

**DIGITAL IMAGE PROCESSING OF REMOTE SENSING PRODUCTS FOR
PRECISE AGRICULTURE APPLICATIONS****PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS
PARA APLICACIONES DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN****MSc. Andrés Fernando Jiménez López*, MSc. Fabián Rolando Jiménez López**
Elkyn Fagua Pérez*.**

***Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.** Facultad Seccional Sogamoso.
Escuela de Ingeniería Electrónica - Grupo de Investigación en Procesamiento de Señales
DSP. Línea de Investigación en Tecnología Agropecuaria. Sogamoso, Boyacá, Colombia.
E-mail: {andres.jimenez, elkin.fagua}@uptc.edu.co.

****Universidad Santo Tomas, Tunja.**

Facultad de Ingeniería Electrónica - Calle19, No. 11 – 64, Centro, Tunja, Colombia.
Grupo de Investigación EICIT – Línea de Investigación en Instrumentación Electrónica.
E-mail: fjimenez@ustatunja.edu.co

Abstract: This paper presents a preview of the results of investigations carried out for the UPTC to establish spatial models of the behavior of phenology variables of the arable regions in the municipalities of: Paipa, Duitama, Nobsa, Tibasosa and Sogamoso of the Boyacá department, using digital image processing of data acquired by satellital remote sensors and laboratory. The algorithm developed, makes the relationship between the information of the MODIS sensor (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) and anearth image acquisition system, with the phenology of diseased and healthy plants.

Keywords: Plant Health, Remote Sensing, Spectral Signature, Vegetation Index.

Resumen: Este trabajo presenta un avance en los resultados de las investigaciones que ha realizado la UPTC buscando establecer modelos espaciales del comportamiento de variables fenológicas de las regiones cultivables de los municipios de: Paipa, Duitama, Nobsa, Tibasosa y Sogamoso del departamento de Boyacá, mediante el uso del procesamiento digital de imágenes adquiridas por sensores remotos satelitales y de laboratorio. El algoritmo desarrollado, relaciona la información espectral adquirida del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y de un sistema de adquisición de imágenes espectrales en tierra, con el comportamiento fenológico de plantas enfermas y sanas.

Palabras clave: Sanidad Vegetal, Sensores Remotos, Firma espectral, Índice de vegetación.

1. INTRODUCCIÓN

Para el manejo de cultivos agrícolas es importante determinar las condiciones de salud de las plantas (Bryant, *et al* 1999) y la habilidad de encontrar áreas de un cultivo con déficits en algún tipo de insumo o tratamiento con el fin de mejorar la

eficiencia en la toma de decisiones para la aplicación de agroquímicos. La tecnología de sensores remotos puede usarse como un método efectivo y económico para identificar el estado de plantas a escala regional, debido a que el estado fenológico de cada especie vegetal tiene diferente respuesta espectral (Qin *et al.*, 2005).

Cuando una planta es afectada por daños de patógenos o enfermedades, presenta cambios en los pigmentos de clorofila y la estructura de los tejidos para la fotosíntesis y el metabolismo, lo cual permite identificar regiones de comportamientos específicos a través de sus diferencias espectrales evidenciadas mediante: firmas espectrales, índices de vegetación, procesamiento digital de imágenes y el estudio de texturas (Foody, 2003).

Los sensores remotos, junto con la información recopilada en campo, permiten generar modelos de predicción que estimen la correlación del fenómeno en campo con las condiciones de reflectancia de los cultivos. En este sentido es importante seleccionar las variables que individualmente presenten una alta correlación para que en su conjunto se minimice el error de estimación de efectos en campo (Houborg et al. 2007).

El estudio sobre la variación espacio-temporal de la reflectancia, de la radiación solar en las bandas visibles, infrarrojo y los índices de vegetación, constituyen enfoques importantes para dar una mirada desde lo geográfico a los problemas relacionados con la evaluación de riesgos de plagas y enfermedades, su incidencia, propagación y severidad, así como apoyo a las actividades de muestreo y seguimiento. Mediante técnicas de análisis y geoestadística, se generan planes de acción regionales que permiten un manejo más económico y ambientalmente sostenible (Dengsheng, 2006).

El propósito de éste documento es el de mostrar los avances en los trabajos realizados en la Línea de Investigación de Tecnología Agropecuaria y Agricultura de Precisión del grupo DSP de la UPTC, en el desarrollo de herramientas de software y hardware útiles para el procesamiento digital de imágenes de sensores remotos como en campo y su validación en laboratorio, de forma tal que se puedan implementar sistemas de consulta espacio temporales para conocer la variabilidad de las condiciones fenológicas y ambientales en las regiones cultivables de los municipios de: Paipa, Duitama, Tibasosa, Nobsa y Sogamoso del Departamento de Boyacá - Colombia, de forma tal, que se puedan generar modelos de análisis que identifiquen patrones de la dinámica de los cultivos y el planteamiento de estrategias de control preventivo, a quienes toman las decisiones en campo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos Teóricos de Teledetección en la vegetación

Las plantas establecen sus procesos biológicos gracias a las interacciones que tienen con la radiación solar en aspectos térmicos, fotosintéticos, y fotomorfológicos. Para los efectos térmicos cerca del 70% de la radiación solar absorbida por las plantas es convertida en calor y usada para mantener la temperatura de la planta y para el proceso de transpiración (Zhan, 2008).

El 28% de la energía absorbida por la planta está en la radiación fotosintéticamente activa (PAR), que es usada en el proceso de la fotosíntesis y para la conversión de compuestos orgánicos de alta energía. En la región PAR, las propiedades ópticas de las hojas dependen de: las condiciones de la radiación, la especie vegetal, el espesor de las hojas, la estructura de la superficie de la hoja, la clorofila, el contenido de pigmentos orgánicos, contenido de materia seca por unidad de área y estructura interna (Ross, 1981).

Debido a la fuerte absorción de los pigmentos foliares, existe baja reflectancia y transmitancia en el espectro visible (los pigmentos de clorofila absorben la luz violeta-azul y roja para la fotosíntesis) y debido a esto existen picos de absorción en las longitudes de onda del violeta (420nm), azul (490nm) y rojo (660nm). El color de las plantas es verde debido a la reflexión de las longitudes de onda del verde. (Meer et al, 2002).

Cuando las hojas están enfermas la clorofila se degrada más rápido que los carotenos (Sanger, 1971), generando un incremento en la reflectancia de la longitud de onda roja y mayor absorción en las longitudes del azul y verde, resultando un color amarillo en las hojas. Cuando las hojas mueren, los pigmentos cafés aparecen debido al decrecimiento de la reflectancia y transmitancia de la hoja en el rango de longitudes de onda entre 400 nm a 750 nm. En la firma espectral de la vegetación se evidencia una baja reflectancia de la clorofila y alta reflectancia alrededor de 800 nm (Infrarrojo cercano), asociada con la estructura interna de la planta sana y el contenido de agua. (Chuvieco, 2002).

2.2. Procesamiento de Imágenes de productos de Sensores Remotos

La teledetección es la ciencia de adquirir y procesar información de la superficie terrestre desde sensores y otros instrumentos instalados en plataformas espaciales, aviones, dirigibles, y otros

medios de adquisición de imágenes, gracias a la reflectancia, es decir la interacción de la energía electromagnética que existe entre el sensor y la tierra.

Los datos satelitales basados en la detección de la sanidad de la vegetación dependen de la relación fuerte entre operaciones entre los valores de reflectancia del rojo e infrarrojo y la absorción de la radiación fotosintéticamente activa (APAR) de la superficie de la vegetación (Lu, et al 2005). Estas transformaciones se refieren a los cocientes e índices de vegetación, que se basadas en firmas espectrales únicas de la vegetación verde en las porciones de rojo e infrarrojo del espectro y forman la base para cuantificar el estado de la vegetación usando datos de sensores remotos. De acuerdo a (Zulhaidi, 2009), los índices de vegetación más comunes son: el RVI (Ratio Vegetation Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), PVI (Perpendicular VI) y el TVI (Transformed Vegetation Index) y el TCAVI (Transformed Soil Adjusted VI).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Datos Espectrales de Plataforma de Laboratorio.

Se desarrolló una plataforma en laboratorio que consiste en una caja negra, en cuyo interior se tienen dos cámaras digitales (una infrarroja y otra de espectro visible), que mediante un servomecanismo se hacen girar para obtener imágenes en las dos regiones del espectro con dimensiones y resoluciones iguales, usando como iluminación una lámpara halógena que permite obtener la radiación en las bandas del espectro visible e infrarrojo cercano como se aprecia en la figura 1.

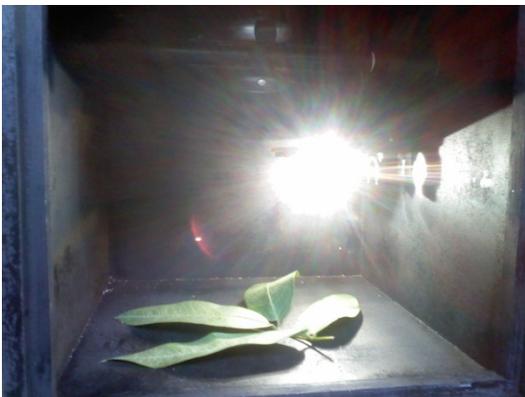


Fig. 1. Sistema de Adquisición de Datos en Laboratorio para la determinación de características espectrales de la vegetación.

3.2. Datos Espectrales de Plataforma Satelital

En este trabajo se emplean datos del sensor *MODIS* (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), correspondientes a los productos: *MOD13Q1* Reflectancia en el visible e infrarrojo, con resolución espacial de 250m, resolución temporal de 16 días y *MOD11A2* Temperatura Diurna y Nocturna, con resolución espacial de 1000 m, resolución temporal de 8 días. Para el análisis de las imágenes de sensores remotos se realizó el preprocesamiento de correcciones geométricas.

3.3. Procesamiento digital de imágenes

Se desarrolló una aplicación en software empleando la plataforma libre de programación “*Python*”, en la cual se cargan las imágenes y se procesan para determinar los valores de reflectancia en las bandas espectrales correspondientes a los datos en laboratorio como los de plataforma satelital (Jiménez, 2012).

4. RESULTADOS

Se adquirieron imágenes de vegetación sana y enferma mediante la plataforma de laboratorio; de las cuales se extrajeron las componentes azul, verde y roja de la imagen de color RGB, donde la imagen infrarroja se convierte de RGB a escala de grises. Posteriormente se determinó el índice de vegetación NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que básicamente toma una lectura de la reflexión de la muestra vegetal en las longitudes de Onda del espectro del Rojo e Infrarrojo Cercano, opera estos valores mediante la Ecuación (1) y entrega como resultado una medida de 0 a 1 (valores relacionados con el contenido de clorofila, estructura y el nitrógeno disponible para el cultivo).

$$NDVI = \frac{\text{infrarrojo-rojo}}{\text{infrarrojo+rojo}} \quad (1)$$

En este documento se resaltan dos de las pruebas realizadas con este procedimiento, la primera se muestra en la Fig. 2, en donde se tiene una hoja seca o amarilla (Fig. 2a), en la que los pigmentos foliares han decrecido evidenciando un estado no saludable. Al extraer las bandas espectrales azul (Fig. 2b), verde (Fig. 2c) y roja (Fig. 2d) se aprecia que las tres componentes muestran valores altos (En los lugares que no tienen sombras), que hacen que el comportamiento en el espectro visible sea muy uniforme al graficar la firma espectral.

Al observar la banda del infrarrojo (Fig. 2e) se ve la pequeña diferencia de esta banda con la roja, lo que hace que la pendiente roja-infrarroja sea pequeña y que se obtenga un NDVI (Fig. 2f) muy reducido, lo cual está relacionado con el estado enfermo de la muestra.

En la segunda muestra de datos se adquirieron imágenes de hojas con diferentes estados de enfermedad o daño (Fig. 3a); se extrajeron también las bandas: azul (Fig. 3b), verde (Fig. 3c) y roja (Fig. 3d), junto con el procedimiento de conversión

de la imagen infrarroja (Fig. 3e). En este caso se aprecia que en las regiones donde la planta está sana los valores de azul y rojo son bajos en comparación con los lugares donde la planta está enferma y también que el verde es más alto en las regiones sanas, el infrarrojo es mucho más alto que el rojo, haciendo que su pendiente sea mucho más grande, lo que hace que se obtenga un índice de vegetación más alto que en la planta enferma; por lo cual la vegetación sana está relacionada con un índice de vegetación más elevado que el de una planta enferma.

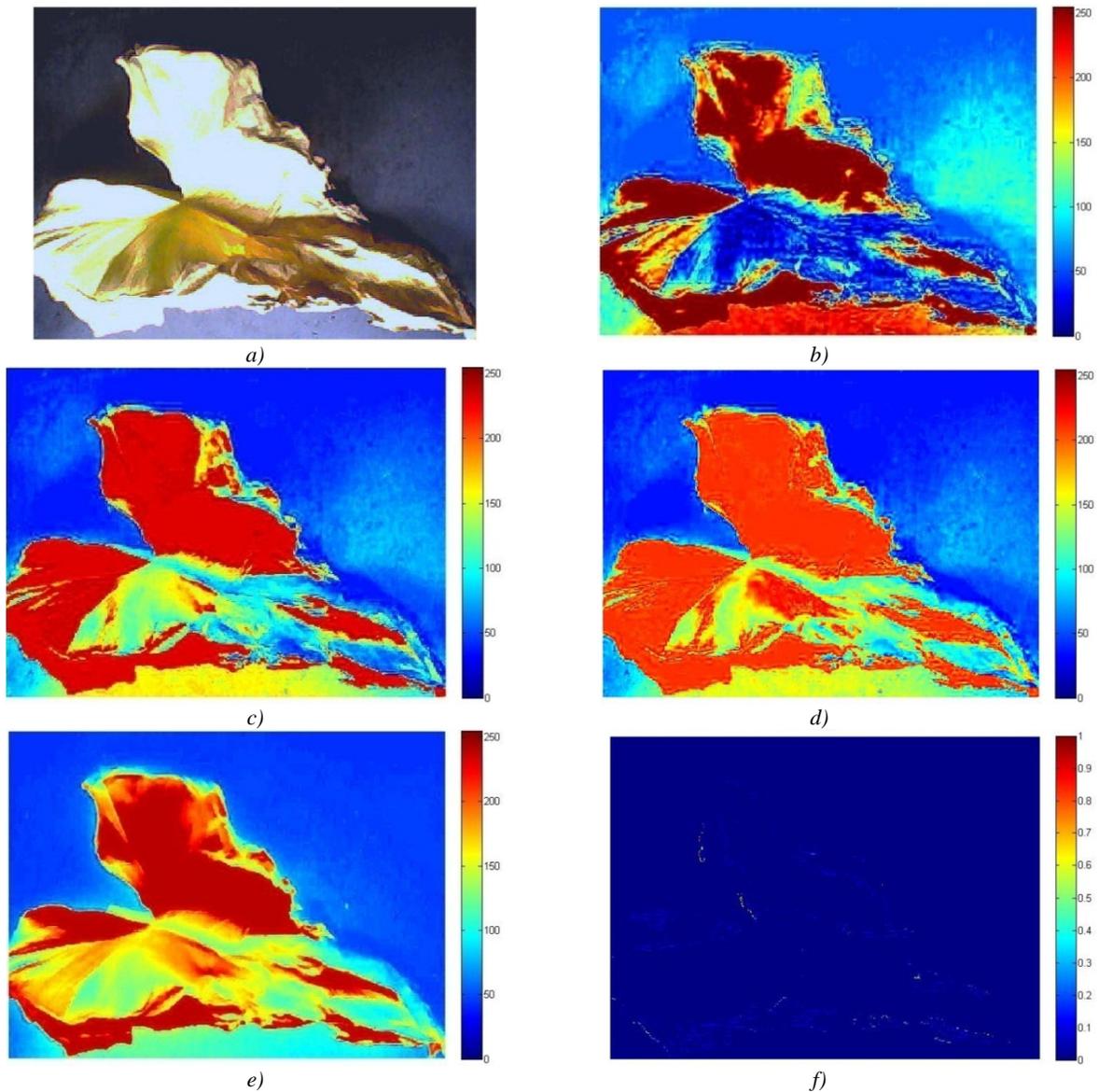


Fig. 2. Respuesta Espectral de la hoja de una planta enferma. a) Imagen original RGB, b) Banda Espectral Azul, c) Banda Espectral Verde, d) Banda Espectral Roja, e) Banda Espectral en el infrarrojo Cercano y e) Índice de Vegetación NDVI. La escala de todas las imágenes está en reflectancia en valores de 0 a 255, menos la de índice de vegetación cuyo valor está definido de 0 a 1.

Los procesamientos realizados mediante imágenes satelitales evidencian resultados muy relacionados con los obtenidos en las imágenes de laboratorio, en el sentido que las imágenes del azul (Fig. 4a) y el rojo (Fig. 4b) tienen niveles bajos para regiones cultivadas o sanas y que el infrarrojo cercano presenta valores altos (Fig. 4c). Esto se resalta debido a que en los mapas obtenidos se ha trazado una referencia de la región correspondiente a los lotes cultivados de Boyacá y que algunas de estas bandas espectrales prácticamente están delimitadas por los valores altos de reflectancia en el infrarrojo. La banda del infrarrojo medio (Fig. 4d) presenta valores nuevamente bajos y están asociados con la

humedad de la superficie terrestre. Debido a las relaciones entre el infrarrojo y el rojo se calculan dos índices de vegetación. El NDVI (Fig. 4f) y el índice de vegetación EVI (Enhanced Vegetation Index), (Fig. 4e) que presenta las mismas características de los resultados obtenidos mediante las cámaras en laboratorio, en donde, si existe vegetación sana y frondosa se tienen valores de índice de vegetación altos. Mediante los datos provistos por el sistema MODIS, se pueden obtener también datos espaciales de la temperatura diurna (Fig. 4g) y nocturna (Fig. 4f), que son instrumentos útiles para la optimización de la toma de decisiones en el campo.

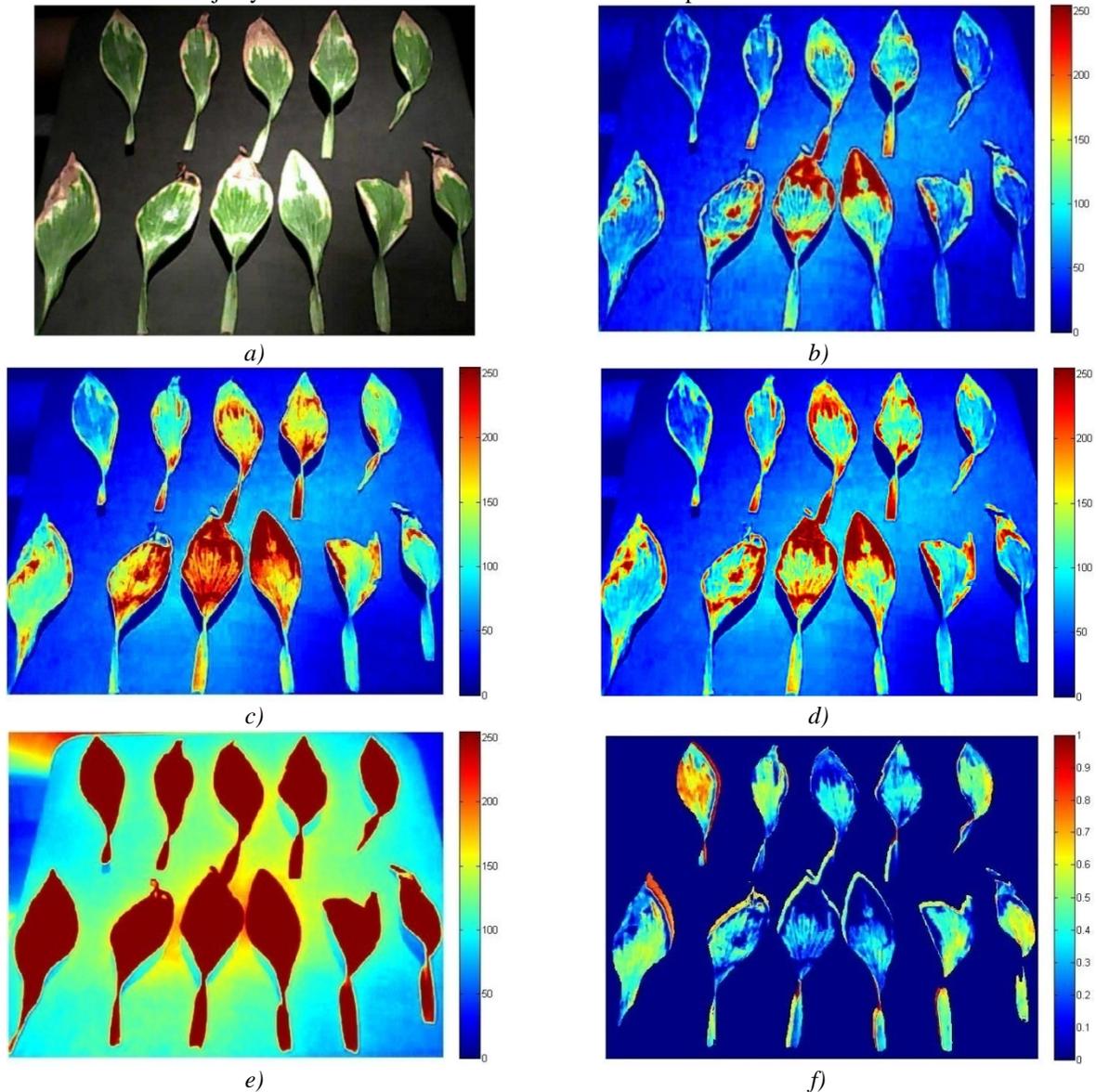


Fig. 3. Respuesta Espectral de hojas con diferente estado de sanidad. a) Imagen original RGB, b) Banda Espectral Azul, c) Banda Espectral Verde, d) Banda Espectral Roja, e) Banda Espectral en el infrarrojo Cercano y e) Índice de Vegetación NDVI. La escala de todas las imágenes está en reflectancia en valores de 0 a 255, menos la de índice de vegetación cuyo valor está definido de 0 a 1.

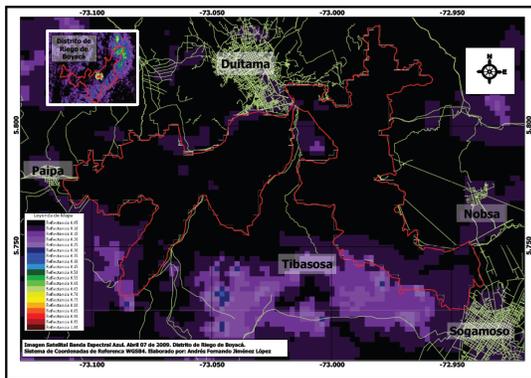
5. CONCLUSIONES

El uso de información derivada de productos satelitales es una herramienta útil para la determinación de estados fenológicos y ambientales de regiones cultivables, permitiendo obtener información regional que puede ser procesada y organizada para minifundistas, y que para el área cultivable de los municipios de Paipa, Duitama, Nobsa, Tibasosa y Sogamoso resulta ser muy acertada para la toma de decisiones en la agricultura.

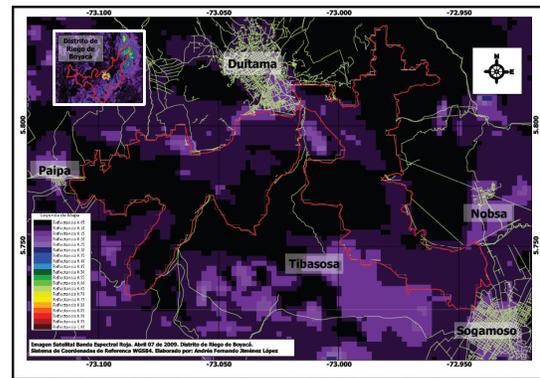
La respuesta de las cámaras digitales permitió determinar claramente el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y apreciar sus cambios de acuerdo al estado de la vegetación; mostrando que una planta sana tiene valores altos

de infrarrojo con respecto al rojo y que una planta enferma presenta una reducción del valor del infrarrojo, correspondiente al daño que presenta en su estructura.

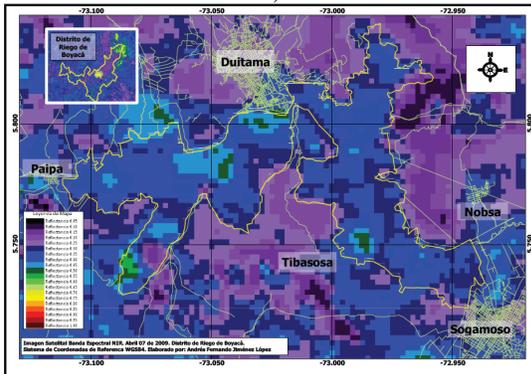
Aunque la información que se puede obtener a partir de los sensores remotos satelitales es muy beneficiosa para el análisis espacial de variables es necesario el ajuste de los modelos que caracterizan estos fenómenos con datos en campo o en tierra para mejorar la precisión de los datos. Es necesario contar con información multiespectral y fenológica que permita estimar en mejor medida las características biofísicas del cultivo, ajustando los parámetros de reflectancia que mejor expresan el comportamiento de la problemática de sanidad vegetal.



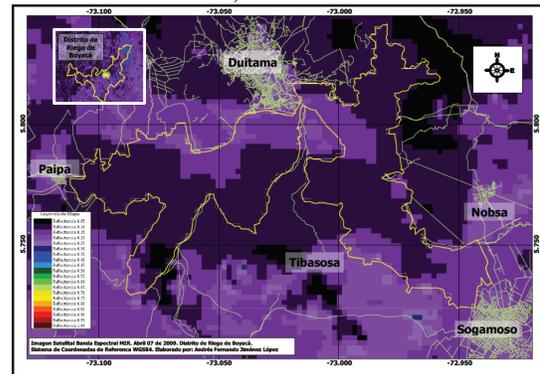
a)



b)



c)



d)

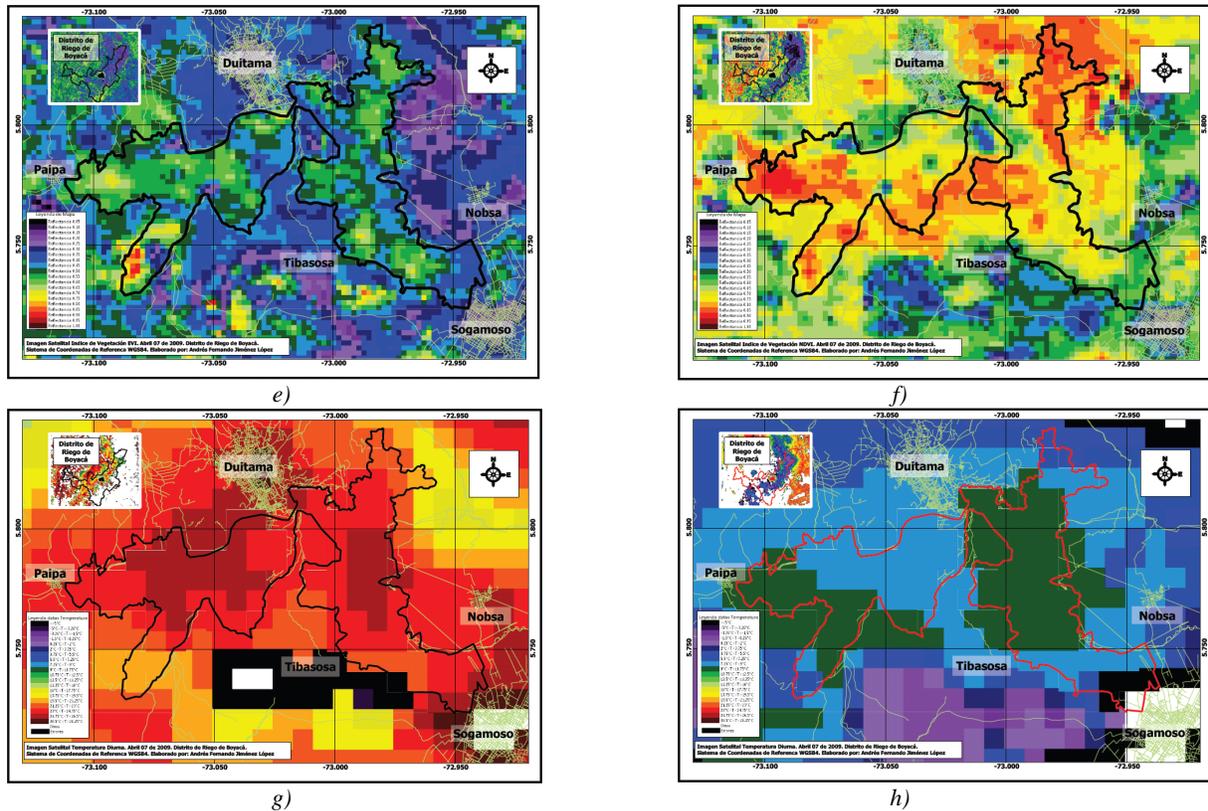


Fig. 4. Respuesta Espectral de la región Cultivable en los Municipios de Paipa, Duitama, Tibasosa, Nobsa y Sogamoso correspondiente a la cobertura del Distrito de Riego de Boyacá. a) Banda Espectral Azul, b) Banda Espectral Roja, c) Banda Espectral Infrarroja Cercana, d) Banda Espectral Infrarroja Media, e) Índice de vegetación EVI y f) Índice de Vegetación NDVI. Las escalas corresponden a valor de reflectancia, g) Temperatura Diurna y h) Temperatura nocturna (en Grados Centígrados).

REFERENCIAS

- Bryant, B. & Moran, M. (1999). *Determining crop stress from crop temperature variability*. Proceedings of the Fourth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition/21st Canadian Symposium on Remote Sensing, Ottawa, Canada, pp. 289–296.
- Qin Z., Zhang M. (2005). *Detection of rice sheath blight for in-season disease management using multispectral remote sensing*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 7 115–128.
- Foody, G. (2003). *Remote sensing of tropical forest environments: towards the monitoring of environmental resources for sustainable development*. International Journal of Remote Sensing, 24, pp. 4035–4046.
- Houborg, R., Soegaard, H., Boegh, E. (2007). *Combining vegetation index and model inversion methods for the extraction of key vegetation biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance data*. Science Direct. Remote Sensing of Environment 106 pp.39-58.
- Dengsheng, L. (2006). *The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation*. International Journal of Remote Sensing, Volume 27, Issue 7, pages 1297 – 1328.
- Zhan Y., Huang J., Tao R. (2008). *Characterizing and Estimating Fungal Disease Severity of Rice Brown Spot with Hyperspectral Reflectance Data*. LIU Rice Science, 15(3): 232–242.
- Ross, J. (1981). *The Radiation Regime and Architecture of Plants Stands*. Dr W. Junk Publishers, London.
- Meer, F. & Jong, S. (2002). *Imaging Spectrometry. Remote Sensing and Digital Image Processing*. Kluwer Academic Publishers. Vol. 4.: 111-197.
- Singer J. E. (1971). *Quantitative investigation of leaf pigments from their inception in buds through autumn coloration to decomposition in falling leaves*. Ecology, Vol. 52, pp. 1075-1089.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*, Ariel Ciencia, 128 pp.
- Lu, D.; Batistella, M. & Moran, E. (2005). *Satellite estimation of aboveground biomass and*

- impacts of forest stand structure.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71, pp. 967–974.
- Zulhaidi, H. (2009). *Hyperspectral Imagery for Mapping Disease Infection in Oil Palm Plantation Using Vegetation Indices and Red Edge Techniques.* American Journal of Applied Sciences 6 (6): 1031-1035.
- Jiménez, A.F & Jimenez F. R. (2012). *Temperature telemetry system for agricultural crops using free software,* in Proc. of the 6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems. Universidad de Valencia, España. Vol. 1, No. 1, pp. 89 – 94.
- Jiménez, A.F & Jiménez F. R. (2012). *Field variables monitoring in real time (GPS, soil moisture, temperature) with precision farming applications.* In Proc. of the 6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems. Universidad de Valencia, España. Vol. 1, No. 1, pp. 367–370.