



## Conference Paper

# Análisis prospectivo de la detección hiperespectral de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.)

Jorge Serrano<sup>1</sup>, José Fábrega<sup>1</sup>, Evelyn Quirós<sup>2</sup>, Javier Sánchez-Galán<sup>1</sup>, and José Ulises Jiménez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Panamá, Panamá

<sup>2</sup>Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, Penonomé, Coclé, Panamá

## Abstract

The objective of this work is to perform a prospective analysis of the wavelengths that can be used to recognize a rice crop due to its phenological status and variety. For this purpose, field measurements of spectral signature in the 350 nm -1049 nm range were employed. The rice cultivars FCA 616FL and IDIAP 54-05 were used. The study site was located in the Juan Hombrón area in the Coclé province, Panama. A principal component analysis (PCA) was carried out, which resulted in the lengths 728.16, 677.89 and 785.48 nm let phenological differentiation within the cultivar FCA 616FL and IDIAP 54-05, the lengths 729.72, 814.58 and 666.81 nm let distinguish between crop varieties FCA 616FL and IDIAP 54-05 in vegetative phase.

**Keywords:** Rice, reflectance, hyperspectral signature, phenological state.

## Resumen

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis prospectivo de las longitudes de onda que pueden ser utilizadas para reconocer un cultivo de arroz por su estado fenológico y su variedad. Para ello se han realizado mediciones en campo de la firma espectral de este cultivo en un rango de 350 nm a 1049 nm. Se emplearon las variedades cultivables de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05. El sitio de estudio se ubicó en el área de Juan Hombrón en la provincia de Coclé, República de Panamá. Se realizó un análisis de componentes principales (PCA), el cual dió como resultado que las longitudes 728.16, 677.89 y 785.48 nm permiten una diferenciación fenológica del cultivo FCA 616FL y las longitudes 729.72, 814.58 y 666.81 nm permiten distinguir entre las variedades de cultivo de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05 en fase vegetativa.

**Palabras claves:** Arroz, reflectancia, firma hiperespectral, estado fenológico.

Corresponding Author:

Jorge Serrano

jorge.serrano1@utp.ac.pa

Received: 15 November 2017

Accepted: 5 January 2018

Published: 4 February 2018

Publishing services provided by Knowledge E

© Jorge Serrano et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Selection and Peer-review under the responsibility of the ESTEC Conference Committee.

## OPEN ACCESS

## 1. Introduction

La curva de reflectividad espectral o firma espectral es la forma peculiar en la que una determinada cobertura terrestre responde en distintas longitudes de onda; ésta es básica para reconocer cubiertas de interés, discriminarlas de otras similares y determinar características o parámetros dentro de ésta, por lo que la obtención de las firmas espectrales se recomiendan como punto de partida en trabajos de teledetección (Chuvienco, 2010).

El espectro electromagnético interactúa con las coberturas vegetales en un balance en el que la luz incidente es igual a la suma de la luz reflejada, absorbida y transmitida; por lo que es conveniente dividir esta cantidad de luz incidente en sus unidades relativas conocidas como: reflectancia, absorbancia y transmitancia, respectivamente (Chuvienco, 2010).

La teledetección es una técnica imprescindible en la agricultura de precisión. Esta técnica se ha utilizado con fines de clasificación y cuantificación de variables. Las medidas de reflectancia son utilizadas para desarrollar índices espectrales de vegetación (ejemplos: NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index*; SAVI, *Soil Adjusted Vegetation Index*; MTVI, *Modified Transformed Vegetation Index*) los cuales se correlacionan a variables como: área foliar, biomasa, contenido de nitrógeno, contenido de clorofila, detección de enfermedades, etc. Los índices espectrales de vegetación se ponen a prueba para determinar cuales tienen mayor correlación con características específicas en los cultivos. Por ejemplo, (Liang et al., 2015) puso a prueba 43 índices de vegetación para determinar cuales eran los mejores para estimar el índice de área foliar en maíz, avena, papa y varios otros cultivos. Igualmente, (Kross et al., 2014) probó 9 índices de vegetación para encontrar cuales eran los mejores para estimar el índice de área foliar y cantidad de biomasa en cultivos de maíz y soja; y (Xie et al., 2014) ensayó con 6 índices de vegetación para establecer cuales eran los mejores para estimar el índice de área foliar en cultivos de trigo. Por su parte, (Cao et al., 2015) probó 43 índices de vegetación en relación al contenido de nitrógeno en las hojas de cultivos arroz. El arroz (*Oryza sativa* L.) es una de las fuentes principales de consumo de calorías para más de la mitad de la población mundial.

En el ámbito nacional, la teledetección tendría una aplicación importante para la validación y el seguimiento de los censos agropecuarios y de uso de suelo, ya que sirve para reconocer grandes extensiones en poco tiempo. Para mejorar los sistemas de teledetección se necesitan identificar las longitudes de onda que tengan mayor correlación con la variable particular.

Este trabajo tiene como objetivos: primero, encontrar que longitudes de onda son las más favorecidas para distinguir entre tres estados fenológicos del cultivo de arroz (vegetativa, reproductiva y maduración). La fase vegetativa comprende la siembra y el crecimiento de las raíces y las hojas; la fase reproductiva comprende desde el crecimiento de la panícula hasta la floración; y por último, la fase de maduración que va desde la floración hasta la maduración del fruto (Jarman et al., 2010). El segundo objetivo, es encontrar que longitudes de onda son las más favorecidas para distinguir entre las variedades FCA 616FL y IDIAP 54-05. Estas variedades de arroz son las que actualmente se cultivan en el sitio de estudio, debido a que presentan tolerancia a distintas enfermedades del arroz.

## 2. Materiales y métodos

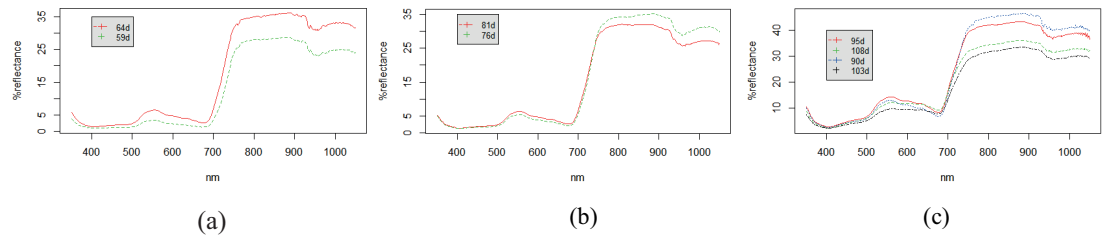
EL sitio de estudio se localiza en la finca TESKO, en Juan Hombrón, Provincia de Coclé, en las coordenadas 8°19' N, 80°13' O. Las mediciones espectrorradiométricas se realizaron entre febrero y junio del 2017, entre las 10:00 a.m. y las 2:30 p.m., las mismas son georreferenciadas utilizando un GPS *Garmin eTrex*. Se empleó un espectrorradiómetro (GER 1500 de *Spectra Vista Corporation*) que cubre un rango de 350 nm a 1050 nm, con un campo de visión de 8°. Antes de cada toma de firma, se realiza una medida de referencia sobre una superficie semi-lambertiana calibrada, de color blanco, y conocida como *Spectralon*.

El material vegetal utilizado son las variedades de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05. La variedad FCA 616FL tiene una maduración a 116 días después de siembra. Las plantas alcanzan una altura máxima promedio de 93.7 cm y tiene resistencia *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. y otros patógenos (CEIAT, sf.). La variedad IDIAP 54-05 se caracteriza por cumplir su ciclo de vida en 116 días o menos después de siembra. Las plantas alcanzan una altura máxima entre 81-117 cm, y está adaptada a condiciones de riego y seco. Adicionalmente, es tolerante a *Pyricularia* y otros patógenos (IDIAP, 2012). Estas variedades fueron escogidas por ser las que presentan mejor rendimiento ante molinería y, por lo tanto, mejor calidad industrial.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa R (*R Core Team*, 2013). Se hizo un análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) y se seleccionaron las longitudes de onda más favorecidas de acuerdo con la mayor magnitud de la correlación con las componentes para diferenciar los estados fenológicos y entre dos variedades en estado vegetativo.

### 3. Resultados

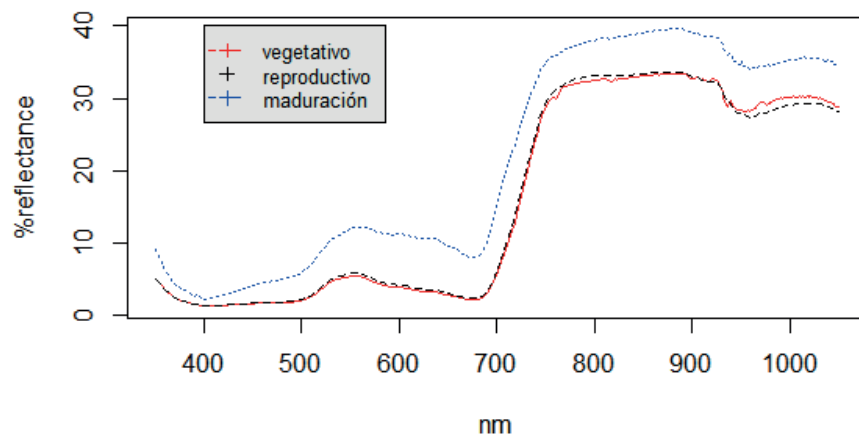
En la figura 1 se muestran las firmas espectrales promedio de la variedad de arroz FCA 616FL capturadas a los 64, 81, 95 y 108 días de siembra en la parcela 1 y a los 59, 76, 90 y 103 días de siembra en la parcela 2.



**Figura 1:** Firmas espectrales promedio de la variedad de arroz FCA 616FL: (a) en estado vegetativo, parcela 1 en rojo y parcela 2 en verde, (b) en estado reproductivo, parcela 1 en rojo y parcela 2 en verde y (c) en estado de maduración, parcela 1 en verde y rojo, y parcela 2 en negro y azul

En la gráfica 1 se caracterizó la firma espectral para la variedad de arroz FCA 616FL en distintos desarrollos de la planta medido por días de siembra. Para la variedad de arroz FCA 616FL registramos dos firmas promedio para la fase vegetativa, dos para la fase reproductiva y cuatro, para la de maduración. Cada fase representa un intervalo de tiempo y un rango en el desarrollo fenológico de las plantas, por lo que habrá un conjunto de firmas espectrales que representen cada una de las fases.

Las firmas espectrales promedio de la variedad de arroz FCA 616FL para los tres estados fenológicos (vegetativa, reproductiva y de maduración) se muestra en la figura 2.



**Figura 2:** Firmas espectrales promedio de la variedad de arroz FCA 616FL

### 3.1. Análisis de Componentes Principales (PCA)

Para el PCA se utilizó la matriz de correlaciones. Los resultados señalan que con las dos primeras componentes es posible explicar el 98.5% de la variación total.

TABLA 1: Datos del PCA para diferentes fases fenológicas en la variedad de arroz FCA 616FL

Resumen	PC1	PC2
Desviación estándar	18.9178	9.0795
Proporción de varianza	0.8006	0.1844
Proporción acumulada	0.8006	0.9850

La figura 3 muestra el aporte de las diferentes longitudes de ondas a la variación total, para dos componentes. De color azul se muestran los aportes de la primera componente y en color rojo, de la segunda componente.

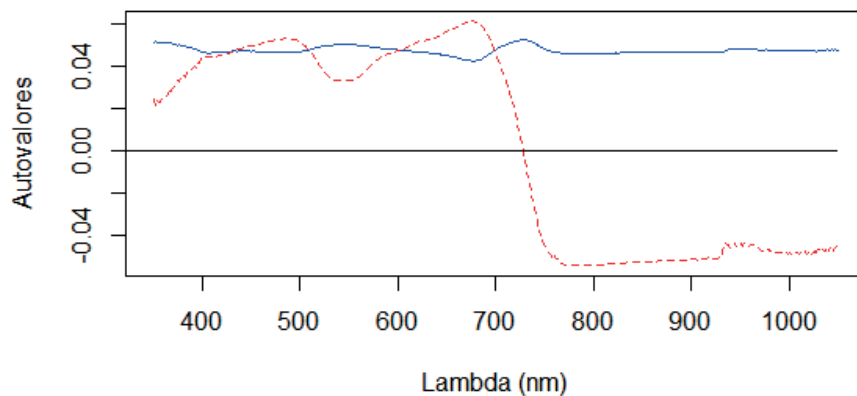


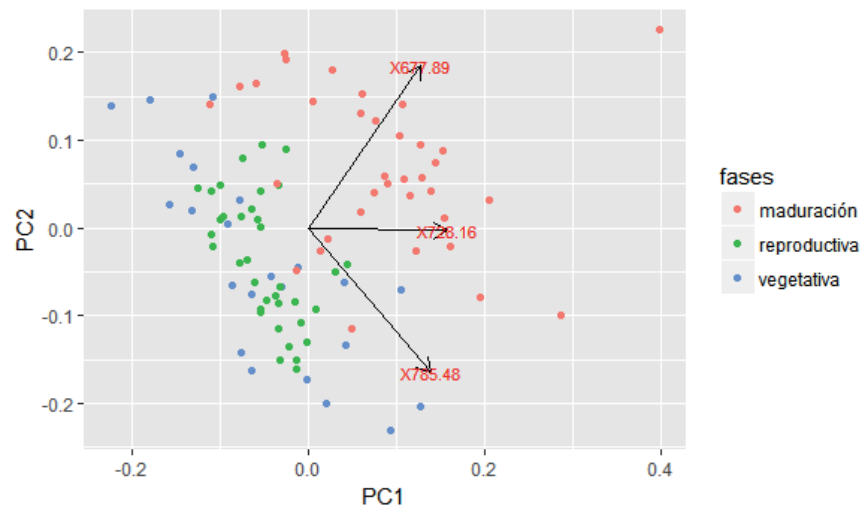
Figura 3: Autovalores contra lambda. PCA por estado fenológico de la variedad de arroz FCA 616FL

En la tabla 2, se presentan las longitudes de las ondas favorecidas por el PCA para distinguir entre los estados fonológicos de la variedad de arroz FCA 616FL.

TABLA 2: Longitudes de ondas favorecidas por el PCA

Lambda (nm)	Componente
728.16	PC1
677.89	PC2
785.48	PC2

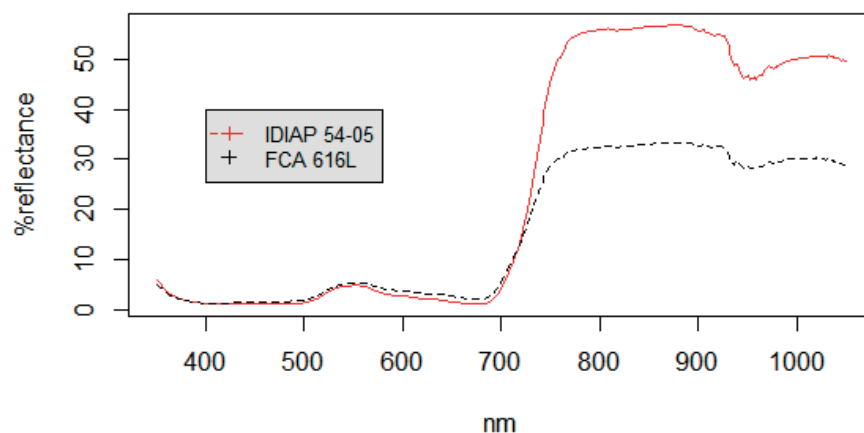
En la figura 4, se muestra la gráfica *Biplot* del PCA. Los puntos rojos corresponden a la fase de maduración, los verdes, a la fase reproductiva y los azules, a la fase vegetativa.



**Figura 4:** *Biplot.* Estados fenológicos de la variedad de arroz FCA 616FL

En la figura 4, se observa como la primera componente separa el estado fenológico de maduración de los estados vegetativo y reproductivo, con la variable de reflectividad a 728.16 nm, que es la que presenta mayor variabilidad en la reflectividad para los distintos estados fenológicos. En la segunda componente se destaca la variabilidad dada por la reflectividad a 677.89 nm y 785.48 nm, pero, no indica una separación de la fase fenológica vegetativa de la fase reproductiva.

La figura 5 muestra las firmas espectrales promedio correspondientes a la fase vegetativa de la variedad de arroz FCA 616FL (en negro) e IDIAP 54-05 (en rojo).



**Figura 5:** Firmas espectrales promedio de las variedades de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05 en fase vegetativa

En la tabla 3, los resultados señalan que con las dos primeras componentes es posible explicar el 97.58% de la variación total.

TABLA 3: Datos del PCA para distinguir entre las variedades de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05 en la fase vegetativa

Resumen	PC1	PC2
Desviación estándar	15.5854	13.9019
Proporción de varianza	0.5434	0.4324
Proporción acumulada	0.5434	0.9758

La figura 6 muestra el aporte de las diferentes longitudes de ondas a la variación total, para dos componentes. De color azul se muestran los aportes de la primera componente y en color rojo, de la segunda componente.

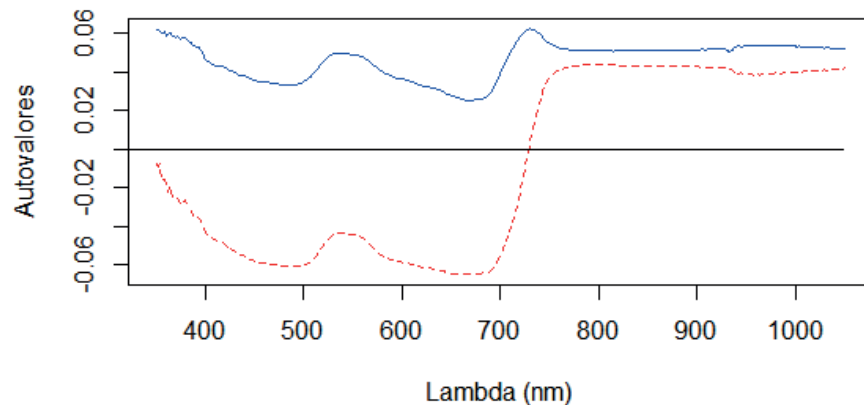


Figura 6: Autovalores contra Lambda. PCA por variedad de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05, en fase vegetativa

En la tabla 4, se presentan las longitudes de las ondas favorecidas por el PCA para distinguir entre las variedades de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05, en la fase vegetativa.

TABLA 4: Longitudes de ondas favorecidas por el PCA

Lambda (nm)	Componente
729.72	PC1
814.58	PC2
666.81	PC2

En la figura 7, se muestra la gráfica *Biplot* del PCA. Los puntos rojos corresponden a la variedad de arroz FCA 616FL y los celestes, a la IDIAP 54-05.

Puede verse en la figura 7, como la primera componente con la variable de reflectividad a 729.72 nm separa las dos variedades de arroz. La variedad IDIAP 54-05 está más asociada a una alta reflectividad de esta variable, mientras que la variedad de

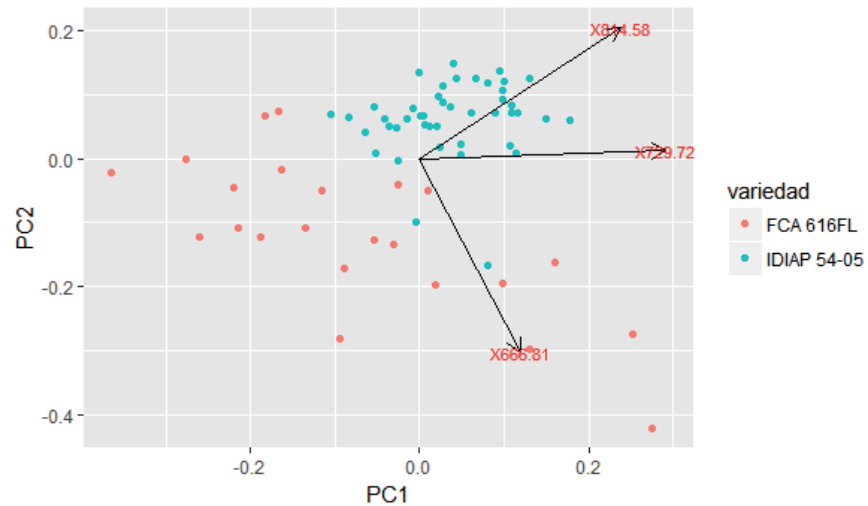


Figura 7: Biplot. Variedades de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05

arroz FCA 616FL están asociadas a bajas reflectividad. En la segunda componente se destaca la variabilidad dada por la reflectividad a 814.58 nm y 666.81 nm.

## 4. DISCUSIÓN

En la fase vegetativa las firmas se ven afectadas por el cambio de área foliar, crecimiento de las hojas en número y tamaño, a menor área foliar hay mayor interferencia del suelo descubierto en la firma (Yang et al, 2004). La variación en el rango de infrarrojo cercano puede deberse al contenido de nitrógeno o contenido de agua. Además, el grado de anegamiento del suelo podría ser otra causa de la variación en la firma (Sakamoto et al, 2005)

En la firma espectral correspondiente al estado de maduración se puede observar cambios en el espectro visible, estas variaciones son influencia del cambio de color de la panícula de verde a amarillo. La disminución de la reflectancia en el infrarrojo cercano puede ser por el fin del tiempo de senescencia de las hojas o una señal de estrés por una disminución de la cantidad de nitrógeno, cercano al momento de cosecha, debida a la degradación de proteínas para el llenado del grano (Jarman et al., 2010).

En la gráfica 2 se observa que la reflectancia en general es mayor en la fase de maduración que en las otras fases, lo cual coincide con los resultados de (Gnyep et al, 2013), en pruebas realizadas a la variedad de arroz Kongyu proveniente de China. La presencia de la panícula aumenta la reflectancia en el rango de infrarrojo cercano, lo cual concuerda con los resultados de (He et al, 2016) para la variedad de arroz japónica.



Las longitudes de ondas que caracterizan las diferencias por estado de fenológico probadas están en el rango de infrarrojo cercano y el rojo, lo cual indica que podría utilizarse el índice espectral de vegetación como el NDVI para realizar una teledetección. Este resultado coincide con el de (Wang et al, 2014) y (Zheng et al, 2016) en los cuales se utilizó este índice para diferenciar los estados fenológicos en la variedad de arroz japónica e índica.

Para el caso la discriminación de las variedades de arroz FCA 616FL e IDIAP 54-05, las longitudes de ondas que caracterizan las diferencias están el rango de infrarrojo cercano y el rojo. Este resultado es similar a (Shwetank et al, 2010) en el cual aplicando el análisis PCA se discriminó mejor las variedades Ratan (IET-1411), CSR-10 (IET-10349/10694), Haryana Basmati-1 (IET-10367), HKR-126 y CSR-13 (IET-10348), cultivadas en la India.

## 5. Conclusión

Se logró encontrar en el análisis de componentes que es factible distinguir los grupos por fase fenológica en el caso del FCA 616FL y distinguirla de la variedad IDIAP 54-05. Como resultado las longitudes 729.72, 814.58 y 666.81 nm son mejores para distinguir entre variedades de cultivo y las longitudes 728.16, 677.89 y 785.48 nm aportan la mayor información para la diferenciación fenológica dentro del cultivo FCA 616FL.

## Referencias

- [1] Emilio Chuvieco. (2010). "Teledetección Ambiental". Edición 2010, Editorial Ariel, pag 18,46,55.
- [2] Gnyp, Martin L.; Yuxin Miao, Fei Yuan, Susan L. Ustin, Kang Yu, Yinkun Yao, Shanyu Huang, Georg Bareth. (2013). "Hyperspectral canopy sensing of paddy rice aboveground biomass at different growth stages". Field Crops Research 155 (2014) 42-55.
- [3] He, Jiaoyang; Yehui Qin, Caili Guo, Liyun Zhao, Xiang Zhou, Xia Yao, Tao Cheng, Yongchao Tian. (2016). "Monitoring leaf area index after heading stage using hyperspectral remotesensing data in rice". 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Pages: 6284 – 6287.
- [4] Jarma, A.O. Degiovanny, V. Montoya R. (2010). "Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. Producción Eco-eficiente del Arroz en América Latina". Tomo I. Pag 65-68.

- [5] Kross, Angela; Heather McNairn, David Lapen, Mark Sunohara, Catherine Champagne. (2015) "Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 34 (2015) 235-248.
- [6] Liang Liang, Liping Di, Lianpeng Zhang, Meixia Deng, Zhihao Qin, Shuhe Zhao, Hui Lin. (2015). "Estimation of crop LAI using hyperspectral vegetation indices and a hybrid inversion method". *Remote Sens. Environ.* 165 (2015) 123-134.
- [7] *Perspectivas de cosechas y situación alimentaria.* (2016). (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT) Septiembre 2016.
- [8] Qiang Cao, Yuxin Miao, Jianning Shen, Weifeng Yu, Fei Yuan, Shanshan Cheng, Shanyu Huang, Hongye Wang, Wen Yang, Fengyan Liu. (2015). "Improving in-season estimation of rice yield potential and responsiveness to topdressing nitrogen application with Crop Circle active crop canopy sensor". *Precision Agric*, Edición 2015.
- [9] Qiaoyun Xie, Wenjiang Huang, Dong Liang, Pengfei Chen, Chaoyang Wu, Guijun Yang, Jingcheng Zhang, Linsheng Huang, and Dongyan Zhang. (2014). "Leaf Area Index Estimation Using Vegetation Indices Derived From Airborne Hyperspectral Images in Winter Wheat". *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, no. 8, august 2014.
- [10] Sakamoto T, Yokozawa M, Toritani H, Shibayama M, Ishitsuka N, Ohno H. (2005). "A crop phenology detection method using time-series MODIS data". *Remote Sens Environ*, **96**: 366-374.
- [11] Shwetank, Kamal Jain, Karamjit Bhatia. (2010). "Hyperspectral Data Compression Model Using SPCA (Segmented Principal Component Analysis) and Classification of Rice Crop Varieties". *International Conference on Contemporary Computing, IC3 2010: Contemporary Computing* pp 360-372.
- [12] Wang, L., Zhang, F.-c., Jing, Y.-s., Jiang, X.-d., Yang, S.-b., Han, X.-m., 2014. "Multi-temporal detection of rice phenological stages using canopy spectrum." *Rice Sci.* 21, 108-115.
- [13] Xinchuan Li, Youjing Zhang, Yansong Bao, Juhua Luo, Xiuliang Jin, Xingang Xu, Xiaoyu Song and Guijun Yang. (2014). "Exploring the Best Hyperspectral Features for LAI Estimation Using Partial Least Squares Regression". *Remote Sens.* 2014, 6, 6221-6241.
- [14] Yang, Chwen-Ming; Chen, Rong-Kuen. (2004). "Modeling Rice Growth with Hyperspectral Reflectance Data". *Crop Science*; Julio/Agosto 2004; 44, 4; ProQuest página 1283.

- [15] Zheng, Hengbiao; Tao Cheng, Xia Yao, Xinqiang Deng, Yongchao Tian, Weixing Cao, Yan Zhu. (2016). "Detection of rice phenology through time series analysis of ground-based spectral index data". *Field Crops Research* 198 (2016) 131–139.

## Authorization and Disclaimer

*Authors authorize ESTEC to publish the paper in the conference proceedings. Neither ESTEC nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*