

# Reglas básicas para mediciones con el espectrorradiómetro de campo ASD

María Primera<sup>1</sup>, Wuilian Torres<sup>1</sup>, Juan Núñez<sup>2</sup>, Mónica Sacido<sup>3</sup>, Gustavo Aguerrevere<sup>1</sup>, Anderson Albarran<sup>1</sup>, Montserrat Bautis<sup>1</sup>, José De Sá<sup>1</sup>

[mprimera@fii.gob.ve](mailto:mprimera@fii.gob.ve), [wtorres@fii.gob.ve](mailto:wtorres@fii.gob.ve), [jmcleod@cediac.uncu.edu.ar](mailto:jmcleod@cediac.uncu.edu.ar), [gustavoa@fii.gob.ve](mailto:gustavoa@fii.gob.ve),  
[aalbarran@fii.gob.ve](mailto:aalbarran@fii.gob.ve), [mbautis@fii.gob.ve](mailto:mbautis@fii.gob.ve), [jarodriguez@fii.gob.ve](mailto:jarodriguez@fii.gob.ve)

Fundación Instituto de Ingeniería Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI)<sup>1</sup>.- Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo Argentina<sup>2</sup>. – Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires<sup>3</sup>.

## 1. Resumen

El principal reto con que se enfrentan quienes trabajan en el campo de la teledetección consiste en la transformación de los datos registrados por el sensor en magnitudes físicas que permiten su análisis y comparación. Por ello las imágenes de satélite necesitan estar acompañadas de mediciones radiométricas en campo sobre las mismas áreas que ha abarcado el sensor espacial, con el fin de poder explicar los resultados anómalos de los análisis de la información. Para ello es necesario contar con bases de datos de referencia, como las bibliotecas espectrales. (Gilabert 1991; Vaughan 2001). Hasta el momento las bibliotecas espectrales disponibles son fundamentalmente una recolección de clases geológicas como la biblioteca del USGS o la ASTER. Existen bibliotecas espectrales con algunas especies vegetales como por ejemplo la biblioteca MEDSPEC creada en colaboración por 7 países mediterráneos, la de Southampton en el Reino Unido, la de la Universidad de Santa Bárbara, la de Kentucky en Estados Unidos o la biblioteca SPEC-CHIO de Zurich, Suiza. Sin embargo, para climas tropicales como el de Venezuela no se dispone de una biblioteca espectral. Por ello, el objetivo de este trabajo es proponer una serie de reglas básicas que se deben seguir al momento de la toma de espectros de reflectancia en campo utilizando un espectrorradiómetro, con el fin de colaborar en la creación de una biblioteca de firmas espectrales de la diversidad de rubros que se cultivan en el país.

**Palabras Claves:** Firma espectral, espectrorradiómetro, radiometría de campo, seguimiento fenológico, sensores remotos.

## 2. Introducción

La teledetección es el conjunto de conocimientos y técnicas utilizadas para determinar las características físicas, biológicas de los objetos y los fenómenos que en ella tienen lugar a partir de mediciones realizadas a distancia, sin contacto con el objeto y que pueden ser detectadas por un avión o un satélite (García y Caselles 1991; Castro 1999; Rivas 1999; Jiménez 2005). El medio de observación más usado en teledetección es la radiación electromagnética. Esta llega a la superficie de la Tierra e interactúa con todos los objetos (elementos), esa interacción, se puede dividir en tres fracciones. Una parte es absorbida, otra es transmitida y una tercera parte es reflejada. Las proporciones de energía reflejada, absorbida y transmitida varían para cada objeto, lo cual nos permite discriminarlos y caracterizarlos mediante el uso de sensores remotos.

Los sensores remotos no solo nos permiten caracterizar las cubiertas, también permiten hacer monitoreo, tanto de fenómenos ambientales como de cultivos. Con el objetivo de determinar estrés hídrico, estado de salud (ataque de plagas o enfermedades), estado fenológico, deficiencias nutricionales, productividad y rendimiento, entre otras; mediante la captura de las variaciones en la reflectividad de las plantas durante los diferentes estados de crecimiento. Sin embargo este monitoreo se ve afectado por diversos factores como: cambios en los calendarios de siembra y cosecha de los cultivos; el clima en general del área de estudio. Si está definido por estaciones climáticas o por períodos de lluvia y sequía; la morfología y fisiología de las plantas, plantaciones que presentan características espectrales similares a otra durante cierta etapa de crecimiento (fase de post-emergencia) y a las características propias del sensor (resolución espectral, espacial y temporal). Por otro lado, para un mismo objeto las mencionadas proporciones de energía varían con diferentes longitudes de onda, con lo que dos objetos pueden ser no distinguibles en una porción del espectro y perfectamente diferenciables en otra. Sin embargo, lo predominante en la naturaleza es una mezcla de ambos tipos, originándose grandes diferencias de reflectancia entre los objetos debido a la variabilidad de las texturas superficiales existentes y al ángulo de incidencia del sensor sobre el relieve.

Lo expuesto con anterioridad nos conduce, definitivamente, al concepto de "firma espectral" que vendría a ser el conjunto de valores característicos y propios de cada objeto, captados para los diferentes campos del espectro de los que se obtiene información, sustentándose gran parte de los procesos de interpretación de imágenes de satélite en el análisis y tratamiento de estos valores.

Investigaciones hechas en el área han demostrado que la discriminación de clases de vegetación está fuertemente influenciada por las diferencias a nivel espectral, por lo que las firmas espectrales construidas en campo pueden contribuir con una mejora en la exactitud en la discriminación de los tipos de coberturas, ya que integran información proveniente de las características microscópicas (moleculares y anatómicas) de las plantas y de la estructura (cobertura y complejidad) del dosel, con las condiciones ambientales y edáficas del sitio.

Es por ello que el objetivo de este trabajo es plantear una serie de reglas básicas para realizar mediciones con un espectrorradiómetro de campo con el propósito de coleccionar información para construir firmas espectrales de cultivos tomando como modelo el maíz por ser de interés nacional en Venezuela.

### **3. Materiales y Métodos**

#### **3.1. Diseño de Experimento**

Para el desarrollo de este trabajo se diseñó un experimento que permitió aplicar un muestreo aleatorio estratificado por afijación simple, con una frecuencia de muestreos cada 3 semanas con el fin de estudiar el cultivo de forma simultánea en sus diferentes fases fenológicas bajo condiciones similares y con los menores costos posibles, ver Tabla 1.

El área seleccionada para realizar el ensayo se encuentra ubicada en Guácara, Edo. Carabobo. De dicha parcela se seleccionó un lote de terreno de 1 ha para realizar la siembra de maíz blanco híbrido 20/20. Con una distancia de siembra de 80 cm entre surcos y 17,5 cm entre plantas (medidas estándar para parcelas comerciales). La superficie fue segmentada en 5 lotes o parcelas,

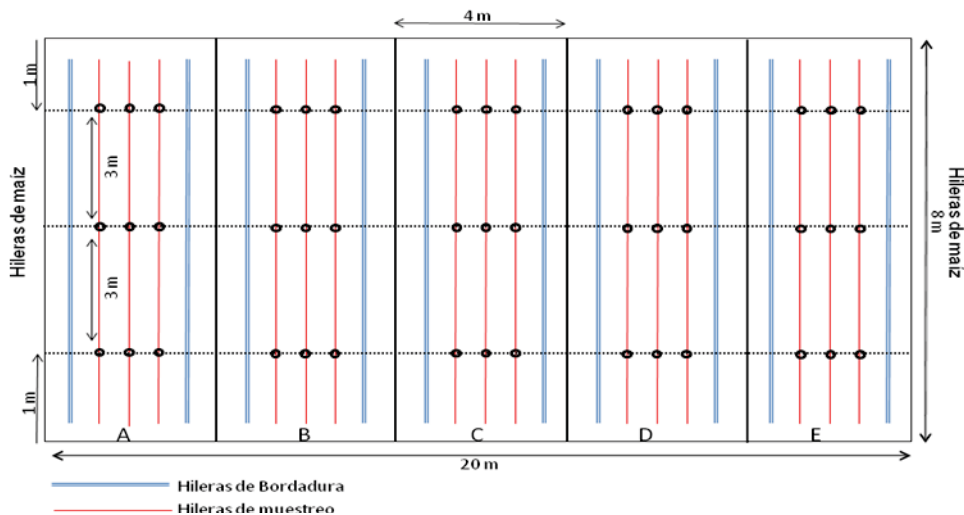
cada una con 7 días de diferencia de siembra entre sí (Ver tabla 2), conformadas por 5 hileras de plantas. Finalizada la siembra se escogió un área dentro del lote de 4 m de ancho por 8 m de largo, para realizar los muestreos. De las 5 hileras de plantas, se dejaron dos hileras de bordadura y las tres hileras centrales se tomaron para realizar las mediciones, dentro de cada hilera se seleccionaron 3 plantas, para un total de 9 plantas por parcelas para promediar el espectro. (Ver Figura 1).

**Tabla 1: Calendario de fechas de muestreo y edad del cultivo al momento del muestreo.**

Parcela	F. Siembra	Días/ parcela	Días/ parcela	Días/ parcela	Días/ parcela	Días/ parcela
Parcela A	18/02/2011	35	56	90	98	119
Parcela B	25/02/2011	28	49	83	91	112
Parcela C	04/03/2011	21	42	76	84	105
Parcela D	11/03/2011	14	35	69	77	98
Parcela E	18/03/2011	7	21	62	70	91
Muestreos		25/03/2011	15/04/2011	19/05/2011	27/05/2011	17/06/2011

**Tabla 2: Calendario de fechas de siembra de parcelas de maíz.**

Parcela	F. Siembra
Parcela A	18/02/2011
Parcela B	25/02/2011
Parcela C	04/03/2011
Parcela D	11/03/2011
Parcela E	18/03/2011



**Figura 1: Esquema de segmentación de parcelas y de distribución del diseño de experimento para la toma de muestras radiométricas.**

## **Muestreos**

Para la realización del muestreo se diseñó una planilla para documentar diversa información del área de trabajo, de la cual se puede destacar la siguiente:

- Condiciones atmosféricas (nubosidad, viento, elevación de sol, etc.) al momento del muestreo.
- Las características del cultivo (tamaño de la planta, número de hojas, longitud del primer entre nudo, color de las hojas, etc.) al momento del muestreo.
- Metadatos sobre la adquisición de los espectros (calibración, adquisición de referencias, etc.).
- Cualquier información relevante que sea de utilidad en las etapas posteriores de procesamiento (cambios de luminosidad, presencia de polvo en suspensión, etc.)

### **3.2. Equipo Utilizado**

Las reflectancias se midieron con un equipo FieldSpec de la empresa ASD Inc., este es un espectrorradiómetro portátil, que cubre el rango de 350 nm a los 2500 nm. El equipo completo está constituido por un morral para el traslado, espectrorradiómetro FieldSpec 3 Hi Res, un cable de fibra óptica con el sensor y su correspondiente soporte, una superficie de referencia o spectralon, una lente con un campo de visión de 8° y computadora portátil para la adquisición de datos del espectrorradiómetro.

El blanco de referencia es el panel portátil spectralon, hecho de politetrafluoretileno, caracterizado por ser casi 100% dispersivo (superficie cuasi-lambertiana) dentro de la longitud de onda de los 350 nm a 2500 nm.

Las mediciones se realizaron entre las 10:30 y las 15:30, con un ángulos fijo de visión a 90° y con una estructura diseñada por el CPDI (Centro de Procesamiento Digital de Imágenes) para fijar el sensor en esta posición. Este equipo consistió en una base y un brazo giratorio sobre el cual se monto el sensor.

## **4. Resultados**

Con las experiencias obtenidas en la campaña de campo podemos determinar y recomendar una serie de pasos que se deben seguir antes, durante y después de las mediciones con el espectrorradiómetro de campo.

### **4.1. Antes de las Mediciones**

Del lugar donde se realizaran las mediciones:

- 1- Preselección de los sitios de medición. Realizar una precampaña, en la cual irán dos o tres personas, preferentemente una de ellas debe ser un operador del radiómetro y otra, necesariamente, debe ser especialista en los rasgos a medir. Por lo menos, esta última

persona debe participar de la campaña de medición. Para la preselección se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1.1. De acuerdo con los objetivos del proyecto:

- Época de siembra; por lo general en el país (Venezuela) se siembra en época de lluvia lo que ocasiona el incremento en la nubosidad. Los muestreos deben realizarse en época de verano para garantizar la máxima radiación solar y la poca presencia de nubes.
- Tipo de cultivo; la arquitectura y el tamaño de las plantas. Si son plantas de porte alto (entre 2 y 3 m) se debe usar algún implemento que le permita subir para tomar las muestras desde la parte de arriba de la planta de tal forma que el ángulo de cobertura del lente cubra el ancho de la planta.

1.2. Accesibilidad con vehículo: es muy importante poder llegar al sitio de medición con vehículo, lo que evita pérdidas de tiempo en el traslado de todos los equipos.

1.3. Distancia entre sitios: si se van a tomar en diferentes localidades, es deseable que los distintos sitios se encuentren relativamente cerca unos de otros, en cada uno de los días de medición.

1.4. Deben ser preferentemente abiertos y amplios, con buena insolación. Se debe evitar la existencia de edificios cercanos, árboles o cualquier otro rasgo natural o cultural por encima del nivel de medición. En caso de no ser posible satisfacer estos requisitos, en el momento de la medición se analizará la forma de minimizar estos efectos.

1.5. En cada sitio preseleccionado se debe hacer un croquis, incluyendo fotografías generales, abarcando los 360° de visión, e incluir un waypoint con el navegador. En el croquis se anotarán los números de fotografías y los datos del waypoint, además se debe hacer una breve descripción del lugar con la identificación de los rasgos potenciales a ser medidos, posibles problemas observados y cualquier otra acotación que permita después seleccionar o descartar el sitio.

1.6. De ser necesario obtener autorizaciones es importante anotar el contacto (nombre y apellido), forma de contacto (dirección, teléfono, mail, etc.) y cualquier otra información de utilidad.

- 2- Verifique el buen funcionamiento del espectrorradiómetro, el estado del cable de fibra del mismo, y del resto del equipo auxiliar (la brújula, GPS, cámaras fotográficas etc.).
- 3- Organice las planillas o el material para caracterizar el área de estudio. Cintas para medir, cámaras fotográficas, y verifique las baterías de todos los equipos a llevar antes de la salida de campo, etc.
- 4- Haga uso de un mapa imagen y localice las parcelas con mayor accesibilidad; si pretende realizar varios muestreos lo recomendable es que estén cercanas entre sí (como se mencionó en el punto 1.3).

#### 4.2. Durante las Mediciones

- 1- Las campañas deben estar conformadas por un grupo mínimo de tres personas, máximo cinco; cada uno con asignaciones específicas, las cuales no deben ser cambiadas durante la campaña para evitar errores de inconsistencia en los datos recogidos (retrasos por aprendizaje, desconocimiento entre otros) y la cantidad de personas dependerá del tipo de cultivo a muestrear (para plantas de porte alto lo recomendable son cinco personas).
- 2- Los muestreos se deben realizar entre las 10 de la mañana y las 14:30, esto para garantizar que la elevación del sol este lo más cerca al nadir posible con un máximo de 30° a 45° de inclinación sobre la vertical.
- 3- Uno de los primeros requerimientos tanto como para el cuidado y el uso general del equipo es la accesibilidad y el traslado al sitio del muestreo, el equipo viene almacenado en una caja de seguridad a prueba de golpes y del traspaso de agua. Sin embargo se recomienda que durante el traslado, la caja no sufra ningún tipo de lesión o daño que pueda debilitar las características de la misma.
- 4- Al llegar al lugar de las mediciones se debe colocar el aparato en un lugar firme y estable donde no corra riesgos de maltrato, coloque debajo un plástico o cualquier superficie de color para evitar la pérdida de piezas pequeñas o cualquier objeto importante, (esto debido a que por lo general los lugares de muestreo no son superficies limpias).
- 5- Se debe asegurar de que la fibra óptica salga de la pistola antes de colocar el lente.
- 6- El espectrorradiómetro debe encenderse por lo menos unos 15 a 20 minutos antes de comenzar a tomar las mediciones, para permitirle que alcance el equilibrio térmico en todos los dispositivos internos. De esta forma se garantiza la precisión de las mediciones. Mientras transcurre el tiempo en que se estabilice el equipo los demás integrantes deben, seleccionar el lugar donde se colocara el blanco de referencia (Spectralon), tomar las fotografías de las condiciones atmosféricas al momento de hacer las mediciones (deben llevar la dirección en que fueron tomadas), comenzar el llenado de la planilla de campo con la caracterización del área de estudio, dibujar el croquis etc.
- 7- Se debe recorrer el lugar antes de realizar las mediciones para seleccionar los rasgos a medir de manera puntual (selección de individuos específicos por sus características) o de manera estadística, a través de transectas que se definirán en ese momento.
- 8- El Spectralon, debe colocarse lo más cercano posible al lugar del muestreo, incluso dentro de la parcela. Debe estar nivelado (para evitar malas lecturas), la placa no debe ser tocada con las manos, y se debe evitar que le caigan partículas de polvo, agua y cualquier otro material que pueda causar una alteración en la lectura. Lo recomendable es tenerlo tapado y destaparlo solo al momento de tomar las medidas.
- 9- Lo primero que se debe realizar es la optimización del equipo, luego tomar el blanco de referencia (Spectralon) y la primera medida que se debe realizar es la del Spectralon.
- 10- Durante el recorrido el operador debe estar siempre acompañado de 1 o 2 personas más para evitar el mal uso del equipo por enredo o torcedura de los cables, pérdida de material

de protección para los cables, caída de cualquier herramienta (la pistola, la laptop entre otras), caída del operador (por ningún motivo el espectrorradiómetro debe golpearse). Estos deben mantener una distancia prudencial para evitar afectar la medición.

- 11- El operador debe controlar la geometría de la interacción (solo, planta, sensor), lo recomendable es usar un trípode para el sensor (la pistola con el lente) de esta forma se mantiene la altura y el ángulo constante. De no contar con este, se debe fijar una altura y mantenerse durante todo el muestreo.
- 12- El sensor debe estar orientado en la misma posición relativa respecto al sol, de esta forma no se proyectan sombras sobre la superficie donde se está midiendo.
- 13- Al realizar el muestreo, el operador debe observar constantemente la respuesta obtenida (la linealidad de los espectros). Si se observa un cambio brusco en la firma que se va generando por el espectrorradiómetro o si el aparato es saturado por la cantidad de energía recibida, se deben eliminar esos espectros y volver a tomar la medida del blanco de referencia (*Spectralon*) y continuar con la toma de muestras.
- 14- Si realiza muestreos en forma de transecta debe anotar el sentido (N- S- E- O) en que fue hecho.

#### **4.3. Luego de las Mediciones**

- 1- Finalizado el muestreo, revise el área para evitar la pérdida u olvido del material utilizado.
- 2- Al regresar de la labor de muestreo es importante que cada integrante tenga funciones específicas a realizar como: recargar las baterías de todos los equipos (GPS, cámaras, baterías del radiómetro, laptop, teléfonos, etc), procesar la información colectada en campo (espectros, completar el llenado de planillas, etc), realizar respaldos de la información, descarga de fotografías y asegurarse de que el equipo esté completo y en orden.

#### **5. Conclusiones**

Hay una serie de variables del entorno que influyen en mayor o menor medida a la hora de realizar mediciones radiométricas. Entre ellas y una de las más importantes es la iluminación, como es el caso en Venezuela. Debido a la ausencia de estaciones climáticas definidas la variación constante de la iluminación, la nubosidad y la velocidad del viento son factores fundamentales a la hora de realizar este tipo de muestreo en campo. En este caso lo importante es, primero, conocerlas, segundo, evitarlas en la medida de lo posible y tercero, corregirlas o tenerlas en cuenta a la hora de analizar los datos obtenidos, y de establecer un margen de error adecuado a las circunstancias en que se han realizado las mediciones. A raíz de esto se recomienda este conjunto de reglas básicas con tres etapas (antes, durante y después de la medición), bastante lógicas, los cuales no se suelen tener en cuenta, normalmente por desconocimiento y por lo general se aceptan los resultados obtenidos a partir de mediciones sin



cuestionar su validez relativa. Por esto se considera que este trabajo servirá de referencia para todos aquellos estudios con objetivos similares con el fin de mejorar los resultados obtenidos por medio del empleo de radiometría de campo.

## 6. Agradecimientos

Nuestro mayor agradecimiento al Sr. Félix Concepción quien nos permitió desarrollar este trabajo en su parcela sin costo alguno colaborando con el cuidado y su mantenimiento durante todo el ensayo. A la Fundación Instituto de Ingeniería quien financió todo el proyecto y a todas y cada una de las personas que colaboraron en los muestreos de campo.

## Bibliografía

**Bongiovanni, R; Mantovani, E; Best, S; Roel, Á.** 2006. Agricultura de precisión: integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del cono Sur. Instituto interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA). Montevideo, Uruguay. 244p. Disponible en formato PDF en: [www.iica.int](http://www.iica.int)

**Castro R.** 1999. Sistema para El seguimiento y análisis de tierras mediante teledetección. Bases teóricas. Pontifia Universidad de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Documento em formato pdf disponible en: [http://www.inia.cl/medios/platina/descarga/TallerSatelital/bsesteoricasp.remota\\_rcastro.pdf](http://www.inia.cl/medios/platina/descarga/TallerSatelital/bsesteoricasp.remota_rcastro.pdf)

**Gilbert, M.** 1991. Índices de vegetación”. En: La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables. Agricultura. Curso de Postgrado. Coord.: Gandía, S. y Meliá, J. Universitat de València. Estudi General. Unidad de Teledetección. Departament de Termodinámica, pp 285-295.

**Jiménez J.** 2004. Estimación de la temperatura y la emisividad de la superficie terrestre a partir de datos suministrados por sensores de alta resolución. Tesis Doctoral. Facultad de Física y Termodinámica. Universidad de Valencia. España. 344 p. Documento en formato pdf. Disponible en: <http://biblioteca.universia.net/ficha.do?id=1960056> (Consulta: Agosto 2005).

**Rivas R.** 1999. Conceptos básicos de La teledetección. Apuntes para El curso de postgrado sobre Imágenes Satelitales. CIC – UNCPBA . 24 p.

**S.A.** 2004. La respuesta spectral. Disponible en:

<http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/index.htm>

**Vaughan, P.** 2001. Estimación del contenido de humedad de la vegetación mediante espectroradiometría, Trabajo de investigación tutelado, Universidad de Alcalá de Henares, Alcalá de Henares, Spain.