – 2500nm) (Figura 2) se observan comportamientos diferentes en los valores de RR mostrando que en la región comprendida entre 1300nm y 1800nm se discriminan en intensidades de RR, los sistemas de cultivo (SDNP de SDP). Las transectas correspondientes a los sistemas no pastoreados (con mayores % de cobertura de rastrojo en superficie) muestran valores superiores de reflectividad en relación a las transectas pastoreadas. A su vez, analizando exclusivamente las firmas correspondientes a estas transectas de mayor cobertura (SDNP), se observa que la reflectividad está vinculada a la humedad en el rastrojo, y no precisamente al % cobertura, siendo la escena de mayor humedad, la más reflectiva. Estos resultados preliminarmente permitirían concluir que en escenas con altos porcentajes de rastrojo la humedad del mismo podría controlar la respuesta espectral.

En las transectas con coberturas menores, y por ende con más proporción de suelo, las diferencias en intensidades de RR son mínimas no permitiendo establecer alguna vinculación entre las características del rastrojo o del suelo aquí consideradas, y la respuesta espectral.

Esto sugiere preliminarmente, que en coberturas inferiores al 70% y superiores al 54%, el espectro del suelo puede estar contribuyendo sobre el espectro final de reflectancia de manera que interacciones como diferencias de humedad entre rastrojo y suelo, o estado físico (porosidad), podrían alterar los efectos de absorción del agua provocados por la humedad del rastrojo. El manejo del barbecho, en este caso, el pastoreo continuo de los rastrojos con incidencia en el estado físico del suelo superficial, podría ser la razón de la disparidad de los resultados obtenidos en las transectas SDP.

En relación a las formas de los espectros, las diferencias observadas entre todas las transectas en SD corresponden a picos de absorción centrados en 1730 nm, 2100 nm y 2300 nm. Según <sup>[15]</sup>[6] se deben a la presencia de componentes químicos comunes en los restos vegetales como lignina y celulosa que absorben en la región centrada en la banda de 2100 nm, y otros como nitrógeno y lignina que absorben entre 2300nm y 1730 nm. Estos valles se

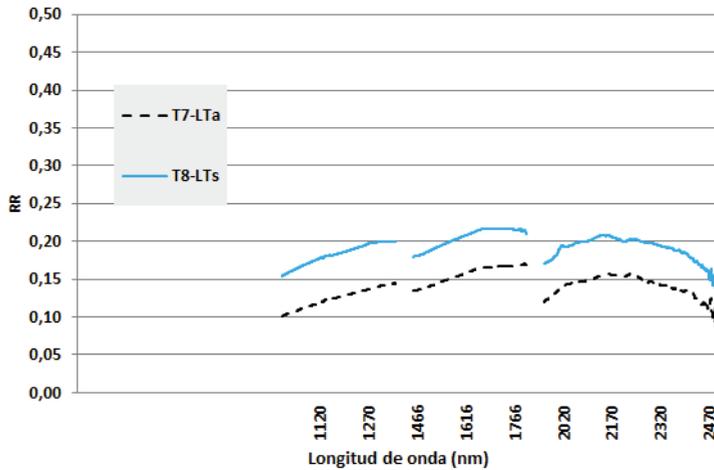
observan más definidos y profundos en las transectas con mayor proporción de rastrojo en superficie.



**FIGURA 2.** DETALLE DE LOS ESPECTROS EN LA REGIÓN DEL INFRARROJO MEDIO CORRESPONDIENTES A LAS TRANSECTAS DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO EN SIEMBRA DIRECTA (SD).

### 3.4. Sistema de cultivo LT

En las firmas correspondientes a las transectas cultivadas bajo el sistema LT (Figura 3) no se observan, en la región del infrarrojo medio, los picos de absorción referidos a los rastrojos indicando coincidentemente con <sup>[16]</sup> que coberturas  $\leq$  a 30% no interfieren en la reflectividad del suelo en comparación a lo observado con masas superiores de rastrojos. Sí, a lo largo de todo el espectro, en valores de RR, se distinguen las transectas LTa de LTs. Considerando que estos espectros representan al suelo y no a la cobertura presente sobre el mismo, este comportamiento observado entre las firmas, en cuanto a intensidad en RR, sugiere que el estado físico (estructural) de la superficie, descrito anteriormente tiene incidencia en la reflectividad del suelo. Simulaciones realizadas en condiciones controladas <sup>[17]</sup> arribaron a resultados similares indicando que la reflectividad aumenta al disminuir la porosidad (sellado).



**FIGURA 3.** DETALLE DE LOS ESPECTROS EN LA REGIÓN DEL INFRARROJO MEDIO CORRESPONDIENTES A LAS TRANSECTAS LABRADAS (LTA Y LTS).

#### 4. Conclusiones

La radiometría de campo constituye una herramienta complementaria de sensores satelitales que contribuye a mejorar la precisión sobre la respuesta espectral de superficies agrícolas bajo diferentes sistemas de manejo en período de barbecho.

A pesar del carácter preliminar de este trabajo es posible concluir que en regiones donde se emplean sistemas de cultivo conservacionistas y debido a que las superficies de suelos en las mismas presentan alta variabilidad y complejidad, es necesario dar cuenta de las características de estas superficies para entender mecanismos de interacción entre propiedades de suelos y atributos de superficies. Entre los atributos que afectan esta respuesta espectral se deben considerar además de la proporción de cobertura de rastrojo presente, la diferencia de humedad entre el rastrojo y el suelo y cambios del estado físico del suelo vinculados al manejo.

Pretendemos en el futuro, evaluar un mayor número de escenas y explorar las firmas con otros métodos además de la visualización de las firmas.

## **5. Agradecimientos**

Este experimento fue realizado con el apoyo de CONAE Argentina (Convenio CONAE -FA -UNCPBA) y parcialmente de AO : CONAE-SAOCOM MISSION.

## **6. Referencias**

- [1] Pinter, P., Hatfield J., Schepers J., Barnes E., Moran S., Daughtry C., Upchurch D.; Remote Sensing for Crop Management. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 69, No. 6, pp. 647–664, 2003.
- [2] Chavda, Ch. Simulated vs. Actual Landsat Reflectance Spectra of Bare Soils. Thesis Faculty of Mississippi State University. Department of Agricultural and Biological Engineering, 248p, 2005.
- [3] Bricklemeyer, R., Rick L., Perry R., Norov B. Predicting tillage practices and agricultural soil disturbance in north central Montana with Landsat imagery. Agriculture, Ecosystems and Environment 114, 210–216. [www.elsevier.com/locate/agee](http://www.elsevier.com/locate/agee), 2006.
- [4] Henderson, T, Baumgardner, M.; Franzmeier, D.; Stott, D.; Coster, D. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 56, pp 865-872, 1992.
- [5] Daughtry, C. Discriminating Crop Residues from Soil by Shortwave Infrared Reflectance. Agronomy J. 93, 125-131, 2001.
- [6] Daughtry, C.; Hunt Jr. E., McMurtrey III J. Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. Remote Sensing of Environment 90: 126–134, doi:10.1016/j.rse.2003.10.023, 2004.
- [7] Serbin G.; Daughtry C.; Hunt Jr. E, Reeves III , Brown D. 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, 2009.
- [8] INTA –CIRN, Cartas de Suelos de la República Argentina, Hoja 3760-29 “María Ignacia”, 1973.
- [9] Jackson Hand-Held Radiometry. U.S. Department of Agriculture Science and Education Administration Agricultural Reviews and Manuals, ARM-W-19, 1980.
- [10] Daughtry, C.; Vanderbilt V.; Pollara, V. Variability of Reflectance Measurements with Sensor Altitude and Canopy Type. Agronomy J. 74, 744-751, 1982.
- [11] Robinson B.F.; Biehl, L.L. Calibration procedures for measurement of reflectance factor in remote sensing field research. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, LARS Technical Report 071882, 1979.

- [12] Klute, A(Ed). *Methods of Soil Analysis*, Agronomy series N9, ASA-SSSA, Madison, W, USA. Part1: pp383-409; 493-541; Part 2: pp539-593, 1986.
- [13] Munsell Soil Color Charts, Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Co.NY, 1994.
- [14] Laflen, J.M., Amemiya M., Hintz E.A. Measuring crop residue cover. *J. Soil Water Conserv.* 36, 341–343, 1981.
- [15] Nagler P., Daughtry C., Goward S. Plant Litter and Soil Reflectance Remote Sensing of Environment 71, 207–215, 2000.
- [16] Thoma,D.; Gupta S., and . Bauer, M. Evaluation of optical remote sensing models for crop residue cover assessment. *J. Soil Water Conserv.* 59(5),pp 224-233, 2004.
- [17] Eshel,G.;Levy G. and Singer M. Spectral Reflectance Properties of Crusted Soils under Solar Illumination. *SSSAJ*,vol68(6), pp1982-1991, 2004.